ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΔΑΚΤΙΚΟ ΕΤΟΣ 2012 **ΕΑΡΙΝΟ 8ο ΕΞΑΜΗΝΟ**

ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ ΘΕΜΑΤΑ

ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ

ΔΙΔΑΣΚΩΝ: Δρ Κωνσταντίνος Γιαννακός

Περιεχόμενα

Αριθμός Κατοχύρωσης Πνευματικής Ιδιοκτησίας
στην Εθνική Βιβλιοθήκη :

ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ ΘΕΜΑΤΑ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Πίνακας Περιεχομένων v

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 1
Εισαγωγή στα Μεταφορικά Μέσα και στο Σιδηρόδρομο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 53
Κλασσική Σκυρογραμμή: Σιδηροτροχιές, Στρωτήρες, Σύνδεσμοι, Έρμα, Υποδομή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 107
Μηχανισμοι Γραμμης: Αλλαγές, Διασταυρώσεις, Συσκευές Διαστολής, Τρίγωνα Αναστροφής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 151
Γραμμές με Αρμούς, Συνεχώς Συγκολλημένες Σιδηροτροχιές, Απαιτήσεις Υποδομών για Υψηλές Ταχύτητες

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 203
Κατάταξη Γραμμών, Αξιοποίηση Καταγραφικών Διαγραμμάτων, Εξέλιξη των Σφαλμάτων Γραμμής σε σχέση με τον Κυκοφοριακό Φόρτο, Ανάλυση της Επιρροής στα Σφάλματα Γραμμής των Διαφόρων Παραμέτρων της Επιδομής και Υποδομής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 237
Εργασίες Συντήρησης, Παράμετροι που τις επηρεάζουν, Συντήρηση Έδρασης Γραμμής, Προγραμματισμός Εργασιών Συντήρησης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 281
Μηχανήματα Συντήρησης Γραμμής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 315
Ηλεκτροκίνηση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9
Σταθερή Επιδομή 355

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 385

Διαλειτουργικότητα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11 435

Σηματοδότηση, Τηλεδιοίκηση, Τηλεπικοινωνίες

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12 485

Οικονομική Διάσταση της Συντήρησης των Σιδηροδρομικών Δικτύων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13 493

Επιχειρηματική Αναδιοργάνωση των Σιδηροδρομικών Επιχειρήσεων στην Ε.Ε.
και στην Ελλάδα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14 525

Εκτίμηση των Δράσεων επί της Σιδηροδρομικής Γραμμής ως Φορτίων Σχεδιασμού

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ
ΣΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΑ ΜΕΣΑ
ΚΑΙ
ΣΤΟ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΟ

1.- ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1.- ΓΕΝΙΚΑ

Οι πολίτες της Ευρωπαϊκής Ένωσης απολαμβάνουν τα οφέλη των μεταφορών χωρίς εμπόδια: οι άνθρωποι και τα εμπορεύματα μπορούν να περάσουν, απρόσκοπτα, από τη μια χώρα στην άλλη. Χάρη στα φθηνά ταξίδια, μπορούμε όλοι να κινηθούμε ελεύθερα για εργασία ή αναψυχή — με το αυτοκίνητο, με το τρένο, με το αεροπλάνο ή με το πλοίο. Τα προϊόντα που καθορίζουν και αυτά τον τρόπο ζωής μας μεταφέρονται ταχύτερα από τη μια άκρη της Ευρώπης στην άλλη. Ο ανταγωνισμός μεταξύ των διαφόρων μέσων μεταφοράς διατήρησε τις τιμές σε χαμηλά επίπεδα. Αλλά όμως οι μεταφορές έπεσαν θύμα της ίδιας τους της επιτυχίας. Η κινητικότητά μας απειλείται τώρα από κυκλοφοριακή συμφόρηση, καθυστερήσεις και ρύπανση. Η ανάγκη για αλλαγή έχει γίνει επιτακτική, και η πολιτική μεταφορών της ΕΕ έρχεται να την κάνει πραγματικότητα.
Χάρη στο αυτοκίνητο και στα σιδηροδρομικά και αεροπορικά ταξίδια, σε προσιτές τιμές, όπως και με την κατάργηση των ελέγχων στα εθνικά σύνορα, μπορούμε να κυκλοφορούμε ελεύθερα — όσο μικρό ή μεγάλο και να είναι το ταξίδι μας. Η εξάλειψη των εσωτερικών συνόρων μέσα στην Ευρωπαϊκή Ένωση και η δημιουργία της ενιαίας αγοράς συνεπάγονται ότι τα προϊόντα που αγοράζουμε μεταφέρονται από τη μια άκρη της Ευρώπης στην άλλη σε μεγαλύτερη ποικιλία και ποσότητες, και ταχύτερα από ποτέ.
Η ενιαία αγορά βασίζεται σε τέσσερις βασικές ελευθερίες:

- την ελεύθερη κυκλοφορία των εμπορευμάτων,
- των προσώπων,
- των υπηρεσιών και
- των κεφαλαίων.

Για να υποστηρίξει αυτές τις ελευθερίες, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει καταργήσει τους ελέγχους στα σύνορα για τα πρόσωπα και τα εμπορεύματα που μετακινούνται από μια χώρα της ΕΕ σε άλλη. Έχει επίσης ανοίξει τις προηγουμένως κλειστές εθνικές αγορές οδικών και αεροπορικών μεταφορών και, σε μικρότερο βαθμό, των σιδηροδρομικών μεταφορών επίσης. Σαν αποτέλεσμα, έχει αυξηθεί κατακόρυφα ο αριθμός των επιβατών και οι ποσότητες μεταφερομένων εμπορευμάτων, ιδίως στις οδικές και στις αεροπορικές μεταφορές.

1.2.- ΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

Η κινητικότητα έχει και αυτή την τιμή της. Αυτή η ίδια η αυξανόμενη ζήτηση για μεταφορές έχει δημιουργήσει προβλήματα που απειλούν την κινητικότητά μας. Κάθε μέρα 7.500 km ευρωπαϊκών αυτοκινητοδρόμων μπλοκάρονται από μποτιλιαρίσματα. Η κυκλοφοριακή συμφόρηση στους δρόμους και τα αεροδρόμια επιβαρύνει τον προϋπολογισμό που διατίθεται για καύσιμα στην ΕΕ κατά 6 %, με αντίστοιχη αύξηση των επιπέδων ρύπανσης. Εν ολίγοις, τα σημερινά μοντέλα ανάπτυξης των μεταφορών δεν είναι βιώσιμα.

1.3.- Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

Για να πάμε στη δουλειά μας, να ταξιδέψουμε και για να παραδώσουμε τα προϊόντα χρειαζόμαστε ασφαλή, αξιόπιστα, άνετα και γρήγορα μέσα μεταφοράς. Η αποτελεσματικότητα των συστημάτων μεταφορών είναι καθοριστικός παράγων για τη διατήρηση της ανταγωνιστικότητας της ευρωπαϊκής οικονομίας και την ομαλή λειτουργία της ενιαίας αγοράς.

Οι μεταφορές, όμως, είναι και αυτοτελής οικονομικός τομέας, ο οποίος προσφέρει περίπου 10 % του πλούτου μας, όπως μετρείται στο ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (ΑΕγχΠ). Είναι ένας κλάδος που αντιστοιχεί σε περίπου 1 τρισ. ευρώ ετησίως και απασχολεί περισσότερα από 10 εκατ. άτομα.

Η ανάπτυξη των μεταφορών συμβαδίζει με την ανάπτυξη της οικονομίας και της ευημερίας (βλ. Σχήμα 5). Με τις σύγχρονες μεθόδους παραγωγής, που βασίζονται σε έγκαιρη παράδοση εξαρτημάτων και ανταλλακτικών, απαιτούνται συχνότερες διαδρομές απ' ό,τι στο παρελθόν.

Με τις πολιτικές της, η Ευρωπαϊκή Ένωση συντέλεσε στην ανάπτυξη των μεταφορών. Εκτός από την εξάλειψη των φυσικών συνόρων, η ΕΕ έχει υιοθετήσει μια σειρά πολιτικών που υποστηρίζουν την ενιαία αγορά και προωθούν το εμπόριο. Μεταξύ των πολιτικών αυτών, συγκαταλέγεται η πολιτική ανταγωνισμού, που έχει ως αποτέλεσμα να προσφέρονται περισσότερα εμπορεύματα σε χαμηλότερες τιμές, και τα μέτρα για την ενθάρρυνση της διασυνοριακής συνεργασίας μεταξύ επιχειρήσεων ή της αμοιβαίας αναγνώρισης των τεχνικών προτύπων μεταξύ των χωρών της ΕΕ.
Στον τομέα των μεταφορών αυτών καθαυτών, η Ευρωπαϊκή Ένωση ανοίγει σταδιακά τις εθνικές αγορές μεταφορών στον ανταγωνισμό. Στόχος είναι να συγκροτηθεί ένας δυναμικός τομέας μεταφορών στην υπηρεσία των πολιτών, των επιχειρήσεων και των κυβερνήσεων. Τα συμφέροντα των χρηστών είναι ακριβώς εκείνα που διαμορφώνουν την πολιτική μεταφορών της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

1.4.- ΤΑ ΜΕΣΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

Από το 1992, η Ένωση εφαρμόζει την πολιτική της για τις μεταφορές με αρκετή επιτυχία, ιδίως με το άνοιγμα των αγορών στον ανταγωνισμό των σιδηροδρομικών εμπορευματικών μεταφορών και των αερομεταφορών.
Αν και η απελευθέρωση των επιμέρους τομέων των μεταφορών υπήρξε επιτυχής και οι εθνικές αγορές ενσωματώθηκαν στην ευρωπαϊκή ενιαία αγορά, ακόμη δεν υπάρχει συνολική και συνεκτική πολιτική μεταφορών. Εξάλλου, με τις εθνικές επενδύσεις, οι ευρωπαϊκές κυβερνήσεις συνέχισαν να ευνοούν τις οδικές αντί των σιδηροδρομικών μεταφορών, με αποτέλεσμα να χρονίζουν τα σοβαρά προβλήματα:

- η κυριαρχία των οδικών μεταφορών εις βάρος των άλλων τρόπων μεταφοράς·
- η κυκλοφοριακή συμφόρηση και τα μποτιλιαρίσματα·
- οι επιβλαβείς επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία·

- ο κατακερματισμός των συστημάτων μεταφορών και η έλλειψη κατάλληλων συνδέσεων μεταξύ περιφερειακών ή εθνικών δικτύων.

Η αύξηση των εμπορευματικών και επιβατικών μεταφορών που σημειώθηκε στην Κοινότητα δεν ήταν η ίδια για όλους τους τύπους μεταφοράς. Όπως εμφανίζεται στο σχήμα 2[1], οι οδικές μεταφορές αντιπροσωπεύουν πλέον το 44% των μεταφορών εμπορευμάτων έναντι 41% των θαλάσσιων μεταφορών μικρών αποστάσεων, 8% των σιδηροδρόμων και 4% των εσωτερικών πλωτών μεταφορών.

Η κυριαρχία των οδικών μεταφορών είναι ακόμη πιο εμφανής στον τομέα των μεταφορών επιβατών (σχήμα 3), όπου κατέχουν μερίδιο της τάξης του 79% της αγοράς, ενώ οι αεροπορικές μεταφορές, με ποσοστό 5%, αναμένεται σύντομα να ξεπεράσουν τους σιδηροδρόμους που αντιπροσωπεύουν ένα 6% .
Οι σιδηροδρομικές μεταφορές εμπορευμάτων (8%) τείνουν να περιθωριοποιηθούν, με τη μέση ταχύτητα ενός διεθνούς συρμού στην Ευρώπη να ανέρχεται σε 18 Km/h. Σαν παράδειγμα προς μίμηση θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, όπου το 40 % των μεταφορών εμπορευμάτων διεξάγεται μέσω των σιδηροδρόμων.

1.4.1. - ΟΔΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

Το 1988, ακόμη και πριν από το Μάαστριχτ, ένα από τα πρώτα πράγματα που έκανε η ΕΕ ήταν να εναρμονίσει τα έγγραφα διαμετακόμισης για τα φορτηγά και τα εμπορεύματα που διασχίζουν τα εσωτερικά σύνορα της ΕΕ, περιορίζοντας την προηγούμενη σωρεία εγγράφων σε ένα ενιαίο έντυπο, πριν καταργήσει τελείως τους ελέγχους.
Κατόπιν, επιτράπηκε στα φορτηγά που προέρχονται από μια χώρα να παραλαμβάνουν και να παραδίδουν φορτία σε άλλη χώρα, ούτως ώστε να μην επιστρέφουν πλέον άδεια από διεθνείς παραδόσεις. Επίσης, εναρμονίστηκαν οι ώρες εργασίας των οδηγών.
Έγινε επίσης ένα πρώτο βήμα για την καθιέρωση, σε ευρωπαϊκή κλίμακα, ενός συστήματος επιβολής τελών για τη χρήση των οδικών υποδομών. Στις χώρες στις οποίες δεν εισπράττονταν διόδια για τους αυτοκινητοδρόμους, οι οδικοί μεταφορείς που χρησιμοποιούν τους αυτοκινητοδρόμους υποχρεώθηκαν να αγοράζουν ευρωπαϊκό σήμα κυκλοφορίας (eurovignette).
Κάθε χρόνο προστίθενται στην κυκλοφορία στους δρόμους της Ευρωπαϊκής Ένωσης 3 εκατ. αυτοκίνητα. Ακόμη και αν επιβραδυνθεί αυτή η τάση στις περισσότερες χώρες κατά τα επόμενα έτη, δεν θα συμβεί το ίδιο στα νέα κράτη μέλη της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης, όπου θα εξακολουθήσουν να αυξάνονται οι αγορές αυτοκινήτων μέχρι να φτάσει η απόκτηση αυτοκινήτου στο επίπεδο των άλλων χωρών.

1.4.2. - ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

Οι αεροπορικές μεταφορές στην Ευρωπαϊκή Ένωση αυξήθηκαν ταχέως. Κατά την τελευταία εικοσαετία, η κυκλοφορία επιβατών αυξήθηκε με ετήσιο ρυθμό άνω του

[1] στοιχεία από την ΛΕΥΚΗ ΒΙΒΛΟ "Ευρωπαϊκή Πολιτική Μεταφορών με Ορίζοντα το Έτος 2010: η ώρα των επιλογών " (12.9.01)

7 %, κατά μέσο όρο. Η ΕΕ έχει ανοίξει τις εθνικές αγορές στον ανταγωνισμό, επιτρέποντας στις αεροπορικές εταιρείες να εκτελούν δρομολόγια έξω από τη χώρα όπου εδρεύουν και επιτρέποντας τον ανταγωνισμό των νεοεισερχομένων με τις ήδη εγκατεστημένες αεροπορικές εταιρείες, με αποτέλεσμα να προσφέρεται μεγαλύτερο φάσμα επιλογών στον καταναλωτή και χαμηλότεροι ναύλοι.

Λόγω της κατακόρυφης αύξησης των αεροπορικών ταξιδιών, ορισμένα αεροδρόμια έχουν φτάσει σε επίπεδα κορεσμού και τα σημερινά συστήματα ελέγχου της εναέριας κυκλοφορίας έχουν υποστεί υπερφόρτωση. Όλα αυτά καταλήγουν σε καθυστερήσεις με υψηλό κόστος: οι πτήσεις αναχωρούν και φτάνουν με καθυστέρηση, αυξάνεται δε η ρύπανση, καθώς τα αεροσκάφη καταναλώνουν επιπλέον καύσιμα κατά τον χρόνο αναμονής στο έδαφος ή στον αέρα, περιμένοντας να προσγειωθούν. Οι καθυστερήσεις κοστίζουν στις ευρωπαϊκές αεροπορικές εταιρείες κάπου μεταξύ 1,3 και 1,9 δισ. ευρώ τον χρόνο.

1.4.3. - ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

Οι σιδηροδρομικές μεταφορές βρίσκονται σε φθίνουσα πορεία. Από το 1970, το μερίδιό τους στην αγορά έχει πέσει από 10 σε 6 % για την επιβατική κυκλοφορία και από 21 σε 8 % για την εμπορευματική. Τα διεθνή εμπορικά τρένα διασχίζουν την Ευρωπαϊκή Ένωση με μέση ταχύτητα μόλις 18 km/h. Το σιδηροδρομικό δίκτυο διαθέτει πλεόνασμα μεταφορικής ικανότητας, και όμως υπάρχουν σημεία συμφόρησης εκεί όπου τα επιβατικά και τα εμπορικά τρένα μοιράζονται τα ίδια τμήματα της γραμμής.
Το κυριότερο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι σιδηρόδρομοι είναι ότι δεν είναι σε θέση σήμερα να ανταγωνιστούν τις οδικές μεταφορές. Οι σιδηρόδρομοι είναι όχι μόνο πιο βραδυκίνητοι, αλλά και λιγότερο αξιόπιστοι όσον αφορά τον χρόνο παράδοσης. Τα εθνικά σιδηροδρομικά δίκτυα λειτουργούν με διαφορετικά πρότυπα και δεν έχουν κάνει και πολλά πράγματα για να ενοποιηθούν.
Οι σιδηρόδρομοι παρουσιάζουν μοναδικά πλεονεκτήματα ως ασφαλής και μη ρυπογόνος τρόπος μεταφοράς. Η υποδομή τους καλύπτει μεγάλο μέρος του εδάφους της ΕΕ και είναι εν γένει σε καλή κατάσταση. Αν κατορθώσουν να ανασυγκροτηθούν οι σιδηρόδρομοι, θα προσφέρουν πραγματική εναλλακτική λύση έναντι των κορεσμένων οδικών και αεροπορικών μεταφορών.
Η Ευρωπαϊκή Ένωση έκανε το πρώτο μεγάλο βήμα προς αυτή την κατεύθυνση τον Μάρτιο του 2003, όταν τέθηκε σε ισχύ νέα νομοθεσία, βάσει της οποίας δίνεται η δυνατότητα σε ιδιωτικούς φορείς εκμετάλλευσης σιδηροδρόμων να ανταγωνιστούν τις κρατικές σιδηροδρομικές εταιρείες στις υπηρεσίες εμπορευματικών μεταφορών. Ανταγωνισμός θα υπάρξει πρώτα σε 50.000 km των κύριων σιδηροδρομικών γραμμών, μέσω των οποίων διακινείται σιδηροδρομικώς το 70 με 80 % των εμπορευμάτων στην ΕΕ. Μέχρι το 2008, θα ακολουθήσουν και άλλες υπηρεσίες μεταφοράς εμπορευμάτων.

1.4.4. - ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΛΩΤΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

Οι πλωτές μεταφορές είναι, από πολλές απόψεις, ο φτωχός συγγενής μεταξύ των διαφόρων τρόπων μεταφοράς. Ο ευρωπαϊκός στόλος ποντοπόρων πλοίων έχει συρρικνωθεί τα τελευταία χρόνια, εξαιτίας του ανταγωνισμού από σημαίες ευκαιρίας — δηλαδή ναυτιλιακές εταιρείες που εδρεύουν σε χώρες όπου προβλέπονται

λιγότερες απαιτήσεις όσον αφορά τα πρότυπα ασφαλείας και τα προσόντα των πληρωμάτων απ' ό,τι στην Ευρωπαϊκή Ένωση.
Ωστόσο, με την άφιξη δέκα νέων μελών, ο στόλος της διευρυμένης ΕΕ ανέρχεται στο 26 % του συνόλου της παγκόσμιας εμπορικής ναυτιλίας.
Συν τοις άλλοις, το 41 % των εμπορευμάτων που μεταφέρονται εντός της ΕΕ διακινούνται με πλοίο στις λεγόμενες θαλάσσιες διαδρομές μικρών αποστάσεων, και η αναλογία αυτή εξακολουθεί να αυξάνεται. Όπως συνέβη και με τις οδικές και αεροπορικές μεταφορές, η ΕΕ έχει ανοίξει τις εθνικές ναυτιλιακές αγορές στον ανταγωνισμό από πλοία άλλων κρατών μελών.
Όσον αφορά το δίκτυο εσωτερικών πλωτών οδών, δεν χρησιμοποιούνται όλες οι δυνατότητές τους. Και όμως, είναι ασφαλές, αξιόπιστο, αθόρυβο και ενεργειακά οικονομικό: μία και μόνη φορτηγίδα μεταφέρει το ίδιο φορτίο με 110 φορτηγά. Η αυξημένη χρήση των θαλάσσιων διαδρομών μικρών αποστάσεων και των εσωτερικών πλωτών οδών θα μπορούσε να αποτελέσει εν μέρει εναλλακτική λύση.

1.5. - Η ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΕΩΣ ΤΟ ΕΤΟΣ 2010[2]

1.5.1.-ΠΛΑΙΣΙΟ

Η Ευρωπαϊκή Κοινότητα αντιμετώπισε δυσκολίες στην εφαρμογή της κοινής πολιτικής μεταφορών που προέβλεπε η συνθήκη της Ρώμης. Η συνθήκη του Maastricht ενίσχυσε λοιπόν τις πολιτικές, θεσμικές και δημοσιονομικές βάσεις εισάγοντας και την έννοια του διευρωπαϊκού δικτύου μεταφορών (ΔΔΜ).
Η πρώτη Λευκή Βίβλος της Επιτροπής για την ανάπτυξη της κοινής πολιτικής μεταφορών που δημοσιεύθηκε το 1992 έδινε έμφαση στο άνοιγμα της αγοράς μεταφορών. Δέκα χρόνια αργότερα, οι οδικές ενδομεταφορές έχουν γίνει πραγματικότητα, η εναέρια κυκλοφορία παρουσιάζει το υψηλότερο επίπεδο ασφάλειας στον κόσμο και η κινητικότητα των προσώπων από 17 km ανά ημέρα το 1970 έφθασε τα 35 km το 1998.

Με αυτά τα δεδομένα, με τα ερευνητικά προγράμματα-πλαίσιο αναπτύχθηκαν οι πλέον σύγχρονες τεχνικές για να επιτευχθούν δύο πολύ σημαντικές προκλήσεις: το διευρωπαϊκό σιδηροδρομικό δίκτυο υψηλής ταχύτητας και το πρόγραμμα δορυφορικής πλοήγησης GALILEO.
Ωστόσο, η λιγότερο ή περισσότερο γρήγορη εφαρμογή των διάφορων τρόπων μεταφοράς των κοινοτικών αποφάσεων οδηγεί σε ορισμένες δυσκολίες, οι οποίες είναι:

- η άνιση ανάπτυξη των διαφόρων τρόπων μεταφοράς. Οι οδικές μεταφορές αντιπροσωπεύουν το 44% της μεταφορών εμπορευμάτων ενώ οι σιδηροδρομικές μεταφορές το 8% και οι εσωτερικές πλωτές μεταφορές το 4%. Οι οδικές μεταφορές επιβατών αντιπροσωπεύει το 79% ενώ οι αεροπορικές το 5% και οι σιδηροδρομικές το 6% [βλ Σχήμα 4].
- η συμφόρηση σε ορισμένους μεγάλους οδικούς και σιδηροδρομικούς άξονες, στις μεγάλες πόλεις και σε μερικούς αερολιμένες
- τα περιβαλλοντικά προβλήματα ή τα προβλήματα υγείας των πολιτών και η ανασφάλεια στους δρόμους.

[2] Ευρωπαϊκή Ένωση, «Λευκή Βίβλος»

Η Λευκή Βίβλος προέβλεψε ότι «Οι τάσεις αυτές αναμένεται ότι θα επιταθούν με την οικονομική ανάπτυξη και τη διεύρυνση της Ευρωπαϊκής Ένωσης» . Γι' αυτό ανέλυσε την κατάσταση ως προς τους στόχους, τα ποσοτικά στοιχεία, τη συλλογιστική και τα προτεινόμενα μέτρα ανά μέσο (τρόπο – mode) μεταφοράς και όσον αφορά τη διατροπικότητα και τους χρήστες.

1.5.2.-ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

Α/ Οδικές μεταφορές

- **Στόχοι**: Να ενισχυθεί η ποιότητα των οδικών μεταφορών, να εφαρμοστεί καλύτερα η ήδη υπάρχουσα νομοθεσία με μία ενίσχυση των κυρώσεων και των ελέγχων.
- **Ποσοτικά στοιχεία**: Στις μεταφορές εμπορευμάτων και επιβατών , οι οδικές μεταφορές είναι ο κυρίαρχος τρόπος μεταφοράς, καθόσον απορροφά το 44% της μεταφοράς εμπορευμάτων και το 79% της μεταφοράς επιβατών. Από το 1970 έως το 2000, ο στόλος αυτοκινήτων στην Κοινότητα τριπλασιάσθηκε και από 62,5 εκατ. αυτοκίνητα έφθασε τα 175 εκατ.
- **Συλλογιστική**: Οι διεθνείς μεταφορές εμπορευμάτων είναι ένας τομέας στόχος διότι σύμφωνα με τις προβλέψεις για το 2010 θα αυξηθούν κατά 50%. Παρά την ικανότητά τους να μεταφέρουν εμπορεύματα παντού στην ΕΕ με μεγάλη ευελιξία και αποδεκτές τιμές, ορισμένες μικρές επιχειρήσεις δυσκολεύονται να διατηρήσουν την απόδοσή τους. Η συνδιαχείριση αυξάνεται ακόμα και στις μεγάλες οδικές αρτηρίες και οι οδικές μεταφορές αντιπροσωπεύουν το 84 % των εκπομπών CO_2 από τις μεταφορές.
- **Προτεινόμενα μέτρα**: Οι προτάσεις της Επιτροπής έχουν ως αντικείμενο:
  - ✓να εναρμονισθεί ο χρόνος οδήγησης σε 48 ώρες κατά μέσο όρο εβδομαδιαίως κατ' ανώτατο όριο (εξαιρουμένων των αυτοαπασχολούμενων οδηγών)
  - ✓να συγκλίνουν οι εθνικοί κανόνες όσον αφορά την απαγόρευση κυκλοφορίας των φορτηγών τα σαββατοκύριακα
  - ✓να καθιερωθεί η βεβαίωση οδηγού που θα επιτρέπει να ελέγχεται εάν υπάρχει παρατυπία στην κατάσταση απασχόλησης του οδηγού
  - ✓να αναπτυχθεί η επαγγελματική κατάρτιση
  - ✓να προωθηθεί η ομοιομορφία στη νομοθεσία για τις οδικές μεταφορές
  - ✓να εναρμονισθούν οι κυρώσεις και οι όροι ακινητοποίησης των οχημάτων
  - ✓να αυξηθεί ο αριθμός των ελέγχων
  - ✓να ενθαρρυνθεί η ανταλλαγή πληροφοριών
  - ✓να ενισχυθεί η οδική ασφάλεια για να μειωθούν κατά το ήμισυ οι θάνατοι έως το 2010
  - ✓να εξασφαλισθεί εναρμονισμένη φορολόγηση των επαγγελματικών καυσίμων στις οδικές μεταφορές και ταυτόχρονα να μειωθούν οι στρεβλώσεις του ανταγωνισμού στην ελευθερωμένη αγορά οδικών μεταφορών.

Β/ Σιδηροδρομικές μεταφορές

- -**Στόχοι**: Να ανασυγκροτηθούν οι σιδηρόδρομοι με τη δημιουργία ενός σιδηροδρομικού χώρου ολοκληρωμένου, ανταγωνιστικού και ασφαλούς και να τεθεί σε εφαρμογή ένα δίκτυο αφιερωμένο στα φορτία.
- -**Ποσοτικά στοιχεία**: Το μερίδιο των ναύλων των σιδηροδρόμων στην αγορά μεταφορών μειώθηκε από 21% το 1970 σε 8,4% το 1998, ενώ στις Ηνωμένες Πολιτείες παραμένει 40%. Παράλληλα, οι σιδηροδρομικές μεταφορές επιβατών από 217 δισεκατ. επιβάτες/km το 1970 έφθασαν τα 290 δισεκατ. το 1998. Έτσι, κάθε χρόνο κλείνουν 600km σιδηροτροχιών.
- -**Συλλογιστική**: Στη Λευκή Βίβλο διαπιστώνεται έλλειψη υποδομών προσαρμοσμένων στις σύγχρονες μεταφορές, έλλειψη διαλειτουργικότητας μεταξύ δικτύων και συστημάτων, ανεπαρκής έρευνα στις καινοτόμους τεχνολογίες και, τέλος, παροχή υπηρεσιών αβέβαιης αξιοπιστίας η οποία δεν ανταποκρίνεται στις ανάγκες των πολιτών. Η επιτυχία των νέων σιδηροδρομικών δρομολογίων υψηλής ταχύτητας επέτρεψε πάντως αξιοσημείωτη ανάπτυξη στις μεταφορές επιβατών μεγάλων αποστάσεων.
- -**Προτεινόμενα μέτρα**: Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει εγκρίνει ένα δεύτερο πακέτο με μια δέσμη από πέντε μέτρα ελευθέρωσης και τεχνικής εναρμόνισης των σιδηροδρόμων, με σκοπό να ανασυγκροτηθούν οι σιδηρόδρομοι χάρη στη γρήγορη δημιουργία ενός ευρωπαϊκού ολοκληρωμένου σιδηροδρομικού χώρου. Οι πέντε νέες προτάσεις έχουν ως αντικείμενο:
  - ✓ να αναπτυχθεί κοινή προσέγγιση για την ασφάλεια με στόχο να ολοκληρωθούν προοδευτικά τα εθνικά συστήματα ασφαλείας
  - ✓ να συμπληρωθούν τα μέτρα διαλειτουργικότητας με στόχο να διευκολυνθεί η διαμεθοριακή κυκλοφορία και να μειωθεί το κόστος στο δίκτυο υψηλής ταχύτητας
  - ✓ να δημιουργηθεί ένα αποτελεσματικό διοικητικό μέσο: η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Σιδηροδρομικής Ασφάλειας και Διαλειτουργικότητας
  - ✓ να επεκταθεί και να επιταχυνθεί το άνοιγμα της αγοράς σιδηροδρομικών εμπορευματικών μεταφορών για να ανοίξει η εθνική αγορά εμπορευματικών μεταφορών
  - ✓ την προσχώρηση στη Διακυβερνητική Οργάνωση Διεθνών Σιδηροδρομικών Μεταφορών (OTIF).
  - ✓ Αυτή η «δέσμη για τους σιδηροδρόμους» αναμένεται ότι θα συμπληρωθεί και από άλλα μέτρα που προτείνονται στη Λευκή Βίβλο τα οποία έχουν ως αντικείμενο:
  - ✓ να εξασφαλισθούν σιδηροδρομικά δρομολόγια υψηλής ποιότητας
  - ✓ να εξαλειφθούν τα εμπόδια για την είσοδο στην αγορά εμπορευματικών σιδηροδρομικών δρομολογίων
  - ✓ να βελτιωθούν οι περιβαλλοντικές επιδόσεις των σιδηροδρομικών εμπορευματικών μεταφορών
  - ✓ να αποκτήσει προοδευτικά η μεταφορά εμπορευμάτων δικό της δίκτυο σιδηροδρομικών γραμμών
  - ✓ να ανοίξει προοδευτικά η αγορά επιβατικών σιδηροδρομικών μεταφορών
  - ✓ να βελτιωθούν τα δικαιώματα των επιβατών των σιδηροδρομικών μεταφορών.

Γ/ Αεροπορικές μεταφορές

- -**Στόχοι**: Να ελεγχθεί η αύξηση των αερομεταφορών, να καταπολεμηθεί η συμφόρηση του εναερίου χώρου και να διατηρηθεί το επίπεδο ασφαλείας και παράλληλα να προστατευθεί το περιβάλλον.
- -**Ποσοτικά στοιχεία**: Το μερίδιο των αερομεταφορών στη μεταφορά επιβατών αναμένεται ότι θα διπλασιασθεί μεταξύ 1990 και 2010 φθάνοντας από 4% σε 8%. Οι αερομεταφορές ευθύνονται για το 13% των εκπομπών CO_2 που προέρχονται από τις μεταφορές. Οι καθυστερήσεις προκαλούν 6 % υπερκατανάλωση καυσίμων.
- -**Συλλογιστική**: Μια τέτοια αύξηση καθιστά υποχρεωτική μια μεταρρύθμιση στη διαχείριση του εναερίου χώρου και τη βελτίωση της αερολιμενικής χωρητικότητας στην ΕΕ. Το Eurocontrol (Διακυβερνητική Ευρωπαϊκή Οργάνωση για την Ασφάλεια της Αεροναυτιλίας) περιορίζεται από το σύστημα συναινετικής λήψης αποφάσεων.
- -**Προτεινόμενα μέτρα**: Η δημιουργία του ενιαίου ευρωπαϊκού ουρανού αποτελεί μια από τις προτεραιότητες σήμερα χάρη στα εξής μέτρα:
  - ✓ ρυθμιστικό πλαίσιο βασισμένο σε κοινούς κανόνες χρήσης του εναερίου χώρου
  - ✓ κοινή πολιτική / στρατιωτική διαχείριση της εναέριας κυκλοφορίας
  - ✓ διάλογο με τους κοινωνικούς εταίρους για να συναφθούν συμφωνίες μεταξύ των ενδιαφερομένων οργανώσεων
  - ✓ συνεργασία με το Eurocontrol
  - ✓ σύστημα επιτήρησης, επιθεώρησης και κυρώσεων για να εξασφαλισθεί αποτελεσματική εφαρμογή των κανόνων.
  - ✓ Πέραν των μέτρων αναδιάρθρωσης του εναερίου χώρου, η Επιτροπή επιθυμεί να εναρμονίσει το τεχνικό επίπεδο των ελεγκτών με τη δημιουργία της κοινοτικής αδείας ελεγκτού εναέριας κυκλοφορίας.
  - ✓ Παράλληλα με τη δημιουργία του ενιαίου ουρανού, η αποτελεσματικότερη χρήση της αερολιμενικής χωρητικότητας εξαρτάται από τη δημιουργία ενός νέου ρυθμιστικού πλαισίου που θα αφορά:
  - ✓ την τροποποίηση κατανομής του διαθέσιμου χρόνου χρήσης. Η αερολιμενική διάθεση χρόνου χρήσης είναι το δικαίωμα απογείωσης ή προσγείωσης μια συγκεκριμένη ώρα σε έναν αερολιμένα. Προς το σκοπό αυτό, η Επιτροπή θα προτείνει νέους κανόνες
  - ✓ τροποποίηση των αερολιμενικών τελών για να ενθαρρυνθεί η συγκέντρωση των πτήσεων κατά τη διάρκεια της ημέρας
  - ✓ περιβαλλοντικούς κανόνες για να περιορισθούν οι επιβλαβείς συνέπειες στο περιβάλλον. Οι αερομεταφορές πρέπει να αντιμετωπίσουν προβλήματα όπως οι ηχητικές οχλήσεις που προκαλούνται από την κυκλοφορία. Η ΕΕ πρέπει να λάβει υπόψη τις διεθνείς δεσμεύσεις στο πλαίσιο της ΔΟΠΑ (Διεθνής Οργάνωση Πολιτικής Αεροπορίας). Στο θέμα αυτό, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε πρόταση οδηγίας που θα επιτρέψει στους ευρωπαϊκούς αερολιμένες να απαγορεύουν τα πιο θορυβώδη αεροσκάφη. Η ΔΟΠΑ πρέπει επίσης να λάβει συγκεκριμένα μέτρα έως το 2002 σε ό,τι αφορά τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Εξετάζεται επίσης η φορολόγηση της κηροζίνης και η δυνατότητα εφαρμογής του ΦΠΑ στα αεροπορικά εισιτήρια

- ✓ τη διατροπικότητα με τους σιδηροδρόμους που θα επιτρέψει την αλληλοσυμπλήρωση αυτών των δύο τρόπων μεταφοράς, ιδίως κάθε φορά που μία εναλλακτική λύση των σιδηροδρόμων υψηλής ταχύτητας παρουσιάζεται
- ✓ τη δημιουργία μιας Ευρωπαϊκής Αρχής Ασφάλειας στην Αεροπορία (EASA) με σκοπό να διατηρηθεί το υψηλό επίπεδο ασφαλείας
- ✓ την προώθηση των δικαιωμάτων των επιβατών, συμπεριλαμβανομένων και των αποζημιώσεων σε περίπτωση καθυστέρησης ή άρνησης επιβίβασης .

Δ/ Θαλάσσιες και ποτάμιες μεταφορές

- -**Στόχοι**: Να αναπτυχθούν υποδομές, να απλουστευθεί το ρυθμιστικό πλαίσιο με τη δημιουργία κοινών θυρίδων και να ενσωματωθούν κοινωνικοί κανόνες έτσι ώστε να δημιουργηθούν πραγματικές θαλάσσιες αρτηρίες.
- -**Ποσοτικά στοιχεία**: Σε σύγκριση με τις αρχές της δεκαετίας του '80, η ΕΕ έχασε το 40% του δυναμικού των ναυτικών της. Έως το 2006, η Ένωση αναμένεται ότι θα έχει έλλειψη περίπου 36.000 ναυτικών. Οι θαλάσσιες μεταφορές όμως αντιπροσωπεύουν το 70 % του συνόλου των συναλλαγών μεταξύ Κοινότητας και υπολοίπου του κόσμου. Από τους ευρωπαϊκούς λιμένες διέρχονται κάθε χρόνο περίπου 2 δισεκατ. τόνοι διαφόρων ειδών εμπορεύματα.
- -**Συλλογιστική**: Οι θαλάσσιες και οι εσωτερικές πλωτές μεταφορές αποτελούν πραγματική εναλλακτική ανταγωνιστική λύση μαζί με τις χερσαίες μεταφορές. Πρόκειται για αξιόπιστες, οικονομικές, λίγο ρυπογόνες και θορυβώδεις μεταφορές. Ωστόσο, δεν χρησιμοποιούνται ικανοποιητικά, ιδίως οι ποτάμιες που θα μπορούσαν να τύχουν μεγαλύτερης εκμετάλλευσης. Υπάρχουν λοιπόν ακόμη ορισμένα εμπόδια στις υποδομές, όπως είναι τα σημεία συμφόρησης, οι ακατάλληλες διαστάσεις, το ύψος των γεφυρών, η λειτουργία των βυθοφραγμάτων, η έλλειψη εξοπλισμού μεταφόρτωσης, κ.α.
- -**Προτεινόμενα μέτρα**: Οι θαλάσσιες και οι ποτάμιες μεταφορές αποτελούν βασικό στοιχείο που χάρη στην διατροπικότητα, επιτρέπουν ιδίως την αποφυγή των σημείων συμφόρησης μεταξύ Γαλλίας και Ισπανίας στα Πυρηναία ή μεταξύ Ιταλίας και του υπόλοιπου της Ευρώπης στις Άλπεις, καθώς και μεταξύ Γαλλίας και Ηνωμένου Βασιλείου και μελλοντικά μεταξύ Γερμανίας και Πολωνίας. Η Επιτροπή πρότεινε ένα νέο νομοθετικό πλαίσιο που έχει ως αντικείμενο:
  - ✓ να θεσπισθούν νέοι σαφέστεροι κανόνες στους τομείς της πλοήγησης, της συντήρησης, της φορτοεκφόρτωσης, κ.α.
  - ✓ να απλουστευθούν οι κανόνες λειτουργίας των λιμένων και να συγκεντρωθούν όλοι οι παράγοντες της αλυσίδας εφοδιαστικής (φορτωτές, εφοπλιστές, μεταφορείς, κ.α.) σε ένα ενιαίο κέντρο πληροφοριών.
  - ✓ Στις ποτάμιες μεταφορές οι στόχοι είναι:
  - ✓ να εξαλειφθούν τα σημεία συμφόρησης,
  - ✓ να γίνουν ομοιόμορφες οι τεχνικές προδιαγραφές,
  - ✓ να εναρμονισθούν τα πιστοποιητικά πλοήγησης και οι όροι όσον αφορά το χρόνο ανάπαυσης,
  - ✓ να δημιουργηθούν συστήματα υποβοήθησης της πλοήγησης.

Ε/ Διατροπικότητα (χρήση πολλών τρόπων μεταφοράς)

- ✓ -**Στόχοι**: Να αποκατασταθεί ισορροπία μεταξύ των διαφόρων τρόπων μεταφοράς με μια βολονταριστική πολιτική που θα υποστηρίξει τη διατροπικότητα και την προώθηση των σιδηροδρομικών, θαλάσσιων και ποτάμιων μεταφορών. Εν προκειμένω, κύριο ρόλο θα διαδραματίσει το κοινοτικό πρόγραμμα στήριξης « Marco Polo » που αντικαθιστά το πρόγραμμα PACT (πρόγραμμα πιλοτικών δράσεων στις συνδυασμένες μεταφορές).
- ✓ -**Ποσοτικά στοιχεία**: Το πρόγραμμα PACT, το οποίο καταρτίσθηκε το 1992, οδήγησε στην υλοποίηση 167 συγκεκριμένων έργων μεταξύ 1992 και 2000. Το νέο πρόγραμμα διατροπικότητας «Marco Polo» διαθέτει έναν προϋπολογισμό 115 εκατ. ευρώ για την περίοδο 2003-2007.
- ✓ -**Συλλογιστική**: Η ισορροπία μεταξύ τρόπων μεταφοράς πάσχει από την έλλειψη στενής σύνδεσης μεταξύ θάλασσας, πλωτών οδών και σιδηροδρόμων.
- ✓ -**Προτεινόμενα μέτρα**: Το «Marco Polo» είναι ανοικτό σε όλες τις σχετικές προτάσεις με σκοπό να διοχετευθούν τα εμπορεύματα από τις οδικές μεταφορές προς άλλους τρόπους μεταφοράς πιο συμβατών με το περιβάλλον. Η πρόκληση είναι η διατροπικότητα να γίνει πραγματικότητα ανταγωνιστική και οικονομικά βιώσιμη, ιδίως με την προώθηση των θαλάσσιων αρτηριών.

ΣΤ/ Σημεία συμφόρησης και διευρωπαϊκό δίκτυο

- ➢ -**Στόχοι**: Να κατασκευασθούν οι μεγάλες υποδομές που προβλέπονται στο πρόγραμμα των διευρωπαϊκών δικτύων (ΔΔΜ) που ορίστηκαν με τους προσανατολισμούς του 1996 καθώς και τα μεγάλα επιλεγμένα προγράμματα από το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο του Essen το 1994 σε 14.
- ➢ -**Ποσοτικά στοιχεία**: Από τα δέκα τέσσερα έργα προτεραιότητας του Essen που επελέγησαν, τρία έχουν ολοκληρωθεί σήμερα και έξι άλλα, τα οποία είναι υπό κατασκευή, αναμένεται ότι θα περατωθούν έως το 2005.
- ➢ -**Συλλογιστική**: Οι καθυστερήσεις στα διευρωπαϊκά δίκτυα οφείλονται στην έλλειψη χρηματοδότησης. Για τις διελεύσεις από τις Άλπεις, οι οποίες απαιτούν την κατασκευή μεγάλων σηράγγων, είναι δύσκολο να συγκεντρωθούν τα κεφάλαια για την κατασκευή τους. Η Επιτροπή προτείνει να ολοκληρωθεί ιδίως το ταχύ σιδηροδρομικό δίκτυο για τους επιβάτες, το οποίο περιλαμβάνει τις γραμμές υψηλής ταχύτητας και τα συστήματα που επιτρέπουν τη διασύνδεσή τους με τους αερολιμένες και τη διέλευση από τα Πυρηναία με σιδηροδρόμους μεγάλης μεταφορικής ικανότητας.
- ➢ -**Προτεινόμενα μέτρα**: Η Επιτροπή προτείνει να αναθεωρηθούν οι κατευθύνσεις για το διευρωπαϊκό δίκτυο μεταφορών σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, το 2001, αναθεωρήθηκαν τα ΔΔΜ που είχαν καθορισθεί στο Essen για την εξάλειψη των σημείων συμφόρησης στους μεγάλους άξονες. Το δεύτερο στάδιο, που προβλέπεται για το 2004, θα έχει ως αντικείμενο τις θαλάσσιες αρτηρίες, την αερολιμενική χωρητικότητα και τους πανευρωπαϊκούς διαδρόμους με τις υποψήφιες προς ένταξη χώρες. Η Επιτροπή μελετά τη δυνατότητα εισαγωγής της έννοιας «δήλωση

ευρωπαϊκού ενδιαφέροντος» όταν μια υποδομή θεωρείται στρατηγική για την ορθή λειτουργίας της εσωτερικής αγοράς.
Τα έργα προτεραιότητας είναι τα εξής:

- ✓ να περατωθούν οι διελεύσεις από τις Άλπεις για λόγους ασφαλείας και μεταφορικής ικανότητας
- ✓ να εξασφαλισθεί η διέλευση των Πυρηναίων και συγκεκριμένα η σιδηροδρομική σύνδεση Βαρκελώνης-Perpignan
- ✓ να αρχίσουν νέα έργα προτεραιότητας, όπως η γραμμή TGV/συνδυασμένων μεταφορών Στουτγάρδης-Μονάχου-Salsbourg/Linz-Βιέννης, Fehmarn που συνδέει τη Δανία με τη Γερμανία, η βελτίωση της πλοϊμότητας του Δούναβη μεταξύ Straubing-Vilshofen, το έργο ραδιοπλοήγησης Galileo, το δίκτυο TGV στην Ιβηρική Χερσόνησο και η προσθήκη της σιδηροδρομικής γραμμής Βερόνας- Νάπολης και Μπολόνια - Μιλάνου με επέκταση του TGV του ευρωπαϊκού νότου προς Nimes
- ✓ να ενισχυθεί η ασφάλεια στις σήραγγες με την εναρμόνιση των κανονισμών ειδικής ασφάλειας τόσο για τα σιδηροδρομικά τούνελ όσο και για οδικά τούνελ.
- ✓ Όσον αφορά τη χρηματοδότηση και τις τεχνικές ρυθμίσεις, η Επιτροπή προτείνει:
- ✓ τροποποίηση των κανόνων χρηματοδότησης του διευρωπαϊκού δικτύου με αύξηση του μέγιστου ποσοστού της κοινοτικής χρηματοδότησης σε 20%. Αυτό το ποσοστό χρηματοδότησης εφαρμόζεται στα διαμεθοριακά σιδηροδρομικά έργα που διέρχονται από φυσικά εμπόδια, οροσειρές ή λωρίδες θάλασσας, καθώς και στα προγράμματα που αφορούν τις διαμεθοριακές περιοχές με τις υποψήφιες χώρες
- ✓ η διαμόρφωση κοινοτικού πλαισίου που θα επιτρέψει να χρηματοδοτηθούν ιδίως σιδηροδρομικά έργα με την επιβολή τελών στις ανταγωνιστικές διαδρομές
- ✓ μια οδηγία που θα επιτρέψει να εξασφαλισθεί διατροπικότητα των συστημάτων διοδίων στο διευρωπαϊκό οδικό δίκτυο.

Ζ/ Χρήστες

- -**Στόχοι**: Να τεθούν οι χρήστες στο επίκεντρο της πολιτικής μεταφορών, δηλαδή, να καταπολεμηθούν τα ατυχήματα, να εναρμονισθούν οι κυρώσεις και να ευνοηθεί η ανάπτυξη ασφαλέστερων και λιγότερο ρυπογόνων τεχνολογιών.
- -**Ποσοτικά στοιχεία**: Το 2000, τα οδικά ατυχήματα προκάλεσαν το θάνατο σε περισσότερα από 40.000 άτομα. Ένα στα τρία άτομα θα τραυματισθεί στη διάρκεια της ζωής του σε ατύχημα. Το συνολικό κόστος των ατυχημάτων αντιπροσωπεύει το 2% του ΑΕΠ.
- -**Συλλογιστική**: Το πρώτο θέμα που απασχολεί τους χρήστες μεταφορών είναι η ανασφάλεια στους δρόμους. Ωστόσο, τα χρηματοδοτικά μέσα δεν ανταποκρίνονται στη σοβαρότητα της κατάστασης. Όσον αφορά την επιβολή τελών, οι χρήστες έχουν δικαίωμα να γνωρίζουν τι πληρώνουν και γιατί το πληρώνουν. Το ιδεώδες θα ήταν το κόστος χρήσης των υποδομών να είναι το άθροισμα των εξόδων συντήρησης και εκμετάλλευσης και των εξωτερικών

εξόδων, όπως είναι τα ατυχήματα, η ρύπανση, ο θόρυβος και η συμφόρηση. Τέλος, η έλλειψη εναρμονισμένης φορολόγησης των καυσίμων φαίνεται ως ακόμη ένα εμπόδιο στην ορθή λειτουργία της εσωτερικής αγοράς.

- -**Προτεινόμενα μέτρα**: Όσον αφορά την οδική ασφάλεια, η Επιτροπή προτείνει:
  - ✓ ένα νέο πρόγραμμα δράσης για την οδική ασφάλεια για την περίοδο 2002-2010 με σκοπό να μειωθεί κατά το ήμισυ ο αριθμός θανάτων στις οδικές μεταφορές
  - ✓ να εναρμονισθούν οι κυρώσεις, η σηματοδότηση και τα ποσοστά αλκολαιμίας
  - ✓ να εφαρμοσθούν νέες τεχνολογίες, όπως η ηλεκτρονική άδεια οδήγησης, τους περιοριστές ταχύτητας των αυτοκινήτων και τα έξυπνα συστήματα μεταφοράς στο πλαίσιο της e-Europe. Στο συγκεκριμένο θέμα η πρόοδος που σημειώνεται αφορά την προστασία των επιβατών των αυτοκινήτων, την ενίσχυση της προστασίας των πεζών και των ποδηλατών και την καλύτερη διαχείριση της ταχύτητας.
  - ✓ Όσον αφορά την επιβολή τελών χρήσης των υποδομών, η Επιτροπή προτείνει:
  - ✓ μια οδηγία-πλαίσιο για τη χρέωση της χρήσης των υποδομών και τη διάρθρωση των τελών, η οποία περιλαμβάνει κοινή μεθοδολογία τιμολόγησης του εξωτερικού και εσωτερικού κόστους και αποσκοπούν στη δημιουργία ισότιμου ανταγωνισμού μεταξύ τρόπων μεταφοράς.
    α) Στις οδικές μεταφορές, τα τέλη θα διαμορφώνονται ανάλογα με τις περιβαλλοντικές επιδόσεις των οχημάτων (εκπομπές αερίων και θορύβου), τον τύπο της χρησιμοποιούμενης υποδομής (αυτοκινητόδρομοι, εθνικές και αστικές οδοί), τη διανυόμενη απόσταση, το βάρος και το επίπεδο συμφόρησης.
    β) Στις σιδηροδρομικές μεταφορές, τα τέλη θα διαμορφώνονται ανάλογα με την έλλειψη μεταφορικής ικανότητας των υποδομών και τις περιβαλλοντικές οχλήσεις.
    γ) Στις θαλάσσιες μεταφορές, τα προτεινόμενα μέτρα συνδέονται με την ασφάλεια στη ναυτιλία.
  - ✓ μια οδηγία για τη διατροπικότητα των συστημάτων διοδίων που εφαρμόζονται στο διευρωπαϊκό δίκτυο μεταφορών.
  - ✓ Όσον αφορά τη φορολόγηση των καυσίμων, η Επιτροπή προτείνει:
  - ✓ τον διαχωρισμό της φορολόγησης των καυσίμων επαγγελματικής χρήσης από εκείνη των καυσίμων ιδιωτικής χρήσης (οδηγία για τους ειδικούς φόρους κατανάλωσης)
  - ✓ τον ορισμό μίας εναρμονισμένη φορολόγηση για τα καύσιμα επαγγελματικής χρήσης.

Άλλα μέτρα αφορούν τη βελτίωση της διατροπικότητας με την καθιέρωση των μηχανών έκδοσης εισιτηρίων και την καλύτερη διαχείριση των αποσκευών.

2.- Ο ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΟΣ ΩΣ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

Ο σιδηρόδρομος αποτελεί ένα χερσαίο μέσο μαζικής μεταφοράς. Κινείται ηλεκτρικά ή μηχανικά μέσω χαλύβδινων τροχών σε αποκλειστικά δικό του διάδρομο κυκλοφορίας που ορίζεται από δύο παράλληλες μεταξύ τους σιδηροτροχιές.

Εξυπηρετεί μετακινήσεις όλων των αποστάσεων και σε οποιοδήποτε περιβάλλον (αστικό, προαστιακό, περιαστικό, περιφερειακό, υπεραστικό).

Ως μέσο μεταφοράς ορίζεται από τρεις συνιστώσες:
- τη σιδηροδρομική υποδομή,
- το τροχαίο υλικό,
- την εκμετάλλευση.

Με τον όρο *σιδηροδρομική υποδομή* νοείται η σιδηροδρομική οδός μεταφοράς ή αλλιώς σιδηροδρομική γραμμή και το σύνολο των τεχνικών έργων και εγκαταστάσεων που εξασφαλίζουν την κυκλοφορία των συρμών (Διάγραμμα 1).

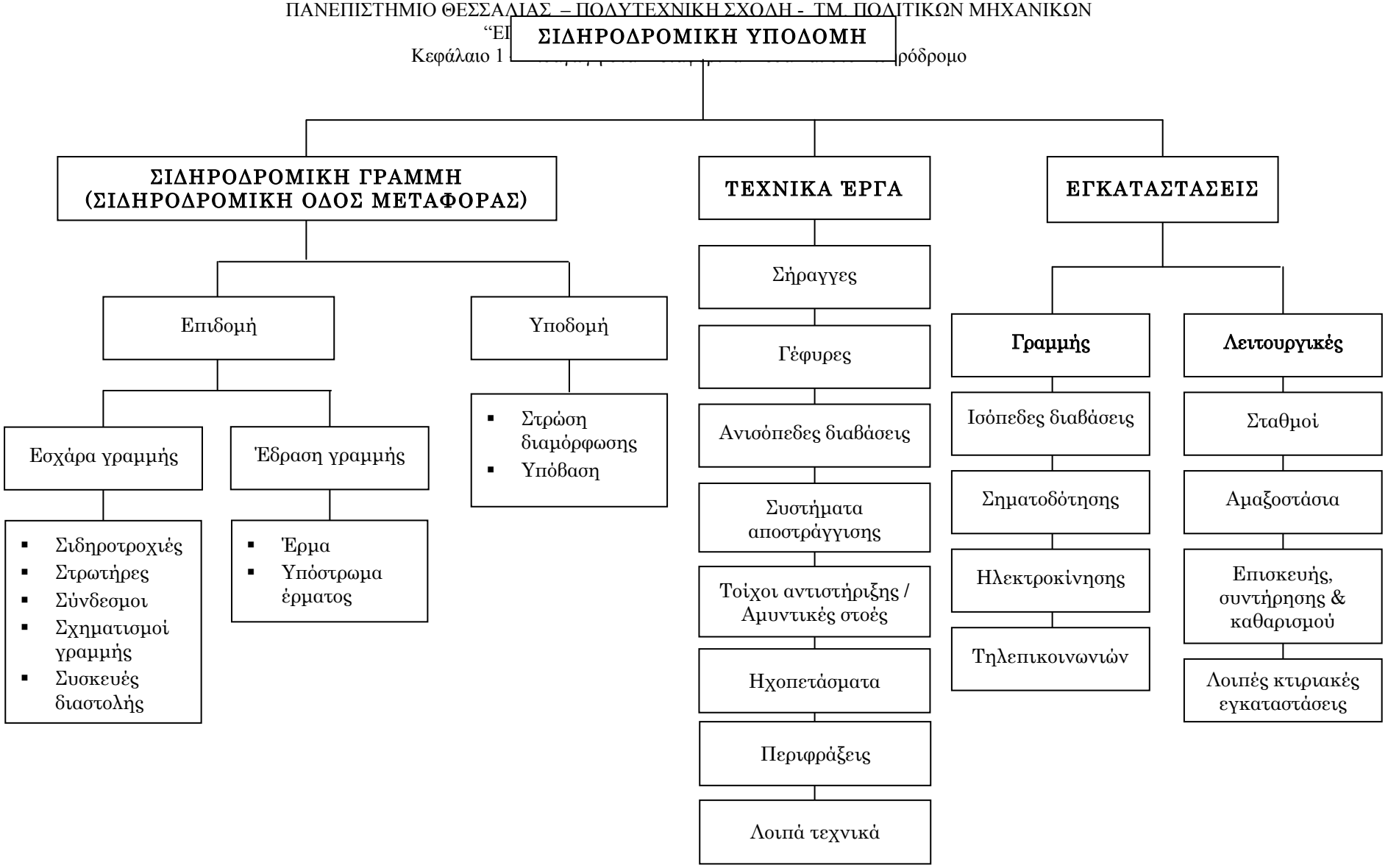
Η *σιδηροδρομική γραμμή* αποτελείται από μια σειρά στοιχείων και υλικών διαφορετικών ελαστικοτήτων που μεταφέρουν τα στατικά και δυναμικά φορτία της κυκλοφορίας στο έδαφος θεμελίωσης. Περιλαμβάνει διαδοχικά από πάνω προς τα κάτω (Σχήμα 1) τις σιδηροτροχιές, τους στρωτήρες, το έρμα, το υπόστρωμα του έρματος, τη στρώση διαμόρφωσης και το έδαφος θεμελίωσης ή υπόβαση. Οι σιδηροτροχιές τοποθετούνται επί των στρωτήρων μέσω ελαστικών υποθεμάτων και συνδέονται με αυτούς με τη βοήθεια ειδικών διατάξεων (συνδέσμων) [Σχήμα 2].

Σιδηροτροχιές, στρωτήρες, σύνδεσμοι, ελαστικά υποθέματα, έρμα και υπόστρωμα έρματος αποτελούν την «επιδομή» της γραμμής, ενώ υπόβαση και στρώση διαμόρφωσης αποτελούν την «υποδομή» της γραμμής.

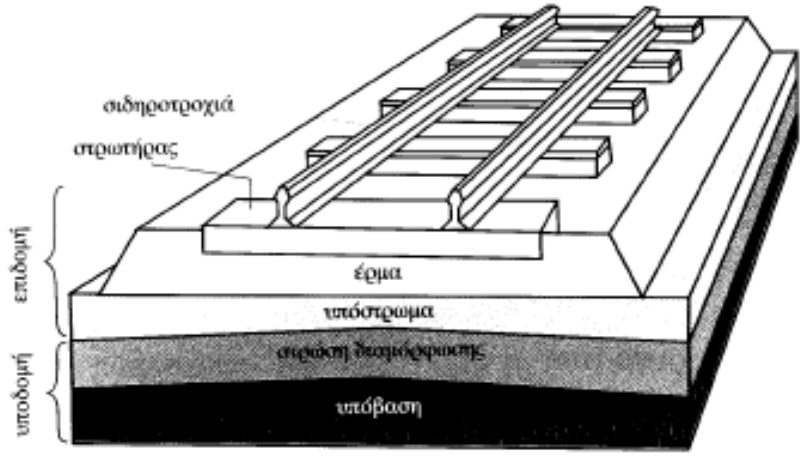
Το ανώτερο τμήμα της επιδομής που περιλαμβάνει τις σιδηροτροχιές, τους στρωτήρες, τους συνδέσμους και τα υλικά σύνδεσης σιδηροτροχιών – στρωτήρων καλείται «εσχάρα γραμμής».

Το κατώτερο τμήμα της επιδομής που περιλαμβάνει το έρμα και τις υποκείμενες στρώσεις του, καλείται «έδραση» της γραμμής.

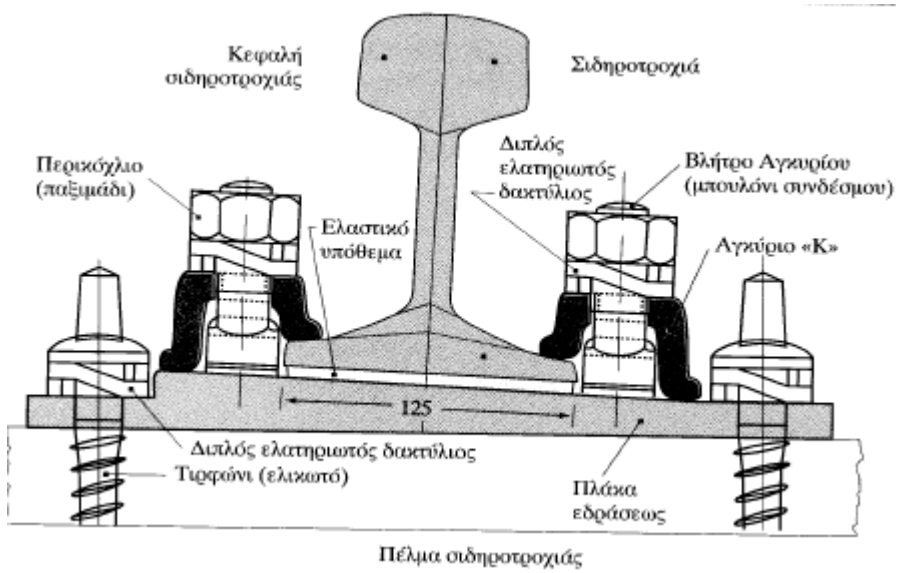
Στα *τεχνικά έργα* συγκαταλέγονται οι σήραγγες και τα υπόγεια τμήματα γραμμής κατασκευασμένα με τη μέθοδο «cut and cover», οι γέφυρες, οι ανισόπεδες διαβάσεις, τα συστήματα αποστράγγισης (στραγγιστήρια, ανοικτές τάφροι), οι τοίχοι και τα έργα αντιστήριξης των εδαφών, οι αμυντικές στοές, οι οχετοί, τα ηχοπετάσματα, οι περιφράξεις κλπ.



Διάγραμμα 1 [Πυργίδης, 2006]: Σιδηροδρομική Υποδομή – Οργανωτικό Σχήμα Λειτουργιών και Αρμοδιοτήτων



Σχήμα 1 [Γιαννακός 2002]: Τυπική διατομή σιδηροδρομικής γραμμής



Σχήμα 2 [Γιαννακός 2002]: Σύνδεση σιδηροτροχιάς – στρωτήρα

Οι εγκαταστάσεις διακρίνονται σε:

- εγκαταστάσεις γραμμής στις οποίες περιλαμβάνονται οι ισόπεδες σιδηροδρομικές διαβάσεις και οι εγκαταστάσεις ηλεκτροκίνησης, σηματοδότησης και τηλεπικοινωνιών
- λειτουργικές εγκαταστάσεις στις οποίες περιλαμβάνονται οι σταθμοί, τα «εργοστάσια» επισκευής και συντήρησης οχημάτων, τα αμαξοστάσια, οι εγκαταστάσεις καθαρισμού οχημάτων και οι λοιπές κτιριακές εγκαταστάσεις (κτίρια διοίκησης, αποθηκευτικοί χώροι κλπ.)

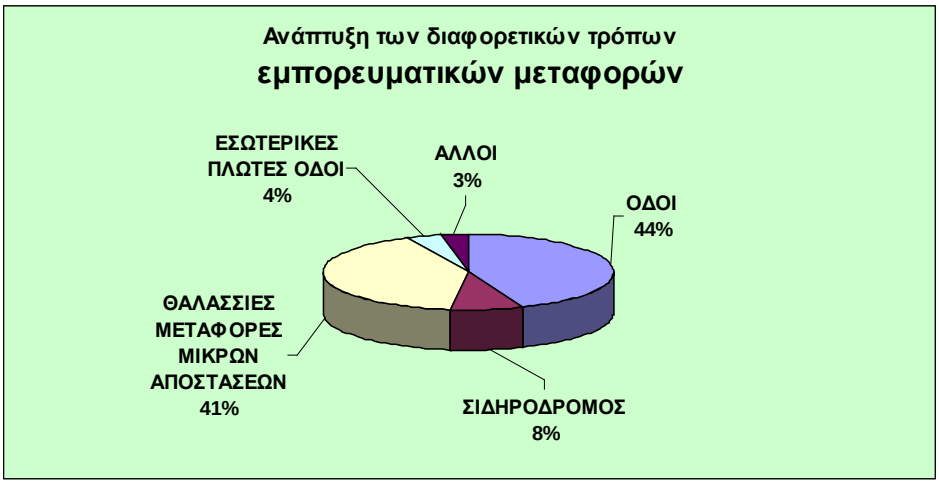
Με τον όρο *σιδηροδρομικό τροχαίο υλικό* νοούνται όλα τα οχήματα, έλκοντα και ελκόμενα, που κινούνται πάνω στις σιδηροτροχιές.

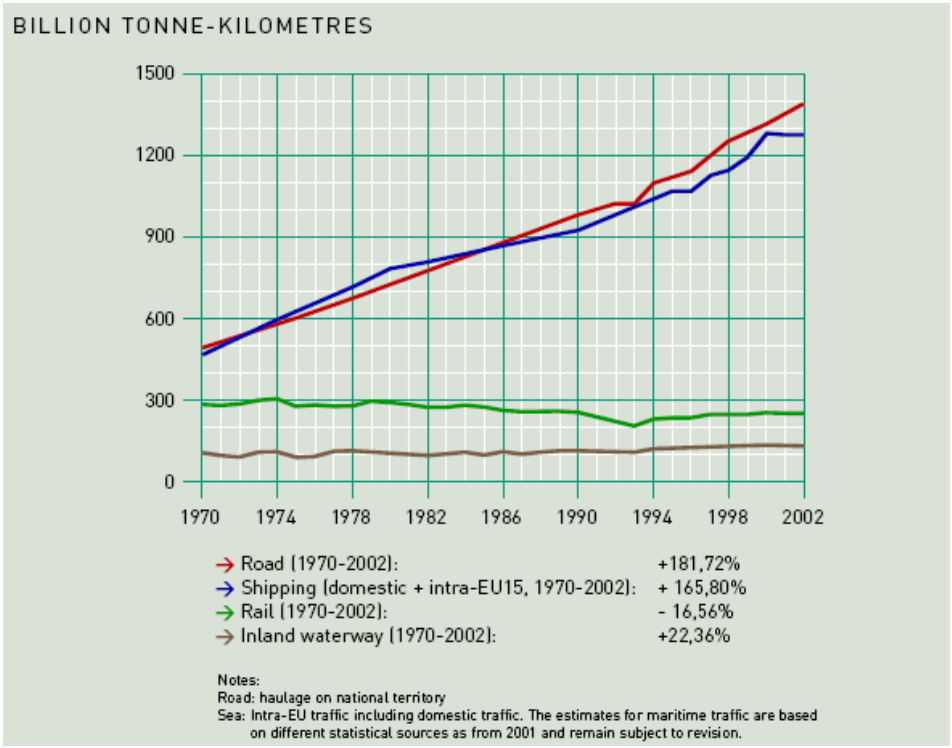
Τα έλκοντα οχήματα διαθέτουν αυτόνομη κίνηση, είναι δηλαδή εφοδιασμένα με κινητήρες. Τα οχήματα αυτά ή εξυπηρετούν αποκλειστικά την έλξη των

ελκόμενων οχημάτων και ονομάζονται «κινητήρια οχήματα» (ή συρμοκινητήρες), ή επιτρέπουν συγχρόνως και τη μεταφορά περιορισμένου σχετικά αριθμού επιβατών και ονομάζονται «αυτοκινητάμαξες».

Ανάλογα με την πηγή ενέργειας με την οποία κινούνται κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες: ατμάμαξες, ντηζελάμαξες, αεριοστροβιλάμαξες, ηλεκτράμαξες.

Τα ελκόμενα (ή φερόμενα) οχήματα δε διαθέτουν αυτόνομη έλξη. Εξυπηρετούν τη μεταφορά προσώπων ή αγαθών. Διακρίνονται σε επιβατικά και εμπορικά οχήματα.





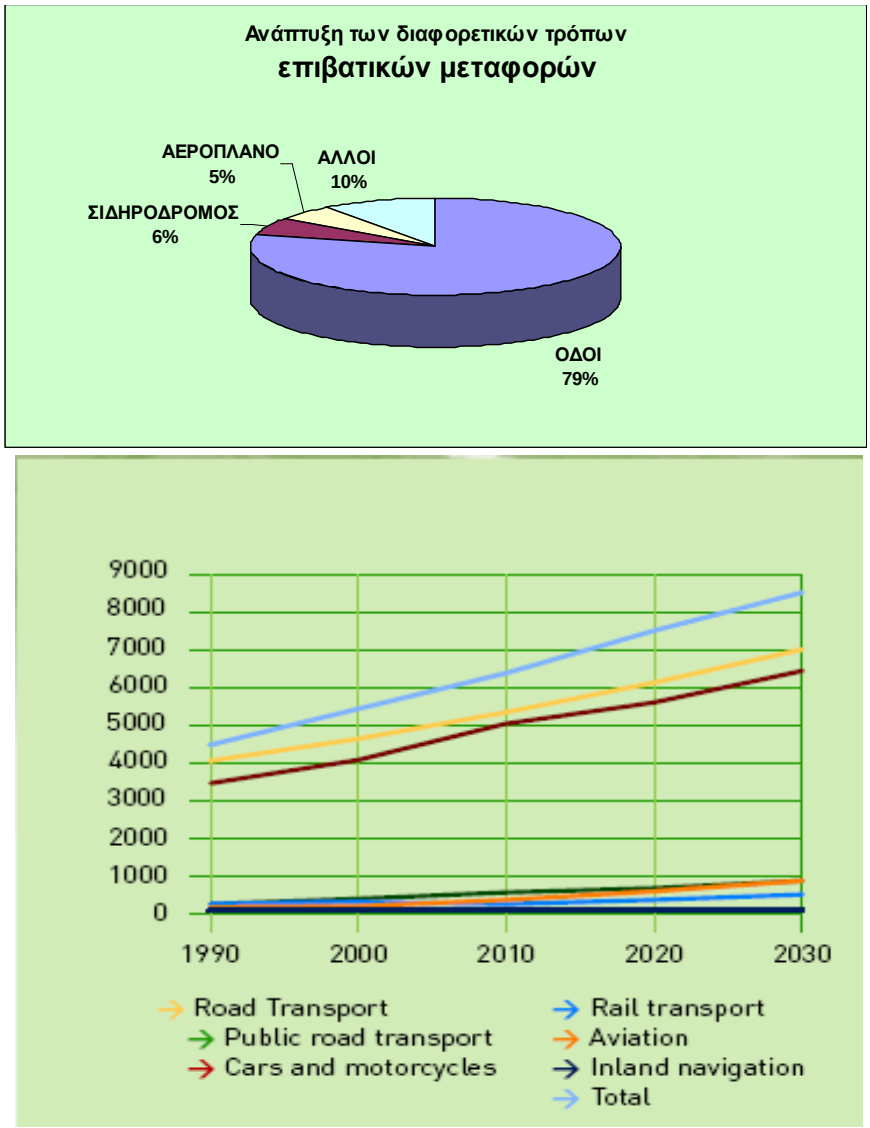
Σχήμα 3 [Γιαννακός 2004]: (άνω) Μερίδιο της αγοράς των εμπορευματικών μεταφορών για τα διάφορα μέσα μεταφοράς (κάτω) εξέλιξη των εμπορευματικών μεταφορών σε δισεκατομμύρια τοννοχιλιόμετρα.

Κάθε σιδηροδρομικό όχημα, ελκόμενο ή κινητήριο, αποτελείται από τρία βασικά μέρη:

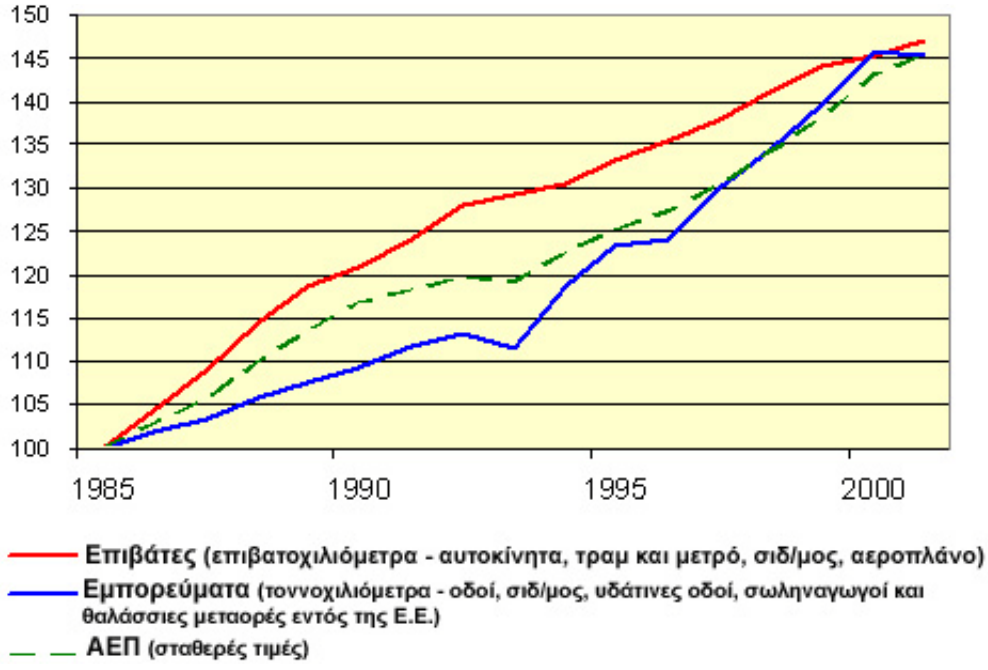
- το αμάξωμα (ή κιβώτιο)
- τα φορεία
- τους άξονες.

Με τον όρο *σιδηροδρομική εκμετάλλευση* νοείται το σύνολο των δραστηριοτήτων μέσω των οποίων μια σιδηροδρομική επιχείρηση εξασφαλίζει την κυκλοφορία του τροχαίου υλικού που διαθέτει, στη σιδηροδρομική υποδομή.

3. ΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΤΟΝ 21^{Ο} ΑΙΩΝΑ



Σχήμα 4 [Γιαννακός 2004]: (άνω) μερίδιο της αγοράς επιβατικών μεταφορών των διαφόρων Μέσων Μεταφοράς (κάτω) εξέλιξη των επιβατικών μεταφορών ανά μέσο μεταφοράς



Σχήμα 5 [Γιαννακός 2004]: (άνω) πρόβλεψη εξέλιξης των μεταφορών 1985-2010 (1985=100[3]) και κάτω παρατηρηθείσα εξέλιξη των μεταφορών σε σχέση με το ΑΕΠ

[3] Πηγή: EU energy and transport in figures – statistical pocketbook; ΛΕΥΚΗ ΒΙΒΛΟ "Ευρωπαϊκή Πολιτική Μεταφορών με Ορίζοντα το Έτος 2010: η ώρα των επιλογών " (12.9.01)

Το τελευταίο μισό του 20ου αιώνα, μετά τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, χαρακτηρίσθηκε από έντονη μείωση του μεριδίου της αγοράς μεταφορών, το οποίο κατέχει ο σιδηρόδρομος. Σε απόλυτες τιμές (χιλιομετρικούς τόνους και χιλιομετρικούς επιβάτες) το σιδηροδρομικό έργο αυξήθηκε λίγο, όμως ποσοστιαία η συμμετοχή του σιδηροδρόμου στο συνολικό μεταφορικό έργο μειώθηκε, δεδομένου ότι, η αύξηση του συνολικού μεταφορικού έργου ήταν πολύ μεγάλη. Ο σιδηρόδρομος, ο οποίος στις αρχές του αιώνα, ήταν το πρωτοποριακό μεταφορικό μέσο το οποίο ανταποκρινόταν πλήρως στις ανάγκες και στις συνθήκες της εποχής, ξεπεράστηκε από τα γεγονότα και βρέθηκε σε μειονεκτική θέση σε σχέση με τα υπόλοιπα μεταφορικά μέσα και ιδιαίτερα με τους ανταγωνιστές του στις χερσαίες μεταφορές.

Η αύξηση των εμπορευματικών και επιβατικών μεταφορών που σημειώθηκε στην Κοινότητα δεν ήταν η ίδια για όλους τους τύπους μεταφοράς. Όπως εμφανίζεται στο Σχήμα 3[4], οι οδικές μεταφορές αντιπροσωπεύουν πλέον το 44% των μεταφορών εμπορευμάτων έναντι 41% των θαλάσσιων μεταφορών μικρών αποστάσεων, 8% των σιδηροδρόμων και 4% των εσωτερικών πλωτών μεταφορών.
Η κυριαρχία των οδικών μεταφορών είναι ακόμη πιο εμφανής στον τομέα των μεταφορών επιβατών (Σχήμα 4), όπου κατέχουν μερίδιο της τάξης του 79% της αγοράς, ενώ οι αεροπορικές μεταφορές, με ποσοστό 5%, αναμένεται σύντομα να ξεπεράσουν τους σιδηροδρόμους που αντιπροσωπεύουν ένα 6%. Οι σιδηροδρομικές μεταφορές εμπορευμάτων (8%) να τείνουν να περιθωριοποιηθούν, με τη μέση ταχύτητα ενός διεθνούς συρμού στην Ευρώπη να ανέρχεται σε 18 χιλιομέτρα/ώρα. Σαν παράδειγμα προς μίμηση θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, όπου το 40 % των μεταφορών εμπορευμάτων διεξάγεται μέσω των σιδηροδρόμων.

Αναγκαία είναι η επίτευξη της ισορροπίας μεταξύ των διαφόρων τρόπων μεταφορών, στο επίκεντρο της στρατηγικής για την αειφόρο ανάπτυξη[5].

Κατά τον 21^{ο} αιώνα το πλαίσιο διεξαγωγής των σιδηροδρομικών μεταφορών θα καθορισθεί από τις μεγάλες δομικές αλλαγές που πρέπει και θα συντελεσθούν σε πέντε τομείς:

1.- Τη δημιουργία συνεκτικών Διευρωπαϊκών Δικτύων που θα καλύπτουν όλη την Ευρώπη και θα εξασφαλίζουν διαλειτουργικότητα.
2.- Την προώθηση του σιδηροδρόμου ως "κορμού" ενός δικτύου συνδυασμένων μεταφορών στην Ευρώπη.
3.- Την αναδιοργάνωση – αναδιάταξη των σιδηροδρομικών υπηρεσιών με κεντρικό άξονα το διαχωρισμό μεταξύ Υποδομής – Εκμετάλλευσης.
4.- Την εξυγίανση των οικονομικών των σιδηροδρομικών επιχειρήσεων.

[4] στοιχεία από την ΛΕΥΚΗ ΒΙΒΛΟ "Ευρωπαϊκή Πολιτική Μεταφορών με Ορίζοντα το Έτος 2010: η ώρα των επιλογών " (12.9.01)

[5] Τον συγκεκριμένο στόχο, εισήγαγε η συνθήκη του Άμστερνταμ και επιβεβαιώθηκε και με απόφαση του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου του Göteborg

5.-Τη δημιουργία σιδηροδρομικών αξόνων (πολύ) μεγάλων ταχυτήτων (υψηλών ταχυτήτων).

4.- ΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

Οι κύριοι παράγοντες για το εξωτερικό κόστος των μεταφορών (external costs of transport) είναι τα ατυχήματα, η συμφόρηση, η μόλυνση της ατμόσφαιρας, ο θόρυβος, και οι κλιματικές αλλαγές.

Στην Λευκή Βίβλο[6] γίνεται εκτενής αναφορά στην ανάγκη ενσωμάτωσης του εξωτερικού κόστους στο κόστος των μεταφορών, με επιβάρυνση του κάθε μεταφορικού μέσου σύμφωνα με την επιβάρυνση που αυτό προξενεί. Ακολουθούν αποσπάσματα από την Λευκή Βίβλο, που καταδεικνύουν την έμφαση που δίδει η Κοινότητα στην ενσωμάτωση του εξωτερικού κόστους στο κόστος των μεταφορών:

«**Καθιέρωση μιας αποτελεσματικής πολιτικής τιμολόγησης των μεταφορών**
Είναι γενικά παραδεκτό ότι οι τρόποι μεταφορών δεν αντισταθμίζουν πάντοτε το κόστος τους. Η κατάσταση διαφέρει σε μεγάλο βαθμό μεταξύ των διαφόρων κρατών και τρόπων μεταφορών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δυσλειτουργία της εσωτερικής αγοράς και τη στρέβλωση του ανταγωνισμού στους κόλπους του συστήματος των μεταφορών. Δεν υφίστανται, εξ αυτού, πραγματικά κίνητρα για χρήση των λιγότερο ρυπαντικών τρόπων ή των λιγότερο επιβαρημένων δικτύων.
Η Λευκή Βίβλος εισηγείται τις ακόλουθες κατευθυντήριες γραμμές:

- την εναρμόνιση της φορολόγησης των καυσίμων επαγγελματικής χρήσης, ιδίως για **τις οδικές μεταφορές.**
- **την προσέγγιση των αρχών τιμολόγησης για τη χρήση των υποδομών.**
- **Η συνεκτίμηση του εξωτερικού κόστους** πρέπει επίσης να ενθαρρύνει τη χρήση των τρόπων μεταφορών που έχουν τις λιγότερο δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον και να παρέχει δυνατότητα επενδύσεων, με τα έσοδα που εισπράττονται κατ' αυτό τον τρόπο, σε νέες υποδομές, όπως προτείνει το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, στην έκθεση Costa.

Οι ισχύοντες κοινοτικοί κανόνες, για παράδειγμα η οδηγία αριθ. 62/99 για το σύστημα «Eurovignette», πρέπει να αντικατασταθούν από ένα σύγχρονο πλαίσιο συστημάτων τιμολόγησης της χρήσης των υποδομών προκειμένου να ενισχύσουν τέτοιου είδους προόδους, διασφαλίζοντας παράλληλα τον δίκαιο ανταγωνισμό των τρόπων μεταφορών και την αποτελεσματικότερη τιμολόγηση, και επιτρέποντας τη διατήρηση της ποιότητας των υπηρεσιών.

Μια τέτοια μεταρρύθμιση απαιτεί την ίση μεταχείριση των φορέων εκμετάλλευσης και των τρόπων μεταφορών. Είτε πρόκειται για αερολιμένες, λιμάνια, οδικά δίκτυα, σιδηροδρομικές γραμμές ή πλωτές οδούς, η τιμή για τη

[6] White Paper "European transport policy for 2010: time to decide", COM(2001)370, 12.9.2001

χρήση των εν λόγω υποδομών θα έπρεπε, με βάση την ίδια αρχή, να διαφέρει ανάλογα με την κατηγορία των χρησιμοποιούμενων υποδομών, την περίοδο της ημέρας, την απόσταση, το μέγεθος και το βάρος του οχήματος, καθώς και κάθε άλλο παράγοντα που συντείνει στη συμφόρηση ή στην υποβάθμιση των υποδομών ή του περιβάλλοντος.

Σε αρκετές περιπτώσεις, η ενσωμάτωση του εξωτερικού κόστους θα καταστήσει δυνατή την αποδέσμευση ενός πλεονάσματος εσόδων σε σχέση με τα απαιτούμενα για την κάλυψη του κόστους των χρησιμοποιούμενων υποδομών. Για την άντληση του μεγαλύτερου δυνατού οφέλους για τον τομέα των μεταφορών, θα είναι ιδιαίτερα σημαντικό να διατεθούν τα διαθέσιμα έσοδα σε ειδικά εθνικά ή περιφερειακά ταμεία με στόχο τη χρηματοδότηση μέτρων για τη μείωση ή την αποζημίωση του εξωτερικού κόστους (διπλό όφελος). Προτεραιότητα πρέπει να δοθεί στην κατασκευή υποδομών, οι οποίες θα ενθαρρύνουν τη διατροπικότητα, παρέχοντας κατ' αυτό τον τρόπο μια εναλλακτική λύση φιλικότερη προς το περιβάλλον.

Σε ορισμένες ευπαθείς ζώνες, το πλεόνασμα των προσόδων μπορεί να μην επαρκεί, όταν πρέπει, για παράδειγμα, να κατασκευαστούν οι απαιτούμενες υποδομές ώστε να καταστεί εφικτή η διέλευση των φυσικών εμποδίων. Η νέα υποδομή, λοιπόν, θα πρέπει να μπορεί να υλοποιηθεί, με την βοήθεια «εσόδων» ήδη πριν προκύψουν τα πρώτα έσοδα εκμετάλλευσης. Με άλλα λόγια, τα διόδια ή το τέλος χρήσης εφαρμόζονται στο σύνολο μιας ζώνης προκειμένου να χρηματοδοτήσουν μια μελλοντική υποδομή.

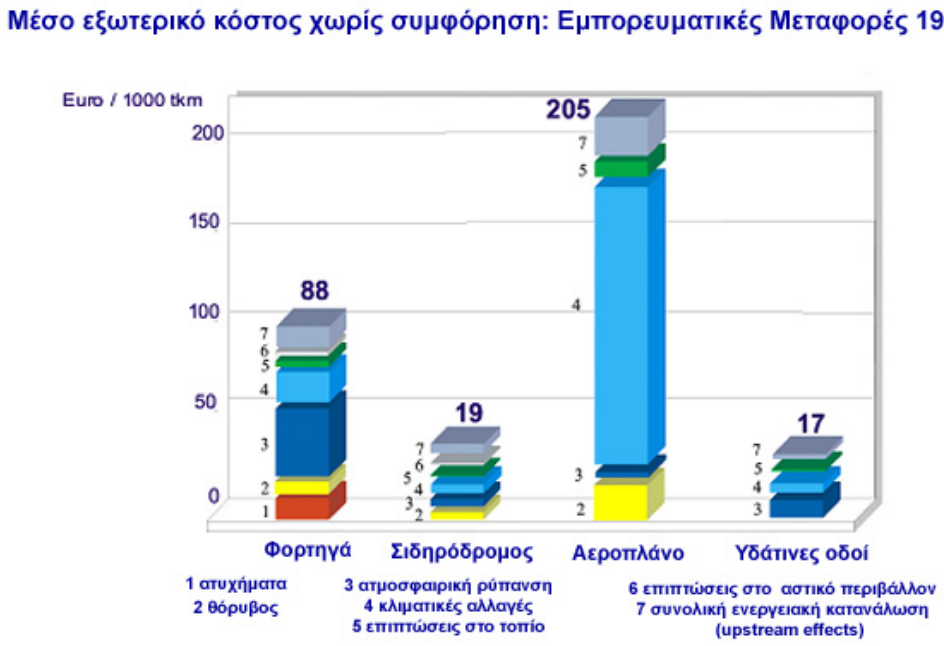
Πρέπει επίσης να εξεταστεί η ανισότητα που παρατηρείται στη φορολογία της ενέργειας που χρησιμοποιούν οι διάφοροι τρόποι, λόγου χάρη μεταξύ του σιδηροδρόμου και του αεροπλάνου, και η οποία μπορεί να προκαλέσει στρέβλωση του ανταγωνισμού σε ορισμένα δρομολόγια που εξυπηρετούνται και από τους δύο αυτούς τρόπους μεταφορών.»[7]

Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο του Goteborg υπενθύμισε εξάλλου ότι *«η αειφόρος πολιτική μεταφορών πρέπει να ενθαρρύνει τον πλήρη εσωτερικό καταλογισμό του κοινωνικού και περιβαλλοντικού κόστους και ότι απαιτείται δράση για σημαντική αποσύζευξη της αύξησης των μεταφορών από την αύξηση του ΑΕΠ, ιδίως με μετατόπιση από τις οδικές στις σιδηροδρομικές και τις πλωτές μεταφορές καθώς και στις δημόσιες συγκοινωνίες».* **Η δράση της Κοινότητας θα πρέπει λοιπόν να στοχεύει στη σταδιακή αντικατάσταση της ισχύουσας φορολογίας του συστήματος των μεταφορών με αποτελεσματικότερα μέτρα για την ενσωμάτωση του κόστους των υποδομών και του εξωτερικού κόστους.** Τα μέσα για την επίτευξη του στόχου αυτού είναι αφενός η χρέωση της χρήσης των υποδομών, η οποία θα συμβάλει ιδιαίτερα αποτελεσματικά στη ρύθμιση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και στη μείωση των λοιπών περιβαλλοντικών οχλήσεων και, αφετέρου, η φορολογία των καυσίμων, η οποία αποτελεί πρόσφορο μέσο για τον έλεγχο των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Η εφαρμογή των δύο αυτών μέσων, που στοχεύουν στο μεγαλύτερο διαχωρισμό και την καλύτερη προσαρμογή της φορολογίας και των δικαιωμάτων χρήσης, πρέπει να συντονιστεί, καθώς το πρώτο συμπληρώνεται από το δεύτερο[8].

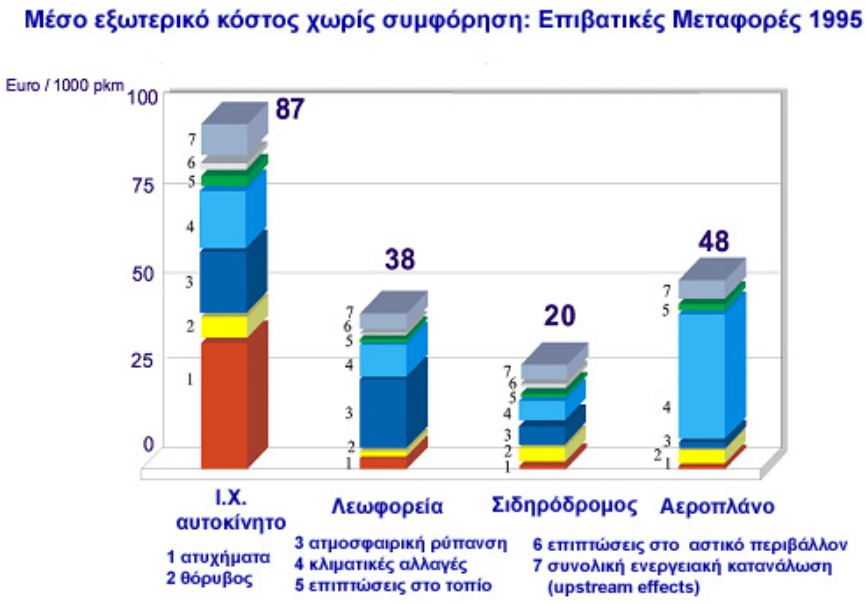
[7] ΛΕΥΚΗ ΒΙΒΛΟΣ «Η ευρωπαϊκή πολιτική μεταφορών με ορίζοντα το έτος 2010: η ώρα των επιλογών» COM(2001) 370, 12.09.2001, σελ. 18

[8] ΛΕΥΚΗ ΒΙΒΛΟΣ «Η ευρωπαϊκή πολιτική μεταφορών με ορίζοντα το έτος 2010: η ώρα των επιλογών» COM(2001) 370, 12.09.2001, σελ. 88

«Η βασική αρχή της τιμολόγησης της χρήσης των υποδομών είναι ότι το κόστος χρήσης μιας υποδομής μεταφορών πρέπει να περιλαμβάνει το κόστος της υποδομής καθώς επίσης και το εξωτερικό κόστος που συνεπάγονται ενδεχόμενα ατυχήματα, η ατμοσφαιρική ρύπανση, ο θόρυβος και η κυκλοφοριακή συμφόρηση.

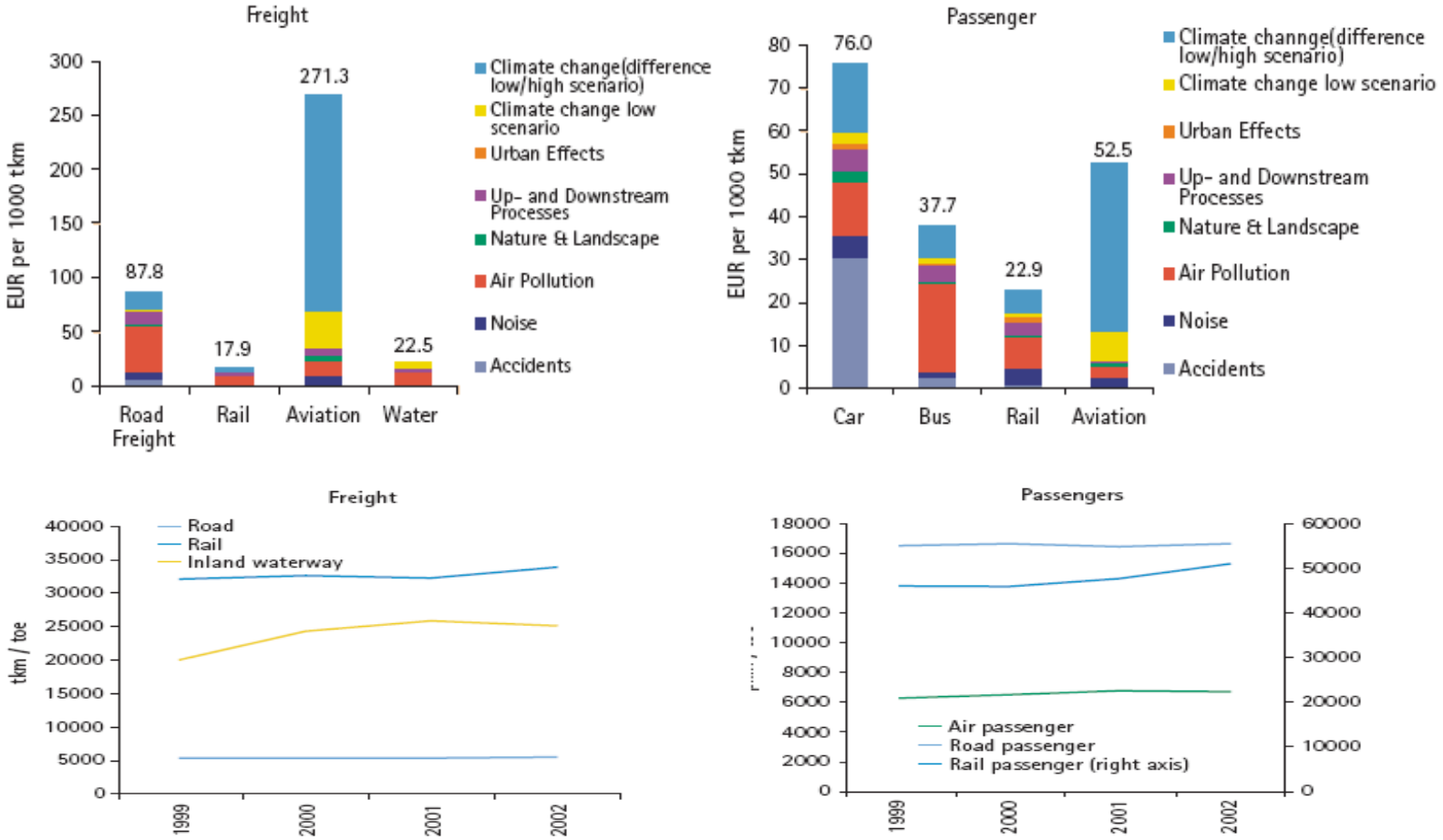


Σχήμα 6α [Γιαννακός 2004]: Μέσο εξωτερικό κόστος χωρίς συμφόρηση – Εμπορευματικές Μεταφορές 1995 [Πηγή: INFRAS/IWW 3/2000[9]]



Σχήμα 6β [Γιαννακός 2004]: Μέσο εξωτερικό κόστος χωρίς συμφόρηση – Επιβατικές Μεταφορές 1995 [Πηγή: INFRAS/IWW 3/2000]

[9] IWW/Infras, "External Costs of Transport, Accident, Environmental and Congestion Costs in Western Europe", 2000



Σχήμα 6γ [Γιαννακός 2004]: (άνω) Μέσο εξωτερικό κόστος (κάτω) κατανάλωση ενέργειας

Η αρχή αυτή βρίσκει εφαρμογή σε σχέση με κάθε τρόπο μεταφορών και με κάθε κατηγορία χρηστών, συμπεριλαμβανομένων τόσο των ιδιωτικών αυτοκινήτων όσο και των επαγγελματικών οχημάτων»[10].

5.- ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ: ΟΙ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΟΙ ΩΣ ΚΟΡΜΟΣ ΤΟΥ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ[11]

5.1. Γενικά

Οι οδικές - σιδηροδρομικές και σιδηροδρομικές - μέσω ποταμών μεταφορές συχνά θεωρούνται πανάκεια. Οι Συνδυασμένες Μεταφορές μπορούν να συνδυάσουν τις δυνατότητες διαφορετικών μορφών μεταφοράς με μια ιδανική μέθοδο, που ουσιαστικά αυτόματα αναθέτει τον κατάλληλο ρόλο σε κάθε μορφή. Σιδηρόδρομος και φορτηγίδες για μεταφορές μεγάλων αποστάσεων, οδική μεταφορά για τοπική διανομή. Οι διαφορετικοί τρόποι μεταφοράς συνδέονται με τυποποιημένες μονάδες για συνδυασμένες μεταφορές (εμπορευματοκιβώτια, swap bodies, trailers) και συγκεκριμένες τεχνικές διαμετακόμισης.
Ο σιδηρόδρομος έχει προφανώς μόνο να κερδίσει από την ανάπτυξη των συνδυασμένων μεταφορών και πρέπει γενικά να πρωτοστατήσει στην ανάπτυξή τους. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, δεδομένου ότι και τα προγράμματα ανάπτυξης της σιδηροδρομικής υποδομής εξαρτώνται από τις ακριβείς προβλέψεις του όγκου των εμπορευμάτων που υπολογίζεται ότι θα μεταφερθούν μέσω των νέων μεταφορικών συνδέσμων. Αυτό ισχύει για τις σιδηροδρομικές γραμμές καθώς και για τους τερματικούς σταθμούς, τα βαγόνια και τις σιδηροδρομικές μηχανές.
Στο μέλλον σημαντικό ρόλο προβλέπεται να διαδραματίσει και η συνδυασμένη μεταφορά με συνδυασμό σιδηροδρόμου και αεροπλάνου, και επομένως θα πρέπει ν' αναπτυχθούν οι κατάλληλες υποδομές για την διευκόλυνση του τρόπου αυτού της μεταφοράς[12].

---

[10] ΛΕΥΚΗ ΒΙΒΛΟΣ «Η ευρωπαϊκή πολιτική μεταφορών με ορίζοντα το έτος 2010: η ώρα των επιλογών» COM(2001) 370, 12.09.2001, σελ. 88

[11] Γιαννακός Κωνσταντίνος, "Η διαλειτουργικότητα στον σιδηρόδρομο: ένα μοντέλο ανάπτυξης για τη ΝΛ. Ευρώπη", Διδακτορική διατριβή στο Α.Π.Θ., 2000

[12] Η Επιτροπή εγκαινίασε την πρωτοβουλία RAIFF (Rail Air Intermodality Facilitation Forum) προκειμένου να υποκινήσει διάλογο για τους τρόπους ανάπτυξης συνδυασμένης χρήσης σιδηροδρόμου, συγκεκριμένα υπηρεσιών υψηλών ταχυτήτων, και αεροπορίας.
Προκειμένου να καθοριστούν οι επιθυμητές βελτιώσεις προτεραιότητας, η Επιτροπή έχει αποταθεί στους επαγγελματίες της βιομηχανίας: αεροπορικές εταιρείες (Air France, KLM, Lufthansa), τις σιδηροδρομικές επιχειρήσεις (DB, Eurostar, SBB/CFF, SNCF, Thalys), αεροπορικές επιχειρήσεις (Παρίσι, Βρυξέλλες, Φρανκφούρτη, Schiphol, Λιέγη), παγκόσμια συστήματα διανομής (Amadeus, Galileo, Worldspan), αεροπορικούς (ACI, ATAG/IATA, Eurocontrol, OAG), και σιδηροδρομικούς επαγγελματικούς φορείς (UIC), άλλους επαγγελματίες από τους εμπλεκόμενους τομείς (UITP,….).
Στο πλαίσιο της RAIFF , από το Σεπτέμβριο 2003 έως Ιούνιο 2004, αυτοί οι επαγγελματίες, προσπάθησαν, με τεχνική στήριξη από την Επιτροπή, να δώσουν απαντήσεις σε ερωτήματα όπως:

- Τι πρέπει να γίνει ώστε τα αεροπορικά-σιδηροδρομικά ταξίδια να μπορούν να οργανώνονται και να πωλούνται από το καθολικό σύστημα πωλήσεων: παγκόσμια συστήματα διανομής, πύλες διαδικτύου, ταξιδιωτικά πρακτορεία, δίκτυα διανομής των επιχειρήσεων;
- Τί πρέπει να γίνει ώστε πράκτορες ταξιδίων και επιβάτες να έχουν άμεση πρόσβαση στις δυνατότητες αέρος-σιδηροδρόμου;

5.2. ΠΡΟΣ ΕΝΑ ΔΙΚΤΥΟ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΩΝ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ[13]

Η ποιότητα προσφοράς ενός συστήματος μεταφοράς μπορεί να συνοψισθεί σε τέσσερα στοιχεία:

- Την ταχύτητα (άποψη πελατείας, χρόνος διαδρομής που προτείνεται)
- Την συχνότητα δρομολογίων
- Την χωρητικότητα της γραμμής και
- Την τιμή

Με την λογική αυτή προκύπτει αμέσως ότι η βέλτιστη χρήση των σιδηροδρόμων υψηλής ταχύτητας είναι η σύνδεση των σημαντικών πόλεων που απέχουν αρκετές εκατοντάδες χιλιόμετρα η μία από την άλλη, αν είναι δυνατό, χωρίς ενδιάμεση στάση.
Κατά τον ανταγωνισμό μεταξύ των σιδηροδρόμων υψηλών ταχυτήτων αφ' ενός και του αυτοκινήτου και του αεροπλάνου, αφ' ετέρου, ο σιδηρόδρομος υψηλών ταχυτήτων - σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες – αποτέλεσε το μέσον προσέλκυσης νέας πελατείας κυρίως προερχόμενης από τις αεροπορικές μεταφορές[14]. Οι μεταφορές με συρμούς υψηλών ταχυτήτων μπορούν ν' ανταγωνισθούν αποτελεσματικά τις αεροπορικές μεταφορές σε μεσαίες αποστάσεις καθώς είναι φθηνότερες, προσφέρουν μεγαλύτερη άνεση και είναι και ταχύτερες. Ο χρόνος διαδρομής προς το αεροδρόμιο, ο χρόνος ελέγχου (check in και check out) θα πρέπει να συνυπολογισθεί στον συνολικό χρόνο ταξιδιού. Όλα τα αεροδρόμια είναι συνήθως στην περιφέρεια των πόλεων και για την πρόσβαση σε αυτά απαιτείται ένας σημαντικός χρόνος. Οι σταθμοί των τρένων είναι συνήθως σε κεντρικές περιοχές των πόλεων, και ως εκ τούτου ευκολότερα προσβάσιμοι.

Ένα ευρωπαϊκό δίκτυο υψηλών ταχυτήτων δεν μπορεί να θεωρηθεί μόνο στα μέτρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης αλλά πρέπει να προβλέψει την ολοκλήρωση του συνόλου των χωρών της Ηπείρου, λαμβάνοντας υπόψη την διαδικασία ομογενοποίησης και ολοκλήρωσής της που προκύπτει από τις πρόσφατες εξελίξεις της πολιτικής. Αυτό το Πανευρωπαϊκό δίκτυο θα αποτελέσει ένα ισχυρό συνεκτικό και δομικό στοιχείο μιας Ευρώπης χωρίς σύνορα και ένα ουσιαστικό παράγοντα για την οικονομική και κοινωνική συνοχή της Ευρώπης.

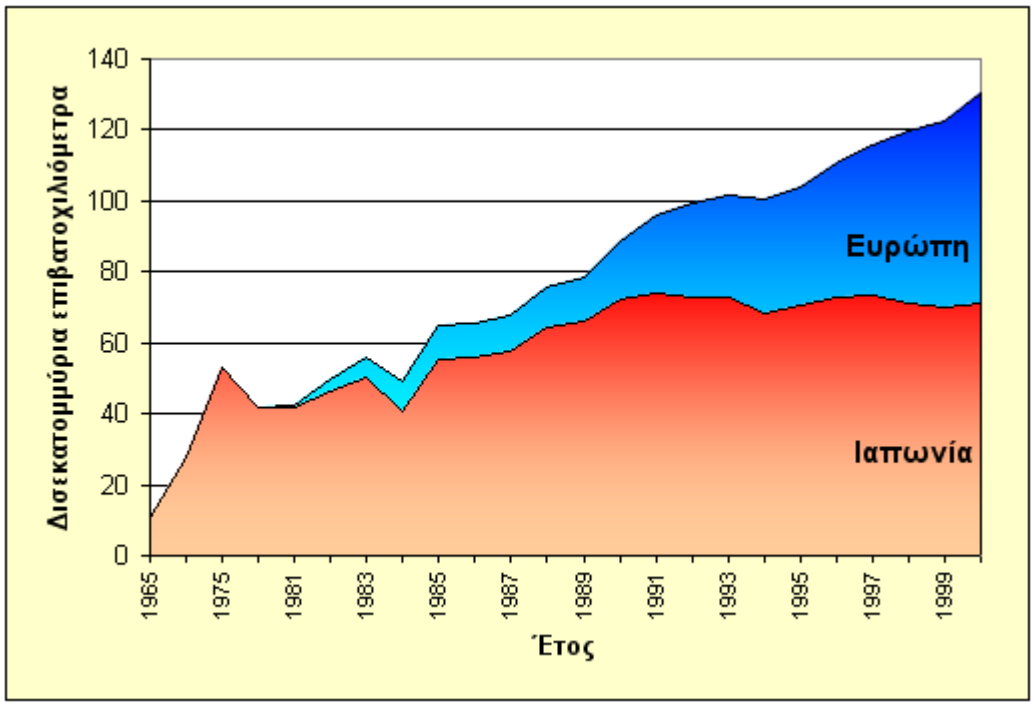
Το μελλοντικό δίκτυο υψηλών ταχυτήτων στην Ευρώπη (βλ. Σχήματα 13 έως 15) θα συνδέει τα μεγάλα αστικά κέντρα σε ανταγωνιστικούς των αεροπλάνων χρόνους για αποστάσεις έως 1500 km. Οι νέες γενιές των τρένων υψηλών

- Πώς να γίνει το ταξίδι όσο το δυνατό πιο ενιαίο για τον επιβάτη: αυτοματοποιημένο check in και, check in εξ αποστάσεως, διαχείριση αποσκευών, τυποποίηση πληροφοριών, …;
- Πώς να προστατευθούν οι επιβάτες σε περίπτωση προβλήματος, τουλάχιστον τόσο καλά όπως εάν θα ταξίδευαν μόνο με αεροπλάνο ή συρμός;
- Πώς να παρακινηθούν σιδηροδρομικές και αεροπορικές επιχειρήσεις να αναπτύξουν αεροπορικά-σιδηροδρομικά προϊόντα;…..
- Πώς θα μπορούσε η Ευρωπαϊκή Ένωση να συνεισφέρει στην πραγματοποίηση αυτών των προτάσεων: οικονομική ενίσχυση, προσαρμογή του νομικού πλαισίου, …;

[13] Γιαννακός Κωνσταντίνος, "Η διαλειτουργικότητα στον σιδηρόδρομο: ένα μοντέλο ανάπτυξης για τη ΝΛ. Ευρώπη", Διδακτορική διατριβή στο Α.Π.Θ., 2000, σελ. 87
[14] όπως παραπάνω σελ. 23.

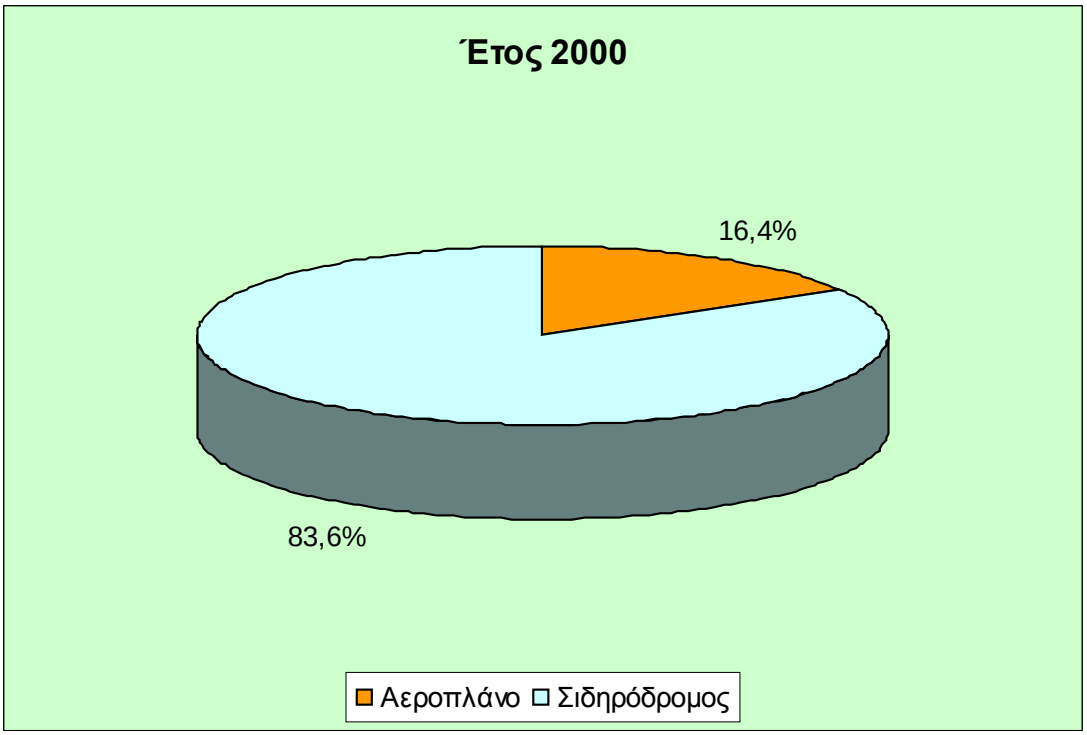
ταχυτήτων θα επιτρέψουν ταχύτητες των 350 km/h, ενώ ήδη κατασκευάζονται γραμμές για τέτοιες ταχύτητες (Μαδρίτη – Βαρκελώνη). Τα σχήματα 6[15] και 7[16] απεικονίζουν την μεγάλη επιτυχία που σημειώνει η παροχή υπηρεσιών μεταφοράς επιβατών με συρμούς υψηλών ταχυτήτων.

Θα πρέπει να εξασφαλισθεί η διαλειτουργικότητα στη σιδηροδρομική μεταφορά, π.χ. από το Μόναχο στη Θεσσαλονίκη, με μεγάλη ταχύτητα, χωρίς καθυστερήσεις για αλλαγές ελκτικών μονάδων ή γενικότερα τροχαίου υλικού μεταξύ των διαφόρων κρατών σε χρόνους που θα ανταποκρίνονται στις ανάγκες των πολιτών της Ευρώπης του αιώνα που διατρέχουμε. Οι καθυστερήσεις που οφείλονται σε τεχνικούς λόγους (π.χ. ασυμβατότητα σηματοδότησης) αλλά και λόγους διοικητικούς (π.χ. αστυνομικοί έλεγχοι στα σύνορα) θα πρέπει όχι απλά να ελαχιστοποιηθούν, αλλά να μηδενισθούν. Μόνο με τον τρόπο αυτό θα αποκτήσει ο σιδηρόδρομος ανταγωνιστικότητα για τις αποστάσεις που αναφέρονται παραπάνω σε σχέση με τα άλλα μέσα μεταφοράς. Τα διευρωπαϊκά δίκτυα που θα δημιουργηθούν έτσι, με αυτά τα χαρακτηριστικά, θα καλύπτουν όλη την Ευρώπη, θα πρέπει να είναι συνεκτικά και να λειτουργούν, αν είναι δυνατό, ως ενοποιημένο δίκτυο. Τα διευρωπαϊκά δίκτυα αυτά πρέπει να αφορούν σε καθορισμένους «σιδηροδρομικούς διαδρόμους» υψηλών ταχυτήτων που θα συνδέουν τις σημαντικότερες πόλεις / πρωτεύουσες των χωρών της Ευρώπης και θα αποτελούν τον κύριο κορμό του σιδηροδρομικού δικτύου.

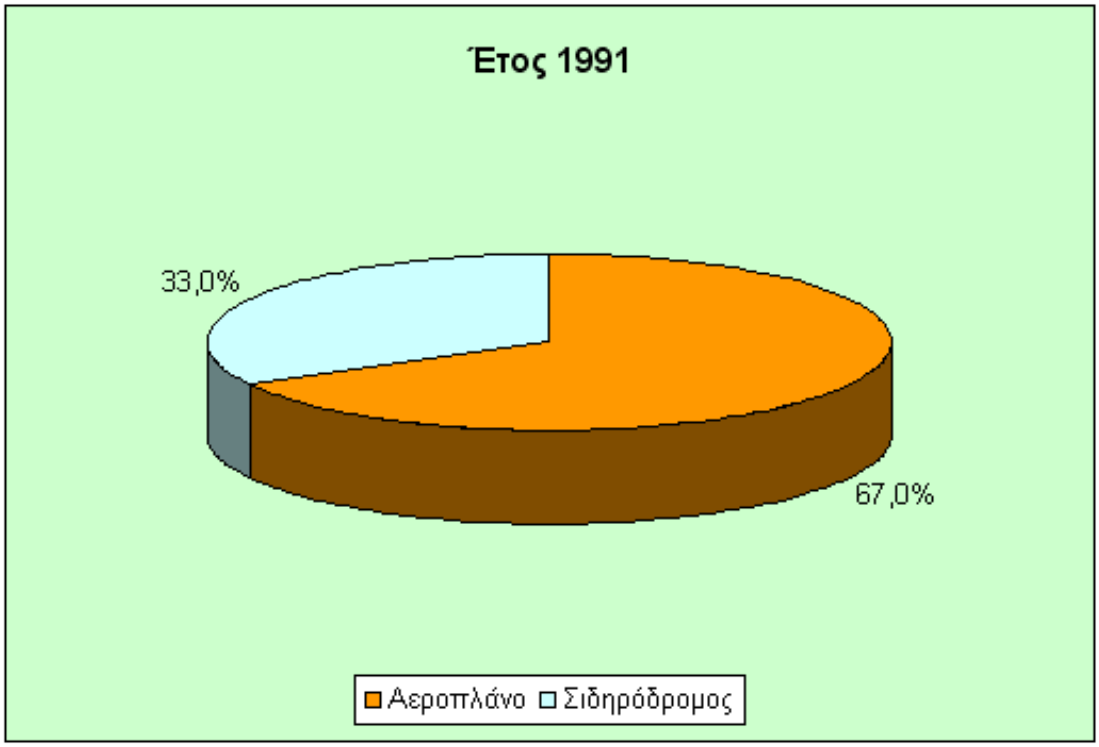


Σχήμα 7 [Γιαννακός 2004]: Η εξέλιξη των σιδ/κών μεταφορών υψηλών ταχυτήτων σε Ιαπωνία και Ευρώπη

[15] UIC, High Speed Trains around the world, 10/2002
[16] UIC, High Speed Trains around the world, 10/2002



Σχήμα 8 [Γιαννακός 2004]: Μερίδιο αγοράς στην διαδρομή Μαδρίτη - Σεβίλλη (471 km) πριν την δρομολόγηση του συρμού υψηλών ταχυτήτων AVE



Σχήμα 9 [Γιαννακός 2004]: Μερίδιο αγοράς στην διαδρομή Μαδρίτη - Σεβίλλη (471 km) μετά την δρομολόγηση του συρμού υψηλών ταχυτήτων AVE

Το δίκτυο υψηλών ταχυτήτων θα πρέπει να συνδυασθεί με μέτρα που να διασφαλίζουν τη διαλειτουργικότητα και την ταχεία και χωρίς καθυστερήσεις διάσχιση των αποστάσεων για τους επιβάτες και τα εμπορεύματα.

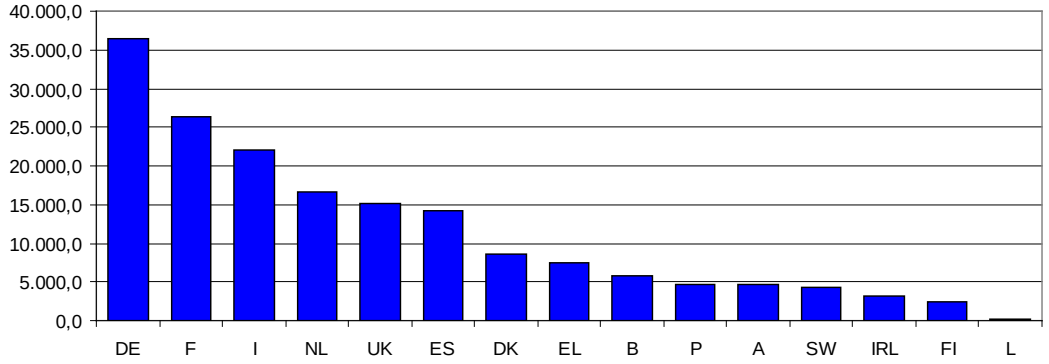
Στο μέλλον θα πρέπει να εξετασθεί η δρομολόγηση και εμπορικών συρμών υψηλών ταχυτήτων.

Οι γραμμές που θα κατασκευασθούν για τις υψηλές ταχύτητες, θα πρέπει να σχεδιάζονται και για μεικτή χρήση (επιβατική / εμπορευματική), προκειμένου να είναι οικονομικά βιώσιμες.

Το σιδηροδρομικό δίκτυο της Ε.Ε. των 25 έχει συνολικό μήκος 197.000 km[17]. Ο στόχος των κατευθυντηρίων οδηγιών των Διευρωπαϊκών Δικτύων Μεταφορών - ΔΕΔ-Μ (Transeuropean Networks – Transport (TEN-T)) είναι ένα σιδηροδρομικό δίκτυο που περί το 2010 θα αποτελείται κατά 1/3 από γραμμές υψηλών ταχυτήτων (περί το 16% νέες γραμμές υψηλών ταχυτήτων και 21% από γραμμές αναβαθμισμένες για υψηλές ταχύτητες) και 2/3 συμβατικές γραμμές.

Ήδη υπάρχει πρόοδος στην κατασκευή γραμμών υψηλών ταχυτήτων. Το συνολικό μήκος των γραμμών αυτών αυξήθηκε από 6.800 km το 1996 σε 10.000 το 2001.

Πολύ μεγάλη ήταν η αύξηση στο όγκο των μεταφορών μεταξύ 1991 και 2001, όπου και τριπλασιάσθηκε από 21,6 εκ. επιβατοχιλιόμετρα σε 65,4 εκ. επιβατοχιλιόμετρα. Μεταξύ του 1998 και 2001 υπήρξε αύξηση 35% (από 48,5 σε 65,4 εκ. επιβατοχιλιόμετρα) [18].

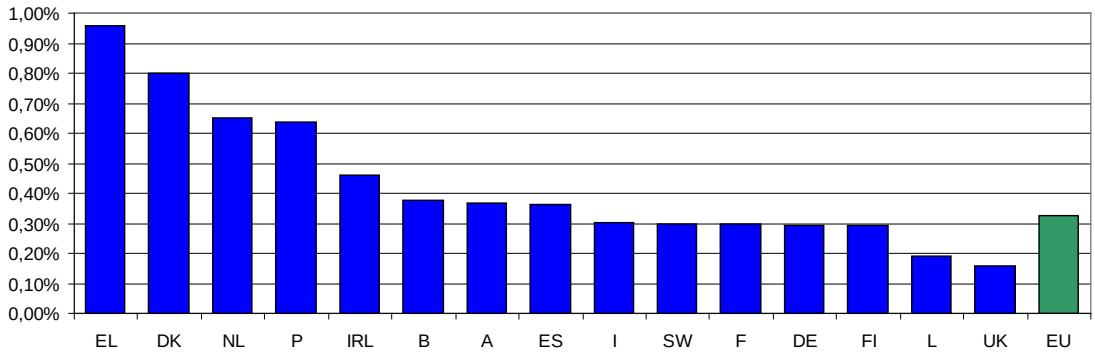


Σχήμα 10 [Γιαννακός 2004]: Επενδύσεις στο δίκτυο των ΔΕΔ-Μ[19] ανά κράτος την περίοδο 1996-2001 (εκατομμύρια Ευρώ)

Το ποσό των αναγκαίων επενδύσεων για την υλοποίηση όλων των σχεδίων προτεραιότητας των ΔΕΔ-Μ (τα μη ολοκληρωμένα σχέδια προτεραιότητας του 2001 και τα νέα σχέδια προτεραιότητας) υπολογίζεται περίπου σε 220 δισεκατομμύρια ευρώ. Το συνολικό κόστος του δικτύου προϋπολογίζεται έως

[17] στατιστική της UIC
[18] Source: 'High speed trains in Europe' UIC- High Speed division, October 2002.
[19] Διευρωπαϊκά Δίκτυα Μεταφορών - ΔΕΔ-Μ

το 2020 σε τουλάχιστον 600 δισεκατομμύρια ευρώ (Επενδύσεις στα ΔΕΔ-Μ στις χώρες μέλη της Ε.Ε. Σχήματα 10,11).



Σχήμα 11 [Γιαννακός 2004]: Επενδύσεις στο δίκτυο των ΔΕΔ-Μ[20] ανά κράτος την περίοδο 1996-2001 (μέσος όρος επενδύσεων ανά έτος /ΑΕΠ σε %)

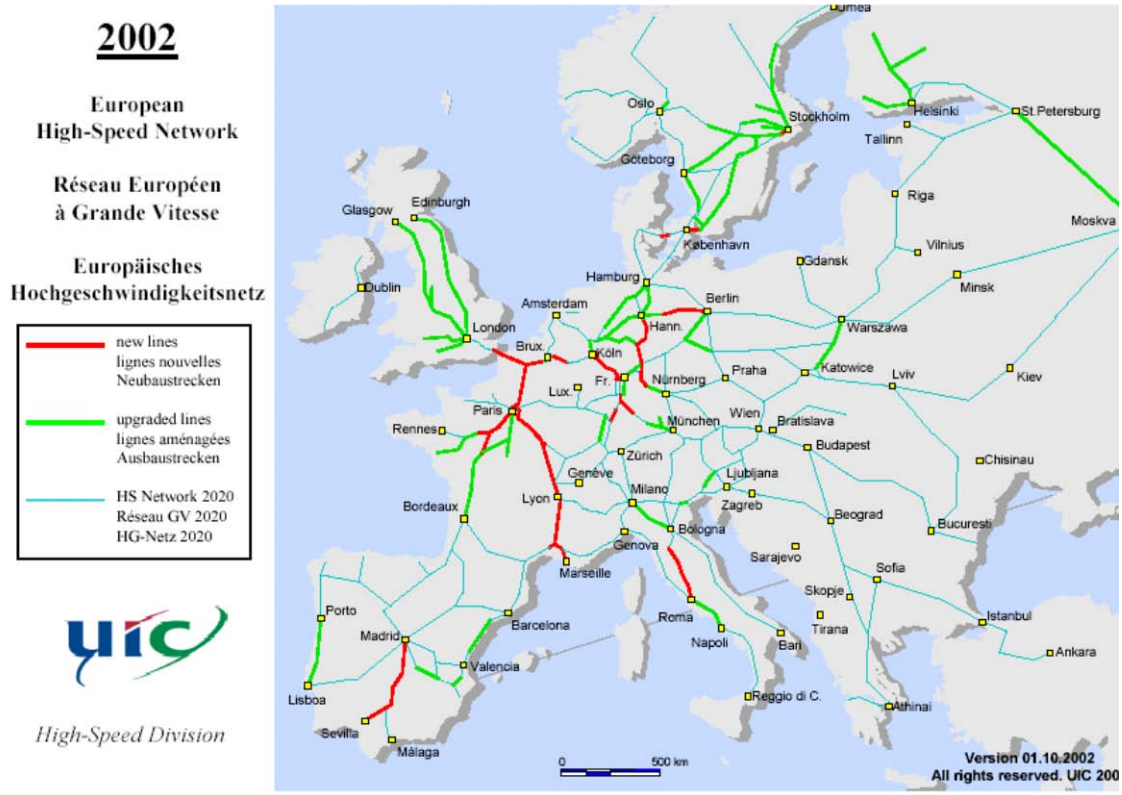
Σχήμα 12 [Γιαννακός 2004]: Μερίδιο στο σύνολο των επενδύσεων ανά μέσο την περίοδο 1998-2001 [%]

Οι βελτιώσεις στο συμβατικό δίκτυο των ΔΕΔ αφορούν ιδιαίτερα τα εξής:

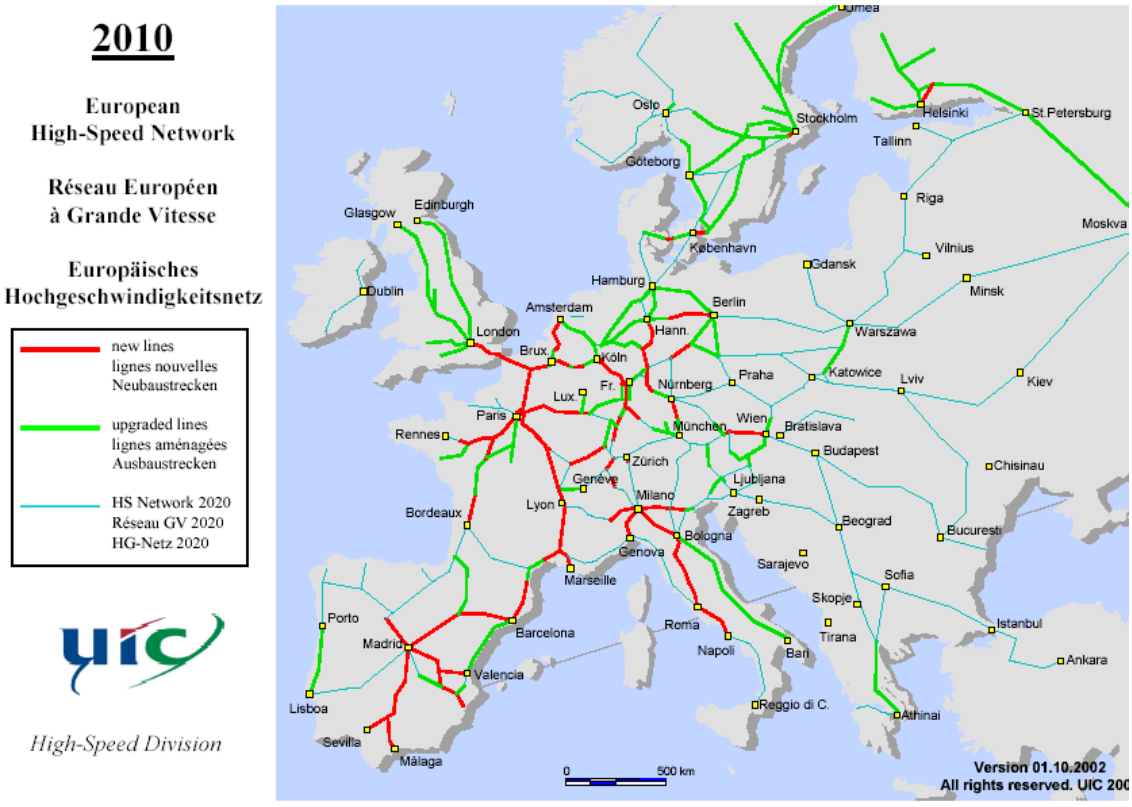
- ηλεκτροκίνηση
- βελτίωση χάραξης και κατασκευή διπλών γραμμών
- βελτίωση του περιτυπώματος φορτώσεως, προκειμένου να ευνοηθούν οι συνδυασμένες μεταφορές
- βελτίωση του βάρους ανά άξονα (ιδιαίτερα στις σκανδιναβικές χώρες, ώστε να καταστεί δυνατή η χρήση μακρύτερων και βαρύτερων εμπορευματικών συρμών)
- συστήματα σηματοδότησης και ελέγχου της κυκλοφορίας

Οι επόμενοι χάρτες απεικονίζουν το ευρωπαϊκό δίκτυο υψηλών ταχυτήτων το 2002, 2010 και 2020.

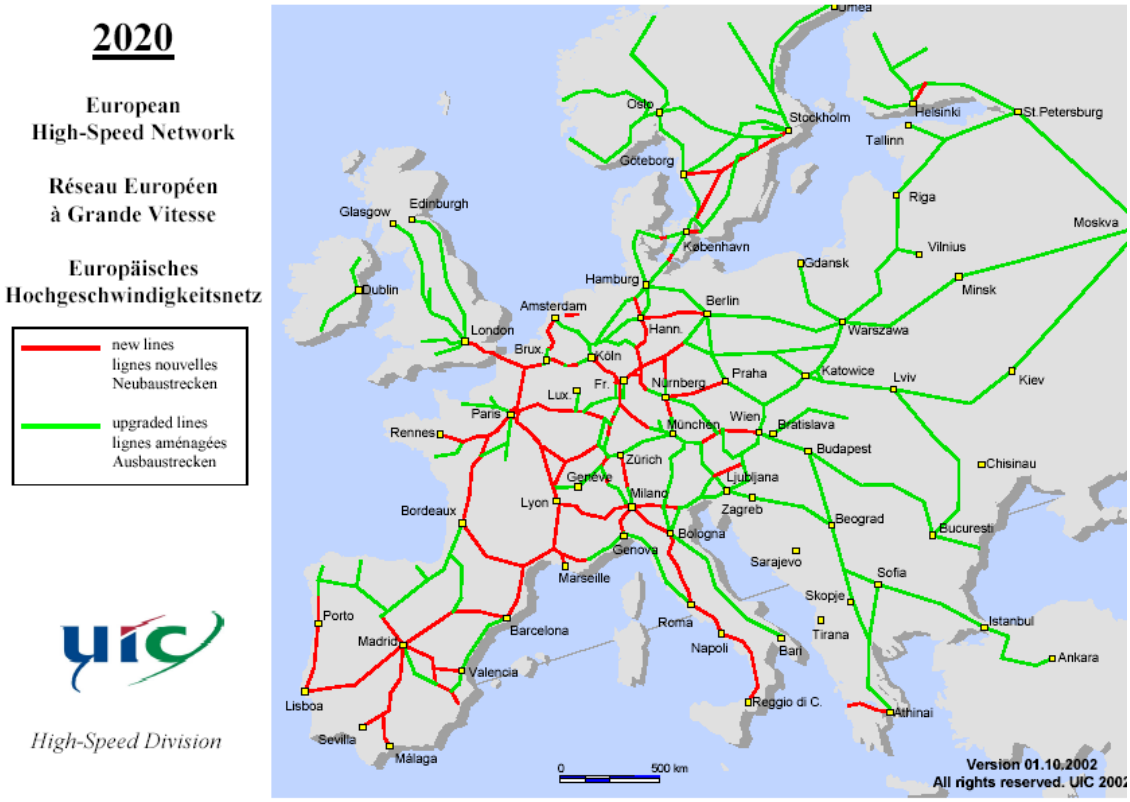
[20] ως άνω



Σχήμα 13 [Γιαννακός 2004]: Ευρωπαϊκό Δίκτυο Υψηλών Ταχυτήτων – 2002 [Πηγή UIC 2002]



Σχήμα 1 [Γιαννακός 2004]: Ευρωπαϊκό Δίκτυο Υψηλών Ταχυτήτων – 2010 [Πηγή UIC 2002]



Σχήμα 2 [Γιαννακός 2004]: Ευρωπαϊκό Δίκτυο Υψηλών Ταχυτήτων – 2020 [Πηγή UIC 2002]

6.- ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΟΙ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ ΚΑΙ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ [Τζανακάκης 2007]

6.1.- ΤΙ ΘΕΩΡΟΥΜΕ ΥΨΗΛΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ

Υπάρχουν αρκετοί ορισμοί για τις υψηλές ταχύτητες. Η UIC, η Διεθνής Ένωση Σιδηροδρόμων, χρησιμοποιεί διάφορους ορισμούς για να δείξει ότι δεν υπάρχει ένας ορισμός που να καλύπτει την υποδομή, το τροχαίο υλικό και την εκμετάλλευση, δεδομένου ότι το σύστημα των υψηλών ταχυτήτων είναι πολύ σύνθετο.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση δίδει στην Οδηγία 96/48 έναν ευρύ ορισμό που περιλαμβάνει έναν μεγάλο πλήθος συστημάτων.

Σε κάθε περίπτωση, οι υψηλές ταχύτητες αποτελούν έναν συνδυασμό όλων των στοιχείων που συνθέτουν το «σύστημα»: **υποδομή** (νέες γραμμές για ταχύτητες άνω των 250 km/h, και αναβαθμισμένες γραμμές για ταχύτητες 200 έως 220 km/h), **τροχαίο υλικό** και **εκμετάλλευση**. Σε μερικές γραμμές υψηλών ταχυτήτων υπάρχουν περιοχές με περιορισμό ταχύτητας για λόγους θορύβου ή σε άλλες ειδικές περιπτώσεις. Γραμμές για ταχύτητες άνω των 300 km/h μπορούμε να τις χαρακτηρίσουμε γραμμές υπερυψηλών ταχυτήτων (very high speed lines).

Οι γραμμές που διατίθενται για τις υψηλές ταχύτητες κατασκευάζονται για κυκλοφορία αποκλειστικά συρμών υψηλών ταχυτήτων ή για μεικτή κυκλοφορία. Στην Ιαπωνία οι συρμοί Shinkansen στις εταιρείες JR Central και

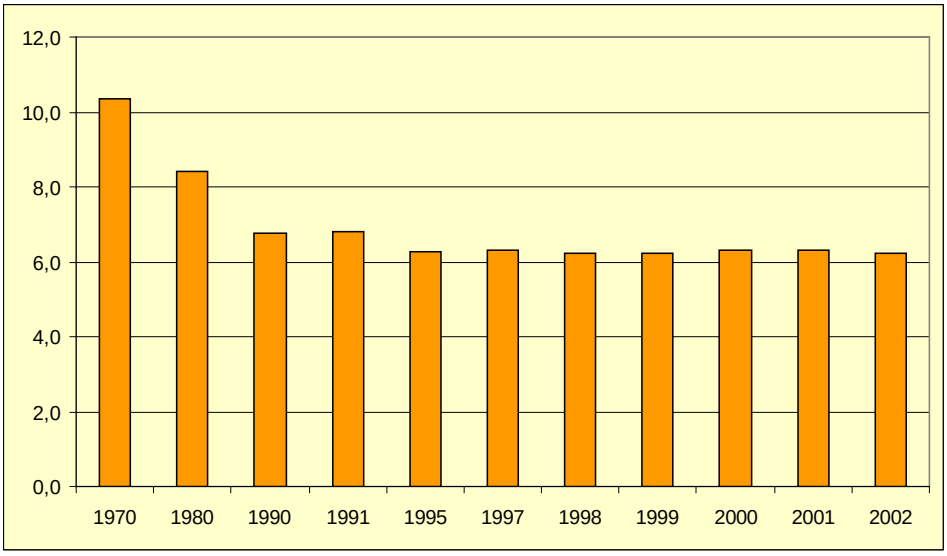
JR West κυκλοφορούν σε γραμμές αμιγώς για υψηλές ταχύτητες. Οι συρμοί των SNCF στην Γαλλία κυκλοφορούν σε γραμμές αμιγώς για υψηλές ταχύτητες και σε συμβατικές γραμμές. Στην Ισπανία οι συρμοί υψηλών ταχυτήτων κυκλοφορούν σε γραμμές αμιγώς για υψηλές ταχύτητες, στις οποίες εισέρχονται και συμβατικοί συρμοί. Στην Γερμανία και Ιταλία όλες οι γραμμές είναι μεικτές (πλην της γραμμής Φραγκφούρτη – Κολωνία), δηλ. σε αυτές κυκλοφορούν συρμοί υψηλών ταχυτήτων και συμβατικοί συρμοί.
Το σιδηροδρομικό σύστημα των υψηλών ταχυτήτων είναι πολυσύνθετο και περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία:

- Υποδομή (Infrastructure)
- Σταθμοί
- Τροχαίο υλικό
- Κανονισμοί εκμετάλλευσης (Operation rules)
- Συστήματα σηματοδότησης
- Marketing
- Συστήματα συντήρησης
- Χρηματοδότηση
- Διαχείριση (Management)
- Νομικά θέματα

6.2.- Η ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ ΚΑΙ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ

6.2.1.- Γενικά

Ο σημερινός σιδηρόδρομος αποτελεί το αποτέλεσμα μιας εξέλιξης που ξεκίνησε στα μέσα του περασμένου αιώνα με την πρώτη σιδηροδρομική σύνδεση με ατμάμαξα το 1825 μεταξύ Stockton και Darlington στην Αγγλία σε μήκος 40 km. Από τότε ο σιδηρόδρομος γνώρισε μεγάλη άνθηση, ενώ συνέβαλε τα μέγιστα στην οικονομική ανάπτυξη των βιομηχανικών χωρών.

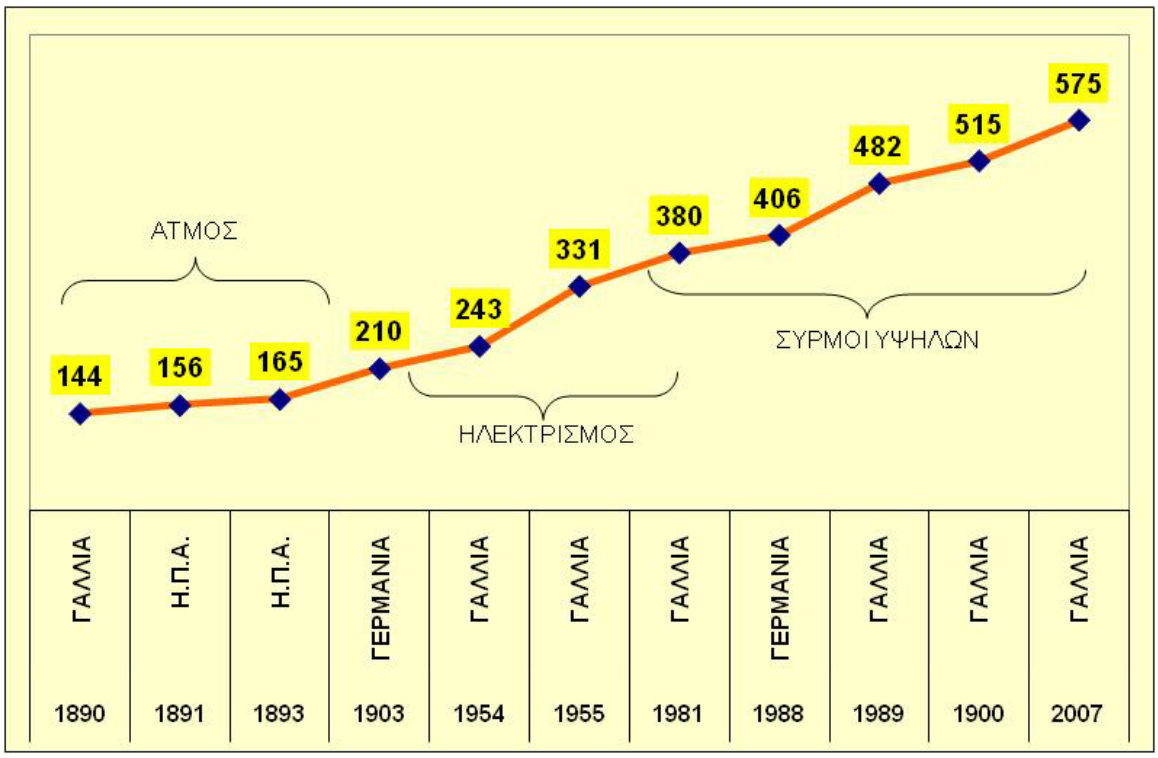


Σχήμα16: Η εξέλιξη του μεριδίου των σιδηροδρομικών μεταφορών επιβατών (Ε.Ε.-15) (Πηγή: Ε.Ε. "Energy and Transport in Figures", 2004)

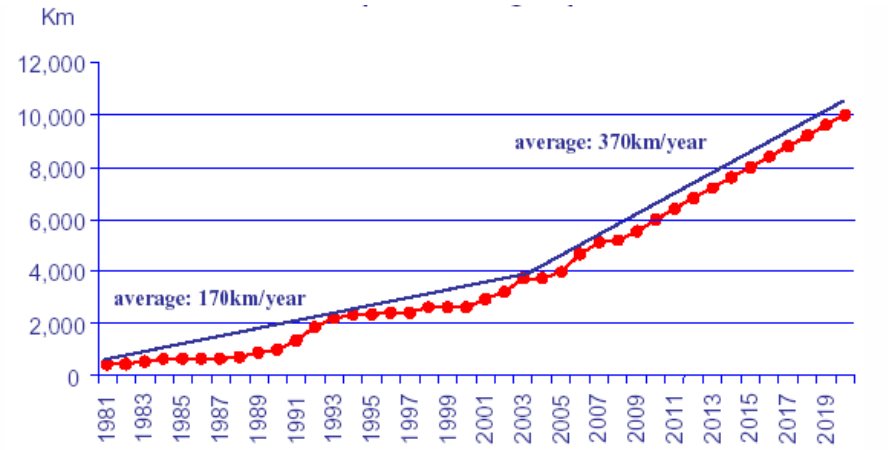
Από τα μέσα του περασμένου αιώνα άρχισε η πτώση του μεριδίου των σιδηροδρομικών μεταφορών, προς όφελος των οδικών κυρίως μεταφορών (Σχήμα 16). Οι υψηλές ταχύτητες με την εμπορική τους επιτυχία στην Ευρώπη και την Ιαπωνία απέδειξαν ότι ο σιδηρόδρομος μπορεί και πάλι να γίνει ελκυστικό μέσο (Σχήμα 7).

Την δεκαετία του '60 πολλά δίκτυα πειραματίσθηκαν με τεχνολογίες που θα επέτρεπαν την αύξηση ταχυτήτων στα υφιστάμενα δίκτυα. Στα σχήματα 17 και 18 φαίνεται η εξέλιξη του ρεκόρ ταχύτητας στο σιδηρόδρομο, καθώς και Προβλεπόμενη ανάπτυξη του δικτύου υψηλών ταχυτήτων στην Ευρώπη

Το 1999 συρμοί μαγνητικής αιωρήσεως (maglev) επέτυχαν ταχύτητα 552 km/h στην γραμμή δοκιμών στο Yamanashi (Ιαπωνία).



Σχήμα 17: Ρεκόρ ταχύτητας στον σιδηρόδρομο (km/h) [Τζανακάκης 2007]



Σχήμα 18: Προβλεπόμενη ανάπτυξη του δικτύου υψηλών ταχυτήτων στην Ευρώπη

Το δίκτυο υψηλών ταχυτήτων στην Ευρώπη κατά το 2003 ανέρχονταν σε 3.751 km, ενώ είναι σε εξέλιξη ή προγραμματίζονται και άλλα έργα, με στόχο περί το 2020 το δίκτυο υψηλών ταχυτήτων ν' ανέλθει σε 10.000 km περίπου (Σχήματα 13 έως 15).

Στα επόμενα παρουσιάζεται η σημερινή εικόνα των δικτύων υψηλών ταχυτήτων στην Ευρώπη και τον υπόλοιπο κόσμο:

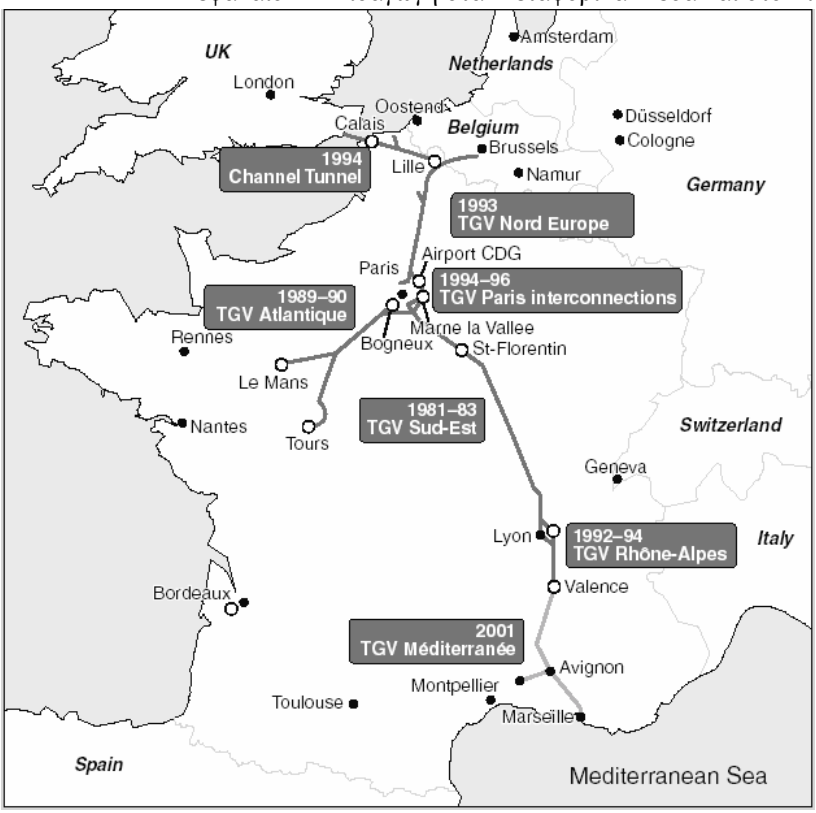
6.2.2.- Γαλλία [Loubinoux, 2005]

Η μεγάλη επιτυχία των συρμών υψηλών ταχυτήτων στην Ιαπωνία, έδωσε το 1966 το έναυσμα για τον σχεδιασμό αντιστοίχου δικτύου στην Γαλλία. Η Γαλλία πέτυχε αρχικά ν' αυξήσει την ταχύτητα με βελτιωτικές παρεμβάσεις στην σηματοδότηση και την γραμμή. Το πρόβλημα φθοράς της γραμμής στις υψηλές ταχύτητες λύθηκε με τον κατάλληλο σχεδιασμό των συρμών. Η Γαλλία πρώτη σχεδίασε νέου τύπου συρμούς, τους συρμούς TGV (Train à Grande Vitesse).

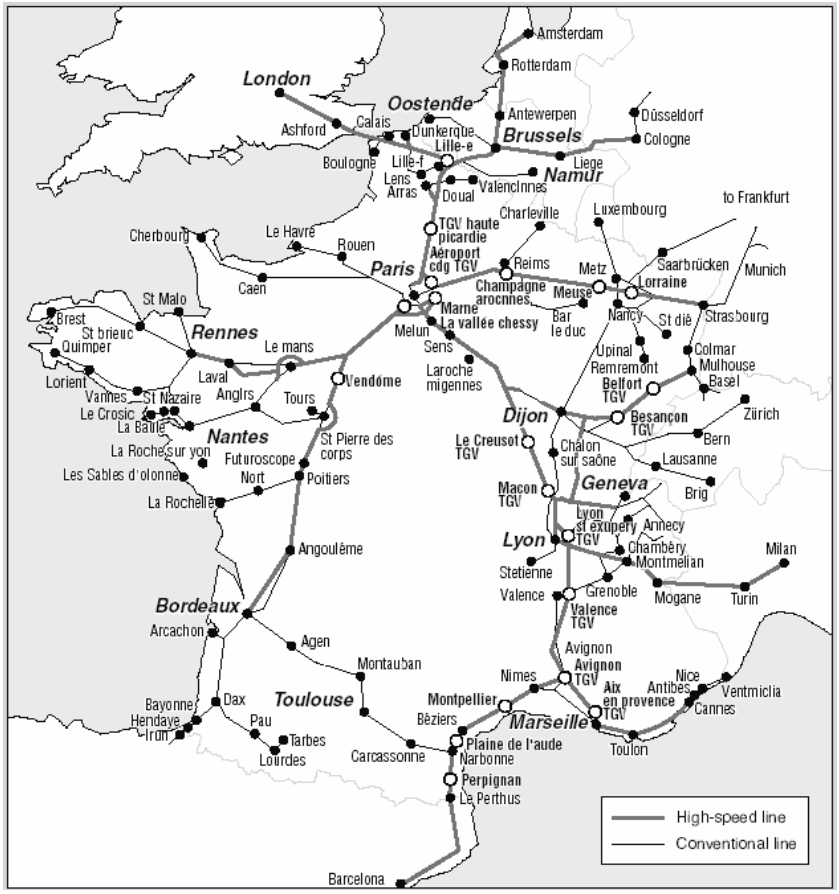
Το 1981 κυκλοφόρησε ο πρώτος συρμός υψηλών ταχυτήτων στην διαδρομή Παρίσι – Λυών (417 km), με ταχύτητα 270 km/h, μειώνοντας στο μισό τον χρόνο διαδρομής. Το νέο προϊόν απέδειξε ότι ο σιδηρόδρομος μπορεί να είναι ανταγωνιστικός του αεροπλάνου σε διαδρομές μεσαίων αποστάσεων. Μετά την επιτυχία αυτή, η Γαλλία προχώρησε σε ένα εκτεταμένο πρόγραμμα κατασκευής νέων γραμμών υψηλών ταχυτήτων. Οι σημερινοί συρμοί TGV είναι ταχύτεροι, προσφέρουν μεγαλύτερη άνεση, έχουν αποδοτικότερη λειτουργία, ενώ κατασκευάσθηκε και συρμός διπλού καταστρώματος (double-deck) για την εξυπηρέτηση περισσότερων επιβατών, στην γραμμή προς τον Ατλαντικό (Atlantique).

Σήμερα το δίκτυο υψηλών ταχυτήτων ανέρχεται σε 1540 km, κυκλοφορεί με ταχύτητες 300 km/h και σε ορισμένα σημεία με 320 km/h. Το μέσο κόστος κατασκευής της γραμμής ανέρχεται σε 10 €/m, το μέσο κόστος του εισιτηρίου σε 0,11 €/km[21], ενώ οι SNCF διαθέτουν στόλο άνω των 400 συρμών TGV. Σε στάδιο κατασκευής είναι γραμμές μήκους 320 km (TGV Est), ενώ προγραμματίζεται η κατασκευή γραμμών μήκους 937 km.
Το 1990 επετεύχθη ρεκόρ ταχύτητας 515,3 km/h, ενώ το 2001 συρμός TGV διέτρεξε την διαδρομή Calais – Μασσαλία (1.067,2 km) σε 3 ώρες και 29 λεπτά, που συνιστά μέση ταχύτητα 306,4 km/h. Το 2007 επετεύχθη ρεκόρ ταχύτητας 574,8 km/h (3-4-2007).
Στις 10 Ιουνίου 2007 δόθηκε το πρώτο τμήμα της γραμμής LGV Est européenne (LGV Est) (300 km με σύνολο 406 km) μεταξύ Παρισιού και Στρασβούργου, εξυπηρετώντας και διάφορες πόλεις στην Γερμανία και το Λουξεμβούργο. Η γραμμή κατασκευάσθηκε για 350 km/h και κυκλοφορεί με ταχύτητα 320 km/h.
Στα σχήματα 19 και 20 φαίνεται το δίκτυο TGV σήμερα και στο μέλλον όπως προβλέπεται.

[21] εισιτήριο Β' θέσης



Σχήμα 19: Το δίκτυο TGV



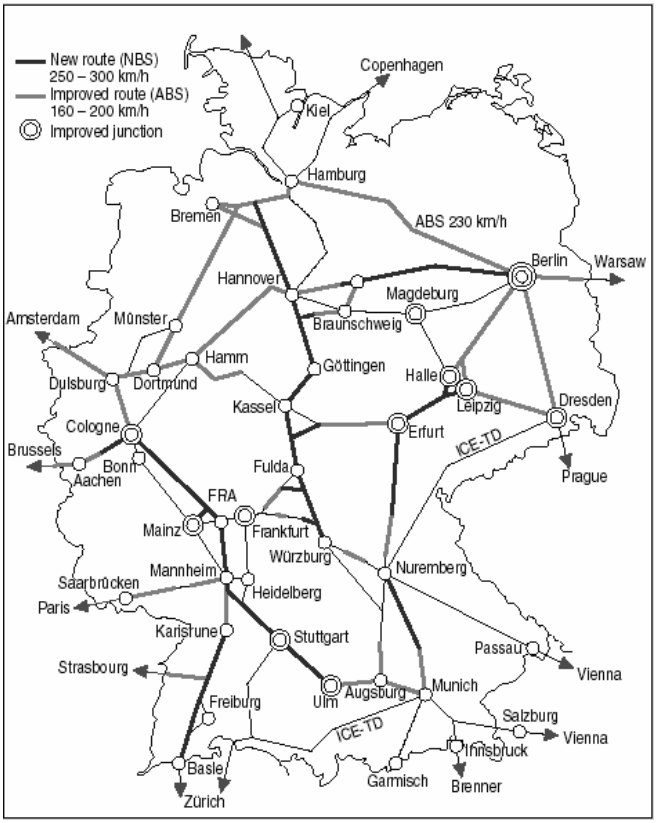
Σχήμα 20: Μακροπρόθεσμος σχεδιασμός δικτύου TGV

6.2.3.- Γερμανία [Loubinoux, 2005]

Το 1991 ξεκίνησε στην Γερμανία η κυκλοφορία συρμών υψηλών ταχυτήτων στο τμήμα Ανόβερο – Würzburg και Mannheim – Στουτγάρδη. Παράλληλα οι Γερμανοί άρχισαν ν' αναπτύσσουν ένα πραγματικό σύστημα υψηλών ταχυτήτων, τα InterCity Express (ICE). Η πρώτη γενιά των ICE ξεκίνησε με δρομολογιακή ταχύτητα 250 km/h, με δυνατότητα ανάπτυξης ταχύτητας 250 km/h για ανάκτηση καθυστερήσεων. Η απόφαση των γερμανών για βελτίωση του συμβατικού δικτύου προς χρήση από τους συρμούς υψηλών ταχυτήτων, επέτρεψε την ταχεία δημιουργία δικτύου υψηλών ταχυτήτων. Η περαιτέρω εξέλιξη των συρμών ICE είχε σαν αποτέλεσμα την κατασκευή έκδοσης με ανακλινόμενο αμάξωμα (ICE-T). Η νέα γενιά των ICE (ICE3) επιτυγχάνει δρομολογιακή ταχύτητα 330 km/h. Οι συρμοί ICE αύξησαν σημαντικά τον όγκο μεταφοράς επιβατών. Για παράδειγμα, η μείωση του χρόνου διαδρομής μεταξύ Φραγκφούρτης και Αμβούργου αύξησε την επιβατική κίνηση κατά 40%.

Σήμερα το δίκτυο υψηλών ταχυτήτων ανέρχεται σε 880 km, κυκλοφορεί με ταχύτητες αρχικά 250 km/ και 300 km/h σήμερα, ενώ το νέο τροχαίο υλικό είναι σχεδιασμένο για 330 km/h. Το μέσο κόστος κατασκευής της γραμμής ανέρχεται σε 28 €/m (γραμμές μεικτής κυκλοφορίας με εξαίρεση την γραμμή Φραγκφούρτης – Κολωνίας), το μέσο κόστος του εισιτηρίου σε 0,20 €/km (εισιτήριο Β' θέσης), ενώ οι DB διαθέτουν στόλο 160 συρμών ICE. Σε εξέλιξη είθνια έργα μήκους 303 km (γραμμή Κολωνία /Ρήνου, 215 km και Νυρεμβέργη – Ιγκολσταντ, 88 km).

Στο Σχήμα 21 φαίνεται το δίκτυο ICE στη Γερμανία.

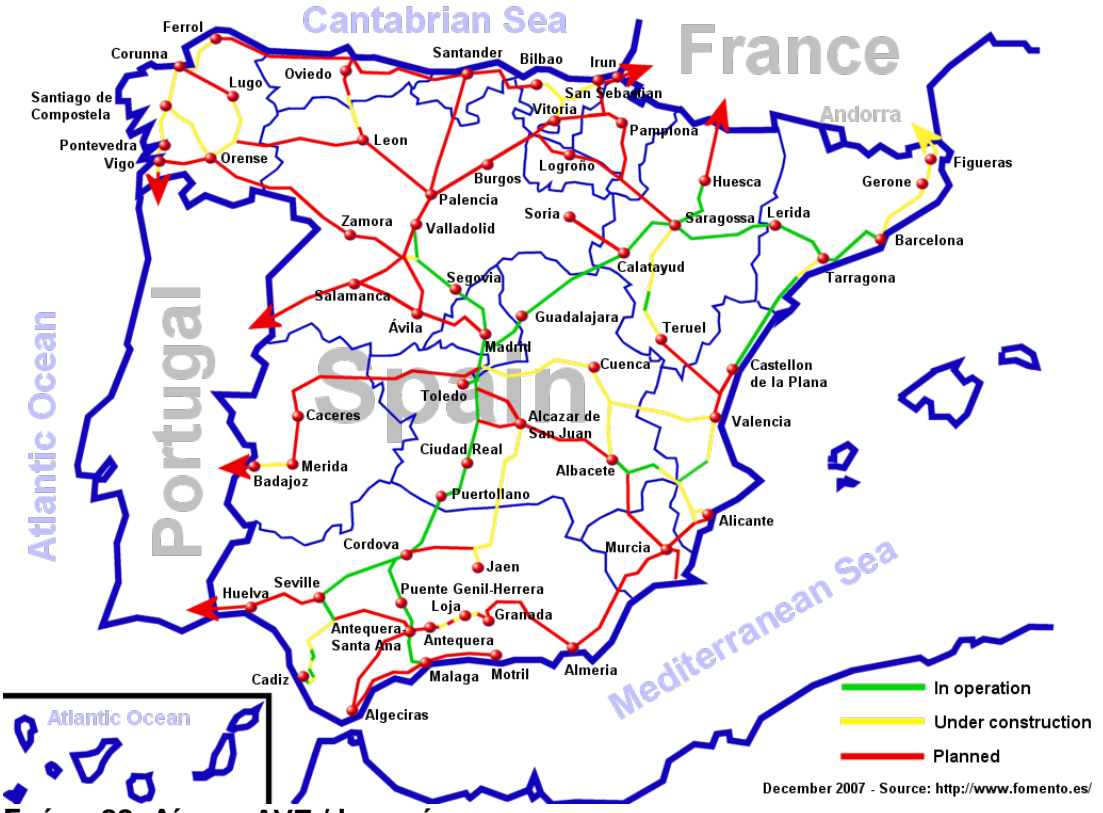


Σχήμα 21: Δίκτυο ICE / Γερμανία

6.2.4.- Ισπανία

Το 1992, με την ευκαιρία της Παγκόσμιας Έκθεσης (world Fair) στην Σεβίλλη, εγκαινιάσθηκε στην Ισπανία η νέα γραμμή υψηλών ταχυτήτων Μαδρίτης – Σεβίλλης.

Σήμερα το δίκτυο υψηλών ταχυτήτων ανέρχεται σε 950 km, ενώ κατασκευάζονται 500 km γραμμής και προγραμματίζεται η κατασκευή 550 km νέας γραμμής καθώς και συνδέσεις με Γαλλία και Πορτογαλία. Η ταχύτητα κυκλοφορίας ανέρχεται σε 300 km/h, ενώ στην διαδρομή Μαδρίτη – Lleida μετά την εγκατάσταση του ERTMS, η μέγιστη ταχύτητα θ' ανέλθει στα 350 km/h. Το μέσο κόστος κατασκευής της γραμμής ανέρχεται σε 27 €/m, το μέσο κόστος του εισιτηρίου σε 0,20 €/km (εισιτήριο Β' θέσης), ενώ οι RENFE προγραμματίζουν στόλο 120 συρμών υψηλών ταχυτήτων. Στο Σχήμα 22 φαίνεται το δίκτυο AVE στην Ισπανία.



Σχήμα 22: Δίκτυο AVE / Ισπανία

6.2.5.- Ιταλία

Στην Ευρώπη ξεκίνησε το 1970 η κατασκευή της γραμμής υψηλών ταχυτήτων Diretissima μεταξύ Ρώμης και Φλωρεντίας. Στην Ιταλία το δίκτυο υψηλών ταχυτήτων πρωτολειτούργησε το 1992 (Ρώμη - Φλωρεντία). Σήμερα κατασκευάζονται 660 km γραμμής (Ρώμη – Νάπολη, 220 km, Μπολόνια – Φλωρεντία, 77 km, Μιλάνο – Μπολόνια, 196 km, Μιλάνο – Τορίνο 143 km, και Βερόνα – Βενετία, 24 χλμ, στο στάδιο της μελέτης βρίσκεται η κατασκευή επί πλέον 308 km, με την κατασκευή και διεθνών συνδέσεων (Γαλλία, Γερμανία,

Σλοβενία, Ελβετία). Η ταχύτητα κυκλοφορίας ανέρχεται σε 250 ή 300 km/h. Οι Ιταλικοί σιδηρόδρομοι προγραμματίζουν στόλο 120 συρμών υψηλών ταχυτήτων.

Σχήμα 23: Δίκτυο υψηλών ταχυτήτων στην Ιταλία

6.2.6.- Δανία, Σουηδία

Το 1997 στην Δανία κυκλοφόρησε ο πρώτος συρμός υψηλών ταχυτήτων από την Κοπεγχάγη προς την Βόρεια Γερμανία ενώ το 1998 στην Σουηδία επιτεύχθηκαν ταχύτητες των 200 km/h με την χρήση συρμών με ανακλινόμενο αμάξωμα.

6.2.7.- Ελβετία

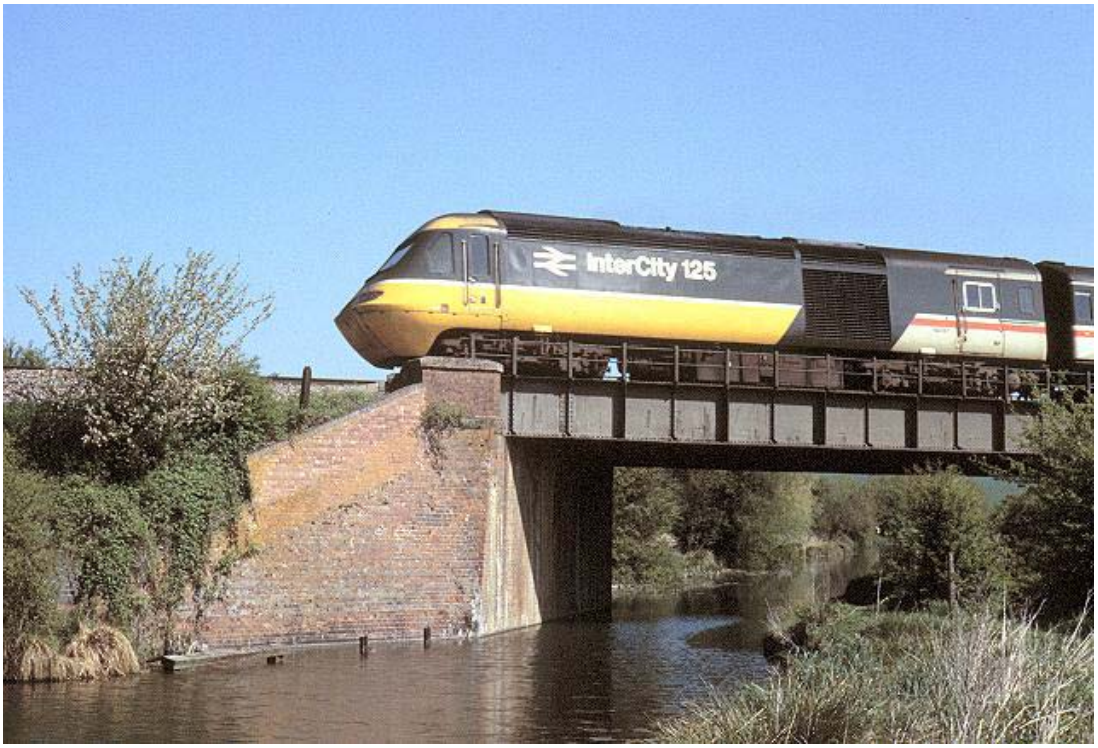
Οι Ελβετοί με τους συρμούς με ανακλινόμενο αμάξωμα (tilting trains)[22] ICN (InterCity Neigezug) εισήγαγαν ταχύτητες 200 km/h με την αλλαγή των

[22] Η επιλογή συρμών με ανακλινόμενο αμάξωμα έγινε λόγω της δυσμενούς χάραξης των ελβετικών σιδηροδρόμων.

δρομολογίων στις 28-5-2000, στην διαδρομή Γενεύη - St. Gallen. Οι συρμοί ICN κυκλοφορούν πλέον σε πολλές διαδρομές.

6.2.8.- Μεγάλη Βρετανία

Στην Μεγάλη Βρετανία αναπτύχθηκε ένα πρόγραμμα υψηλών ταχυτήτων το οποίο λειτούργησε με συρμούς ντήζελ για περίπου 25 χρόνια (συρμοί Intercity 125, επονομαζόμενο και "screamer" λόγω του μεγάλου θορύβου από τους τουρμποκινητήρες ισχύος 1670 kW). Με τον συρμό αυτό επετεύχθη ρεκόρ για δηζελοκίνητους συρμούς, 230 km/h. Οι συρμοί τέθηκαν σε κυκλοφορία τέλη του '70. Σήμερα κυκλοφορούν οι συρμοί Eurostar συνδέοντας το Λονδίνο με την Γαλλία (100 km) και το Βέλγιο



Σχήμα 24: Ο αγγλικός συρμός InterCity 125

6.2.9.- Άλλες Ευρωπαϊκές χώρες

Συρμοί υψηλών ταχυτήτων κυκλοφορούν και σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες, όπως το Βέλγιο (150 χλμ), η Ολλανδία, ενώ γραμμές κατασκευάζονται σε πολλές χώρες, όπως η Ελλάδα. Στην Ελλάδα οι υποδομές κατασκευάζονται για μέγιστη ταχύτητα μέχρι 250 km/h για συμβατικούς συρμούς.

6.2.10.- Τουρκία

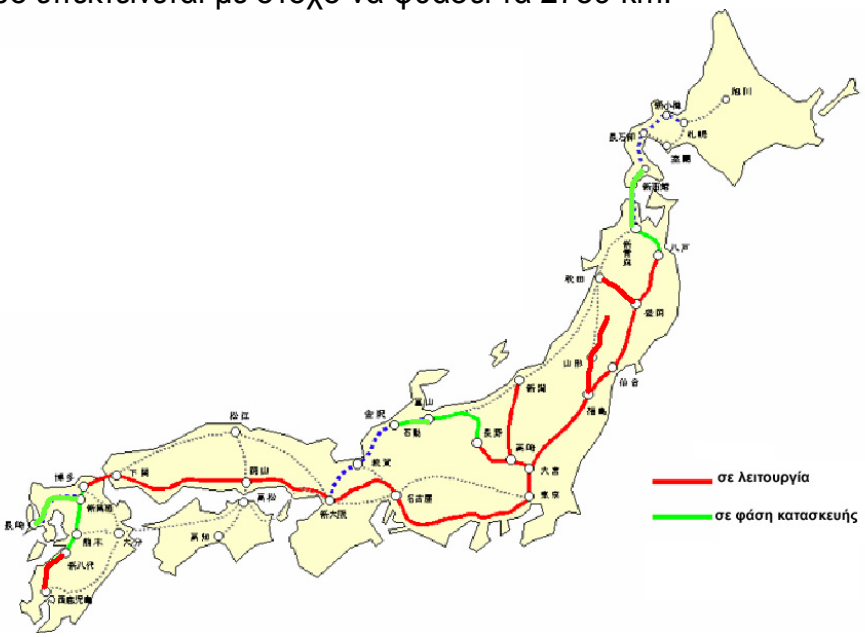
Στην Τουρκία ξεκίνησε το 2003 η κατασκευή γραμμών υψηλών ταχυτήτων μεταξύ Κωνσταντινούπολης και Άγκυρας. Η κατασκευή της γραμμής Άγκυρα – Konya ξεκίνησε το 2006. Προγραμματίζεται η κατασκευή και άλλων γραμμών συνδέοντας πολλά αστικά κέντρα, όπως Άγκυρα - Afyon - Uşak - Σμύρνη, Άγκυρα - Yozgat - Sivas, Κωνσταντινούπολη - Bursa, Κωνσταντινούπολη - Kapıkule.

Η προβλεπόμενη ταχύτητα ανέρχεται σε 250-300 km/h. Οι 10 πρώτοι συρμοί παραγγέλθηκαν στην ισπανική εταιρία CAF. Επί πλέον συρμοί προβλέπονται μέσω της κοινοπραξίας (joint enterprise) EUROTEM, μεταξύ της κορεατικής ROTEM και της τουρκικής TÜVASAŞ ενώ κατασκευάστηκε ένα εργοστάσιο στο Adapazarı, Sakarya.

6.2.11.- Ιαπωνία

Η ιδέα της ανάπτυξης σιδηροδρόμων υψηλών ταχυτήτων ξεκίνησε το 1956 στην Ιαπωνία. Η κατασκευή της γραμμής υψηλών ταχυτήτων Tokyo – Osaka ξεκίνησε το 1959 και τον Οκτώβριο του 1964 δόθηκε στην κυκλοφορία με ταχύτητα δρομολογίων 210 km/h. Η γραμμή επεκτάθηκε και η ταχύτητα αυξήθηκε στα 300 km/h. Σήμερα μεταφέρει άνω των 400.000 επιβατών ημερησίως.

Στην Ιαπωνία το δίκτυο υψηλών ταχυτήτων Shinkansen ανέρχεται σε 2228 km. Το δίκτυο επεκτείνεται με στόχο να φθάσει τα 2739 km.



Σχήμα 25: Δίκτυο Shinkansen

Κορέα

Την 1η Απριλίου 2004 ξεκίνησε την λειτουργία της η πρώτη γραμμή υψηλών ταχυτήτων στην Κορέα μεταξύ Σεούλ και Busan (412 km) με μέγιστη ταχύτητα 300 km/h.

Σχήμα 26: Συρμός KTX, στον σταθμό DongDaegu, 9/2004

6.2.13.- Κίνα

Στην Κίνα τον Απρίλιο 2005 ξεκίνησε η λειτουργία συρμών υψηλών ταχυτήτων μέσω της εταιρίας China Railway High-Speed (CRH).

Σχήμα 27: Σχεδιαζόμενη γραμμή υψηλών ταχυτήτων στην Κίνα

6.2.14.- Ταϊβάν

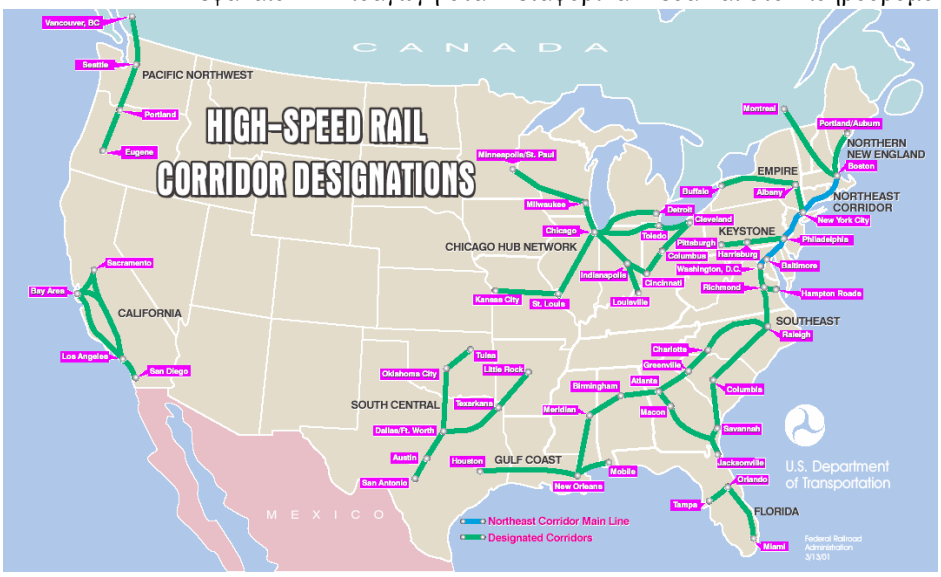
Στις 5 Ιανουαρίου 2005 ξεκίνησε η λειτουργία της πρώτης γραμμής υψηλών ταχυτήτων στην Ταϊβάν μεταξύ Taipei και Kaohsiung (345 km) με μέγιστη ταχύτητα 300 km/h, με ιαπωνικούς συρμούς Shinkansen 700T Series.

Σχήμα 28: Συρμός υψηλών ταχυτήτων για την γραμμή υψηλών ταχυτήτων στην Ταιβάν

6.2.15.- Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

Το ενδιαφέρον για δίκτυο υψηλών ταχυτήτων στις Η.Π.Α. αυξήθηκε την δεκαετία του 90', εξ αιτίας της επιτυχίας των υψηλών ταχυτήτων στην Ευρώπη και Ιαπωνία και της συμφόρησης στις οδικές και αεροπορικές μεταφορές. Ο νόμος «Intermodal Surface Transportation Efficiency Act (ISTEA)" του 1991 προβλέπει τον καθορισμό 5 αξόνων γραμμών υψηλών ταχυτήτων. Το 2000 ξεκίνησε την λειτουργία στις Η.Π.Α., στην γραμμή Νέα Υόρκη – Ουάσιγκτον – Βοστόνη, η υπηρεσία Acela Express με ταχύτητα 240 km/h με την χρήση συρμών με ανακλινόμενο αμάξωμα. Η υπηρεσία Acela Express έχει μερίδιο αγοράς 50% περίπου μεταξύ Ν. Υόρκης και Ουάσιγκτον και 30% μεταξύ Βοστόνης και Ν. Υόρκης.

Προγραμματίζεται η κατασκευή και νέων γραμμών και κυρίως η αναβάθμιση υφισταμένων γραμμών για μεικτή χρήση (συμβατικοί συρμοί και συρμοί υψηλών ταχυτήτων).



Σχήμα 29: Σχεδιασμός δικτύου υψηλών ταχυτήτων στις Η.Π.Α. (Πηγή: Federal Railway Administration)

Σχήμα 30: Συρμός Acela Express

6.2.16.- Άλλες χώρες πέραν της Ευρώπης

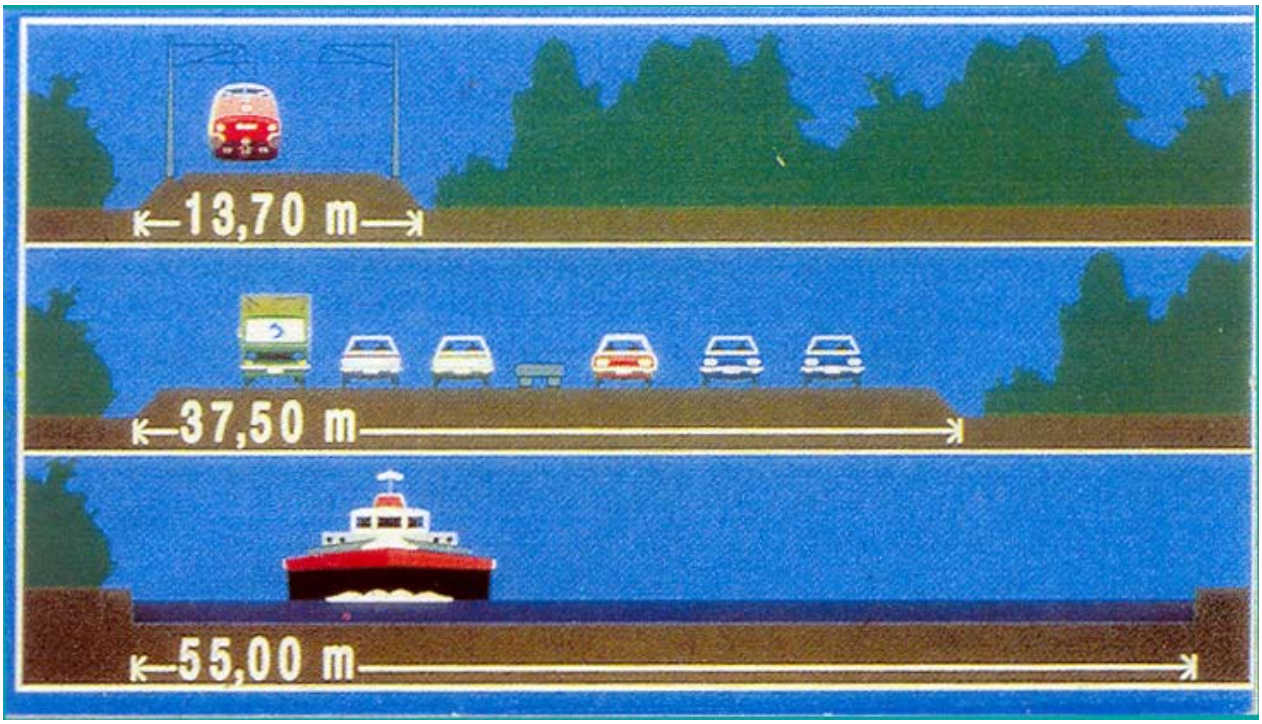
Γραμμές υψηλών ταχυτήτων σχεδιάζονται στις Ινδίες, Αυστραλία, Νότια Αφρική κλπ.

7. – ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΟΥ

Ο στδηρόδρομος παρουστάζει τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα σε σχέση με τα υπόλοιπα μέσα μεταφοράς. Συνολικά τα πλεονεκτήματα υπερτερούν στη λήψη των αποφάσεων για την κατασκευή στδηροδρομικής σύνδεσης έναντι άλλων μέσων μεταφοράς.

Τα πλεονεκτήματα είναι:

- καταναλώνει λιγότερη ενέργεια για το ίδιο μεταφορικό έργο σε σύγκριση με τα υπόλοιπα ανταγωνιστικά μέσα μεταφοράς.
- Είναι ιδανικό μέσο μεταφοράς για χύδην, βαρειές και μαζικές μεταφορές
- το πλάτος διαδρόμου είναι αρκετά μικρότερο (Σχήμα 31)
- αποτελεί μέσο μεταφοράς ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον. Αποτελεί μάλιστα το πλέον οικολογικό μέσο μεταφοράς
- Είναι το ασφαλέστερο μεταφορικό μέσο όπως δείχνουν οι στατιστικές των ατυχημάτων διεθνώς.
- Κυκλοφορεί σχεδόν με όλες τις καιρικές συνθήκες (πλην περιπτώσεων ισχυρών χιονοπτώσεων)
- παρέχει μεγαλύτερη ασφάλεια και άνεση στους επιβάτες
- δίνει τη δυνατότητα ανάπτυξης ιδιαίτερα υψηλών ταχυτήτων που τον καθιστούν πλήρως κυρίαρχο σε αποστάσεις 500 έως 1000 χιλιομέτρων ακόμη και σε σύγκριση με τις αεροπορικές μεταφορές
- Παρέχει τη δυνατότητα με τη «ζώνη κατάληψης» να αναπτυχθούν παράλληλες επιχειρηματικές δραστηριότητες (π.χ. right of way για τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες, real estate κ.λπ)
- Το σημαντικά μικρότερο κόστος λειτουργίας και συντήρησης, ιδίως αν συνυπολογισθούν τα εξωτερικά κόστη



Σχήμα 31 [Πυργίδης 2007]: Εύρος κατάληψης διαφόρων μέσων μεταφοράς

Τα μειονεκτήματα είναι:

- «Δυσκαμψία» στην παροχή υπηρεσιών
- Η μη δυνατότητα αυτοτελούς παροχής υπηρεσιών «πόρτα-πόρτα»
- η δύσκολη παράκαμψη (υπέρβαση, διασταύρωση) των συρμών μεταξύ τους σε μονή γραμμή και η ανάγκη για «διαδοχή» και απόσταση συρμών μεταξύ τους σε διπλή γραμμή
- το μεγάλο μήκος πέδησης

- οι μεγάλες επιφάνειες για τους σταθμούς
- οι υψηλές απαιτούμενες αρχικές επενδύσεις κατασκευής
- Η μονοπωλιακή -μέχρι πρόσφατα- λειτουργία των σιδηροδρομικών επιχειρήσεων διεθνώς με αποτέλεσμα χαμηλό επίπεδο υπηρεσιών

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Arduin, J.P. Jincheng Ni: "French TGV Network Development"

Clifford Black R.""The Acela Express". JRTR, 3/2005

Ebeling Klaus, " The Pan-European Traffic Networks – An Opportunity for Europe's Railways ", Railway Technical Review, January/February/March 1999

Ebeling K.: «High-speed Railways in Germany", JRTR, 3/2005

Ellwanger: G., «High Speed Rail – Successes and Challenges", European Railway Review

http://www.uic.asso.fr/passagers/

IWW/Infras, "External Costs of Transport, Accident, Environmental and Congestion Costs in Western Europe", 2000

Loubinoux Jean-Pierre, "Description of high speed systems currently in use, being constructed or being designed in Europe and the world", UIC, Second Training Course on High-Speed Systems, Paris, June 2005.

Morita T.: "The future of high-speed train", Training on the "High Speed System", UIC, 2005

Nash, A.: "Best Practices in Shared-Use High-speed Rail Systems", Mineta Transportation Institute, 6/2003

Steer Davies Gleave: "High Speed Rail: International Comparisons", 2004

UIC- High Speed division, "High speed trains in Europe" October 2002

U.I.C., High Speed Division, Seminar «Reducing journey times on conventional lines", Paris, 28.1.2002

UIC, "High Speed Trains around the world", 10/2002

Vinois Jean-Arnold: "High Speed Rail in Europe", E.E., 11/2003

White Paper "European transport policy for 2010: time to decide", COM(2001)370, 12.9.2001

Widmer: J.P. "High Speed Rail: Partner or Competitor?", Airports Council Intewrnational Conference Air Links, Salzburg, 3/2002

Γιαννακός Κ., «Δράσεις στη Σιδηροδρομική Γραμμή», Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα 2002.

Γιαννακός Κ., «Οι απαιτήσεις των σιδηροδρομικών υποδομών του αύριο», 2nd Traffic and Transportation Conference, Vossloh AG, September 20, 2004, Berlin – Germany.

Γιαννακός Κωνσταντίνος, "Η διαλειτουργικότητα στον σιδηρόδρομο: ένα μοντέλο ανάπτυξης για τη ΝΛ. Ευρώπη", Διδακτορική διατριβή στο Α.Π.Θ., 2000

Ε.Ε., «Λευκή Βίβλος: Η ευρωπαϊκή πολιτική μεταφορών με ορίζοντα το έτος 2002: Η ώρα των επιλογών» COM(1001)370, 12.9.2001

Ευρωπαϊκή Ένωση, «Λευκή Βίβλος: η ευρωπαϊκή πολιτική μεταφορών έως το έτος 2010»

Πυργίδης Χρίστος, Iwnicki Simon, «Διδακτική Ενότητα Α' – Ασκούμενες Δυνάμεις στη Γραμμή», Σεμινάριο ΑΠΘ, 2006

Πυργίδης Χρίστος, « Παραδόσεις Σιδηροδρομικής», ΑΠΘ, 2007

Τζανακάκης Κωνσταντίνος, «Σιδηρόδρομοι Υψηλών Ταχυτήτων», ΕΔΙΣΥ, Διευθυντής Γραμμής, Σεμινάρια εκπαίδευσης μηχανικών ΟΣΕ, 2007.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1
Πρόσφατα στοιχεία για τις μεταφορές

Πίνακας 1: Βασικά δεδομένα και πρόσφατη εξέλιξη σε τρόπο μεταφοράς – Βασικά δεδομένα [πηγή Ε.Ε., 2006]

Οδικές μεταφορές

Άμεσα **απασχολούμενοι:**
περίπου 1,7 εκατ. στις επιβατικές μεταφορές (λεωφορεία, πούλμαν και ταξί)· 2,6 εκατ. στις εμπορευματικές μεταφορές

Μερίδιο επί του συνόλου των εμπορευματικών μεταφορών:
44 % (σε ελαφρά άνοδο)

Μερίδιο επί του συνόλου των επιβατικών μεταφορών:
περίπου 84 % (76 % ιδιωτικής χρήσεως αυτοκίνητα, 8 % λεωφορεία και πούλμαν)

Αύξηση από το 1995 έως το 2004:
- + 35 % στις εμπορευματικές μεταφορές·
- + 19 % στα επιβατικά οχήματα και + 5 % στα λεωφορεία και τα πούλμαν στις επιβατικές μεταφορές

Ιδιαίτερα **μεγάλη αύξηση στην ΕΕ των 10:**

Αύξηση των οδικών εμπορευματικών μεταφορών 2000-2004 (%)

	Εθνικές	Διεθνείς	Σύνολο
ΕΕ-15	8,3	16,9	10,5
ΕΕ-10	16,6	47,7	31,8
ΕΕ-25	9,0	23,0	12,9

Μερίδιο επί του συνόλου της κατανάλωσης ενέργειας:
25,2%

Απόδοση οχημάτων σε **toe/Mtkm** (τόνος ισοδυνάμου πετρελαίου/εκατ. τονοχιλιόμετρα) ή **toe/Mpkm** (τόνος ισοδυνάμου πετρελαίου/εκατ. επιβατοχιλιόμετρα):
φορτηγά 72,4, αυτοκίνητα 37,8, δημόσιες συγκοινωνίες 14,5

Πλωτές μεταφορές

Άμεσα **απασχολούμενοι:**
περίπου 200 000, εκ των οποίων σχεδόν το 80 % στις θαλάσσιες μεταφορές και το 20 % στην εσωτερική ναυσιπλοΐα

Μερίδιο επί του συνόλου των εμπορευματικών μεταφορών:
42 % (ενδοκοινοτικές θαλάσσιες μεταφορές 39 %, εσωτερική ναυσιπλοΐα 3 %· κατά το μάλλον ή ήττον σταθερό το ποσοστό και στις δύο περιπτώσεις)

Μερίδιο επί του συνόλου των επιβατικών μεταφορών:
κάτω του 1 % στις ενδοκοινοτικές επιβατικές μεταφορές, σε ελαφρά πτώση

Αύξηση από το 1995 έως το 2004: + 29 % στις εμπορευματικές μεταφορές (+ 31 % στις ενδοκοινοτικές θαλάσσιες μεταφορές, + 9 % στην εσωτερική ναυσιπλοΐα)

Μέση ετήσια **αύξηση της παγκόσμιας διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων** από το 2001 έως το 2004: 13,5 %

Μερίδιο (της εσωτερικής ναυσιπλοΐας) **επί του συνόλου της κατανάλωσης ενέργειας:** 0,5 %

Απόδοση οχημάτων (εσωτερικής ναυσιπλοΐας) σε toe/Mtkm: 17,5

Σιδηροδρομικές μεταφορές

Άμεσα **απασχολούμενοι:**
περίπου 1,2 εκατ.

Μερίδιο επί του συνόλου των εμπορευματικών μεταφορών:
10 % (σε ελαφρά πτώση)

Μερίδιο επί του συνόλου των επιβατικών μεταφορών:
περίπου 7 % (6 % για τα υπεραστικά τρένα, 1 % για το αστικό τραμ και μετρό)

Αύξηση από το 1995 έως το 2004:
- + 6 % στις εμπορευματικές μεταφορές (+ 15 % στην ΕΕ των 15, – 9 % στην ΕΕ των 10)·
- + 9% στις επιβατικές μεταφορές [+ 8 % για τα υπεραστικά τρένα, + 14% για τον αστικό σιδηρόδρομο (τραμ και μετρό)]

Το **μερίδιο των νέων επιχειρήσεων** που εισήλθαν στην αγορά **σιδηροδρομικών εμπορευματικών μεταφορών** ανήλθε περίπου στο 10 % (ως προς τα διανυόμενα τονοχιλιόμετρα)

Τα τρένα μεγάλης ταχύτητας κατέλαβαν το 2004 το 21,5 % των συνολικών επιβατοχιλιομέτρων των υπεραστικών σιδηροδρομικών μεταφορών

Μερίδιο επί του συνόλου της κατανάλωσης ενέργειας:
0,8 %

Απόδοση οχημάτων σε **toe/Mtkm** ή **toe/Mpkm:**
επιβάτες 16,0, φορτίο –5,5

Αεροπορικές μεταφορές

Άμεσα **απασχολούμενοι:**
περίπου 400000

Μερίδιο επί του συνόλου των εμπορευματικών μεταφορών:
0,1 % σε τονοχιλιόμετρα, όσον αφορά την ενδοκοινοτική κυκλοφορία

Μερίδιο επί του συνόλου των επιβατικών μεταφορών:
8 % (υπολογίστηκαν μόνο οι ενδοκοινοτικές πτήσεις· σε μεγάλη άνοδο)

Αύξηση από το 1995 έως το 2004:
+ 55 % στις ενδοκοινοτικές επιβατικές μεταφορές

Μερίδιο των αερομεταφορέων χαμηλού κόστους στην αγορά όσον αφορά τις τακτικές ενδοκοινοτικές πτήσεις (ως προς τις διαθέσιμες θέσεις):
25 % το 2005

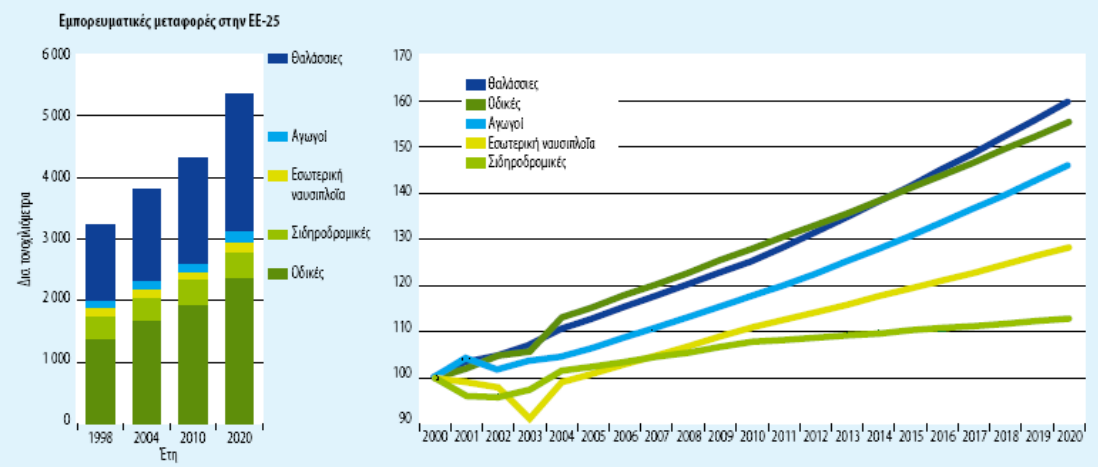
Αύξηση του αριθμού των **ενδοκοινοτικών δρομολογίων:**
+ 100 % από το 1992 έως το 2004

Μερίδιο επί του συνόλου της κατανάλωσης ενέργειας:
4,0 %

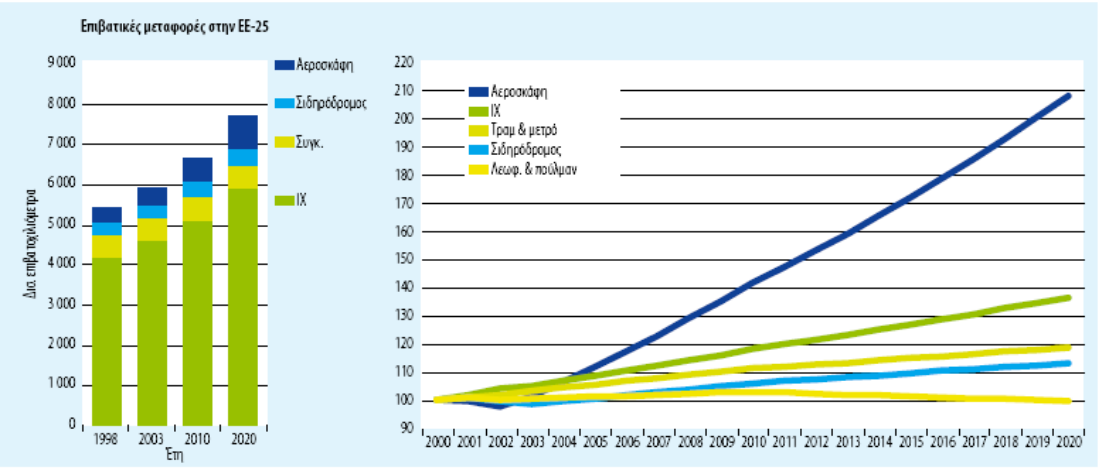
Πηγή: EU energy and transport in figures; στοιχεία· Eurostat· OAG· ECSA, Primes.

Πίνακας 2: Κύριες προβλεπόμενες τάσεις ως σημείο αναφοράς [πηγή Ε.Ε., 2006]

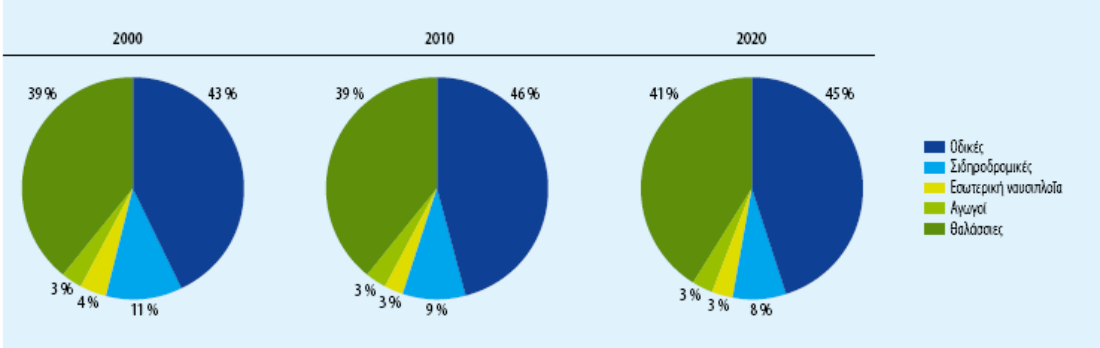
Πιθανότερη αύξηση των μεταφορών στην ΕΕ των 25 κατά την περίοδο 2000-2006 (σε %)	
ΑΕγχΠ	52
Συνολικές εμπορευματικές μεταφορές	50
Συνολικές επιβατικές μεταφορές	35
Οδικές εμπορευματικές μεταφορές	55
Σιδηροδρομικές εμπορευματικές μεταφορές	13
Θαλάσσιες μεταφορές μικρών αποστάσεων	59
Εσωτερική ναυσιπλοΐα	28
Ιδιωτικής χρήσεως αυτοκίνητα	36
Σιδηροδρομικές επιβατικές μεταφορές	19
Αεροπορικές μεταφορές	108



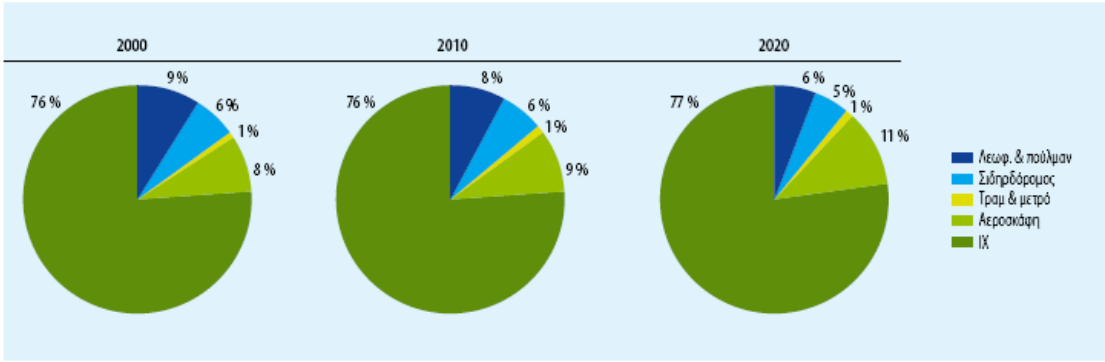
Σχήμα 1: Αναμενόμενη αύξηση των εμπορευματικών μεταφορών ανά τρόπο (mode) μεταφοράς (2000 = 100) [πηγή Ε.Ε., 2006]



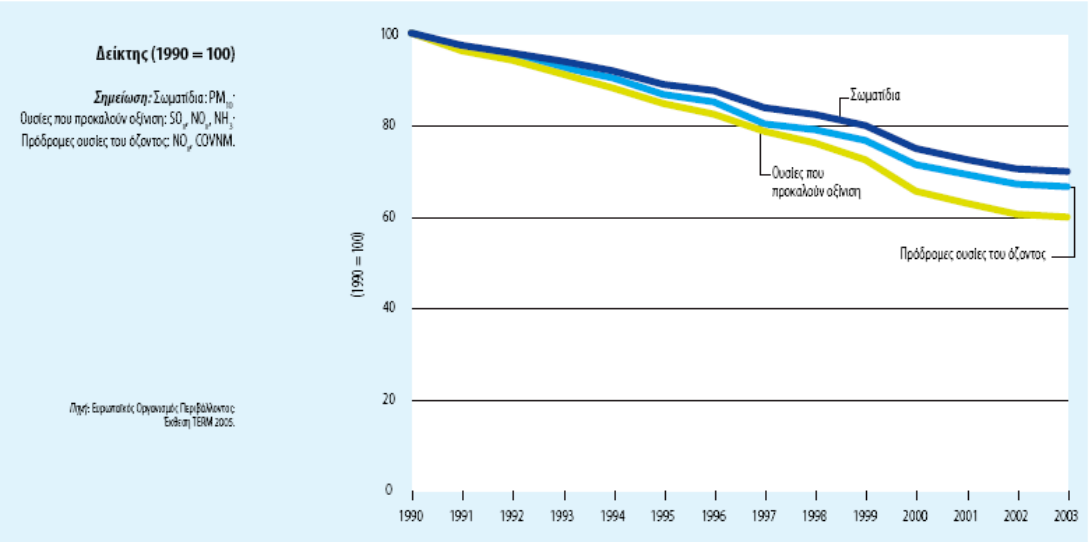
Σχήμα 2: Αναμενόμενη αύξηση των επιβατικών μεταφορών ανά τρόπο (mode) μεταφοράς (2000 = 100) [πηγή Ε.Ε., 2006]



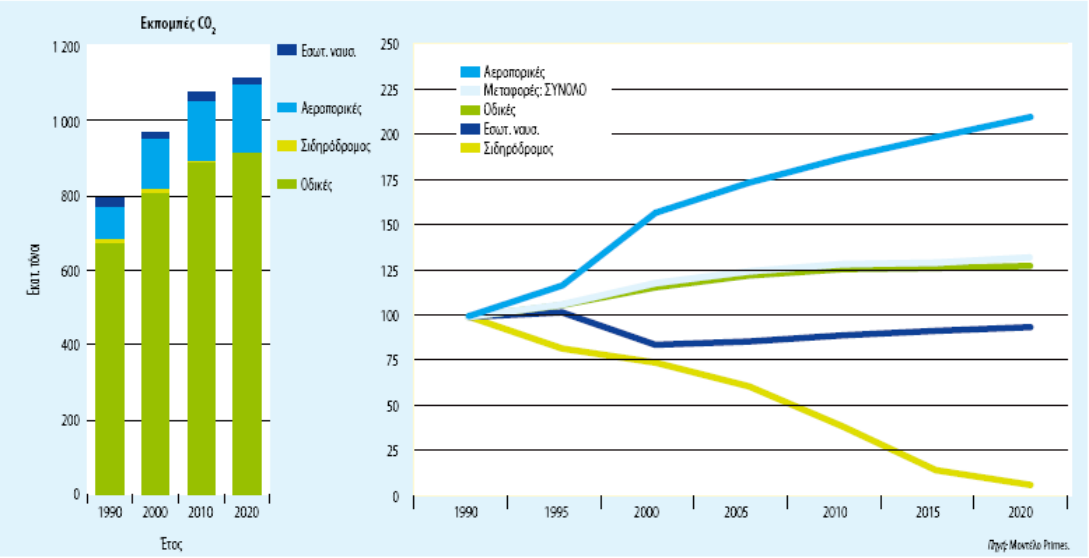
Σχήμα 3: Εξέλιξη κατανομής ανά τρόπο (mode) μεταφοράς στις εμπορευματικές μεταφορές [πηγή Ε.Ε., 2006]



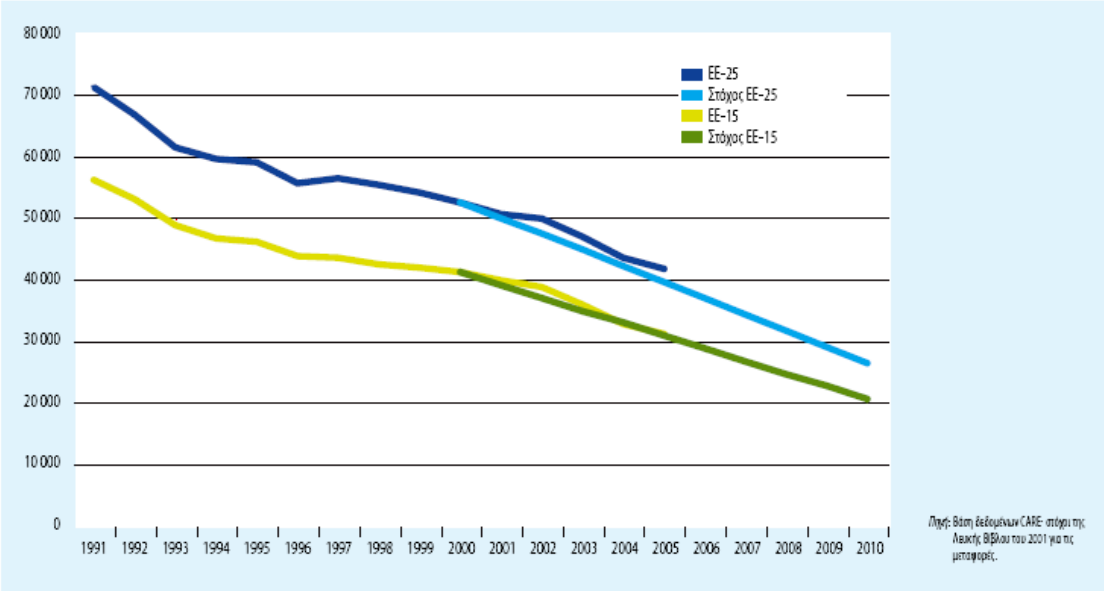
Σχήμα 4: Εξέλιξη κατανομής ανά τρόπο (mode) μεταφοράς στις επιβατικές μεταφορές [πηγή Ε.Ε., 2006]



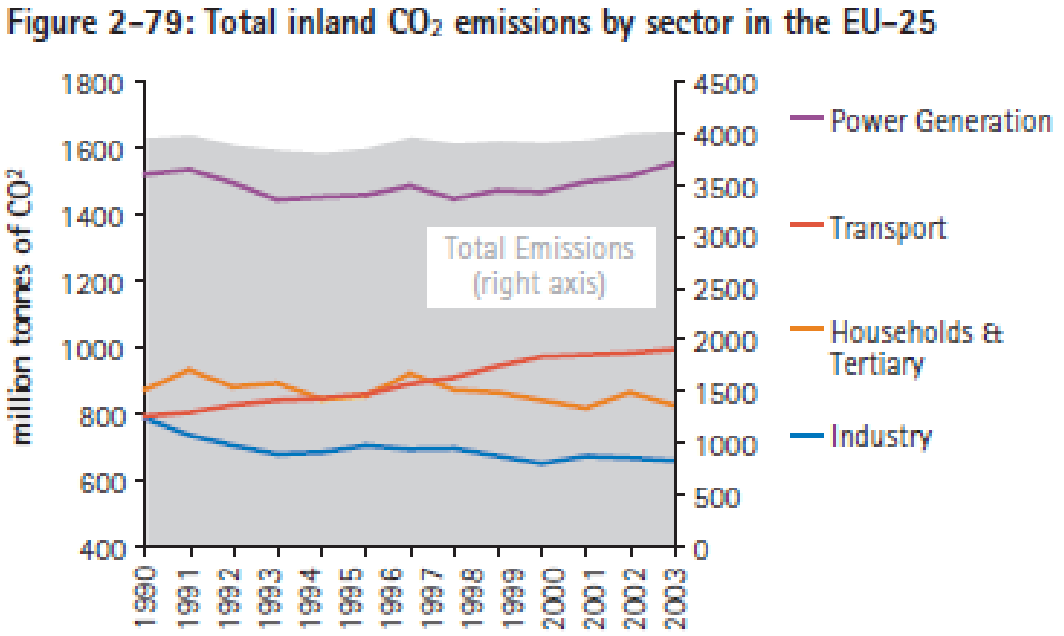
Σχήμα 5: Εξέλιξη των εκπομπών αερίων ρύπων από τις μεταφορές 1990 - 2003 [πηγή Ε.Ε., 2006]



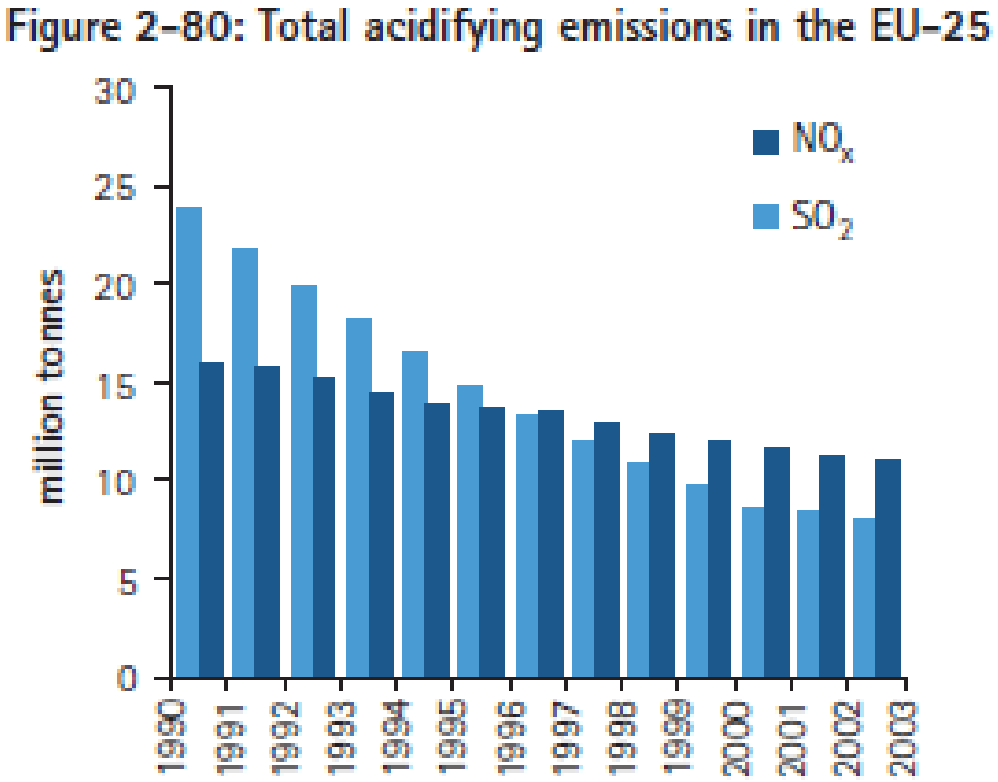
Σχήμα 6: Αναμενόμενη εξέλιξη των εκπομπών CO2 από τις μεταφορές ανά τρόπο μεταφοράς (1990 = 100) [πηγή E.E., 2006]



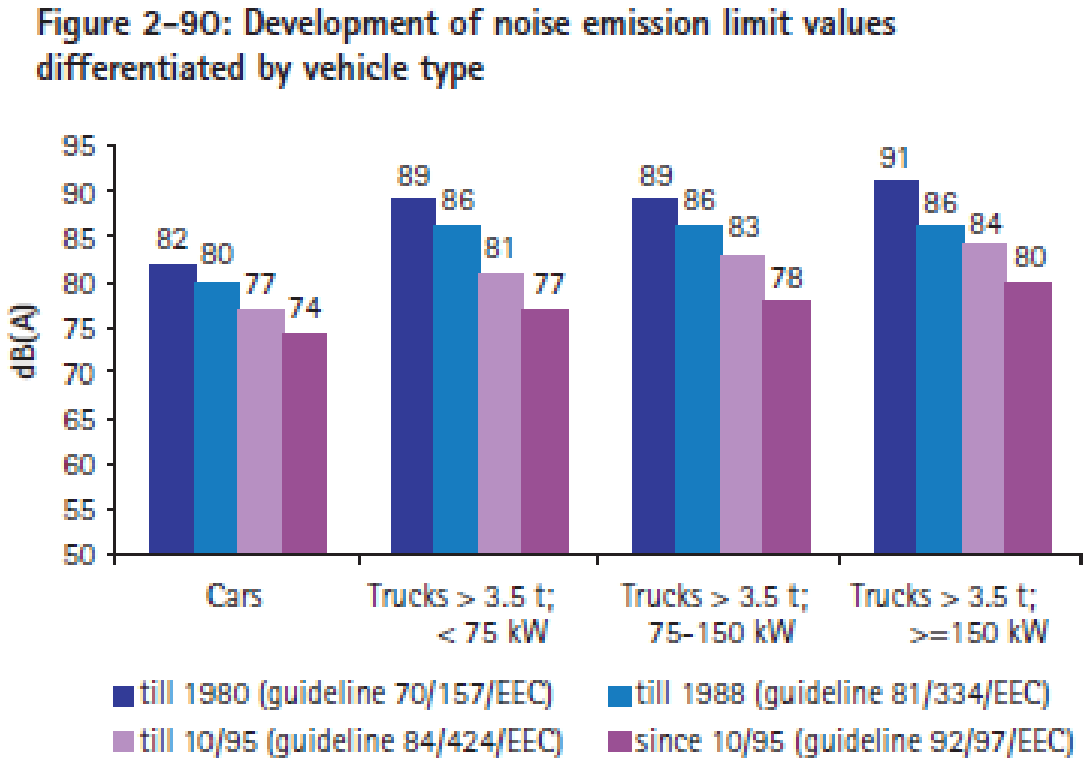
Σχήμα 6: Αριθμός θανάτων σε τροχαία δυστυχήματα στην ΕΕ: φθίνων, αλλά ακόμη υπερβολικά υψηλός [πηγή E.E., 2006]



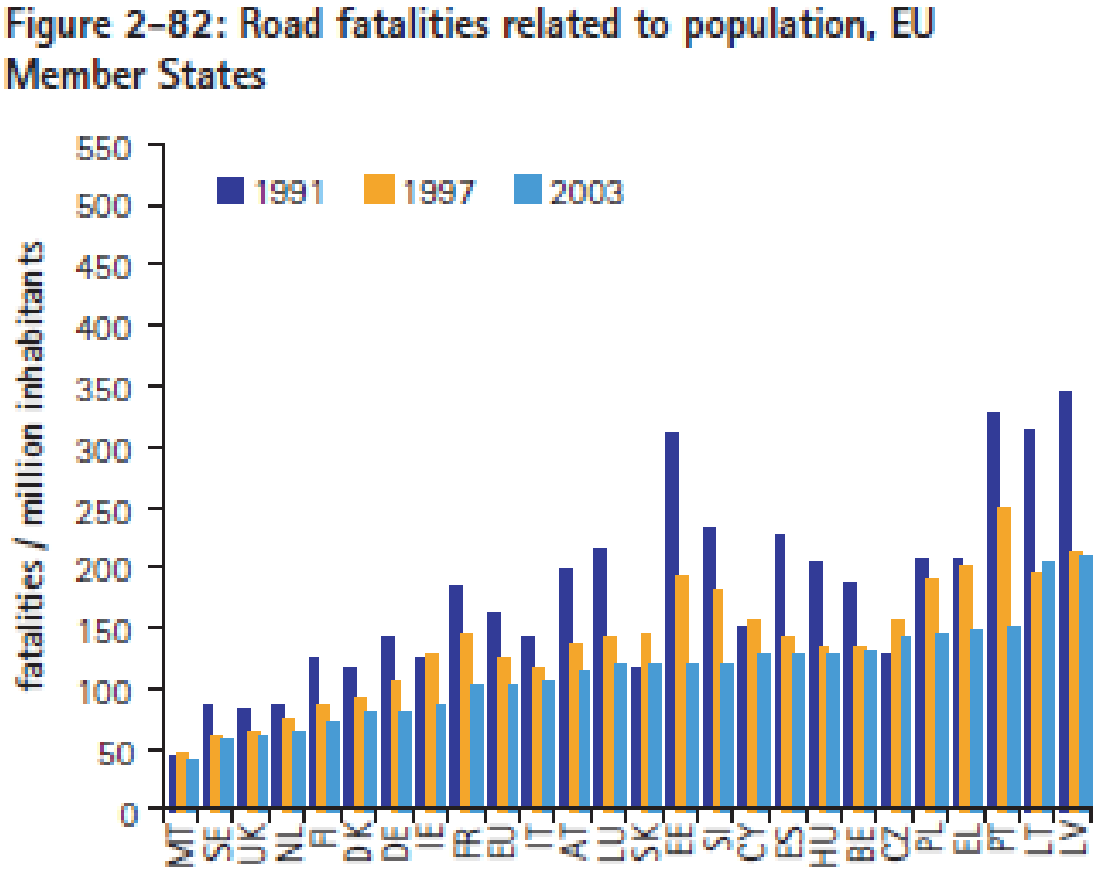
Σχήμα 7: Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά μέσο μεταφοράς [πηγή Ε.Ε., 2006]



Σχήμα 8: Εκπομπές οξέων (νιτρικών και θειικών ριζών) ανά έτος [πηγή Ε.Ε., 2006]



Σχήμα 9: Εκπομπές θορύβου ανά μέσο μεταφοράς [πηγή E.E., 2006]



Σχήμα 9: θάνατοι στις οδούς σε σχέση με τον πληθυσμό [πηγή E.E., 2006]

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 2

- **Κλασσική Σκυρογραμμή**
  - **Σιδηροτροχιές**
  - **Στρωτήρες**
  - **Σύνδεσμοι**
  - **Έρμα**
  - **Υποδομή**

1.- ΓΕΝΙΚΑ[1]

Για να εξασφαλισθεί η κύλιση και η οδήγηση των οχημάτων με ασφάλεια και άνεση πρέπει να υλοποιηθεί μια κατασκευή που υποβαστάζει με ελάχιστες παραμορφώσεις τις δυνάμεις που δημιουργούνται κατά την κυκλοφορία των συρμών.

Η κατασκευή αυτή που ονομάζεται επιδομή της γραμμής παραλαμβάνει το δυναμικό φορτίο των τροχών και διανέμει στην υποδομή (επίχωμα ή όρυγμα) πιέσεις, που πρέπει να είναι συμβατές με την αντοχή και την αντίσταση του εδαφικού υλικού που την απαρτίζει (την υποδομή).

Η κλασσική μορφή επιδομής γραμμής αποτελείται από:

- 2 σιδηροτροχιές
- στρωτήρες στους οποίους είναι στερεωμένες οι σιδ/χιές μέσω των συνδέσμων
- σκύρο στο οποίο εδράζονται οι στρωτήρες

δηλαδή ένας συνδυασμός στοιχείων με διαφορετική ελαστικότητα.

Πολυάριθμες προσπάθειες έχουν γίνει για να υποκατασταθεί αυτός ο τύπος της κλασσικής επιδομής γραμμής, από άλλους, ποτέ όμως δεν επιτεύχθηκαν αποτελέσματα που να υπερτερούν σε συδυασμό με την οικονομικότητα, τουλάχιστον για συμβατικές ταχύτητες μέχρι σήμερα. Αυτά τα μη συμβατικά συστήματα (Σταθερή Επιδομή) μπορούν παρ' όλα αυτά να πλεονεκτούν στις υψηλές ταχύτητες και σε ορισμένες ειδικές περιπτώσεις (σήραγγες, τεχνικά έργα, μετρό κ.λ.π). Για παράδειγμα η ειδική στρώση γραμμής του μετρό του Παρισιού με κύλιση σε ελαστικούς τροχούς όπως των αυτοκινήτων, δίνει μεγαλύτερη ευελιξία, λιγότερο θόρυβο και επιτρέπει επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις πολύ σημαντικές.

Στη συνέχεια αναλύεται η κλασσική μορφή της επιδομής, όπως περιγράφηκε παραπάνω, όσον αφορά τα υλικά και τις στρώσεις γραμμών που χρησιμοποιούμε.

2.- ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΕΣ [Γιαννακός 1985]

2.1.- Σύντομο ιστορικό

Ο πρόδρομος της σημερινής σιδηροτροχιάς υπήρχε και πριν την ανακάλυψη της ατμομηχανής και ήταν μια ξύλινη επιφάνεια που διευκόλυνε την κύλιση αμαξιδίων με τη χρήση λιπαντήρων.

Μια πρώτη πρόοδος σημειώθηκε όταν επενδύθηκε η ξύλινη επιφάνεια με μιά λάμα σφυρήλατου σιδήρου. Στη συνέχεια έρχονται σιδηροτροχιές χυτοσιδηρές μικρού μήκους (≅ 1,00m) τοποθετημένες σε πέτρα ή χυτοσίδηρο. Αντικαταστάθηκαν από ελατές σιδηροτροχιές κατ΄ αρχή από σίδηρο, στη συνέχεια από χάλυβα. Με την πάροδο του χρόνου, η κατηγορία του χάλυβα που χρησιμοποιείται για σιδ/χιές και χαρακτηρίζεται από την αντοχή σε εφελκυσμό, δεν σταμάτησε να αυξάνεται: από 65kg/mm^2 κατά μέσο όρο το 1925, φθάνει τα 70kg/mm^2 το 1940. Σήμερα, σύμφωνα με την Τεχνική Οδηγία 860-0 της UIC (Διεθνής Ενωση Σιδηροδρόμων) βρίσκεται μεταξύ των 680 και 830 N/mm^2 με πιό συνήθη την κατηγορία μεταξύ 740 και 760 N/mm^2 .

[1] Εισαγωγικά θα πρέπει να αναγνωσθεί το Κεφάλαιο 1 του βιβλίου «Δράσεις στη Σιδηροδρομική Γραμμή», εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα 2002, το οποίο διανέμεται από το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Η διατομή της ελατής σιδηροτροχιάς ξεκίνησε από το I, πέρασε στο διπλό ταυ για να καταλήξει στη σημερινή μορφή της σιδηροτροχιάς. Ταυτόχρονα αυξανόταν το ανά μέτρο μήκους βάρος της.

2.2.- Διατομή

2.2.1.- Κεφαλή σιδηροτροχιάς

- Η κεφαλή της σιδηροτροχιάς χαρακτηρίζεται, από το πλάτος, το ύψος, την καμπυλότητα της επιφάνειας κύλισης και την κλίση των πλευρικών της επιφανειών.
  - (α) Το πλάτος της κεφαλής της σιδ/χιάς πρέπει:
    - να είναι επαρκές για να δημιουργεί μια κατάσταση πλευρικού εγκιβωτισμού της ζώνης όπου δημιουργούνται τάσεις οφειλόμενες στην επαφή τροχού - σιδ/χιάς και οι οποίες οδηγούν σε πλευρική παραμόρφωση και θραύση της μάζας του μετάλλου της κεφαλής.
    - να επιτρέπει τη διαγραφή της καμπύλης συναρμογής μεταξύ κεφαλής - κορμού με ικανοποιητική ακτίνα και ταυτόχρονα να αφήνει ένα επαρκές πλάτος στις επιφάνειες που θα ακουμπήσουν οι αμφιδέσεις.
    - να παρέχει ένα επαρκές περιθώριο πλευρικής φθοράς για τις καμπύλες με μικρές ακτίνες.
    - Η εμπειρία δείχνει ότι ένα πλάτος κεφαλής 65÷72mm, γενικά είναι ικανοποιητικό, ενώ ένα μεγαλύτερο πλάτος οδηγεί σε μια κατάσταση πολύ έκκεντρης εφαρμογής του φορτίου.
  - (β) Το ύψος της κεφαλής της σιδ/χιάς παρέχει ένα επαρκές περιθώριο για την κατακόρυφη γραμμή (1mm για 80.000.000t ή 100.000 τραίνα). Το ύψος που έχει συνήθως υιοθετηθεί (`50mm) ανταποκρίνεται στην αναγκαιότητα για μια εξισορρόπηση των μαζών της κεφαλής και του πέλματος της σιδηροτροχιάς, ώστε να μειωθούν οι παραμορφώσεις που οφείλονται σε ετερογενή ψύξη που ακολουθεί την εξέλαση και κατά συνέπεια οι παραμένουσες τάσεις.
  - (γ) Η μορφή της καμπυλότητας της επιφάνειας κύλισης είναι πολύ ενδιαφέρουσα, γιατί επιδρά στη διανομή των τάσεων όχι μόνο στην επαφή τροχού-σιδ/χιάς αλλά επίσης και στη συνολική διατομή της σιδ/χιάς λόγω της εκκεντρότητας του σημείου εφαρμογής του φορτίου. Επίσης επιδρά σημαντικά στη σταθερότητα κύλισης των οχημάτων.
  - (δ) Η κλίση των πλευρικών επιφανειών πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μην εφάπτεται στον όνυχα του τροχού η εσωτερική επιφάνεια της κεφαλής, όταν ο τροχός κινείται σε ευθυγραμμία. Οπως όμως, οι κεκλιμένες πλευρικές επιφάνειες της κεφαλής επιτρέπουν την αύξηση του πλάτους των επιφανειών. που ακουμπούν οι αμφιδέτες, καθορίστηκε τελικά η κλίση 1/20.

2.2.2.- Πέλμα της σιδηροτροχιάς

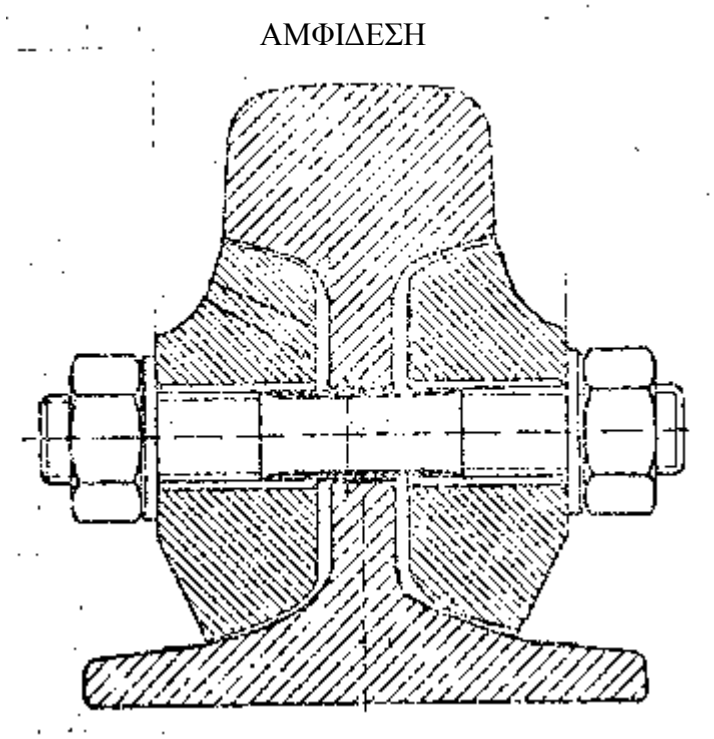
Χαρακτηρίζεται από το πλάτος, το πάχος και το σχήμα του.

(α) Το πλάτος του πέλματος καθορίζει την ακαμψία της σιδ/χιάς στο οριζόντιο επίπεδο και την αντίστασή της σε ανατροπή. Ενα μεγάλο πλάτος καταπονεί λιγότερο το στρωτήρα με μείωση της πίεσης ανά μονάδα επιφανείας. Ομως ένα υπερβολικό πλάτος δημιουργεί προβλήματα στην εξέλαση και αυξάνοντας την εγκάρσια ροπή αδρανείας αυξάνει τη δυσκολία για τοποθέτηση σε καμπύλες με πολύ μικρή ακτίνα.

(β) Το πάχος και το σχήμα του πέλματος καθορίζονται από θέματα εξισορρόπησης μεταξύ της διατομής του πέλματος και της κεφαλής και από προβλήματα εξέλασης. Το πάχος ιδιαίτερα μπορεί να προκύπτει και από λόγους αντιμετώπισης της διάβρωσης (σιδ/χιές για υπόγεια μετρό).

2.2.3.- Κορμός και επιφάνεια επαφής με αμφιδέτη

Χαρακτηρίζονται από το πάχος της ψυχής, τον τύπο της συναρμογής με την κεφαλή και το πέλμα και την κλίση της επιφάνειας επαφής με τον αμφιδέτη.



Σχήμα 1: Σιδηροτροχιά σε διατομή στη θέση αμφίδεσης σε γραμμή με αρμούς. Φαίνονται οι αμφιδέτες και στις δύο παρειές του κορμού της σιδηροτροχιάς που εφάπτονται στις κατάλληλες επιφάνειες κεφαλής και πέλματος και καθόλουν στον κορμό της σιδηροτροχιάς. [Γιαννακός 1986]

(α) Το πάχος του κορμού πρέπει να είναι επαρκές για να αντέχει τις διατμητικές δυνάμεις που επιπονούν τον κορμό και στην αυξημένη επιπόνηση που αναπτύσσεται στη γειτονική περιοχή των τρυπών αμφίδεσης και των συναρμογών και αυτό παρά την προοδευτική του μείωση από τη διάβρωση.

(β) Οι συναρμογές είναι ένα ευαίσθητο σημείο. Στα Αμερικάνικα δίκτυα όπου κυκλοφορούν φορτία των 30 και 35t ανά άξονα (στην Ευρώπη 20t/άξονα και πρόσφατα γίνεται προσπάθεια να το αυξήσουν σε 22,5t έως 25t) παρατηρήθηκαν πολυάριθμες ρηγματώσεις σ΄ αυτήν την περιοχή. Η αιτία βρέθηκε, με φωτοελαστικότητα, στη συγκέντρωση τάσεων που ευνοείται από την έκκεντρη φόρτιση της κεφαλής. Αν όμως αυξηθεί η ακτίνα της καμπύλης συναρμογής για να μειωθεί η συγκέντρωση των τάσσεων, θα μειωθεί αξιοσημείωτα το πλάτος της επιφάνειας επαφής με τον αμφιδέτη.

(γ) Η κλίση της επιφάνειας επαφής με τον αμφιδέτη είναι σημαντική για την ευστάθεια των αρμών. Αν είναι έντονη η κλίση (1/2), αποφεύγεται η φθορά του αμφιδέτη με μια σχετικά μικρή μετατόπισή του (βύθιση), αλλά οι δυνάμεις που τείνουν να ανοίξουν την αμφίδεση είναι σημαντικές και οι τάσεις στα βλήτρα της αμφίδεσης αυξημένες. Αντίθετα μια μικρή κλίση (1/4) καταπονεί λιγότερο τα βλήτρα αλλά μειώνει τη δυνατότητα αποφυγής της φθοράς και περιπλέκει το πρόβλημα συναρμογής στον κορμό.

Τελικά στα σημερινά πρότυπα της UIC η κλίση είναι 1/2,75.

2.3.- Μήκος σιδηροτροχιών

Το μήκος των σιδηροτροχιών εξελίχθηκε με την πάροδο του χρόνου. Σήμερα έχει σταθεροποιηθεί σε μήκη: 18,24,36m.

2.4.- Μελέτη της διατομής

Επαφή σιδηροτροχιάς - τροχού

Το φορτίο του τροχού παίζει αξιοσημείωτο ρόλο στην κόπωση της σιδηροτροχιάς. Στατιστικές μελέτες δείχνουν ότι αυτή η κόπωση είναι συνάρτηση του Q^{α} όπου Q το φορτίο του τροχού και α είναι μεγαλύτερο του 2.

Με την προϋπόθεση ότι παραμένουμε στην περιοχή των ελαστικών παραμορφώσεων, μπορούμε να εφαρμόσουμε τον τύπο του Herz στην επαφή τροχού - σιδ/χιάς. Σύμφωνα με τη θεωρία του Hertz (1887) η ελαστική παραμόρφωση του χάλυβα του τροχού και της σιδηροτροχιάς σημιουργεί μια ελλειπτικής μορφής επιφάνεια επαφής. Το Σχήμα 2 απεικονίζει τον τρόπο με τον οποίο το σχήμα της ελλειπτικής επαφής – που εκφράζεται με τη σχάση b/a- σχετίζεται με τη θέση της επαφής τροχού – σιδηροτροχιάς κατά μήκος της επιφάνειας κύλισης της κεφαλής της σιδηροτροχιάς.

Σχήμα 2: Παραδείγματα ελλειπτικών επαφών επί της επιφάνειας κύλισης της κεφαλής της σιδηροτροχιάς [Πηγή Esveld 2001]

Η πίεση στο κέντρο της έλλειψης είναι στη γενική του μορφή [Alias 1984]:

$$q_0 = \frac{1}{\pi \cdot \mu \cdot \nu} \cdot Q^{1/3} \cdot \left(\frac{E}{1-\sigma^2} \right)^{2/3} \cdot \left[\frac{3}{8} \cdot \left(\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_1'} + \frac{1}{\rho_2} + \frac{1}{\rho_2'} \right) \right]^{2/3} \qquad (1)$$

Όπου:
π,μ,ν συντελεστές που δίνονται από πίνακες του Herz
Ε το μέτρο ελαστικότητας,
σ συντελεστής Poisson του χάλυβα.
Q το στατικό φορτίο του άξονα
ρ_1, ρ_1', ρ_2, ρ_2' , οι κύριες ακτίνες καμπυλότητας της σιδηροτροχιάς και του τροχού.

Η εφαρμογή αυτού του τύπου, στην περίπτωση καινούργιου επισώτρου τροχού με μηδενική καμπυλότητα στο σημείο επαφής και τύπο σιδηροτροχιάς UIC 60 της οποίας η ακτίνα καμπυλότητας της κεφαλής είναι 300 m, για τροχό διαμέτρου 1,00 μ με στατικό φορτίο 10 t δίδει πίεση 110 daN/mm^2 με μήκη αξόνων έλλειψης επαφής 11 και 15,5 mm. Αντίθετα, αν η επαφή λάβει χώρα μεταξύ πλευράς κεφαλής σιδηροτροχιάς και όνυχα τροχού, η έλλειψη είναι πολύ περισσότερο πεπλατυσμένη και βρίσκουμε πίεση της τάξης των 400 daN/mm^2. Το διάγραμμα του Σχήματος 3, που καθιερώθηκε από τον Gonon [Alias 1987], επιτρέπει τον υπολογισμό των τάσεων στο κέντρο της έλλειψης επαφής όπως και τις τιμές των αξόνων 2a και 2b της έλλειψης γιε τροχούς από 500 έως 1000 mm διαμέτρου σε συνάρτηση με την R_2 που ισούται με την εγκάρσια ακτίνα καμπυλότητας της κεφαλής της σιδηροτροχιάςαν το επίσωτρο του τροχού είναι καινούργιο και η οποία μπορεί να φθάσει μέχρι 400 mm αν είναι φθαρμένη.

Κατά τον Esveld [2001, σελ 23] αναπτύσσεται μια διανομή πιέσεων που σε διατομή σχηματίζει μια μορφή ημιέλλειψης με τη μέγιστη πίεση επαφής στο κέντρο:

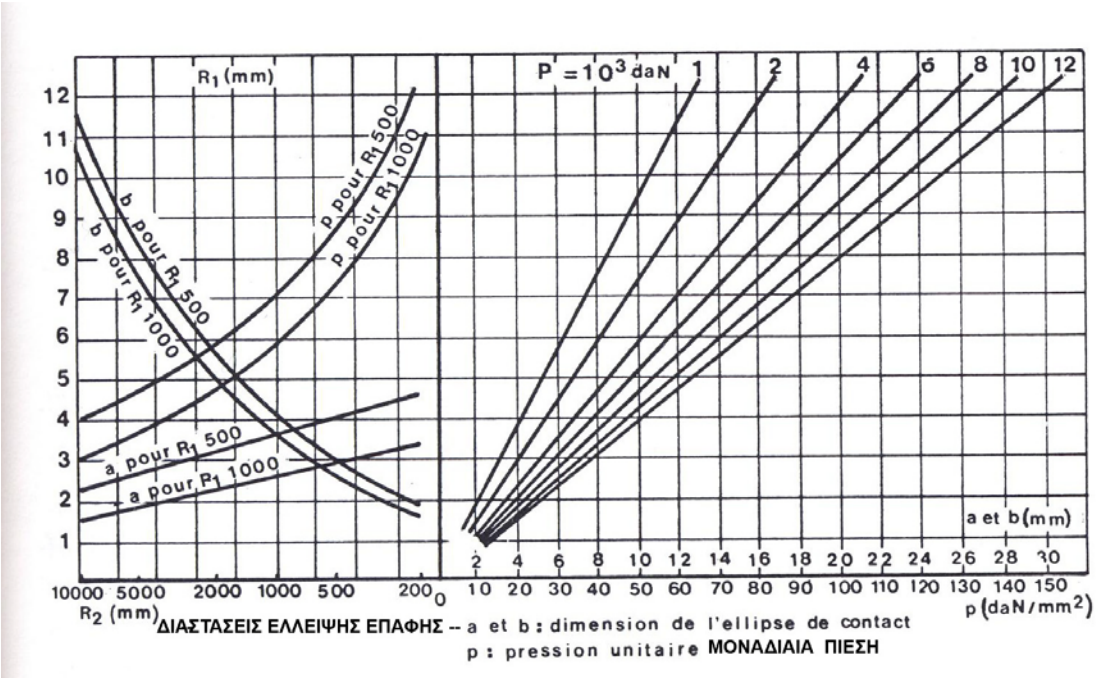
$$\sigma_{max} = \frac{3 \cdot Q}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot b} \qquad (2)$$

Και όπως φαίνεται στον πίνακα 1, θλιπτικές τάσεις από ένα φορτίο τροχού 60 kN μπορεί μερικές φορές να είναι μεγαλύτερη από 1000 Mpa και για τροχούς μεγαλύτερης διαμέτρου μπορεί ακόμη να υπερβαίνει και το διπλάσιο.

Επίσης ο Esveld [2001, σελ 86] θεωρώντας ομοιόμορφη κατανομή τάσεων στην επιφάνεια επαφής, πλάτους 2b, δίδει τη μέση πίεση στην κεφαλή σιδηροτροχιάς:

$$q_{\mu\varepsilon\sigma\eta} = \sqrt{\frac{\pi \cdot E}{64 \cdot \left(1-\nu^2\right)} \cdot \frac{Q}{r \cdot b}} \qquad (3)$$

Όπου:
Q φορτίο τροχού, r ακτίνα τροχού, 2b πλάτος επιφάνειας επαφής τροχού – σιδηροτροχιάς, ν λόγος του Poisson και E μέτρο ελαστικότητας.



Σχήμα 3: Διαγράμματα του Hertz κατά Gonon [Alias 1987] – από τα Γαλλικά pour = για, et= και.**<u>Κλείδα</u>: Με δεδομένη την R_2 χαράσσουμε την αντιστοιχούσα κατακόρυφη. Τα σημεία τομής αυτής της καθέτου με τις καμπύλες που δίδουν a, b, και p για τη θεωρούμενη διάμετρο τροχού, χαράσσονται οι οριζόντιες μέχρι τα σημεία τομής με την επιλεγείσα ευθεία P. Οι συντεταγμένες αυτών των σημείων τομής δίδουν τις τιμές a, b, και p.**

Επίσης μπορούμε να υπολογίσουμε τη μέγιστη τάση ψαλλιδισμού που αναπτύσσεται μερικά χιλιοστά μέσα από την επιφάνεια επαφής. Αυτή η τάση δίδεται από τον τύπο [Alias 1984, 1987]:

$$t = 85 \cdot Q^{1/3} \cdot \frac{1}{r} \cdot \left[\left(\frac{1}{\rho_r} - \frac{1}{\rho_b}\right)\right]^{1/3} \qquad (4)$$

όπου

r = ακτίνα του τροχού
ρr= ακτίνα της εγκάρσιας επιφάνειας της σιδηροτροχιάς
ρb= ακτίνα εγκάρσια του επισώτρου του τροχού

Η εφαρμογή αυτού του τύπου σε περίπτωση καινούργιου επισώτρου τροχού, για να έχουμε $t \leq 30 kg/mm^2$, οδηγεί σε σχέση φορτίου προς διάμετρο τροχού $\frac{Q}{D} \prec 5,5 \cdot 10^4 \, N/m$.

Πίνακας 1: Έλλειψη επαφής για διάφορους συνδυασμούς καμπυλοτήτων τροχού και σιδηροτροχιάς, για Q=60 kN *[Πηγή Esveld 2001]*

R_{wheel} [mm]	$R_{wheelprof}$ [mm]	$R_{railprof}$ [mm]	a [mm]	b [mm]	σ_N [N/mm²]	x, y, 2a, 2b
460	∞	300	6.1	4.7	1012	
460	-330	300	3.9	14.6	502	
460	-330	80	7.1	2.7	1520	
150	-330	80	4.2	3.3	2103	

Σε περίπτωση 20 t/άξονα και τροχούς διαμέτρου 1 m βρίσκουμε $Q/D=10 \cdot 10^4$ N/m. Μέχρι σήμερα η ελάχιστη διάμετρος τροχού είναι 600 mm. Στην Ευρώπη η σχέση δεν ξεπερνά το 14,5.

Ο ψαλλιδισμός t είναι η τάση η πλέον επικίνδυνη. Για να παραμείνει η παραμόρφωση ελαστική πρέπει να παραμείνει κατώτερη από ελαστικό όριο εφελκυσμού, μειωμένη κατά 30% δηλαδή περίπου στα 30 daN/mm^2 για μια σιδηροτροχιά κανονικής σύνθεσης.[Alias 1987].
Η πλέον δυσμενής περίπτωση είναι ενός επισώτρου καινούργιου κυλινδρικού ($\rho_r = \infty$) κυλιομένου σε σιδηροτροχιά UIC60, η οποία να έχει διατομή φθαρμένη ($\rho_r = 300$ mm). Πρέπει λοιπόν:

$$\frac{Q}{r} \prec \left(\frac{30}{85}\right)^3 \cdot 300 = 13 \quad t/m \quad \Rightarrow \frac{Q}{D} \prec 6,5 \quad t/m \qquad (5)$$

Με άξονες 20 t και τροχούς 1 m διάμετρο,

$$\frac{Q}{D} = 10 \qquad t/m$$

Υπάρχει λοιπόν πολύ συχνά μια πλαστική παραμόρφωση.
Όταν το επίσωτρο ενός τροχού φθάσει φθορά στα όρια ρ_b = 400 mm, τότε:

$$\frac{1}{\rho_r} - \frac{1}{\rho_b} = \frac{1}{300} - \frac{1}{400} = \frac{1}{1200}$$

Με Q/D=10 t/m τότε t=19 daN/mm^2, τιμή στο όριο του ορίου ελαστικότητας για τον ψαλλιδισμό.

Αν θεωρήσουμε κυκλική επιφάνεια επαφής, $R_{τροχού} = \infty$ και παίρνοντας το γεωμετρικό μέσο των άλλων ακτίνων, ο ακόλουθος σχετικά απλός τύπος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως σταθερά ελατηρίου του Hertz [Esveld 2001, σελ. 24]:

$$k_H = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot E^2 \cdot Q \cdot \sqrt{R_{τροχου} \cdot R_{κεφαλ-σιδ/χιας}}}{2 \cdot \left(1-\nu^2\right)^2}} \qquad (6)$$

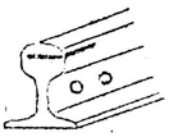
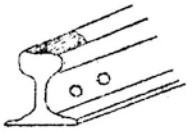
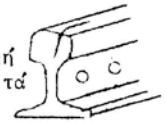
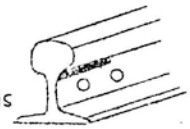
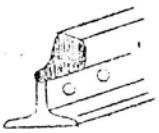
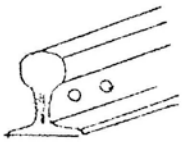
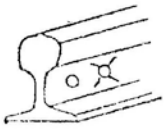
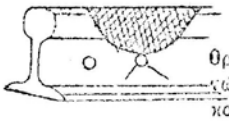
Όπου:
E = Μέτρο ελαστικότητας
ν = λόγος του Poisson
Q = κατακόρυφο φορτίο τροχού
$R_{τροχου}$ = ακτίνα τροχού
$R_{κεφ-σιδ/χιας}$ = ακτίνα κεφαλής σιδηροτροχιάς

2.5.- Βλάβες σιδηροτροχιών

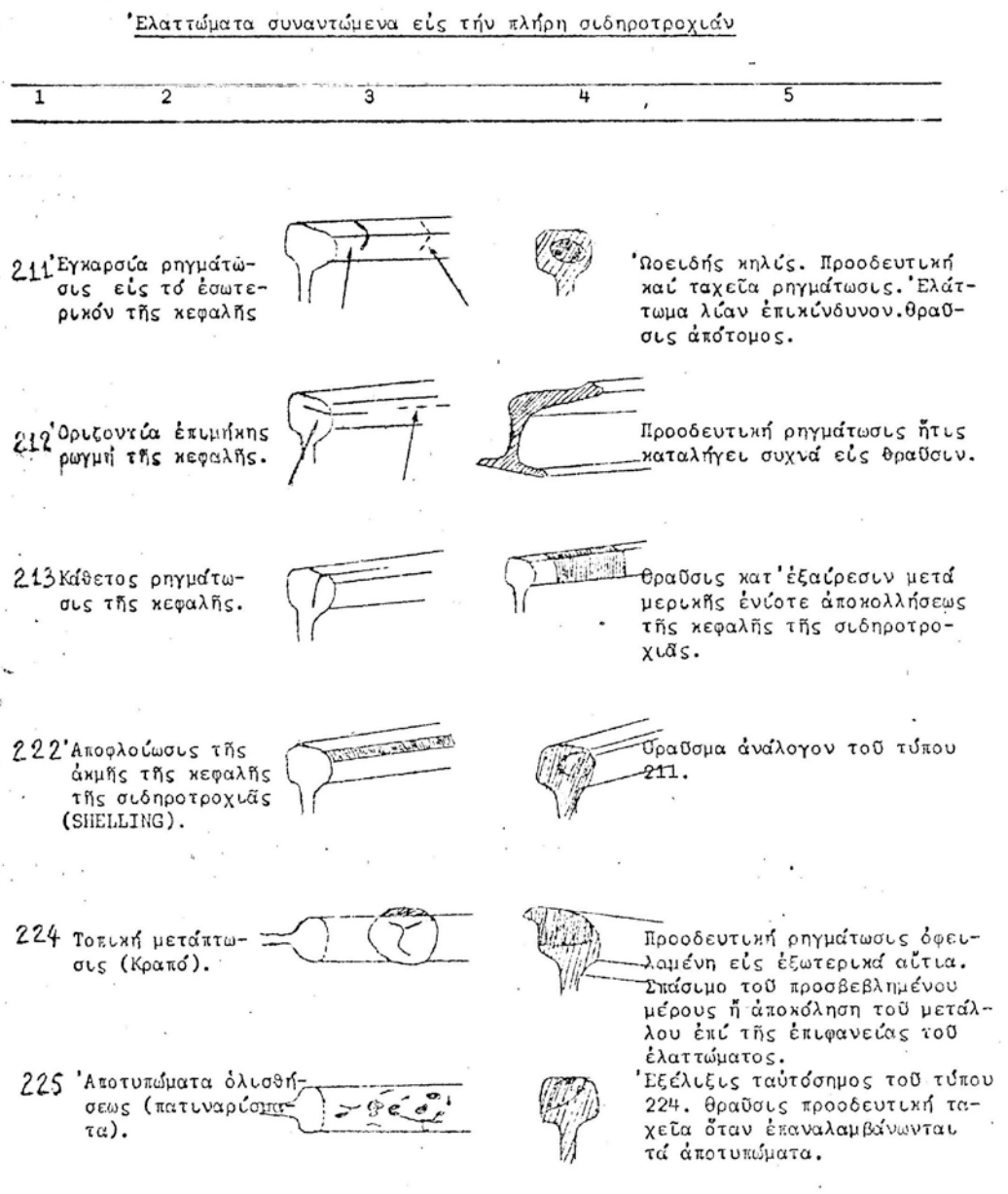
Μπορούν να ταξινομηθούν σε τρείς κατηγορίες:
- Βλάβες που οφείλονται στην παραγωγή
- Βλάβες που οφείλονται στη χρήση
- Φθορά κυματοειδής

Γενικά ορισμένες φθορές περιλαμβάνονται στα Σχήματα 4α έως 4δ:

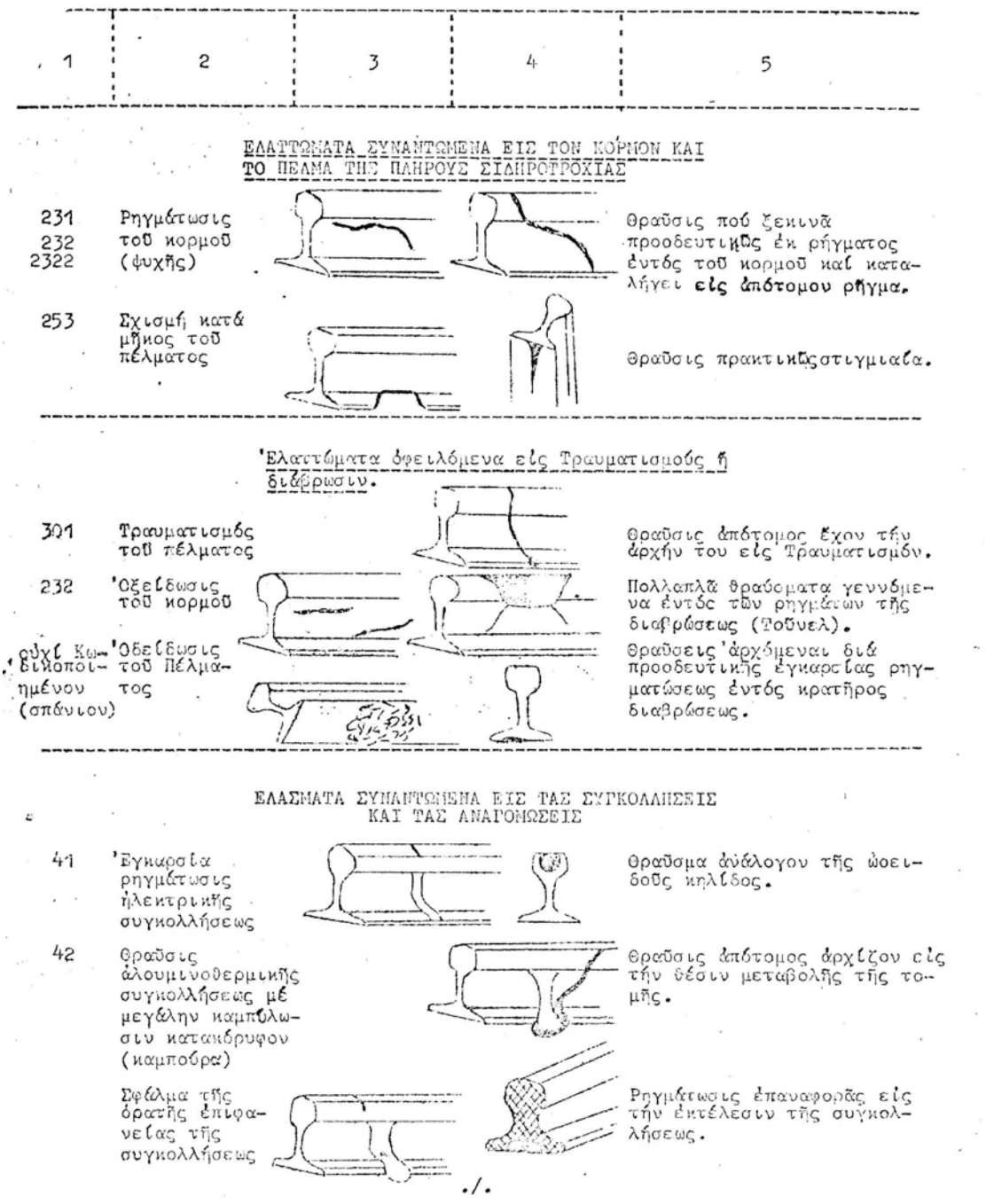
Διάφορα ἐλαττώματα σιδηροτροχιῶν συναντώμενα εἰς τά ἄκρα

Ἀριθμός Κωδικός UIC 1	Ἔνδειξις 2	Εἶδος ἐλαττώματος 3	Θραῦσις 4	Παρατηρήσεις 5
112	Ὁριζοντία ρωγμή ἄκρου			Προοδευτική ρηγμάτωσι : καί ἀποκόλλησις τοῦ μετάλλου.
113	Κατακόρυφος ρωγμή τῆς κεφαλῆς εἰς τά ἄκρα			Σπανία θραῦσις.
ή:				
132	Ὁριζοντία ρωγμή στίς συναρμογές κεφαλῆς καί ψυχῆς τῆς σιδηροτροχιᾶς.			Θραῦσις ἡ ὁποία ἀρχίζει μέ προοδευτικήν ρωγμήν εἰς τόν κορμόν καί καταλήγει εἰς ἀπόσπασιν τμήματος τῆς κεφαλῆς.
133	Κατακόρυφος ρωγμή εἰς τό ἄκρον.			Σπανία θραῦσις.
135	Ἀκτινωτή ρηγμάτωσις περιξ τῶν ὀπῶν τῆς ἀμφιδέσεως			Θραῦσις ἀρχομένη διά ρηγμάτωσεως προοδευτικῆς, εἰς τόν κορμόν, ἥτις καταλήγει εἰς πλήρη θραῦσιν.

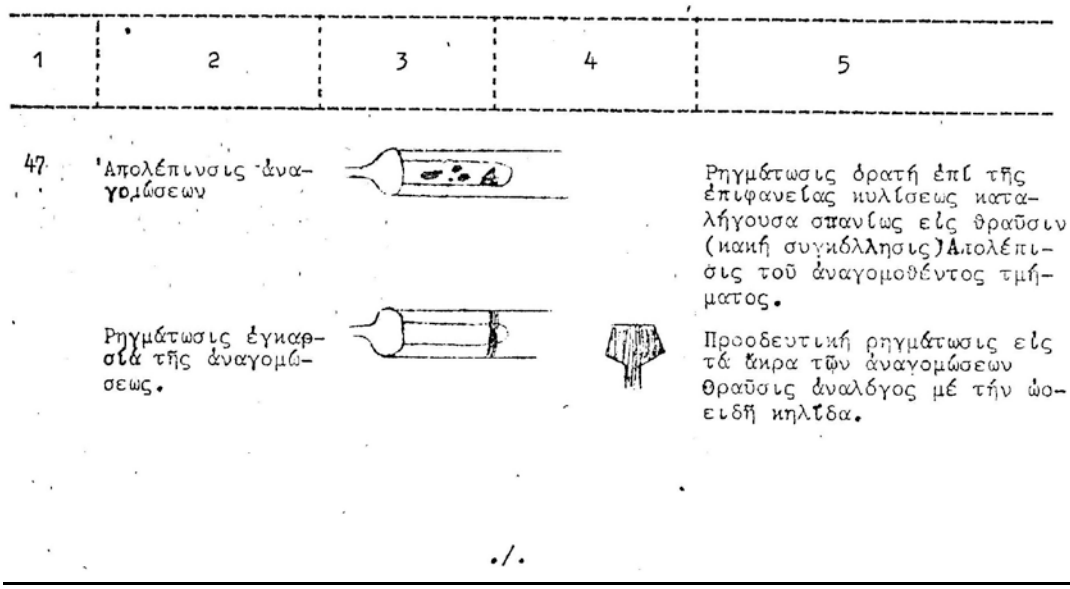
Σχήμα 4α [Γιαννακός 1985]**: Διάφορα ελαττώματα σιδηροτροχιών συναντώμενα εις τα άκρα**



Σχήμα 4β [Γιαννακός 1985]**: Διάφορα ελαττώματα σιδηροτροχιών συναντώμενα εις την πλήρη σιδηροτροχιά**



Σχήμα 4γ [Γιαννακός 1985]**: Διάφορα ελαττώματα σιδηροτροχιών συναντώμενα εις την πλήρη σιδηροτροχιά**



Σχήμα 4δ [Γιαννακός 1985]**: Διάφορα ελαττώματα σιδηροτροχιών συναντώμενα εις την πλήρη σιδηροτροχιά**

2.6.- Ταλαντώσεις της γραμμής κατά τη διέλευση φορτίων (αξόνων)

Υπό την επίδραση εγκάρσιων φορτίων, η εξίσωση της δυναμικής ισορροπίας της σιδηροτροχιάς δίδεται κατά τον Rouzier [Alias 1987]:

$$E \cdot I_2 \cdot \frac{d^4 y}{dx^4} + F \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} + \varphi \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} + k \cdot y = Y\left(x,t\right) \qquad (7)$$

όπου:

I_2 η ροπή αδρανείας της σιδηροτροχιάς περί ένα κατακόρυφο άξονα

F η αξονική δύναμη της σιδηροτροχιάς λόγω θερμοκρασιακής μεταβολής

k ο συντελεστής ελαστικότητας της σιδηροτροχιάς υπό εγκάρσια δύναμη Y ασκουμένη στο επίπεδο της κεφαλής της σιδηροτροχιάς.

φ η γραμμική μάζα (μάζα ανά μονάδα μήκους) της κεφαλής της σιδηροτροχιάς

Υποθέτοντας ότι η ελαστική γραμμή κάμψης της κεφαλής της σιδηροτροχιάς σε ταλάντωση έχει την ίδια μορφή με τη στατική ελαστική γραμμή κάμψης (τα σημεία μηδενισμού είναι τα ίδια), τα F και Y μηδενίζονται για μια βασική συχνότητα ταλάντωσης:

$$f_1 = \frac{1}{18 \cdot \pi} \cdot \sqrt{85 \cdot \frac{k}{\varphi}} \qquad (8)$$

Για $k=1,4 \cdot 10^9$ N/m^2, φ=23 kg/m (UIC 60), βρίσκουμε f= 1272 Hz.

2.7.- Επιλογή τύπου σιδηροτροχιάς

Υπάρχουν στη διεθνή βιβλιογραφία διάφορες μέθοδοι υπολογισμού των τάσεων σιδηροτροχιάς υπό τα φορτία κυκλοφορίας. Όμως ο πιο απλός και αξιόπιστος τύπος είναι αυτός που προτάθηκε στο συνέδριο του Καϊρου της AICCF[2] [Alias 1987]:

$$P = 2,5 \cdot Q \qquad (9)$$

Όπου το P είναι το ανά μέτρο μήκους βάρος της σιδηροτροχιάς σε κιλά και Q το φορτίο ανά άξονα του οχήματος.
Ο πλέον διαδεδομένος τύπος για τον υπολογισμό της αντίδρασης του στρωτήρα, είναι ο τύπος του Zimmermann ο οποίος δίδει:

$$\sigma = \frac{Q \cdot \mathrm{v}}{2\sqrt{2}} \cdot \left(\frac{E \cdot \ell}{I^3 \cdot \rho} \right)^{1/4} \qquad (10)$$

Όπου:
σ η τάση σε kg/mm^2
Q το φορτίο του τροχού σε kg
E συντελεστής ελαστικότητας του χάλυβα 22000 kg/mm^2
ℓ απόσταση στρωτήρων (π.χ. 600 mm)
I ροπή αδρανείας κατακόρυφη της σιδηροτροχιάς σε mm^4
V η απόσταση της βάσης της σιδηροτροχιάς από τον ουδέτερο άξονά της σε mm
ρ η ακαμψία της έδρασης (συντελεστής αντίδρασης του στρωτήρα)

Λαμβάνοντας φ= 40 kN/mm που είναι μια μέτρια έδραση γραμμής και σ=7,5 kg/mm^2 που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε σε μέτριες εδράσεις γραμμής, βρίσκουμε:

$$Q = 2,799 \cdot \frac{I^{3/4}}{\mathrm{v}} \qquad (11)$$

Ο πίνακας 2 δίδει τα μέγιστα φορτία για έδραση με φ= 40 kN/mm, και σιδηροτροχιές UIC54 και UIC60 που χρησιμοποιούνται διεθνώς και στην Ελλάδα, όπως και της βαρύτερης σιδηροτροχιάς UIC71 [Alias 1987]:

[2] Association Internationale de Cooperation des Chemins de Fer

Πίνακας 2: Μέγιστο φορτίο τροχού για σιδηροτροχιές για ρ υποδομής = 40kN/mm

Τύπος σιδ/χιάς	Ροπή Αδρανείας [mm^4]	v [mm]	2Q φορτίο άξονα [t]
UIC 54	23.460.000	76,20	24,76
UIC 60	30.550.000	80,96	28,41
UIC 71	41.520.000	83,04	34,87

Ο πίνακας αυτός δίδει μια σχέση περίπου:

$$P_{[kg]} = 2,25 \cdot Q_{[t]} + 3 \qquad (12)$$

Που προσεγγίζει πολύ τον τύπο της AICCF του Καϊρου.

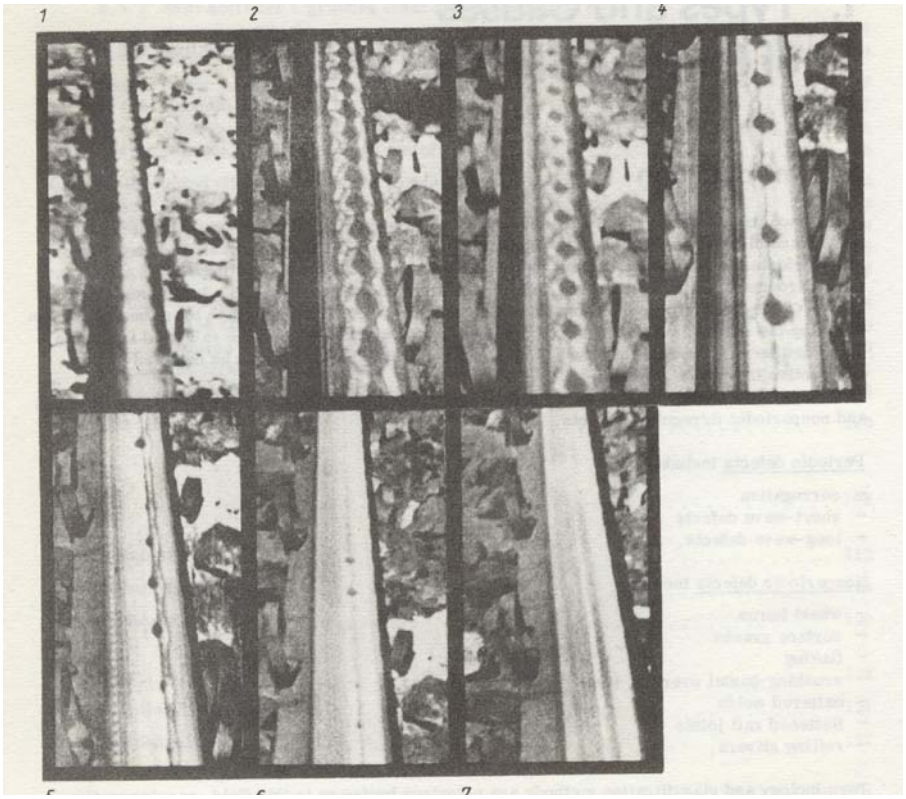
Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ένας γενικός κανόνας είναι ότι φορτία ανά άξονα 20, 25, 30 και 35 t απαιτούν τη χρήση σιδηροτροχιών αντίστοιχα ελαχίστου βάρους ανά μέτρο 50, 60, 70 και 80 kg.

Για υψηλές ταχύτητες 250 έως 300 km/h όπου οι άξονες έχουν μικρό βάρος (17 t) απαιτείται κατ' ελάχιστον σιδηροτροχιά βάρους 60 kg/m για να αποφευχθεί η δευτερογενής κάμψη της σιδηροτροχιάς μεταξύ δύο διαδοχικών στρωτήρων όπως επίσης να αποφευχθούν και συντονιστικά φαινόμενα.

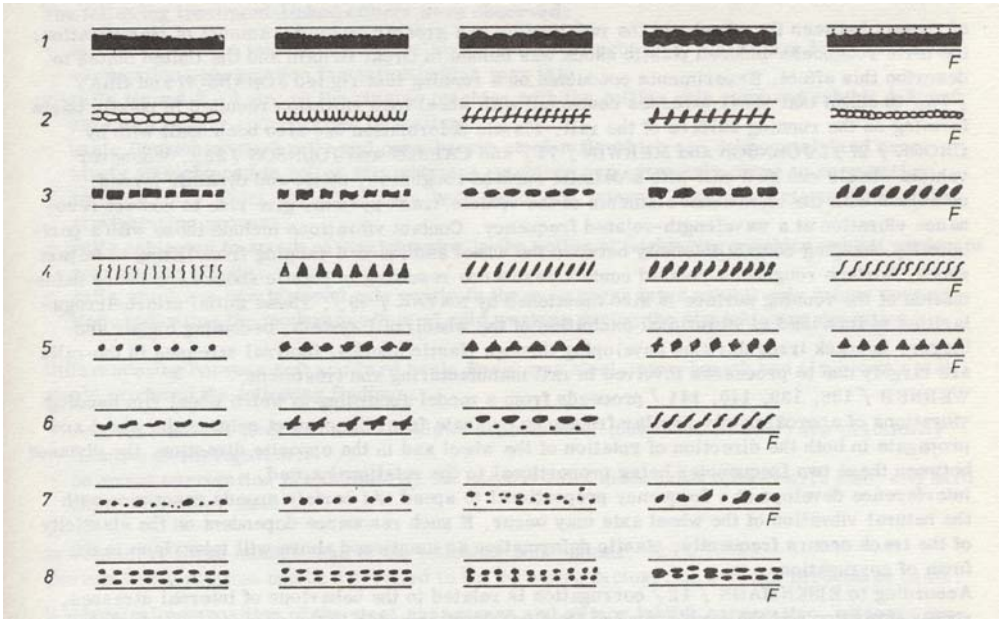
2.8.- Λείανση σιδηροτροχιών

2.8.1.- Γενικά

Μεταξύ των σφαλμάτων των σιδηροτροχιών τα πλέον σοβαρά με επιπτώσεις στη φόρτιση της γραμμής και των οχημάτων είναι τα σφάλματα της επιφάνειας κύλισης της σιδηροτροχιάς. Χαρακτηρίζουμε γενικά τα σφάλματα αυτής της μορφής κυμματοειδή φθορά. Παρουσιάζεται υπό τη μορφή «κυμμάνσεων» με χαρακτήρα περιοδικό ή ψευδοπεριοδικό συνοδευόμενη από τροποποιήσεις της μεταλλουργικής δομής της ζώνης που επηρεάζεται από αυτήν. Δεν είναι ξεκαθαρισμένη η αιτία που τη δημιουργεί, τουλάχιστον δεν υπάρχει πειστική απάντηση, αλλά όμως φαίνεται ότι μια σειρά παραμέτρων την προκαλεί: κάποια φαινόμενα συντονισμού μεταξύ τροχού – σιδηροτροχιάς, η «σύσταση» της εσχάρας της γραμμής, χαρακτηριστικά των σιδηροτροχιών, οι σύνδεσμοι, ο τύπος και η ταχύτητα κυκλοφορίας κ.λπ. Όταν εμφανισθεί η κυμματοειδής φθορά επιφέρει πολύ σοβαρές επιπτώσεις και οχλήσεις στο περιβάλλον αλλά και καταπόνηση στη γραμμή ακι τους συρμούς.
Μπορούμε να ορίσουμε την **κυμματοειδή φθορά** ως μια κανονική διαδοχή μορφής κύματος με «κορυφές» και και «κοιλίες» με «μήκη κύματος» μεταξύ 3 και 8 cm. Αναγνωρίζεται ως «λάμπουσες» κηλίδες μεγαλύτερης σκληρότητας από τη βασική σκληρότητα του μετάλλου της σιδηροτροχιάς που «αναπτύσσεται» σε κυματοειδείς ανωμαλίες βάθους 0,02 έως 0,4 mm. Στην εικόνα του Σχήματος 5β φαίνονται περιπτώσεις κυματοειδούς φθοράς. Στο Σχήμα 5α παρουσιάζονται φωτογραφίες σιδηροτροχιών με κυματοειδή φθορά πριν, κατά τη διάρκεια εργασιών λείανσης από συρμό λείανσης σιδηροτροχιών (με πολλαπλά «περάσματα») και μετά το τέλος των εργασιών [Funke 1986].



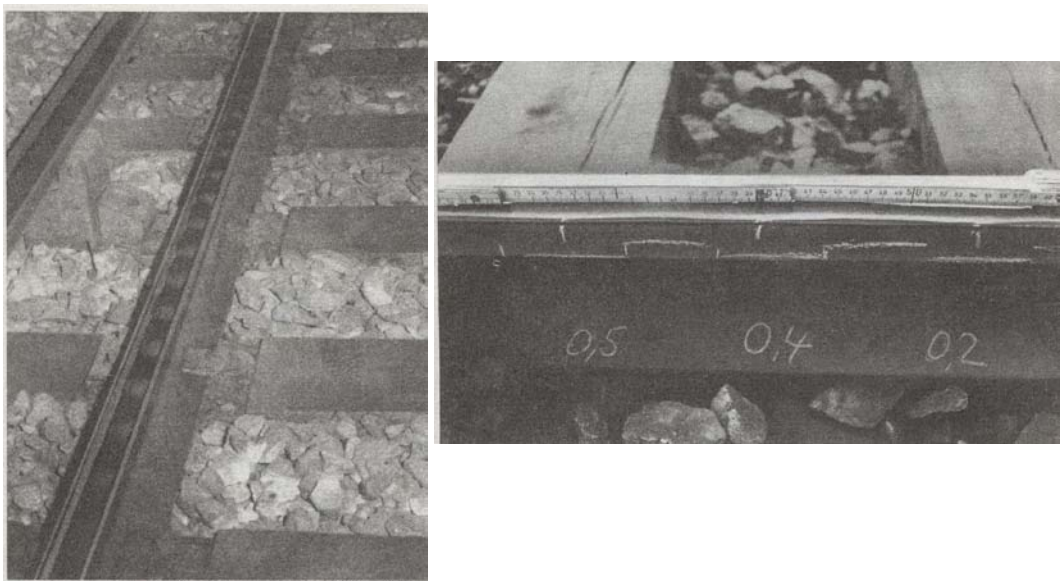
Σχήμα 5α: Επιφάνεια κύλισης σιδηροτροχιάς με κυματοειδή φθορά (1) και (2), κατά τη διάρκεια εργασιών λείανσης (3) έως (6) και μετά αρκετά «περάσματα του συρμού λείανσης. [Funke 1986]



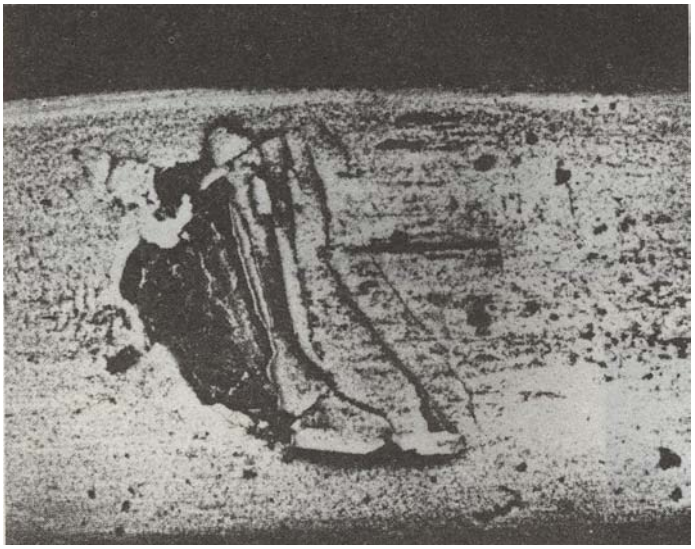
Σχήμα 5β: Χαρακτηριστική εμφάνιση κυματοειδούς φθοράς. F το σημείο μέτρησης του εύρους [πηγή Γερμανικοί σιδηρόδρομοι όπως παρατίθεται στο Funke 1986]

Άλλη μορφή είναι η «**βραχέος μήκους κυματοειδής φθορά**» (Σχήμα 6) που έχουν μήκος κύματος από «κορυφή» σε «κορυφή» 8 έως 30 cm και βάθος 0,1 έως 1,2 mm.Οι «κορυφές» και οι «κοιλίες» μοιάζουν το ίδιο «λαμπρές». Οφείλονται σε

ολίσθηση τροχών και εμφανίζονται κύρια στις εσωτερικές (χαμηλότερες) σιδηροτροχιές καμπυλών με ακτίνες μικρότερες των 600 ÷ 700 m [Funke 1986].
Άλλη μορφή είναι η «**μακρού μήκους κυματοειδής φθορά**» που είναι κυματοειδής φθορά στην επιφάνεια κύλισης της σιδηροτροχιάς και έχουν μήκος κύματος από 0,60 έως 2,30 m και βάθος 0,5 έως 4 mm [Funke 1986]. Τα «κύματα» είναι περισσότερο ή λιγότερο διακριτές ανωμαλίες στην επιφάνεια κύλισης της σιδηροτροχιάς με μήκος από «κορυφή» σε «κορυφή» γενικά μεταξύ 25 και 150 cm αλλά μπορεί και περισσότερο σε ορισμένες περιπτώσεις.

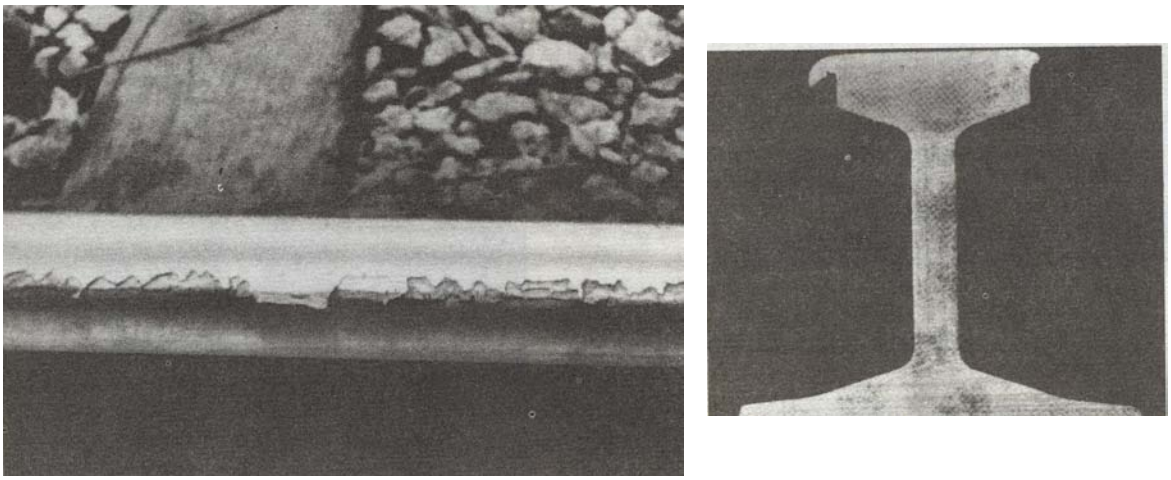


Σχήμα 6: Φθορά βραχέος μήκους - αριστερά 12,5 cm μήκους κύματος και 0,2 mm βάθους σε καμπύλη ακτίνας 100 m στο Μετρό του Παρισιού (Φωτογραφία RATP – Πηγή Funke 1986)**, - δεξιά μήκους 14 – 15 cm και 0,4 – 0,5 mm βάθους, σε καμπύλη ακτίνας 281 m** [Πηγή Funke 1986].



Σχήμα 7: πατινάρισμα τροχού [Πηγή Funke 1986]

Και οι «κορυφές» και οι «κοιλίες» παρουσιάζουν μια ομοιόμορφα λάμπουσα εμφάνιση. Οφείλονται στα κύλιστρα (τύμπανα) ευθυγράμμισης των σιδηροτροχιών κατά τη διαδικασία παραγωγής τους στο εργοστάσιο. Επίσης σχηματίζονται στις σιδηροτροχιές επί των οποίων τρέχουν οχήματα με ομοιόμορφα χαρακτηριστικά (ίδια ανάρτηση, απόσταση αξόνων στο φορείο, απόσταση φορείων, διάμετρο τροχών κ.λπ.) και διατρέχονται με την ίδια ταχύτητα.



Σχήμα 8: Εκχειλώσεις κεφαλής σιδηροτροχιάς – αριστερά από επέκταση πηγματώσεων – δεξιά από παραμόρφωση λόγω μεγάλης φόρτισης [Πηγή Funke 1986]**.**

Υπάρχουν επίσης και μη περιοδικά σφάλματα της επιφάνειας της κεφαλής σιδηροτροχιάς: ολισθήσεις (πατιναρίσματα) τροχών (Σχήμα 7), θραύσεις ή αποφλοιώσεις επιφανειακές, «εκχειλώσεις», θραύσεις από υπέρβαση αντοχής του μετάλλου με διαρροή και εκχειλώσεις, επικάμψεις άκρων σιδηροτροχιών σε αρμούς (Σχήμα 8), συγκολλήσεις «χαμηλωμένες» ως αρμοί λόγω διαφορετικής σκληρότητας υλικού συγκολλήσεων και σιδηροτροχιάς κ.λπ.

2.8.2.- Επιπτώσεις των σφαλμάτων της επιφάνειας κύλισης των σιδηροτροχιών[3]

Για ένα ιδεατό ημιτονοειδές σφάλμα της μορφής (ίδε Σχήμα 9 άνω):

$z(x) = \mathrm{a} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\ell} \cdot x\right)$ σε άκαμπτη επιφάνεια κύλισης επί της οποίας ένας ιδεατός τροχός χωρίς σφάλματα ταξιδεύει με ταχύτητα V σε m/s. Για να λάβουμε μια συνάρτηση εξαρτώμενη από το χρόνο έχουμε: $x = V \cdot t$. Μετά δύο παραγωγίσεις ως προς το χρόνο η κατακόρυφη επιτάχυνση (b) λαμβάνεται:

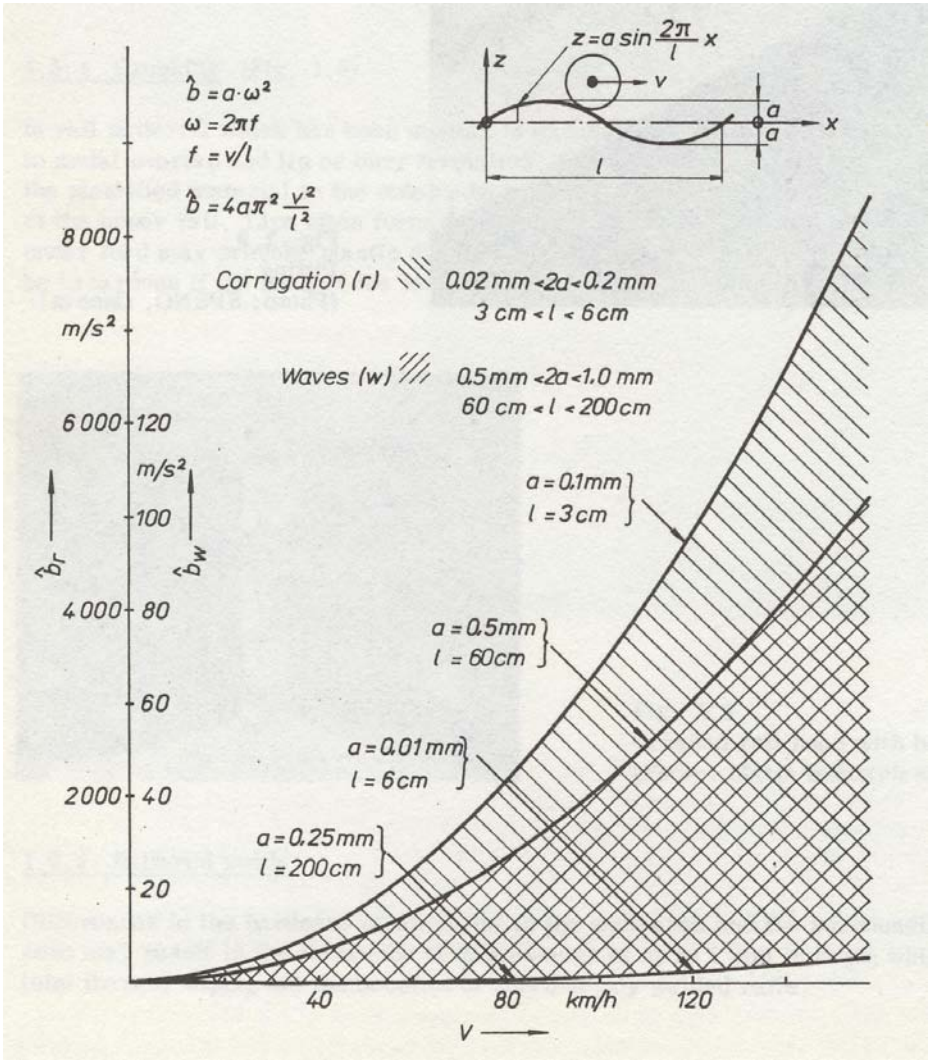
$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{\mathrm{a} \cdot 2\pi \mathrm{V}}{\ell} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{\ell} \cdot V \cdot t\right) \quad \kappa\alpha\iota \quad \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} = -\mathrm{a} \cdot \left(\frac{2\pi \mathrm{V}}{\ell}\right)^2 \cdot \sin\left(\frac{2\pi \mathrm{V}}{\ell} \cdot t\right) = b$$

[3] Λεπτομερέστερη ανάλυση στο βιβλίο «Δράσεις στη σιδηροδρομική Γραμμή»

Οι μέγιστες τιμές της επιτάχυνσης $b_{\max} = \hat{b}$ λαμβάνονται για ημίτονο ίσο με 1 οπότε:

$$\hat{b} = 4 \cdot \mathrm{a} \cdot \pi^2 \cdot \frac{V^2}{\ell^2} \qquad (13)$$

Στο Σχήμα 9 η επιτάχυνση απεικονίζεται σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση και κυματοειδή φθορά διαφορετικού «βάθους» και μήκους κύματος σε συνάρτηση με την ταχύτητα. Στο Σχήμα 10 δίδεται η απεικόνιση της επιτάχυνσης με τους δύο άξονες συντεταγμένων σε λογαριθμική κλίμακα.

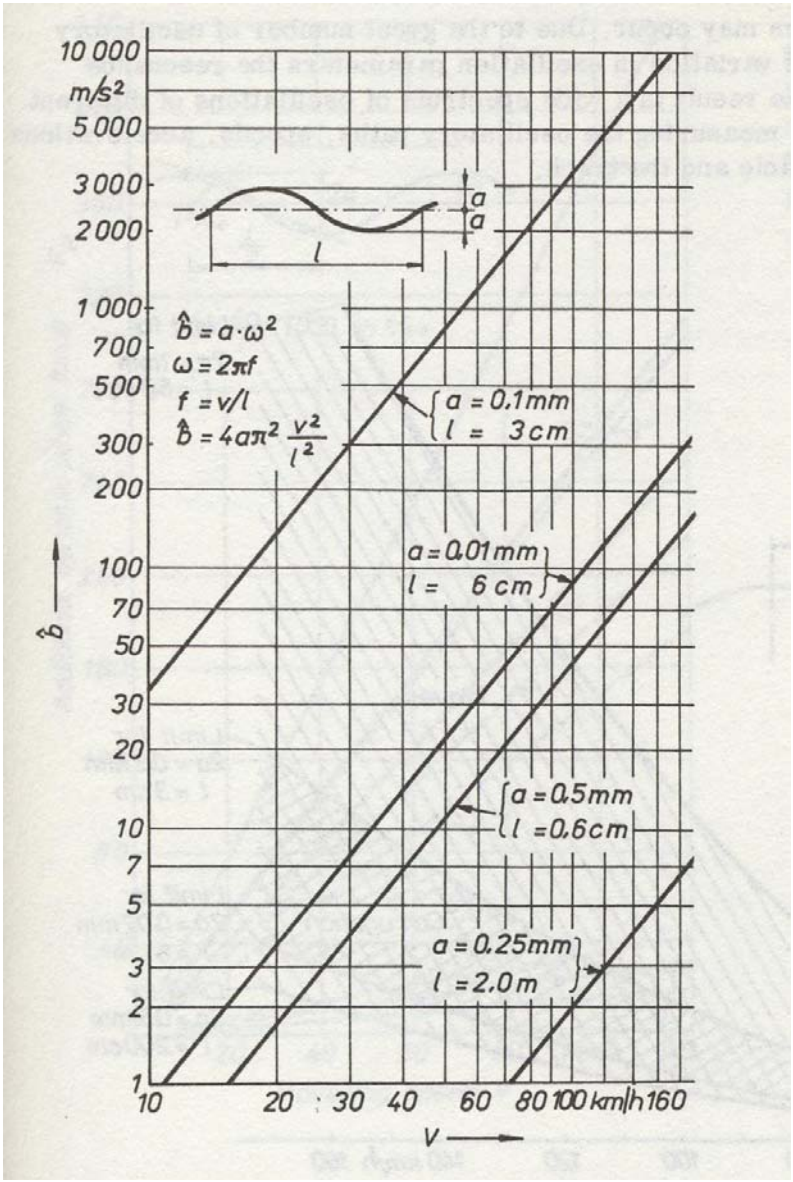


Σχήμα 9: Κατακόρυφη επιτάχυνση ($\hat{b}_r$) με παρουσία κυματοειδούς φθοράς και ($\hat{b}_w$) με παρουσία κυμάνσεων σε συνάρτηση της ταχύτητας V σε km/h [Πηγή Funke 1986]**.**

Η πραγματική επιτάχυνση είναι πολύ μικρότερη από αυτές που υπολογίζονται με ιδεατές συνθήκες άκαμπτης γραμμής επειδή υπεισέρχονται η ελαστικότητα και η απόσβεση της γραμμής και του οχήματος. Δηλαδή:

$$\hat{b} = 4 \cdot \mathrm{a} \cdot \pi^2 \cdot \frac{V^2}{\ell^2} \cdot f(\rho, c) \qquad o\pi ov \qquad 0 \prec f(\rho, c) \prec 1 \tag{14}$$

Σύμφωνα με το Νόμο του Νεύτωνα **μάζα x επιτάχυνση = δύναμη** η επιτάχυνση λόγω των σφαλμάτων της επιφάνειας κύλισης της σιδηροτροχιάς επιδρά στις Μη Ανηρτημένες Μάζες των οχημάτων επιφέροντας προσαύξηση των δράσεων επί της γραμμής και των αντιδράσεων επί των οχημάτων όπως θα εξετάσουμε αργότερα στο μάθημα.



Σχήμα 10: Κατακόρυφη επιτάχυνση ($\hat{b}_r$) με παρουσία κυματοειδούς φθοράς και ($\hat{b}_w$) με παρουσία κυμάνσεων σε συνάρτηση της ταχύτητας V σε km/h – οι άξονες συντεταγμένων σε λογαριθμική κλίμακα [Πηγή Funke 1986].

Οι Albrecht και Solotarski (ίδε Funke 1986) δίδουν τον τύπο του Σχήματος 11 για το δυναμικό συντελεστή K_d που βασίζεται στην εμπειρία και σε μετρήσεις.

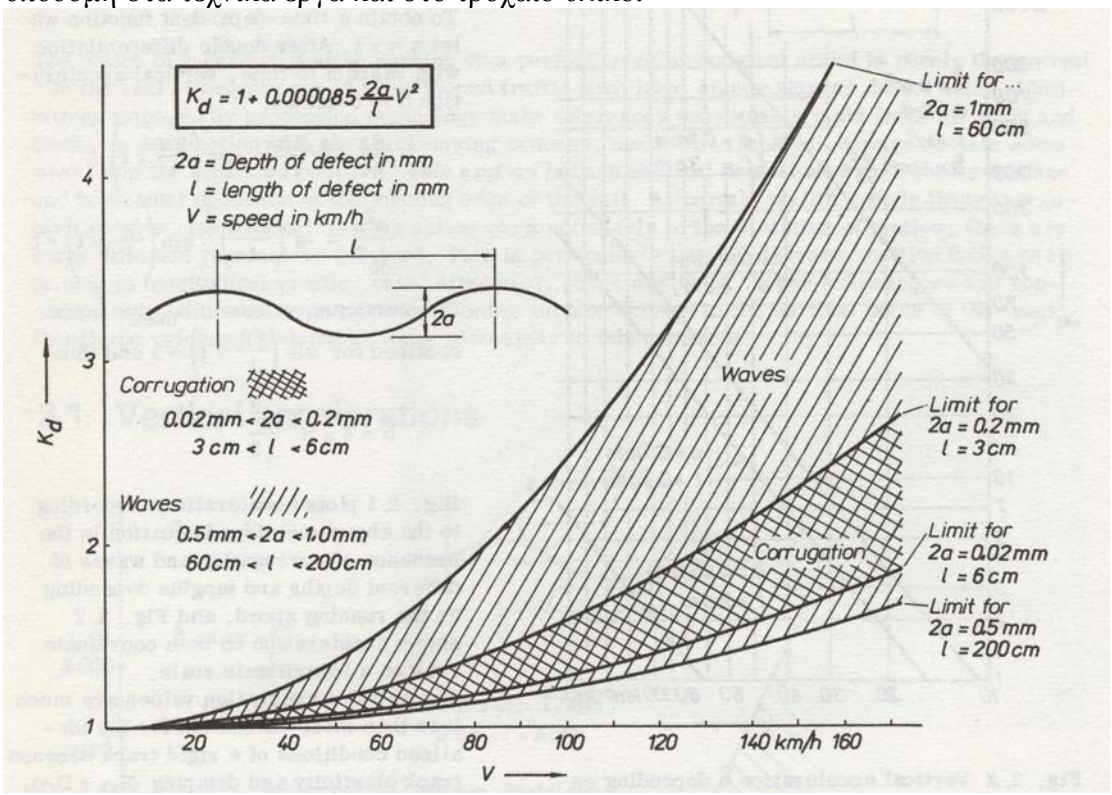
$$k_d = 1 + 0,000085 \cdot \frac{2 \cdot a}{\ell} \cdot V^2 \qquad (15)$$

Όπου:
2α = βάθος του σφάλματος σε mm
ℓ = μήκος κύματος του σφάλματος σε mm
V = ταχύτητα σε km/h

Κατά τον Funke ο τύπος αυτός δεν είναι αξιόπιστος όσον αφορά το μέγεθος ούτε λαμβάνει την ελαστικότητα της γραμμής υπ' όψη.

Αναλυτικά θα εξετάσουμε την επίδραση της κατάστασης της επιφάνειας κύλισης της σιδηροτροχιάς στη φόρτιση (Δράσεις επί) της γραμμής (και συνεπώς στις αντιδράσεις της γραμμής επί των οχημάτων) στη συνέχεια από το βιβλίο «Δράσεις στη Σιδηροδρομική Γραμμή».

Η κατάσταση της επιφάνειας κύλισης της σιδηροτροχιάς και οι επιταχύνσεις που συνεπάγεται και οι ασκούμενες δυνάμεις – καταπονήσεις, φθείρουν ή/και δημιουργούν προβλήματα στις σιδηροτροχιές, στους συνδέσμους, στο έρμα, στην υποδομή στα τεχνικά έργα και στο τροχαίο υλικό.



Σχήμα 11: τύποι και διαγράμματα για το δυναμικό συντελεστή K_d κατά Albrecht και Solotarski [Πηγή Funke 1986].

Επιδρούν επισης στο θόρυβο (περιβαλλοντικές επιπτώσεις) στους επιβάτεςκαι την άνεσή τους, στην κατανάλωση ενέργειας και στη συχνότητα συντήρησης της υποδομής και του τροχαίου υλικού.

Τα προηγμένα σιδηροδρομικά δίκτυα λειαίνουν τις γραμμές τους αμέσως μετά τη στρώση τους και πριν την πρώτη κυκλοφορία για να αντιμετωπίσουν τις «κυμάνσεις» από τα έλαστρα (τύμπανα) παραγωγής των σιδηροτροχιών στο εργοστάσιο και μετά κάθε 4 χρόνια με οφέλη εκτός από τα παραπάνω και οικονομία στη συντήρηση γραμμής από 6 έως 10 % ετήσια.

3.- ΣΤΡΩΤΗΡΕΣ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ[4] [Γιαννακός 1985]

3.1.- Γενικά

Η μεταβίβαση των δυνάμεων μεταξύ σιδηροτροχιάς και σκύρου γίνεται από τους στρωτήρες οι οποίοι εξασφαλίζουν ταυτόχρονα τη διατήρηση του εύρους της γραμμής.

Οι στρωτήρες παίζουν τριπλό ρόλο:

- μεταβίβαση φορτίων από τη σιδη/χιά στο σκύρο
- διατήρηση του εύρους της γραμμής
- διατήρηση της επίκλισης της σιδηροτροχιάς στο 1/20 στο ελληνικό δίκτυο και στο 1/40 π.χ. στο Γερμανικό δίκτυο

Μηχανικά οι στρωτήρες καταπονούνται από το φορτίο που τους μεταβιβάζουν οι σιδ/χιές, γενικά έκκεντρο λόγω των πλευρικών δυνάμεων που εξασκούνται από τα οχήματα που κινούνται στη γραμμή και από την αντίδραση του σκύρου που εξαρτάται πολύ από τις συνθήκες έδρασης των στρωτήρων. Οι υπολογισμοί που μπορούν να γίνουν είναι πολύ προσεγγιστικοί και δεν παρουσιάζουν ενδεχόμενα ενδιαφέρον παρά μόνο για τους στρωτήρες από σκυρόδεμα και τους μεταλλικούς.

Το ξύλο επιβλήθηκε γρήγορα σαν το υλικό το πιό κατάλληλο για να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις που επιβάλλει η λειτουργία των στρωτήρων. Η σπανιότητα του ξύλου όμως, σε ορισμένες χώρες ή σε ορισμένες εποχές, οδήγησε τελικά τα σιδηροδρομικά δίκτυα να χρησιμοποιήσουν υποκατάστατα.

Ετσι το 1880 στη Γερμανία γεννήθηκε ο σιδερένιος στρωτήρας και αποτέλεσε μια διέξοδο πολύ ενδιαφέρουσα για τη σιδηροβιομηχανία στο τέλος του περασμένου αιώνα. Πιό πρόσφατα στη Γαλλία αλλά και σε άλλες χώρες της Ευρώπης εμφανίστηκαν και διαδόθηκαν οι στρωτήρες Οπλισμένου Σκυροδέματος. Παρόλα αυτά ο ξύλινος στρωτήρας παρέμεινα μέχρι σήμερα διαδεδομένος. Μόνος του στις σύγχρονες γραμμές εξασφαλίζει, χωρίς ειδικά εξαρτήματα, ηλεκτρική μόνωση επαρκή μεταξύ δύο σιδηροτροχιών για τη χρησιμοποίηση κυκλωμάτων γραμμής στην αυτόματη σηματοδότηση. Προσφέρει επίσης την καλύτερη ποιότητα για εύκαμπτη γραμμή. Το κύριο μειονέκτημά του παραμένει η σχετική ευαισθησία του στις ατμοσφαιρικές συνθήκες που για ορισμένα είδη ξύλου οδηγεί σε έξοδα συντήρησης

[4] Εδώ γίνεται εισαγωγή στο θέμα. Αναλυτική ανάπτυξή του θα γίνει στη συνέχεια από το βιβλίο «Δράσεις στη Σιδηροδρομική Γραμμή».

σχετικά υψηλά. Τα έξοδα συντήρησης αυτά μειώνονται αισθητά με τη χρησιμοποίηση ξύλων τροπικών τα οποία είναι περισσότερο ανθεκτικά.

Εν τούτοις αυτή τη στιγμή ο στρωτήρας από Οπλισμένο Σκυρόδεμα συναγωνίζεται με μεγάλη επιτυχία τον ξύλινο.

Στην πραγματικότητα η εκλογή του τύπου του στρωτήρα είναι πρόβλημα οικονομικό, που μπορεί να λυθεί με ένα προϋπολογισμό επικαιροποιημένο (ανηγμένο στην ίδια οικονομική βάση), στον οποίο παρεμβαίνουν οι ακόλουθες παράμετροι:

- κόστος αγοράς στρωτήρα των συνδέσεών του και των ειδικών μονωτικών στοιχείων που απαιτούνται
- διάρκεια ζωής
- τιμή αντικατάστασης
- έξοδα συντήρησης αναθεωρημένα για όλη τη διάρκεια ζωής του.

Απ΄ αυτή την άποψη σε τρέχουσες τιμές οι ξύλινοι στρωτήρες στην Ελλάδα είναι ακριβώτεροι από τους στρωτήρες Οπλισμένου Σκυροδέματος περίπου κατά 50% (όταν οι ξύλινοι στρωτήρες έχουν προσήλωση Κ). Επιπλέον έχουν χρόνο ζωής περίπου 25 χρόνια (αντί 40 με 50 των στρωτήρων σκυροδέματος) και ετήσιο κόστος συντήρησης (μια γραμμή με ξύλινους στρωτήρες) 1,4 φορές το κόστος συντήρησης μιας γραμμής με στρωτήρες σκυροδέματος.

3.2.- Ξύλινοι στρωτήρες

Τα είδη ξύλου που σήμερα χρησιμοποιούμε στην Ελλάδα για στρωτήρες είναι βασικά η οξυά και η δρύς από τα Ευρωπαϊκά δέντρα και η ξυλεία Αζομπέ από τα τροπικά. Χρησιμοποιούμε (στο παρελθόν) και ξυλεία πεύκης.

Η διάρκεια ζωής της δρυός είναι 25 χρόνια όταν έχει εμποτιστεί με κρεοζοτέλαιο. Για την οξυά (εμποτισμένη) είναι 30 χρόνια. Αυτά τα δύο είδη ξυλείας χρησιμοποιούνται εμποτισμένα. Η διάρκεια ζωής του Αζομπέ είναι 40 χρόνια μη εμποτισμένο και 45 εμποτισμένο.

Ο εμποτισμός των στρωτήρων γίνεται με κρεοζοτέλαιο και ο ΟΣΕ διαθέτει ιδιόκτητο εργοστάσιο εμποτισμού στην Κατερίνη.

Οι ξύλινοι στρωτήρες στα άκρα τους είτε συσφίγγονται με μεταλλική ταινία, η οποία σαν στεφάνη περιβάλλει το άκρο του στρωτήρα, είτε εμπήγονται στην κάθετη ακραία διατομή του στρωτήρα ειδικά ελάσματα. Με τις δύο μεθόδους αυτές επιτυγχάνεται εγκιβωτισμός των ινών του ξύλου ώστε να αποφευχθεί απόσχιση τεμαχίου ή αποδιοργάνωση του άκρου του στρωτήρα.

3.3.- Μεταλλικοί στρωτήρες

Ο μεταλλικός στρωτήρας είναι βιομηχανικό προϊόν απλής κατασκευής. Συνίσταται από ελατή διατομή μορφής ενός U ανεστραμμένου, σφυρηλατημένος στο άκρο του που βυθίζονται στο σκύρο και δεν επιτρέπουν την εγκάρσια μετατόπιση της γραμμής.

Η σιδ/χιά στερεώνεται μέσω αγκυρίων (κραπώ) που στηρίζονται σε τούπα της επιφάνειας του στρωτήρα και αντιστηρίζουν το πέλμα της σιδ/χιάς. Αυτά τα αγκύρια σφίγγονται με βλήτρα αγκυρίων (μπουλόνια) και ο συνδυασμός δύο ή τριών τύπων αγκυρίων επιτρέπει να επιτυγχάνεται μεταβολή εύρους. Κάτω από το πέλμα της

σιδηροτροχιάς και μεταξύ σιδ/χιάς και στρωτήρα τοποθετούνται ελαστικά (ή και ξύλινα) υποθέματα.

Ο μεταλλικός στρωτήρας είναι σχετικά ελαφρός (80kg) και εύκολος στο χειρισμό κατά τη στρώση της γραμμής ή για αντικατάστασή του εφόσον φθαρεί. Αυτή όμως η ελαφρότητά τους είναι μειονέκτημα για τις γραμμές με βαρειά κυκλοφορία και υψηλών ταχυτήτων. Είναι αγώγιμος και δεν επιτρέπει μόνωση της μιας σιδ/χιάς από την άλλη παρά μόνο αν χρησιμοποιηθούν ειδικοί μονωτικοί σύνδεσμοι οι οποίοι κοστίζουν. Η ζωή των μεταλλικ΄γων στρωτήρων σύμφωνα με τη διεθνή εμπειρία κυμαίνεται από 30 μέχρι 60 χρόνια.

3.4.- Στρωτήρες από Οπλισμένο Σκυρόδεμα

3.4.1.- Γενικά

Οι στρωτήρες Οπλισμένου Σκυροδέματος παρουσίαζαν στην αρχή δύο πολύ σοβαρά μειονεκτήματα:

- τη θραύση και τη ρηγμάτωση του μπετόν κάτω από τη σιδ/χιά ιδίως στους στρωτήρες των αρμών, υπό την επίδραση ενός φορτίου που εφαρμόζεται απότομα (κρουστικά), που οδηγεί τελικά σε μια αποδιοργάνωση του Ω.Σ λίγο ή πολύ ολοκληρωτική.
- έλλειψη σταθερότητας ή κόστος συντήρησης πολύ αυξημένο των συνδέσμων τους.
- πολύ μικρή αντίσταση στην κόπωση που μεταφράζεται, όπως μας δείχνει ο υπολογισμός, στο κεντρικό μέρος που υπόκειται σε εναλλασσόμενες δυνάμεις, σε ολίσθηση των οπλισμών μόλις η τάση εφελκυσμού ξεπεράσει μια ορισμένη τιμή, έπειτα σε μιά ρηγμάτωση του μπετόν.

Επρεπε να δοθεί, να βρεθεί μια ικανοποιητική λύση ώστε:

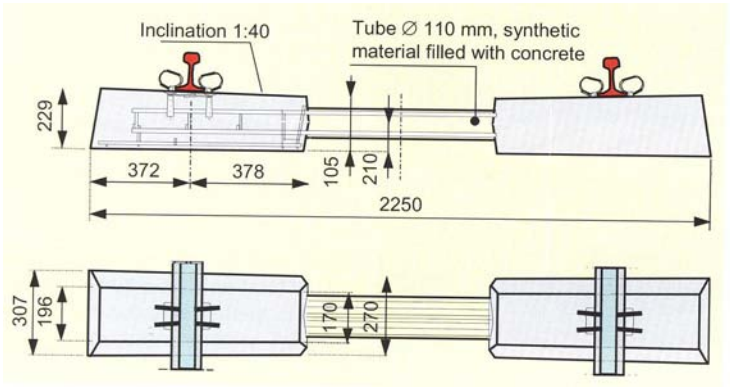
- να καταργείται η απ΄ ευθείας επαφή της σιδ/χιάς και του μπετόν και να εισαχθεί ένα υλικό ελαστικό που να τοποθετείται μεταξύ τους (ελαστικό υπόθεμα από καουτσούκ) για να περιορίσει τις δυναμικές υπερφορτίσεις. Αυτός ο λόγος καθιστά υποχρεωτική τη χρήση ταυτόχρονα και ελαστικών συνδέσμων.
- να χρησιμοποιούνται υλικά που η διάρκεια ζωής τους να είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με του μπετόν (π.χ. η συνδετήρια ράβδος για τους διμερείς στρωτήρες να μην είναι πια από μαλακό χάλυβα).

3.4.2.- Τύποι στρωτήρων από σκυρόδεμα

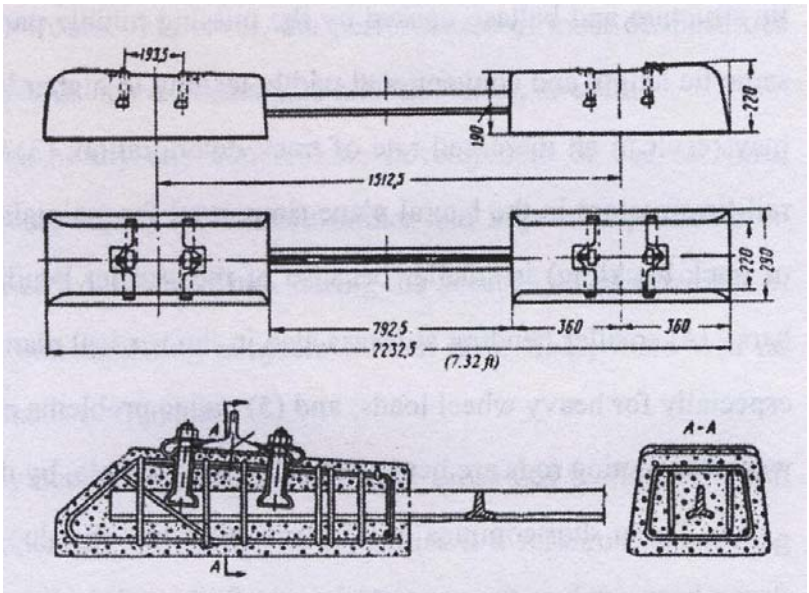
Υπάρχουν δύο τύποι στρωτήρων από σκυρόδεμα οι οποίοι μάλιστα στα προηγμένα δίκτυα της Ευρώπης χρησιμοποιούνται σε γραμμές κανονικές αλλά και υψηλών ταχυτήτων όπως και μεγάλου φόρτου κυκλοφορίας:

(α) Διμερής στρωτήρας (bi-block ή twin-block).

Χρησιμοποιείται κύρια από τους Γαλλικούς σιδηροδρόμους, οι οποίοι έχουν στρωμένους διμερείς στρωτήρες σε ποσοστό 80% περίπου των στρωτήρων από σκυρόδεμα που χρησιμοποιούν. Ο ΟΣΕ χρησιμοποιούσε στο παρελθόν αποκλειστικά διμερή στρωτήρα. Υπάρχουν περισσότεροι από 1 εκατομμύριο διμερείς στερωτήρες από σκυρόδεμα στο δίκτυο του ΟΣΕ. Από το 2000 και μετά χρησιμοποιεί μόνο ολόσωμους στρωτήρες απόπροεντεταμένο σκυρόδεμα.



Σχήμα 12: Διμερής στρωτήρας από οπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιούμενος από τους Ολλανδικούς Σιδηροδρόμους (NS) [Πηγή Esveld 2001]



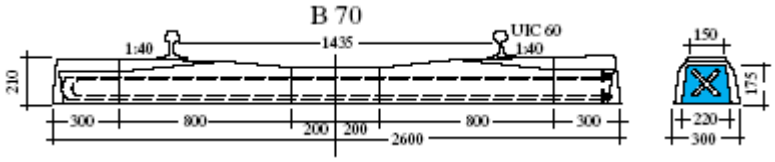
Σχήμα 13: Διμερής στρωτήρας από οπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιούμενος από τους Γαλλικούς Σιδηροδρόμους. Στο παρελθόν τουυς χρησιμοποιούσε και ο ΟΣΕ ο οποίος τώρα χρησιμοποιεί ολόσωμους στρωτήρες από προεντεταμένο σκυρόδεμα.

Αποτελούνται από δύο όγκους μπετόν, ένα κάτω από κάθε σιδ/χιά και μια συνδετήρια ράβδο από χάλυβα που τους συνδέει. Σχέδιο του στρωτήρα αυτού, υπάρχει στο παράρτημα. Για να μεταβιβαστούν οι δυνάμεις από τη σιδ/χιά στο σκύρο δεν

χρειάζεται υλικό του στρωτήρα παρά μόνο στο χώρο που βρίσκεται μεταξύ της επιφάνειας στήριξης της σιδ/χιάς στο στρωτήρα και της επιφάνειας έδρασης του στρωτήρα στο σκύρο. Στο κεντρικό μέρος του στρωτήρα, στο άξονα της γραμμής δεν χρειάζεται να υπάρχει υλικό. Στο σημείο αυτό χρειάζεται κάποια ανάλυση.

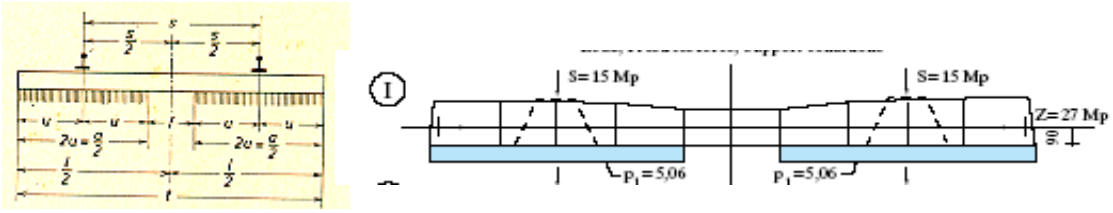
(β) Ολόσωμος στρωτήρας (monoblock)

Εστω ένας ολόσωμος στρωτήρας από προεντεταμένο σκυρόδεμα (βλ. Σχήμα 13). Η ανάλυση που ακολουθεί ισχύει για ολόσωμους στρωτήρες από οποιοδήποτε υλικό.



Σχήμα 14: ολόσωμος στρωτήρας από προεντεταμένο σκυρόδεμα τύπου B70 των Γερμανικών Σιδηροδρόμων (DB) χρησιμοποιούμενος από τον ΟΣΕ. Υπάρχουν 4 εργοστάσια κατασκευής στην Ελλάδα [Πηγή Γιαννακός 2002]**.**

Από στατικούς υπολογισμούς και την εμπειρία δικτύων έχει προκύψει ότι βέλτιστο μήκος των στρωτήρων είναι 260 εκ., για γραμμή κανονικού εύρους, υπό την προϋπόθεση ότι ο στρωτήρας εδράζεται ομοιόμορφα σε όλο το μήκος τους στο σκύρο. Στην πραγματικότητα όμως, ποτέ δεν υλοποιείται η προϋπόθεση αυτή ούτε κρίνεται αναγκαία. Αν ο στρωτήρας υπογομωθεί με σκύρο σ΄ ολόκληρο το μήκος του, θα υφίσταται τις δυνάμεις της κυκλοφορίας και τελικά θα στηριχθεί περισσότερο σταθερά στο σκύρο στο κεντρικό τμήμα του παρά στο σκύρο που βρίσκεται ακριβώς κάτω από τις σιδ/χιές.



Σχήμα 15: Κατανομή πιέσεων στην επιφάνεια έδρασης ολόσωμου στρωτήρα [Πηγή Γιαννακός 1986, 2002]

Αυτό σημαίνει ότι ο στρωτήρα θα «ιππεύει» (θα λειτουργεί σαν τραμπάλα) στο κεντρικό στήριγμα του συμπυκνωμένου σκύρου καθώς τα οχήματα θα διέρχονται και το κύριο χαρακτηριστικό της γραμμής θα είναι η μη σταθερότητα. Το μήκος του στρωτήρα καθορίζεται λοιπόν και η μέθοδος υπογόμωσής του επιλέγεται έτσι ώστε κάτω από κανονικά φορτία κυκλοφορίας, το κεντρικό τμήμα (στο σχήμα 15) του στρωτήρα παραμένει αφόρτιστο. Αν ο στρωτήρας προεκτείνεται πέρα από τη σιδηροτροχιά σε κάθε πλευρά της γραμμής σε μια απόσταση u τότε, όπως κάθε σιδ/χιά πρέπει να βρίσκεται στο κέντρο εκείνου του τμήματος του στρωτήρα που διανέμει στο σκύρο το φορτίο της, το μήκος του κάθε φορτιζόμενου άκρου του στρωτήρα πρέπει να είναι 2u. Αρα συνεπάγεται: $\ell < 2.S$ (ℓ=μήκος στρωτήρα)

(S= εύρος γραμμής + πλάτος κεφαλής της σιδ/χιάς).

Το μήκος της μη φέρουσας επιφάνειας στο κέντρο του στρωτήρα είναι: f=2.S-ℓ=ℓ-4u

Η αναλογία f/S είναι: $\frac{f}{S} = \nu = 2 - \frac{\ell}{S}$ (16)

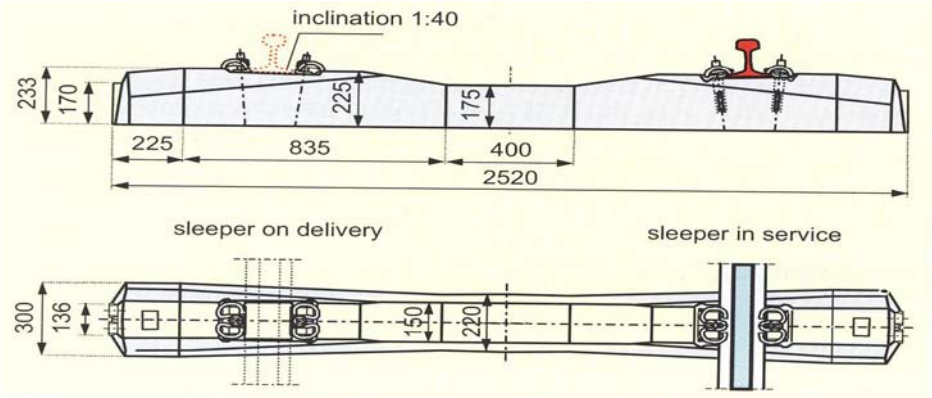
Με ένα (εύρος γραμμής + πλάτος κεφαλής σιδ/χιάς) σταθερό S=1500mm, προκύπτουν τα f και ν για διάφορα μήκη στρωτήρων.

Αν ληφθεί για βάση μια ορισμένη αναλογία ν, το κατάλληλο μήκος στρωτήρα είναι:

$\ell_{κατ}$= (2-ν).S (17)

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι μπορούμε να αντικαταστήσουμε το κεντρικό τμήμα του στρωτήρα με συνδετήρια ράβδο η οποία έχει σαν μόνο ρόλο τη διατήρηση του εύρους της γραμμής.

Επιπλέον το κεντρικό τμήμα των ολόσωμων στρωτήρων επιβάλλεται να μην είναι υπογομωμένο. Ο στρωτήρας αυτός γίνεται από προεντεταμένο σκυρόδεμα. Υπάρχουν διεθνώς διάφοροι τύποι προεντεταμένων ολόσωμων στρωτήρων ανάλογα με τις ευρεσιτεχνίες.



Σχήμα 16: ολόσωμος στρωτήρας από προεντεταμένο σκυρόδεμα τύπου B70 των Γερμανικών Σιδηροδρόμων (DB) με επίκλιση 1/40 [Πηγή Esveld 2001]

Οι ολόσωμοι στρωτήρες χρησιμοποιούνται από τα υπόλοιπα προηγμένα δίκτυα της ευρώπης εκτός γαλλίας.

Το προεντεταμένο σκυρόδεμα επιτρέπει:

- Να έχουμε καλύτερη αντίσταση στις εναλλασσόμενες δυνάμεις αφού το προεντεταμένο σκυρόδεμα εργάζεται πάντοτε σε θλίψη.
- Να μειωθεί η ποσότητα χάλυβα που χρησιμοποιείται (7kg αντί 21kg).
- Να παράγονται τις περισσότερες φορές ελαφρότεροι στρωτήρες από τους στρωτήρες κοινού σκυροδέματος.
- Η εσχάρα γραμμής να έχει βάρος που υπερβαίνει τα 600 kg/m γεγονός καθοριστικής σημασίας για τη σταθερότητα της γραμμής.

3.4.3. πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των στρωτήρων από σκυρόδεμα σε σχέση μα τα άλλα είδη στρωτήρων

3.4.3.1. πλεονεκτήματα Τεχνικά.

(α) πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής
(β) Συντήρηση σύσφιξης συνδέσμων πρακτικά μηδέν με τη σύλληψη και παραγωγή των κατάλληλων συνδέσμων.
(γ) Το βάρος του στρωτήρος είναι πού πιο μεγάλο για τους ολόσωμους στρωτήρες, το πλεονέκτημα της διπλής πλευρικής επιφάνειας στήριξης (στην περίπτωση διμερούς), εξασφαλίζουν μια καλύτερη σταθερότητα γραμμής και επιτρέπουν τη στρώση Σ.Σ.Σ[5]. σε καμπύλες με μικρές ακτίνες (μέχρι 300m).

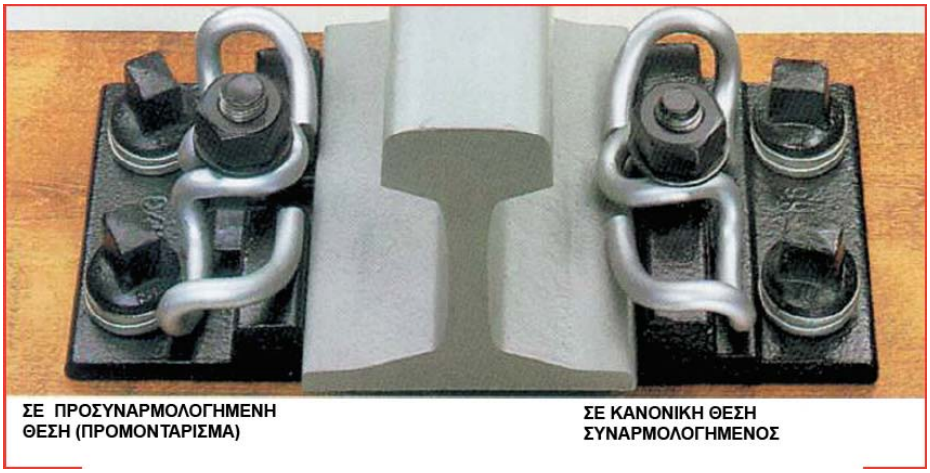
3.4.3.2. Μειονεκτήματα τεχνικά

(α) Δυσκολία χειρισμού λόγω βάρους που αντιμετωπίζεται με μηχανικό εξοπλισμό κατάλληλο
(β) Λιγότερο καλή διατήρηση της υψομετρικής κατάστασης σε μέτρια (ποιοτικά) επιχώματα, λόγω των πιο μεγάλων δυνάμεων αδράνειας που δημιουργούνται στο πέρασμα των φορτίων. Εν τούτοις ο ολόσωμος στρωτήρας είναι λιγότερο μειονεκτικός από το διμερή.
(γ) Δυσκολίες στην αναγκαία μόνωση για τη λειτουργία κυκλώματος γραμμής που αντιμετωπίζεται από τους συνδέσμους.
(δ) Είναι εύθραυστοι σε κρούσεις (περιπτώσεις εκτροχιάσεων).

3.4.3.3. Οικονομικές συγκρίσεις

Άν και οι φυσικές πηγές ξύλου ήταν άφθονες (στο εξωτερικό) για την παραγωγή στρωτήρων σε κανονικές περιόδους, ο στρωτήρας δεν είναι παρά ένα παραπροϊόν το οποίο οι παραγωγοί εγκαταλείπουν μόλις βρουν κάποιο προϊόν που να έχει ζήτηση και να είναι πιο αποδοτικό. Επιπλέον με την καταστροφή των δασών υπάρχουν και περιβαλλοντικοί λόγοι για αποφυγή –κατά το δυνατόν- της χρησιμοποίησής τους, πέρα από τους τεχνικούς και τους οικονομικούς λόγους που το επιβάλλουν.
Για την Ελλάδα επιπλέον υπάρχει και έλλειψη εγχώριου ξύλου (οξιάς, δρυς) που άλλωστε έχει μικρή διάρκεια ζωής και το εισαγόμενο Αζομπέ κοστίζει σε συνάλλαγμα.
Όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα η τιμή του ξύλινου στρωτήρα με τους συνδέσμους του είναι 50% ακριβότερη από την αντίστοιχη του διμερούς. Επιπλέον έχουν χρόνο ζωής περίπου 25 χρόνια (αντί 40 με 50 των στρωτήρων σκυροδέματος) και ετήσιο κόστος συντήρησης (μια γραμμή με ξύλινους στρωτήρες) 1,4 φορές το κόστος συντήρησης μιας γραμμής με στρωτήρες σκυροδέματος. Αυτό συνεπάγεται μαζί με το κόστος αντικατάστασης περισσότερο από 300% μεγαλύτερη δαπάνη για ξύλινους στρωτήρες σε κόστος κύκλου ζωής (Life Cycle Cost) σε σύγκριση με στρωτήρες σκυροδέματος.

[5] Σ.Σ.Σ. = Συνεχώς Συγκολλημένες Σιδηροτροχιές



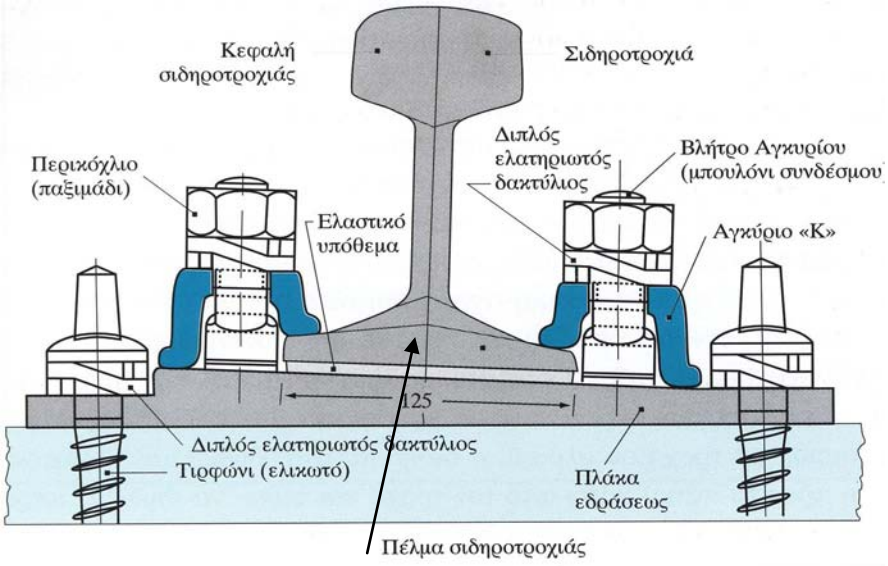
Σχήμα 17: Διπλά ελατηριωτός (ελαστικός) σύνδεσμος W12 με αγκύριο Skl-12 και πλάκα έδρασης τύπου «Κ» σε ξύλινο στρωτήρα [Πηγή Γιαννακός 2002]

3.5 Συνδεσμοι.

Σύνδεσμοι αποκαλούνται όλα εκείνα τα υλικά που έχουν σαν λειτουργία τους τη σύνδεση της σιδ/χιας με το στρωτήρα.

3.5.1. Σύνδεσμοι για ξύλινους στρωτήρες

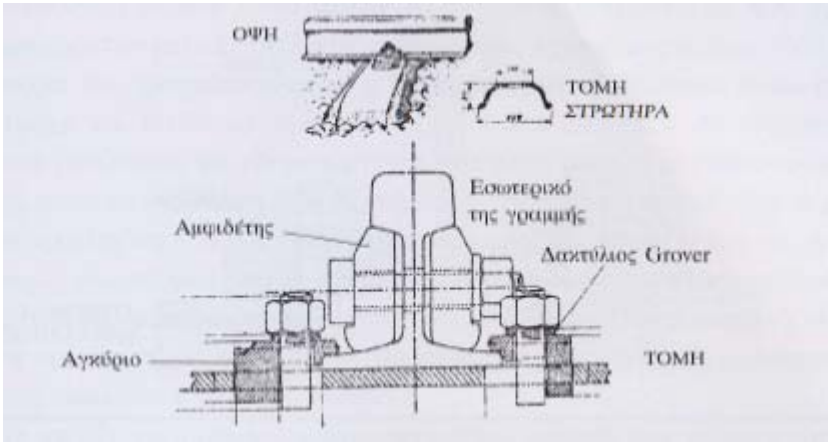
Η σύνδεση της σιδηροτροχιας με τους ξύλινους στρωτήρες είτε γίνεται με πλάκες έδρασης είτε χωρίς. Χωρίς πλάκες έδρασης τοποθετείται η σιδ/χια απ' ευθείας στην κατάλληλη θέση του στρωτήρα η οποία έχει πελεκηθεί σ' εκείνο το σημείο ώστε να δοθεί στο πέλμα της σιδ/χιας η απαιτούμενη επίκλυση. Στη συνέχεια είτε με τριφωνια (σχέδια τιρφωνιού υπάρχουν στο παραρτημα) είτε με ελατηριωτούς ήλους, απλούς ή διπλούς στερεώνεται η σιδ/χια. Η στερεωση έγκειται στην εξάσκηση μιας δύναμης πίεσης στο πέλμα της σιδ/χιας που την καθηλώνει στο στρωτήρα.



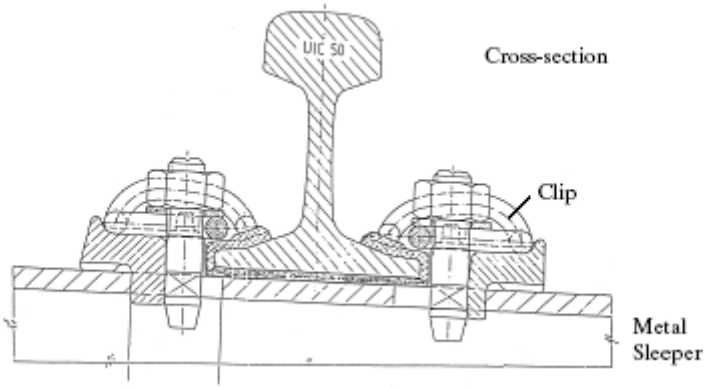
Σχήμα 18: Κλασσικός άκαμπτος σύνδεσμος «Κ» σε ξύλινο στρωτήρα [Πηγή Γιαννακός 2002]

Ο καλύτερος τύπος συνδέσμου όμως που υπάρχει είναι με πλάκα έδρασης. Ο τύπος σύνδεσης Κ που υπάρχει στο σχέδιο σ' αυτή τη σελίδα εφαρμόζεται εξ' ίσου και στα άλλα είδη στρωτήρων. Περιλαμβάνει μια πλάκα έδρασης από ελατό χάλυβα, που στηρίζεται στους ξύλινους στρωτήρες με τιρφωνια. Στην ειδική υποδοχή που έχει τοποθετείται το πέλμα της σιδ/χιας, η οποία στερεώνεται με αγκύριο Κ και βλήτρα (μπουλόνια) Κ με διπλό ελατηριωτό δακτύλιο. Μαζί με τις σημειώσεις, διανέμεται και τεχνική οδηγία για τη σύσφιξη των διπλών ελατηριωτών δακτυλίων. Τα βασικά μειονεκτήματα της κλασσικής σύνδεσης «Κ» είναι το κόστος της και το ότι δεν παρουσιάζει καμιά ελαστικότητα είναι άκαμπτη. Είναι τουλάχιστον 100% ακριβότερη από τα άλλα συστήματα σύνδεσης. Σημειώνεται ότι υπάρχουν και άλλα συστήματα με πλάκα (όχι τύπου Κ) απλούστερα που υστερούν σε σχέση με τη σύνδεση.
Η σύνδεση «Κ» βελτιώνεται πάρα πολύ με τη χρήση αγκυρίων Skl-12 και τη μετατροπή τους στη σύνδεση "KS" η οποία και είναι διπλά ελατρηριωτή.

3.5.2. Σύνδεσμοι για μεταλλικούς στρωτήρες



Σχήμα 19α: Μεταλλικός στρωτήρας με το σύνδεσμό του (άκαμπτο)



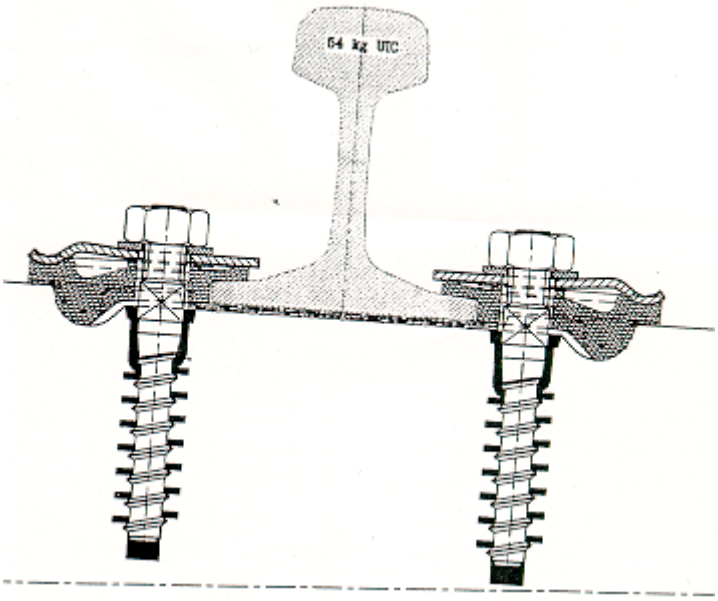
Σχήμα 19β: Μεταλλικός στρωτήρας με διπλά ελατηριωτό σύνδεσμο Skl-ET [Γιαννακός 2004]

Στους μεταλλικούς στρωτήρες ή σιδ/χια στερεώνεται με ειδικά αγκύρια που στηρίζονται σε τρύπα του στρωτήρα (εισέρχεται στην τρύπα προεξοχή του αγκυρίου)

και εξασκούν πίεση στο πέλμα της σιδ/χιας μέσω βλήτρων που έχουν δακτύλιο Grover.
Σημειώνουμε ότι μεταξύ πέλματος – στρωτήρα, παρεμβάλλεται είτε ξύλινο είτε ελαστικό υπόθεμα. Μ' αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή και η στρώση Σ.Σ.Σ. σε μεταλλικούς στρωτήρες.

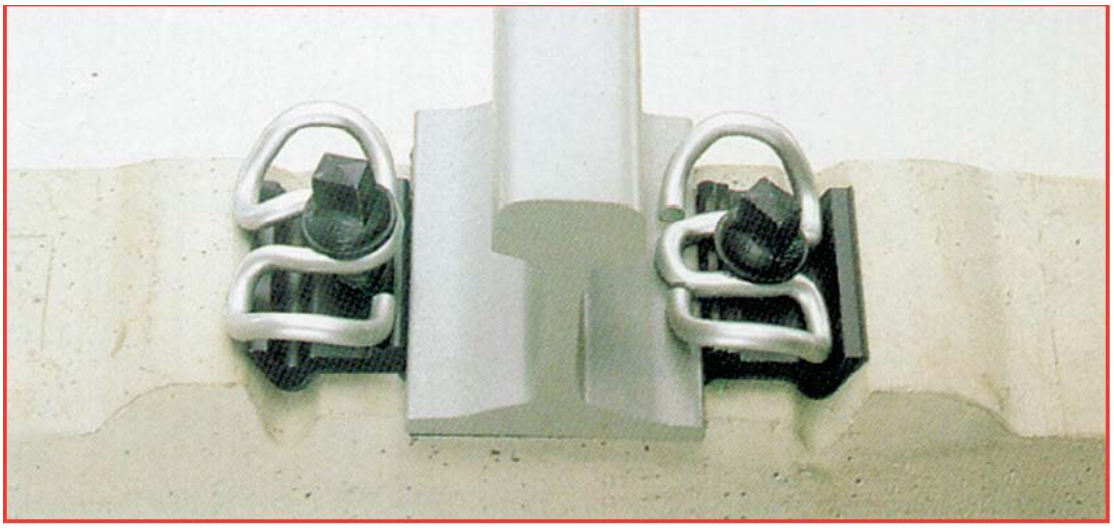
3.5.3 Σύνδεσμοι για στρωτήρες από σκυρόδεμα που χρησιμοποιεί ο ΟΣΕ

Οι σύνδεσμοι που χρησιμοποιούνται για τους στρωτήρες από σκυρόδεμα όπως έχει αναφερθεί στα προηγούμενα είναι ελαστικοί σύνδεσμοι.
Οι ελαστικοί σύνδεσμοι αποτελούν ένα μέσο διπλά ελαστικό μεταξύ σιδ/χιας και στρωτήρα, δηλαδή εμφανίζουν ελαστική αντίσταση στις σχετικές κινήσεις στην κατακόρυφη έννοια, την ίδια και προς τα πάνω και προς τα κάτω.
Για απορροφηθούν οι κατακόρυφες δυνάμεις που κατευθύνονται προς τα κάτω, ενδείκνυται να χρησιμοποιηθεί καουτσούκ. Όμως το καουτσούκ δεν μπορεί να συμπιέζεται κατά τον ένα άξονα παρά μόνο αν η παραμόρφωση του είναι ελεύθερη στον ένα ή στον άλλο από τους δύο υπόλοιπους άξονες (X,Y,Z τριαξονικό σύστημα). Σε αντίθετη περίπτωση η παρεμποδιζόμενη διαστολή μεταφράζεται σε θέρμανση που είναι ιδιαίτερα ολέθρια για την καλή διατήρηση του καουτσούκ. Για το λόγο αυτό τα ελαστικά υποθέματα που χρησιμοποιούνται μεταξύ πέλματος – στρωτήρα έχουν 'κανάλια' Περίπου 2mm x 2mm τα πρώτα πολύ ελαστικά υποθέματα τη δεκαετία του 1980 και στη συνέχεια τα σημερινά πάρα πολύ ελαστικά με αρκετά μεγάλους «χώρους» για απαγωγή της αναπτυσσόμενης θερμοκρασίας κατά τη λειτουργία του υποθέματος, που λόγω της απόσβεσης που προσδίδει στη λειτουργία της γραμμής καταστρέφει ενέργεια που μετατρέπεται σε θερμότητα στο «σώμα» του υποθέματος.
Για τις δυνάμεις που κατευθύνονται προς τα πάνω:
Με το πέρασμα του τροχαίου υλικού, η σιδ/χια 'βυθίζεται' (μετατοπίζεται προς τα κάτω) κάτω από τον τροχό και τείνει να σηκωθεί μπροστά και πίσω από τον τροχό. Αν είχαμε άκαμπτο σύνδεσμο, θα δημιουργείτο ένα κενό μεταξύ συνδέσμου – πέλματος κατά τη σύνθλιψη που προκαλεί ο τροχός και στη συνέχεια μια βίαιη κρούση στο σύνδεσμο, από κάτω προς τα πάνω, μόλις περάσει ο τροχός, και σταματήσει η σύνθλιψη. Με τη διέλευση των φορτίων ο μη ελαστικός σύνδεσμος προκαλεί ένα 'παίξιμο' (κενό κατά τη σύνθλιψη – κρούση προς τα άνω) και ο στρωτήρας 'χορευει' στο καλούπι του από σκύρο.
Το 'παίξιμο' σιδ/χιας – στρωτήρα μταξύ του πάνω μερους του πέλματος – συνδεσμουή μεταξύ του στρωτηρα – σκύρου, αποσταθεροποιεί τη γραμμή και εξασκεί κρούσεις σε κάθε πέρασμα τροχού. Επιπλέον οι ταλαντώσεις της σιδ/χιας που οφείλονται στην κύλιση, τείνουν να οδηγήσουν σε όδευση τη σιδ/χια σε περιπτωση μη ελαστικών συνδέσμων και επιφέρουν μια γρήγορη αποδιοργάνωση της επιφάνειας στήριξης του στρωτήρα. Μόνο ένας διπλά ελαστικός σύνδεσμος ισχυρός, μπορεί να διατηρησει τη σιδ/χια, το ελαστικό υπόθεμα και το στρωτήρα σταθερά συνδεδεμένους (σε επαφή) μέσω μιας συνεχούς δύναμης πίεσης. Επιπλέον τα χαρακτηριστικά του ελαστικού συνδέσμου πρέπει να είναι ακριβώς προσαρμοσμένα προς τα χαρακτηριστικά του υποθέματος, ώστε να επιτρέπεται στο υπόθεμα η μέγιστη αποτελεσματικότητα στο ρόλο του σαν αποσβεστήρας.



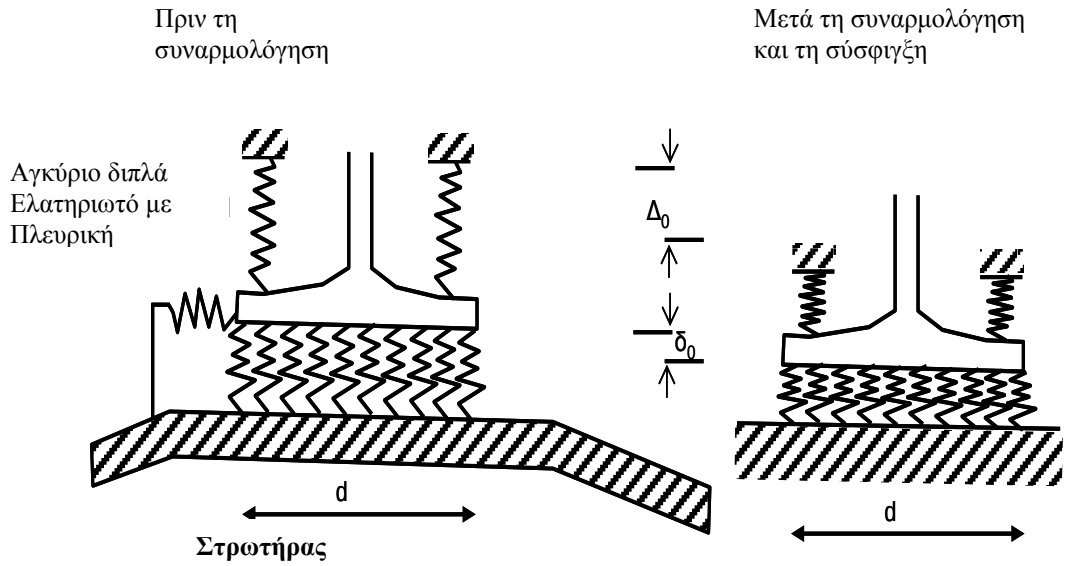
Σχήμα 20α: Διπλά ελατηριωτός σύνδεσμος Nabla σε διμερείς στρωτήρες από σκυρόδεμα [Πηγή Γιαννκός 1986]

Στο σύνολο των διπλών ελαστικών συνδέσμων που χρησιμοποιεί ο ΟΣΕ, η σιδ/χια συγκρατείται σταθερά μεταξύ του ελαστικού υποθέματος από κάτω και δύο χαλυβδινων αγκυρίων που λειτουργουν σαν ελατήρια προς τα επάνω. Η σιδ/χια έχει κατ' αυτό τον τρόπο ένα βαθμό ελευθερίας στην κλίμακα του εύρους των ταλαντώσεων που είναι για απόσβεση, όμως οι αντίστοιχες μετατοπίσεις γίνονται χωρίς κενό (παίξιμο) χωρίς κρούσεις και χωρίς η σιδ/χια να έχει την ελευθερία να οδευει (κατά μήκος).
Οι αρχές που πρέπει να (και) πληρούν οι ελαστικοί συνδεσμοι είναι:
(α) Η δύναμη σύσφιξης της σιδ/χιας στο στρωτήρα πρέπει να είναι τέτοια ώστε η αντίσταση στην ολίσθηση της σιδ/χιας πάνω στο στρωτήρα να είναι πάρα πολύ μεγαλύτερη από την αντίσταση κατά της κατά μήκος μετατόπισης του στρωτήρα σε ένα έρμα τελείως σταθεροποιημένο.
(β) Η συχνότητα ταλαντωσης του συνδέσμου πρέπει να είναι σαφώς μεγαλύτερη από εκείνη της σιδ/χιας ώστε με τη διελευση των φορτίων να μην χάνεται η επαφή της με τη σιδ/χια.
(γ) Η καμπύλη απόκρισης του συνδέσμου (δύναμη επί της σιδ/χιας σε συνάρτηση με το ελαστικό 'παίξιμο' ή η μείωση της δύναμης σύσφιξης σε συνάρτηση με τη φθορά της επαφής συνδέσμου – σιδ/χιας, με την κόπωση του υποθέματος ή τη χαλάρωση του συστήματος αγκύρωσης) πρέπει να είναι σχετικά επίπεδη ώστε να διατηρείται επαρκής δύναμη σύσφιξης με την παρελευση των ετών.
(δ) Μετά από πολλές φορές που θα συσφιχθούν και θα λυθούν οι σύνδεσμοι θα πρέπει να διατηρούν τα ελαστικά τους χαρακτηριστικά.
(ε) Ο έλεγχος της σύσφιξής τους πρέπει να μπορεί πάντα να γίνεται εύκολα επί γραμμής χωρίς λύσιμο.
(στ) Η απόδση του συνδέσμου (η σχέση μεταξύ δύναμης που εξασκείται στο πέλμα της σιδ/χιας και της δύναμης που εξασκείται από το μπουλόνι στο στρωτήρα) πρέπει να είναι όσο το δυνατό μεγαλύτερη.



Σχήμα 20β: Διπλά ελατηριωτός σύνδεσμος W14 (αγκύριο Skl-14, ελαστικό υπόθεμα Zw700) σε ολόσωμους στρωτήρες από προεντεταμένο σκυρόδεμα [Πηγή Γιαννκός 2002]

Οι αρχές λειτουργίας των σύγχρονων συνδέσμων -που πρέπει να είναι διπλά ελατηριωτοί- και η οποίοι αποτελούν και στοιχείο πολύ υψηλής τεχνολογίας στα έργα Πολιτικού Μηχανικού στη Σιδηροδρομική φαίνονται στο Σχήμα 21, ενώ στα Σχήματα 20α και 20β παρουσιάζονται οι διπλά ελετηριωτοί (και προς τα πάνω και προς τα κάτω στην κατακόρυφο) σύνδεσμοι Nabla για διμερείς στρωτήρες σκυροδέματος και W14 (με αγκύριο Skl-14) για ολόσωμους στρωτήρες από προεντεταμένο σκυρόδεμα.



Σχήμα 21: Αρχή λειτουργίας και λειτουργία στην πράξη διπλά ελατηριωτού συνδέσμου [ERRI D170/DT 283]

6. ΕΡΜΑ

6.1. Γενικά

Το έρμα (σκύρο) είναι η λέξη που χρησιμοποιείται και για τα καράβια (σαβούρα, το νεκρό φορτίο των καραβιών που τα σταθεροποιεί) και στη σιδηροδρομική είναι το υλικό στο οποίο, γενικά, στηρίζεται η γραμμή.

Ορισμοί

Αδρανές

Κοκκώδες υλικό που χρησιμοποιείται στις κατασκευές. Το αδρανές μπορεί να είναι φυσικό, τεχνητό ή ανακυκλωμένο.

Σκύρο σιδηροδρομικών γραμμών

Αδρανές που χρησιμοποιείται στην κατασκευή σιδηροδρομικών γραμμών, του οποίου το 100% της επιφάνειας των κόκκων μπορεί να περιγραφεί ως απολύτως θραυστό.

Μέγεθος σκύρου σιδηροδρομικών γραμμών

Χαρακτηρισμός των σιδηροδρομικών αδρανών βάσει του μεγέθους ανοίγματος των κόσκινων, μεταξύ ενός μικρότερου ανοίγματος (d) και ενός μεγαλύτερου (D).

Ο χαρακτηρισμός αυτός, κάνει αποδεκτή την παρουσία, μερικών συγκρατούμενων κόκκων στο ανώτερο κόσκινο (με άνοιγμα D) και μερικών διερχόμενων κόκκων στο κατώτερο κόσκινο (με άνοιγμα d).

Λεπτόκοκκο αδρανές

Κλάσμα μεγέθους κόκκων σκύρου σιδηροδρομικών γραμμών που διέρχεται από κόσκινο με διάμετρο οπής 0,5mm.

Παιπάλη

Κλάσμα μεγέθους κόκκων σκύρου σιδηροδρομικών γραμμών που διέρχεται από κόσκινο με διάμετρο οπής 0,063mm.

6.2. Ρολος του έρματος

6.2.1. Ρόλος μηχανικός

Το έρμα πρέπει να δέχεται τις δυνάμεις που μεταδίδονται σ' αυτό από τους στρωτήρες και να τις μεταβιβάζει στην υποδομή, αναδιανεμοντάς τες και, αν είναι δυνατό, αποσβενοντας μερικά:

- δυνάμεις κατακόρυφες που οφείλονται σε στατικά φορτία και σε δυναμικές επιπονήσεις (αρμοί, ανισότητες σε υψομετρικη τακτοποίηση, μετάδοση δυναμικών δράσεων των οχημάτων κλπ.)
- οριζόντιες δυνάμεις που οφείλονται σε κυκλοφορούντα φορτία (εφαπτόμενη δύναμη στο σημείο επαφής των τροχών, πλευρικές δυνάμεις, φυγόκεντρος δύναμη) και σε εσωτερικές τάσεις που υπάρχουν στις σιδ/χιες υπό την επίδραση των διακυμάνσεων της θερμοκρασίας (ιδιαίτερα στις Σ.Σ.Σ.).

6.2.2. Ρόλος φυσικός.

Το έρμα πρέπει να επιτρέπει αφ' ενός μεν την απορροή των νερών της βροχής, γιατί η παρουσία τους θα έβλαπτε τη σταθερότητα της γραμμής, αφ' ετέρου Δε, τον αερισμό

του επιχώματος. Για τους παραπάνω λόγους το έρμα πρέπει να είναι καθαρό χωρίς παιπάλη, ίλυ κλπ.

6.2.3. Διατομές έρματος

Δύο τυπικές διατομές έρματος όπως έχουν καθοριστεί από τον ΟΣΕ και έχουν περιληφθεί στις ΠΕΤΕΠ (Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές) παρατίθενται στο παράρτημα Ι, ενδεικτικά.
Οι διατομές του έρματος γενικα, εξαρτώνται από τον τύπο των στρωτήρων. Τον τρόπο στρώσης γραμμής (Σ.Σ.Σ. ή με αρμούς) και της χάραξης της γραμμής. Γενικά έχουμε διατομές έρματος δύο τύπων:

- κανονική διατομή
- διατομή ενισχυμένη

6.4. Ποιότητα έρματος

6.4.1.- Γενικά [Γιαννακός 1986]

Για να εκπληρώσει το ρόλο του το έρμα πρέπει να έχει τις ακόλουθες ιδιότητες:
(α) Σκληρότητα
Πρέπει να έχει αρκετή σκληρόττητα που να του επιτρέπει να ανθίσταται στις δυνάμεις που αναλαμβάνει όπως και στηφθορά από απολέπιση λόγω των προκαλουμένων δονήσεων μέσα στη μάζα του από τα κυκλοφορούντα φορτία.
(β) Ελαστικότητα
η ελαστικότητα αυτή πρέπει να υπάρχει για τί το έρμα συνολικά πρέπει να λειτουργεί σαν αποσβεστήρας κατά τη μετάδοση των φορτίων που παραλαμβάνει και συνεπώς μειώνει το μέγεθος των δυναμικών φορτίων. Συνεπώς η ελαστικότητα αυτή πρέπει να υπάρχει και στο έρμα σαν σύνολο.

(γ) Πυκνότητα αυξημένη
σε βαρύ έρμα η γραμμή 'ερματώνεται' καλύτερα και κατά συνέπεια αναλαμβάνει πιο εύκολα τις διάφορες δυνάμεις με τις οποίες φορτίζεται.
(δ) Να έχει γωνίες ο κόκκος, να μην είναι λείος
Τα στοιχεία του έρματος θα πρέπει να 'συνδέονται' μεταξύ τους με τέτοιο τρόπο ώστε να σχηματίζουν ένα σύνολο συμπαγές. Πρέπει λοιπόν να έχουν γωνίες προέχουσες και επιφάνειες τραχείες 'ρυτιδωμένες' για να επιτρέπουν τη συνοχή της μάζας. Επιπλέον, η επαφή έρματος – στρωτήρων πρέπει να εξασφαλίζει ακινητοποίηση των στρωτήρων με εισχώρηση των γωνιών των κόκκων του έρματοςς μέσα στη μάζα των στρωτήρων
(ε) Διαπερατότητα
Θα είναι, για το σύνολο του έρματος, τόσο πιο μεγάλη, όσο τα υπάρχοντα κενά μεταξύ των κόκκων θα εξασφαλίσουν καλύτερη απορροή νερών. Είναι λοιπόν πρόβλημα που συνδέεται με την κοκκομετρική διαβάθμιση του έρματος, όπως άλλωστε και στη σκληρότητα, γιατί η απολέπιση παράγει παιπάλη που γεμίζει προοδευτικά τα κενά και σταματά την απορροή των νερών.

(στ) Καλή κοκκομετρική διαβάθμιση
(ζ) Να μην είναι υδατοδιαπερατοί οι κόκκοι ώστε να προστατευονται από τον παγετό.

6.4.2.- Απαιτήσεις Πετρώματος [Προδιαγρφή ΕΔΙΣΥ, 2007]

6.4.2.1.- Φυσικές ιδιότητες του πετρώματος

Τα σκύρα σιδηροδρομικής γραμμής προέρχονται από θραύση βράχων που εξορύσσονται από λατομεία έχοντας την απαιτούμενη ποιότητα.
Οι βράχοι εξορύσσονται από τους υγιείς όγκους του πετρώματος στο λατομείο με απόρριψη:
α.- όλων των μη καθαρών και μη υγιών τμημάτων
β.- των περιοχών επαφής με γειτονικά, μη υγιή πετρώματα
γ.- των επιφανειακών τμημάτων του μετώπου
δ.- της άμμου, της σκόνης και γαιωδών προσμίξεων
ε.- των ξένων λοιπών υλικών
Το σκύρο δεν επιτρέπεται να περιλαμβάνει τεμάχια από: ξύλο, οργανική ύλη, μέταλλα, πλαστικό, τροποποιούμενα πετρώματα, ούτε θιξοτροπικά, διογκούμενα, διαλυτά υλικά, σηπόμενες ύλες, καύσιμα ή υλικά που μολύνουν το περιβάλλον (βιομηχανικά απόβλητα).

6.4.2.2.- Πετρογραφική ανάλυση

Η πετρογραφική εξέταση του σκύρου σιδηροδρομικών γραμμών παρέχει ένδειξη της παρουσίας ασθενών και/ή απορροφητικών κόκκων που μπορεί να είναι ευπαθείς σε φθορά λόγω της επίδρασης της ψύξης απόψυξης. Όπου διαπιστώνεται ή εικάζεται η παρουσία παρόμοιων κόκκων μπορεί να χρησιμοποιείται κάποια καθιερωμένη δοκιμή για την αξιολόγηση της αντοχής του σκύρου σιδηροδρομικών γραμμών σε ψύξη – απόψυξη.

6.4.2.3.- Πυκνότητα

Η πυκνότητα των κόκκων πρέπει να προσδιορίζεται και να αναφέρεται στις προδιαγραφές των χωρών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

6.4.2.4.- Δοκιμή απορρόφησης ύδατος

Το σκύρο πρέπει να είναι ανθεκτικό στις καιρικές συνθήκες. Εάν η υδατοαπορρόφηση υπερβαίνει το 0,5 % κ.β., ακόμα και αν αυτό συμβαίνει σε έναν μόνο λίθο, τότε πρέπει να διεξάγεται δοκιμή κρυσταλλοποίησης (έλεγχος της ανθεκτικότητας σε θειικό μαγνήσιο) στην κοκκομετρία παράδοσης εύρους 31,5 - 50 mm.
Η τιμή των απολεπίσεων που διέρχονται από το κόσκινο τετραγωνικών οπών των 22,4 mm, πρέπει μετά την δοκιμή κρυσταλλοποίησης να είναι [Δείκτης θειικού μαγνησίου ($MgSO_4$)] ≤ 3,0 % κ.β.
Σε περίπτωση υπέρβασης της οριακή τιμής του 3,0 % κ.β. για τις απολεπίσεις μετά την διεξαγωγή της δοκιμής κρυσταλλοποίησης-θειικού μαγνησίου μπορούν, για την ασφαλή αξιολόγηση των αποτελεσμάτων μέτρησης, να διεξάγονται εξετάσεις μέσω διάθλασης ακτινών Χ, με τις οποίες διαπιστώνονται τα σημαντικά για την διάβρωση κριτήρια (π.χ. μετασχηματισμός ή σχηματισμός νέων ορυκτών καθώς και

ογκομετρικά μη σταθερές φάσεις ορυκτών). Η χαλάρωση της δομής, οι διεπιφάνειες, οι σχηματισμοί κρούστας και οι πόροι πρέπει να αξιολογούνται με τη βοήθεια μακροσκοπικών ή/και μικροσκοπικών αναλύσεων.

6.4.2.5.- Αντοχή στη δράση του θειικού μαγνησίου

Η αντοχή στην δράση του θειικού μαγνησίου πρέπει να προσδιορίζεται και να αναφέρεται σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ ΕΝ 1367-2, μέρος 2, με τις προϋποθέσεις που καθορίζονται στο παράρτημα Ζ του προτύπου ΕΛΟΤ ΕΝ 13450.

6.4.2.6.- Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα πρέπει να προσδιορίζεται και να αναφέρεται.

6.4.2.7.- Μηχανικές ιδιότητες των σκύρων

Οι μηχανικές ιδιότητες των σκύρων προσδιορίζεται από:

- την αντοχή σκύρων σιδηροδρομικών γραμμών σε θρυμματισμό (συντελεστής Los Angeles, LA_{RB})
- την αντοχή σκύρων σιδηροδρομικών γραμμών σε φθορά (συντελεστής Micro Deval, MDE_{RB}) και

6.4.2.8.- Χημική σύνθεση – Περιεκτικότητα σε μέταλλα

Το παραγόμενο υλικό (σκύρα) δεν πρέπει να περιέχει επικίνδυνες ουσίες για την συγκεκριμένη χρήση.

6.4.2.9.- Γεωμετρικές απαιτήσεις

(Α) Κοκκομετρία

Για την εξέταση του δείγματος χρησιμοποιούνται κόσκινα ελέγχου διάτρητης πλάκας τετράγωνης οπής 63-50-40-31,5-22,4 χιλιοστών.

Το διερχόμενο ποσοστό μάζας των σκύρων σε συνάρτηση με το μέγεθος των οπών των κόσκινων, δίδεται από τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3: Κοκκομετρική σύνθεση σκύρων κατά ΕΔΙΣΥ 2007

Μέγεθος των οπών των κόσκινων (mm)	**Διερχόμενο (%) μάζας**
80	100
63	100
50	70 έως 99
40	30 έως 65
31,5	1 έως 25
22,4	Στον τόπο παραγωγής 0 έως 3
22,4	Στο έργο ή στην αποθήκη έως 5
31,50 έως 50	≥50

Η ανωτέρω κοκκομετρική σύνθεση αντιστοιχεί στην κατηγορία «Α» του προτύπου ΕΛΟΤ - ΕΝ 13450.

Υπό ορισμένες συνθήκες μπορεί να χρησιμοποιείται κόσκινο 25mm αντί του κοσκίνου 22,4mm για επιτρεπόμενη ανοχή 0 έως 5. ,

(Β) Λεπτόκοκκο αδρανές
Λεπτά σωματίδια
Για κάθε είδος γραμμών και συνθηκών σιδηροδρομικής εκμετάλλευσης, απαιτούνται οι ακόλουθες τιμές:

Πίνακας 4

Τόπος παραλαβής παρτίδας σκύρου	**Ποσοστό του συνολικού βάρους του δείγματος που διέρχεται από κόσκινο 0,50 mm**
Στον τόπο της παραγωγής	< 0,6 %.

Η απαίτηση για τον τόπο της παραγωγής αντιστοιχεί στην κατηγορία «Α».
Για σκύρα τα οποία παραλαμβάνονται στο έργο ή στην αποθήκη το ποσοστό του δείγματος που θα διέρχεται από το κόσκινο 0,50 mm θα είναι < 1,0 %.

Παιπάλη

Πίνακας 5

Τόπος παραλαβής παρτίδας σκύρου	**Ποσοστό του συνολικού βάρους του δείγματος που διέρχεται από κόσκινο 0,063 mm**
Στον τόπο παραγωγής	< 0,5 %.

Η απαίτηση για τον τόπο της παραγωγής αντιστοιχεί στην κατηγορία «Α». Για σκύρα τα οποία παραλαμβάνονται στο έργο ή στην αποθήκη το ποσοστό του δείγματος που θα διέρχεται απ το κόσκινο 0,063 mm θα είναι < 1,0 %.

(Γ) Σχήμα κόκκων
Εξετάζεται ο δείκτης σχήματαος και ο δείκτης πλακοειδούς κατά τις προδιαγραφές.
(Δ)Μήκος κόκκων
Για κάθε είδος γραμμών και συνθηκών σιδηροδρομικής εκμετάλλευσης, το ποσοστό των λίθων με μήκο ς πο υ θα υπερβαίνει τα 100mm πρέπει να είναι < 6% και αντιστοιχεί στην κατηγορία «Β».

6.4.3.- Λειτουργία του σκύρου [Γιαννακός κ.ά.,1989]

6.4.3.1.- Γενικά

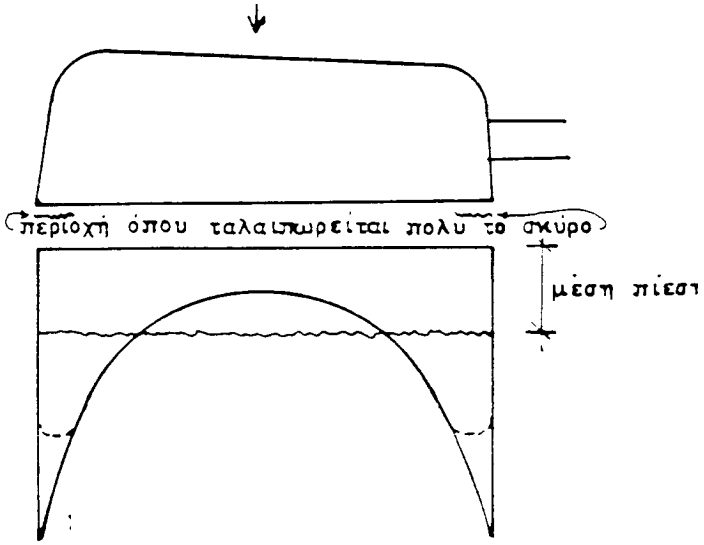
Η γραμμή πρέπει να είναι πάνω σε ελαστική βάση. Αυτό σημαίνει ότι το σκύρο πρέπει να διατηρείται σε καλή κατάσταση να είναι εξασφαλισμένη η απορροή των υδάτων, να λαμβάνονται μέτρα για να μην ανεβαίνει το εδαφικό υλικό όταν πρόκειται

για κακή υποδομή. Όταν το σκύρο συντρίβεται σε μικρά κομμάτια και παιπάλη, συμπυκνώνεται. Όταν η παιπάλη φθάσει 12,5% δεν μπορεί να υπογομωθεί. Εχει πολλή μεγάλη σημασία η ελαστικότητα. Συμπυκνωμένο πάρα πολύ, «ταρατσωμένο» σκύρο, που λειτουργεί ως ανυποχώρητη έδραση, προκαλεί μεγαλύτερη αποσταθεροποίηση, μεγαλύτερη καταπόνηση του στρωτήρα και αυτά πάλι μεγαλύτερη συμπύκνωση κ.ο.κ. Όταν το σκύρο «ταρατσωθεί» η λύση είναι ανύψωση 15cm, οπότε έχουμε γραμμή που είναι ελαστική. (Για το σωστό πάχος πρέπει να γίνουν δοκιμαστικές ανυψώσεις).

6.4.3.2.- Τρόπος λειτουργίας του σκύρου κάτω από το πέλμα του στρωτήρα

Από το στατικό υπολογισμό των στρωτήρων σε δυσμενείς συνθήκες έδρασης προκύπτει σε ορισμένες περιπτώσεις, ότι η τάση που καταπονείται το σκύρο στην επιφάνεια επαφής του με το πέλμα του διμερούς στρωτήρα είναι ~1,0Mpa ή 10kp/cm^2. Στην ερώτηση αν σε μέγεθος είναι αποδεκτή τιμή για την μέση πίεση για το σκύρο τα 10kp/cm^2 και αν είναι δυνατό να θεωρηθεί αποδεκτή, η απάντηση είναι εξαρτάται από την αντοχή του σκύρου. Η μέση τάση δεν σημαίνει πολλά πράγματα, (είναι ενδεικτικό μέγεθος, επειδή 'οι κόκκοι' του σκύρου, λειτουργούν σαν έμβολα.

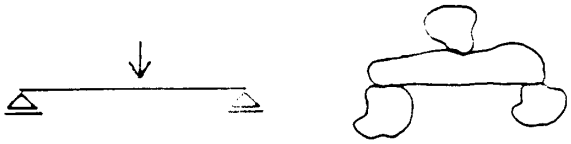
Οι κόκκοι δεν πρέπει να λειτουργούν σε κάμψη.



Σχήμα 22: Διανομή τάσεων (παραβολική) κάτω από την επιφάνεια έδρασης διμερούς στρωτήρα

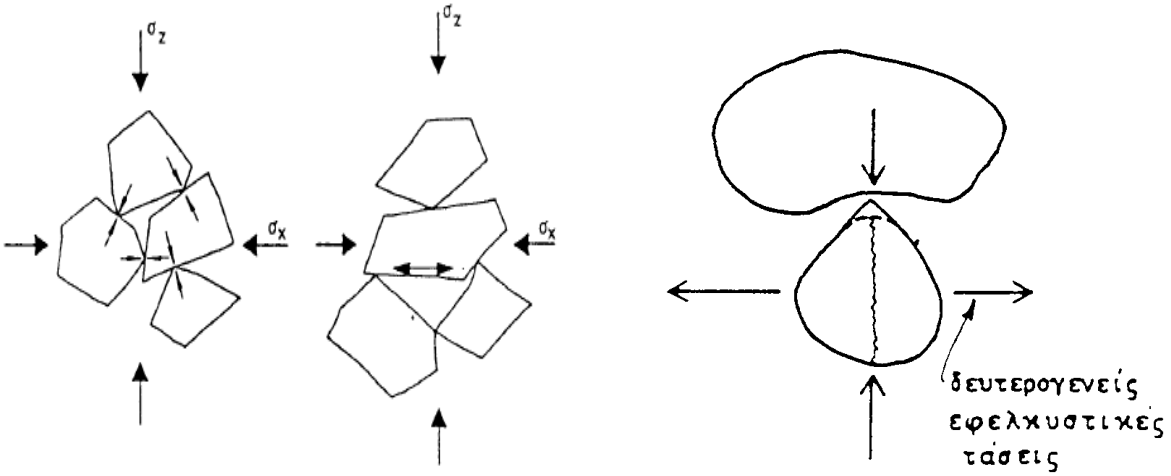
Πρέπει οι κόκκοι να είναι όχι πεπλατυσμένοι. Ένας διμερής στρωτήρας U31 πατάει σε 136 σημεία «κόκκων» σκύρου, αν θεωρήσουμε κόκκο σκύρου κυβικής μορφής με 4cm αιχμή. Οι κόκκοι λειτουργούν κανονικά σαν έμβολα μόνο σε θλίψη.
Πρέπει να ερευνηθεί αν κάποια γωνία αντέχει 100Kg (θέλουμε κόκκο κυβικής μορφής). Θα συμβούν δύο πράγματα: ή θα στρογγυλευτεί ή θα σπάσει. Η στρογγύλευση εντάσσεται στην κανονική λειτουργία του σκύρου.
Μετά τη στρογγύλευση πλαστικοποιείται, γίνεται ανακατονομή τάσεων μέσα στον κόκκο, δεν συνεχίζει να τρίβεται και σταματά το φαινόμενο. Πρέπει λοιπόν να

εξασφαλιστούμε ότι δεν σπάει ο κόκκος. Τα προηγμένα ευρωπαϊκά δίκτυα δεν έχουνε εμπειρία ασβεστολιθικού σκύρου επειδή παράγουν εκρηξιγενή ή μεταμορφωσιγενή σκύρα και δεν έχουν αντιμετωπίσει το πρόβλημα μέχρι σήμερα.



Σχήμα 23: Απαγορεύονται τα σκύρα «πλακοειδούς μορφής» για να μην λειτουργούν σε κάμψη. [Γιαννακός κ.ά., 1988]

Πρέπει να αυξήσουμε τις απαιτήσεις μας για την παραλαβή των σκύρων. Το σκύρο πρέπει να λειτουργεί σαν έμβολο και όχι σε κάμψη. Γι' αυτό πρέπει να μην παραλαμβάνεται σκύρο που δεν έχει κόκκους κυβικής μορφής.
Το υλικό του κόκκου του σκύρου πρέπει να έχει τέτοια αντοχή, ώστε να στρογγυλεύει, οπότε πλαστικοποιείται και γίνεται ανακατανομή τάσεων, πριν να ξεπεράσει η δευτερογενής τάση εφελκυσμού την αντοχή σε εκφυλισμό του πετρώματος, γιατί τότε θα σπάσει ο κόκκος πριν να στρογγυλέψει. Στην περίπτωση αυτή θα έχουμε θρυμματισμένο σκύρο.
Στους ξύλινους στρωτήρες επειδή η επιφάνεια τους είναι μαλακή σε σχέση με το σκυρόδεμα, η ακμή 'εισχωρεί' στο ξύλο, γίνεται 'στρογγύλευση' του στρωτήρα πια, πλαστικοποίηση, ανακατανομή τάσεων και δεν θραύεται το σκύρο.
Έτσι εξηγείται και το γεγονός ότι δεν παρατηρείται θρυμματισμός και 'ταράτσωμα' του σκύρου κάτω από ξύλινους στρωτήρες, τουλάχιστον στο βαθμό που παρατηρείται κάτω από στρωτήρες beton. Είναι θέμα υλικού του στρωτήρα.



Σχήμα 24: Τρόπος λειτουργίας των «κόκκων» των σκύρων στο «σώμα» της κλίνης του έρματος στη σιδηροδρομική γραμμή. Δεν υπάρχει ενιαία έδραση αλλά «σημειακές» επαφές. Η μέση πίεση είναι συνεπώς ενδεικτικό μέγεθος. [αριστερά σχήμα από Eisenmann et al., 1980, δεξιά σχήμα Γιαννακός κ.ά., 1988]

7.- Σιδηροδρομική Υποδομή

7.1. Η σημασία της σιδηροδρομικής υποδομής στην καλή ποιότητα της γραμμής.

Η ποιότητα της σιδηροδρομικής υποδομής είναι καθοριστικός παράγοντας για την εξασφάλιση της καλής ποιότητας της γραμμής, της συμπεριφοράς της, του χρόνου ζωής της και την επιρροή της στην κυκλοφορία των συρμών σε συνθήκες ασφάλειας και άνεσης.
Τα σιδηροδρομικά δίκτυα καταβάλλουν σοβαρές προσπάθειες για βελτίωση των συνθηκών άνεσης του επιβάτη, τις τελευταίες δεκαετίες δε έχουν διαπιστώσει ότι πολλά προβλήματα που εμφανίζονται στην επιφάνεια κύλισης των σιδηροτροχιών δεν οφείλονται τόσο στην επιδομή όσο στην ποιότητα της υποδομής.
Το πρόβλημα της σιδηροδρομικής γραμμής τίθεται σε συνάρτηση με τα φορτία που έχουν προβλεφθεί (φορτία ανά άξονα και ημερήσιο φορτίο κυκλοφορίας της γραμμής), τον τύπο των σιδηροτροχιών, των στρωτήρων, των συνδέσμων, του πάχους του έρματος και της ποιότητας της υποδομής. Η ορθολογική μελέτη του προβλήματος απαιτεί να ληφθούν υπόψη οι διάφορες παράμετροι που χαρακτηρίζουν την υποδομή : φύση του εδάφους, υδρογεωλογικές συνθήκες, μηχανικές αντοχές.

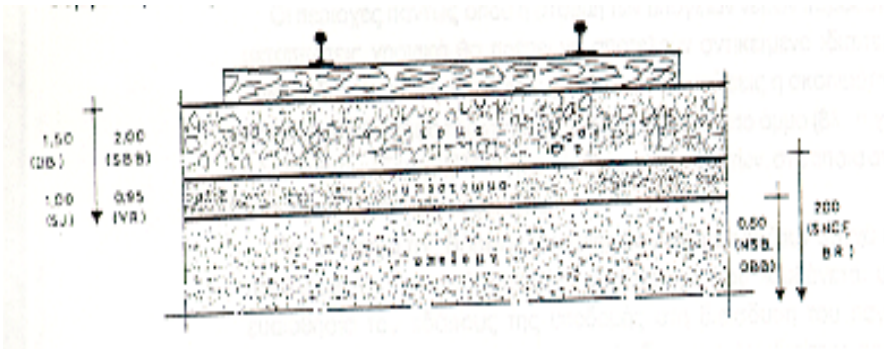
7.2. Γεωτεχνικές ταξινομήσεις των εδαφών

Πριν την κατασκευή νέας σιδηροδρομικής υποδομής ή την ανακαίνιση υφιστάμενης γραμμής, το ιδανικό θα ήταν να προηγείται πλήρης και λεπτομερειακή γεωτεχνική έρευνα του εδάφους. Ωστόσο αυτό είναι δύσκολο να πραγματοποιείται σε αναλυτικό βαθμό. Είναι όμως απαραίτητο να είναι γνωστές σε γενικές γραμμές οι βασικές παράμετροι της μηχανικής συμπεριφοράς του εδάφους. Εργαλείο προς την κατεύθυνση αυτή αποτελούν οι διάφορες γεωτεχνικές ταξινομήσεις, οι οποίες έχουν καθιερωθεί. Οι ταξινομήσεις αυτές γίνονται με βάση τα παρακάτω χαρακτηριστικά, κοκκομετρική διαβάθμιση, Atterbeg (όριο υδαρότητας, όριο πλαστικότητας, όριο συρρίκνωσης). Μερικές φορές λαμβάνονται υπόψη και μηχανικές παράμετροι όπως ο δείκτης CBR, κ.λπ.
Τα διάφορα σιδηροδρομικά δίκτυα ακολουθούν διαφορετικές ταξινομήσεις. Ετσι ,

- Οι Σκανδιναβικές χώρες βασίζονται κυρίως στην κοκκομετρική διαβάθμιση του υλικού,
- Η Γαλλία, Αγγλία, Γερμανία, Ελβετία βασίζονται κυρίως στην ταξινόμηση της USCS (Uniffied Soil Classiffication System), που είναι επίσης γνωστή με το όνομα *ταξινόμηση Casagrande.*
- Η Ιταλία χρησιμοποιεί την *ταξινόμηση AASHO* (American Association of State Highway Officials), στην οποία βασίζεται επίσης και η ταξινόμηση που χρησιμοποιεί το Υπουργείο Δημοσίων Εργων της χώρας μας στις προδιαγραφές έργων οδοποιίας.

Αντικείμενο ιδιαίτερης μελέτης αποτελούν συνήθως τα λεπτόκοκκα εδάφη, τα οποία αποτελούνται από μίγματα δύο ή περισσοτέρων ομάδων μεγεθών κόκκων. Για τέτοια εδάφη , με κοκκομετρικές συνθέσεις παραπλήσιες, η ακριβής ταξινόμησή τους απαιτεί να ληφθούν υπόψη και τα χαρακτηριστικά πλαστικότητας (διάγραμμα Casagrande).

7.3. Υδρογεωλογικές συνθήκες



Σχήμα. 25: Ελάχιστη απόσταση της στάθμης των υπόγειων νερών από κάποιο άξονα αναφοράς, ώστε οι συνθήκες αποστράγγισης να μπορούν να θεωρηθούν καλές, σύμφωνα με τους κανονισμούς των διάφορων δικτύων. [Γιαννακός, 1999]

Μια άλλη βασική παράμετρος για τον καθορισμό της ποιότητας της υποδομής είναι οι υδρογεωλογικές συνθήκες.
Τα διάφορα δίκτυα προσπάθησαν να καθορίσουν, ποιά είναι, κατά τη διάρκεια των κλιματικών μεταβολών η μέγιστη στάθμη των υπόγειων νερών, πέρα από την οποία οι υδρογεωλογικές συνθήκες θεωρούνται κακές. Το σχήμα 25. δίνει τις ελάχιστες αποστάσεις της στάθμης των υπόγειων νερών ως προς κάποιον άξονα αναφοράς, ώστε οι υδρογεωλογικές συνθήκες να μπορούν να θεωρηθούν καλές, σύμφωνα με τους κανονισμούς των διαφόρων δικτύων.

Αλλά ακόμη και αν η στάθμη των υπόγειων νερών βρίσκεται πιο κάτω από τις αποστάσεις που φαίνονται στο σχήμα 25, οι υδρογεωλογικές συνθήκες δεν θεωρούνται γενικά καλές, εφόσον δεν υπάρχουν κατάλληλες συσκευές αποστράγγισης ή δεν έχει δοθεί η κατάλληλη εγκάρσια κλίση στο υπόστρωμα 3÷5%.

7.4. Ταξινόμηση της σιδηροδρομικής υποδομής

Κατά την ταξινόμηση της UIC η μηχανική συμπεριφορά της υποδομής μπορεί μακροσκοπικά να χαρακτηρίζεται από:

- μικρές καθιζήσεις και πολύ καλή ανάληψη των φορτίων του συρμού. Μια τέτοια υποδομή θα λέμε ότι είναι ποιότητα S_3,
- μέτρια γενικά συμπεριφορά στις καθιζήσεις και την ανάληψη των φορτίων του συρμού. Μια τέτοια υποδομή θα χαρακτηρίζεται ως S_2,

- μεγάλες καθιζήσεις και λίγο ικανοποιητική ανάληψη των φορτίων. Θα λέμε ότι μια τέτοια υποδομή είναι ποιότητας S_1,
- πολύ μεγάλες καθιζήσεις και κακή ανάληψη των φορτίων. Μια τέτοια υποδομή θα χαρακτηρίζεται ποιότητα S_0.

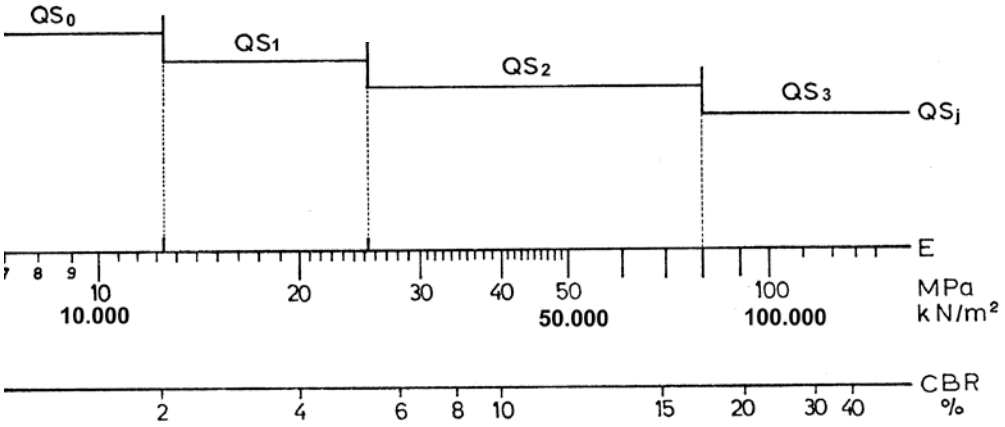
Πινακας 6.

Γεωτεχνική κατάταξη εδαφών	**Υδρογεωλογικές συνθήκες**	**Ποιότητα σιδηροδρομικής υποδομής**
Βράχος με μικρή μεταβλητότητα	_	R
Βράχος με μέση μεταβλητότητα (Deval ξηρό>9,Los Angeles ≤30) Εδάφη με ποσοστό λεπτόκοκκων* <5%	_	S_3
Βράχος με μεγάλη μεταβλητότητα (6<Deval ξηρό<9,30<Los Angeles<33) Αμμος με ποσοστό ομοιόμορφων λεπτόκκοκων < 5% - Εδάφη με ποσοστό λεπτόκοκκων 5-15%	καλές κακές	S_3 S_2
Σχίστες με $I_p > 7$ Αμμος ιλυώδης με $I_p > 7$ Εδάφη με ποσοστό λεπτόκοκκων 15÷ 40% θραυστά με Deval<6 και Los Angeles >33	καλές κακές	S_2 S_1
Ιλύς λίγο πλαστική Εδάφη με ποσοστό λεπτόκοκκων >40%	_	S_1
Εδάφη οργανικά	_	S_0
Σημείωση: Ως λεπτόκοκκα ορίζονται τα υλικά με διαστάσεις <60μ.		

Στα παραπάνω θα πρέπει να προσθέσουμε και την περίπτωση, όπου η υποδομή αποτελείται από βράχο ικανοποιητικών αντοχών. Μια τέτοια υποδομή θα χαρακτηρίζεται ποιότητας R.

Κριτήρια για την κατάταξη σε μια από τις παραπάνω κατηγορίες αποτελούν τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του εδάφους και οι υγρογεωλογικές συνθήκες. Ετσι με βάση τα ισχύοντα στην UIC, η ταξινόμηση της σιδηροδρομικής υποδομής παρουσιάζεται στον πίνακα 6, και έχει χρησιμοποιηθεί σε μεγάλη έκταση τα τελευταία χρόνια και στον ΟΣΕ. Στην ταξινόμηση αυτή ως μόνες παράμετροι

αναφοράς χρησιμοποιώντας το ποσοστό λεπτόκκοκων, ο δείκτης πλαστικότητας και οι συντελεστές Los Angeles και Deval.



Σχήμα 26: Μέτρο ελαστικότητας και δείκτης CBR για τις διάφορες ποιότητες εδάφους της υποδομής. [Γιαννακός, 1999]

7.5. Μηχανικά χαρακτηριστικά της υποδομής

Ο ρόλος της υποδομής συνίσταται στην ανάληψη φορτίων του συρμού που έχουν στο μεταξύ αποσβεσθεί ικανοποιητικά στην επιδομή και στο υπόστρωμα έρματος. Για τη σωστή ανάληψη των φορτίων θα πρέπει η υποδομή να έχει ικανοποιητικές μηχανικές αντοχές.
Με βάση σειρά δοκιμών που έγιναν στα πλαίσια της ORE, καθορίσθηκαν τα όρια μέσα στα οποία βρίσκεται το μέτρο ελαστικότητας για καθεμιά από τις κατηγορίες εδαφών της ταξινόμησης κατά UIC (σχήμα 26). Για τα βραχώδη εδάφη το μέτρο ελαστικότητας ποικίλλει ανάλογα με τη φύση του βραχώδους υλικού. Για την υποδομή που χαρακτηρίστηκε ποιότητας R αντιστοιχεί μέτρο ελαστικότητας της τάξης των 3.10^4 kp/cm^2.
Εκτός από το μέτρο ελαστικότητας, για το χαρακτηριστικό της υποδομής θα πρέπει να καθορισθεί και η φέρουσα ικανότητά της. Το σχήμα 26 δίνει για τις διάφορες ποιότητες εδάφους της υποδομής τις τιμές του δείκτη CBR που αντιστοιχούν.

7.6. Η στρώση διαμόρφωσης

Εφόσον το έδαφος που χρησιμοποιείται ως βάση της υποδομής, είναι ποιότητας S_1 ή S_2, είναι σκόπιμο να τοποθετείται πάνω από τη βάση μια στρώση που να αποτελείται από εδαφικό υλικό καλύτερης ποιότητας. Ονομάζουμε τη στρώση αυτή στρώση διαμόρφωσης.
Η στρώση διαμόρφωσης πρέπει να έχει βαθμό συμπύκνωσης μεγαλύτερο από ότι η βάση. Έτσι τα περισσότερα δίκτυα απαιτούν σήμερα η στρώση διαμόρφωσης να παρουσιάζει συντελεστή 100% για την κανονική δοκιμή Proctor ή 105% της τροποποιημένης δοκιμής Proctor, ενώ συνήθως η τιμή αυτή είναι 95% της κανονικής για τη βάση (στην περίπτωση επιχώματος), ή 100% της τροποποιημένης.

Η χρησιμοποίηση της στρώσης διαμόρφωσης οδηγεί σε ουσιαστική βελτίωση της συμπεριφοράς της υποδομής, μόνο εφόσον ικανοποιούνται οι παρακάτω δύο προϋποθέσεις:

(α) το έδαφος της βάσης να έχει μικρή περιεκτικότητα σε νερό, αλλιώς οι κόκκοι του εδαφικού υλικού της βάσης διεισδύουν στη στρώση διαμόρφωσης και καταστρέφεται έτσι η εγκάρσια κλίση,

(β) το έδαφος της στρώσης διαμόρφωσης να είναι ομοιογενές και απαλλαγμένο από συγκεντρώσεις τοπικά λεπτόκοκκων στοιχείων.

Πίνακας 7: *Το απαιτούμενο πάχος της στρώσης διαμόρφωσης σε συνάρτηση με την ποιότητα της βάσης της υποδομής για γραμμές ομάδας UIC 4-6. [Γιαννακός, 1999]*

Ποιότητα βάσης	**Στρώση διαμόρφωσης Ποιότητα - πάχος (cm)**	
S_1	S_1	35
	S_3	30
S_2	S_3	20

7.7. Επιπτώσεις στην υποδομή του φόρτου κυκλοφορίας

Για να μελετηθούν οι επιπτώσεις του φόρτου κυκλοφορίας και των συνθηκών συντήρησης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί με αρκετή προσέγγιση ο κανόνας του Dormon, που διατυπώθηκε για τα προβλήματα της οδοποιίας.

Σύμφωνα με τον κανόνα του Dormon, η μηχανική επιπόνηση της υποδομής είναι αντίστροφα ανάλογη με τον αριθμό των κύκλων φόρτισης, υψωμένο σ' έναν εκθέτη λ,

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^{\lambda} \qquad (18)$$

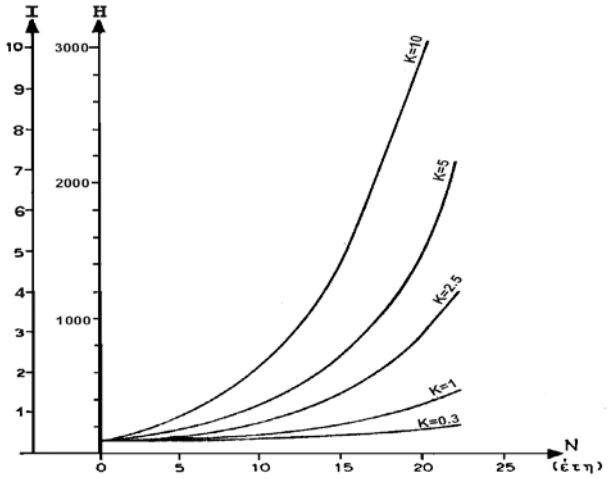
όπου σ_1, σ_2 οι τάσεις που αντιστοιχούν σε κύκλους φόρτισης N_1, N_2 αντίστοιχα και λ εκθέτης με μέση τιμή 0,2.

Ας είναι P το φορτίο ανά άξονα και T ο ημερήσιος φόρτος κυκλοφορίας (τονάζ). Από την (27) προκύπτει ότι

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \left(\frac{T_2 / P_2}{T_1 / P_1}\right)^{\lambda} \qquad (19)$$

Στην περίπτωση που το φορτίο ανά άξονα είναι σταθερό $P_1 = P_2$, τότε η (3.2) γίνεται

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\lambda} \qquad (20)$$



Σχήμα 27: Οι δαπάνες συντήρησης (για γραμμές UIC 4-6) σε συνάρτηση με το συντελεστή συντήρησης και τον αριθμό ετών μετά την τελευταία πλήρη ανακαίνιση [Γιαννακός, 1999]

7.8. Επιπτώσεις στην υποδομή των συνθηκών συντήρησης

Για να εκτιμηθεί ο όγκος (και συνεπώς και οι δαπάνες) των εργασιών συντήρησης της γραμμής, χρησιμοποιείται ως παράμετρος ο συντελεστής συντήρησης k.
Το δίκτυο χωρίζεται σε τμήματα με κριτήριο την ομοιογένεια ως προς τον αριθμό επεμβάσεων των ομάδων γραμμής στο υπόψη τμήμα, όπου ως επεμβάσεις νοούνται όλες οι εργασίες με χειρωνακτικά και μηχανικά μέσα ανάμεσα σε δύο πλήρεις ανακαινίσεις της γραμμής. Ας είναι I ο ετήσιος αριθμός επεμβάσεων σ' ένα τέτοιο τμήμα και I_m ο μέσος αριθμός επεμβάσεων σε γραμμές της ίδιας ηλικίας (που ανακαινίσθηκαν δηλαδή την ίδια χρονιά), που ανήκουν στην ίδια ομάδα UIC και διατρέχονται από συρμούς με το ίδιο φορτίο ανά άξονα. Ο συντελεστής συντήρησης ορίζεται ως:

$$k = \frac{I}{I_m} \qquad (21)$$

Η τιμή k=1 αντιστοιχεί σ' ένα μέσο επίπεδο συντήρησης, ενώ η τιμή k=0,5 αντιστοιχεί σ' ένα επίπεδο συντήρησης που θεωρείται ικανοποιητικό. Επισημαίνουμε ότι όταν η υποδομή είναι κακής ποιότητας, το k μπορεί να έχει τιμές μέχρι 10. Η χρησιμοποίηση του συντελεστή k βοηθά σημαντικά στον ορθολογικό προγραμματισμό των εργασιών συντήρησης της γραμμής. Με βάση το σημείο

των καμπυλών, πέρα από το οποίο οι δαπάνες συντήρησης αυξάνουν δυσανάλογα, καθορίζεται ορθολογικά το χρονικό σημείο κατά το οποίο πρέπει να γίνει η επόμενη πλήρης ανακαίνιση της γραμμής.
Θεωρούμε τώρα δύο γραμμές 1 και 2 με διαφορετικούς συντελεστές συντήρησης k_1 και k_2 αντίστοιχα. Η εφαρμογή του κανόνα του Dormon δίνει :

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \left(\frac{\tau_2 / P_2}{\tau_1 / P_1} \right)^{\lambda} \qquad (22)$$

όπου τ_i παριστάνει για κάθε γραμμή το φόρτο κυκλοφορίας ανάμεσα σε δύο διαδοχικές εργασίες συντήρησης. Στατιστικές αναλύσεις έδειξαν ότι το τ_i είναι ανάλογο με την τιμή T_i/k_i και έτσι θα έχουμε:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \left(\frac{\frac{T_2}{k_2} \cdot \frac{1}{P_2}}{\frac{T_1}{k_1} \cdot \frac{1}{P_1}} \right)^{\lambda} \qquad (23)$$

Εξετάζοντας την περίπτωση δύο γραμμών με το ίδιο φορτίο ανά άξονα και τον ίδιο φόρτο κυκλοφορίας, η (23) γίνεται:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \left(\frac{k_1}{k_2} \right)^{\lambda} \qquad (24)$$

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

A.R.E.A., "Manual for Railway Engineering", 1996

Alias Jean, « La Voie Ferrée », Eyrolles, Paris, 1984.

Alias Jean, « Le Rail », Eyrolles, Paris, 1987.

Comite Francais des Geotextiles et Geomembranes, "Recommandations pour l' Emploi des Geotextiles dans les Voies Ferrees" — Paris, Avril 1986.

Eisenmann J., Kaess G., 1980. Das Verhalten des Schotters unter Belastung, *ETR* (29) 3, Hestra-Verlag Darmstadt 1980

Erieau Jean, «L' Evolution des Attaches de Rails et des Traverses en Beton Francaises», R.G.C.F. 1980

ERRI D170/DT 283 "Response of the Railway Track under external Loading", Utrecht 1994

Esveld Coenraad, "Modern Railway Track", MRT – Productions, Zaltbommel, The Netherlands, 2001.

Feyrabant Mr., « Cours de Chemin de Fer », Ecole Nationale des Ponts et Chaussees, Paris, 1967.

Fiche U.I.C. 719 R.

Funke Heinz, "Rail Grinding",Transpress, VEB, Berlin 1986

Giannakos Konstantinos, "Actions on the Railway Track", Papazissis publications, Athens, 2004

Imbert B., "Les Structures d' Assise Ferroviaire, Dimensionnement- Durabilite", PARFAIRE No 39 – Avril '86.

ORE Question 7H14

ORE Question D117, Rp 15, Utrecht, 1981

ORE Question D117, Rp 16, Utrecht, 1981

Prud'homme A., «La Voie», R.G.C.F., 1970

Prud'homme A., Erieau Jean, « Les Nouvelles Traverses en Beton de la SNCF », R.G.C.F., 1976

Sauvage R. –Imbert B., "Utilisation d' Additifs de Structures dans les Couches d' Assise de Voies Ferrees", IIIe Congres International des Geotextiles – Vienne, Autriche, 7-11 Avril 1986.

Sauvage R.– Huart F., "Maintenance des Couches d' Assise des Voies Ferrees".

Sauvage R.– Richez G, "Les Couches d' Assise de la Voie Ferree", R. G. C. F. – Decembre 1978.

Schram Gerhard, "Permanent Way Technique and Permanent Way Economy", Otto Elsner, Darmstadt – Germany, 1961.

SNCF « Trace de la Voie Etudee et Rectification des Courbes », 1974

SNCF, «Constitution de la Voie Courante», 1979

SNCF/ Direction de l' Equipement, «Attaches Nabla-Dossier Tecnique»

SNCF/ Reseau de l' Est «Voie Courante Materiel», 1983

Γεωργικοπουλος Κ. : Τεχνική Μηχανική Γ' Αντοχή των υλικών, Εκδοση Τ.Ε. Ε. , Αθήνα 1967.

Γιαννακός Κ, Βλασοπούλου Ι, – «Μελέτη για την καταπόνηση του έρματος και τη συμπεριφορά της επιδομής σε σχέση με το είδος των χρησιμοποιουμένων στρωτήρων», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1990

Γιαννακός Κ, Βλασοπούλου Ι, – «Μελέτη για το σύστημα «στρωτήρας - σκύρο», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1990.

Γιαννακός Κ, Βλασοπούλου Ι, «Προβλήματα και Λύσεις για το σύστημα «στρωτήρας – σκύρο» στον ΟΣΕ», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1991.

Γιαννακός Κ., Βλασοπούλου Ι., " Προδιαγραφές Στρωτήρων από Σκυρόδεμα", ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής & Ε.Μ.Π., Αθήνα 1992

Γιαννακός Κ., Βλασοπούλου Ι., «: Ερευνα για τον καθορισμό του τύπου του στρωτήρα που θα υιοθετηθεί από τον ΟΣΕ – Συγκριτική Παρουσίαση των Διαφόρων Τύπων Στρωτήρων – Αξιολόγηση έρευνας του Καθ. Κ. Riessberger", ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1992

Γιαννακός Κ., Βλασοπούλου Ις., Ιορδανίδης Π., «Έκθεση Επιτροπής Εμπειρογνωμόνων του ΟΣΕ για την Επίσκεψή τους στους SNCF Απο 15/5/88 - 11/6/88», ΟΣΕ, Αθήνα 1988

Γιαννακός Κωνσταντίνος, «Δράσεις στη Σιδηροδρομική Γραμμή», εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα 2002.

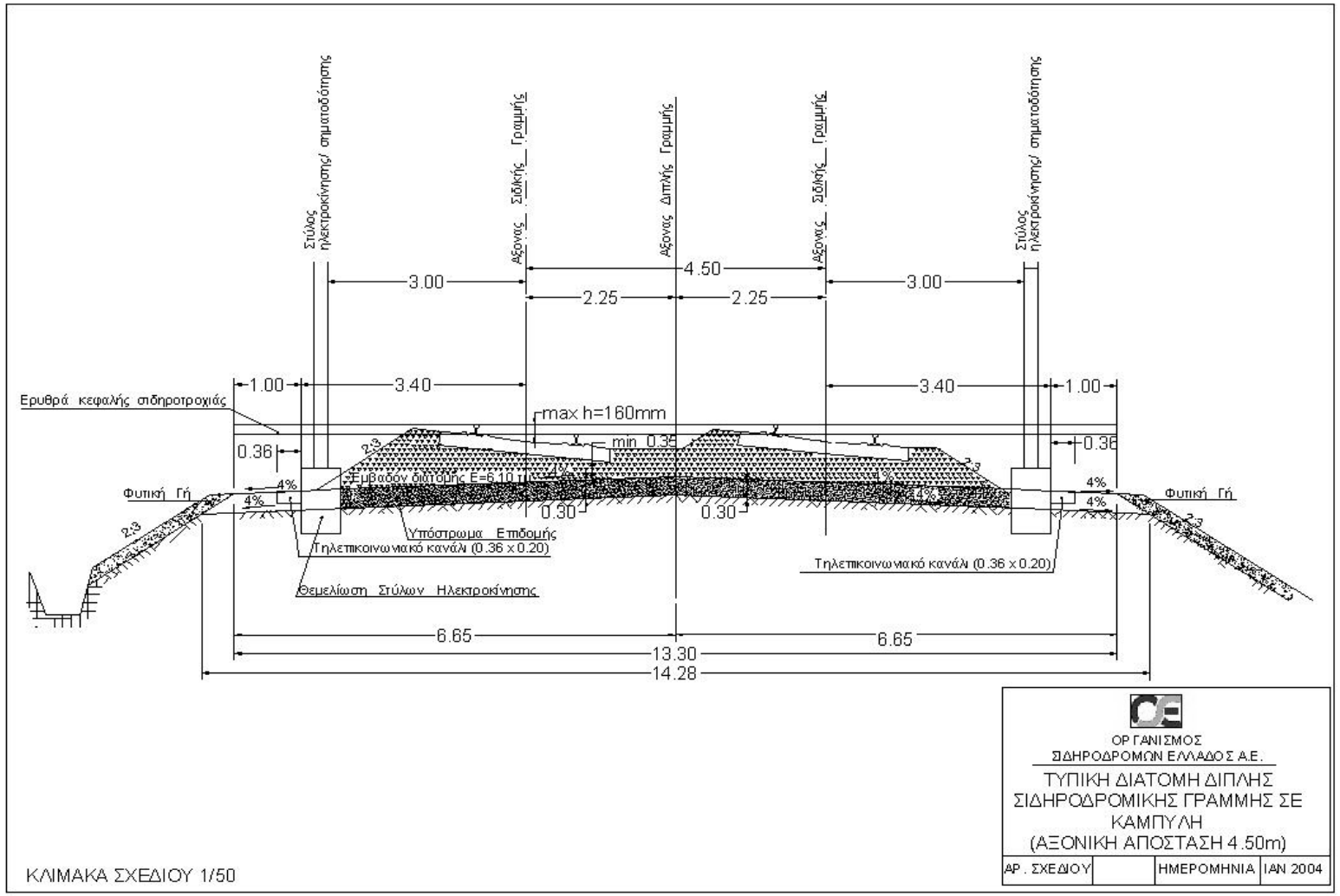
Γιαννακός Κωνσταντίνος, «Σιδηροτροχιές, Στρωτήρες, Σύνδεσμοι, Αρμοί, Σ.Σ.Σ., Έρμα, Στρώση Γραμμής», Σεμινάριο για νέους διπλωματούχους μηχανικούς του ΟΣΕ, Αθήνα, Οκτώβρης 1985.

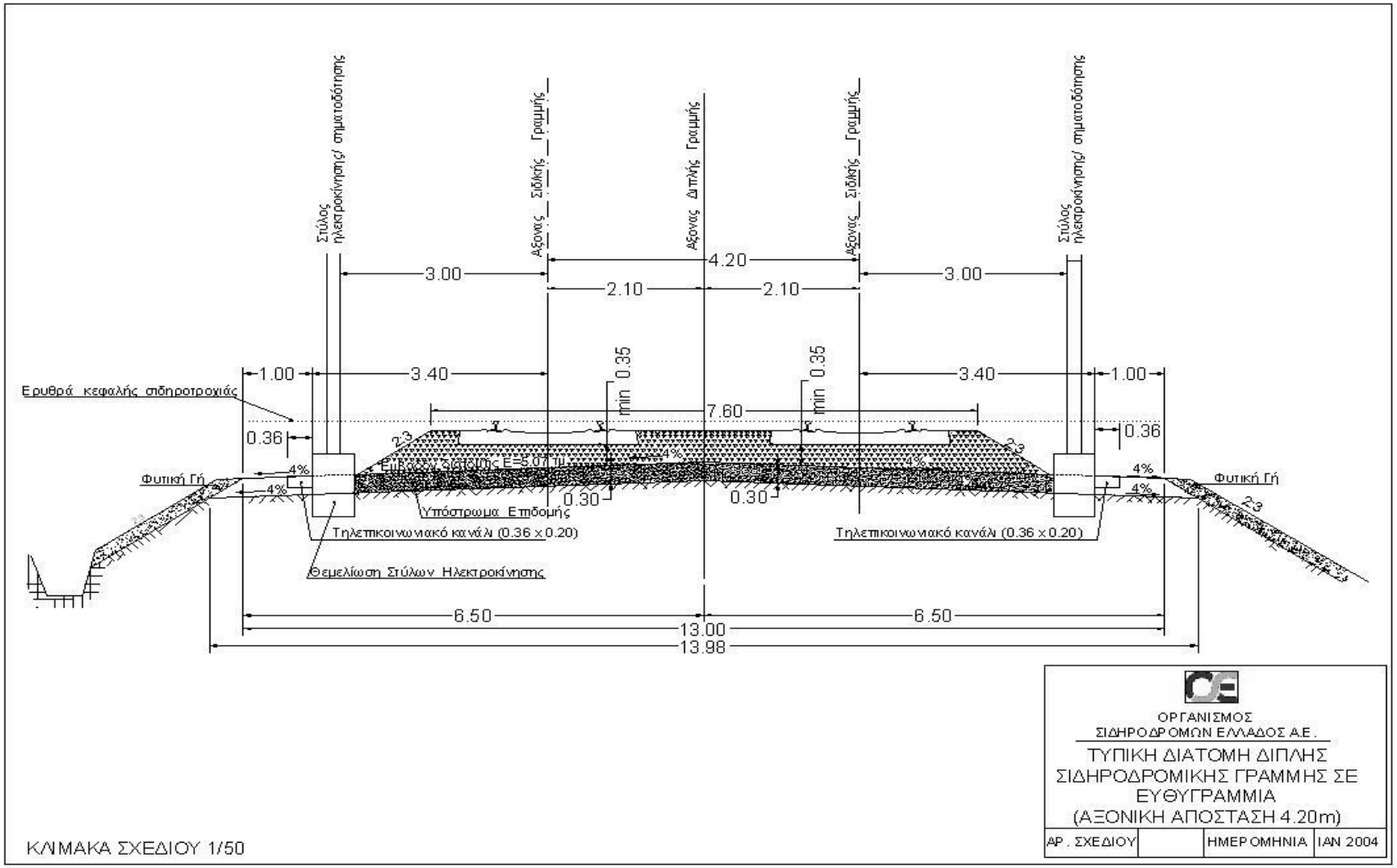
ΕΔΙΣΥ/Γενική Διεύθυνση Υποδομής, «Ε 18.07.10/20-9-2007 Προδιαγραφή Προμήθειας Σκύρων Γραμμής», Αθήνα, 2007

ΟΣΕ, ''ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΑΙ''
ΟΣΕ, "ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΠΙΔΟΜΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ (Κ.Ε.Γ.) των ΣΕΚ", 1953
ΟΣΕ, "ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΠΙΔΟΜΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ (Σ.Κ.Ε.Γ.) των ΣΕΚ", 1953
ΟΣΕ/ Γενική Διεύθυνση Υποδομής, ΝΕΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΠΙΔΟΜΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ (Ν.Κ.Ε.Γ.), 1978 & 2004
ΟΣΕ/ Διεύθυνση Γραμμής, «Απελευθέρωσις των Τάσεων των Σ.Σ.Σ. δια Χρησιμοποιήσεως Συσκευών Θερμάνσεως προς Χρήση υπο του Προσωπικού Συντηρήσεως Γραμμής» , Προσωρινή Τεχνική Οδηγία.
ΟΣΕ/ Διεύθυνση Γραμμής, «Οριστική Ρύθμιση Σ.Δ. Γαλλικού Τύπου», Προσωρινή Τεχνική Οδηγία.
ΟΣΕ/ Διεύθυνση Γραμμής, «Ρύθμιση Σ.Δ. (παλαιού τύπου) για τις Σ.Σ.Σ.», Προσωρινή Τεχνική Οδηγία.
ΟΣΕ/ Διεύθυνση Γραμμής, «Στρώσις Επίβλεψις και Συντήρηση των Σιδηροτροχιών των Συγκολλημένων εις Μεγάλα Μήκη (Σ.Σ.Σ.)», Προσωρινή Τεχνική Οδηγία.
ΟΣΕ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ, «Η Μηχανική Συμπεριφορά της Σιδηροδρομικής Υποδομής», Β. Προφυλλίδης – Α. Κουπαρούσος, Ιούλιος 1984.
ΠΕΤΕΠ (Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές), «Γενικές Διατάξεις Στρώσης Γραμμής – Όρια Σφαλμάτων Γραμμής – Τυπικές Διατομές», ΥΠΕΧΩΔΕ/ ΙΟΚ, 2004

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Τυπικές Διατομές διπλής Σιδηροδρομικής Γραμμής [ΠΕΤΕΠ 07.03.01.10]


Στύλος ηλεκτροκίνησης/ σηματοδότησης
Άξονας Σιδ/κής Γραμμής
Άξονας Σιδ/κής Γραμμής
Στύλος ηλεκτροκίνησης/ σηματοδότησης
4.50
3.00
2.25
2.25
3.00
1.00
3.40
3.40
1.00
Ερυθρά κεφαλής σιδηροτροχιάς
max h=160mm
min 0.35
0.36
0.36
2:3
Εμβαδόν διπόδης E=5.10 m
4%
Φυτική Γή
Φυτική Γή
0.30
0.30
Υπόστρωμα Επιδομής
Τηλεπικοινωνιακό κανάλι (0.36 x 0.20)
Τηλεπικοινωνιακό κανάλι (0.36 x 0.20)
Θεμελίωση Στύλων Ηλεκτροκίνησης
6.65
6.65
13.30
14.28
ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ
ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ Α.Ε.
ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΔΙΠΛΗΣ
ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΣΕ
ΚΑΜΠΥΛΗ
(ΑΞΟΝΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ 4.50m)
ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ
ΙΑΝ 2004
ΚΛΙΜΑΚΑ ΣΧΕΔΙΟΥ 1/50


Στύλος ηλεκτροκίνησης/ σηματοδότησης
Άξονας Σιδ/κής Γραμμής
Άξονας Δ.πλής Γραμμής
Άξονας Σιδ/κής Γραμμής
Στύλος ηλεκτροκίνησης/ σηματοδότησης
4.20
3.00
2.10
2.10
3.00
1.00
3.40
min 0.35
min 0.35
3.40
1.00
7.60
Ερυθρά κεφαλής σιδηροτροχιάς
0.36
0.36
2:3
2:3
4%
4%
4%
4%
Φυτική Γή
Φυτική Γή
Επιφάνεια Σιδ/μης Ε=50MPa
Υπόστρωμα Επιδομής
0.30
0.30
Τηλεπικοινωνιακό κανάλι (0.36 x 0.20)
Τηλεπικοινωνιακό κανάλι (0.36 x 0.20)
Θεμελίωση Στύλων Ηλεκτροκίνησης
6.50
6.50
13.00
13.98
ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ Α.Ε.
ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΔΙΠΛΗΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΣΕ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΑ
(ΑΞΟΝΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ 4.20m)
ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ
ΙΑΝ 2004
ΚΛΙΜΑΚΑ ΣΧΕΔΙΟΥ 1/50

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 3

- **Μηχανισμοί Γραμμής**
  - **Αλλαγές**
  - **Διασταυρώσεις**
  - **Συσκευές Διαστολής**
  - **Τρίγωνα αναστροφής**

Μηχανισμοί γραμμής

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

Γενικά

Επειδή η σιδηροδρομική γραμμή κατευθύνει τα οχήματα και ο οδηγός δεν μπορεί να στρίψει, προέκυψε η ανάγκη να βρεθεί ένας μηχανισμός της γραμμής που να παρέχει αυτήν την δυνατότητα: να αλλάζει στο τρένο κατεύθυνση. Έτσι φτάσαμε στην αλλαγή τροχιάς και σε άλλους μηχανισμούς γραμμής.
Οι μηχανισμοί γραμμής ανταποκρίνονται στις ανάγκες εκμετάλλευσης της κυκλοφορίας των τρένων. Έχουν για σκοπό να πετύχουν με ασφάλεια:
Α) το χωρισμό ή τη συνένωση γραμμών – και σε επέκταση διαδρομών του τρένου – για μια ποικιλία ταχυτήτων, που έχουν επιλεγεί από τα πριν
Β) την τομή των γραμμών (διασταύρωση) μέσω βασικών στοιχείων που τους απαρτίζουν και τα οποία είναι οι βελόνες, η καρδιά, η διασταύρωση και τα οποία αποτελούνται από σιδηροτροχιές κανονικής ή ειδικής διατομής, στρωτήρες, ειδικά τεμάχια και συνδέσμους.
Οι μηχανισμοί γραμμής είναι θέσεις (σημεία ως προς το μήκος της γραμμής) όπου λαμβάνουν χώρα γεγονότα, συμβάντα. Η πιο μεγάλη πλειοψηφία των συμβάντων αυτών έχουν ως αιτία ανθρώπινα σφάλματα και σε αυτές τις περιπτώσεις η ανάλυσή τους είναι εύκολη. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις υπεισέρχεται η δράση – αντίδραση μεταξύ τροχού – σιδηροτροχιάς (γραμμής) απαιτούνται γνώσεις από τα μαθήματα που ακολουθούν.

Γενικές Συνθήκες

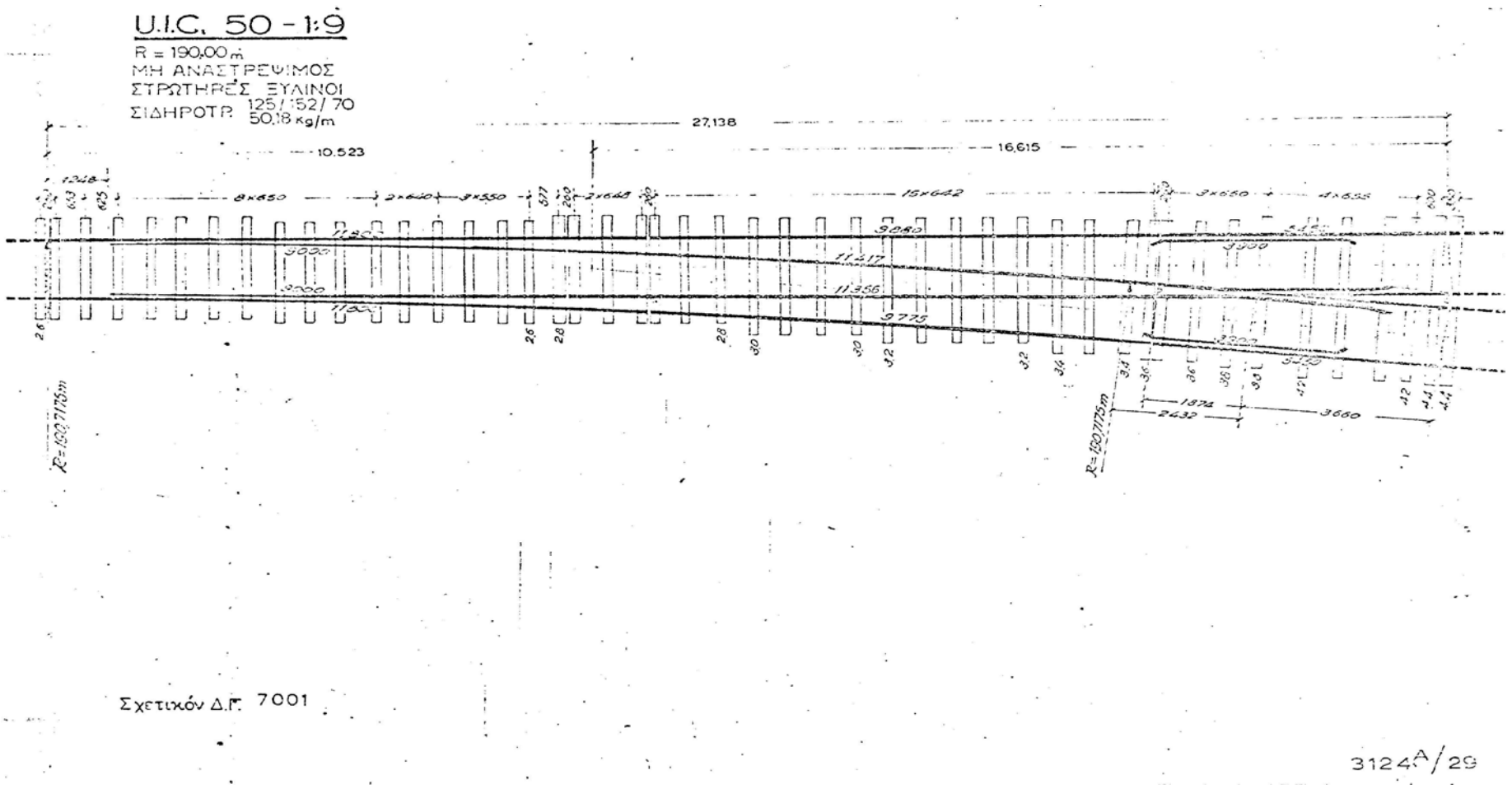
Για να εκπληρώνει καλύτερα την αποστολή του, ένας μηχανισμός γραμμής, στην κυκλοφορία πρέπει:

- Να εξασφαλίζει μια αποτελεσματική καθοδήγηση των τροχών αποκλείοντας την πορεία σε λάθος κατεύθυνση ή το πέσιμο ενός τροχού πάνω σε εύθραυστα μέρη του ίδιου του μηχανισμού
- Να μειώνει στο ελάχιστο τις οριζόντιες ή κατακόρυφες κρούσεις που θα έχουν σαν αποτέλεσμα τη διατάραξη τηςτης άνεσης επιβατών και γρήγορη φθορά του τροχαίου υλικού

Η χρησιμότητά τους είναι η διευκόλυνση της εκμετάλλευσης των σιδηροδρόμων δηλαδή της λειτουργίας τους και της κυκλοφορίας, με την κατάλληλη διάταξη των μηχανισμών ώστε να γίνεται με ασφάλεια η διασταύρωση, η υπέρβαση η στάθμευση των τρένων κατά την εκτέλεση των δρομολογίων τους όπως και ο σχηματισμός, ο ανασχηματισμός των συνθέσεων των συρμών και η διενέργεια ελιγμών γενικά όπως και κάθε απαιτούμενης κίνησης σε οποιοδήποτε σταθμό.

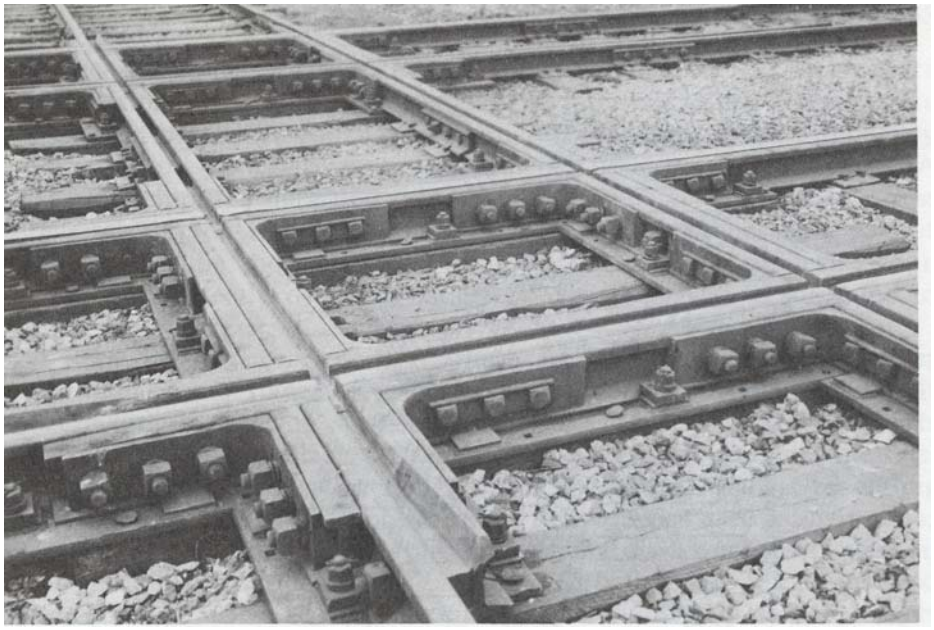
Είδη μηχανισμών Γραμμής

Οι πιο συνηθισμένοι μηχανισμοί γραμμής είναι:

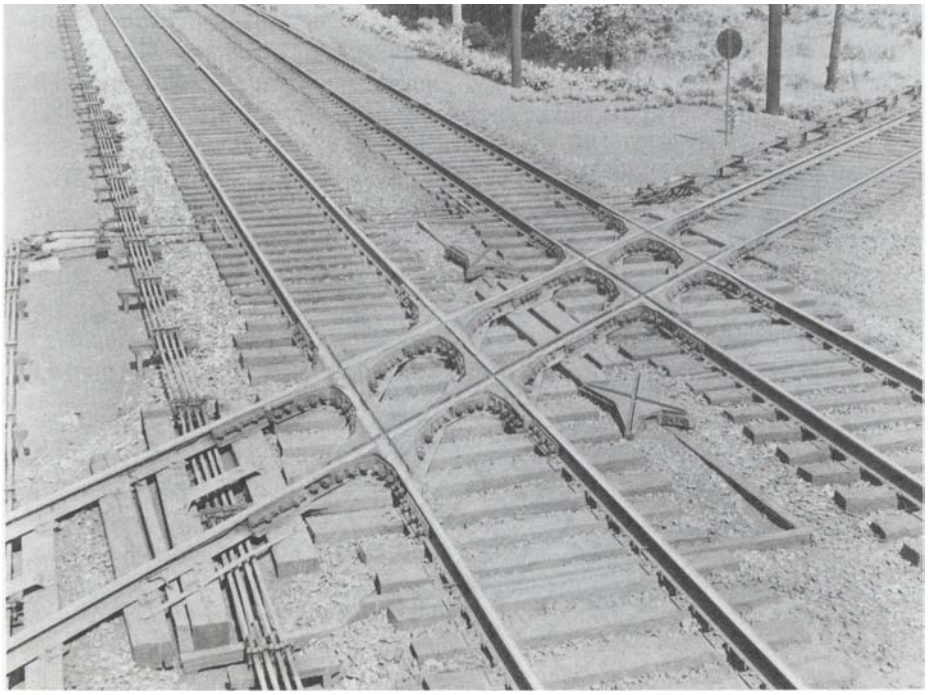


Σχήμα 1: Αλλαγή τροχιάς οριζοντιογραφία [σχέδιο Διευθύνσεως Γραμμής ΟΣΕ, πηγή Γιαννακός κ. ά., 1984]

- **Η αλλαγή τροχιάς**, η οποία
  a) i) επιτρέπει τον διαχωρισμό μιας γραμμής σε δυο γραμμές, την κύρια που είναι συνέχεια αυτής που έρχεται και την αποκλίνουσα
  b) ii) πραγματοποιεί τη συμβολή δύο γραμμών σε μία



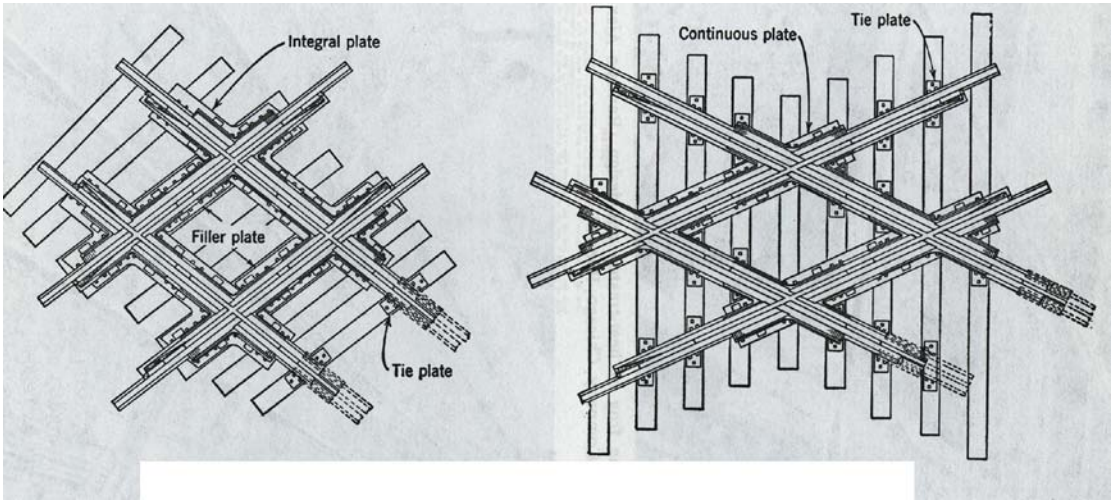
Σχήμα 2: Φωτογραφία διασταύρωσης [Fastenrath, 1981]



Σχήμα 3: Φωτογραφία λοξής διασταύρωσης [Fastenrath, 1981]

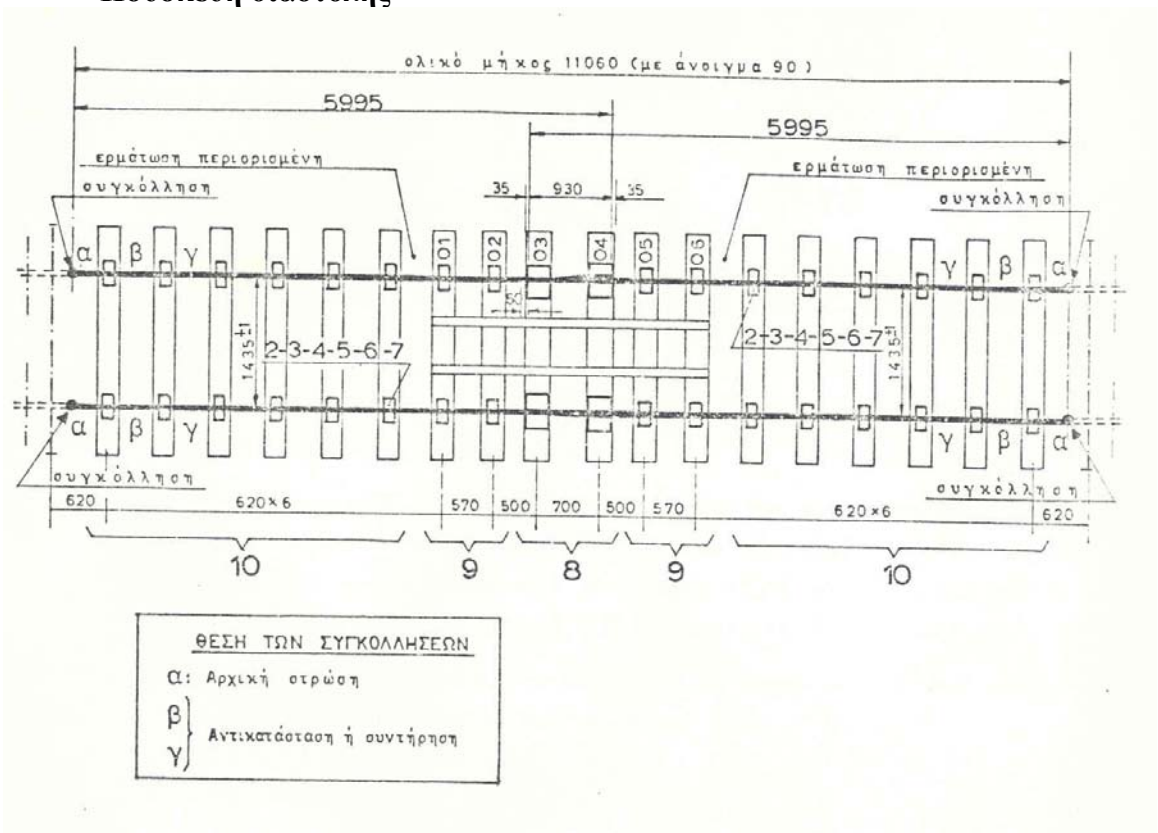
- **Η διασταύρωση**, που είναι η τομή δύο γραμμών που ακολουθούν διαφορετικές κατευθύνσεις. Υπάρχουν οι απλές διασταυρώσεις που

εξασφαλίζουν απλά την τομή δυο γραμμών με οποιαδήποτε γωνία και οι διασταυρώσεις που περιλαμβάνουν και αλλαγές τροχιάς και οι οποίες συνδυάζουν ταυτόχρονα τις λειτουργίες των αλλαγών και των διασταυρώσεων

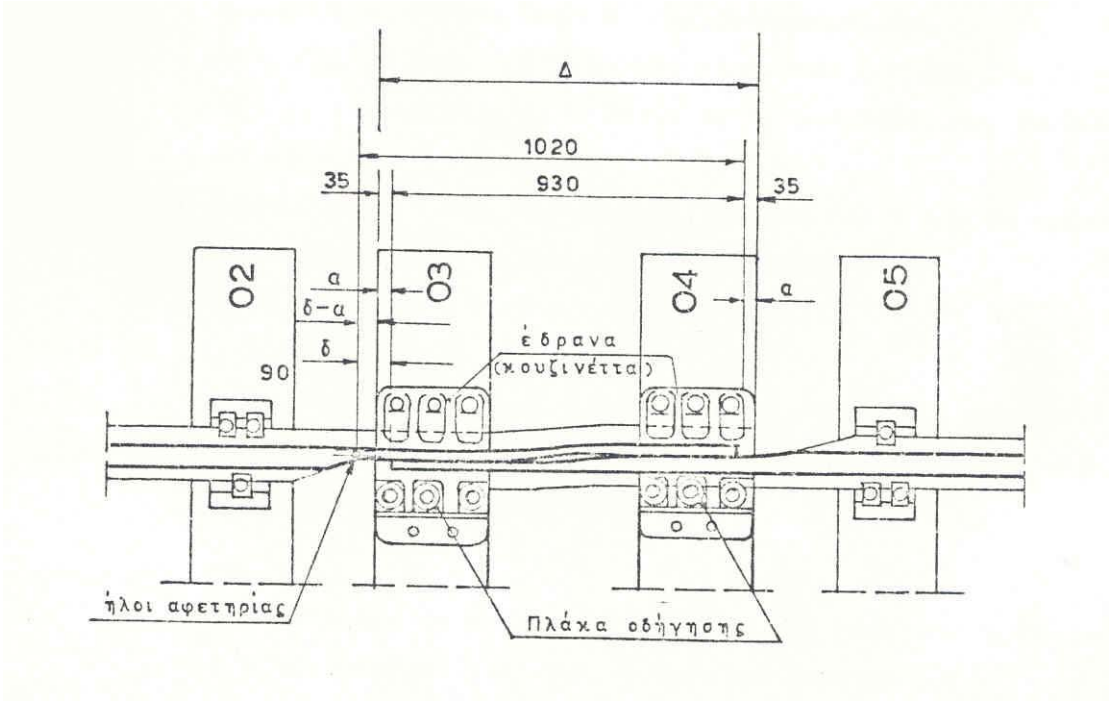


Σχήμα 4: Σχέδια διασταυρώσεων και λεπτομέρειες [Fastenrath, 1981]

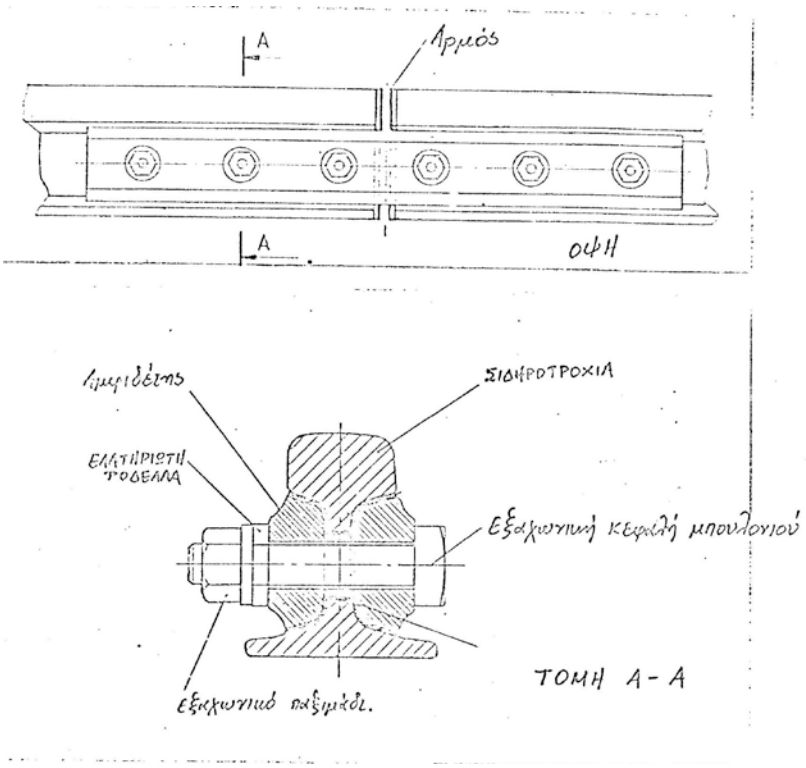
- **Ηυσκευή διαστολής**



Σχήμα 5: Διάταξη συσκευής διαστολής Γαλλικού τύπου για Συνεχώς Συγκολλημένες Σιδηροτροχιές [ΠΕΤΕΠ 07-06-03-30, 2003]



Σχήμα 6: Λεπτομέρεια Σ.Δ. γαλλικού τύπου για σιδηροτροχιές UIC 54 [ΠΕΤΕΠ 07-06-03-30, 2003]



Σχήμα 7: Όψη και τομή αρμού [Γιαννακός κ. ά., 1984]

Η συσκευή διαστολής (βλέπε Σχήμα 5 & Σχήμα 6) είναι ένας μηχανισμός που χρησιμοποιείται στη στρώση γραμμής με συνεχώς συγκολλημένες σιδηροτροχιές. Η κλασσική μέθοδος στρώσης γραμμής είναι με αρμούς, δηλαδή κατά μήκος τοποθετείται η μία σιδηροτροχιά δίπλα στην άλλη αφήνεται κενό και τοποθετούνται δύο χαλύβδινα κομμάτια (αμφιδέτες) ειδικής διατομής (βλέπε σχήμα 7) που συνδέονται και συνδέουν τις εκατέρωθεν σιδηροτροχιές με βλήτρα (μπουλόνια) που τους διαπερνούν ενώ οι αμφιδέτες στηρίζονται στην κεφαλή και το π[έλμα της σιδηροτροχιάς.

Οι Συνεχώς Συγκολλημένες Σιδηροτροχιές (Σ.Σ.Σ.) δεν έχουν αρμούς. Συγκολλούνται όλοι οι αρμοί και έτσι δημιουργείται μια συνεχής σιδηροτροχιά από σταθμό σε Σταθμό μήκους πολλών χιλιομέτρων.

Έξω και πριν από τη γραμμολογία του Σταθμού τοποθετείται η Συσκευή Διαστολής που είναι ένας μηχανισμός γραμμής ο οποίος εξασφαλίζει την εκτόνωση (συστολές – διαστολές) του συμεχώς συγκολλημένου τμήματος [Γιαννακός κ. ά., 1984]..

- **Το τρίγωνο αναστροφής**

Το τρίγωνο αναστροφής είναι σε οριζοντιογραφία ένα σχήμα που μοιάζει με τρίγωνο με καμπύλες πλευρές και το οποίο επιτρέπει σε ένα όχημα (συνήθως κινητήρια μονάδα) να αλλάζει μέτωπο πορείας (δηλαδή να «στρίψει» κατά 180^0) και να συνεχίσει την πορεία του προς την ίδια κατεύθυνση με άλλο μέτωπο. Αυτό βοηθά να είναι ο θάλαμος με τα χειριστήρια οδήγησης μπροστά κατά την πορεία.
Οι κορυφές του τριγώνου δημιουργούνται με αλλαγές.

Ταξινόμηση αλλαγών

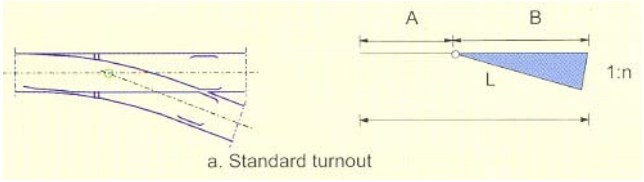
Οι αλλαγές τροχιάς ταξινομούνται ανάλογα με:

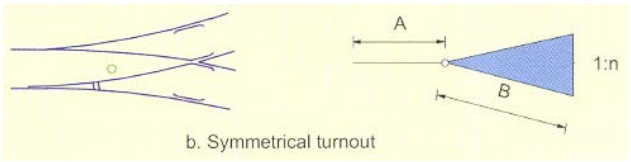
1. Τον τύπο γραμμών (όσον αφορά το εύρος)
2. Το βάρος ανάτρέχον μέτρο της σιδηροτροχιάς ή τον τύπο σιδηροτροχιάς πχ αλλαγές UIC 60, UIC 50, S33
3. Την γωνία απόκλισης ή γωνία αλλαγής δηλαδή τη γωνία που σχηματίζει η δευτερεύουσα προς την κύρια γραμμή (αυτή δίνεται σε μορφή εφαπτομένης)
4. Το ολικό μήκος της γραμμής. Το μήκος αυτό είναι σταθερό για κάθε τύπο αλλαγής και είναι ανάλογο με τη γωνία αλλαγής. Όσο μικρότερη είναι η γωνία τόσο μεγαλύτερο το μήκος
5. Τον τύπο της καρδιάς που έχει
6. Την ακτίνα καμπυλότητας. Οι περισσότερες αλλαγές έχουν τον ένα κλάδο τους σε ευθεία γραμμή και τον άλλο σε καμπύλη. Ο κλάδος της αλλαγής που είναι ευθεία λέγεται κύριος κλάδος και ο καμπύλος δευτερεύων κλάδος. Η ακτίνα με την οποία σχηματίζεται το κυκλικό τόξο του καμπύλου κύκλου λέγεται ακτίνα καμπυλότητας. Υπάρχουν αλλαγές που έχουν και τους δύο κλάδους σε καμπύλη. Η ακτίνα καμπυλότητας στην Ελλάδα για κανονική γραμμή είναι από 145 μέχρι 500 m και για μετρική από 80 μέχρι 250 m.
7. Τον τύπο των βελονών
8. Την κατεύθυνση του δευτερεύοντος κλάδου

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

Τύποι συσκευών αλλαγών και διασταυρώσεων

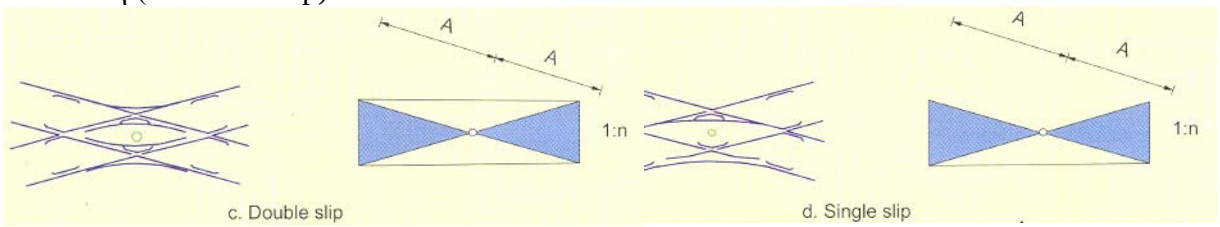
Γενικά υπάρχουν διάφοροι τύποι συσκευών αλλαγών και διασταυρώσεων. Στο επόμενο σχήμα (σχ.1) διακρίνονται δυο τύποι συσκευών αλλαγών τροχιάς, ο βασικός τύπος αλλαγής (a) και ο τύπος συμμετρικής αλλαγής (b).





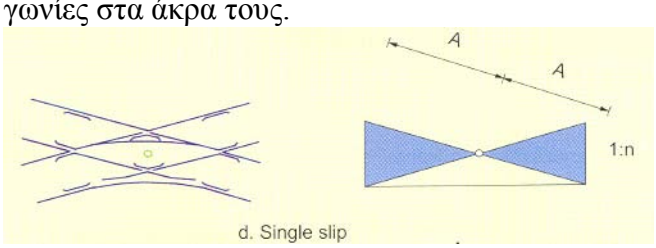
Σχ.1 Αλλαγές τροχιάς

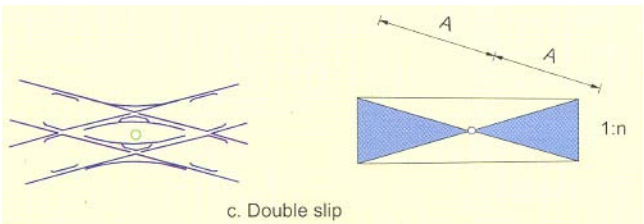
Ακολούθως (σχ.2) φαίνονται δυο τύποι κοινών διασταυρώσεων τύπου «ρόμβου» με δυνατότητα αλλαγής κατεύθυνσης στον ένα κλάδο όπου χρησιμοποιείται η απλή σύνδεση (d. single slip) και στους δυο κλάδους, όπου χρησιμοποιείται η διπλή σύνδεση (c. double slip).



Σχ.2 Διασταυρώσεις τύπου «ρόμβου»

Οι διασταυρώσεις τύπου «ρόμβου» χρησιμοποιούν ευθύγραμμους κλάδους ή κλάδο / κλάδους με καμπύλη (βλ. σχ.3). Στις τυπικές διασταυρώσεις η γωνία τομής των ευθειών είναι η ίδια με αυτή της αλλαγής τροχιάς και οι τεμνόμενες γραμμές είναι ευθύγραμμες. Αντίστοιχα οι καμπύλες διασταυρώσεις τύπου «ρόμβου» είναι η τομή μιας ευθείας και μιας καμπύλης γραμμής ή δυο καμπύλων γραμμών με διαφορετικές γωνίες στα άκρα τους.

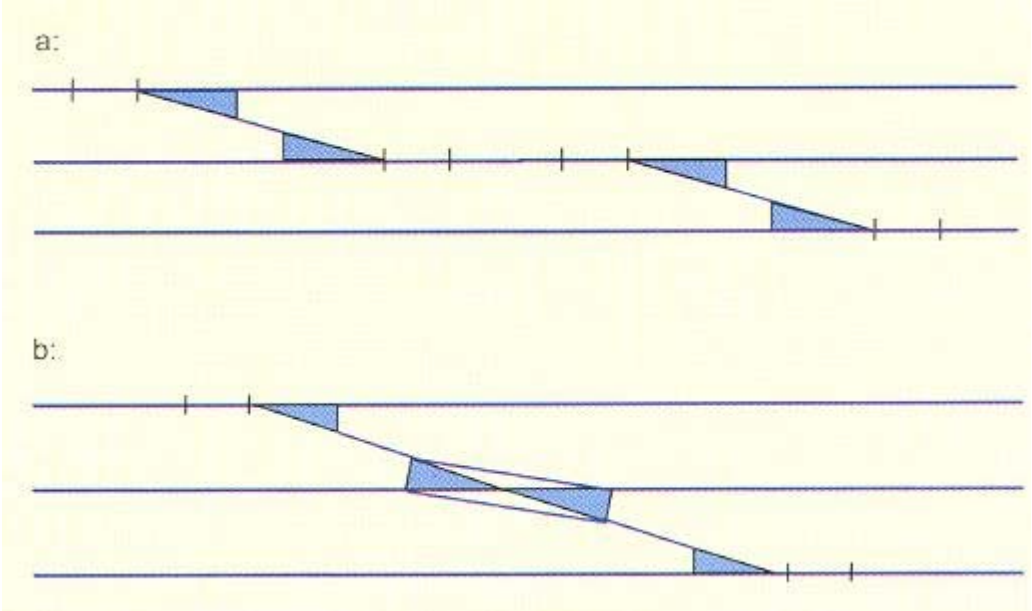




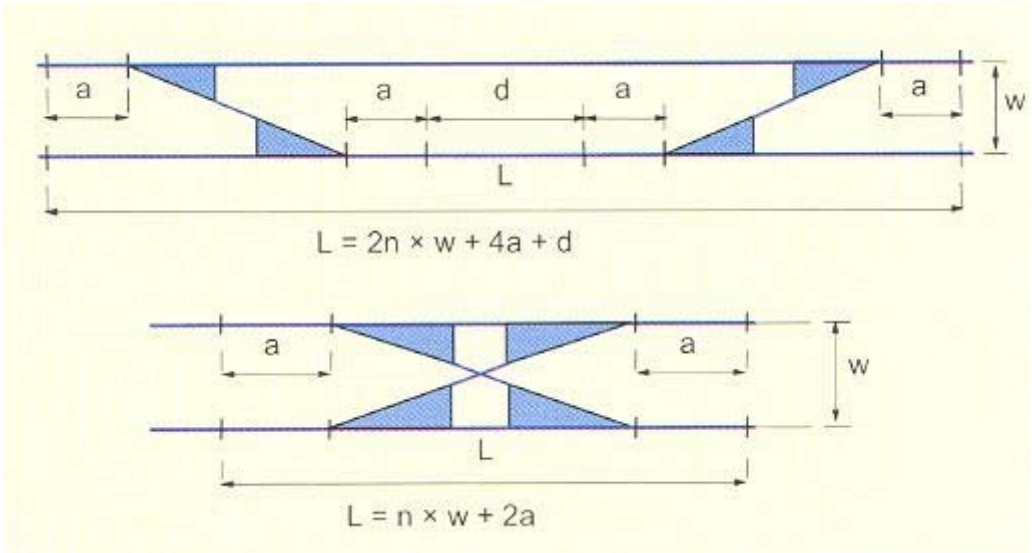
Σχ.3 Διασταυρώσεις τύπου «ρόμβου» με καμπύλο τμήμα

Στις περιπτώσεις λοξών διασταυρώσεων με μικρή γωνία τομής εμφανίζονται μεγάλα τμήματα (απάρτια) στην κατασκευή της αλλαγής. Για εφαπτόμενες μικρότερες από 1:12 στο κοινό σημείο διέλευσης χρησιμοποιούνται κινητές λεπίδες και μια κοινή διασταύρωση με ταλαντούμενη αιχμή καρδιάς (swing nose).

Οι διαγώνιοι είναι κατασκευές που συντίθενται από συσκευές αλλαγών ή / και διασταυρώσεων οι οποίες ενώνουν τουλάχιστον δύο παράλληλες γραμμές. Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τύποι διπλών διαγωνίων που ενώνουν τρεις γραμμές (σχ.4 a, b) καθώς και δυο γραμμές (σχ.5).

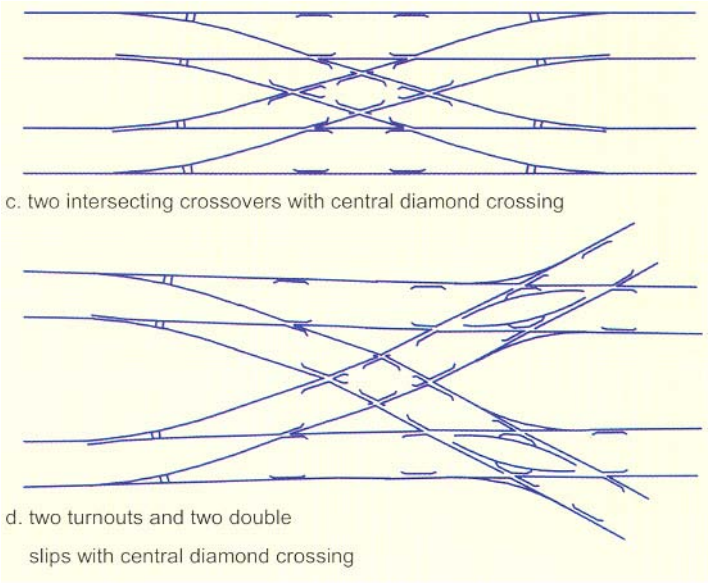


Σχ.4 Τύποι διπλών διαγωνίων (double crossover) που ενώνουν τρεις γραμμές



Σχ.5 Τύποι διπλών διαγωνίων (double crossover) που ενώνουν δυο γραμμές

Όταν δυο παράλληλες γραμμές συνδέονται με την έννοια της διασταύρωσης τεσσάρων αλλαγών τροχιάς τότε παράγεται μια διπλή διαγώνιος τύπου «ψαλιδιού» ή αλλιώς τύπου «σταυρού» (βλ. σχ.6).



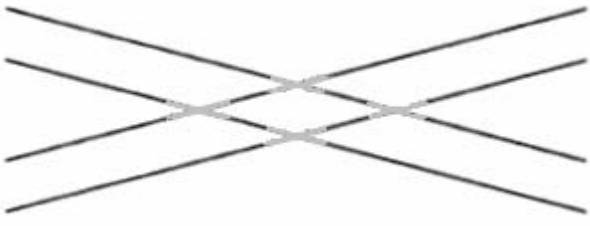
Σχ.6 Τύποι διπλών διαγωνίων τύπου «ψαλιδιού» (scissor crossover)

Στο κεφάλαιο αυτό δίδονται οι βασικοί τύποι συσκευών αλλαγών τροχιάς και διασταυρώσεων όπως αυτοί προσδιορίζονται σύμφωνα με το ΕΝ 13232-1.

Απλή Αλλαγή τροχιάς (turnout)
Πρόκειται για συσκευή σιδηροδρομικής γραμμής που επιτρέπει τη μετάβαση αμαξοστοιχίας από μία γραμμή σε μία άλλη του ίδιου εύρους (σχ.7).

Σχ.7

Διασταύρωση μορφής ρόμβου (diamond crossing)
Συσκευή σιδηροδρομικής γραμμής που επιτρέπει τη διέλευση αμαξοστοιχίας κινούμενης επί μίας γραμμής από σημείο όπου η γραμμή διασταυρώνεται με μία άλλη (σχ.8).



Σχ.8

Πεπλεγμένη γραμμή (interlaced track)

Συσκευή σιδηροδρομικής γραμμής που επιτρέπει τη μετάβαση αμαξοστοιχιών από δύο γραμμές ίδιου ή διαφορετικού εύρους σε κοινό και για τις δύο γραμμές τμήμα γραμμής, αποτελούμενο από δύο ζεύγη σιδηροτροχιών (σχ.9). Η συσκευή δεν περιλαμβάνει κινητά μέρη (βελόνες αλλαγής) και δεν επιτρέπει τη μετάβαση αμαξοστοιχιών από τη μια γραμμή στην άλλη..

Σχ.9

Αλλαγή συνδυασμένου εύρους (mixed gauge turnout)

Συσκευή σιδηροδρομικής γραμμής που επιτρέπει τη μετάβαση αμαξοστοιχιών από δύο γραμμές διαφορετικού εύρους σε κοινό τμήμα γραμμής, αποτελούμενο από τρεις σιδηροτροχιές (σχ.10).

Σχ.10

Γραμμή εκτροχίασης - παγίδευσης (trap point)

Διάταξη που επιτρέπει τον εκτροχιασμό αμαξοστοιχίας σε συγκεκριμένη θέση, με σκοπό την προστασία παρακείμενης γραμμής ή άλλης κατασκευής (σχ.11).

Σχ.11

Συσκευή διαστολής (adjustment switch - expansion joint)
Συσκευή που επιτρέπει την κατά μήκος της γραμμής σχετική μετατόπιση δύο γειτονικών σιδηροτροχιών, παρέχοντας επαρκή προστασία και καθοδήγηση για την διερχόμενη αμαξοστοιχία (σχ.12).

Σχ.12

ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΣΕ ΘΕΣΗ ΑΛΛΑΓΗΣ ΤΡΟΧΙΑΣ

Κύρια γραμμή (main line)
Κύρια γραμμή ονομάζεται η ευθύγραμμη γραμμή μιας αλλαγής (2 στο σχ.13)

Αποκλίνουσα γραμμή (branch line)

Αποκλίνουσα ονομάζεται η καμπύλη γραμμή μιας αλλαγής (1 στο σχ.13).

Σχ.13

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΤΡΟΧΙΑΣ

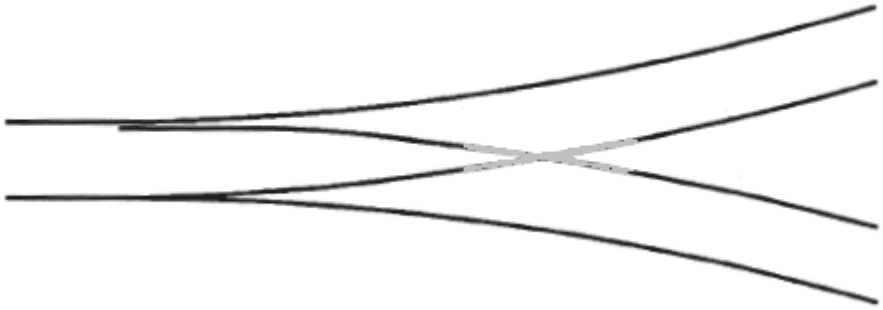
RH : αποκλίνουσα προς τα δεξιά, όταν η αποκλίνουσα γραμμή (2 στο σχ.14) αποκλίνει προς τα δεξιά της κύριας γραμμής (1 στο σχ.14) για παρατηρητή που στέκεται στην άκρη των βελόνων με πρόσωπο προς την καρδιά της αλλαγής.

Σχ.14

LH : αποκλίνουσα προς τα αριστερά, όταν η αποκλίνουσα γραμμή (2 στο σχ.15) αποκλίνει προς τα αριστερά της κύριας γραμμής (1 στο σχ.15) για παρατηρητή που στέκεται στην άκρη των βελόνων με πρόσωπο προς την καρδιά της αλλαγής.

Σχ.15

S: συμμετρική αλλαγή, όταν οι δύο γραμμές αποκλίνουν συμμετρικά εκατέρωθεν του κοινού τμήματος (σχ.16).



Σχ.16

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ ΤΡΟΧΙΑΣ

Εσωτερική καμπύλη αλλαγή, χαρακτηρίζεται μια καμπύλη αλλαγή τροχιάς όταν η αποκλίνουσα γραμμή (2 στο σχ.17) βρίσκεται στο εσωτερικό της καμπύλης κύριας γραμμής (1 στο σχ.17).

Σχ.17

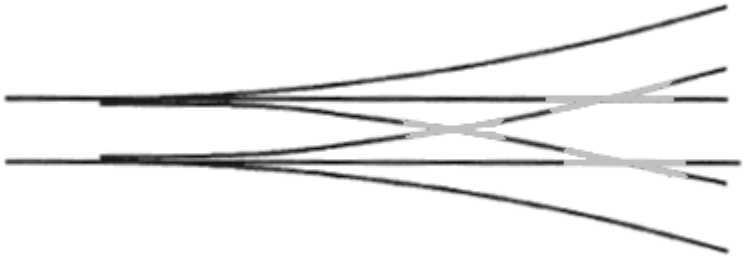
Εξωτερική καμπύλη αλλαγή, χαρακτηρίζεται μια καμπύλη αλλαγή τροχιάς όταν η αποκλίνουσα γραμμή (2 στο σχ.18 και 19) βρίσκεται στην εξωτερική πλευρά της καμπύλης κύριας γραμμής (1 στο σχ.12 και 13). Το σχ.18 παρουσιάζει εξωτερική καμπύλη αλλαγή όμοιας καμπυλότητας, ενώ το σχ.19 εξωτερική καμπύλη αλλαγή αντίθετης καμπυλότητας.

Σχ.18

Σχ.19

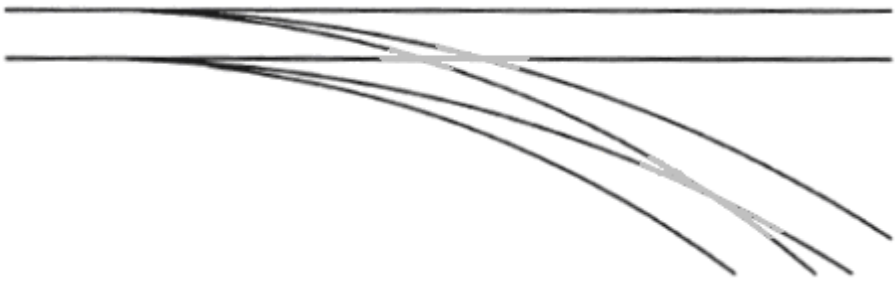
ΑΛΛΑΓΕΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΡΙΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ (THREE-THROW OR TANDEM TURNOUTS)

S3 : συμμετρική αλλαγή τριών γραμμών : Ο χαρακτηρισμός αφορά διάταξη συσκευών αλλαγών τροχιάς τριών γραμμών όπου οι δύο γραμμές αποκλίνουν συμμετρικά εκατέρωθεν μιας τρίτης που συνεχίζει ευθεία (σχ.20)

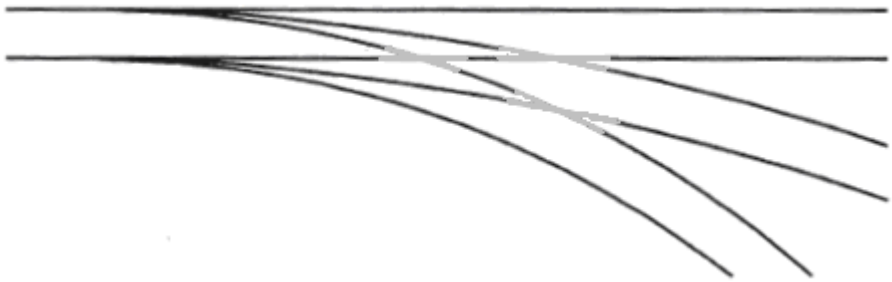


Σχ.20

RR : Ασύμμετρη αλλαγή τριών γραμμών : Ο χαρακτηρισμός αφορά διάταξη συσκευών αλλαγών τροχιάς τριών γραμμών όπου οι δύο να αποκλίνουν προς τα δεξιά της τρίτης γραμμής που συνεχίζει ευθεία (σχ.21, 22)



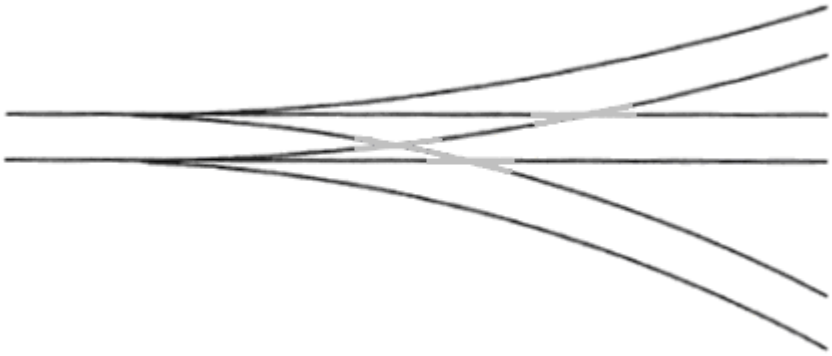
Σχ.21



Σχ.22

LL : Ασύμμετρη αλλαγή τριών γραμμών : Ο χαρακτηρισμός αφορά διάταξη συσκευών αλλαγών τροχιάς τριών γραμμών όπου οι δύο να αποκλίνουν προς τα αριστερά της τρίτης γραμμής που συνεχίζει ευθεία.

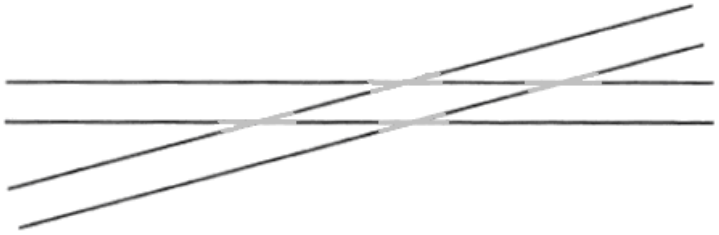
Ασύμμετρη αλλαγή τριών γραμμών με τις δύο να αποκλίνουν ασύμμετρα εκατέρωθεν της τρίτης (σχ.23). Χαρακτηρίζεται ως **RL**, όταν η πρώτη αποκλίνει προς τα δεξιά και η δεύτερη αριστερά και **LR** στην αντίθετη περίπτωση.



Σχ.23

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΕΩΝ ΜΟΡΦΗΣ ΡΟΜΒΟΥ

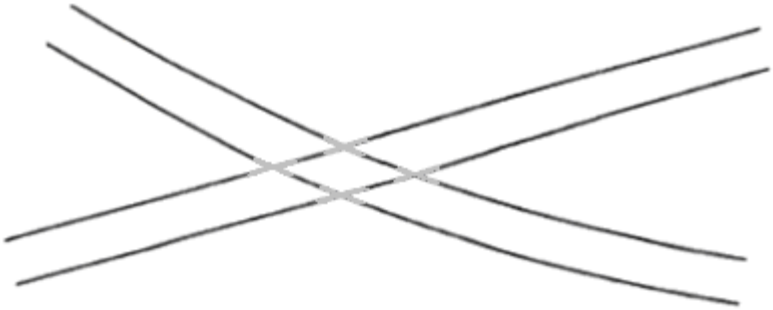
Κανονική (standard)
Ο χαρακτηρισμός αφορά συσκευή διασταύρωσης που σχηματίζεται από δύο ευθείες γραμμές (σχ.24) ή από δύο καμπύλες γραμμές ίδιας φοράς και ακτίνας.



Σχ.24

Μη κανονική (non-standard)

Ο χαρακτηρισμός αφορά συσκευή διασταύρωσης που σχηματίζεται από μία ευθεία και μία καμπύλη γραμμή (σχ.25) ή από δύο καμπύλες γραμμές διαφορετικής φοράς ή διαφορετικής ακτίνας.



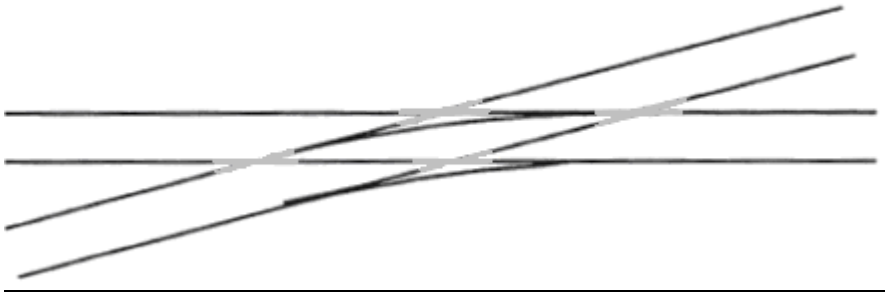
Σχ.25

Διασταύρωση μορφής ρόμβου με συνδέσεις μεταξύ γραμμών (with slips)

Ο χαρακτηρισμός αφορά συσκευή διασταύρωσης δυο γραμμών που επιτρέπει τη διάβαση κάθε γραμμής από αμαξοστοιχία που κινείται στην άλλη, καθώς επίσης και τη σύνδεση μεταξύ των γραμμών. Διαφορετικές εκδοχές παρουσιάζονται παρακάτω:

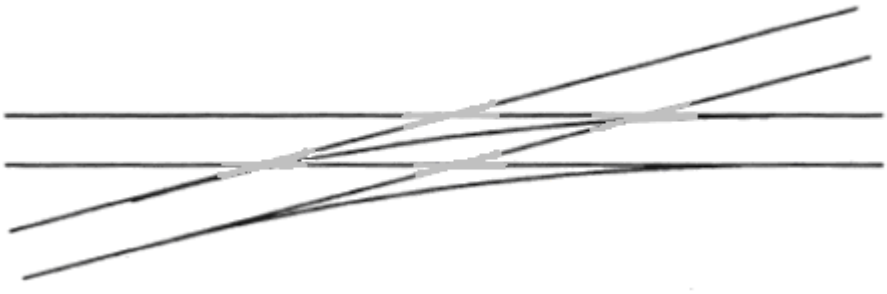
SS: Μονή σύνδεση (single slip), χαρακτηρίζεται μια διασταύρωση όταν υπάρχει μόνο μία σύνδεση μεταξύ των διασταυρωμένων γραμμών. Αυτή, ανάλογα με τη θέση των βελονών, διακρίνεται σε:

Εσωτερική μονή σύνδεση (inside single slip): με βελόνες εντός του ρόμβου (σχ.26)



Σχ.26

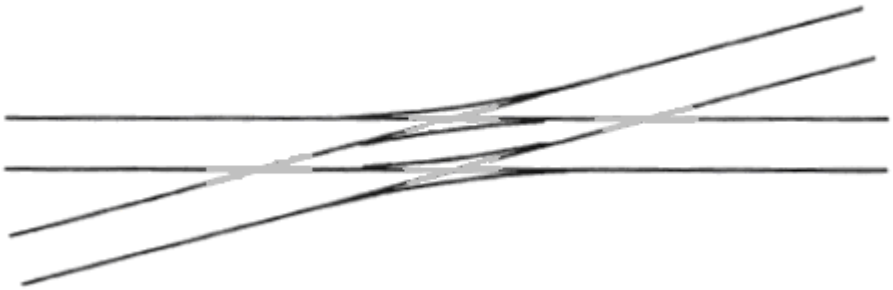
Εξωτερική μονή σύνδεση (outside single slip): με βελόνες εκτός του ρόμβου (σχ.27)



Σχ.27

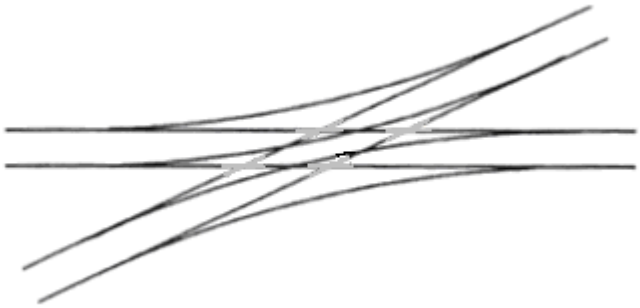
DS: Διπλή σύνδεση (double slip): Με διάταξη τέτοιου τύπου δίνεται η δυνατότητα σε αμαξοστοιχία κινούμενη επί οποιασδήποτε εκ των δύο γραμμών μιας διασταύρωσης είτε να διαβεί την άλλη γραμμή είτε να μεταβεί σε αυτήν. Διακρίνεται, ανάλογα με τη θέση των βελονών, σε:

Εσωτερική διπλή σύνδεση (inside double slip): με βελόνες εντός του ρόμβου (σχ.28)



Σχ.28

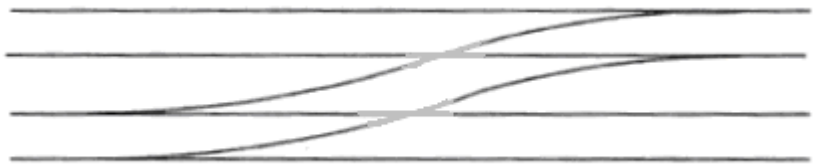
Εξωτερική διπλή σύνδεση (outside double slip): με βελόνες εκτός του ρόμβου (σχ.29)



Σχ.29

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ (LAYOUTS)
Διάταξη συσκευών αλλαγών τροχιάς (layout) καλείται οποιοσδήποτε συνδυασμός αλλαγών και διασταυρώσεων που συνδέει τουλάχιστον δυο γραμμές κυκλοφορίας και καλύπτει όλους τους δυνατούς συνδυασμούς κίνησης, κανονικής κατεύθυνσης και αμφίδρομης.

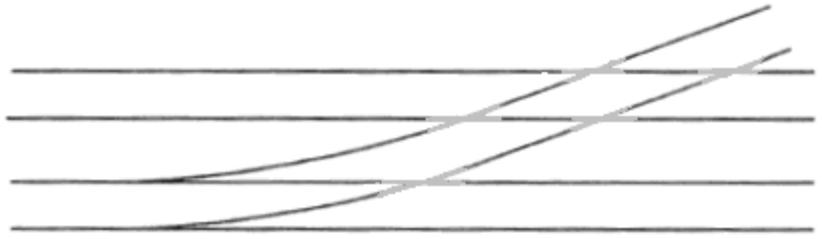
Μονή διαγώνιος (single crossover)
Διάταξη συσκευών που ενώνει δύο παρακείμενες, παράλληλες γραμμές χρησιμοποιώντας δύο διαδοχικές αλλαγές με κοινό σημείο στις πτέρνες τους (σχ.30)



Σχ.30

Διάταξη (Single junction) μονού κόμβου

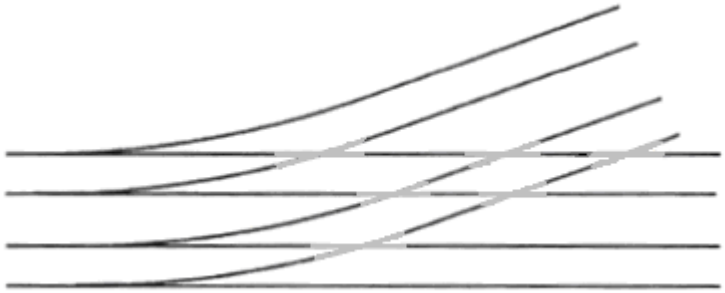
Διάταξη συσκευών αποτελούμενη από μια αλλαγή και μια διασταύρωση μορφής ρόμβου, με ή χωρίς συνδέσεις γραμμών, η οποία επιτρέπει την διάβαση παρακείμενων γραμμών και την μερική ή πλήρη σύνδεσή τους (σχ.31)



Σχ.31

Διάταξη (Double junction) διπλού κόμβου

Διάταξη συσκευών αποτελούμενη από δύο αλλαγές και μια διασταύρωση μορφής ρόμβου, με ή χωρίς συνδέσεις γραμμών, που επιτρέπει την κατασκευή διπλής αποκλίνουσας γραμμής (σχ.32).

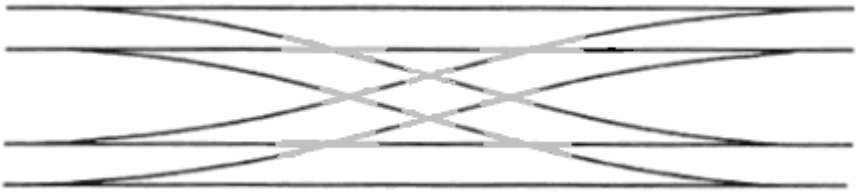


Σχ.32

Σημείωση: Οι μονές διαγώνιοι (single crossover), οι διατάξεις single και double junction χαρακτηρίζονται ως αριστερές ή δεξιές, ανάλογα με την κατεύθυνση της απόκλισής τους από την κύρια γραμμή.

Διπλή διαγώνιος (scissors crossover) τύπου «σταυρού» ή «ψαλιδιού».

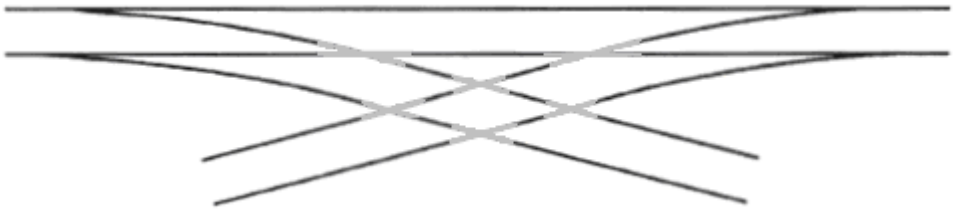
Διάταξη συσκευών αποτελούμενη από δύο διασταυρούμενες διαγώνιους που ενώνουν δυο παρακείμενες γραμμές με δυνατότητα αμφίδρομης κυκλοφορίας (σχ.33).



Σχ.33

«Ανοικτή» διπλή διασυνδετική διαγώνιος (Half-scissors crossover)

Διάταξη συσκευών αποτελούμενη από μια διασταύρωση μορφής ρόμβου και δύο αλλαγές αντίθετης φοράς, αποκλίνουσες από την ίδια κύρια γραμμή και προς την ίδια πλευρά αυτής (σχ. 34).



Σχ.34

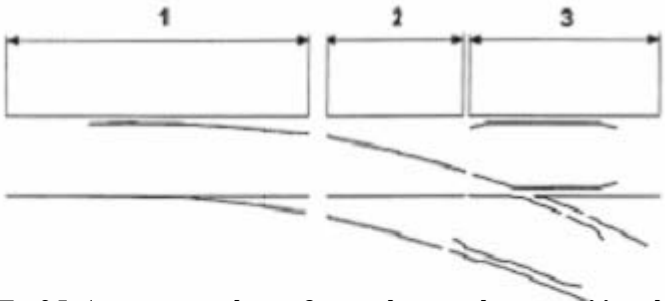
Α.3.3. Διακριτοποίηση μερών αλλαγής τροχιάς

Στο κεφάλαιο αυτό δίδονται στοιχεία που αφορούν στην διακριτοποίηση των μερών μιας αλλαγής τροχιάς σύμφωνα με τα οριζόμενα στο πρότυπο ΕΝ 13232-1 (μέρη της αλλαγής, τύποι καρδιών αλλαγής), ΕΝ 13232-5 (κατάταξη βελονών).

ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΤΜΗΜΑΤΑ ΜΙΑΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΤΡΟΧΙΑΣ

Σύμφωνα με το ΕΝ 13232-1, οι αλλαγές αποτελούνται από τρία (3) βασικά τμήματα, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (σχ.35) :

1. Κινητό φάτνωμα αλλαγής (switch panel)[1]
2. Σταθερό τμήμα αλλαγής (closure panel)
3. Τμήμα διασταύρωσης αλλαγής (crossing panel)



Σχ.35 Διακριτοποίηση βασικών μερών της αλλαγής

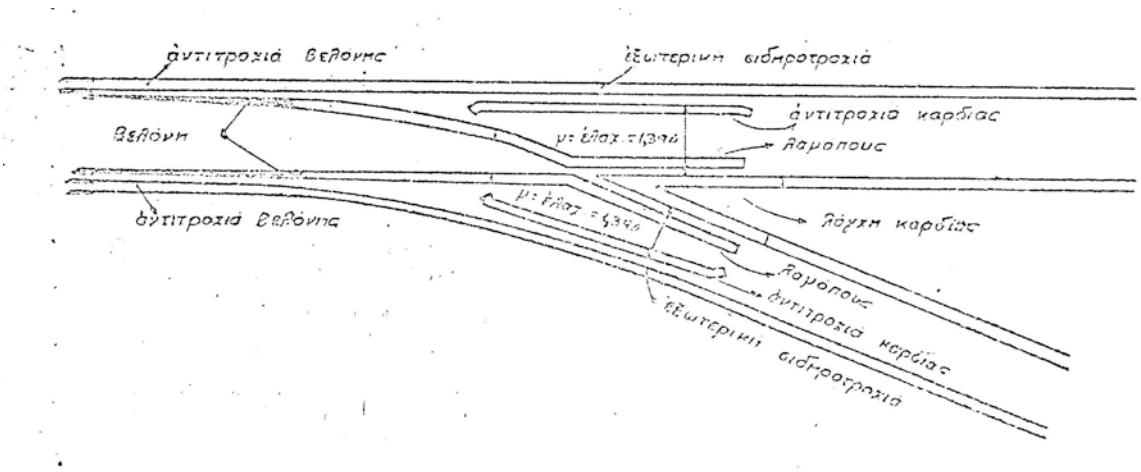
ΤΜΗΜΑ 1. ΚΙΝΗΤΟ ΦΑΤΝΩΜΑ ΑΛΛΑΓΗΣ

Αποτελείται από τα παρακάτω μέρη :

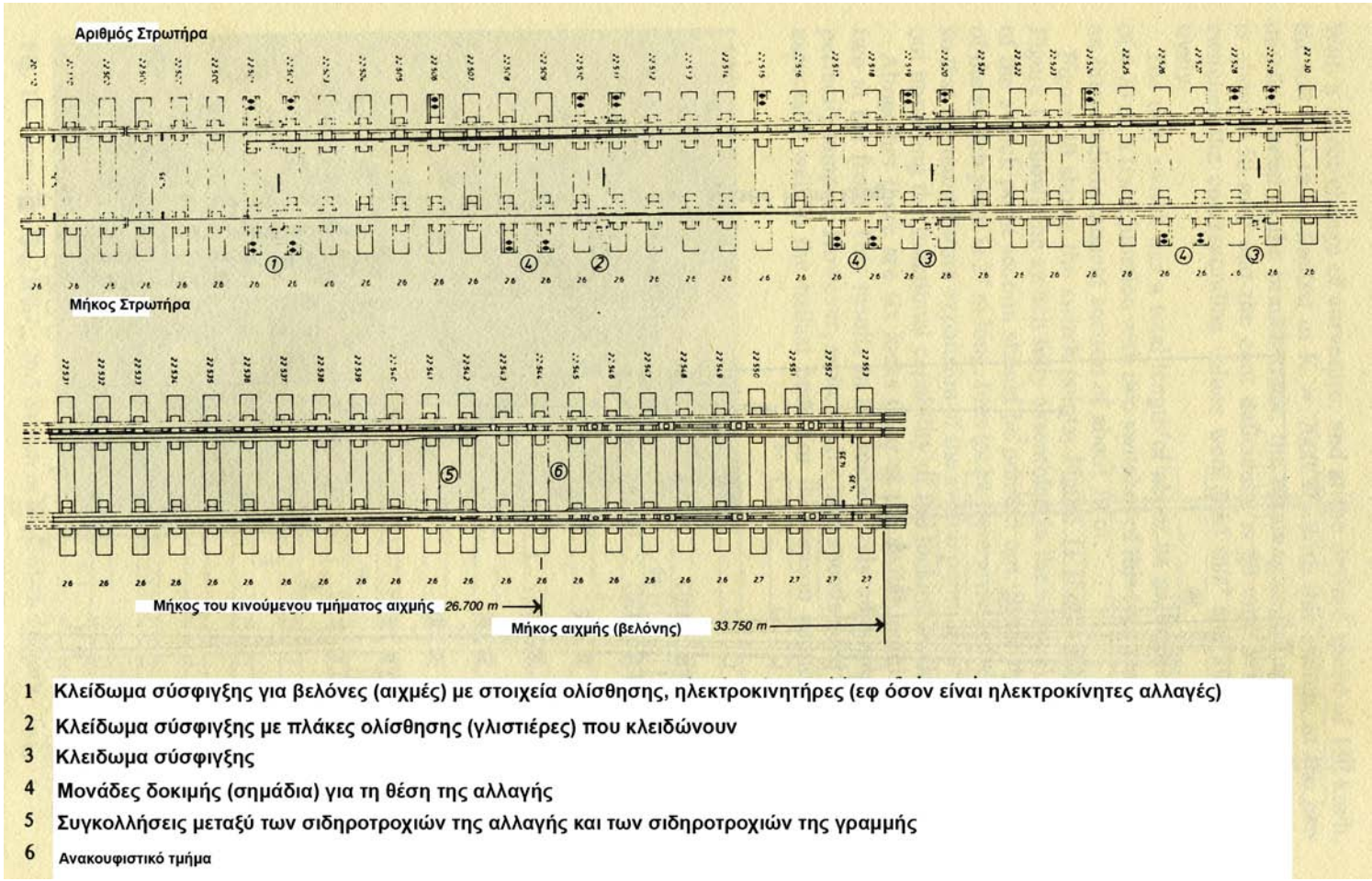
- Βελόνες (Switch rails)
- Αντιβελόνες (Stock rails)
- Πλάκα έδρασης του εξαρτήματος εξασφάλισης "επαφής" στην πτέρνα (Heel baseplate)

[1] Περιέχει και το κινητό καθώς και το σταθερό μέρος της συσκευής

- Εξάρτημα εξασφάλισης "επαφής" στην πτέρνα ενός σετ βελόνης – αντιβελόνης (Heel block)
- Εξάρτημα εξασφάλισης πρόσδεσης στην πτέρνα της βελόνης ή/και της αντιβελόνης (Fishplate block)
- Εξάρτημα εξασφάλισης της απόστασης ασφαλείας μεταξύ βελόνης και αντιβελόνης (Stud or distance block – αγκύρωση διακένου)
- Υπόθεμα έδρασης του σετ βελόνης – αντιβελόνης (Slide baseplate)
- Ράβδος αμφίδεσης των δύο βελονών (Stretcher bar)
- Ειδικό τεμάχιο (αρπάγη) στο οποίο συνδέεται το εξάρτημα σύνδεσης των δύο βελονών (Stretcher bar bracket)
- Συσκευή αντιόδευσης (Anti creep device)
- Αιχμή αλλαγής (Switch toe)
- Πτέρνα αλλαγής (Switch heel)
- Σύνδεσμος βελόνης (Switch rail joint)
- Σύνδεσμος αντιβελόνης στην πτέρνα (Stock rail joint)
- Σύνδεσμος αντιβελόνης στην αιχμή (Stock front joint)
- Πλάκα ολίσθησης στη συσκευή χειρισμού της αλλαγής (Soleplate)
- Στρωτήρες (bearers)



Σχήμα 35Α: Ονοματολογία στοιχείβμ μιας αλλαγής [Γιαννακός κ. ά., 1984]

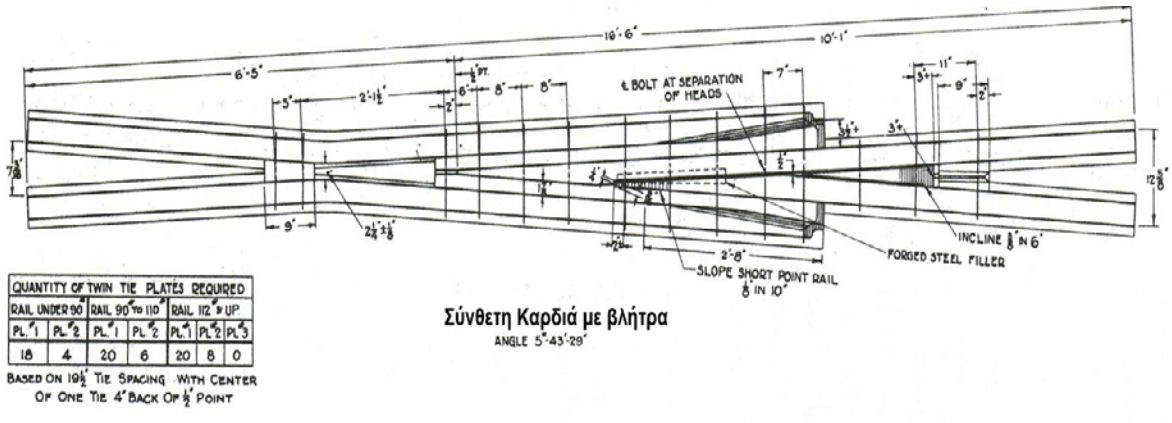


Σχήμα 35Β: Τμήμα αιχμών (βελονών) κοινής αλλαγής [Fastenrath, 1981]

ΤΜΗΜΑ 2. ΣΤΑΘΕΡΟ ΤΜΗΜΑ ΑΛΛΑΓΗΣ

Αποτελείται από τα παρακάτω μέρη :

- Αιχμή καρδιάς αλλαγής (crossing nose)
- Εξωτερικές σιδηροτροχιές κλάδων (Outside rails)
- Δοκός εξασφάλισης της απόστασης αντιτροχιάς (Check rail strut)
- Αντιτροχιά (check rail)
- Εξάρτημα έδρασης αντιτροχιάς (Check rail support)
- Πτέρυγες καρδιάς αλλαγής (wing rails)
- Καρδιά αλλαγής (crossing vee)
- Πλάκα ολίσθησης (baseplate)
- Εξάρτημα εξασφάλισης απόστασης (block)
- Κύρια σιδηροτροχιά καρδιάς αλλαγής (Point rail)
- Συμπληρωματική σιδηροτροχιά καρδιάς αλλαγής (Splice rail)
- Πτέρνα καρδιάς αλλαγής (Heel of crossing)
- Στρωτήρες (bearers)



Σχήμα 35Β: Σύνθετη καρδιά από σιδηροτροχιές με βλήτρα [Hay, 1982]

ΤΜΗΜΑ 3. ΤΜΗΜΑ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

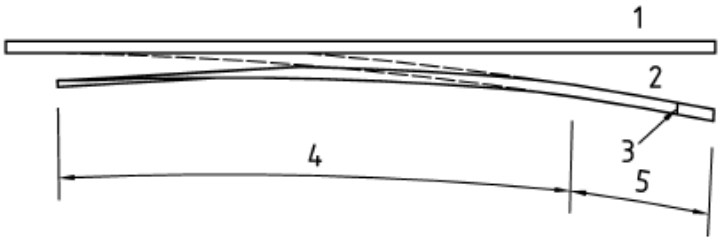
Αποτελείται από τα παρακάτω μέρη :

- Διασταύρωση με διπλή καρδιά (Obtuse crossing)
- Πλάκα έδρασης διασταύρωσης με διπλή καρδιά (Obtuse crossing baseplate)
- Κύρια σιδηροτροχιά καρδιάς αλλαγής (Point rail)
- Πτέρυγες καρδιάς αλλαγής (wing rails)

- Αντιτροχιά (check rail)
- Εξάρτημα εξασφάλισης απόστασης (block)
- Στρωτήρες (bearers)

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΒΕΛΟΝΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΑΝΑΛΟΓΩΣ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥΣ

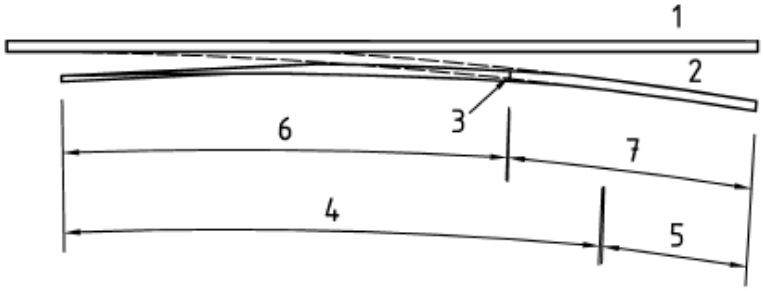
- **Εύκαμπτες βελόνες** (flexible switches). Το κινητό μέρος των βελόνων αλλαγής κατασκευάζεται από ένα (ενιαίο) προφίλ σιδηροτροχιάς (βλ. σχ.36). Το προφίλ μπορεί να είναι σύνηθες ή ειδικό (special profile). Αν απαιτείται μετάβαση από ειδικό προφίλ σε συνηθισμένο, η αλλαγή πραγματοποιείται στο σταθερό τμήμα της βελόνης, όπου πραγματοποιείται, εφόσον απαιτείται, και η αντίστοιχη συγκόλληση.



1 – αντιβελόνη (stock rail)
2 – βελόνη (switch rail)
3 – συγκόλληση
4 – κινητό τμήμα
5 – σταθερό τμήμα

Σχ.36 Απεικόνιση ελαστικής βελόνης

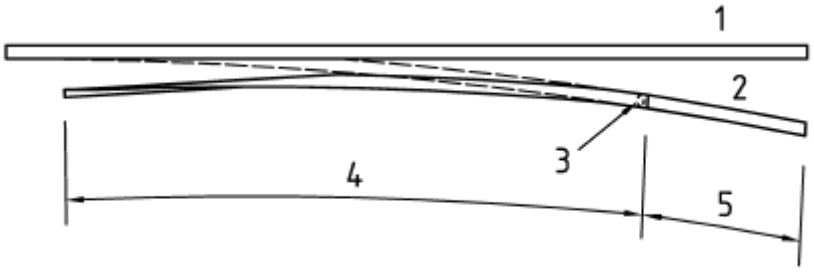
- **Σύνθετες ελαστικές βελόνες** (spring rail switches). Το κινητό μέρος της βελόνης σχηματίζεται από δύο διαφορετικά προφίλ σιδηροτροχιών (βλ. σχ.37). Η μετάβαση και η συγκόλληση μεταξύ αυτών πραγματοποιείται εντός του κινητού τμήματος. Η συγκόλληση εξασφαλίζεται και μέσω αμφιδετών (fishplating).



1 – αντιβελόνη (stock rail)
2 – βελόνη (switch rail)
3 – συγκόλληση
4 – κινητό τμήμα
5 – σταθερό τμήμα
6 – ειδικό προφίλ σιδηροτροχιάς
7 – σύνηθες προφίλ σιδηροτροχιάς

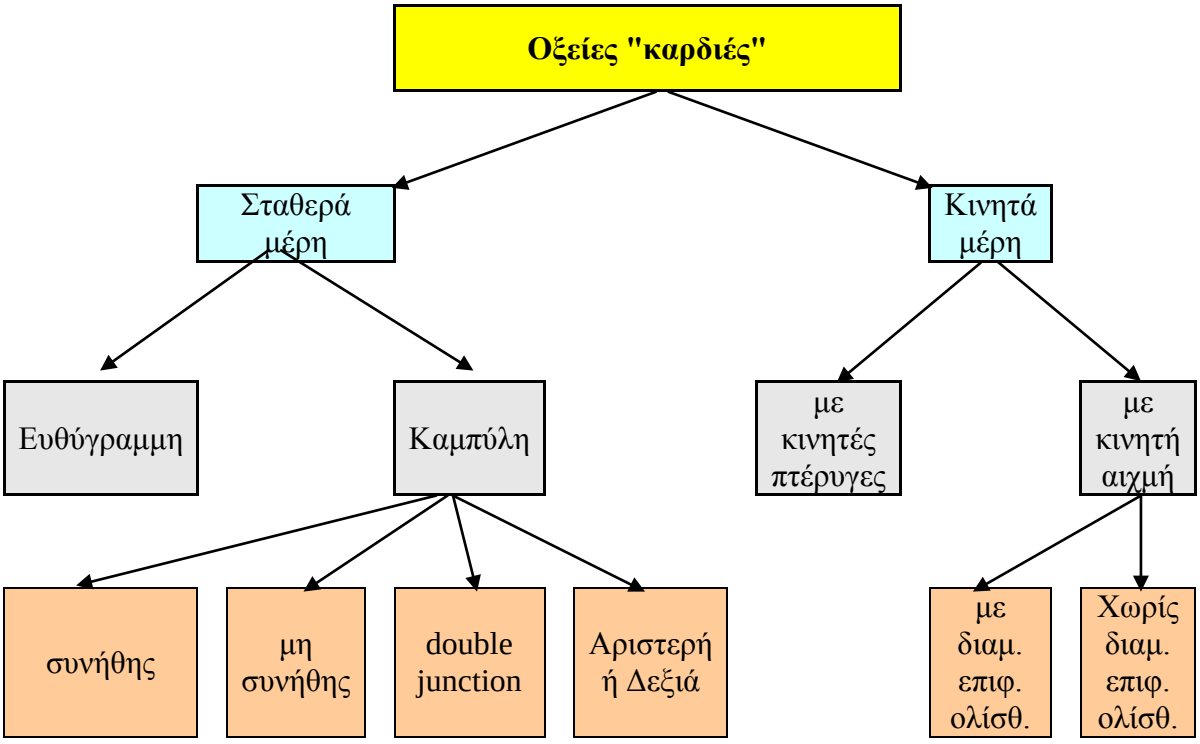
Σχ.37 Απεικόνιση σύνθετης βελόνης

- **Αρθρωτές βελόνες** (loose heel – pivot articulated switches). Η βελόνη διαθέτει κατάλληλη διάταξη στήριξης στη θέση της πτέρνας της (βλ. σχ.38), η οποία επιτρέπει την περιστροφή της γύρω από τη θέση αυτή.



1 – αντιβελόνη (stock rail) 4 – κινητό τμήμα
2 – βελόνη (switch rail) 5 – σταθερό τμήμα
3 – θέση περιστροφής (pivot)

Σχ.38 Απεικόνιση αρθρωτής βελόνης



Ι. ΟΞΕΙΕΣ ΚΑΡΔΙΕΣ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΤΥΠΟΥ (FIXED COMMON CROSSING)

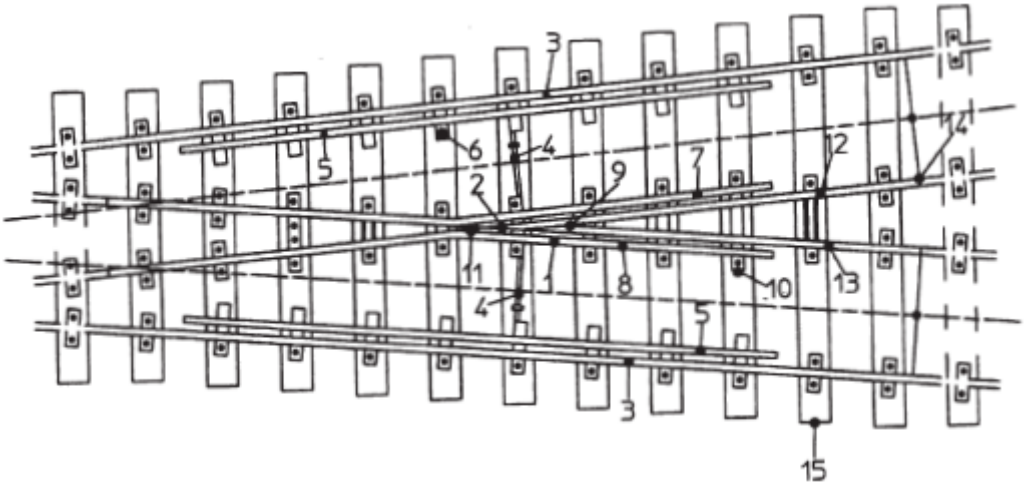
ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ «ΚΑΡΔΙΩΝ» ΑΛΛΑΓΗΣ

Σύμφωνα με τα οριζόμενα στο πρότυπο ΕΝ 13232 η βασική κατηγοριοποίηση των διατάξεων «καρδιάς» των συσκευών αλλαγών – διασταυρώσεων γίνεται ανάλογα με τη γεωμετρία της «καρδιάς». Διακρίνονται δυο βασικοί τύποι «καρδιών», οι «**οξείες καρδιές**» και οι «**αμβλείες καρδιές**». Οι αμβλείες «καρδιές» διακρίνονται σε :

α) αμβλείες «καρδιές» με σταθερά μέρη και

β) αμβλείες «καρδιές» με κινητά μέρη.

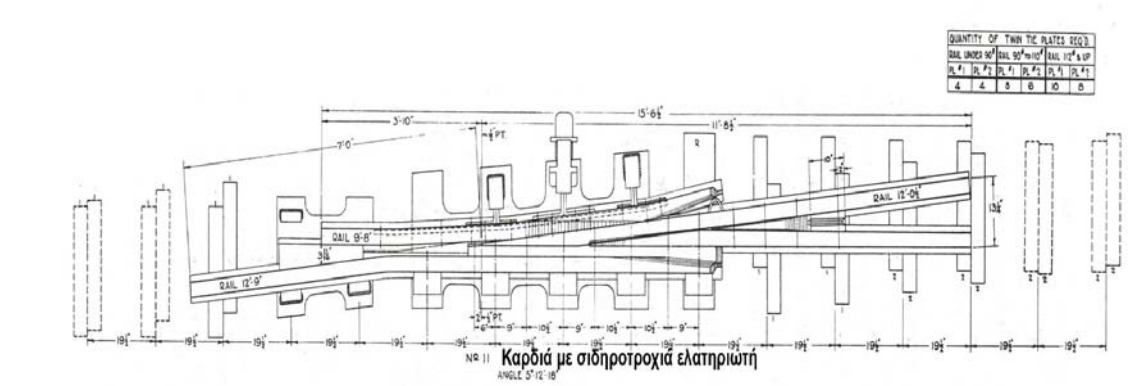
Η επιμέρους κατάταξη για τις οξείες «καρδιές» γίνεται όπως απεικονίζεται στο προηγούμενο διάγραμμα.Διάταξη που εξασφαλίζει τη διασταύρωση δύο σιδηροτροχιών αντίθετης επιφάνειας επαφής τροχού-σιδηροτροχιάς (running edge). Αποτελείται από την αιχμή της καρδιάς (crossing vee) και δύο πτέρυγες (wing rails). Στο ακόλουθο σχήμα (σχ.39) φαίνεται η συνολική διάταξη του τμήματος διασταύρωσης μιας αλλαγής, το οποίο περιλαμβάνει οξεία καρδιά σταθερού τύπου.



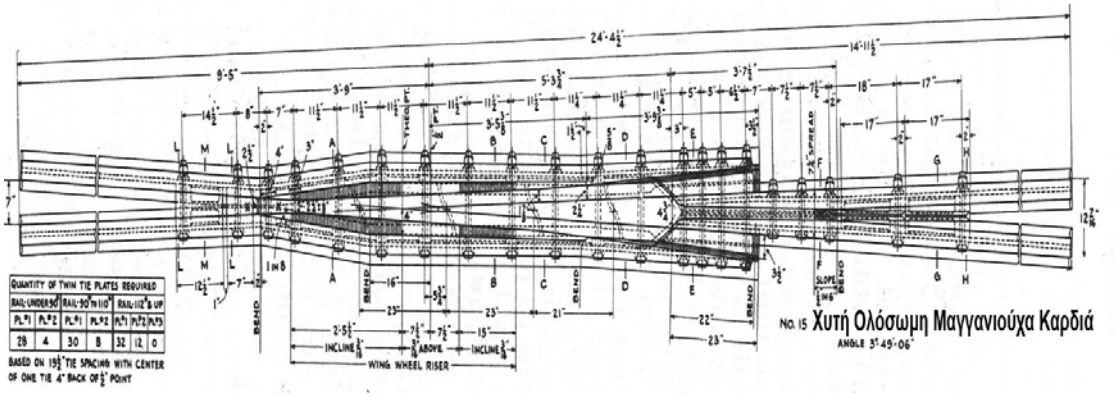
Σχ.39 Απεικόνιση οξείας καρδιάς σταθερού τύπου

Όπου :

1. οξεία καρδιά κανονικού τύπου (common crossing)
2. Αιχμή της καρδιάς (crossing nose)
3. Εξωτερική σιδηροτροχιά (outside rail)
4. Ράβδος τοποθέτησης αντιτροχιάς (check rail strut)
5. Αντιτροχιά (check rail)
6. Στήριγμα αντιτροχιάς (check rail support)
7. Αριστερή πτέρυγα (left hand wing rail)
8. Δεξιά πτέρυγα (right hand wing rail)
9. Καρδιά διασταύρωσης (crossing vee)
10. Πλάκες έδρασης της καρδιάς (crossing baseplate)
11. Διάταξη αγκύρωσης πτερύγων (block – throat block)
12. Κύρια σιδηροτροχιά καρδιάς (point rail)
13. Συμπληρωματική σιδηροτροχιά καρδιάς (splice rail)
14. Πτέρνα της καρδιάς (heel)
15. Στρωτήρες (bearers)



Σχήμα 39Α: Σύνθετη κινητή καρδιά από σιδηροτροχιά (ελατηριωτή) [Hay, 1982]



Σχήμα 39Β: Σύνθετη χυτή ολόσωμη μαγγανιούχα καρδιά για ταχύτητες μέχρι 200 km/h στον ευθύ κλάδο [Hay, 1982]

Οι οξείες «καρδιές» αναλόγως της γεωμετρίας διακρίνονται στους ακόλουθους πέντε τύπους :

(α) Ευθύγραμμη οξεία «καρδιά» (straight common crossing)
Πρόκειται για τύπο «καρδιάς» με χαρακτηριστικό ότι οι επιφάνειες διεπαφής τροχού-σιδηροτροχιάς (running edges) είναι ευθύγραμμες σε όλο το μήκος της καρδιάς και για τις δύο σιδηροτροχιές που σχηματίζουν την αιχμή της καρδιάς.

(β) Καμπύλη οξεία «καρδιά» (curved common crossing)
Πρόκειται για τύπο «καρδιάς» το χαρακτηριστικό του οποίου είναι το γεγονός ότι η επιφάνεια επαφής τροχού-σιδηροτροχιάς είναι καμπύλη για τη μία σιδηροτροχιά και ευθύγραμμη για την άλλη. Χαρακτηρίζεται ως δεξιά καμπύλη καρδιά όταν η καμπύλη σιδηροτροχιά βρίσκεται στη δεξιά πλευρά παρατηρητή που στέκεται στην αιχμή της καρδιάς με πρόσωπο προς την πτέρνα. Στην αντίθετη περίπτωση χαρακτηρίζεται ως αριστερή καμπύλη καρδιά.

(γ) Συνήθης οξεία «καρδιά» (ordinary common crossing)
Μια οξεία καρδιά χαρακτηρίζεται ως συνήθης στην περίπτωση που τα μπροστινά τμήματα των πτερύγων (wing fronts) συγκλίνουν και οι σιδηροτροχιές που

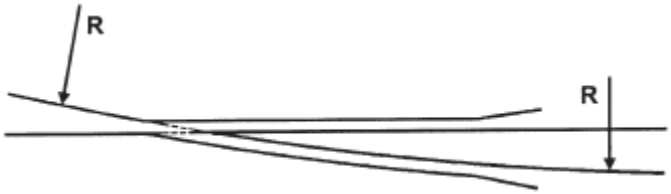
σχηματίζουν την αιχμή της «καρδιάς» είναι ευθύγραμμες ή αποκλίνουν, όπως φαίνεται στο σχήμα 40 που ακολουθεί.

1. ακτίνα R
2. ακτίνα R ή STR

Σχ.40 Απεικόνιση συνήθους οξείας καρδιάς

(δ) Οξεία καρδιά τύπου double junction

Οξεία «καρδιά» χαρακτηρίζεται ως τύπου double junction στην περίπτωση που τα μπροστινά τμήματα των πτερύγων (wing fronts) αποκλίνουν και οι σιδηροτροχιές που σχηματίζουν την αιχμή της «καρδιάς» συγκλίνουν (βλ. σχ.41).



Σχ.41 Απεικόνιση οξείας καρδιάς τύπου double juction

(ε) Μη συνήθης οξεία καρδιά (non-standard)

Οξεία «καρδιά» χαρακτηρίζεται ως μη συνήθης όταν χρησιμοποιείται οποιοσδήποτε, εκτός των προαναφερθέντων, συνδυασμός καμπυλοτήτων για τις σιδηροτροχιές που την αποτελούν. Χαρακτηρίζονται επίσης και ως καρδιές ειδικού τύπου.

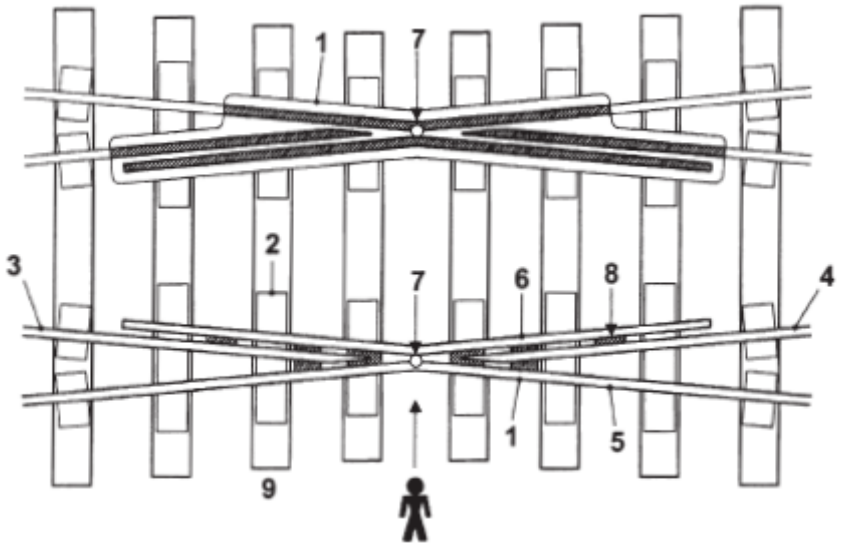
ΙΙ. ΑΜΒΛΕΙΕΣ ΚΑΡΔΙΕΣ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΤΥΠΟΥ (OBTUSE CROSSING)

Πρόκειται για διάταξη (βλ. σχ.42) που επιτρέπει τη διασταύρωση δύο σιδηροτροχιών αλληλοτεμνόμενων γραμμών και των οποίων οι επιφάνειες διεπαφής τροχού-σιδηροτροχιάς βρίσκονται προς την ίδια πλευρά (corresponding running edges). Η διάταξη αυτή αποτελείται από δύο αιχμές, μια πτέρυγα και μια αντιτροχιά.

Όπου :

1. Αμβλεία καρδιά (obtuse crossing)
2. Πλάκα έδρασης αμβλείας καρδιάς (obtuse crossing baseplate)
3. Αριστερή κύρια σιδηροτροχιά της καρδιάς (left hand point rail)
4. Δεξιά κύρια σιδηροτροχιά της καρδιάς (right hand point rail)
5. Σιδηροτροχιά πτέρυγας (wing rail)
6. Αντιτροχιά (check rail)
7. Κοινό σημείο διέλευσης τροχών (knuckle)

8. Διάταξη αγκύρωσης (block)
9. Στρωτήρας (bearer)

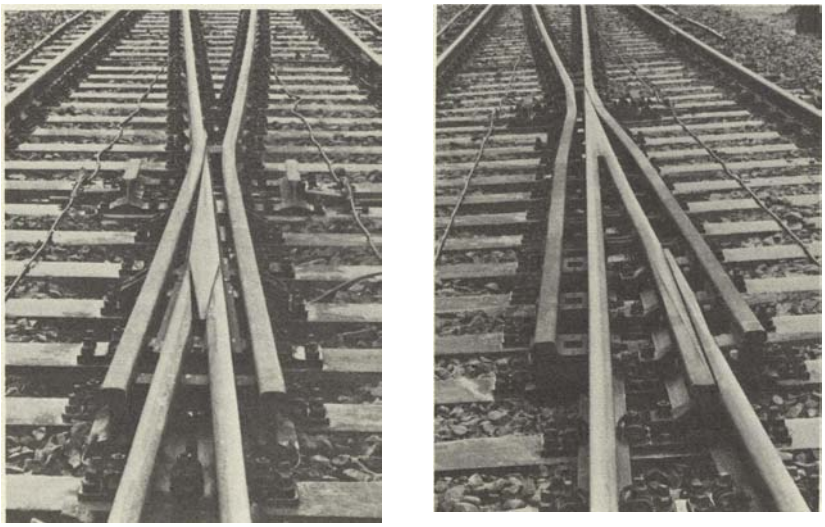


Σχ.42 Απεικόνιση αμβλείας καρδιάς σταθερού τύπου

Ανάλογα με την ύπαρξη ή μη κινητών μερών στην περιοχή της καρδιάς, οι «καρδιές» (οξείες ή αμβλείες) διακριτοποιούνται ανάλογα.

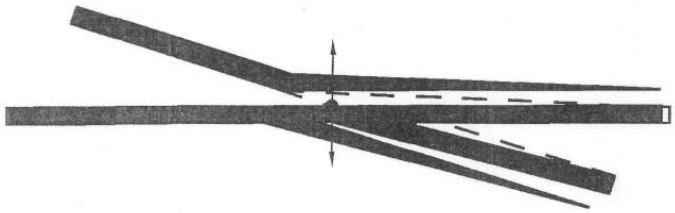
I – A. ΟΞΕΙΕΣ ΚΑΡΔΙΕΣ ΜΕ ΚΙΝΗΤΑ ΜΕΡΗ

Οι οξείες καρδιές με κινητά μέρη (Σχήματα 43Α και 43Β) διακρίνονται σε:



Σχήμα 43Α: Αλλαγή με κινητή καρδιά για διέλευση με μεγάλη ταχύτητα και στους δύο κλάδους με απεικόνιση των δύο θέσεων επαφής της καρδιάς. [Fastenrath, 1981]

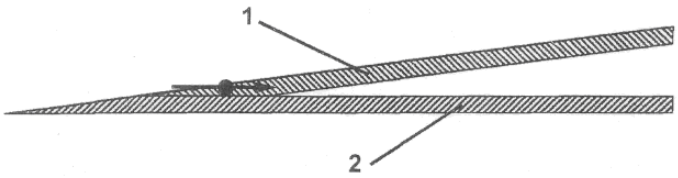
Οξείες καρδιές με κινητή αιχμή (common crossing with moveable point):



Σχ.43β Απεικόνιση οξείας καρδιάς με κινητή αιχμή

Η κινητή αιχμή μπορεί, προαιρετικά να διαθέτει διαμήκη επιφάνεια ολίσθησης μεταξύ των σιδηροτροχιών που την σχηματίζουν (βλ. σχ.44)

Κινητή αιχμή χωρίς διαμήκη επιφάνεια ολίσθησης



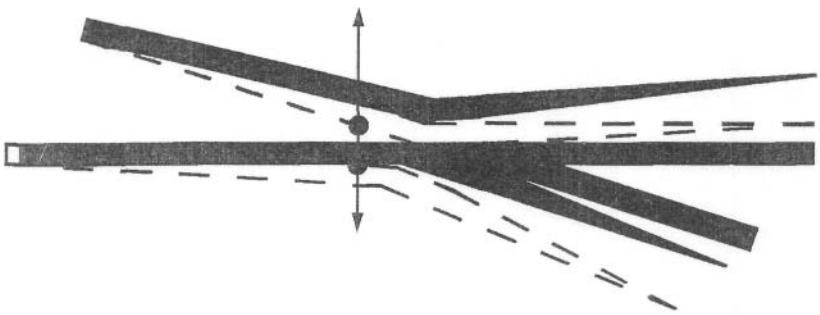
Κινητή αιχμή με διαμήκη επιφάνεια ολίσθησης μεταξύ δευτερεύουσας και κύριας σιδηροτροχιάς.

Σχ.44 Απεικόνιση κινητής αιχμής με ή χωρίς επιφάνεια ολίσθησης

Όπου :

1. δευτερεύουσα σιδηροτροχιά της καρδιάς (splice rail)
2. κύρια σιδηροτροχιά της καρδιάς (point rail)

Οξείες καρδιές με κινητές πτέρυγες (common crossing with moveable wing rails):



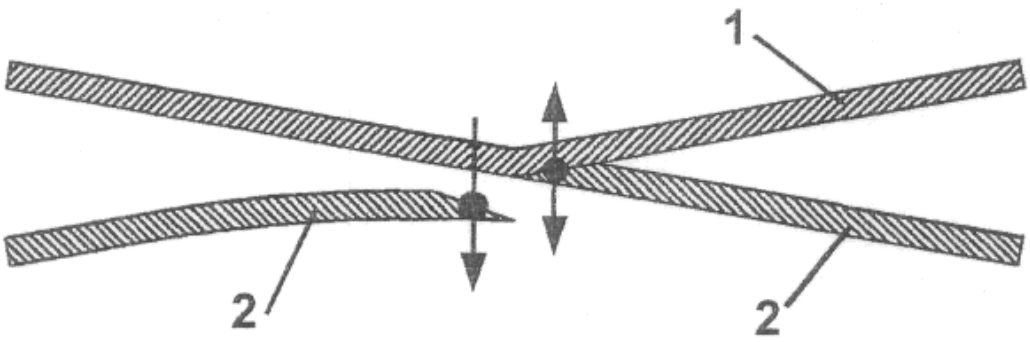
Σχ.45 Απεικόνιση οξείας καρδιάς με κινητές πτέρυγες

Και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις που απεικονίζονται στα σχ. 44 και 45, το κινητό μέρος (αιχμή ή πτέρυγα αντίστοιχα) μπορεί να κατασκευάζεται :

- είτε μονολιθικά, δηλαδή υλοποιείται χυτή κατασκευή, με συγκολλήσεις και κατάλληλη μηχανική διαμόρφωση
- είτε με συναρμολόγηση, όπου τα συναρμολογημένα τεμάχια υλοποιούνται με διαφορετικά προφίλ σιδηροτροχιών, π.χ. συνήθη προφίλ, μη συμμετρικά χαμηλά προφίλ, συμμετρικά προφίλ με παχύ κορμό κ.τ.λ.

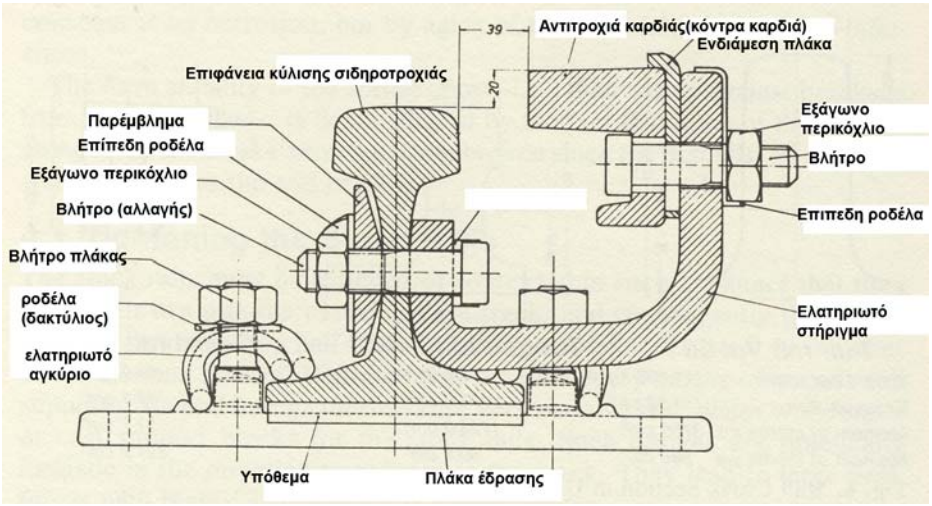
ΙΙ – Α. ΑΜΒΛΕΙΕΣ ΚΑΡΔΙΕΣ ΜΕ ΚΙΝΗΤΑ ΜΕΡΗ

Πρόκειται για διάταξη αμβλείας καρδιάς[2] στην οποία και οι δύο κύριες σιδηροτροχιές διαθέτουν δυνατότητα κίνησης λαμβάνοντας καταλλήλως τη μορφή βελόνων αλλαγής (βλ σχ.46).



Σχ.46 Απεικόνιση αμβλείας καρδιάς με κινητά μέρη

όπου :
1. αντιτροχιά (wing rail)
2. βελόνες (switch rails)

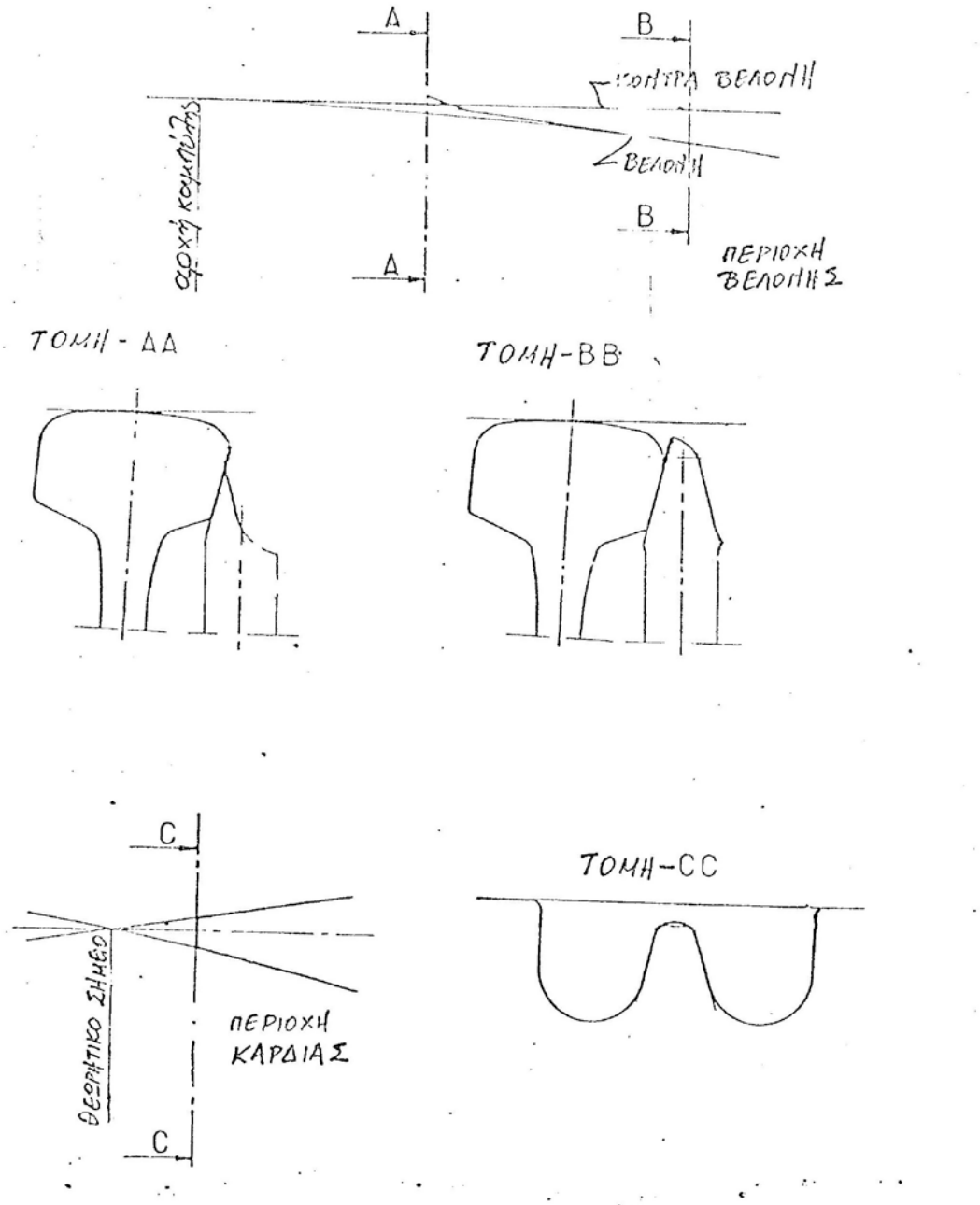


Σχήμα 47: Τομή περιοχής καρδιάς μιας αλλαγής [Fastenrath 1981]

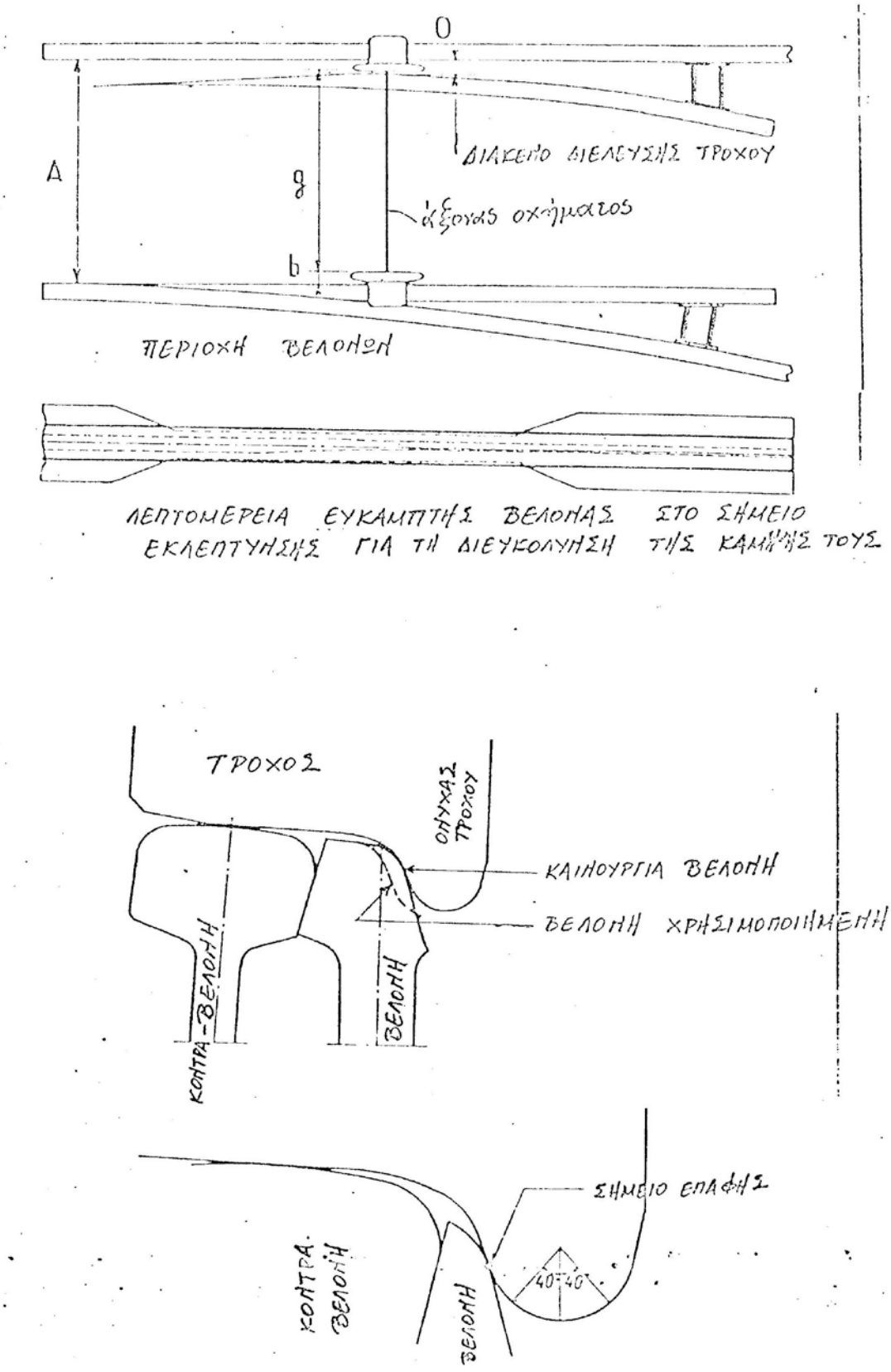
[2] τύπος switch diamond

ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ

Λειτουργία των αλλαγών



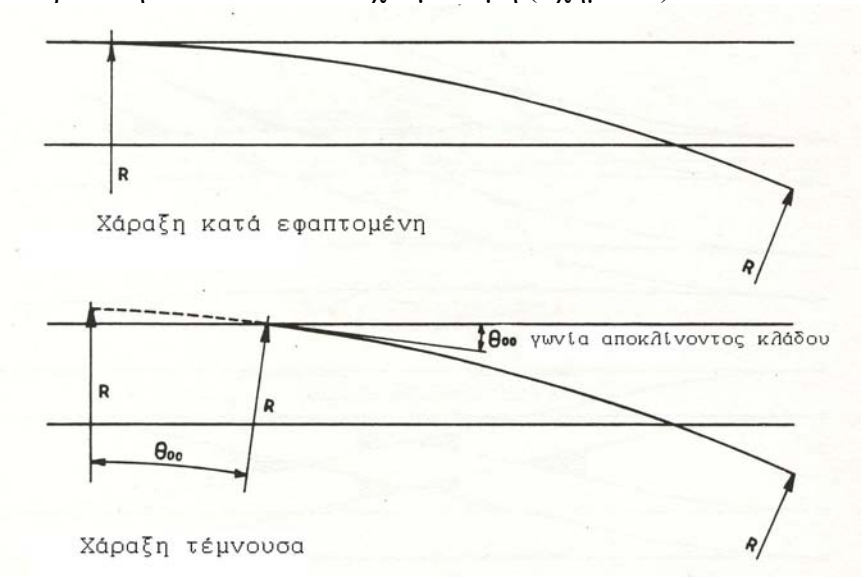
Σχήμα 48: Τομή στη θέση επαφής βελόνης – αντιβελόνης φθαρμένη – καινούργια και τομή στην περιοχή καρδιάς [Γιαννακός κ. ά., 1984]



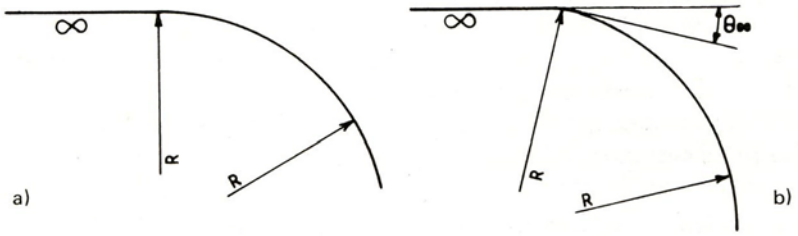
Σχήμα 49: Διάλευση τροχού από την περιοχή καρδιάς και βελόνης αντιβελόνης [Γιαννακός κ. ά., 1984]

Υπολογισμός ταχύτητας διέλευσης στον αποκλίνοντα κλάδο της αλλαγής

Έχουμε δύο τύπους αλλαγών, εκείνο που σε οριζοντιογραφία εφάπτεται βελόνη – αντιβελόνη και εκείνο που έχουμε τομή (Σχήμα 50).



Σχήμα 50: Χάραξη αλλαγής σε εφαπτομένη και σε «τέμνουσα» βελόνη [Alias, 1984]



Σχήμα 51: Χάραξη αλλαγής σε εφαπτομένη και σε «τέμνουσα» βελόνη – μεταβολή καμπυλότητας στις δύο περιπτώσεις [Alias, 1984]

Η ταχύτητα στον αποκλίνοντα κλάδο συναρτάται από δύο παραμέτρους: την ακτίνα καμπύλης του αποκλίνοντα κλάδου και τη χάραξη σε οριζοντιογραφία των αιχμών (βελονών) είτε είναι εφαπτόμενες είτε τέμνουσες και η οποία έχει κάποια επίπτωση στη γωνία απόκλισης (Σχήμα 51). Καθορίζουμε την ονομαστική ταχύτητα για καμπύλη χωρίς υπερύψωση. Γνωρίζουμε ότι η ταχύτητα σε καμπύλη εξασκεί φυγόκεντρο δύναμη γ που συνδέεται με την ακτίνα και την ταχύτητα.
Στους Γαλλικούς σιδηροδρόμους για ανεπάρκεια υπερύψωσης I=100 mm αντιστοιχεί γ=0,067g ή γ=0,654 m/sec^2. Οι ακόλουθοι πίνακες εφαρμόζονται [Alias, 1984]:

V / *I*	100 km/h *R* =	130 km/h *R* =	160 km/h *R* =
80 mm	1 500 m	2 500 m	4 750 m
85 mm	1 400 m	2 450 m	3 500 m
90 mm	1 300 m	2 200 m	3 360 m
95 mm	1 240 m	2 100 m	3 200 m
100 mm	1 200 m	2 000 m	3 000 m

Όπου η ακτίνα R σε m του αποκλίνοντος κλάδου, σε συνάρτηση με την ταχύτητα V σε km/h και την ανεπάρκεια υπερύψωσης I σε mm. Και ο πίνακας [Alias, 1984]:

R / $\frac{I}{\gamma}$	80 mm 0,523 m/s²	85 mm 0,556 m/s²	90 mm 0,589 m/s²	95 mm 0,621 m/s²	100 mm 0,654 m/s²
1 200 m	90 km/h	93 km/h	95 km/h	98 km/h	100 km/h
1 540 m	102 km/h	105 km/h	108 km/h	111 km/h	114 km/h
2 000 m	116 km/h	120 km/h	123 km/h	127 km/h	130 km/h
2 500 m	130 km/h	134 km/h	138 km/h	142 km/h	145 km/h
3 000 m	142 km/h	147 km/h	151 km/h	155 km/h	160 km/h

Όπου η ταχύτητα V σε km/h σε συνάρτηση της ακτίνας της αποκλίνουσας γραμμής R σε m και της ανεπάρκειας υπερύψωσης I σε mm.

Στο κλασσικό βιβλίο σιδηροδρομικής [Schramm, 1959] δίδεται η σχέση:

$$\mathbf{R \geq \frac{V^2}{8,47}} \qquad (1)$$

Όπου R σε m και V σε km/h. Η ακτίνα που καθορίζεται έτσι αφορά καμπύλη κυκλικού τόξου χωρίς καμπύλη συναρμογής. Από τον τύπο αυτό προκύπτει ο πίνακας:

V [km/h]=	40	50	65	80	100
R [m] =	190	300	500	760	1200

Ο καθηγητής Hay του Urbana University of Illinois δίδει τον ακόλουθο τύπο για την ταχύτητα στον καμπύλο κλάδο μιας αλλαγής:

$$\mathbf{V_t = \sqrt{\left(\frac{e_\alpha + 3}{0,0007 \cdot D_t}\right)}} \qquad (2)$$

Όπου:
V_t = επιτρεπόμενη ταχύτητα στον καμπύλο κλάδο της αλλαγής (miles/h)
e_α = η υπερύψωση που πραγματικά υπάρχει (συνήθως ίση με μηδέν ίντσες)
D_t = Σε μοίρες (degrees) η μεγαλύτερη από τις δύο γωνίες: (1) τη γωνία καμπύλης στην καρδιά της αλλαγής και (2) τη γωνία στην αιχμή της αλλαγής για ευθείες αιχμές. Αν μεγαλύτερη γωνία είναι η (2) περίπτωση τότε οι βαθμοί της καμπύλης στην αιχμή της αλλαγής είναι (β/t)x100, όπου β=η γωνία της αιχμής της αλλαγής και t το μήκος

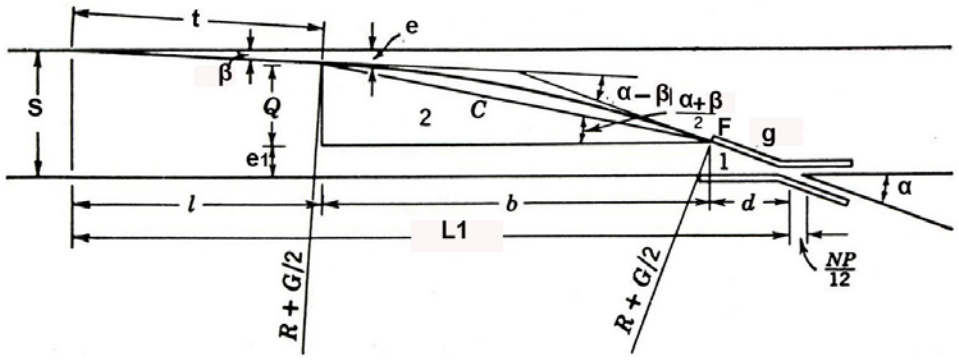
της αιχμής της αλλαγής σε πόδια (feet) επειδή ο τύπος είναι εμπειρικός. (βλέπε Σχήμα 52)

Διαστάσεις αλλαγών

Ο Esveld δίδει για επιτρεπόμενη πλευρική επιτάχυνση 0,8 m/sec2 (βλέπε σχήμα 53)

$$a = \frac{V^2}{R} \Rightarrow V_{max} = 2{,}79\sqrt{R} \qquad (3)$$

Όπου V σε km/h και R σε m

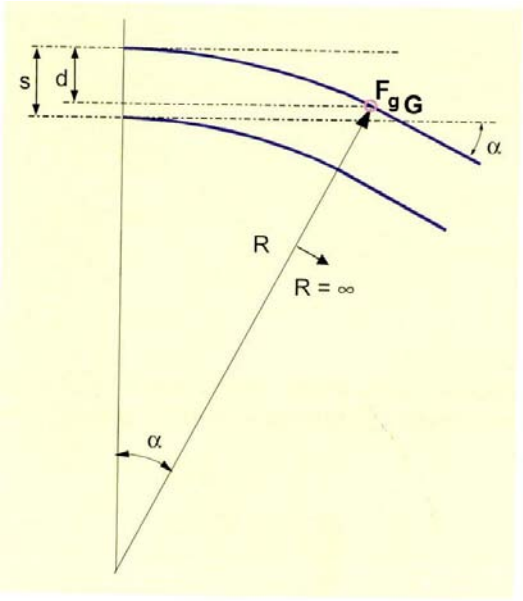


Σχήμα 52: Λεπτομέρεια αιχμής αλλαγής και περιοχής καρδιάς [Hay, 1982]

Από το Σχήμα 52, προκύπτει ότι η γωνία β στο τέλος (πτέρνα) της βελόνης δίδεται από την εξίσωση:

$$\beta = \arcsin\left(\frac{e}{t}\right) \qquad (4)$$

Όπου e η απόσταση της βελόνης από την αντιβελόνη στην πτέρνα της βελόνης, συνήθως 6,25 inches= 158,75 mm [Hay, 1982]. Κανονικά πρέπει να αφαιρεθεί από το e το πάχος της βελόνης στο σημείο επαφής με την αντιβελόνη. Κατά τον [Hay, 1982] είναι ¼ inches. Άρα στον παραπάνω τύπο (4) θα πρέπει να μπει στον αριθμητή ένα μέγεθος $e'=e-e_1$ όπου $e_1 \approx 1/4$ inc=6,34 mm.



Σχήμα 53: Αποκλίνων κλάδος αλλαγής καθορισμός σημείου αρχής καρδιάς F

Από το Σχήμα 53 προκύπτει ότι το σημείο F που τελειώνει το ευθύγραμμο τμήμα που υπάρχει πριν το θεωρητικό σημείο της «αιχμής» της καρδιάς της αλλαγής (σημείο G), βρίσκεται από την εξωτερική σιδηροτροχιά σε απόσταση¨

$$d = R \cdot (1 - \cos\alpha) \qquad (5)$$

Όπου: d υποδηλώνει την μεταβατική καμπύλη της βελόνης προς ευθεία γραμμή και εξαρτάται από κατασκευαστικές απαιτήσεις.
R η ακτίνα του καμπύλου τμήματος της βελόνης
α η γωνία της αλλαγής

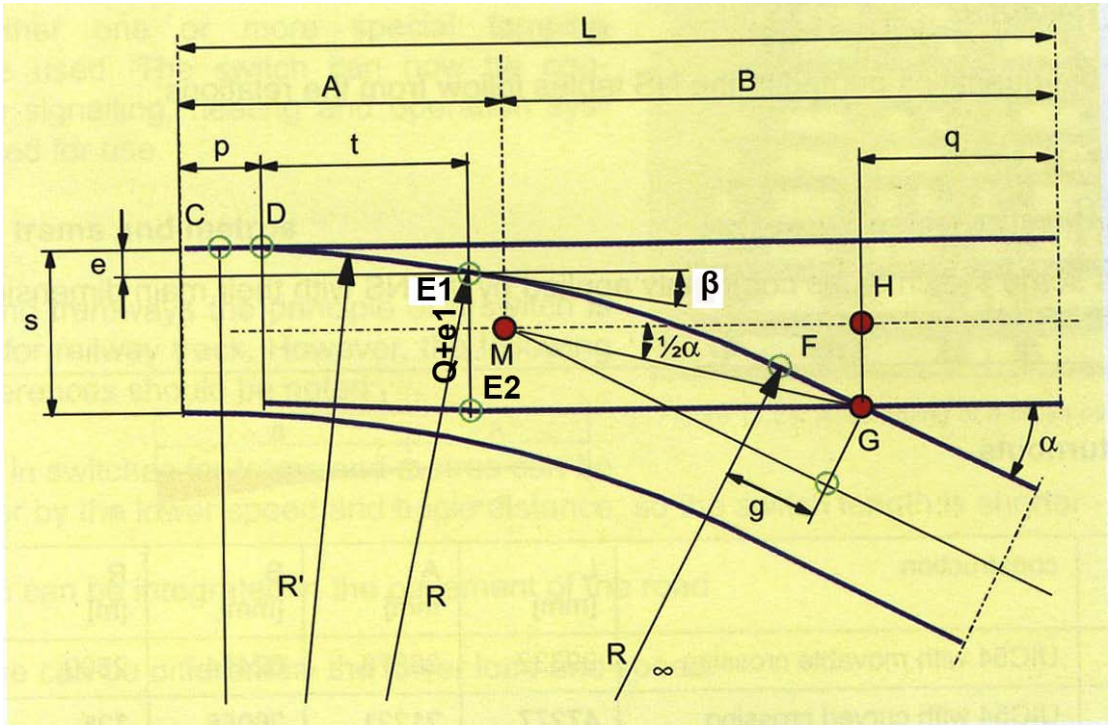
Αν υποθέσουμε ότι $\alpha << 1$ τότε $\cos\alpha = 1 - 0{,}5\alpha^2$ και $\alpha = 1/n$ και η (5) γίνεται:

$$R = 2 \cdot d \cdot n^2 \qquad (6)$$

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε αλλαγή επί ευθείας το d είναι μικρότερο από το εύρος γραμμής S (1,435 m σε γραμμή κανονικού εύρους) και είναι περίπου 1,25 m, ενώ σε αλλαγή επί καμπύλης είναι μεγαλύτερο από το εύρος γραμμής και είναι περίπου 1,70 m. Γενικότερα ισχύουν [Esveld, 2001]:

$$R = 2{,}5 \cdot n^2 \qquad (7) \qquad \text{για αλλαγή σε ευθεία και}$$

$$R = 3{,}4 \cdot n^2 \qquad (8) \qquad \text{για αλλαγή σε καμπύλη}$$



Σχήμα 54: Διαστάσεις μιας κοινής αλλαγής

Από το Σχήμα 54 προκύπτουν οι ακόλουθες σχέσεις από τη γεωμετρία μιας κοινής αλλαγής:

$$S = e + R \cdot (\cos\beta - \cos\alpha) + g \cdot \sin\alpha \qquad (9)$$

Όπου:
S = εύρος γραμμής
e = η απόσταση της βελόνης από την αντιβελόνη στην πτέρνα της βελόνης (βλέπε και Σχήμα 52)
α = η γωνία της αλλαγής
β = η γωνία β στο τέλος (πτέρνα) της βελόνης (βλέπε Σχήμα 52 και (4))
g = το ευθύγραμμο μήκος εμπρός από το θεωρητικό σημείο G της «αιχμής» της καρδιάς της αλλαγής
p = η απόσταση από την αρχή της αλλαγής έως την «λεπίδα» - αρχή της βελόνης (σημείο D)
q = η απόσταση από την αρχή της καρδιάς έως την πτέρνα (τέλος) της αλλαγής σύμφωνα με τον κατασκευαστή
t = το μήκος της βελόνης της αλλαγής σύμφωνα με τον κατασκευαστή

Στην εξίσωση (9) είναι γνωστά τα ακόλουθα:
- Εύρος γραμμής S, γωνία αλλαγής α,
- το e – απόσταση βελόνης – αντιβελόνης στην πτέρνα της βελόνης λαμβάνεται συνήθως ≈6,25 inches≈159 mm [Hay, 1982],
- η γωνία β από τον τύπο (4),
- η γωνία α από την αλλαγή που χρησιμοποιείται

- το μήκος του ευθύγραμμου τμήματος g προ του θεωρητικού σημείου της «αιχμής» της καρδιάς της αλλαγής δίδεται από τον ακόλουθο τύπο (βλέπε Σχήμα 52, Σχήμα 53 και Σχήμα 54)

$$g = \frac{S-d}{\sin\alpha} = \frac{S - R\cdot(1-\cos\alpha)}{\sin\alpha} \qquad (10)$$

Και η ακτίνα προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$R = \frac{S - e - g\sin\alpha}{\cos\beta - \cos\alpha} \qquad (11)$$

Και η θέση του μαθηματικού σημείου της αλλαγής M (Σχήμα 54) ορίζεται από τη σχέση:

$$(MH) = \frac{1}{2}\cot g(\frac{1}{2}\cdot\alpha) \qquad (12)$$

Μαθηματικό σημείο είναι το θεωρητικό σημείο τομής του ευθύγραμμου και του αποκλίνοντος κλάδου μιας αλλαγής. Η απόσταση (MH) ορίζει στον ευθύγραμμο κλάδο την απόσταση του μαθηματικού σημείου από το H σημείο που προβάλλεται στον άξονα του ευθύγραμμου κλάδου το το θεωρητικό σημείο της «αιχμής» της καρδιάς της αλλαγής (σημείο G).
Το συνολικό μήκος της αλλαγής δίδεται από τον τύπο:

$$L = p + t + R\cdot(\sin\alpha - \sin\beta) + g\cdot\cos\alpha + q \qquad (13)$$

Και τα επιμέρους μήκη δίδονται:

$$B = (MH) + q, \qquad A = L - B \qquad (14)$$

Μερικές επιμέρους ακόμη διαστάσεις των αλλαγών ευρίσκονται από το Σχήμα 52: Επιλύοντες το τρίγωνο 1 (με πλευρές g, d και e1) λαμβάνουμε τα e1 και d από το g και τη γωνία α. Επιλύοντες το τρίγωνο 2 με πλευρές C, Q και b, έχουμε:

$$Q=S-(e+e1) \qquad (15)$$

Όπου μία γωνία ισούται με: [(α+β)/2]. Αυτό το τρίγωνο επιλύεται ως προς b και C. Εφ' όσον το C είναι η χορδή καμπύλης με επίκεντρη γωνία (α-β) και ακτίνα ίση με R+S/2, (όπου εδώ R η ακτίνα μέχρι τον άξονα της γραμμής) τότε:

$$(R+\frac{S}{2}) = \frac{C}{2\cdot\sin\left[\left(\frac{1}{2}\right)\cdot(\alpha-\beta)\right]} \qquad (16)$$

Και στο Σχήμα 52 βρίσκουμε ότι το θεωρητικό μήκος L1:

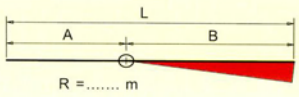
$$L1 = l + b + d \qquad (17)$$

Το πραγματικό μήκος είναι:

$$L1' = L1 + \frac{(NP)}{12} \qquad (18)$$

Και οι διαστάσεις κοινών αλλαγών δίδονται από τον πίνακα [Esveld, 2001]

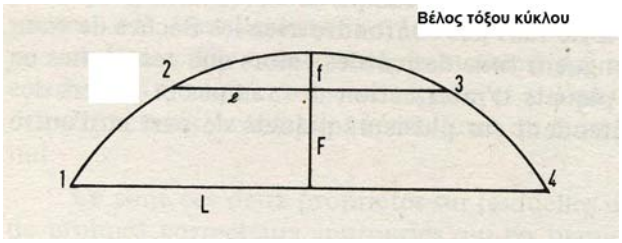
Κοινές Αλλαγές



angle of intersection	construction	L [mm]	A mm]	B [mm]	R [m]	V [km/h]
1:34.7	UIC54 with movable crossing	99332	36878	62454	2300	140
1:15	UIC54 with curved crossing	47277	21221	26056	725	80
1:15	UIC54 with straight crossing	42706	16550	26056	600	70
1:12	UIC54 with curved crossing	38320	17420	20900	465	60
1:9	UIC54 with curved crossing	32185	14185	18000	260	40

Σε σχέση με το Σχήμα 54

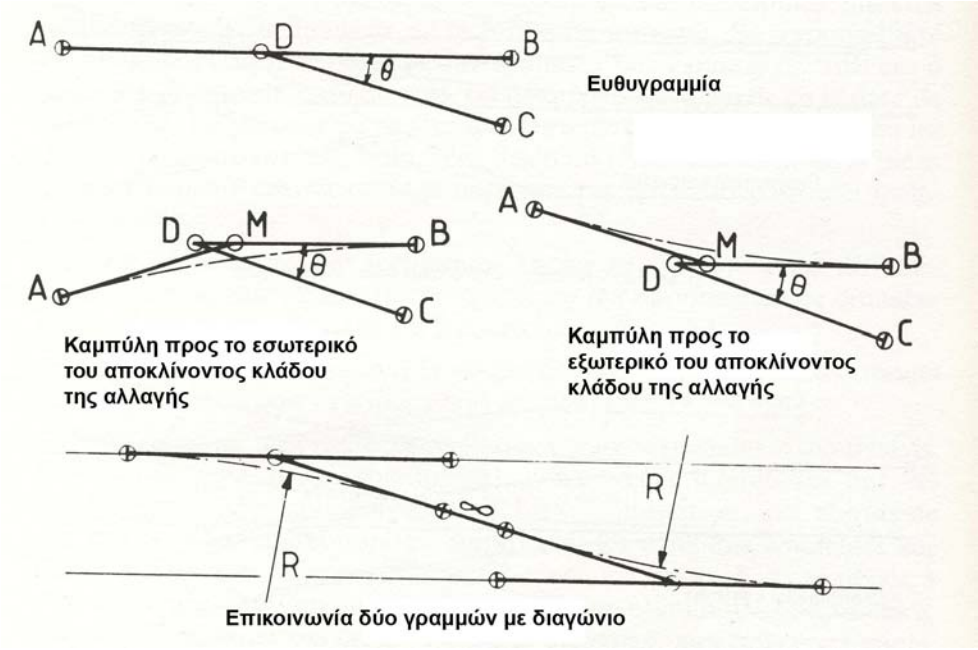
Αλλαγή σε καμπύλη



Σχήμα 55: βέλος καμπύλου τόξου

Στο σχήμα 55 φαίνεται η έννοια του βέλους τόξου κύκλου. Για συγκεκριμένο μικρό μήκος χορδής (2ℓ) το βέλος καθορίζεται μονοσήμαντα από την ακτίνα του κύκλου:

$$\mathbf{f} = \frac{\ell^2}{\mathbf{2 \cdot R}}$$



Σχήμα 56: Χάραξη αλλαγής σε καμπύλη [Alias, 1984]

Όταν έχουμε αλλαγή σε καμπύλη (με στρεβλότητα <= 0,6 mm/m) ανάλογα με το αν η καμπύλη είναι αριστερά ή δεξιά του αποκλίνοντος κλάδου και αν f1 το βέλος του κλάδου της αλλαγής για χορδή 20 m και η καμπύλη της γραμμής έχει ακτίνα R άρα βέλος F, το βέλος του αποκλίνοντος κλα΄δυο γίνεται

$$f2=f1\mp F \qquad (19)$$

και περνώντας σε ακτίνες καμπυλότητας

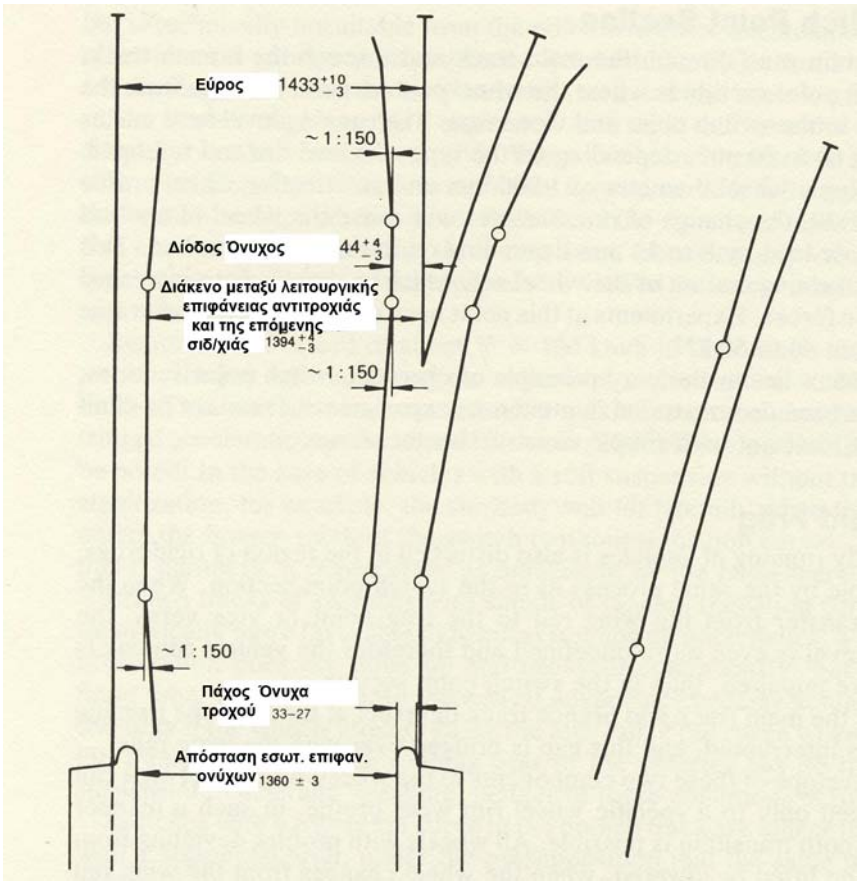
$$\frac{1}{r_2}=\frac{1}{r_1}\pm\frac{1}{R} \qquad (20)$$

Ελεγχος και Συντήρηση Αλλαγών

Για να ελέγξουμε μία αλλαγή πρέπει να εξακριβώσουμε τα παρακάτω:

1) Αν έχει στρωθεί σύμφωνα με το σχέδιο
2) Αν έχει το ολικό μήκος και τα μήκη των ενδιάμεσων σιδηροτροχιών
3) Τη θέση και τον αριθμό των στρωτήρων
4) Αν υπάρχουν όλα τα βλήτρα και οι τάκοι, οι πλάκες ολίσθησης, οι πλάκες έδρασης, οι τιράντες και γενικά όλα τα εξαρτήματα μιας αλλαγής
5) Αν το εύρος της γραμμής στον αρμό της βελόνας, στην αρχή της αλλαγής και στις ενδιάμεσες σιδηροτροχιές και στο τέλος της καρδιάς είναι σωστό, τόσο για τον κύριο κλάδο όσο και για τον παρακαμπτήριο
6) Αν έχει την κανονική υπερύψωση που απαιτείται για την ακτίνα καμπυλότητας του δευτερεύοντα κλάδου

7) Αν όλα τα εξαρτήματα της αλλαγής και οι στρωτήρες βρίσκονται σε καλή κατάσταση από άποψη φθοράς και αν σε γενικές γραμμές ή αλλαγή λειτουργεί κανονικά



Σχήμα 57: Διαστάσεις ελέγχων σε μία αλλαγή

Η συντήρηση που απαιτείται να κάνει το προσωπικό Σταθμών, είναι:
α) η αλλαγή να είναι καθαρή και να μην υπάρχουν ξένα αντικείμενα μέσα στα διάφορα εξαρτήματα και διάκενα των αλλαγών
β) να καθαρίζονται και να λιπαίνονται οι πλάκες ολίσθησης
γ) να υπάρχει το φανάρι της αλλαγής, το οποίο να δείχνει κανονικά τη χάραξη της αλλαγής και να έχει τον απαραίτητο φωτισμό τη νύχτα
Επιπλέον το προσωπικό Σταθμών πρέπει να διαπιστώνει την ορθή λειτουργία των ασφαλίστρων και της μανδάλωσης,την ορθή κατεύθυνση της αλλαγής και την ορθή επαφή της βελόνας με την αντιβελόνα χωρίς να αφήνει διάκενο
Μετά τον έλεγχο προβαίνουμε στη *συντήρηση* της αλλαγής κατά την ακόλουθη σειρά:
1) Διορθώνουμε τα ενδεχόμενα σφάλματα στρώσεως και χαράξεως, αντικαθιστώντας τα διάφορα εξαρτήματα των οποίων τα μήκη δεν ανταποκρίνονται προς το σχέδιο κατασκευής ώστε η αλλαγή να αποκτήσει επακριβώς το θεωρητικό της μήκος (βελόνες, αντιτροχιές, καρδιά). Το μήκος μιας αλλαγής επί ευθυγραμμίας μετράται επί της μιας εκ των δυο της τροχιοσειρών του κυρίου κλάδου. Το μήκος μιας αλλαγής επί καμπύλης μετράται επί εξωτερικής τροχιοσειράς του κυρίου κλάδου διότι η εσωτερική τροχιοσειρά έχει μικρότερο μήκος για την ύπαρξη αρμών στο τέλος της καρδιάς.
Κατά την εκτέλεση των ανωτέρω εργασιών προβαίνουμε στην αντικατάσταση των τυχόν φθαρμένων εξαρτημάτων και στρωτήρων της αλλαγής

2) Ακολουθεί η μετατόπιση των στρωτήρων κατά μήκος της αλλαγής ώστε να τοποθετηθούν στην κανονική τους θέση

3) Στη συνέχεια ελέγχεται και διορθώνεται το εύρος της γραμμής στους αμφότερους κλάδους της αλλαγής. Αυτό δίδεται από τα σχέδια και διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο της αλλαγής. Κατά την διόρθωση του εύρους γραμμής αλλαγής προβαίνουμε και στη ρύθμιση του διάκενου των ενδιάμεσων αρμών της αλλαγής, τις αρχής και του τέλους

4) Στη συνέχεια εκτελούμε την εγκάρσια μετατόπιση (*ντρετσάρισμα*) της αλλαγής ώστε ο θεωρητικός άξονας του κυρίου κλάδου αυτής να συμπέσει με τον θεωρητικό άξονα της γραμμής. Και στις δυο περιπτώσεις οι μετρήσεις γίνονται πάντα επί τις τροχιοσειράς που διέρχεται από την καρδιά της αλλαγής.

5) Είναι σκόπιμο για το ενδεχόμενο εσφαλμένης στρώσεως να ελέγχεται η ακτίνα της καμπύλης του δευτερεύοντος κλάδου με την μέθοδο των βελών, τόσο για τις αλλαγές σε ευθυγραμμία, πολύ δε περισσότερο για αυτές σε καμπύλη. *(προαιρετικό)*

6) Μετά το ντρετσάρισμα της αλλαγής (οριζοντιογραφική τακτοποίηση) ακολουθεί η υψομετρική τακτοποίησή της, ώστε να τοποθετηθεί στην προβλεπόμενη θεωρητική στάθμη

7) Τέλος γίνεται το μπουράρισμα των στρωτήρων. Το καλό μπουράρισμα έχει σημασία για την αποφυγή εκτροχιάσεων των αμαξοστοιχειών, φθορών, στρεβλώσεων των στοιχείων της αλλαγής.

Τέλος δεν πρέπει να παραβλέπεται ο έλεγχος και των κατώθι στοιχείων των αλλαγών και να αποκαθίστανται για την ασφάλεια της κυκλοφορίας επί των αλλαγών

α) Το ελεύθερο διάκενο μεταξύ της βελόνης και της αντιτροχιάς της για να διέρχεται ελευθέρως ο όνυξ του τροχού και να μην προσκρούει στην αιχμή της βελόνης

β) Το ελεύθερο διάκενο μεταξύ αντιτροχιάς καρδιάς και εξωτερικής σιδηροτροχιάς

γ) Η απόσταση της εξωτερικής παρειάς της αντιτροχιάς καρδιάς μέχρι την αιχμή της λόγχης της καρδιάς δεν πρέπει να είναι μικρότερη ορίου τινός, διαφορετικά ο όνυξ τροχού κατά την κατ' αιχμή διέλευση θα προσκρούει στην αιχμή της λόγχης της καρδιάς ή θα ανέρχεται σε αυτή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Alias Jean, "La Voie Ferree", Eyrolles, Paris 1984

AREMA (American Railway and Maintenance-of-Way Association), "Manual for Railway Engineering", 2005

Esveld Coenraad, « Modern Railway Track », MRT-Production, The Netherlands, 2001

Fastenrath Fritz, 1981, Railroad Track - Theory and Practice, Frederic Ungar Pub.Co., New York, part 2, "The Rail as support and Roadway, theoretical principles and practical examples", by J. Eisenmann

Hay William, "Railroad Engineering", John Wiley, 1982

Schramm Gerhard, "Permanent Way Technique – Permanent Way Economy", Otto Elsner, Darmstadt, 1959

Γιαννακός Κ, Αλεξάνδρου Αρ., Καλλαινός Κ., Νικολάου Αλ., Ξανθούλης Μ., «Σημειώσεις από τις παραδόσεις του Μαθήματος του κ. Γιαννακού Κ. – Μηχανισμοί Γραμμής», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής – Εκπαίδευση προσωπικού, Αθήνα 1984

ΠΕΤΕΠ 07-06-03-30 (Προσωρινές Εθνικές ΤεχνικέςΠροδιαγραφές), «Ρύθμιση Συσκευών Διαστολής Γαλλικού Τύπου (UIC 54)», ΥΠΕΧΩΔΕ/ΙΟΚ-ΟΣΕ, 2003

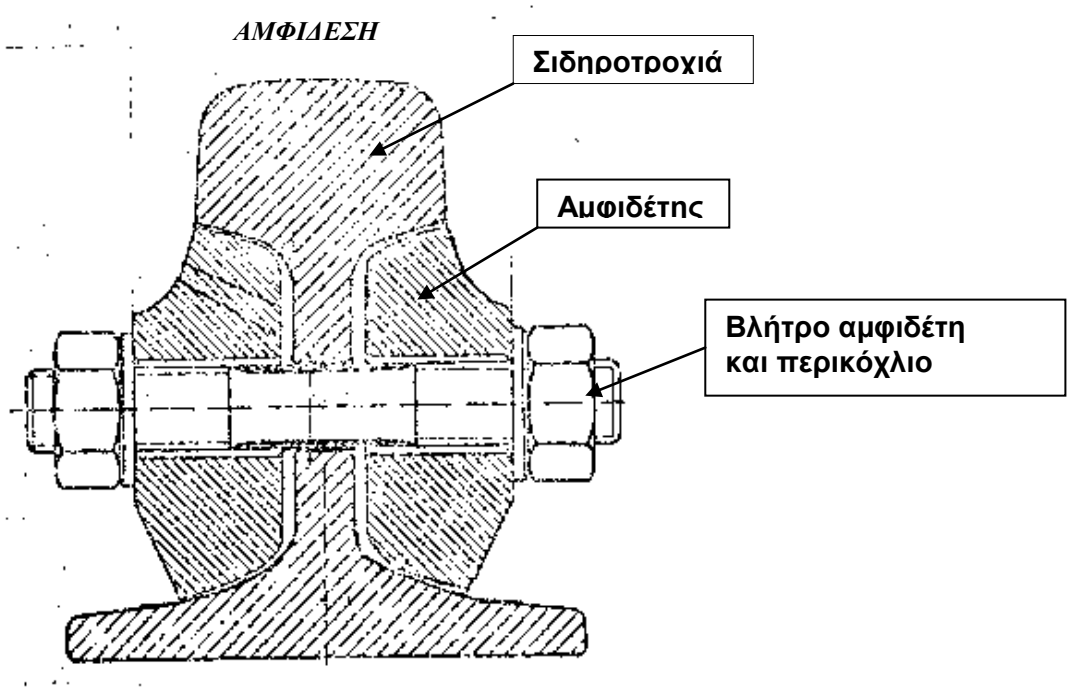
Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 4

- **Γραμμή με αρμούς**
- **Συνεχώς Συγκολλημένες Σιδηροτροχιές (Σ.Σ.Σ.)**
- **Απαιτήσεις υποδομών για Υψηλές Ταχύτητες**

1.- ΓΡΑΜΜΗ ΜΕ ΑΜΦΙΔΕΤΕΣ – ΓΡΑΜΜΗ ΜΕ ΑΡΜΟΥΣ

1.1.- Γενικά

Αφού τα μήκη των σιδηροτροχιών είναι μικρά, για να συντεθεί η γραμμή, τοποθετούνται οι σιδηροτροχιές κατά μήκος η μια δίπλα στην άλλη, και αφήνονται αρμοί (διάκενα) μεταξύ τους για τη διαστολή τους. Για να λειτουργήσουν όμως σαν συνεχής δοκός δύο συνεχόμενες σιδηροτροχιές εκατέρωθεν του αρμού τοποθετούνται, σε επαφή με αυτές δύο ειδικά τεμάχια – οι αμφιδέτες – και συσφίγγονται με βλήτρα (μπουλόνια) αμφιδετών. Υπάρχουν κοινοί αμφιδετούμενοι αρμοί και μονωτικοί αμφιδετούμενοι αρμοί, για γραμμές με σηματοδότηση όπου απαιτείται να υπάρχουν μονωμένα τμήματα γραμμής (μήκους 1,5 έως 2 km) για τις ανάγκες της σηματοδότησης
Στο Σχήμα 1 φαίνεται σε τομή η κοινή αμφίδεση. Στο Σχήμα 2 φαίνεται μονωτικός αμφιδετούμενος αρμός. Στο Σχήμα 5 φαίνεται αμφιδετούμενος αρμός σε όψη και στο Σχήμα 6 μεταβατικός αρμός σε όψη, ο οποίος χρησιμοποιείται για σύνδεση δύο διαφορετικών τύπων σιδηροτροχιών με διαφορετικά ύψη σιδηροτροχιών με τη χρήση ειδικού μεταβατικού αμφιδέτη.

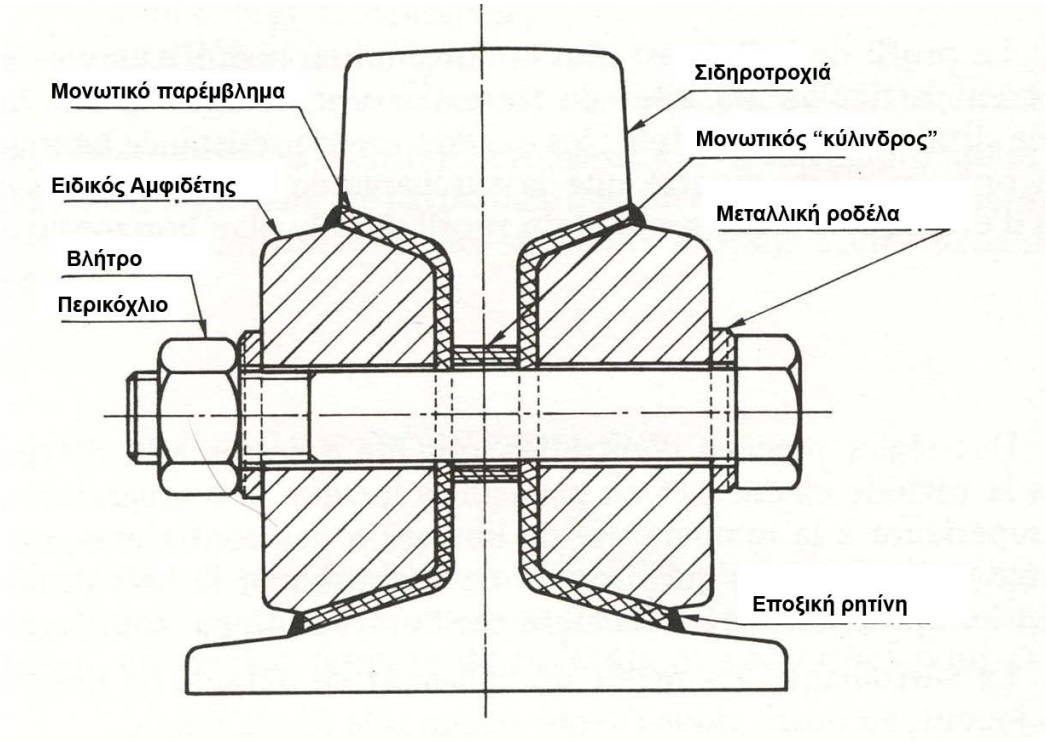


Σχήμα 1: Κοινή αμφίδεση σε τομή [Γιαννακός, 1984, 1985]

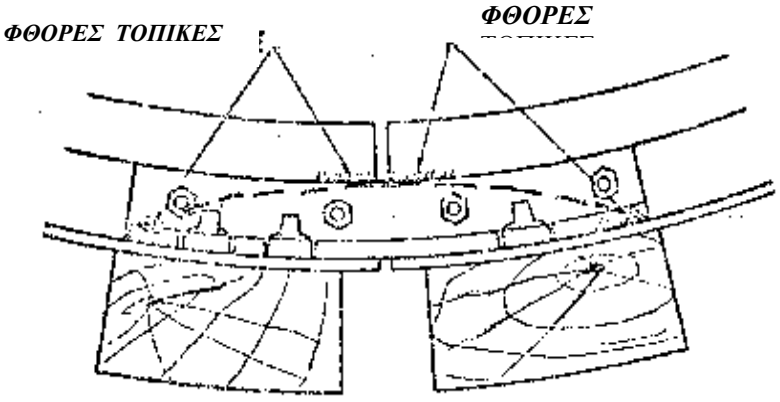
Η αμφίδεση ενός αρμού επιτρέπει λοιπόν τη σύνδεση δύο συνεχόμενων σιδηροτροχιών. Πρέπει να ικανοποιεί τις παρακάτω συνθήκες:

- Σύνδεση των σιδηροτροχιών κατά τέτοιο τρόπο ώστε να συμπεριφέρονται σαν συνεχής δοκός ευθυγραμμισμένη και στο ίδιο επίπεδο (η επιφάνεια κύλισης).
- Να παρουσιάζει μια αντίσταση στην παραμόρφωση που να πλησιάζει, όσο το δυνατόν αυτή των σιδηροτροχιών που συνδέει.

- Να εμποδίζει τις κατακόρυφες και πλευρικές κινήσεις των άκρων της κάθε σιδηροτροχιάς σε σχέση με την άλλη, επιτρέποντας ταυτόχρονα τη διαστολή.
- Να είναι όσο το δυνατόν απλούστερη και να συντίθεται από τα λιγότερα στοιχεία.
- Όταν συνδέει δύο διαφορετικούς τύπους σιδηροτροχιών (μεταβατική αμφίδεση) με τη χρήση μεταβατικών αμφιδετών να διασφαλίζει όλα τα παραπάνω.



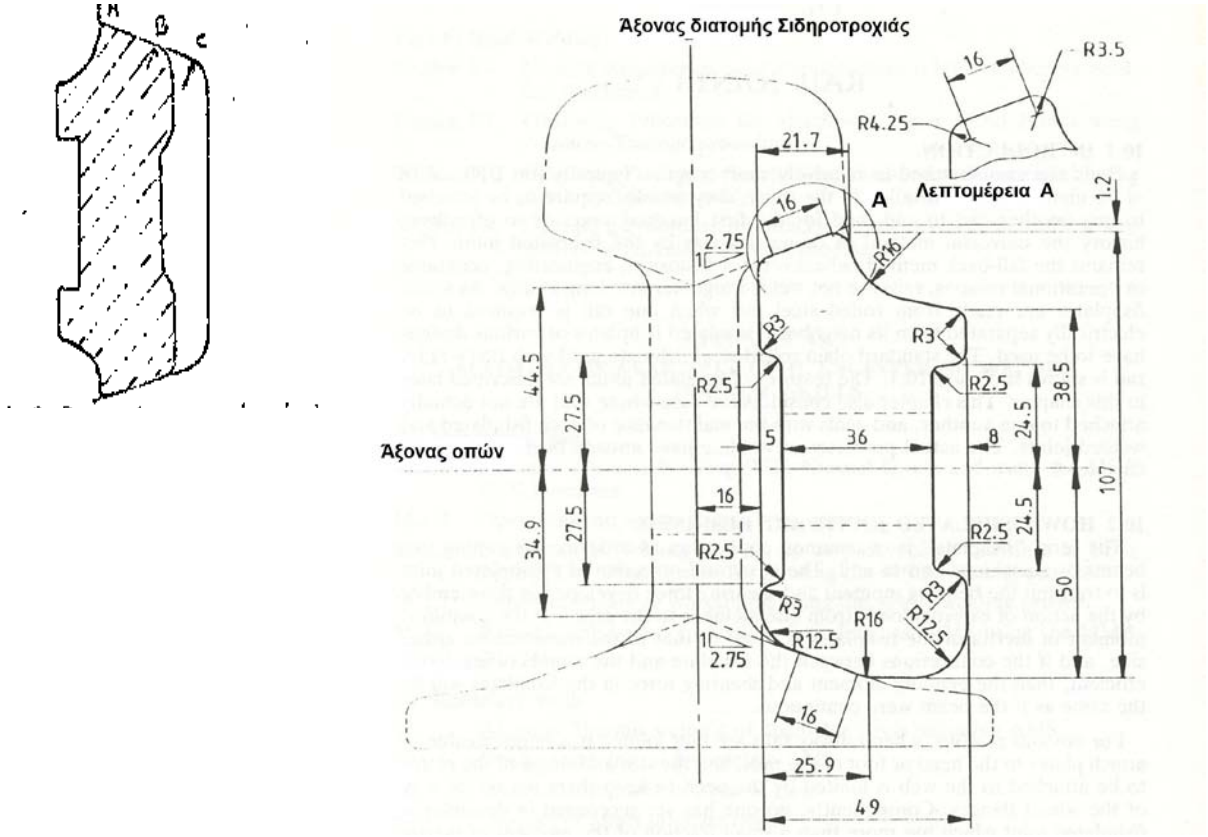
Σχήμα 2: Μονωτική αμφίδεση σε τομή [Γιαννακός, 1984]



Σχήμα 3: Λειτουργία τουβαρμού και των αμφιδετών – τόξο μεταφοράς των δυνάμεων [Γιαννακός, 1999]

Οι αμφιδέτες καταπονούνται από σημαντικές δυνάμεις. Όταν ο άξονας του οχήματος φθάνει στη γειτονική περιοχή ενός αρμού, το άκρο της σιδηροτροχιάς τείνει να κάνει βέλος καμπτόμενο ως δοκός. Αυτό το βέλος παρεμποδίζεται από τον αμφιδέτη που δέχεται έτσι φορτίο προς το μέσον της άνω πλευράς του, το παραλαμβάνει και με λειτουργία «τόξου» το μεταφέρει στα πέλματα των σιδηρετροχιών που πλαισιώνουν με τα άκρα τους την κάτω παρειά του αμφιδέτη όπως δείχνει το Σχήμα 3.

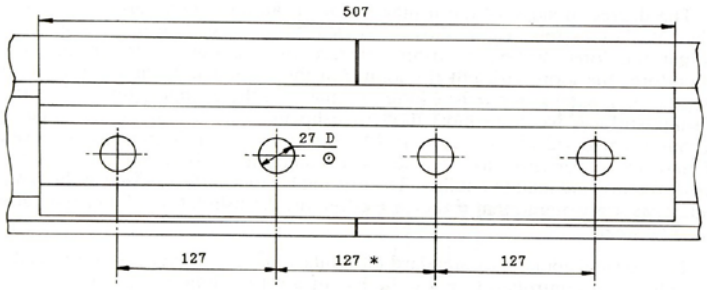
Για να εκπληρώσει την αποστολή του, πρέπει λοιπόν ο αμφιδέτης να σφηνωθεί μεταξύ της άνω και κάτω επιφάνειας της σιδηροτροχιάς (βλέπε Σχήμα 3 και Σχήμα 4, σε λεπτομέρεια το Σχήμα 4 αριστερά).
Η δύναμη που έχει να μεταφέρει είναι παράλληλη με τον κατακόρυφο άξονά της σιδηροτροχιάς γι' αυτό πρέπει να δοθεί στις επιφάνειες της σιδηροτροχιάς, που θα ακουμπήσει ο αμφιδέτης, μία κλίση όσο το δυνατό πιο μικρή σε σχέση με την οριζόντιο.



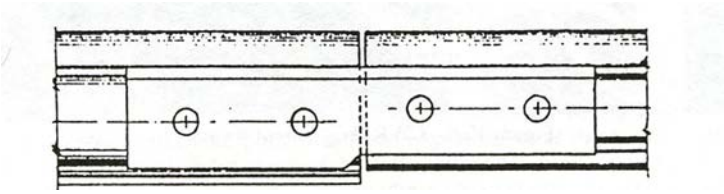
Σχήμα 4: (α) Αριστερά - Λεπτομέρεια επαφής αμφιδέτου – σιδηροτροχιάς σε μεγέθυνση από το Σχήμα 1 [Γιαννακός, 1984, 1999], **(β) Δεξιά - Λεπτομέρεια επαφής αμφιδέτου – σιδηροτροχιάς από τους πρώην Βρετανικούς Σιδηροδρόμους (BR)** [British Railway Track, 1993].

Υπό την επίδραση των καμπτικών παραμορφώσεων και των κρούσεων στον αρμό, προκαλούνται σχετικές κινήσεις μεταξύ σιδηροτροχιών και αμφιδετών, από τις οποίες προκύπτει μια φθορά που επηρεάζει προπαντός τις ζώνες μετάδοσης των δυνάμεων (βλ. παραπάνω Σχήμα 3) και η οποία μπορεί να φθάσει 0,75 mm το χρόνο για μια

γραμμή μεγάλου φορτίου (βλέπε και Σχήμα 8 και Σχήμα 9 όπου φαίνεται η φθορά σε αρμό με αμφίδεση)
Λόγω αυτής της βλάβης, οι αμφιδέτες βυθίζονται προς τα μέσα υπό την επίδραση των βλήτρων των οποίων η τάση μειώνεται. Προκύπτει λοιπόν η ανάγκη περιοδικής σύσφιξης των αμφιδέσεων, πολύ περισσότερο από τη φθορά των επιφανειών επαφής αμφιδετών – σιδηροτροχιών πάρα από την τυχαία χαλάρωση (ξέσφιγμα) υπό την επίδραση των κραδασμών.



Σχήμα 5: Αμφιδετούμενος αρμός σε όψη [British Railway Track, 1993]



Σχήμα 6: Μεταβατική αμφίδεση που συνδέει δύο διαφορετικούς τύπους σιδηροτροχιών με τη χρήση ειδικού μεταβατικού αμφιδέτη, σε όψη. Η αριστερή σιδηροτροχιά έχει μεγαλύτερο ύψος διατομής από τη δειά σιδηροτροχιά.

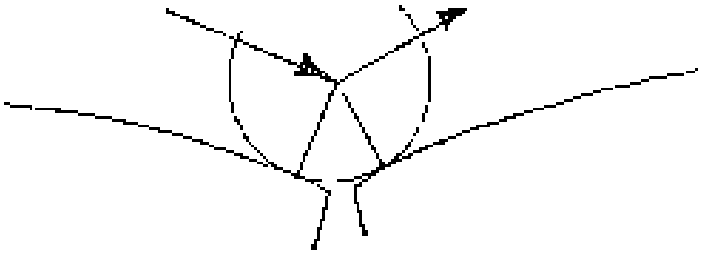
11.2. Μηχανική λειτουργία

11.2.1. Στατική άποψη.

Ο αμφιδέτης λειτουργεί: (α) κατά μήκος σαν τόξο υποστηρίζοντας στο μέσον του τα άκρα των κεφαλών των σιδηροτροχιών και μεταφέροντας τις δυνάμεις με τα κατώτερα άκρα του στα πέλματα των σιδηροτροχιών (β) εγκάρσια σαν σφήνα, αντιστηρίζοντας με τις δικές του κεκλιμμένες επιφάνειες τις αντίστοιχες της σιδηροτροχιάς.

Αν η κλίση αυτών των επιφανειών επαφής είναι πολύ απότομη, καταπονούνται πολύ τα βλήτρα. Αν είναι πολύ ασθενής, η πολύ μεγάλη σύσφιξη αυξάνει την τριβή και τη φθορά, μπλοκάρει τα άκρα των σιδηροτροχιών, καταργεί κάθε ελαστικότητα, οδηγεί σε θραύση τον αμφιδέτη, σφυροκοπά την κεφαλή σιδηροτροχιάς και την αποκολλά. Επιπλέον, προκαλεί φθορά στην επιφάνεια επαφής τόση, που οδηγεί τον αμφιδέτη από το σημείο Β στο σημείο C (βλέπε Σχήμα 4 αριστερά). Σ' αυτήν την περίπτωση ο αμφιδέτης έρχεται σε επαφή με τον κορμό της σιδηροτροχιάς, γεγονός που απαγορεύεται και πρέπει ο αρμός να συντηρηθεί για να διορθωθεί αυτό το φαινόμενο.

11.2. Δυναμική άποψη.

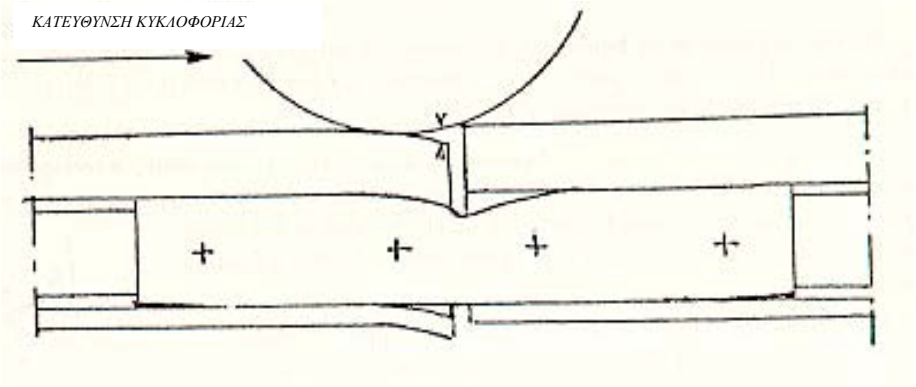


Σχήμα 7: Λειτουργία αρμού κατά τη διέλευση ενός άξονα [Γιαννακός, 1999]

Με το πέρασμα των αξόνων, ο αρμός υφίσταται κάμψη σαν δοκός, περισσότερο όμως υφίσταται κρούσεις. Ο αρμός αποτελεί ασυνέχεια στην επιφάνεια κύλισης (βλέπε Σχήμα 4). Μαζί μ' αυτήν την ασυνέχεια της επιφάνειας κύλισης και της ροπής αδράνειας της σιδηροτροχιάς, ο τροχός ακολουθεί μια πορεία κατάβασης από το ψηλότερο σημείο του αρμού απολήγει στο κατώτερο και ταυτόχρονα έχει μπροστά του ένα σκαλοπάτι.

Στη συνέχεια οι βλάβες των επιφανειών επαφής αμφιδέτη – σιδηροτροχιάς, οι παραμορφώσεις των άκρων των σιδηροτροχιών και οι βλάβες του πάνω μέρους των άκρων κάνουν πιο πολύπλοκη αυτή τη γωνιώδη πορεία. Έτσι έχουμε 3 στάδια κατά τη διέλευση ενός άξονα οχήματος από έναν αρμό:

1ο στάδιο
Επιπέδωση της σιδηροτροχιάς χαμηλότερο σημείο πριν από προεξοχή, κατά την προσέγγιση του τροχού του.άξονα (βλέπε Σχήμα 5). Εκεί βρίσκεται η αιτία της έναρξης δημιουργίας μόνιμης **επίκαμψης** των άκρων των σιδηροτροχιών στην περιοχή του αρμού.

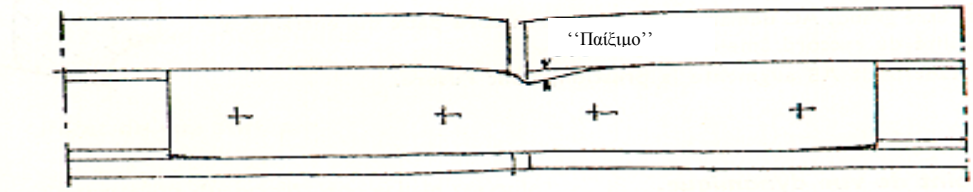


Σχήμα 8: Λειτουργία αμφιδέτη – σιδηροτροχιάς – αρμού κατά τη διέλευση φορτίων – 1ο στάδιο προσέγγιση τροχού – έναρξη δημιουργίας μόνιμης

επίκαμψης των άκρων των σιδηροτροχιών στην περιοχή του αρμού [Γιαννακός, 1999]

2ο στάδιο

Μετά τη σύσφιξη, το κεντρικό τμήμα του αμφιδέτη, βυθίζεται πιο βαθειά στο χώρο που υπάρχει στο πίσω μέρος του αμφιδέτη, μεταξύ αμφιδέτη – κορμού σιδηροτροχιάς. Στη γενική περίπτωση ασυμμετρικών βλαβών, υφίσταται μια ελαφρή βύθιση (κενό) κάτω από την κεφαλή της χαμηλότερης σιδηροτροχιάς, που είναι ίση με τη διαφορά των συνολικών βλαβών της σιδηροτροχιάς και τον αμφιδέτη μεταξύ του χαμηλότερου και υψηλότερου σημείου.



Σχήμα 9: Λειτουργία αμφιδέτη – σιδηροτροχιάς – αρμού κατά τη διέλευση φορτίων – 2ο στάδιο η επίκαμψη ήδη έχει δημιουργηθεί και παρουσιάζεται «παίξιμο» μεταξύ άκρου σιδηροτροχιάς και αμφιδέτη [Γιαννακός, 1999]

Στο Σχήμα 6 η επίκαμψη ήδη έχει δημιουργηθεί και παρουσιάζεται «παίξιμο» μεταξύ άκρου σιδηροτροχιάς και αμφιδέτη που οδηγεί σε περαιτέρω χειροτέρευση της γεωμετρίας του αρμού και συνεπώς σε μεγαλύτερη κρουστική φόρτιση και χειροτέρευση της γεωμετρίας της γραμμής.

3ο στάδιο

Μόνιμη παραμένουσα βύθιση (βλέπε Σχήμα 6) των άκρων (επίκαμψη) οφειλόμενη σε παραμένουσα παραμόρφωση των σιδηροτροχιών . εδώ πρέπει να έχουμε επίσης μια ελαστική παραμόρφωση οφειλόμενη στην υποχώρηση των εδράσεων των στρωτήρων και μια υποχώρηση των επιφανειών κυλίσεως οφειλόμενη στη φθορά. Φαινόμενο που οδηγεί σε περαιτέρω χειροτέρευση της γεωμετρίας του αρμού και συνεπώς σε μεγαλύτερη κρουστική φόρτιση και χειροτέρευση της γεωμετρίας της γραμμής.

11.3. Λειτουργία διαστολής – συστολής του αρμού.

Η αμφίδεση πρέπει να επιτρέπει στη σιδηροτροχιά να διαστέλλεται και να συστέλλεται ελεύθερα σε συνάρτηση με τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, πρέπει να γρασάρεται περιοδικά, για να διευκολύνει τη μετακίνηση της σιδηροτροχιάς αλλά προπαντός οι διάμετροι των οπών αμφίδεσης στις σιδηροτροχιές και στους αμφιδέτες όπως και οι διάμετροι των βλήτρων πρέπει να εκλέγονται έτσι ώστε να επιτρέπουν μια ελεύθερη διαστολή. Στο Σχήμα 10 εικονίζεται σε όψη ένας αμφιδετούμενος αρμός, τα άκρα των δύο σιδηροτροχιών, σε επαφή άνω ($1^{η}$ περίπτωση) με διάκενο κάτω ($2^{η}$ περίπτωση), οι οπές των σιδηροτροχιών, η θέση του βλήτρου (μπουλονιού) του αμφιδέτη σε τομή και οι οπές του αμφιδέτη.

Έστω r η διάμετρος της οπής της σιδηροτροχιάς, e η διάμετρος της οπής του αμφιδέτη, a η απόσταση αξόνων των κεντρικών οπών των αμφιδετών, b η απόσταση του άκρου της σιδ/χιας και του άξονα της πρώτης προς τον αρμό οπής της σιδηροτροχιάς, d η διάμετρος του βλήτρου του αμφιδέτη, d' η απόσταση από άκρη σε

άκρη των οπών αμφιδέτου και σιδηροτροχιάς (βλέπε Σχήμα 10 άνω, δεξιά σιδηροτροχιά) και Α το άνοιγμα του αρμού, εάν υπάρχει.
Το μέσο άνοιγμα του αρμού (Σχήμα 10) υπολογίζεται ανάλογα με την περίπτωση:
(α) Αν υπάρχει επαφή των δύο σιδηροτροχιών (κλειστός αρμός), για να διέρχεται το βλήτρο από τις οπές του αμφιδέτου και της σιδηροτροχιάς, θα πρέπει να ισχύει η ανισότητα:

$$\mathbf{a-2b \le e+r-2d} \qquad (1)$$

Συνεπώς η επιτρεπόμενη κίνηση είναι:

$$\mathbf{2[(a-2b)]+(d'-d)= a+e+r-2(d+b)} \qquad (2)$$

Είναι η περίπτωση κλειστού αρμού και μάλιστα είναι η περίπτωση αρμού που παρουσιάζει «γωνία» προς τα πάνω λόγω ανάπτυξης τάσεων.
(β)Σε περίπτωση σφήνωσης «γωνιάσματος» των βλήτρων, η διαδρομή είναι:

$$\mathbf{a-2b>e+r-2d \rightarrow \text{ διαδρομή } = 2(e+r-2d)} \qquad (3)$$

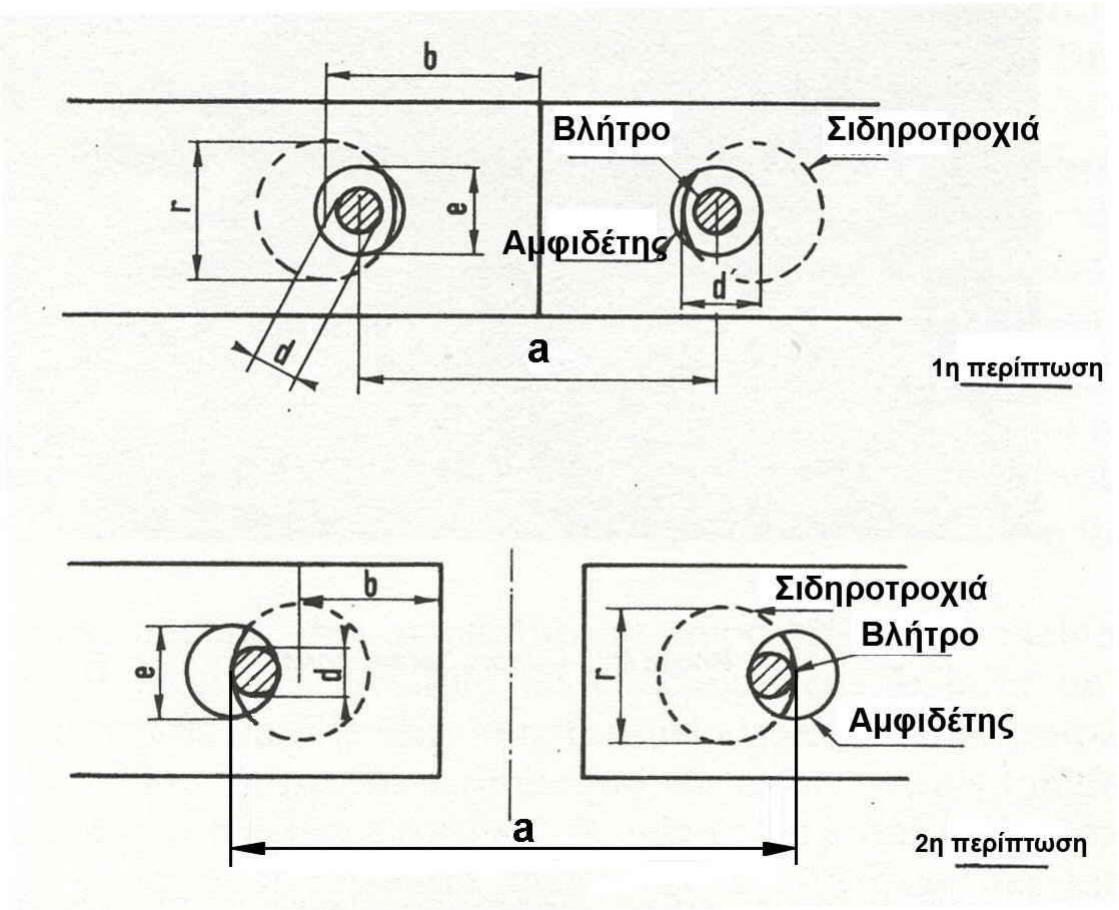
Μέγιστο άνοιγμα (Σχήμα 10 κάτω):

$$\mathbf{A_{max} = a - 2b - 2\left[\left(\frac{e}{2}-\frac{d}{2}\right)+\left(\frac{r}{2}-\frac{d}{2}\right)\right] = a - 2b - \left[e + r - 2d\right]} \qquad (4)$$

Ελάχιστο άνοιγμα:

$$\mathbf{A_{min} = a - 2b + 2\left[\left(\frac{r}{2}-\frac{d}{2}\right)+\left(\frac{e}{2}-\frac{d}{2}\right)\right] = a - 2b + \left[r + e - 2d\right] \ge 0} \qquad (5)$$

Αν το αποτέλεσμα είναι αρνητικό, λαμβάνουμε $\mathbf{A_{min}=0.}$
Δηλαδή συνολική διακύμανση ανοίγματος: **2(r+e-2d)** (6)



Σχήμα 10: Βλήτρο και οπές αμφιδέτου, σιδηροτροχιάς κατά τη λειτουργία αμφιδετούμενου αρμού [Γιαννακός, 1999]

Επιπλέον ισχύει η ανισότητα:

$$|a-2b-(r+e-2d)| \le A \le |a-2b+(r+e-2d)| \qquad (7)$$

το $A_{min}=0$ είναι το κάτω όριο του Α.
Είναι η περίπτωση σφήνωσης του αρμού.

Θα περιγραφεί στη συνέχεια η λειτουργία του αρμού. Σε σιδηροτροχιά χωρίς τριβές, μήκους ℓ, με συντελεστή θερμικής διαστολής $\alpha=10{,}5\cdot10^{-6}$, η διακύμανση του μήκους για διαφορά θερμοκρασίας Δθ είναι:

$$\Delta\ell = \left|\left(\theta-\theta_0\right)\right|\cdot\ell\cdot\alpha = \Delta\theta\cdot\ell\cdot\alpha \qquad (8)$$

και μεταβαλλόμενου του Δθ, το Δℓ απεικονίζεται σαν ευθεία γραμμή. Αν θ max και θmin είναι τα όρια διακύμανσης της θερμοκρασίας, το συνολικό μήκος διαδρομής του άκρου («παίξιμο») της σιδηροτροχιάς θα είναι

$$\left(\theta_{max}-\theta_{min}\right)\cdot\alpha\cdot\ell \qquad (9)$$

και η διακύμανση της παραμένουσας διαδρομής («παιξίματος») σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία αντιπροσωπεύεται από ευθεία.

Όμως η διαστολή της σιδηροτροχιάς είναι παρεμποδιζόμενη:

- από τη δύναμη R σύσφιγξης της αμφίδεσης,
- από τις δυνάμεις τριβής σιδηροτροχιάς – στρωτήρα και
- από τις δυνάμεις τριβής στρωτήρα – έρματος .

Υποθέτουμε ότι μόνο η πρώτη και η τελευταία επενεργούν (δηλαδή ότι η σιδηροτροχιά είναι πολύ στερεά συνδεδεμένη με το στρωτήρα βλέπε [Γιαννακός, 2002, κεφάλαιο 11]. Η τιμή της R είναι της τάξης από 2 μέχρι 5t και της τελευταίας r=500 ÷ 1000kg/m και για τις δύο σιδηροτροχιές. Αν ℓ είναι το μήκος που λαμβάνεται υπόψη η τριβή, αρχίζοντας από την ανμφίδεση, στο τέλος του μήκους αυτού εξασκείται δύναμη τριβής (ανά σιδηροτροχιά):

$$P = R + \frac{r}{2}.\ell, \qquad (10)$$

για κάθε σιδηροτροχιά εφόσον η δύναμη r αφορά ολόκληρη την εσχάρα της γραμμής (και τις δύο σιδηροτροχιές). Αν E είναι το μέτρο ελαστικότητας της σιδηροτροχιάς και F η διατομή της, η δύναμη P επιφέρει μια παρεμποδιζόμενη διαστολή Δdℓ σε στοιχείο μήκους dℓ:

$$\Delta d\ell = \frac{P}{E\cdot F}\cdot d\ell \qquad (11)$$

Για κάθε αρμό υπολογίζουμε στο μήκος της μισής σιδηροτροχιάς $\frac{\ell}{2}$ τότε η παρεμποδιζόμενη διαστολή θα είναι:

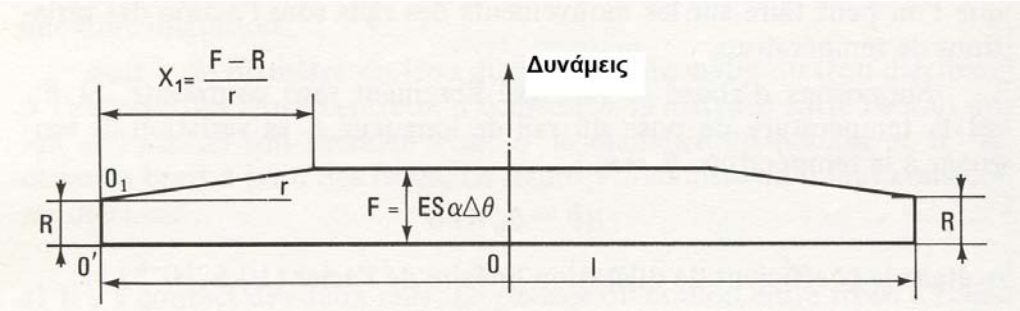
$$\Delta\ell_{\sigma\iota\delta/\chi\iota\alpha\varsigma} = \int_0^{\frac{\ell}{2}} \frac{P}{EF} d\ell = \int_0^{\frac{\ell}{2}} \frac{(R + \frac{r}{2}\cdot\frac{\ell}{2})}{EF} \cdot d\ell = \frac{R\cdot\ell}{2EF} + \frac{r\cdot\ell^2}{8EF} = \frac{\ell}{2EF}\left[R + \frac{r\cdot\ell}{4}\right] \quad (12)$$

Άρα, η συνολική διακύμανση του μήκους σε μισή σιδηροτροχιά είναι:

$$\Delta\ell = \frac{a\Delta\ell\cdot\theta}{2} - \frac{\ell}{2EF}\left[R + \frac{r\cdot\ell}{4}\right] = \frac{\cdot\ell}{2}\left[\Delta\theta - \frac{\ell}{a\cdot E\cdot F}\cdot(R + \frac{r}{4}\cdot\ell)\right] \quad (13)$$

Αν A_0 είναι το αρχικό άνοιγμα του αρμού στη θερμοκρασία θ_0 και υποθέσουμε ότι αρχίζει να αυξάνεται η θερμοκρασία. Κατ' αρχάς αντιτίθεται στη διαστολή η δύναμη R της αμφίδεσης και το άνοιγμα παραμένει A_0 μέχρι μια θερμοκρασία θ_1 ώστε:

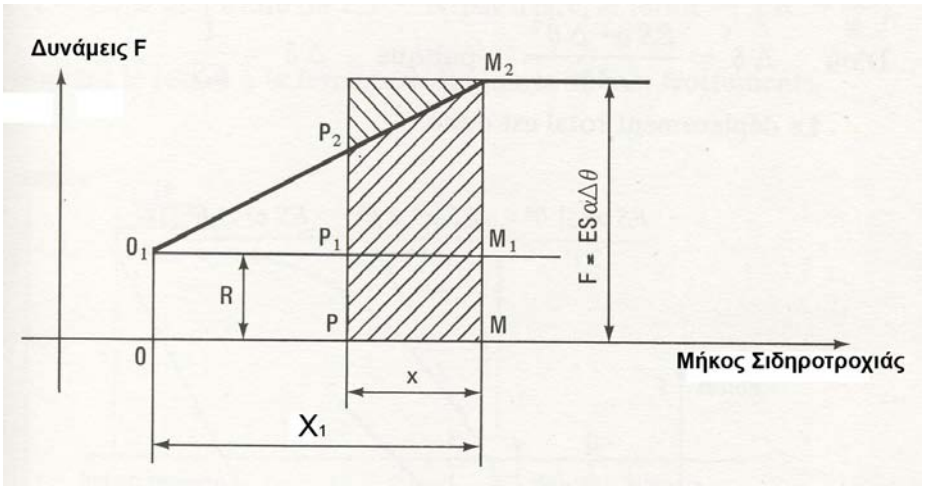
$$\Delta\theta = \theta_1 - \theta_0 = \frac{R}{a\cdot E\cdot F} \quad (14)$$



Σχήμα 11: Κατανομή δυνάμεων κατά μήκος μιας σιδηροτροχιάς σε αμφιδετούμενη γραμμή [Γιαννακός, 1999]

Αν η θερμοκρασία συνεχίζει να αυξάνεται αρχίζει να επενεργεί η δύναμη r. Κατά μήκος της σιδηροτροχιάς, το διάγραμμα των τάσεων φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 11:

Ένα στοιχειώδες τμήμα μήκους dx της σιδηροτροχιάς υπόκειται αφ' ενός μεν στη θερμική διαστολή αφ' ετέρου δε στις δυνάμεις τριβής στρωτήρα-σκύρου. Η συνολική επιμήκυνση αυτού του στοιχειώδους τμήματος dx είναι:



Σχήμα 12: Διάγραμμα δυνάμεων στο άκρο σιδηροτροχιάς αμφιδετούμενης γραμμής (λεπτομέρεια Σχήματος 11) [Γιαννακός, 1985,1999]

$$\Delta dx_i = a \cdot \Delta\theta \cdot dx - \frac{\sigma \cdot dx}{E} \qquad (15)$$

Για την εσχάρα της γραμμής (και τις δύο σιδηροτροχιές) έχουμε δύναμη $P_i = \sigma \cdot F = r \cdot x + R$ (βλέπε 10) όπου F>0 για θλίψη και F<0 για εφελκυσμό.

Η διαστολή είναι πλήρως παρεμποδιζόμενη σε μια απόσταση X_1 από την αρχή, τέτοια ώστε [Γιαννακός, 1985, 1999]:

$$\Delta\ell = 0 = a \cdot \Delta\vartheta \cdot x_1 - \int_0^{x_1} \frac{p}{EF} dx = a \cdot \Delta\theta \cdot x_1 - \int_0^{x_1} \frac{\sigma}{E} dx = a \cdot \Delta\theta \cdot x_1 - \frac{\sigma}{E} \cdot x_1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow a\Delta\theta - \frac{\sigma}{E} = 0 \qquad (16)$$

Η τάση [Γιαννακός, 1985, 1999]:

$$\sigma = \frac{\text{Δύναμη}}{\text{Επιφάνεια}} = \frac{P}{F} = \frac{1}{F}(R + r \cdot x_1) \Rightarrow \text{ και σε συνδυασμό με την (16)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow a \cdot \Delta\theta - \frac{1}{F \cdot E}(R + r \cdot x_1) = 0 \Rightarrow a \cdot \Delta\theta \cdot F \cdot E = R + r \cdot x_1 \Rightarrow$$

$$X_1 = \frac{1}{r}(a \cdot \Delta\theta \cdot F \cdot E - R) \qquad (17\alpha)$$

Από την οποία υπολογίζεται η διαφορά θερμοκρασίας που «οδηγεί» στη θέση X_1:

$$\Delta\theta_i = r \cdot X_1 \cdot \frac{1}{\alpha \cdot F \cdot E} + R \cdot \frac{1}{\alpha \cdot F \cdot E} \qquad (17\beta)$$

Η μετακίνηση δ_P ενός σημείου P όπως φαίνεται στο Σχήμα 12 είναι [Γιαννακός, 1985, 1999] το ολοκλήρωμα των δυνάμεων στο στοιχειώδες τμήμα dx των θερμοκρασιακών δυνάμεων μείον τις αντιτιθέμενες δυνάμεις τριβής:

$$\delta_P = \int_M^P (a \cdot \Delta\theta - \frac{\sigma}{E}) \cdot dx = \alpha \cdot \Delta\theta \cdot (MP) - \int_M^P \frac{P}{E \cdot F} \cdot dx \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \delta_P = a \cdot \Delta\theta \cdot x - \int_M^P \frac{(P - R) \cdot dx}{E \cdot F} - \int_M^P \frac{R \cdot dx}{E \cdot F} \qquad (18)$$

Από το Σχήμα 12 προκύπτει ότι [Γιαννακός, 1985, 1999]:

$M_1P_1 = x$, $M_1O_1 = X_1$, $PP_1 = R$, $M_1M_2 = r \cdot x$

$P_1P_2 = r \cdot (X_1 - x) \Rightarrow P - R = r \cdot (X_1 - x)$, και

$$\delta_P = a \cdot \Delta\theta \cdot x - r \cdot \int_M^P \frac{X_1 - x}{E \cdot F} dx - \frac{R \cdot x}{E \cdot F} \Rightarrow$$

$$EF\delta_P = (E \cdot F \cdot a \cdot \Delta\theta - R) \cdot x - r \cdot X_1 \cdot x + \frac{r \cdot x^2}{2} \Rightarrow$$

$$EF\delta_P = \left[E \cdot F \cdot a \cdot \Delta\theta - (R + r \cdot X_1)\right] \cdot x + \frac{r \cdot x^2}{2} \qquad (19)$$

Αφού υποθέσαμε ότι X_1 είναι το μήκος στο οποίο εξισορροπείται πλήρως η διαστολή, η αγκύλη στην τελευταία εξίσωση (19) ισούται με μηδέν, συνεπώς η (19) γίνεται.

$$E \cdot F \cdot \delta_P = \frac{r \cdot x^2}{2} \Rightarrow \delta_P = \frac{r \cdot x^2}{2 \cdot E \cdot F} \qquad (20)$$

Η μετακίνηση του άκρου, όπου $X=X_1$ είναι:

$$\delta_{\alpha\kappa\rho ou} = \frac{r \cdot X_1^2}{2 \cdot E \cdot F} \qquad (21)$$

Από τη σχέση (20) προκύπτει ότι η διακύμανση του ανοίγματος απεικονίζεται γραφικά με μια παραβολή με άξονα κατακόρυφο (παράλληλο στον κατακόρυφο άξονα ΟΥ), μέχρις ότου η θερμοκρασία αυξηθεί τόσο ώστε να φθάσει από τον αρμό της αμφίδεσης στο κεντρικό τμήμα της σιδηροτροχιάς [βλ. (17)] στη θέση $x_1= - \ell/2$:

$$X_1 = -\frac{\ell}{2} = \frac{1}{r} \cdot (a \cdot E \cdot F \cdot \Delta\theta - R) \quad \Rightarrow \Delta\vartheta_{X_1} = -\frac{r \cdot \ell}{2 \cdot \alpha \cdot E \cdot F} + \frac{R}{\alpha \cdot E \cdot F} \qquad (22)$$

Αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας [Γιαννακός, 1985, 1999] που οδηγεί το από $X_i=X_1$ στο $X_i= - \ell/2$ [η (17β) γίνεται σε συνδυασμό με τις (17α) και (22)]:

$$\Delta\theta = \Delta\theta_{X_i=\frac{\ell}{2}} - \Delta\theta_{X_i=X_1} = \frac{\ell \cdot r}{a \cdot E \cdot F} \quad \text{άρα} \quad \delta = a \cdot \frac{\ell}{2} \cdot \Delta\theta = \frac{r \cdot \ell^2}{2 \cdot E \cdot F} \qquad (23)$$

Υπενθυμίζουμε ότι η διαστολή είναι γραμμικά ανάλογη για μήκος μισής σιδηροτροχιάς :

$$\text{διαστολή} \quad \delta = \frac{\alpha \cdot \ell \cdot \Delta\theta}{2} \qquad (24)$$

η οποία είναι εφαπτομένη στην παραβολή της (20). Ας υποθέσουμε ότι μόλις η θερμοκρασία φθάσει τη μέγιστη τιμή της θ_{max}, αρχίζει να μειώνεται ξανά. Το άνοιγμα του αρμού παραμένει σταθερό αφού η R παραμένει σταθερή (Σχήμα 13). *Στο όριο η δύναμη φθάνει την τιμή της R δηλαδή στο όριο $(O_1O_2)=R$* οπότε η «σταθερότητα» του ανοίγματος του αρμού αντιστοιχεί σε διακύμανση θερμοκρασίας [από μηδενισμό της αγκύλης στην (19)]:

$$(O_1O_2) = R \Rightarrow$$

$$E \cdot F \cdot \alpha \cdot \Delta\theta - (R + r \cdot X_1) = 0 \Rightarrow E \cdot F \cdot \alpha \cdot \Delta\theta - (R + R) = 0 \Rightarrow \Delta\theta = \frac{2R}{\alpha \cdot E \cdot F} \qquad (25)$$

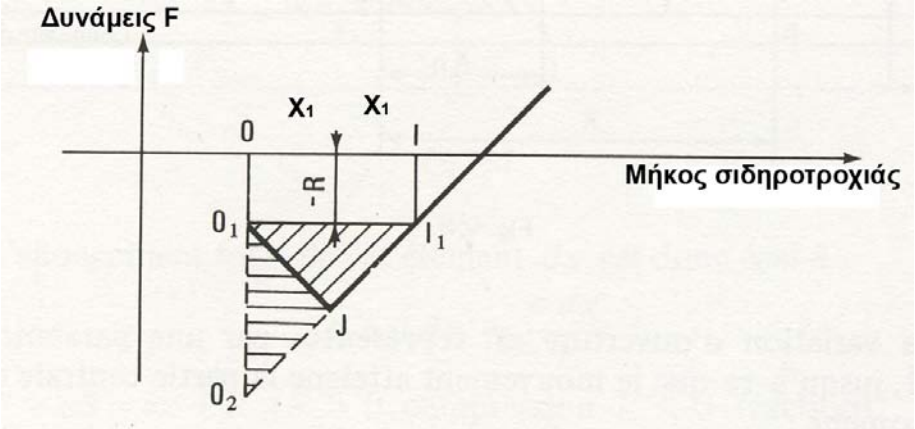
Όταν η θερμοκρασία θ συνεχίσει να μειώνεται κατά Δθ, η δύναμη μειώνεται ομοιόμορφα κατά $E \cdot F \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$ μέχρι το σημείο Ι (βλέπε Σχήμα 13) όπου η δύναμη είναι ίση με την R το οποίο σημείο Ι βρίσκεται σε απόσταση (ΟΙ) [Σχήμα 13]:

$$(OI) = \frac{E \cdot F \cdot \alpha \cdot \Delta\theta}{r} \qquad (26)$$

Μεταξύ των σημείων Ο και Ι το διάγραμμα παίρνει τη μορφή ισοσκελούς τριγώνου που οι πλευρές του παρουσιάζουν κλίση r.

Στον υπολογισμό της μετατόπισης του άκρου της σιδηροτροχιάς ο όρος

$$\Delta\delta = \frac{1}{E \cdot F}\int P \cdot dx \qquad (27)$$



Σχήμα 13: Διακύμανση δυνάμεων στο άκρο σιδηροτροχιάς αμφιδετούμενης γραμμής με τη διακύμανση της θερμοκρασίας [Γιαννακός, 1985, 1999]

Μειώνεται κατά την επιφάνεια του τριγώνου (O_1O_2J) ήτοι [βλέπε και (25)] όπου το ύψος του τριγώνου (O_1O_2J)= (OI)/2 :

$$\text{μείωση} \qquad \Delta\delta = (O_1JI_1) = \frac{1}{2}\cdot E\cdot F\cdot\alpha\cdot\Delta\theta\cdot\frac{E\cdot F\cdot\alpha\cdot\Delta\theta}{2\cdot r} = \frac{E\cdot F\cdot\alpha^2\cdot\Delta\theta^2}{4\cdot r} \qquad (28)$$

Από το ισοσκελές τρίγωνο και την (25) προκύπτει ότι: $(O_1O_2)=a\cdot E\cdot F\cdot\Delta\theta$ (29)⇨

$$\Delta\delta = (O_1O_2I_1) = \frac{1}{2}\cdot(\alpha\cdot E\cdot F\cdot\Delta\theta)\cdot\frac{(\alpha\cdot E\cdot F\cdot\Delta\theta)}{2\cdot r} = \frac{\alpha\cdot E\cdot F\cdot\Delta\theta}{4\cdot r} \qquad (30)$$

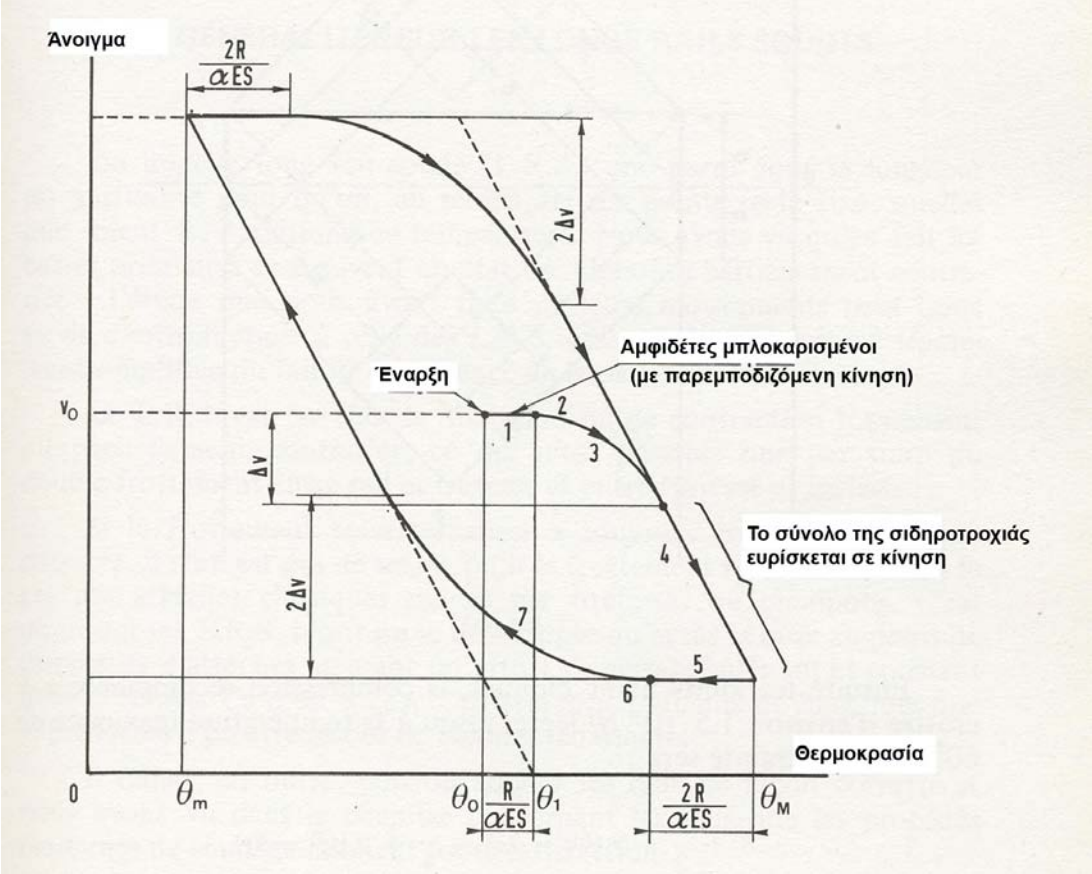
Από την (30) υπολογίζουμε τη συνολική μετατόπιση που δίδεται από το τρίγωνο ($O_1O_2I_1$) αφαιρώντας τη μείωση (28):

$$\Delta\delta_{\text{συνολική}} = (O_1O_2I_1) - (O_1JI_1) = \frac{E\cdot F\cdot\alpha^2\cdot\Delta\theta^2}{2\cdot r} - \frac{E\cdot F\cdot\alpha^2\cdot\Delta\theta^2}{4\cdot r} = \frac{E\cdot F\cdot\alpha^2\cdot\Delta\theta^2}{4\cdot r} \qquad (31)$$

Η διακύμανση του ανοίγματος του αρμού συνεπώς είναι παραβολή σε κατακόρυφο άξονα (Oy) με τη μισή τιμή (παράμετρο) από την προηγούμενη παραβολή της εξίσωσης (20) και ακολουθεί τον νόμο της (24).

Το Σχήμα 14 δείχνει το σύνολο της κίνησης του αρμού με την παραδοχή ότι οι αρμοί είναι ρυθμισμένοι σωστά και δεν συμβαίνει ποτέ «μπλοκάρισμα» του αρμού. Παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει αμφιμονοσήμαντη αντιστοιχία μεταξύ της τιμής της θερμοκρασίας και του ανοίγματος (διακένου) των αρμών. Στην πραγματικότητα, λόγω της όδευσης των σιδηροτροχιών, οι μετατοπίσεις των άκρων των σιδηροτροχιών στους αρμούςδεν ακολουθούν τους κύκλους που παρουσιάζονται στο Σχήμα 14. Οι κινήσεις είναι στην πραγματικότητα πολύ πιο σύνθετες και ακόμη και στην περίπτωση σωστής ρύθμισης των αρμών από την αρχή, μπορεί να εμφανισθούν

«μπλοκαρίσματα» των αρμών. Το πρόβλημα λοιπόν συνίσταται –αφού καθορίσουμε κατ' αρχάς τη μέγιστη θλιπτική δύναμη- να καθορίσουμε το μήκος στο οποίο θα εφαρμοσθεί η ανοχή του αρμού.



Σχήμα 14: Η συνολική κίνηση ενός αρμού ρυθμισμένου σωστά κατά τον Κανονισμό ώστε να μη συμβεί ποτέ «μπλοκάρισμα» αρμού. [Γιαννακός, 1999, Alias, 1984]

Συνεχίζοντας με την ίδια συλλογιστική και τον ίδιο τρόπο φθάνουμε στη λειτουργία που απεικονίζει το Σχήμα 14, όπου θ_0 η αρχική θερμοκρασία, $\theta_M=\theta_{max}$ και $\theta_m=\theta_{min}$. Έχουμε δει (13) ότι η διακύμανση του μήκους της σιδηροτροχιάς δίδεται:

$$\Delta\ell = \alpha\cdot\ell\cdot\left[\Delta\theta - \frac{1}{\alpha\cdot E\cdot F}\left(R+\frac{r\cdot\ell}{4}\right)\right] \qquad (32\alpha)$$

τύπος ο οποίος μπορεί να γίνει:

$$\Delta\ell = \alpha\cdot\ell\cdot\left[\Delta\theta - \frac{1}{k}\left(R+\frac{r\cdot\ell}{4}\right)\right] \qquad (32\beta)$$

Όπου $\mathbf{k=\alpha\cdot E\cdot F}$ με μέγεθος της τάξης 1,5 t/^{0}C, ο δε όρος $\frac{1}{k}\left(R+\frac{r\cdot\ell}{4}\right)$ αντιπροσωπεύει την υστέρηση στο κλείσιμο των αρμών λόγω τριβής.

Ξεκινώντας με μηδενική τάση (στην αρχική θερμοκρασία ρύθμισης των αρμών), η δύναμη στο μέσον των σιδηροτροχιών θα αυξηθεί μέχρι $\mathbf{R+\frac{r\cdot\ell}{2}}$ τιμή που θα τη φτάσουμε σε θερμοκρασία

$$\mathbf{t_1=t_0+\frac{R+\frac{r\cdot\ell}{2}}{k}} \qquad (33)$$

Η τάση δεν θα αυξηθεί πια μέχρι να φθάσουμε τη θερμοκρασία που θα κλείσει ο αρμός: $\theta_{\text{κλεισίματος πραγματ}}=\theta_{\text{κλεισίματος ελευθ}}+\frac{1}{k}(R+\frac{r\cdot\ell}{4})$ (34)

Όπου $\theta_{\text{κλεισίματος ελευθ}}$ είναι η θερμοκρασία που κλείνει ο αρμός με ελεύθερη διαστολή. Στη συνέχεια, αφού πια μπλοκάρεται ο αρμός η πίεση αρχίζει να αυξάνει και πάλι με περίπου 1,5t/^{0}C μέχρι και μια μέγιστη θερμοκρασία 63 ^{o}C για την Ελλάδα όπου η δύναμη γίνεται :

$$\mathbf{P=R+\frac{r\cdot\ell}{2}+k\cdot(63-t_{\text{κλεισίματος πραγματικ}})=\frac{r\cdot\ell}{4}+k\cdot(63-t_{\text{κλεισίματος ελευθ}})} \quad (35)$$

Αν η θ_1 είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία που το διάκενο του αρμού κλείνει, βρίσκουμε θλιπτική δύναμη στο μέσον του μήκους μικρότερη από την τιμή που υπολογίζεται στη συνέχεια. Ως παράδειγμα, με ελαστικούς συνδέσμους και r=0,8 t/m, $\theta_{\text{κλεισιμ. πραγμ.}}$ = 35 ^{0}/C, $\theta_{\text{κλεισιμ. ελευθ.}}$= 46 ^{0}/C, $\alpha=10{,}5\cdot10^{-6}$, σιδηροτροχιά UIC60 με E=210000 N/mm^2 και F=76,86 cm^2= 7686 mm^2, υπολογίζουμε από την εξίσωση (36) P_{max} = 62,368 t για μήκος 100 m.

Αν καθορίσουμε από πριν την τιμή της P, μειώνεται το ℓ σύμφωνα με τον τύπο

$$\mathbf{\ell\le\frac{4}{r}\left[P-k\cdot(63-t_{\text{κλεισίματος ελευθ}})\right]} \qquad (36)$$

Λαμβάνουμε έτσι το μέγιστο μήκος στο οποίο μπορούμε να έχουμε 'παίξιμο' για πλήρες κλείσιμο των αρμών. Είναι μια μέγιστη δύναμη 80t (τάξη μεγέθους) για την οποία πρέπει να υπολογίσουμε τους αρμούς [Γιαννακός, 1985,1999].

Λαμβάνεται κατ' αυτόν τον τρόπο το μέγιστο μήκος για το οποίο αποδεχόμαστε ως ανοχή το πλήρες κλείσιμο των αρμών. Στην Ελλάδα (και στη Γαλλία) λαμβάνεται υπ' όψη δύναμη 80 t περίπου για την οποία υπολογίσθηκαν οι επιτρεπόμενες ανοχές συστολοδιαστολές των αρμών. Είναι αυτονόητο ότι πρέπει περιοδικά να ρυθμίζονται τα διάκενα των αρμών ώστε κατά την περιοδο των υψηλών θερμοκρασιών να μην διακινδυνεύουμε υπέρβαση των παραπάνω ανοχών. Θα πρέπει να γίνεται ετήσια ρύθμιση κάθε άνοιξη.

2.- ΓΡΑΜΜΕΣ ΜΕ ΣΥΝΕΧΩΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΜΕΝΕΣ ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΕΣ (Σ.Σ.Σ)

2.1. Γενικά

Μια σιδηροτροχιά της οποίας το μήκος είναι επαρκές ώστε ένα, τουλάχιστον σημείο να μένει σταθερό ανεξάρτητα από τις μεταβολές της θερμοκρασίας, μπορεί να είναι το μοντέλο της μικρότερης Σ.Σ.Σ. Προηγουμένως αναπτύχθηκε η λειτουργία των σιδηροτροχιών κανονικής γραμμής (με αρμούς) όπου φάνηκε ότι οι σιδηροτροχιές

βρίσκονται σε κατάσταση μερικώς παρεμποδιζόμενης διαστολής. Αυτή η μελέτη μπορεί να μας χρησιμεύσει στην ανάπτυξη των Σ.Σ.Σ.
Οι Σ.Σ.Σ. είναι σιδηροτροχιές που συνδέονται μεταξύ τους με συγκολλήσεις και όχι με αμφιδέσεις. Υπάρχει λοιπόν το κεντρικό τμήμα τους όπου υπάρχει κατάσταση πλήρους παρεμπόδισης της διαστολής και τα δύο ακραία τμήματα τα οποία λειτουργούν ως γραμμή με αρμούς. Όπως είδαμε και στο κεφάλαιο για τους συνδέσμους, οι διπλά ελαστικοί σύνδεσμοι πρέπει να έχουν αντίσταση σε ολίσθηση σιδηροτροχιάς σε σχέση με το στρωτήρα πολύ μεγαλύτερη από την αντίσταση σε ολίσθηση στρωτήρα ως προς το έρμα. Ακριβώς επειδή το κεντρικό τμήμα των Σ.Σ.Σ. πρέπει να έχει πλήρως παρεμποδιζόμενη παραμόρφωση, αναπτύχθηκαν οι Σ.Σ.Σ. με την εμφάνιση των διπλά ελαστικών συνδέσμων, που εξασφαλίζουν μια σύσφιξη επαρκή και σταθερή στο χρόνο.
Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα δίκτυα οδηγήθηκαν στην εφαρμογή των Σ.Σ.Σ. επειδή η γραμμή με αρμούς παρουσιάζει πολλά μειονεκτήματα: Με την ασυνέχεια της ροπής αδράνειας και της επιφάνειας κύλισης στους αρμούς δημιουργούνται συνθήκες που προκαλούν χειροτέρευση της γεωμετρίας της γραμμής με αποτέλεσμα να αυξάνονται σημαντικά οι δαπάνες συντήρησης. Προκαλείται μείωση της άνεσης των επιβατών με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η ανάπτυξη υψηλών ταχυτήτων. Δημιουργείται φθορά των τροχών με αποτέλεσμα αύξηση των δαπανών συντηρησής τους.
Με τις Σ.Σ.Σ. επειδή δεν μεσολαβεί καμία ασυνέχεια όλα τα προβλήματα που δημιουργούνται από τους αρμούς καταργούνται.

2.2. Διαστολή των Σ.Σ.Σ.

Το κυριότερο στοιχείο που προκύπτει από την μελέτη των Σ.Σ.Σ. είναι ότι η κατά μήκος τάση είναι ανεξάρτητη του μήκους.

Πράγματι $\Delta\ell=\alpha\cdot\ell\cdot\Delta\theta$ για να παρεμποδιστεί αυτή η μεταβολή μήκους θα πρέπει να αναπτυχθεί τάση:

$$\sigma=\varepsilon\cdot E=\frac{\Delta\ell}{\ell}\cdot E=E\cdot\frac{\alpha\cdot\ell\cdot\Delta\theta}{\ell}=\alpha\cdot E\cdot\Delta\theta \qquad (37)$$

και επειδή

$$\sigma=\frac{P}{F}=\alpha\cdot E\cdot\Delta\theta\Rightarrow P=\alpha\cdot E\cdot F\cdot\Delta\theta \qquad (38)$$

Από το οποίο προκύπτει ότι η αναπτυσσόμενη δύναμη είναι ανεξάρτητη του μήκους και άρα, πρακτικά, μπορεί να έχουμε πολύ μεγάλα μήκη Σ.Σ.Σ (θεωρητικά άπειρο μήκος).
Όπως είδαμε στους αρμούς, η πλήρως παρεμποδιζόμενη παραμόρφωση συμβαίνει όταν:

$$\alpha\cdot\Delta\theta-\frac{\sigma}{E}=0\Rightarrow\sigma=E\cdot\alpha\cdot\Delta\theta \qquad (39)$$

τύπος στον οποίο καταλήγουμε και στις συνεχώς συγκολλημένες σιδηροτροχιές όπως και στις γραμμές με αρμούς. **Εδώ η δύναμη της αμφίδεσης R=0**. Εχουμε λοιπόν μόνο τον όρο :

$$P = r \cdot x = E \cdot \alpha \cdot \Delta\theta \cdot F \Rightarrow x = \frac{1}{r} \cdot E \cdot \alpha \cdot \Delta\theta \cdot F \qquad (40)$$

όπου r η ανά μέτρο αντίσταση του έρματος για τη σκάρα της γραμμής άρα και τις δύο σιδηροτροχιές.

Με την ίδια μέθοδο που χρησιμοποιήσαμε τους αρμούς θα υπολογίσουμε τη μετακίνηση ενός σημείου της ζώνης εκτονώσεως (της ακραίας περιοχής δηλ.) των Σ.Σ.Σ.. Αν X είναι το μήκος κίνησης (ζώνη «αναπνοής») έχουμε:

$$P = r \cdot X_1 = E \cdot F \cdot \alpha \cdot \Delta\theta \Rightarrow X_1 = \frac{E \cdot F \cdot \alpha \cdot \Delta\theta}{r} \qquad (41)$$

Ο ακόλουθος πίνακας δίδει τα μήκη εκτόνωσης («αναπνοής») για τις τιμές r κυμαινόμενες μεταξύ 2500 N/m και 6000 N/m, δηλαδή για γραμμές μη σταθεροποιημένες και πλήρως σταθεροποιημένες.

Πίνακας 1: Μήκη ζώνης εκτόνωσης [πηγή Alias, 1984]

Σιδηροτροχιά	r=2500 N/m	r=600 N/m
46 kg/m	240 m	100 m
50 kg/m	260 m	108 m
60 kg/m	312 m	130 m

Η μετατόπιση ενός σημείου στην περιοχή του άκρου γραμμής με Συνεχώς Συγκολλημένες Σιδηροτροχιές (Σ.Σ.Σ.), δίδεται από την εξίσωση [βλέπε (18) και (19)]:

$$\delta = \int_P^M (\alpha \cdot \Delta\theta - \frac{\sigma}{E}) \cdot d\ell \Rightarrow \delta = \frac{r \cdot x^2}{2 \cdot E \cdot F} \qquad (42)$$

Στο άκρο **x=z** και έχουμε:

$$\delta = \frac{r \cdot z^2}{2 \cdot E \cdot F} \qquad (43)$$

Βρίσκουμε στην (43) ξανά τη μετατόπιση παραβολικής μορφής της γραμμής με αρμούς [βλέπε (21)]. Στο άκρο των ΣΣΣ, έχουμε x=X και η (43) γίνεται χρησιμοποιώντας και την (41):

$$\delta = \frac{r \cdot X_1^2}{2 \cdot E \cdot F} = \frac{r}{2 \cdot E \cdot F} \cdot \left(\frac{E \cdot F \cdot \alpha \cdot \Delta\theta}{r} \right)^2 \Rightarrow \delta = \frac{E \cdot F \cdot \alpha^2 \cdot \Delta\theta^2}{2 \cdot r} \qquad (44)$$

1) Για να βρούμε το μήκος της ζώνης εκτόνωσης («αναπνοής») των Σ.Σ.Σ ℓ_z:

$$P = r \cdot \ell_z = \alpha \cdot E \cdot F \cdot \Delta\theta \quad \Rightarrow \quad \ell_z = \frac{\alpha \cdot E \cdot F \cdot \Delta\theta}{r} \qquad (45)$$

Οι τιμές της ανά μέτρο μήκους τριβής είναι [Γιαννακός, 1985,1999]:

r=8kg/m γραμμής για ξύλινους στρωτήρες
r=10kg/m γραμμής για μπετονένιους στρωτήρες
r=12kg/m γραμμής για μεταλλικούς στρωτήρες

Το μήκος ℓ_z ζώνης εκτόνωσης, είναι αυτό που απαιτείται για να εξισορροπηθούν πλήρως οι αναπτυσσόμενες τάσεις λόγω θερμοκρασιακής μεταβολής από τη δύναμη τριβής στρωτήρα – έρματος. Μετά το μήκος αυτό δεν έχουμε μετακίνηση. Το μέγιστο μήκος της ζώνης εκτόνωσης φθάνει τα 150m.
Σύμφωνα με τον ορισμό των Σ.Σ.Σ., το μικρότερο μήκος τους είναι 2x150=300m. Για την εκτόνωση των Σ.Σ.Σ. υπάρχουν – σε κάθε άκρο τμημάτων γραμμής στρωμένων με Σ.Σ.Σ. – Συσκευές Διαστολής (Σ.Δ.). Για τη ρύθμιση των Σ.Δ. υπάρχουν δύο τεχνικές οδηγίες οι οποίες διανέμονται μαζί με τις σημειώσεις αυτές. Για το λόγο αυτό δεν κρίνεται απαραίτητη η αναπτυξή τους.

2) Για να βρούμε το μήκος κίνησης δ της συσκευής διαστολής από την εξίσωση (44) για σιδηροτροχιά UIC60, $\alpha = 1{,}05 \times 10^{-5}$, $E_{\chi\acute{\alpha}\lambda\upsilon\beta\alpha\ \sigma\iota\delta/\chi\iota\acute{\alpha}\varsigma} = 215\ kN/mm^2$, $\Delta\theta = 45\ ^0C$ και για αντίσταση γραμμής ρ=2500 N/m = 0,25 t/m για γραμμή μη σταθεροποιημένη βρίσκουμε $\delta \cong 31$ mm και για r=6000 N/m για σταθεροποιημένη γραμμή βρίσκουμε $\delta \cong 74$ mm. Αυτές οι μετατοπίσεις των αιχμών της συσκευής διαστολής επιτρέπουν να καθορισθεί η «διαδρομή» της συσκευής διαστολής στα άκρα ΣΣΣ με σιδηροτροχιές UIC60.

2.3. Σταθερότητα των Σ.Σ.Σ.

2.3.1. Στην κατακόρυφη διεύθυνση [Γιαννακός 1983]

Ας υποθέσουμε τη σιδηροτροχιά με τεταγμένη z χωρίς μόνιμη παραμόρφωση, δηλαδή το όριο ελαστικότητάς της δεν έχει ξεπερασθεί σε κανένα σημείο και παίρνει ακριβώς το σχήμα της επιφάνειας στην οποία εδράζεται. Η σιδηροτροχιά είναι τμήμα μιας επιδομής γραμμής που έχει στρωθεί επί μιας υποδομής που παραμορφώνεται σε ημιτονοειδή μορφή και το μέτρο ελαστικότητας του εδάφους είναι επαρκώς μεγάλο ώστε να μπορεί να γίνει η παραδοχή για κάθε x, $z=z_1$. Η κατά μήκος μορφή της υποδομής είναι:

$$z_1 = b \cdot \cos \omega x \qquad (46)$$

με $\omega = \dfrac{2\pi}{L}$.

Έστω $\bar{\omega}$ το γραμμικό βάρος της γραμμής, r η γραμμική αντίσταση γραμμής του έρματος κάτω από τους στρωτήρες, με παραδοχή ομοιόμορφης κατανομής.
Αν P η δύναμη εντός της σιδηροτροχιάς οφειλόμενη σε παρεμποδιζόμενη διαστολή, η εξίσωση ισορροπίας είναι:

$$\mathbf{E\cdot J\cdot \frac{d^4 z_1}{dx^4} + P\cdot \frac{d^2 z_1}{dx^2} + (\bar{\omega} - r) = 0} \qquad (47)$$

και χρησιμοποιώντας την (46):

$$\mathbf{\frac{d^2 z_1}{dx^2} = -b\cdot \omega^2 \cdot \cos \omega x, \qquad \frac{d^4 z_1}{dx^4} = +b\cdot \omega^4 \cdot \cos \omega x \Rightarrow}$$

$$\mathbf{E\cdot J\cdot b\cdot \omega^4 \cdot \cos \omega x - P\cdot b\cdot \omega^2 \cdot \cos \omega x + \bar{\omega} = r \Rightarrow}$$

$$\mathbf{r = \bar{\omega} + \left[E\cdot J\cdot \omega^4 - P\cdot \omega^2\right]\cdot b\cdot \cos \omega x} \qquad (48)$$

Για $\mathbf{P < \frac{4\cdot \pi^2 \cdot E\cdot J}{L^2}}$ η γραμμή είναι υπερφορτισμένη στις κορυφές και αποφορτισμένη στις κοιλίες. Αυτό ισχύει οπωσδήποτε εφ' όσον **P<0**. Για $\mathbf{P > \frac{4\cdot \pi^2 \cdot E\cdot J}{L^2}}$, ο όρος $\mathbf{E\cdot J\cdot \omega^4 - P\cdot \omega^2 < 0}$

Υπ' αυτές τις συνθήκες $\mathbf{r>\bar{\omega}}$ στις κοιλίες και $\mathbf{r<\bar{\omega}}$ στις κορυφές. Είναι λοιπόν προφανές ότι αποφορτισμένη στις κορυφές και υπερφορτισμένη στις κοιλίες.
Σε υψηλές θερμοκρασίες η δύναμη P μπορεί να φθάσει μια επαρκώς μεγάλη τιμή ώστε το r να μηδενίζεται στην «κορυφή» των κορυφών της ημιτονοειδούς μορφής της γραμμής. Στην περίπτωση αυτή:

$$\mathbf{-\bar{\omega} = \left[E\cdot J\cdot \omega^4 - P\cdot \omega^2\right]\cdot b\cdot 1 \Rightarrow b = b_{κρισιμο} = \frac{\bar{\omega}}{\left[P\cdot \omega^2 - E\cdot J\cdot \omega^4\right]\cdot}} \qquad (49)$$

Αυτή η τιμή $\mathbf{b_{κρισιμο}}$ γίνεται ελάχιστη για P δεδομένο, εφ' όσον:

$$\mathbf{\omega^2 = \frac{P}{2\cdot E\cdot J} \quad ή \quad L^2 = \frac{8\cdot \pi^2 \cdot E\cdot J}{P}} \qquad (50)$$

και υπό τις συνθήκες αυτές:

$$\mathbf{b = \frac{4\cdot \bar{\omega}\cdot E\cdot J}{P^2}} \qquad (51)$$

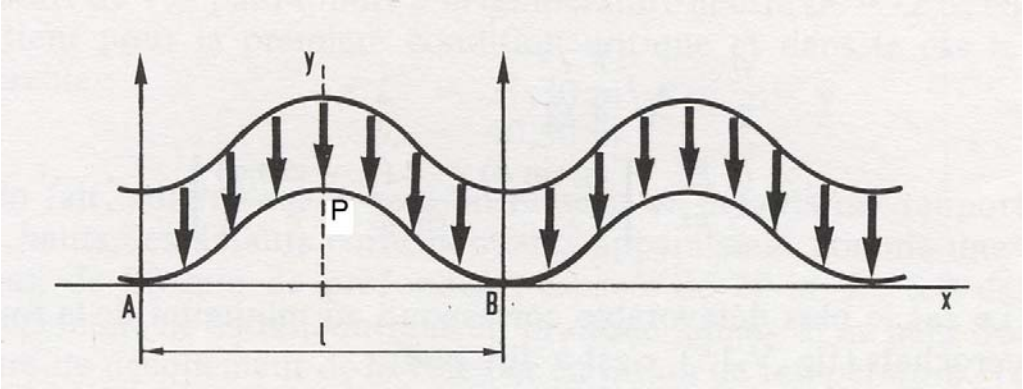
Είναι η *πρώτη κρίσιμη συνθήκη*: πιο μικρό εύρος προϋπάρχοντος υψομετρικού σφάλματος επιφέρει τον μηδενισμό της αντίδρασης του στρωτήρα στην «κορυφή» των κορυφών της κύμανσης της γραμμής.

Εάν: $\mathbf{P > \frac{4\cdot \pi^2 \cdot E\cdot J}{L^2} + \frac{\bar{\omega}\cdot L^2}{4\cdot \pi^2 \cdot b}}$, η γραμμή μερικώς αποκολλάται από την υποδομή στις «κορυφές» των κορυφών της «κύμανσης» της γραμμής και οι προηγούμενες εξισώσεις δεν ισχύουν πλέον. Μια περιοχή επιδομής γραμμής αποκολλημένης από την υποδομή, συμμετρικά σε σχέση με την κορυφή επεκτείνεται βαθμιαία με την κυκλοφορία και τη διέλευση φορτίων (Σχήμα 15)

Το μήκος της περιοχής αυτής αυξάνεται με τη δύναμη P μέχρι το σημείο όπου η επιδομή δεν στηρίζεται παρά μόνο σε σημεία χαμηλά στις κοιλίες της κύμανσης της γραμμής.
Φθάνουμε λοιπόν στη *δεύτερη κρίσιμη συνθήκη*: η δύναμη P συγκεντρωμένη σημειακά δεν μπορεί να αυξηθεί περισσότερο, είναι το όριο πλευρικής παραμόρφωσης της επιδομής της γραμμής.

Η επιδομή της γραμμήςπαρουσιάζει την ακόλουθη εικόνα:

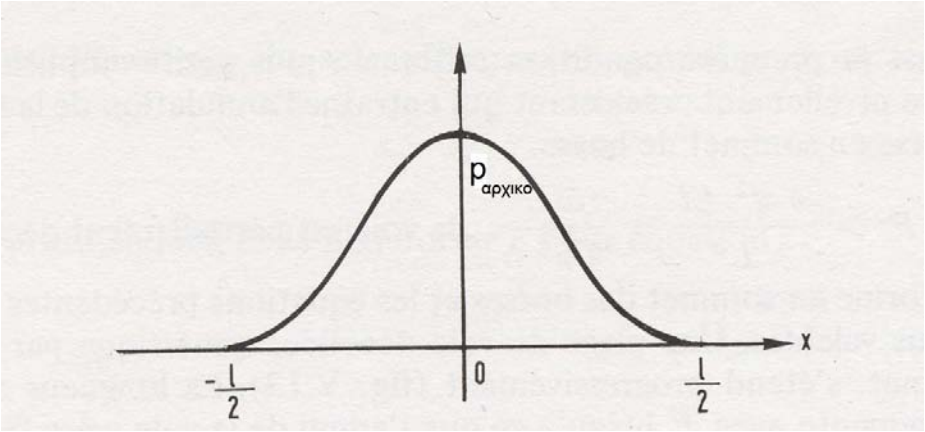
- είναι αποκολλημένη σε όλα τα σημεία εκτός από σημειακές στηρίξεις στα χαμηλά των κοιλιών της κύμανσης της γραμμής και
- πολλαπλά «κύμματα» ισομήκη



Σχήμα 15: Βαθμιαία επέκταση της αποκόλλησης της επιδομής της γραμμής από την υποδομή.

Η διαφορική εξίσωση, αφού το r είναι μηδέν σε όλο το μήκος, εκτός από τα A και B (Σχήμα 15 και Σχήμα 16), θα είναι:

$$\mathbf{E \cdot J \cdot z^{IV} + P \cdot z'' + \bar{\omega} = 0} \qquad (52)$$



Σχήμα 16: Σημεία μηδενισμού της μετατόπισης της γραμμής

Της οποίας η γενική λύση είναι [Alias, 1984]:

$$z = C_1 - \frac{\bar{\omega} \cdot x^2}{2 \cdot P} + C_2 \cdot \cos \nu x \qquad (53)$$

Όπου: $\nu = \sqrt{\frac{P}{E \cdot J}}$

Οι σταθερές C1 και C2 υπολογίζονται για τις οριακές συνθήκες στη θέση x=ℓ/2 όπου η μετατόπιση και η πρώτη παράγωγός της ισούνται με μηδέν (Σχήμα 16):

$$z\left(\frac{\ell}{2}\right) = z'\left(\frac{\ell}{2}\right) = 0$$

Η τιμή της τεταγμένης στην αρχή είναι $z_0=p_{αρχικο}$ (Σχήμα 16) στη θέση ισορροπίας και κάνοντας όλους τους μετασχηματισμούς και θέτοντας:

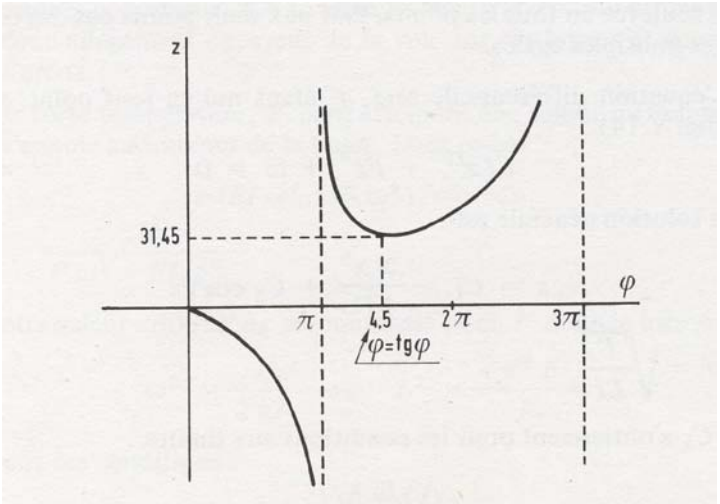
$$\varphi = \frac{\nu \cdot \ell}{2} = \sqrt{\frac{P \cdot L^2}{4 \cdot E \cdot J}} \qquad \text{(a)}$$

$$p_{αρχικό} = \frac{\bar{\omega} \cdot E \cdot J}{2 \cdot P} \cdot \varphi \cdot \left[\frac{(\varphi \cdot \sin\varphi) - 2 \cdot (1 - \cos\varphi)}{\sin\varphi} \right] \qquad \text{(b)} \qquad (54)$$

Η δυσμενέστερη περίπτωση αντιστοιχείνστο ελάχιστο της συνάρτησης στιην αγκύλη, δηλαδή για [Alias, 1984]:

$$\ell = 9 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{P}} \qquad \text{(a)}$$

$$p_{αρχικό} = 15{,}75 \cdot \frac{\bar{\omega} \cdot E \cdot J}{P^2} \qquad \text{(b)} \qquad (55)$$



Σχήμα 17: Ελάχιστη τιμή της αγκύλης της εξίσωσης (55b) [Alias, 1984]

Πρόκειται για ασταθή ισορροπία αφού ξεκινώντας από τη θέση ισορροπίας, αν αυξάνεται το P το $p_{αρχικο}$ θα πρέπει να μειούται ώστε να διατηρηθεί η ισορροπία. Ομοίως θα πρέπει στη θέση ισορροπίας **z''=0** στα σημεία στήριξης. Προκύπτει ότι οι συνθήκες ισορροπίας είναι ίδιες είτε για ένα «κύμα» είτε για μια διαδοχή ίσων «κυμάτων». Στην πράξη τα κρίσιμα βέλη είναι πιο μεγάλα από τα υπολογιζόμενα διότι όταν η σιδηροτροχιά αποκολλάται προκαλείται επιμήκυνση του ουδετέρου άξονα και συνεπώς μείωση των τάσεων λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών. Η πλήρης και λεπτομερής μελέτη οδηγεί σε τιμές μεγαλύτερες των παραπάνω.
Στην πράξη επί γραμμής τα σφάλματα γραμμής μετρώνται σχετικά με τα «υψηλά» σημεία και κατ' αυτόν τον τρόπο τα σφάλματα εμφανίζονται ως διαδοχή κοιλιών βάθους 80 mm σε αποστάσεις των 20 m. Δεν είναι δυνατόν λοιπόν να προκληθεί αποκόλληση της γραμμής με αύξηση της θερμοκρασίας κατά την κατακόρυφο. Όμως στις κορυφές αν μερικοί στρωτήρες «χορεύουν» λόγω κακής γεωμετρίας της γραμμής, η κατάσταση αυτή χειροτερεύει με τη μείωση της εγκάρσιας αντίστασης τα, αλλά τελικά δεν μπορεί να οδηγήσει σε αποκόλληση της επιδομής σε μεγάλα μήκη γραμμής. Το αντιστοιχούν σφάλμα γραμμής στο όριο πλευρικής παραμόρφωσης –και που στην πράξη είναι διπλάσιο- δεν έχει καμμία πιθανότητα να εμφανισθεί επί γραμμής.
Για ένα σφάλμα με L=20 m, b=10 mm, η αντίδραση [βλέπε (48)] :

$$\mathbf{r = \bar{\omega} + \left[E \cdot J \cdot \omega^4 - P \cdot \omega^2 \right] \cdot b} \qquad (56)$$

Είναι της τάξεως των 0,125 έως 0,031 x 10^4 N/m. Αυτό σημαίνει ότι η τριβή των στρωτήρων στο έρμα μειούται κατά 26 % σε σχέση με την τριβή της ίδιας γραμμής χωρίς υψομετρικό σφάλμα. Προκύπτει μια μείωση στην πλευρική αντίσταση της γραμμής που μπορεί να έχει επιπτώσεις στη σταθερότητα στο οριζόντιο επίπεδο όπως παρουσιάζεται στη συνέχεια.

2.3.2. Στο οριζόντιο επίπεδο [Γιαννακός 1983]

Έστω y_1 η ημιτονοειδής εγκάρσια προϋπάρχουσα παραμόρφωση της μορφής:

$$\mathbf{y_1 = \alpha \cos \omega x} \qquad (57)$$

Η διαφορική εξίσωση ισορροπίας [Alias, 984]:

$$\mathbf{E \cdot J \cdot y^{IV} + (P - C) \cdot y'' + k \cdot y = k \cdot y_1} \qquad (58)$$

Χωρίς να παραθέσουμε πολύπλοκους μαθηματικούς υπολογισμούς καταλήγουμε σε *δύο κρίσιμες περιπτώσεις*:

(α) Η οριακή αντίσταση του έρματος τ_ℓ εξισορροπείται οριακά σε ένα μόνο σημείο του ημιτονοειδούς σφάλματος και έχουμε:

- το δυσμενέστερο μήκος κύματος $\mathbf{L_1 = 8{,}90 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{P - C}}}$ (59α)
- κρίσιμο εύρος $\mathbf{\alpha_1 = 8 \cdot \frac{\tau_1 \cdot E \cdot J}{(P_1 - C)^2}}$ (59β)

(β) Η οριακή αντίσταση του έρματος εξισορροπείται σε όλα τα σημεία

- το δυσμενέστερο μήκος κύματος $L_2 = 8{,}86 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{P_2 - C}}$ (60α)
- δεύτερο κρίσιμο εύρος $\alpha_2 = 10{,}2 \cdot \frac{\tau_1 \cdot E \cdot J}{(P_2 - C)^2}$ (60β)

Στο [Alias, 1984], δίδεται το παράδειγμα γαμμής με σιδηροτροχιά 50 kg/m διακύμανση θερμοκρασίας 45^0 και μια οριακή αντίσταση έρματος $2\tau_\ell = 0{,}7 \cdot 10^4$ N/m : $L_1=L_2=10{,}50$ m, $\alpha_1=38$ mm, $\alpha_2=47$ mm
Αυτές οι τιμές αντιστοιχούν σε βέλος 76 mm σε χορδή 10 m δεν απαντώνται ποτέ επί γραμμής.

Εξάγονται –από τις έρευνες – τα ακόλουθα θεμελιώδη συμπεράσματα:

- δεν παρουσιάζεται αστάθεια στην κατακόρυφη διεύθυνση
- για να παρουσιασθεί αστάθεια στο οριζόντιο επίπεδο πρέπει:
  - ✓ είτε να υπάρχει οριζοντιογραφικό σφάλμα πολύ σοβαρό, απίθανο σε κανονικές συνθήκες συντήρησης, αλλά πιθανό να προκύψει από μη κανονική δύναμη εξασκούμενη από βεβλαμένο όχημα
  - ✓ είτε από μείωση της εγκάρσιας αντίστασης προκύπτουσα:
    - από σφάλμα σκυρόστρωσης
    - από σφάλμα ευθυγράμμισης της σιδηροτροχιάς
    - από σφάλμα υψομετρικής κατάστασης της γραμμής συνεπακόλουθου σφάλματος χάραξης γραμμής

Οι κανόνες συντήρησης –αν ακολουθούνται κανονικά- καθιστούν όλες αυτές τις περιπτώσεις αδύνατες να συμβούν ιδίως με την απαίτησή τους να υπάρχει επισταμένη παρακολούθηση (επίβλεψη) της διατομής έρματος και της αντικατάστασης των στοιχείων των σιδηροτροχιών που τυχαία παραμορφώνονται.

2.4. Απελευθέρωση των τάσεων στις Σ.Σ.Σ.

Η συγκόλληση και τοποθέτηση Σ.Σ.Σ. είναι επιθυμητό να γίνονται σε θερμοκρασία ενδιάμεση ως προς τις ακραίες μέγιστες και ελάχιστες, για να επιπονείται η Σ.Σ.Σ. όσο γίνεται λιγότερο. Ως τέτοιες ενδιάμεσες θερμοκρασίες θεωρούνται για τις ελληνικές συνθήκες αυτές που περιλαμβάνονται στο εύρος 23 – 35^o C.
Ανεξάρτητα όμως από τη θερμοκρασία στην οποία τοποθετείται η Σ.Σ.Σ. επιδιώκεται να γίνει ανακούφιση των τάσεων λόγω θερμικών φαινομένων, πράγμα που κατορθώνεται με την απελευθέρωση τους και αποσκοπεί στον μηδενισμό των εσωτερικών τάσεων, στη μέση θερμοκρασία που είναι για τις ελληνικές συνθήκες 23 – 35^o C, με δημιουργία συνθηκών ελεύθερης διαστολής (ή συστολής). Η απελευθέρωση τάσεων γίνεται μετά από παρέλευση ενός ορισμένου χρονικού διαστήματος μετά την τοποθέτηση της Σ.Σ.Σ., το οποίο εξαρτάται από τον κυκλοφοριακό φόρτο που είναι απαραίτητος για τη σταθεροποίηση της γραμμής. Ο φόρτος αυτός είναι 100.000 t στην περίπτωση ξύλινων στρωτήρων και 20.000 t στην περίπτωση στρωτήρων από σκυρόδεμα.
Η απελευθέρωση τάσεων πρέπει να γίνεται διαδοχικά σε μήκη γραμμής από 300m και μέχρι 1200m. Ακολουθείται η παρακάτω μεθοδολογία:

1. Εφόσον η ΣΣΣ έχει μηκός μεγαλύτερο από 1200μ, η απελευθέρωση γίνεται κατά τμήματα. Κόβουμε τη σιδηροτροχιά στο άκρο κάθε τμήματος, το οποίο εκτρέπουμε, ώστε να μπορεί η σιδηροτροχιά να μετακινηθεί ελεύθερα.
2. Αφαιρούμε τους συνδέσμους. (Η απλά τους χαλαρώνουμε).
3. Τοποθετούμε τη σιδηροτροχιά πάνω σε κύλιστρα (που είναι κομμάτια στρογγυλού οπλισμού Φ20 και τοποθετούνται ανά 8 – 10 στρωτήρες) για να μειωθούν όσο γίνεται οι τριβές.
4. Περαιτέρω μείωση των τριβών πετυχαίνεται και με εγκάρσιες κρούσεις της σιδηροτροχιάς με ξύλινες ή πλαστικές βαρειές.
5. Εφόσον κατά την απελευθέρωση η θερμοκρασία αέρα είναι μικρότερη των 23^{o} C , θερμαίνουμε τη σιδηροτροχιά (με τη βοήθεια συσκευών θέρμανσης προπανίου), στην ιδανική μέση θερμοκρασία των 28 – 30ο C, που είναι επιθυμητή για τη μικρότερη επιπόνηση στις ακραίες θερμοκρασίες. Ευνόητο βέβαια είναι ότι αν η θερμοκρασία σιδηροτροχιάς βρίσκεται στο εύρος 23 – 35^{o} C δεν τη θερμαίνουμε.
6. Αφαιρούμε τα κύλιστρα και συσφίγγουμε τους συνδέσμους
7. Κόβουμε ή προσθέτουμε κομμάτι σιδηροτροχιάς και συγκολλούμε.
8. Η απελευθέρωση τάσεων πρέπει να γίνεται ταυτόχρονα και στις δύο τροχιοσειρές. Σε κάθε απελευθερούμενο τμήμα οι εργασίες πρέπει να εκτελούνται στο υφιστάμενο χρονικό διάκενο κυκλοφορίας.

2.4.1. Κανονιστικές Διατάξεις

Η αντίστοιχη Τεχνική Οδηγία του ΟΣΕ ορίζει ως Σ.Σ.Σ.: "κάθε σιδηροτροχιά της όποίας το μήκος είναι τέτοιο ούτως ώστε να υφίσταται πάντοτε ένα κεντρικό τμήμα σταθερό (αμετακίνητο) για οιανδήποτε μεταβολή της θερμοκρασίας. "
Επιπλέον καθορίζονται τα ακόλουθα:

2.4.2. Ουσιώδη χαρακτηριστικά των Σ.Σ.Σ.

Οι μεταβολές της θερμοκρασίας συνεπάγονται από την δημιουργία τάσεων θλίψεως ή εφελκυσμού επί των σιδηροτροχιών. Η σύνδεση των σιδηροτροχιών επί των στρωτήρων και ο εγκιβωτισμός των στρωτήρων εντός του έρματος, αντιτίθενται στην ελεύθερη μετακίνησή τους.
Η αναπτυσσόμενη έτσι αντίσταση ασκείται, κατά την έννοια του μήκους της γραμμής, και σε μέγεθος 1.000 χλγρ. περίπου ανά τρέχον μέτρο γραμμής, καλά όμως σταθεροποιημένης (με καλή γόμωση σε καλά συμπιεσμένο έρμα κανονικής διατομής), με συνέπεια σε μία ορισμένη απόσταση από το άκρο της ράβδου, η αναπτυσσόμενη ολική αντίσταση, να είναι επαρκής για να παρεμποδισθεί κάθε μετακίνηση της ράβδου προκαλούμενη από τις μεταβολές της θερμοκρασίας.
Γενικά είναι η μεσαία περιοχή των Σ.Σ.Σ., η οποία παραμένει πρακτικά αμετακίνητη και όπου εμφανίζονται οι θερμικές τάσεις με τις μεγαλύτερες τιμές κατά τις ακραίες θερμοκρασίες.
Για να παραμένουν οι τάσεις θλίψεως ή εφελκυσμού, σε λογικά όρια, απαιτείται ή στερέωση (σύσφιγξη συνδέσμων) των Σ.Σ.Σ. πραγματοποιείται στην πρέπουσα θερμοκρασία και λαμβάνονται ειδικές προφυλάξεις κατά την εκτέλεση επισκευών ή τροποποιήσεων των Σ.Σ.Σ έτσι ώστε αυτό να επιτυγχάνεται πάντα.

Από όλες τις πλευρές της μεσαίας περιοχής και σε μήκος μεταβλητό μη υπερβαίνοντος όμως, στην πράξη τα 150μ. από τα άκρα της ράβδου, οι κατά μήκος κινήσεις εμποδίζονται μερικώς μόνο (βλέπε παράγραφο 2.2. του παρόντος).
Οι περιοχές αυτές καλούνται «ζώνες εκτονώσεως» ή (ζώνες αναπνοής) οι δε παρατηρούμενες σ΄ αυτές κατά μήκος κινήσεις των σιδηροτροχιών, εμφανίζουν, προφανώς, την μέγιστη τιμή, σ' αυτά τα ίδια άκρα της Σ.Σ.Σ.
Για αποφυγή δημιουργίας στα άκρα της Σ.Σ.Σ., λόγω των ανωτέρω κινήσεων, απαράδεκτων διάκενων, γίνεται αναγκαία η χρησιμοποίηση των «συσκευών διαστολής» Σ.Δ. (ειδικής κατασκευής αρμών, επιτρεπόντων την ελεύθερη μετακίνηση των άκρων της Σ.Σ.Σ. χωρίς διακοπή της συνεχείας κυλίσεως).
Σε μια δεδομένη θερμοκρασία το χάσμα (άνοιγμα) μιας Σ.Δ. εξαρτάται από τις μεταβολές θερμοκρασίας, οι οποίες εμφανίσθηκαν επί της Σ.Σ.Σ από της στρώσεώς της. Ποικίλλει συνεπώς αυτό, περιλαμβάνεται όμως μέσα σε καθορισμένα όρια, για τη δεδομένη θερμοκρασία.
Είναι εξ ίσου συνάρτηση της διατομής των σιδηροτροχιών, όχι όμως και του μήκους αυτών, του μεγίστου μήκους της ζώνης εκτονώσεως όντος του ίδιου, για οποιοδήποτε μήκος της Σ.Σ.Σ.
Σημειούται ότι, για να μη προκαλείται ολίσθηση των σιδηροτροχιών επί των στρωτήρων αλλά μόνο κίνηση των στρωτήρων, στις ζώνες εκτονώσεως, είναι απαραίτητο οι σύνδεσμοι να εξασφαλίζουν μιά αποτελεσματική σύσφιγξη.
Η χρησιμοποίηση των ελαστικών συνδέσμων διευκολύνει την καλή διατήρηση της συσφίξεως.
Η αγκύρωση των στρωτήρων εντός του έρματος, τόσο κατά την κατά μήκος έννοια, όσο και κατά την εγκάρσια, είναι το πρωταρχικό στοιχείο για την σταθερότητα των γραμμών των στρωμένων με Σ.Σ.Σ. Είναι απαραίτητο να επαγρυπνούμε, για την διατήρηση της κανονικής διατομής του έρματος και να λαμβάνουμε ειδικά προφυλακτικά μέτρα, κατά την εκτέλεση οποιασδήποτε εργασίας, που επηρεάζει τη σταθερότητα της γραμμής.
Τα στελέχη οφείλουν πάντοτε να έχουν υπ΄ όψιν τους:

(α) Οτι μία γραμμή, πρόσφατα στρωμένη, δεν αποκτά παρά συν τω χρόνω την τελική της σταθερότητα.
(β) Οτι πάσα εργασία, η οποία απαιτεί ανύψωση ή οριζόντια μετατόπιση, έστω και μικρού μεγέθους, μιάς γραμμής εν εκμεταλλεύσει, συνεπάγεται αξιοσημείωτη χαλάρωση της στερεότητας αυτής, σε χρονικό διάστημα, περίπου μεγάλο. Για το λόγο αυτόν, τέτοιες επεμβάσεις απαγορεύονται απόλυτα χωρίς βραδυπορία, εφ΄ όσον οι συνθήκες θερμοκρασίας, όπως αυτές προσδιορίζονται στα επόμενα κεφάλαια, δεν υφίστανται.

Μετά την δεύτερη ανύψωση γραμμής, σε εκμετάλλευση στην οποία έγιναν πρόσφατα εργασίες συντήρησης ή τροποποιήσεις δημιουργώντας χαλάρωση της στερεότητας αυτής, γίνεται αναγκαία η διέλευση αριθμού κάποιων φορτίων για να θεωρηθεί ότι, αυτή επανέκτησε την σταθερότητά της σε βαθμό ικανοποιητικό, υπό οποιεσδήποτε συνθήκες θερμοκρασίας.
Η απαιτούμενη χρονική περίοδος για την διέλευση των ανωτέρω φορτίων ονομάζεται «χρόνος σταθεροποιήσεως». Ετσι προδιορίζεται κατά τον ακολούθως εκτιθέμενο τρόπο, χωρίς να είναι όμως μικρότερος των 2 ημερών. Ο τελευταίος αυτός περιορισμός δεν εφαρμόζεται εν τούτοις για γραμμές στρωμένες με στρωτήρες από

σκυρόδεμα ή για γραμμές με ξύλινους στρωτήρες, στις οποίες έγινε συμπύκνωση του έρματος με μηχανήματα.

Πίνακας 2: Διέλευση αναγκαίου φορτίου για άρση βραδυποριώνμετά τις εργασίες επί γραμμής [Γιαννακός, 1983, 1999]

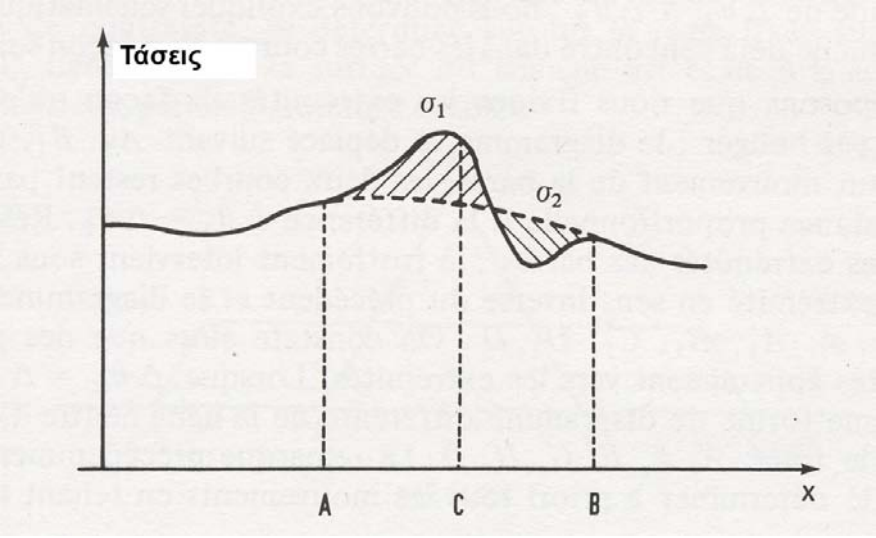
	Διέλευση από φορτίων από:	
	Στρωτήρες από σκυρόδεμα	Αλλες εδράσεις (στρωτήρες)
α. <u>Ανακαινίσεις</u>		
1. Μετά την 2η Ανύψωση	20.000	100.000
2. Μετά συμπληρωματική υψομετρική τακτοποίηση με βαρέα μηχανήματα γομώσεως και με οριζοντιογραφική στη συνέχεια τακτοποίηση εντός 24 ωρών.		
- Με ανυψώσεις μεταξύ υψηλών σημείων (Υ.Σ) < 50 χλστ. και οριζόντιες μετατοπίσεις (Υ.Σ) < 20 χλστ.		
- Ανυψώσεις και οριζόντιες μετατοπίσεις μεγαλύτερες των προηγουμένων τιμών	0	20.000
β. <u>Εργασίες συντήρησης 2ας κατηγορίας όπως αυτές καθορίζονται στο Κεφάλαιο Δ΄</u>	20.000	100.000
1. Με ανύψωση με βαρέα μηχανήματα γομώσεως και οριζοντιογραφική στη συνέχεια τακτοποίηση πραγματοποιούμενη μέσα σε 24 ώρες.		
- Με ανυψώσεις μεταξύ Υ.Σ. < 50 χλστ. και οριζόντιες μετατοπίσεις < 20 χλστ.		
- Ανυψώσεις και οριζόντιες μετατοπίσεις μεγαλύτερες των προηγούμενων τιμών.		
2. Αλλές επί μέρους εργασίες 2ας κατηγορίας.	0	20.000
γ) Εργασίες τροποποιήσεως, που δημιουργούν χαλάρωση της στερεότητας της γραμμής όπως αυτές προσδιορίζονται στην αντίστοιχη Τεχνική Οδηγία	20.000 20.000 20.000	100.000 100.000 100.000

Πρέπει επίσης να γνωρίζουμε ότι στρεβλωμένες σιδηροτροχιές, ή συγκολλήσεις που εμφανίζουν γωνιακά ελαττώματα μπορούν να επηρεάσουν λίαν δυσμενώς τη σταθερότητα μιάς γραμμής εξοπλισμένης με Σ.Σ.Σ.

Στην περίπτωση που απαιτείται η τροποποίηση του μήκους των Σ.Σ.Σ, σε γραμμές εν εκμεταλλεύσει, οι εκτελεστέες εργασίες, συμπεριλαμβανομένων και των προσωρινών, ενδεχομένως απαιτουμένων τέτοιων πρέπει να υποβληθούν για έγκριση στον Αρχιμηχανικό της Υπηρεσίας Γραμμής.
Οι κανόνες και τα ειδικά μέτρα, τα οποία αναγράφονται στον παρόντα κανονισμό, για τον καθορισμό των οποίων, έχουν ληφθεί υπ' όψη τα διάφορα αίτια ανωμαλιών, πρέπει να τηρούνται επακριβώς.
Δεδομένου ότι αυτοί είναι σχετικά πολύπλοκοι, είναι αναγκαίο να δίδονται συνεχείς και ακριβείς οδηγίες, στο προσωπικό των ομάδων κατά την εκτέλεση των εργασιών συντήρησης.

2.4.3. Αρχές ομαλοποίησης τάσεων

Τα προβλήματα που σχετίζονται με τις εργασίες συντήρησης στα ΣΣΣ όπως η αντικατάσταση τμήματος σιδηροτροχιάς ή μιας τμηματικής απελευθέρωσης των τάσεων, μπορούν να ντιμετωπισθούν βάσει της ανάλυσης που ακολουθεί.



Σχήμα 18: Διάγραμμα τάσεων σιδηροτροχιάς μιας γραμμής με ΣΣΣ, στην οποία πρόκειται να γίνει διαδικασία τμηματικής απελευθέρωσης των τάσεων [Alias, 1984]

Έστω τμήμα γραμμής στρωμένης με ΣΣΣ [Γιαννακός, 1983] στο οποίο πρόκειται να γίνει η διαδικασία τμηματικής απελευθέρωσης των τάσεων (Σχήμα 18) μεταξύ των σημείων Α και Β. Η διακύμανση του διαγράμματος των τάσεων σε θερμοκρασία Τα υποδηλώνει απλά ότι η θερμοκρασία απελευθέρωσης θ (θερμοκρασία στην οποία οι τάσεις μηδενίζονται) σε κάθε τμήμα γραμμής (ή και σε κάθε σημείο) είναι μεταβλητή. Έστω $\theta_1(x)$ και $\theta_2(x)$ οι θερμοκρασίες απελευθέρωσης πριν και μετά την ομαλοποίηση των τάσεων.
Σε κάθε σημείο ισχύει:

$$\sigma_1 = E \cdot \alpha \cdot (T - \theta_1) \qquad (61)$$

πρίν από την ομαλοποίηση των τάσεων. Μετά την ομαλοποίηση, στο ίδιο σημείο, ισχύει:

$$\sigma_2 = E \cdot \alpha \cdot (T - \theta_2) \qquad (62)$$

Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας σε θερμοκρασία Τ η διακύμανση του μήκους dδ ενός στοιχειώδους τμήματος dx, είναι:

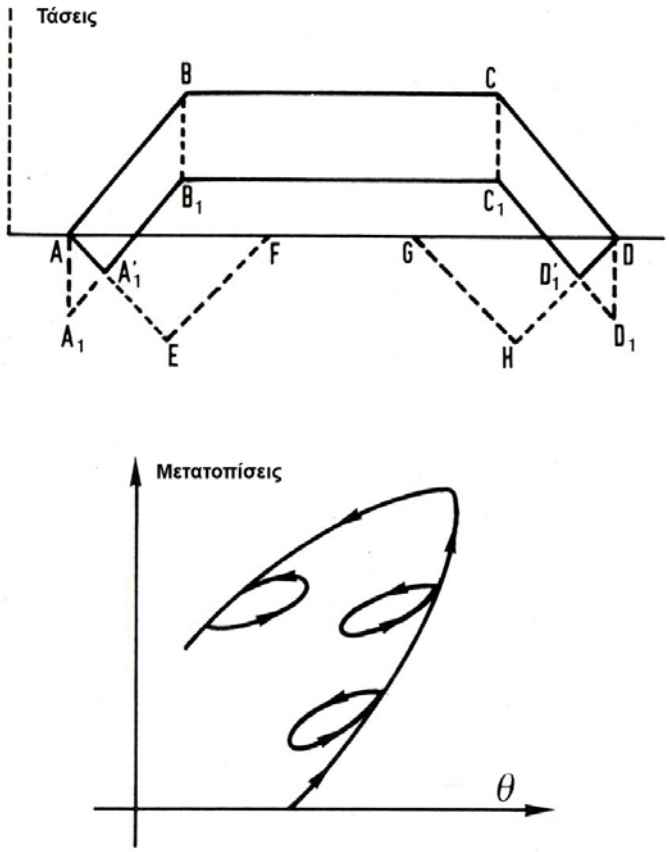
$$d\delta = \frac{\Delta\sigma}{E} \cdot dx = \left(\frac{\sigma_2 - \sigma_1}{E} \right) \cdot dx \qquad (63)$$

Το σημείο C επί παραδείγματι, μετατοπίζεται κατά :

$$\int_A^C d\delta = \frac{1}{E} \cdot \int_A^C (\sigma_2 - \sigma_1) \cdot dx = \alpha \int_A^C (\theta_2 - \theta_1) \cdot dx \qquad (64)$$

Και αφού τα σημεία Α και Β είναι σταθερά και δεν μετακινούνται συνεπάγεται ότι το τελευταίο ολοκλήρωμα ισούται με μηδέν [Γιαννακός 1983, Alias, 1984]:

$$\int_A^C (\sigma_2 - \sigma_1) \cdot dx = 0 \qquad (65)$$



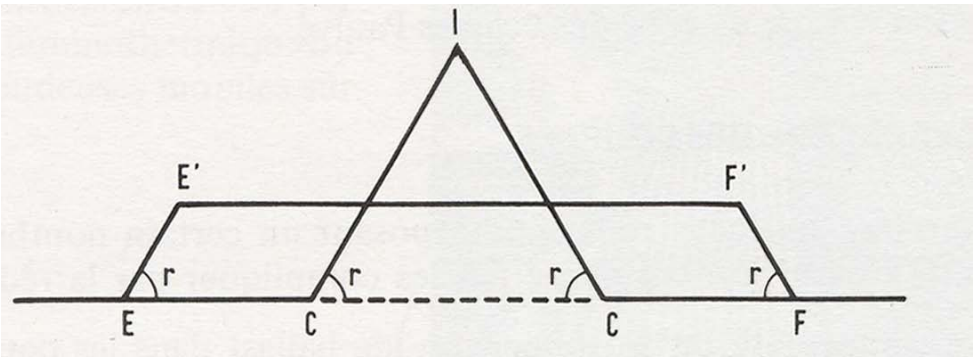
Σχήμα 19: (άνω) Διάγραμμα τάσεων και (κάτω) μετατοπίσεων των άκρων ΣΣΣ [Alias 1984, Γιαννακός 1983]

Από τη σχέση (65) προκύπτει η θεμελιώδης σχέση ισότητας των γραμμοσκιασμένων επιφανειών στο διάγραμμα των τάσεων (Σχήμα 18) στην περίπτωση κίνησης μεταξύ δύο σταθερών σημείων.

Έστω μια αύξηση θερμοκρασίας $\Delta\theta_1$ (Σχήμα 19), το διάγραμμα τάσεων παίρνει τη μορφή τραπεζίου A, B, C, D. Ας υποθέσουμε τώρα ότι η θερμοκρασία μειώνεται από $\Delta\theta_1$ σε $\Delta\theta_2$ οπότε μπορούμε να εξηγήσουμε σχηματικά το φαινόμενο όπως έγινε και στην περίπτωση γραμμής με αρμούς. Αν υποθέσουμε ότι σταθεροποιούμε τα άκρα ώστε να μην είναι δυνατόν να κινηθούν, τότε το διάγραμμα τάσεων μετατοπίζεται στη θέση A_1, B_1, C_1, D_1. Η σιδηροτροχιά δεν κινείται καθόλου και οι δύο καμπύλες παραμένουν παράλληλες σε απόσταση ανάλογη της διαφοράς ($\Delta\theta_1$ - $\Delta\theta_2$). Αν θεωρήσουμε ότι στη συνέχεια ότι «αφήνουμε ελεύθερα» τα άκρα της σιδηροτροχιάς, η τριβή εμφανίζεται κάτω από τους στρωτήρες των άκρων σε αντίθετη φορά από την προηγούμενη και το διάγραμμα παίρνει τη μορφή A,A_1, B_1, C_1, D_1, D. Παρατηρούμε λοιπόν ότι οι κορυφές στο διάγραμμα των τάσεων παρουσιάζονται προς τα άκρα των σιδηροτροχιών. Όταν $\Delta\theta_1 = \Delta\theta_2$ προκύπτει ένα διαφορετικό διάγραμμα τάσεων από την γραμμή μηδενισμού των τάσεων στην αρχή που ακολουθεί την καμπύλη A, E, F, G, H, D. Η προηγούμενη παρατήρηση επιτρέπει να καθορίσουμε όλες τις κινήσεις έχοντας υπ' όψη ότι η μετατόπιση είναι το ολοκλήρωμα της δύναμης με συντελεστή $\frac{1}{E \cdot F}$ και παρίσταται από τις διαφορές επιφανειών στο διάγραμμα των τάσεων. Δεν υπάρχει αντιστοιχία αμφιμονοσήμαντη μεταξύ του ανοίγματος των Συσκευών Διαστολής και της θερμοκρασίας αλλά η «φακοειδής» επιφάνεια με παραβολικά όρια του Σχήματος 19 κάτω .

2.4.4. Τμηματική απελευθέρωση τάσεων [Γιαννακός 1983]

Η τμηματική απελευθέρωση ενός τμήματος ΣΣΣ για να απαλείψουμε μια «κορυφή» συγκέντρωσης τάσεων, καθορίζεται από τον κανόνα που απεικονίζεται στο Σχήμα 20.



Σχήμα 20: Τμηματική απελευθέρωση τάσεων σε ΣΣΣ [Γιαννακός 1983, Alias, 1984]

Στο Σχήμα 20 η επιφάνεια του τριγώνου ισούται με το άθροισμα των επιφανειών των δυο συνδεδεμένων με αυτό παραλληλογράμμων. Αυτός είναι κανόνας που πρέπει να ακολουθείται. Έχουμε δεχθεί ότι η κατά μήκος αντίσταση του έρματος είναι σταθερή και ότι το διάγραμμα των τάσεων είναι τραπεζοειδές (βλ. παραγρ. 2.4.3.). Είναι προφανές ότι στην παραγματικότητα η κατά σταση είναι πολύ πιο σύνθετη και περίπλοκη. Σε πρώτη προσέγγιση μπορούμε να κάνουμε την παραδοχή ότι δεν

υπάρχουν οξείες γωνίες. Η αντίσταση r του έρματος σε συνάρτηση με τη μετατόπιση δ των στρωτήρων αυξάνεται μέχρι το όριο r_M που υποθέτουμε στην απλοποιημένη θεωρία ότι το προσεγγίζει αμέσως. Η θεωρία και η πράξη δείχνουν ότι η λεγόμενη ουδέτερη περιοχή των ΣΣΣ (εκτός των δύο ζωνών εκτόνωσης) δεν είναι πλήρως μη κινούμενη αλλά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η παραδοχή ότι είναι πλήρως ακίνητη προσεγγίζει πολύ την πραγματικότητα. Μετρήσεις που έγιναν στους SNCF [Alias,1984] δείχνουν ότι για τις κινήσεις αυτές, μπορούμε να εφαρμόσουμε ένα εμπειρικό κανόνα για την αντίσταση ανά μέτρο της μορφής:

$$r = \mu \cdot \delta^n \qquad (66)$$

Σε σταθεροποιημένη γραμμή οι τιμές που προέκυψαν για τις παραμέτρους είναι [Alias 1984]:

μ=4300 και n=0,35

Θα πρέπει τέλος να έχουμε υπ' όψη μας ότι ο κανόνας για τον υπολογισμό των Συσκευών Διαστολής για την αντίσταση στην πράξη [Alias, 1984] είναι της τάξης $r=1,5\cdot10^4$ N.

2.4.5. Θραύσεις ΣΣΣ κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου

Κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου με πολύ χαμηλές θερμοκρασίες συμβαίνουν θραύσεις των ΣΣΣ. Σε περίπτωση θραύσης μιας γραμμής με ΣΣΣ, δημιουργείται διάκενο –ένας αρμός ασυνέχεια στην κύλιση- κυρίως συνάρτηση της διαφοράς της θερμοκρασίας κατά την οποία έγινε η θραύση και της θερμοκρασίας απελευθέρωσης (μηδενισμού των τάσεων). Η εφαρμογή των περιγραφομένων στην παραγραφο 2.4.3. επιτρέπει την εισαγωγή στη γραμμή ενός αποτμήματος σιδηροτροχιάς –όχι μικρότερου των έξη (6) μέτρων- στην περιοχή εκατέρωθεν της θραύσης και μόνο στη σιδηροτροχιά που υπέστη τη θραύση, χωρίς να επηρεασθεί η ισορροπία στο διάγραμμα τάσεων της σιδηροτροχιάς. Αντικαθιστούμε στην περίπτωση αυτή ένα μήκος 6 μέτρων κατ' ελάχιστον με τμήμα σιδηροτροχιάς αυστηρά ακριβώς ίσοδύναμο στη θερμοκρασία εκτέλεσης της εργασίας και αποκαθιστούμε τη συνέχεια μεταξύ των διάφορων τμημάτων σιδηροτροχιάς, λαμβάνοντας υπ' όψη και το πάχος του υλικού των συγκολλήσεων, θερμαίνοντας των παρακείμενων άκρων των σιδηροτροχιών. Μέχρι να αποκατασταθεί η θραύση με την εισαγωγή του αποτμήματος σιδηροτροχιάς, εκτελείται η κυκλοφορία με τοποθέτηση προσωρινής αμφίδεσης ειδικού τύπου με σφικτήρες χωρίς διάτρηση των σιδηροτροχιών.

2.4.6. Προϋποθέσεις τοποθετήσεως

(α) Η στρώση των Σ.Σ.Σ επιτρέπεται στις καμπύλες, των οποίων οι ελάχιστες ακτίνες, μεταβλητές συναρτήσει του τύπου των χρησιμοποιούμενων στρωτήρων και σιδηροτροχιών, δίδονται από τον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 3: Στρώση ΣΣΣ σε καμπύλες σε σχέση με τύπους σιδηροτροχιών και στρωτήρων [Γιαννακός 1983, 1999]

	Τύπος Σιδηροτροχιάς		
ΤΥΠΟΣ ΣΤΡΩΤΗΡΩΝ	*S33*	*UIC50*	*U80*
Στρωτήρες ξύλινοι	500μ	600μ	800μ
Στρωτήρες εκ σκυροδέματος ολόσωμοι	800μ	800μ	800μ
Στρωτήρες εκ σκυροδέματος διμερείς εξωτερικές εγκοπές και έδρανα τραπεζοειδή	500μ	500μ	500μ
Στρωτήρες εκ σκυροδέματος διμερείς με εξωτερικές εγκοπές και έδρανα ημικυλινδρικά	400μ	400μ	400μ
Στρωτήρες μεταλλικοί	350μ	350μ	350μ

(β) Το ελάχιστο μήκος των Σ.Σ.Σ καθορίζεται σε 300μ., αυτού μετρούμενου από άξονα σε άξονα των συσκευών διστολής (Σ.Δ).
(γ) Ενδιαφέρει, για τον περιορισμό του αριθμού των Σ.Δ., οι οποίοι είναι και ιδιαίτερα σημεία της γραμμής, να πραγματοποιούμε Σ.Σ.Σ σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μήκος.
(δ) Οι Σ.Σ.Σ. δεν πρέπει να στρώνονται σε περιοχές, όπου απαιτείται συχνή συντήρηση της γραμμής, ιδιαίτερα δε στις περιοχές με ασταθή υποδομή, ή τέτοιες καθιζήσεων λόγω στοών μεταλλείων, πρόσφατα επιχώματα και περιοχές με καταφανείς ολισθήσεις αμαξοστοιχιών.

3.- Απαιτησεις Υποδομης Για Υψηλες Ταχυτητες [Γιαννακός 1999]

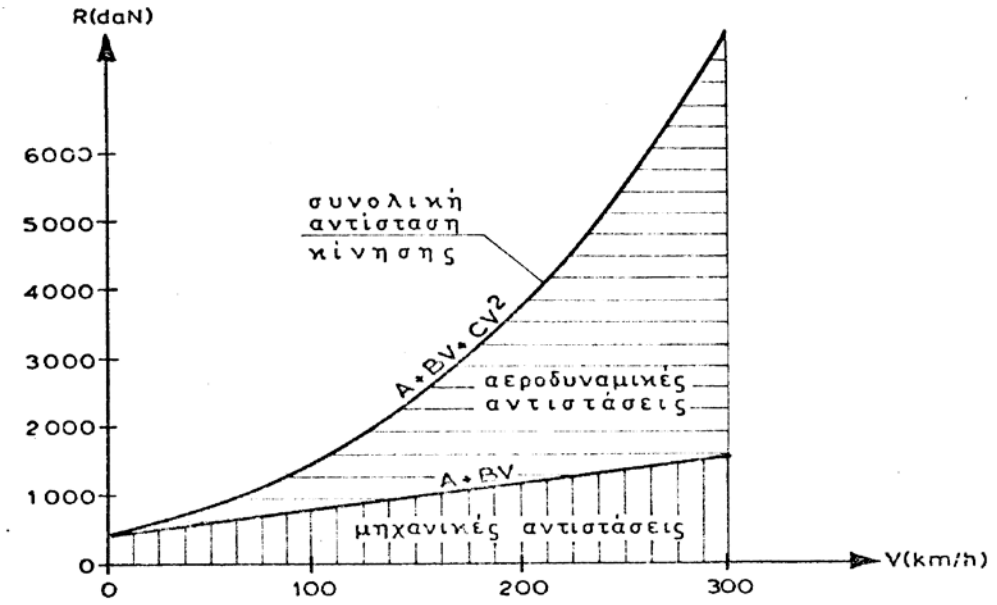
3.1. Η αντίσταση κίνησης και η απαιτούμενη ισχύς στις μεγάλες ταχύτητες

Η δύναμη που πρέπει να αναπτυχθεί, για να υπερνικηθούν οι διάφορες αντιστάσεις κατά την κίνηση του σιδηροδρόμου (όπως άλλωστε και οποιουδήποτε άλλου χερσαίου μέσου μεταφοράς), δίνεται από τη σχέση:

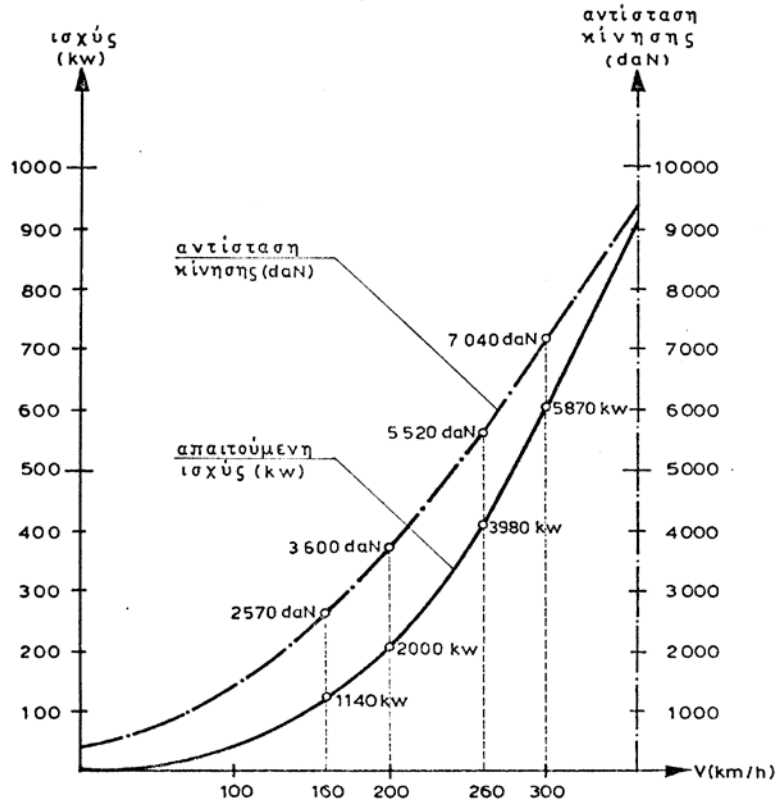
$$\mathbf{R = A + B \cdot V + E \cdot V^2} \qquad (3.1.1)$$

Στη σχέση αυτή

- οι δύο πρώτοι όροι περιλαμβάνουν τις διάφορες μηχανικές αντιστάσεις :
  - **(α)** ο πρώτος όρος Α (που δεν εξαρτάται από την ταχύτητα, αλλά μόνο από τα χαρακτηριστικά του τροχαίου υλικού) παριστάνει τις αντιστάσεις κύλισης και αυτές που αναπτύσσονται λόγω τριβών μεταξύ όνυχος - σιδηροτροχιάς στις καμπύλες και
  - **(β)** ο δεύτερος όρος Β.V παριστάνει τις διάφορες μηχανικές αντιστάσεις που είναι ανάλογες με την ταχύτητα (περιστροφή των αξόνων, μετάδοση της κίνησης, πέδηση κ.λπ.) καθώς επίσης και τις κατά μήκος αντιστάσεις τριβής του αέρα στα τοιχώματα του συρμού (στρωματώδεις ροές).
- ο τρίτος όρος παριστάνει τις αεροδυναμικές αντιστάσεις (τυρβώδεις ροές).



Σχήμα. 3.1.1 Η αύξηση των μηχανικών και αεροδυναμικών αντιστάσεων σε συνάρτηση με την ταχύτητα.



Σχήμα. 3.1.2. Η αντίσταση κίνησης και η απαιτούμενη ισχύς της μηχανής σε συνάρτηση με την αύξηση της ταχύτητας

Οι παράμετροι A,B,C μπορούν να εκφρασθούν σε συνάρτηση με τα χαρακτηριστικά του τροχαίου υλικού και της κίνησης από τις παρακάτω σχέσεις (για R σε daN, V σε km/h και τις υπόλοιπες μονάδες στο σύστημα S.I.).

$$\mathbf{A} = \lambda \cdot \mathbf{M} \cdot \sqrt{\frac{\mathbf{10}}{\mathbf{m}}} \qquad [\text{daN}] \qquad (3.1.2)$$

όπου M : η συνολική μάζα του συρμού (t)
m : η μάζα ανά άξονα (t)
λ : παράμετρος της οποίας οι τιμές εξαρτώνται από τον τύπο του τροχαίου υλικού, π.χ. για το υλικό SNCF $0.9<\lambda<1.5$
B·V (daN) = 0.01M.V για γραμμή καλής ποιότητας
Και τροχαίο υλικό με φορεία:

$$\mathbf{C \cdot V^2 = k_1 \cdot S \cdot V^2 + k_2 \cdot p \cdot L \cdot V^2} \qquad (3.1.3)$$

Στην (3.1.3.) ο πρώτος όρος παριστάνει τις αεροδυναμικές αντιστάσεις που αναπτύσσονται στην εμπρόσθια και οπίσθια πλευρά του συρμού και ο δεύτερος όρος τις αεροδυναμικές αντιστάσεις που αναπτύσσονται κατά μήκος της επιφάνειας ρ,L όπου:

k_1: παράμετρος που εξαρτάται από τη μορφή της εμπρόσθιας και οπίσθιας πλευράς του συρμού, Έτσι για το κλασικό τροχαίο υλικό της SNCF είναι $k_1 = 20 \cdot 10^{-4}$ ενώ για το υλικό TGV είναι $k_1 = 9 \cdot 10^{-4}$

S: το εμβαδό (m^2) της προσβαλλόμενης επιφάνειας (με συνήθη τιμή γύρω στα $10 m^2$).

k_2 : παράμετρος που εξαρτ6ται από την κατάσταση της επιφάνειας pL. Έτσι για το κλασικό τροχαίο υλικό της SNCF είναι k2=30.10-6, ενώ για το υλικό TGV είναι K2 = 20.10-6

P: μερική περίμετρος που περικλείει το τροχαίο υλικό μέχρι τη στάθμη των σιδηροτροχιών, με συνήθη τιμή γύρω στα 10 m,

L: μήκος του συρμού (m).

Το Σχήμα 3.1.1 δίνει την αύξηση των μηχανικών και αεροδυναμικών αντιστάσεων σε συνάρτηση με την ταχύτητα. Παρατηρούμε ότι στις μεγάλες ταχύτητες οι αεροδυναμικές αντιστάσεις είναι καθοριστικές και για τη μείωση τους δίνεται στο συρμό η κατάλληλη αεροδυναμική μορφή.

Το Σχήμα 3.1.2. δίνει την αντίσταση κίνησης σε συνάρτηση με την ταχύτητα και την απαιτούμενη ισχύ ώστε να υπερνικηθεί η αντίσταση αυτή. Παρατηρούμε ότι για αύξηση της ταχύτητας από 200 σε 300 χλμ/ω, απαιτείται αύξηση της ισχύος της μηχανής κατά 194%.
Έτσι οι δαπάνες για την κατανάλωση ενέργειας αυξάνουν υπερβολικά για ταχύτητες μεγαλύτερες από 300 km/h, για τις οποίες η μείωση του χρόνου διαδρομής είναι πολύ μικρή.
Αυτό οδηγεί σε μια βέλτιστη ταχύτητα από τεχνικοοικονομική άποψη της τάξης των 300 km/h, για αποστάσεις 500 ÷ 600 km.

Πίνακας 3.1.1

	Αντίσταση κίνησης (daN) ανηγμένη ανά επιβάτη		**Σχέση αυτοκινήτου/ σιδηρόδρομου**
V=120km/h	**Ιδιωτικό αυτοκίνητο (4 θέσεις)**	**Σιδηρόδρομος (11 βαγόνια, 820 θέσεις)**	5
	21	4.08	

Πίνακες 3.Ι.: Η αντίσταση κίνησης για το σιδηρόδρομο το ιδιωτικό αυτοκίνητο και το φορτηγό αυτοκίνητο. . [Γιαννακός 1999]

Πίνακας 3.1.2

	Αντίσταση κίνησης (daN) ανά μεταφερόμενο τόνο		**Σχέση αυτοκινήτου/ σιδηρόδρομου**
V=80km/h	**Φορτηγό αυτοκίνητο**	**σιδηρόδρομος**	4.3
	20	4.6	

Οι πίνακες 3.1.1 και 3.1.2 (Πίνακας 3.1.) δίνουν μια συγκριτική παρουσίαση της αντίστασης κίνησης ανάμεσα στο σιδηρόδρομο, το ιδιωτικό αυτοκίνητο και το φορτηγό αυτοκίνητο. Η φυσική εξήγηση της διαφοράς αυτής είναι ότι όσο μικρότερο είναι ένα όχημα, τόσο μεγαλύτερες ανά μονάδα μήκους είναι οι αεροδυναμικές αντιστάσεις που αναπτύσσονται. Αυτό ευνοεί το σιδηρόδρομο που παρουσιάζει μεγάλο μήκος σε σύγκριση με τα άλλα χερσαία μέσα μεταφοράς

3.2. Οι απαιτήσεις χάραξης για μεγάλες ταχύτητες

Οι φυγόκεντρες δυνάμεις που αναπτύσσονται στα καμπύλα τμήματα της χάραξης αυξάνουν ανάλογα με το τετράγωνο της ταχύτητας με επιπτώσεις τόσο στην ασφάλεια της κυκλοφορίας όσο και στην άνεση του επιβάτη, Για την ελάττωση των δυνάμεων αυτών είναι απαραίτητο στις μεγάλες ταχύτητες να έχουμε μεγαλύτερες ακτίνες καμπυλότητας και μεγαλύτερες υπερυψώσεις.
Ο πίνακας 3.2.1 δίνει για τις νέες χαράξεις του ΟΣΕ τις ελάχιστες ακτίνες καμπυλότητας σε συνάρτηση με τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα:

Πίνακας 3.2.1: Η ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας στην οριζοντιογραφία σε συνάρτηση με τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα σύμφωνα με το νέο κανονισμό επιδομής γραμμής του ΟΣΕ. [Γιαννακός 1999]

V(km/h)	100	150	200
Rmin(m)	450	1000	2000

Η μέγιστη εφαρμοζόμενη υπερύψωση δεν αντιστοιχεί στη θεωρητικά απαιτούμενη τιμή για την πλήρη εξισορρόπηση των φυγόκεντρων επιπονήσεων για το ταχύτερο τρένο ($h = 11.8\frac{V^2}{R}$) διότι κάτι τέτοιο θα προκαλούσε δυσχέρειες στην κυκλοφορία των αργών τρένων αλλά και υπερβολική επιπόνηση του υλικού επιδομής (εσωτερική τροχιοσειρά) με δυσμενείς επιπτώσεις στη συντήρηση. Γι' αυτό και διεθνώς η

εφαρμοζόμενη κανονική υπερύψωση έχει μια τιμή μικρότερη από την απαιτούμενη θεωρητικά για τα ταχύτερα τρένα και καθορίζεται με βάση την παραδεκτή από κάθε δίκτυο μη εξισορροπούμενη φυγόκεντρη επιτάχυνση. Για το ελληνικό δίκτυο είναι $h_{\kappa\alpha\nu} = 7.12\frac{V^2}{R}$ που αντιστοιχεί σε $\gamma_{max} = 0.7 m/sec^2$. Ο πίνακας 3.2.1 δίνει τις μέγιστες τιμές της κανονικής υπερύψωσης h, της ανεπάρκειας υπερύψωσης α (για τα γρήγορα τρένα) και του πλεονάσματος υπερύψωσης π (για τα αργά τρένα) σύμφωνα με τον παλιό και νέο κανονισμό επιδομής γραμμής του ΟΣΕ.

Η μέγιστη άλλωστε εφαρμοζόμενη υπερύψωση περιορίζεται από μια ανώτατη τιμή, ώστε να μπορεί το τρένο να σταματήσει στην καμπύλη.

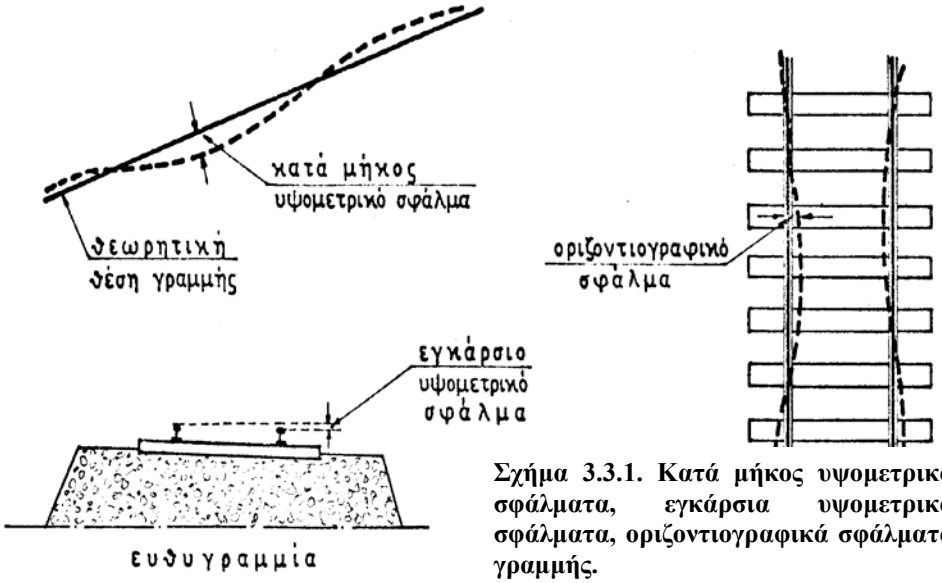
Πέρα όμως από μια ταχύτητα της τάξεως των 200 km/h, η συνύπαρξη γρήγορων και αργών τρένων στην ίδια γραμμή δυσχεραίνεται από το λόγο ότι η υπερύψωση που δίνεται για να καλυφθούν οι φυγόκεντρες επιπονήσεις στις μεγάλες ταχύτητες είναι απαράδεκτα υπερβολική για τα αργά τρένα. Αυτός είναι και ένας από τους λόγους που οι γραμμές μεγάλης ταχύτητας του γαλλικού και γιαπωνέζικου δικτύου είναι εξειδικευμένες μόνο για επιβατικά τρένα. Οι μεγάλες ταχύτητες δεν θέτουν κατ αρχήν ιδιαίτερες προϋποθέσεις για την κατά μήκος κλίση της γραμμής. Η υπερνίκηση των αντιστάσεων στην ανηφόρα εξαρτάται κυρίως από την ισχύ της μηχανής. Έτσι η μεγάλη ισχύς της μηχανής του TGV επέτρεψε μέγιστη κατά μήκος κλίση 35ο/οο. Στην ταχύτητα των 260 Km/h η μεγάλη κινητική ενέργεια δίνει τη δυνατότητα στο TGV να ανεβεί μια ανηφόρα μήκους 3.5 km με κλίση 35 ο/οο ελαττώνοντας την ταχύτητα μόνο κατά 40 km/h.

<u>Πίνακας 3.2.1:</u> Η κανονική υπερύψωση η ανεπάρκεια υπερύψωσης και το πλεόνασμα υπερύψωσης σύμφωνα με το ν παλιό (V = 100km/h) κ α ι το νέο (V = 200km/h) κανονισμό επιδομής γραμμής του ΟΣΕ. . [Γιαννακός 1999]

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ:	Παλαιός	Νέος
Vmax(km/h)	100	200
Κανονική υπερύψωση h_{max}(mm)	150	160
Ανεπάρκεια υπερύψωσης α_{max}(mm)	100	105
Πλεόνασμα υπερύψωσης π_{max}(mm)	100	100

Καθώς όμως τα περισσότερα δίκτυα προβλέπουν την εφαρμογή των μεγάλων ταχυτήτων. Όχι μόνο για το ειδικό τροχαίο υλικό μεγάλης ισχύος, δίνεται συνήθως στην κατά μήκος κλίση μικρότερη τιμή. Εκτός όμως από αυτό, η μικρότερη κατά μήκος κλίση επιβάλλεται στις γραμμές μικτής κυκλοφορίας για να πραγματοποιείται το εμπορευματικό μεταφορικό έργο υπό ευνοϊκές συνθήκες εκμετάλλευσης, καθώς επίσης και για να διευκολύνεται η κυκλοφορία των συρμών μέσα στις σήραγγες. Έτσι ο ΟΣΕ για αύξηση της ταχύτητας από 100 σε 200 km/h μείωσε την κατά μήκος κλίση από 20ο/οο σε 14ο/οο.

3.3. Οι απαιτήσεις για την ποιότητα της γραμμής στις μεγάλες ταχύτητες



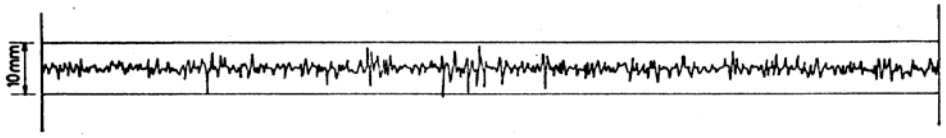
Σχήμα 3.3.1. Κατά μήκος υψομετρικά σφάλματα, εγκάρσια υψομετρικά σφάλματα, οριζοντιογραφικά σφάλματα γραμμής.

Υπό την επήρεια των φορτίων που δέχεται η γραμμή υφίσταται παραμορφώσεις, με αποτέλεσμα αποκλίσεις των γεωμετρικών χαρακτηριστικών από τις θεωρητικές τιμές τους. Οι αποκλίσεις αυτές καλούνται σφάλματα και όταν ξεπεράσουν μίαν ορισμένη τιμή, γίνεται τακτοποίηση της γραμμής.

Το σχήμα 3.3.1 δίνει ορισμένα από τα σφάλματα μιας γραμμής:

- κατά μήκος υψομετρικά σφάλματα (defauts de nivellement longitudinal)
- εγκάρσια υψομετρικά σφάλματα (defauts de nivellement transversal)
- οριζοντιογραφικά σφάλματα (defauts de dressage).

Τα σφάλματα αυτά εντοπίζονται από καταγραφικά μηχανήματα που διατρέχουν κατά ορισμένα χρονικ6 διαστήματα τη γραμμή. Οι συσκευές με τις οποίες είναι εφοδιασμένα τα καταγραφικά μηχανήματα μας δίνουν τις τιμές των διαφόρων σφαλμάτων.

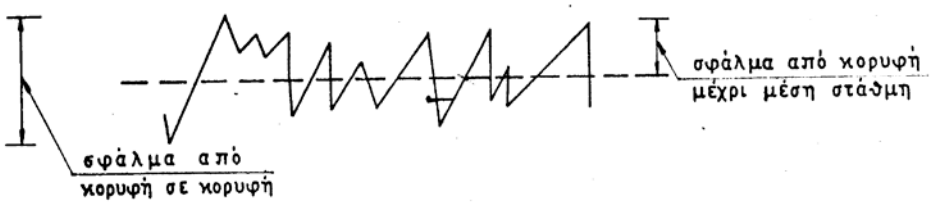


Σχήμα 3.3.2. Κατά μήκος υψομετρικά σφάλματα μιας τροχιοσειράς, όπως εντοπίζονται από το καταγραφικό μηχάνημα.

Το σχήμα 3.3.2 δίνει ένα διάγραμμα κατά μήκος υψομετρικών σφαλμάτων γραμμής (για μια τροχιοσειρά), που αντιστοιχούν σε βάση μέτρησης 12.2 m και για μήκη κύματος 1.7m ÷ 16m.

Καθώς η κατανομή των διαφόρων σφαλμάτων είναι στοχαστική, ο αποτελεσματικότερος τρόπος μελέτης είναι η φασματική ανάλυση, η οποία μας δίνει για κάθε κατηγορία σφαλμάτων τη συχνότητα με την οποία εμφανίζονται, το μήκος κύματος στο οποίο αντιστοιχούν, τη συσχέτισή τους με την ταχύτητα του συρμού, κ.λπ..
Τα συνήθη καταγραφικά μηχανήματα δίνουν τις τιμές των διαφόρων σφαλμάτων, όπως τις καταγράφουν. Υπάρχουν όμως και σύνθετα καταγραφικά μηχανήματα, τα οποία επεξεργάζονται τις τιμές που έχουν καταγραφεί κάνοντας διάφορους στατιστικούς υπολογισμούς και στην εκτύπωση δίνουν και πιο σύνθετα αποτελέσματα, όπως π.χ. η μέση απόκλιση ενός τύπου σφάλματος για ένα ορισμένο μήκος γραμμής κ.λπ.
Τα σφάλματα γραμμής είναι βασική παράμετρος για την εφαρμογή μεγάλων ταχυτήτων, διότι αποτελούν την κύρια αιτία των πρόσθετων δυναμικών επιπονήσεων (surcharges dynamiques) που προκαλούνται από την αλληλεπίδραση γραμμής - τροχαίου υλικού. Για ταχύτητα, π.χ. 200 km/h και φορτίο 20 t ανά άξονα, οι πρόσθετες αυτές δυναμικές επιπονήσεις μπορούν να φτάσουν μέχρι 12 t ανά άξονα. Ετσι όσο αυξάνει η ταχύτητα, τα ανεκτά σφάλματα γραμμής πρέπει να βρίσκονται σε μικρότερα όρια, ώστε να εξασφαλίζεται η ασφάλεια κατά την κίνηση και η άνεση του επιβάτη.
Για τις γραμμές με ταχύτητα μεγαλύτερη από 100 km/h, δύο είναι οι βασικές παράμετροι που πρέπει να μελετηθούν:

- η απόλυτη τιμή του κατά μήκος υψομετρικού σφάλματος (σχήμα. 3.3.3.),
- η διαφορική τιμή του κατά μήκος υψομετρικού σφάλματος σ ένα ορισμένο μήκος, η οποία παριστάνεται αρκετά αξιόπιστα από τη μέση απόκλιση των σφαλμάτων στο υπόψη μήκος (300 m, π.χ., για το καταγραφικό Mauzin Synthetique). Πρόσφατες έρευνες έχουν αποδείξει ότι η παράμετρος αυτή αποτελεί τον καλύτερο δείκτη για την εκτίμηση της επίπτωσης των σφαλμάτων στην ποιότητα της γραμμής.



Σχήμα. 3.3.3. Διάφοροι τρόποι μέτρησης κατά μήκος υψομετρικού σφάλματος γραμμής

Κατά την υψομετρική τακτοποίηση της γραμμής μας ενδιαφέρει κυρίως η δεύτερη παράμετρος καθώς επίσης και η διαφορική τιμή του εγκάρσιου υψομετρικού σφάλματος (NT) και του οριζοντιογραφικού σφάλματος (D) που ορίζονται αντίστοιχα. Καθώς οι τιμές που έχουν καταγραφεί περιλαμβάνουν τόσο τα σφάλματα που προέρχονται από τη γραμμή όσο και από το τροχαίο υλικό, είναι σκόπιμο να απομονωθούν οι τιμές που αντιστοιχούν στο τροχαίο υλικό, ώστε να έχουμε τις τιμές που αντιστοιχούν μόνο στη γραμμή. Θα συμβολίζουμε με NLV, NTV, DV τις τιμές αυτές, τις οποίες και θα χρησιμοποιήσουμε στη συνέχεια. Τα σύνθετα καταγραφικά μηχανήματα και η φασματική ανάλυση μας δίνουν τη δυνατότητα του διαχωρισμού αυτού.

Οι ανεκτές τιμές για κάθε τύπο σφαλμάτων καθορίζονται ανάλογα με την ταχύτητα και οι διάφορες γραμμές διαιρούνται στις εξής επιμέρους κατηγορίες:

ί) γραμμές μέσης ταχύτητας (V=<140km/h),
ιί) γραμμές μεγάλης ταχύτητας (140km/h<V<200km/h)
ιίί) γραμμές πολύ μεγάλης ταχύτητας (V>200km/h).

Για κάθε κατηγορία γραμμών καθορίζονται δύο οριακές τιμές:

- μια κάτω οριακή τιμή $_{Linf}$, κάτω από την οποία δεν απαιτείται καμιά εργασία τακτοποίησης γραμμής,
- μια πάνω οριακή τιμή L_{sup}, πέρα από την οποία η άνεση του επιβάτη ελαττώνεται αισθητά και η ταχύτητα μείωσης της ποιότητας της γραμμής (vitesse de degradation) αυξάνει γρήγορα.

Ο πίνακας 3.3.1 δίνει για καθεμιά από τις παραπάνω κατηγορίες γραμμών τις τιμές L_{inf} και L_{sup} για το κατά μήκος NLV και εγκάρσιο NTV υψομετρικό σφάλμα καθώς και για το οριζοντιογραφικό σφάλμα DV, όπως προέκυψαν από ανάλυση των αποτελεσμάτων του καταγραφικού Mauzin Synthetique για βάση μέτρησης 12.2 m για την υψομετρική τακτοποίηση και 10 m για την οριζοντιογραφική τακτοποίηση της γραμμής.

Πίνακας 3.3.1. Μέση απόκλιση σφαλμάτων (σε μήκος 300m) που οφείλονται μόνο στη γραμμή, για το κατά μήκος (NLV) και εγκάρσιο (NTV) υψομετρικό σφάλμα καθώς και για το οριζοντιογραφικό σφάλμα (DV), σε συνάρτηση με την ταχύτητα V και το επίπεδο άνεσης επιβάτη και ποιότητας γραμμής (L_{inf} επίπεδο προειδοποιητικό, L_{sup} οριακό επίπεδο επέμβασης). [Γιαννακός 1999]

	V<140km/h		140km/h<V<200km/h		V>200km/h	
	L_{inf}	L_{sup}	L_{inf}	L_{sup}	L_{inf}	L_{sup}
NLV(mm)	0.8	1.2	0.7	1.0	0.6	0.8
NTV(mm)	0.6	0.8	0.5	0.7	0.4	0.6
DV(mm)	1.2	2.0	1.0	1.6	0.9	1.4

Για την πρώτη κατηγορία (που προσεγγίζει περισσότερο τα ελληνικά δεδομένα) δίνουμε στον πίνακα 3.3.2 τις ανοχές ως προς το συνολικό σφάλμα (από κορυφή μέχρι μέση στάθμη), όπως αυτό προκύπτει από το καταγραφικό μηχάνημα.

Πίνακας 3.3.2 Οι ανοχές συνολικού σφάλματος (όπως εντοπίζονται από το καταγραφικό μηχάνημα), για V=<140km/h. [Γιαννακός 1999]

	Συνολικό σφάλμα από κορυφή μέχρι μέση στάθμη (mm)	
	Μέση τιμή	Μεμονωμένη τιμή
NL	3.5	6
NT	3.0	5
D	5.0	8

Παρατηρούμε λοπόν ότι όσο αυξάνει η ταχύτητα, τόσο και τα ανεκτά όρια σφαλμάτων είναι μικρότερα. Καθώς μάλιστα η μεγαλύτερη επιπόνηση της γραμμής

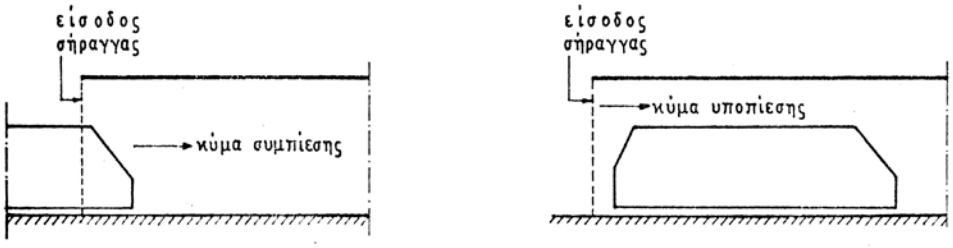
προέρχεται από τα εμπορικά τρένα, στις πολύ μεγάλες ταχύτητες είναι ενδεδειγμένη η εξειδίκευση της γραμμής μόνο για επιβατικά τρένα.

3.4. Η κυκλοφορία τρένων μεγάλης ταχύτητας σε σήραγγες

Σε σύγκριση με την κυκλοφορία σε ανοιχτό χώρο, η κυκλοφορία σε σήραγγες παρουσιάζει ορισμένες ιδιομορφίες που αφορούν τις αυξημένες πιέσεις που επηρεάζουν δυσμενώς την άνεση του επιβάτη, τις αυξημένες αεροδυναμικές αντιστάσεις, τα προβλήματα κατά τις διασταυρώσεις και τέλος το σωστό εξαερισμό.

3.4.1. Τα προβλήματα πιέσεων

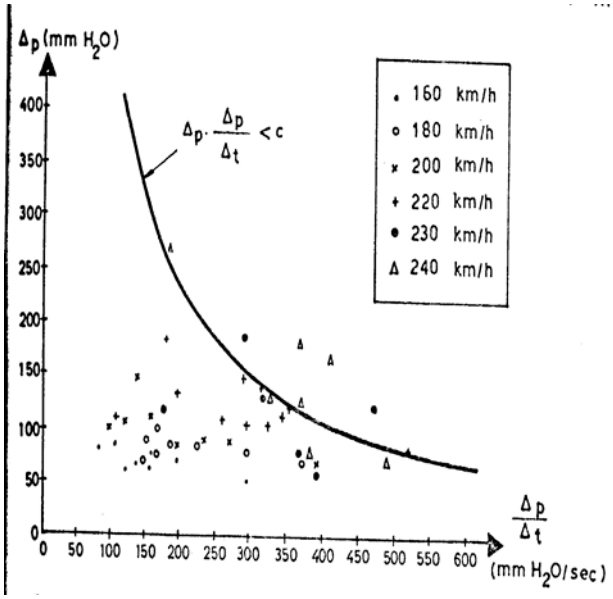
Όταν ένα τρένο εισέρχεται σε μια σήραγγα, το εμπρόσθιο τμήμα (η κεφαλή) συμπιέζει τον αέρα στην είσοδο, προκαλώντας ένα κύμα συμπίεσης (σχ. 3.4.1.1), του οποίου το εύρος αυξάνει όσο το τρένο προχωρεί, για να αποκτήσει τη μέγιστη τιμή του τη στιγμή που διεισδύει το οπίσθιο τμήμα (η ουρά) του τρένου. Τη στιγμή αυτή δημιουργείται ένα κύμα υποπίεσης, που προκαλείται από το κενό που αφήνει πίσω του το τρένο που απομακρύνεται. Το κύμα συμπίεσης διαδίδεται με την ταχύτητα του ήχου κατά μήκος της σήραγγας, ανακλάται στα τοιχώματα της και επανέρχεται με τη μορφή κύματος υποπίεσης. Όσο δε για το κύμα υποπίεσης που δημιουργήθηκε κατά τη διείσδυση της ουράς του τρένου στη σήραγγα, υφίσταται αντίστοιχες μεταβολές και τελικά επανέρχεται υπό τη μορφή κύματος συμπίεσης. Από συνδυασμό όλων αυτών των κυμάτων προκαλούνται διακυμάνσεις πιέσεων, που αποσβένονται σε συνάρτηση με το χρόνο.
Θα πρέπει όμως να αναφερθεί ότι δεν είναι τόσο η μεταβολή των πιέσεων που προκαλεί τις ενοχλήσεις, αλλά η ταχύτητα της μεταβολής των πιέσεων. Έτσι κατά την απότομη αλλαγή καιρού παρατηρούνται μεταβολές πιέσεων μέχρι 1300mm H_2O, ενώ ανεβαίνοντας 1000m η μεταβολή πίεσης είναι 1100mm H_2O, χωρίς να προκαλούνται ιδιαίτερες ενοχλήσεις.



Σχήμα 3.4.1.1. Τα κύματα συμπίεσης και υποπίεσης κατά την είσοδο τρένου σε σήραγγα.

Αντίθετα, κατά την κίνηση του τρένου σε σήραγγα οι μεταβολές πιέσεων είναι πολύ πιο μικρές, αλλά και πολύ πιο ενοχλητικές. Η αιτία βρίσκεται στην ταχύτητα μεταβολής των πιέσεων. Ο ανθρώπινος οργανισμός μπορεί να προσαρμοστεί και σε μεγάλες μεταβολές πιέσεων, αρκεί αυτές να μην είναι απότομες.

Κριτήρια λοιπόν για την άνεση του επιβάτη είναι τόσο η μεταβολή πίεσης Δp, αλλά και η ταχύτητα μεταβολής $\frac{\Delta p}{\Delta t}$. Πρόσφατες έρευνες, έδειξαν ότι η άνεση του επιβάτη δεν επηρεάζεται αισθητά εφόσον $\Delta p \cdot \frac{\Delta p}{\Delta t} < c$ (3.4.1)

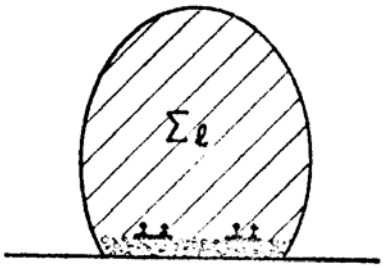


Σχήμα. 3.4.2.2: Η μεταβολή πίεσης και η ταχύτητα μεταβολής πίεσης σε συνάρτηση με την αύξηση της ταχύτητας (αποτελέσματα πειραματικών δοκιμών).

όπου c είναι μια σταθερά, της οποίας ο ακριβής προσδιορισμός ποικίλλει από δίκτυο σε δίκτυο, γιατί υπεισέρχεται ο υποκειμενικός ανθρώπινος παράγοντας.
Το σχήμα 3.4.1.2 δίνει αποτελέσματα πειραματικών δοκιμών σε σιδηροδρομικές σήραγγες. Κατά τις δοκιμές αυτές διαπιστώθηκε ότι ο τύπος του τροχαίου υλικού έχει σοβαρές επιδράσεις στις τιμές των αναπτυσσόμενων πιέσεων. Παρατηρούμε ότι μέχρι την ταχύτητα των 200km/h δεν προκαλείται ιδιαίτερη μείωση της άνεσης του επιβάτη. Πέρα όμως από την τιμή αυτή οι μεταβολές πιέσεων και οι ταχύτητες τους είναι μεγάλες και απαγορευτικές σήμερα για την ανάπτυξη πολύ μεγάλων ταχυτήτων σε σήραγγες.

3.4.2. Οι αυξημένες αεροδυναμικές αντιστάσεις

Οι αεροδυναμικές αντιστάσεις που αναπτύσσονται κατά την κυκλοφορία σε σήραγγες είναι πολύ μεγαλύτερες από ότι σε ελεύθερο χώρο, Για τη μείωσή τους προσπαθούμε να μειώσουμε το λόγο $\frac{S}{\Sigma_l}$, όπου S το εμβαδόν της προσβαλλόμενης επιφάνειας



Σχήμα 3.4.2: Η ωφέλιμη διατομή Σ_l

του τρένου και το εμβαδόν της ωφέλιμης διατομής της σήραγγας (σχήμα 3.4.2). Έτσι για σήραγγες μονής γραμμής είναι $\frac{S}{\Sigma_l} = 0.30 - 0.50,$ ενώ για σήραγγες διπλής γραμμής είναι $\frac{S}{\Sigma_l} = 0.14.$

Βέβαια υπερβολική μείωση του λόγου $\frac{S}{\Sigma_l}$ θα οδηγούσε σε υπερβολική αύξηση της διατομής της σήραγγας, πράγμα αντιοικονομικό.
Μείωση των αεροδυναμικών αντιστάσεων μπορεί να επιτευχθεί επίσης μειώνοντας τη διαφορά πίεσης ανάμεσα στην εμπρόσθια και οπίσθια πλευρά του τρένου. Κάτι τέτοιο είχε προβλεφθεί στη σήραγγα της Μάγχης, η οποία είχε σχεδιασθεί με δύο σήραγγες μονής γραμμής που θα επικοινωνούσαν κάθε 250 m. Οι υπολογισμοί είχαν δώσει ότι η δημιουργία επικοινωνίας ανάμεσα στις δύο επιμέρους σήραγγες θα ελάττωνε την απαραίτητη ισχύ για την υπερνίκηση των αεροδυναμικών αντιστάσεων από 13.5 MW σε 5.8 MW για V=140km/h.

3.4.3. Οι διασταυρώσεις μέσα σε σήραγγες

Όταν ένα τρένο συναντά ένα άλλο μέσα σε σήραγγα, τα κύματα πίεσης που προκαλεί το πρώτο πλήττουν το δεύτερο και αντίστροφα.
Καθώς το πιο γρήγορο τρένο προκαλεί τα πιο σημαντικά φαινόμενα, είναι προφανές ότι το πιο αργό τρένο υφίσταται τις μεγαλύτερες επιπονήσεις.
Πειραματικές δοκιμές των ιταλικών σιδηροδρόμων, έδειξαν ότι τα αεροδυναμικά φαινόμενα κατά τη διασταύρωση δύο τρένων σε σήραγγα δεν έχουν σημαντική επίπτωση στην άνεση των επιβατών, κυρίως λόγω της μικρής διάρκειάς τους (μερικά δέκατα του δευτερολέπτου). Το ανθρώπινο αυτί ευαισθητοποιείται στις εξωτερικές οχλήσεις, μόνον εφόσον αυτές έχουν διάρκεια μεγαλύτερη από μισό δευτερόλεπτο. Όσον αφορά την ασφάλεια του τροχαίου υλικού (και ιδίως των υαλοπινάκων), οι προηγούμενες δοκιμές έδειξαν ότι για ταχύτητες μέχρι 220 km/h δεν προκαλούνται ιδιαίτερα προβλήματα.

3.4.4. Τα προβλήματα εξαερισμού

Τέλος κατά την κυκλοφορία τρένων μεγάλων ταχυτήτων σε σήραγγες τίθενται και τα γνωστά προβλήματα:

- διατήρησης της ρύπανσης του αέρα σ' ένα επιθυμητό επίπεδο (5 ppm για το NO_2 , 25 ppm για το NO).
- απαιτούμενης ανανέωσης του αέρα (ελάχιστη τιμή $13m^3$ ανά ώρα και ανά άτομο, μέση τιμή $25m^3/h$ και ανά άτομο, αλλά και μέχρι 60 m^3/h και άτομο για την εξασφάλιση μεγαλύτερης άνεσης).
- διατήρησης της θερμοκρασίας του αέρα σε μία παραδεκτή τιμή ($25 \div 30o\ ^0C$).

3.4.5. Η απαιτούμενη διατομή σήραγγας στις μεγάλες ταχύτητες

Για όλους τους λόγους που αναφέρθηκαν πριν, η διατομή σήραγγας αυξάνει όσο μεγαλώνει η ταχύτητα. Ο πίνακας 3.4.5 δίνει το απαιτούμενο εμβαδόν ωφέλιμης διατομής Σ_l σε συνάρτηση με την ταχύτητα, για σήραγγα διπλής γραμμής, με βάση στοιχεία των γαλλικών σιδηροδρόμων.

Πίνακας 3.4.5. Η απαιτούμενη επιφάνεια διατομής σήραγγας διπλής γραμμή σε συνάρτηση με την ταχύτητα. [Γιαννακός 1999]

V_{max} (km/h)	160	200	260
$\Sigma_l(m^2)$	40	55	71

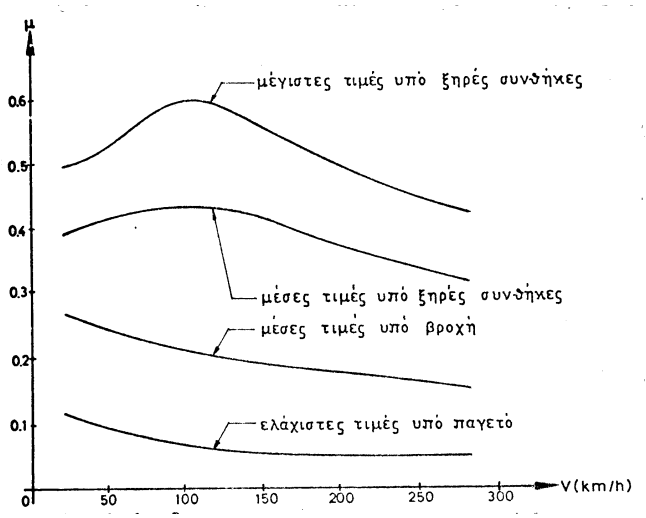
3.5. Οι δυνάμεις πρόσφυσης και η δυναμική ευστάθεια στις μεγάλες ταχύτητες

Η δυναμική της κίνησης του συρμού μπορεί ν' αναλυθεί στις παρακάτω δύο συνιστώσες :

- εγκάρσια δυναμικά φαινόμενα, που καθορίζουν τις συνθήκες ασφάλειας και άνεσης.
- κατακόρυφα δυναμικά φαινόμενα, που καθορίζουν τις συνθήκες άνεσης.

3.5.1. Η επαφή τροχού-σιδηροτροχιάς και οι απαραίτητες δυνάμεις πρόσφυσης

Κατά την κίνηση του σιδηροδρομικού σχήματος αναπτύσσονται ανάμεσα στον τροχό και τη σιδηροτροχιά βισκοελαστικές δυνάμεις κατά μήκος μιας ελλειπτικής επιφάνειας, γνωστής και ως επιφάνειας του Hertz με ημιάξονες της τάξεως των 10mm. Η πρόσφυση αυτή χάρη στις δυνάμεις αυτές αποτελεί βασική παράμετρο ευστάθειας κατά την κίνηση και πέδηση του συρμού.



Σχήμα 3.5.1. Ο συντελεστής πρόσφυσης σε συνάρτηση με την ταχύτητα και τις κλιματικές συνθήκες

Ο συντελεστής πρόσφυσης μ ορίζεται ως ο λόγος της κατά μήκος αναπτυσσόμενης δύναμης πρόσφυσης F προς το κατακόρυφο φορτίο Q.

$$\mu = \frac{F_{max}}{Q} \quad (3.5.1)$$

Ο συντελεστής πρόσφυσης εξαρτάται τόσο από την ταχύτητα του συρμού, αλλά κύρια από τις κλιματικές συνθήκες, όπως δείχνει το σχήμα 3.5.1
Από πρόσφατες πειραματικές δοκιμές, έχουν προκύψει οι παρακάτω απαιτούμενες ελάχιστες τιμές για το συντελεστή πρόσφυσης μ:

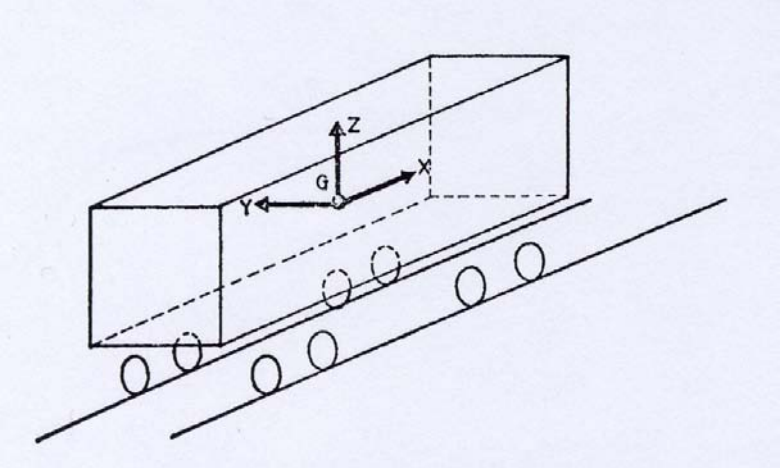
- σε έλξη 0.05 για V = 260 km/h
  0.06 για V = 200 km/h
  0.07 για V = 160 km/h

- σε πέδηση 0.06 για V = 270 ÷ 200 km/h
  0.095 για V ≤ 200 km/h

Προκύπτει λοιπόν ότι οι μεγάλες ταχύτητες δεν δημιουργούν ιδιαίτερα προβλήματα όσον αφορά τις δυνάμεις πρόσφυσης.

3.5.2. Η δυναμική ευστάθεια και η κρίσιμη ταχύτητα

Το Σχήμα 3.5.2.2 δίνει τους βαθμούς ελευθερίας του φορείου (bogie), ενώ στο Σχήμα 3.5.2.1 φαίνεται το σύστημα συντεταγμένων. Αν σ' αυτούς προστεθούν οι βαθμοί ελευθερίας καθενός από τους άξονες προκύπτει ότι οι βαθμοί ελευθερίας κατά την κίνηση του οχήματος είναι 7, δηλαδή :



Σχήμα 3.5.2.1. Σύστημα Συντεταγμένων σε όχημα (βαγόνι)

Σχήμα 3.5.2.2. Οι βαθμοί ελευθερίας του φορείου (bogie)

Εγκάρσια μετακίνηση Στροφή γύρω από κατακόρυφο άξονα (Z)	} για καθένα από τους δύο άξονες του οχήματος
Εγκάρσια μετακίνηση Στροφή γύρω από κατακόρυφο άξονα (Z) Στροφή γύρω από κατά μήκος άξονα (X)	} για το φορείο

Η δυναμική εξίσωση της κίνησης

$$[\mathbf{M}]\cdot[\ddot{\mathbf{x}}]+[\mathbf{C}]\cdot[\dot{\mathbf{x}}]+[\mathbf{R}]\cdot[\mathbf{x}]=\mathbf{0} \qquad \textbf{(3.5.2.)}$$

όπου

[M] :μητρώο μάζας
[C] : μητρώο ιξώδους (viscosite)
[R] : μητρώο ακαμψίας

[χ] :μητρώο-στήλη βαθμών ελευθερίας
$[\chi] =[\chi_1, \chi_2 , \chi_3 , \chi_4 , \chi_5 , \chi_6 , \chi_7]^t$

οδηγεί σε μια βοηθητική εξίσωση 14ου βαθμού. Ας είναι λi οι πραγματικές ρίζες της βοηθητικής εξίσωσης. Η κρίσιμη ταχύτητα είναι εκείνη που αντιστοιχεί στη αλλαγή προσήμου του γινομένου Πλi.
Η προηγούμενη ανάλυση στηρίχτηκε στην υπόθεση της γραμμικότητας των φαινομένων. Αυτό όμως δεν είναι ακριβές, ιδίως όσο προσεγγίζεται η κρίσιμη ταχύτητα και δημιουργούνται οι συνθήκες για την έναρξη της δυναμικής αστάθειας. Γι αυτό η προηγούμενη θεωρητική ανάλυση πρέπει να επαληθευθεί από πειραματικές δοκιμές.
Από συνδυασμό των συμπερασμάτων της θεωρητικής και πειραματικής ανάλυσης, προέκυψε ότι η κρίσιμη ταχύτητα είναι τόσο μεγαλύτερη όσο:

- μεγαλύτερη είναι η απόσταση ανάμεσα στους άξονες του φορείου,
- μικρότερη είναι η ροπή αδράνειας του φορείου γύρω από τον κατακόρυφο άξονα)
- μικρότερη είναι η μάζα του φορείου.

Καθώς οι δύο τελευταίες απαιτήσεις αντιστρατεύονται την πρώτη, επιδιώκεται κατά το σχεδιασμό του τροχαίου υλικού ένας συγκερασμός τους. Βέβαια ελάττωση της μάζας του φορείου μπορεί να γίνει μέχρι ένα όριο, ώστε να παραληφθούν ικανοποιητικά τα φορτία του οχήματος.
Τόσο η θεωρητική όσο και η πειραματική ανάλυση έδειξαν ότι η κρίσιμη ταχύτητα ενός φορείου με νέους τροχούς είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με ένα φορείο με τροχούς που έχουν υποστεί φθορές. Μάλιστα η κρίσιμη ταχύτητα ελαττώνεται σημαντικά πέρα από ένα επίπεδο φθοράς. Γι αυτό και οι τροχοί του ιαπωνικού Shinkansen υφίστανται περιορισμένη ανατόρνευση (reprofilage) κάθε 70.000 km.
Οι διάφορες αναλύσεις και η πείρα από τη χρήση του γαλλικού TGV και του γιαπωνέζικου Shinkansen έδειξαν ότι μέχρι V = 300 km/h και με τις προηγούμενες προϋποθέσεις δεν τίθεται πρόβλημα δημιουργίας συνθηκών δυναμικής αστάθειας.

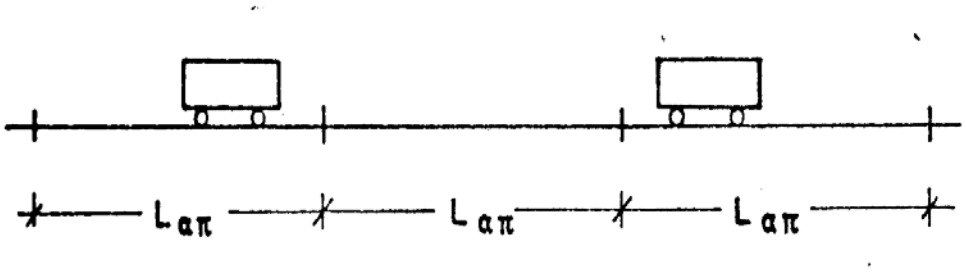
3.6. Η σηματοδότηση στις μεγάλες ταχύτητες[1]

Η παράπλευρη φωτεινή σηματοδότηση μέχρι μια ταχύτητα της τάξης των 150 km/h είναι σχετικά απλή και στηρίζεται στην παρακάτω αρχή. Η γραμμή διαιρείται σε επιμέρους περιοχές, που ονομάζονται στη σιδηροδρομική ορολογία τμήματα αποκλεισμού (cantons), και ανάμεσα σε δύο διαδοχικούς συρμούς πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον ένα τμήμα αποκλεισμού (Σχήμα 3.6.1). Το μήκος του τμήματος αποκλεισμού ποικίλλει και εξαρτάται από την ταχύτητα, τον τύπο σηματοδότησης, κ. λπ.

Οσο όμως αυξάνει η ταχύτητα, τόσο το απαραίτητο μήκος πέδησης $L_{πεδ}$ για να σταματήσει ο συρμός υπό κανονικές συνθήκες είναι μεγαλύτερο.
Έτσι είναι:

$L_{πεδ}$= 1300 ÷ 1400 m για V = 160 km/h
$L_{πεδ}$= 2500 ÷ 3000 m για V = 200 km/h
$L_{πεδ}$= 6000 ÷ 8000 m για V = 260 km/h

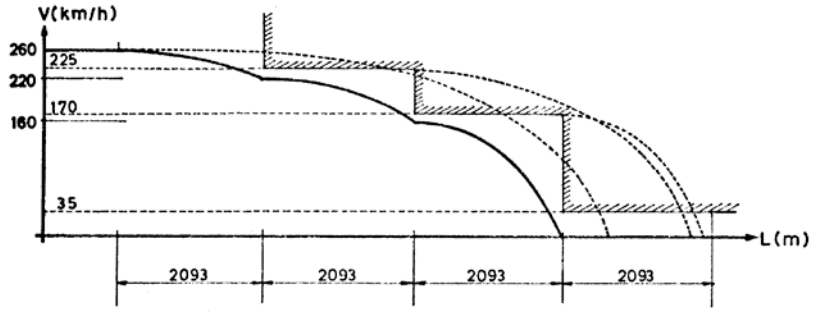
[1] *Η Σηματοδότηση αναπτύσσεται σε ιδιαίτερο Κεφάλαιο*



Σχήμα 3.6.1 Η διαίρεση της γραμμής σε τμήματα αποκλεισμού

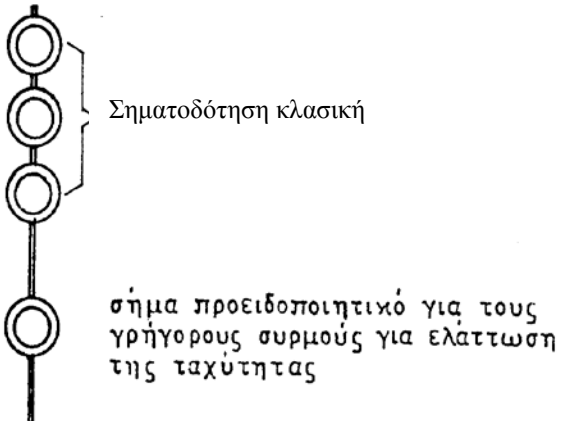
Η εφαρμογή της προηγούμενης αρχής για μικτή κυκλοφορία, όπου συνυπάρχουν συρμοί γρήγοροι (V=200 km/h), και αργοί (V=80 km/h) δημιουργεί προβλήματα από άποψη εκμετάλλευσης και διαθεσιμότητας της γραμμής. Η τιμή του $L_{απ}$ που προκύπτει με βάση την ταχύτητα των αργών συρμών είναι απαγορευτική, για λόγους ασφάλειας για τους γρήγορους συρμούς.
Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα αυτό, χρησιμοποιήθηκε για ταχύτητα μέχρι 200 km/h και για μικτή κυκλοφορία ένα διπλό σύστημα σηματοδότησης: μέσα στο θάλαμο οδήγησης (cab signal) μόνο για τους γρήγορους συρμούς, πλευρική για τους υπόλοιπους.
Η σηματοδότηση μέσα στο θάλαμο οδήγησης επιβάλλεται για λόγους ασφάλειας στις πολύ μεγάλες ταχύτητες. Η σηματοδότηση αυτή πετυχαίνεται χάρη σε ειδικές συχνότητες, οι οποίες μεσώ της σιδηροτροχιάς μεταφέρουν στο θάλαμο

οδήγησης την προσεχή ένδειξη που πρέπει να τηρηθεί. Οι συχνότητες αυτές αλλάζουν από το ένα τμήμα αποκλεισμού στο άλλο και από τη μία γραμμή στην άλλη, ώστε να αποκλεισθεί ο κίνδυνος σύγχυσης.
Στις μεγάλες ταχύτητες πάντως η απαραίτητη απόσταση για την πέδηση (Σχήμα 3.6.2) αποτελεί βασική παράμετρο, σε συνάρτηση με την απόσταση που διανύεται για τη μέγιστη εφικτή ταχύτητα σχεδιασμού.



Σχήμα.3.6.2 Η απαραίτητη απόσταση πέδησης στις πολύ μεγάλες ταχύτητες

Θα πρέπει να αναφερθεί ωστόσο ότι για μικτή κυκλοφορία και ταχύτητες μέχρι 200 km/h η διπλή σηματοδότηση αποδείχτηκε



Σχήμα 3.6.3. Ειδική σηματοδότηση για γρήγορους συρμούς σε γραμμές με μικτή κυκλοφορία.

ασύμφορη και αντικαταστάθηκε με την προσθήκη στην πλευρική σηματοδότηση ενός τέταρτου σήματος (Σχήμα 3.6.3), το οποίο προειδοποιεί τους οδηγούς των γρήγορων συρμών να ελαττώσουν την ταχύτητά τους (συνήθως σε 150 km/h) ώστε να είναι σε θέση να τηρήσουν τη σειρά των σημάτων που ακολουθούν. Το ειδικό αυτό πρόσθετο σήμα είναι δυνατό να μεταδίδεται στο θάλαμο οδήγησης με τη μορφή ηχητικής προ-ειδοποίησης.

3.7. Καταπόνηση και παραμορφώσεις της υποδομής και του έρματος

Κατά τη μελέτη για τη διαστασιολόγηση αλλά και την επιλογή των επιμέρους υλικών μιάς σιδηροδρομικής γραμμής, τα «αδύνατα σημεία» είναι το σκύρο και η υποδομή. Είναι τα στοιχεία της γραμμής που εκδηλώνουν τις παραμένουσες παραμορφώσεις: καθιζήσεις και πλευρικές μετακινήσεις, που συνδέονται άμεσα με τη χειροτέρευση αυτού που λέγεται γεωμετρία της γραμμής, που μπορεί όμως να περιγραφεί πολύ πιό χαρακτηριστικά ως ποιότητα της γραμμής. Οσο μικρότερες είναι και όσο πιό αργή μεταβολή στο χρόνο έχουν οι παραμένουσες παραμορφώσεις τόσο καλύτερη είναι η ποιότητα της γραμμής.
Επιβάλλεται λοιπόν να μειωθεί -όσο το δυνατόν περισσότερο - η εξέλιξη καθιζήσεων, κύρια, αλλά και των πλευρικών μετακινήσεων. Για δεδομένη ποιότητα σκύρου όσον αφορά το μέρος των παραμορφώσεων που οφείλεται στο έρμα, αυτό επιτυγχάνεται με ορθό συνδυασμό και χρήση των μηχανημάτων γραμμής (ρεγκαλέζα, μπουρέζα, σταμπιλιζάτορας). Για τις στρώσεις που βρίσκονται κάτω από το σκύρο απαιτείται πολύ καλή κατασκευή: θραυστό υλικό στην άνω στρώση, συμπύκνωση 100% Proctor.
Από τη βιβλιογραφία, ότι η μέγιστη ροπή που μετρήθηκε επί γραμμής, προκύπτει από παραβολική κατανομή πιέσεων. Είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί η μέση πίεση όχι ως απόλυτο μέγεθος, αλλά συγκριτικά και σε συνδυασμό με την πιθανότητα που καλύπτει. Εμμεσα με την άποψη αυτή συντάσσεται και ο καθηγητής του Πολυτεχνείου του Μονάχου κ. J. Eisenmann ο οποίος αναφέρει ότι η μέση πίεση είναι μέτρο κρίσης για την καταπόνηση του σκύρου. Επί γραμμής δεν υπάρχει ομοιόμορφη έδραση του στρωτήρα στο σκύρο, δεν υπάρχει ομοιόμορφη

συμπύκνωση σκύρου και εδάφους, υπάρχουν ατέλειες στην επιφάνεια κύλισης της σιδ/χιάς, ατέλειες στους τροχούς κ.λ.π. Καθοριστική, για τη διαστασιολόγηση της επιδομής, είναι η μέγιστη τιμή -που βρίσκεται βάσει των κανόνων της στατιστικής από τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση. Ηδη για την εύρεση της τιμής του φορτίου που καταπονεί το στρωτήρα, λαμβάνεται η τριπλάσια τιμή της τυπικής απόκλισης (P=99,7%).

Ανυποχώρητη έδραση (π.χ. γέφυρα από σκυρόδεμα, βράχος σε πυθμένα σήραγγας ως υποδομή) με μεγάλα αξονικά φορτία π.χ. 225kN) οδηγεί σε γρηγορότερη καταστροφή του σκύρου και επομένως σε χειροτέρευση της γεωμετρίας της γραμμής. Σε τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να προληφθεί το φαινόμενο με τοποθέτηση ελαστικών υποθεμάτων για την εξομάλυνση των πολύ μεγάλων διαφορών ακαμψίας υποδομής κατά τη μετάβαση από επίχωμα σε σήραγγα ή γέφυρα σκυροδέματος.

Είναι πολύ σημαντική η διαπίστωση, ότι έχει παρατηρηθεί ότι το υλικό των στρωτήρων (ξύλο, beton) δίδει σχεδόν ταυτιζόμενες καθιζήσεις της γραμμής. Επειδή δε η παραμένουσα παραμόρφωση είναι ένα ποσοστό της συνολικής παραμόρφωσης κατά τη διέλευση των φορτίων [16], συνεπάγεται ότι θα έχουμε περίπου ίδια συμπεριφορά στη χειροτέρευση της γεωμετρίας της γραμμής. Το γεγονός αυτό επαληθεύεται και από τον κ. J. Eisenmann σε δημοσίευσή του το 1984.

Σύμφωνα με την Question D117 Rp 4 της ORE, οι βαρύτεροι στρωτήρες beton σε σχέση με τους ξύλινους εμποδίζουν την καθίζηση της γραμμής που προκύπτει από δονήσεις. Με τους στρωτήρες αυτούς δεν προκαλούνται αιχμές που χαρακτηρίζουν το εύρος της δόνησης στην περιοχή συντονισμού που οδηγεί σε αποσταθεροποίηση του έρματος και της υποδομής. Επιπλέον οδηγεί σε μείωση της επιπόνησης του έρματος και της υποδομής, η ελάττωση των Μ.Α.Μ. και η χρήση "ελαστικότερου" υποθέματος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ALIAS J. : La voie ferree, Eyrolles 1984

Erieau Jean, "L' Evolution des Attaches de Rails et des Traverses en Beton Francaises", R.G.C.F. 1980

Feyrabant Mr," Cours des Chemins de Fer", Ecole Nationale des Ponts et Chaussees, 1967.

Imbert B., "Les Structures D' Assise Ferroviaire, Dimensionnement- Durabilite", Parfaire No 39 – Avril '86.

Janin G., "La superstructure pour les circulations a grande vitesse», Conference en Autriche, Graz 4/1974,25.

Prud' Homme A. : « La voie », RGCF 1/1970

Prud'homme A., Erieau J., «Les nouvelles traverses en beton de la SNCF», RGCF - 2/1976, 102 - 117.

S.N.C.F. – Direction de l' Equipement Direction de l' Equipement, "Attaches Nabla- Dossier Tecnique "

S.N.C.F. – Direction de l' Equipement, "Constitution De La Voie Courante", 1979

S.N.C.F. – Direction de l' Equipement, "Trace De La Voie Etudiee Et Rectification Des Courbes", 1974

Sauvage R. –Imbert B., "Utilisation D' Additifs De Structures" Dans Les Couches D' Assise De Voies Ferrees", Ille Congres International des Geotextiles – Vienne, Autriche, 7-11 Avril 1986.

Sauvage R.– Huart F., "Maintenance Des Couches D' Assise Des Voies Ferrees".

Sauvage R.– Richez G, "Les Couches D' Assise De La Voie Ferree", R. G. C. F. – Decembre 1978.

Schram Gerhard, "Permanent Way Technique and Permanent Way Economy", Otto Elsner Verlagsgesellschaft, Darmstadt,1961

Γιαννακός Κ, Βλασοπούλου Ι, – «Μελέτη για την καταπόνηση του έρματος και τη συμπεριφορά της επιδομής σε σχέση με το είδος των χρησιμοποιουμένων στρωτήρων», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1990

Γιαννακός Κ, Βλασοπούλου Ι, – «Μελέτη για το σύστημα «στρωτήρας- σκύρο», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1990.

Γιαννακός Κ, Ιορδανίδης Π, Βλασοπούλου Ι, «Εκθεση Επιτροπής Εμπειρογνωμόνων του ΟΣΕ για την επίσκεψη τους στους SNCF από 15.5.1988 - 11.6.1988», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1988.

Γιαννακός Κ., Βλασοπούλου Ι., «Φόρτιση Στρωτήρων από Σκυρόδεμα και Εφαρμογή για Διμερείς Στρωτήρες», Τεχνικά Χρονικά, Επιστημονική Εκδοση Τ.Ε.Ε., Volume 14, 2/1994

Γιαννακός Κωνσταντίνος, ''Σιδηροτροχιές, Στρωτήρες, Σύνδεσμοι, Αρμοί, Σ.Σ.Σ., Ερμα, Στρώση Γραμμής'', ΟΣΕ – Αθήνα, Οκτώβρης 1985

Γιαννακός Κωνσταντίνος, «Διαχείριση Σιδηροδρομικής Υποδομής», Εργασία που υποβλήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού μαθήματος «Μελέτη και Διαχείριση Οδικών έργων και Συγκοινωνιακής Υποδομής», για απόκτηση Διδακτορικού Διπλώματος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Συγκοινωνιών και Οργάνωσης, Θεσσαλονίκη, 1999.

Γιαννακός Κωνσταντίνος, «Έκθεση για την επίσκεψη στους Γαλλικούς Σιδηροδρόμους (SNCF) ως εκπαιδευόμενος εκπαιδευτής εκπαιδευτών», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής – Αθήνα, Νοέμβρης 1983

Γιαννακός Κωνσταντίνος, Αλεξάνδρου Αρ., Καλλαινός Κ., Νικολάου Αλ., Ξανθούλης Μ., «Σημειώσεις από τις παραδόσεις του Μαθήματος του κ.

Γιαννακού Κ. – Μηχανισμοί Γραμμής», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής – Εκπαίδευση προσωπικού, Αθήνα 1984

ΟΣΕ, "ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΠΙΔΟΜΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ (Κ.Ε.Γ.) των ΣΕΚ", 1953

ΟΣΕ, "ΝΕΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΠΙΔΟΜΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ (Ν.Κ.Ε.Γ.)", 1978

ΟΣΕ, "ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΠΙΔΟΜΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ (Σ.Κ.Ε.Γ.) των ΣΕΚ", 1953

ΟΣΕ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ, «ΑΠΕΛΕΥΘΕΡΩΣΙΣ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΤΩΝ Σ.Σ.Σ. ΔΙΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΕΩΣ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΕΩΣ ΠΡΟΣ ΧΡΗΣΗ ΥΠΟ ΤΟΥ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ ΣΥΝΤΗΡΗΣΕΩΣ ΓΡΑΜΜΗΣ», Τεχνική Οδηγία.

ΟΣΕ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ, «Η ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ», Β. Προφυλλίδης – Α. Κουπαρούσος, Ιούλιος 1984.

ΟΣΕ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ, «ΟΡΙΣΤΙΚΗ ΡΥΘΜΙΣΗ Σ.Δ. ΓΑΛΛΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ», Τεχνική Οδηγία.

ΟΣΕ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ, «ΡΥΘΜΙΣΗ Σ.Δ. (παλαιού τύπου) ΓΙΑ ΤΙΣ Σ.Σ.Σ.», Τεχνική Οδηγία.

ΟΣΕ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ, «ΣΤΡΩΣΙΣ ΕΠΙΒΛΕΨΙΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΩΝ ΤΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΜΕΝΩΝ ΕΙΣ ΜΕΓΑΛΑ ΜΗΚΗ (Σ.Σ.Σ.)», Τεχνική Οδηγία.

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 5

- **Κατάταξη Γραμμών**
- **Αξιοποίηση Καταγραφικών Διαγραμμάτων**
- **Εξέλιξη των Σφαλμάτων Γραμμής σε σχέση με τον κυκλοφοριακό φόρτο**
- **Ανάλυση της Επιρροής στα Σφάλματα Γραμμής των διαφόρων παραμέτρων της Επιδομής και Υποδομής**

1.- Κατάταξη Γραμμών σε κατηγορίες

1.1.- Κατάταξη σύμφωνα με το φορτίο ανά άξονα

Η Διεθνής Ενωση Σιδηροδρόμων (UIC) κατατάσσει τις γραμμές, ανάλογα με το βάρος των σιδηροτροχιών και την απόσταση των στρωτήρων, σε 4 κατηγορίες : A,B,C και D (πίνακας 1). Κάθε κατηγορία χωρίζεται σε υποκατηγορίες ανάλογα με το διανεμημένο φορτίο ανά μέτρο μήκους (συνολικό φορτίο οχήματος διαιρούμενο με το ελεύθερο μήκος μεταξύ προσκρουστήρων).
Η καθιέρωση της κατηγορίας D έγινε σχετικά πρόσφατα (1987) ύστερα από επισταμένες έρευνες που έδειξαν ότι η αύξηση του βάρους κατ' άξονα από 20 σε 22,5 (αύξηση 12,5%), όταν γίνεται σε μια γραμμή καλής ποιότητας, δεν θέτει σε κίνδυνο τη μηχανική αντοχή της επιδομής.
Το μέγιστο φορτίο κατ' άξονα που μπορεί να παραλάβει μία γραμμή είναι συνάρτηση όλων των παραμέτρων που υπεισέρχονται στην κατασκευή της επιδομής και της υπόβασης. Η αύξηση του εύρους της γραμμής επιτρέπει σημαντική αύξηση του φορτίου κατ' άξονα.
Το μέγιστο φορτίο κατ' άξονα διαφέρει από χώρα σε χώρα, και στις περισσότερες χώρες,από γραμμή σε γραμμή.

Πίνακας 1: Κατηγορίες γραμμών με βάση το επιτρεπόμενο βάρος κατ' άξονα των κυκλοφορούντων συρμών [Γιαννακός 1999]

Κατηγορία γραμμής	**Βάρος ανά άξονα (t/άξονα)**	**Βάρος ανά μέτρο (t/m)**
A	16	4.8
B1	18	5.0
B2	18	6.4
C2	20	6.4
C3	20	7.2
C4	20	8.0
D4	22,5	8.0

Με τον όρο βάρος ή φορτίο ανά τροχό εννοούμε το ***στατικό φορτίο*** Q_o που μεταβιβάζεται μεμονωμένα από κάθε τροχό του οχήματος στην αντίστοιχη σιδηροτροχιά.
Εάν θεωρήσουμε συμμετρική φόρτιση του οχήματος τότε έχουμε :

$$Q = \frac{Q_0}{2}$$

Στην πράξη, τα βάρη Q_1 και Q_2 των δύο τροχών κάθε άξονα, ιδίως στην περίπτωση κίνησης σε καμπύλη, δεν είναι ίσα.

1.2. Κατάταξη σύμφωνα με το Φόρτο κυκλοφορίας και κατηγορίες γραμμών

Η ποιοτική και ποσοτική εκτίμηση της κυκλοφορίας μιας γραμμής εκφράζεται συνήθως με τον ημερήσιο κυκλοφοριακό φόρτο T_f. Με βάση την τιμή του ημερήσιου

κυκλοφοριακού φόρτου οι γραμμές κατατάσσονται σε κατηγορίες με απώτερο σκοπό την τυποποίηση της διαστασιολόγησης και συντήρησης της γραμμής.
Δίδουμε παρακάτω δύο σχέσεις που έχουν υιοθετηθεί από την UIC.

(α)

$$T_f = T_p \cdot \frac{V}{100} + T_g \cdot \frac{Q_D}{18D} \qquad (1)$$

Όπου T_f : ημερήσιος φόρτος κυκλοφορίας (σε t)
T_p : ημερήσιο φορτίο κυκλοφορίας επιβατικών συρμών (σε t)
T_g : ημερήσιο φορτίο κυκλοφορίας εμπορικών συρμών (σε t)
V : μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα (σε Km/h)
D : ελάχιστη διάμετρος τροχών (σε m)
Q_D : μέγιστο διερχόμενο φορτίο ανά άξονα με τροχούς διαμέτρου D (σε t).

Με βάση τη σχέση (1) οι γραμμές κατατάσσονται συνήθως σε 4 κατηγορίες:

Πίνακας 2: Κατηγορίες γραμμών

Κατηγορία	Ημερήσιος Φόρτος
I	Tf>40.000
II	40.000≥Tf>20.000
III	20.000≥Tf>10.000
IV	10.000≥Tf

(β)

$$Tf = S \cdot (T_V + K_m \cdot T_m \cdot K_t \cdot T_t) \qquad (2)$$

Όπου T_f : ημερήσιος φόρτος κυκλοφορίας (σε t)
T_v : ημερήσιο φορτίο κυκλοφορίας ελκόμενων επιβατικών οχημάτων (σε t)
T_m : ημερήσιο φορτίο κυκλοφορίας ελκόμενων εμπορικών οχημάτων (σε t)
T_t : ημερήσιο φορτίο κυκλοφορίας κινητηρίων οχημάτων (σε t)
K_m : 1,15
K_t : 1,40
S : 1,0 για γραμμές χωρίς επιβατική κίνηση
S : 1,1 για γραμμές με μικτή κυκλοφορία και $V_{max} < 120$ Km/h
S : 1,2 για γραμμές με μικτή κυκλοφορία και $120 \le V_{max} < 140$ Km/h
S : 1,25 για γραμμές με μικτή κυκλοφορία και $V_{max} \ge 140$ Km/h

1.3. Παράγοντες επιρροής της αντοχής και της ποιότητας της γραμμής

Η μηχανική αντοχή μιας σιδηροδρομικής γραμμής και η ποιότητά της επηρεάζονται από τους παρακάτω παράγοντες:

- βάρος κατ' άξονα Q (στατικό κατακόρυφο φορτίο),
- συνολικό βάρος συρμού ΣQ (στατικό κατακόρυφο φορτίο),
- ετήσιο ή ημερήσιο φορτίο κυκλοφορίας

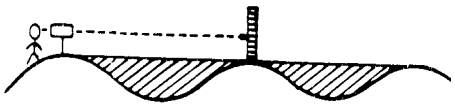
- κατακόρυφα δυναμικά φορτία Q_{dyn}
- εγκάρσια και οριζόντια στατικά και δυναμικά φορτία,
- ταχύτητες κυκλοφορίας συρμών,
- σχεδιασμός των σιδηροδρομικών φορείων των κυκλοφορούντων συρμών
- κατασκευή και τοποθέτηση επιδομής / υπόβασης,
  συντήρηση τροχαίου υλικού και γραμμής.

2.- Αξιοποιηση Καταγραφικων Διαγραμματων

2.1. Γενικά

Για την οργάνωση της συντήρησης της γραμμής, την υιοθέτηση των κριτηρίων επέμβασης και συνεπώς τον καθορισμό του επιπέδου και της συχνότητας των εργασιών συντήρησης, υπάρχουν τριών ειδών παράγοντες-κριτήρια που επηρεάζουν τις αποφάσεις που παίρνονται:
(α) άνεση του επιβάτη
(β) καταπόνηση της γραμμής και
(γ) οικονομικοί

- Ιστορικά, για την ανεύρεση των σφαλμάτων γραμμής, χρησιμοποιήθηκαν τρεις μέθοδοι:



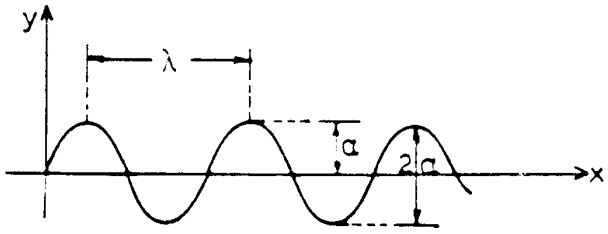
Σχήμα 1: Οπτική καταγραφή σφαλμάτων

1η μέθοδος: (σχήμα 1) Με οπτικά μέσα, ανεύρεση των υψηλότερων σημείων της γραμμής και «σήκωμα» των ενδιάμεσων σημείων, που είναι χαμηλότερα, ώστε να τακτοποιηθεί υψομετρικά η γραμμή.
2η μέθοδος:
Επιταχυνσιογραφήματα για την μέτρηση των επιταχύνσεων. Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε πριν τον πόλεμο (μέθοδος HALLADE), με την εγκατάσταση επιταχυνσιογράφων σε τραίνα μεγάλων -τότε- ταχυτήτων, 130km/h.
3η μέθοδος: Σύνδεση των σφαλμάτων της γραμμής με την συμπεριφορά των οχημάτων. Στη Γαλλία κατασκευάστηκε το 1937 το πρώτο καταγραφικό όχημα (Mauzin). Το όχημα αυτό καταγράφει υπό φορτίο, όπως άλλωστε και το όχημα που προμηθεύτηκε ο ΟΣΕ πρόσφατα. Το Mauzin έχει 8t/άξονα (έχει 8 άξονες), βάρος που είναι αρκετό για να οδηγήσει στην ανεύρεση στρωτήρων που χορεύουν. Με το όχημα αυτό βέβαια δεν μετράται η ακαμψία (ρ) της γραμμής, αλλά μόνο καταγράφονται τα σφάλματα γεωμετρίας της γραμμής. Για να μετρηθεί το «ρ» απαιτούνται ειδικές, μετρήσεις.

Κατά τα έτη που ακολούθησαν μετά τον Β' παγκόσμιο πόλεμο, εγκαταλείφθηκε η καταγραφή με επιταχυνσιογράφους, όμως όταν απαιτήθηκε η αύξηση ταχυτήτων 200km/h και, ιδίως όταν σχεδιαζόταν το TGV, επαναφέρθηκε η καταγραφή των επιταχύνσεων.

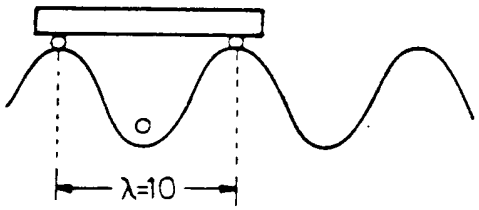
2.2. Καταγραφή σφαλμάτων

Για την καταγραφή σφαλμάτων η βασική αρχή είναι η επιλογή μιας βάσης μέτρησης, όπως για παράδειγμα τα 20μ. μήκους χορδής που χρησιμοποιείται ως βάση μέτρησης των βελών στις καμπύλες.



Σχήμα 2: μήκος κύματος σφάλματος

Η γραμμή είναι γενικά μια ημιτονοειδής κύμανση (ή γενικότερα σύνθεση επιμέρους συνιστωσών κυμάνσεων) με μεταβαλλόμενο μήκος κύματος λ και εύρος α (σχήμα 2)
Η κατακόρυφη μετατόπιση της γραμμής σε ένα τυχαίο σημείο με τετμημένη x δίνεται από τον τύπο: $Y = \alpha \cdot \sin(2\pi x/\lambda)$.
Αν έχουμε σφάλμα με λ=10μ, όση και η βάση μέτρησης του οχήματος τότε καταγράφεται σφάλμα διπλάσιο του κανονικού, υπό την προϋπόθεση βέβαια ότι έχουμε τριαξονικό όχημα καταγραφής (σχήμα 3).
Αν το λ=5μ, τότε προφανώς το όχημα καταγράφει μηδενικό σφάλμα. Είναι προφανές λοιπόν ότι μπαίνει θέμα ακρίβειας της

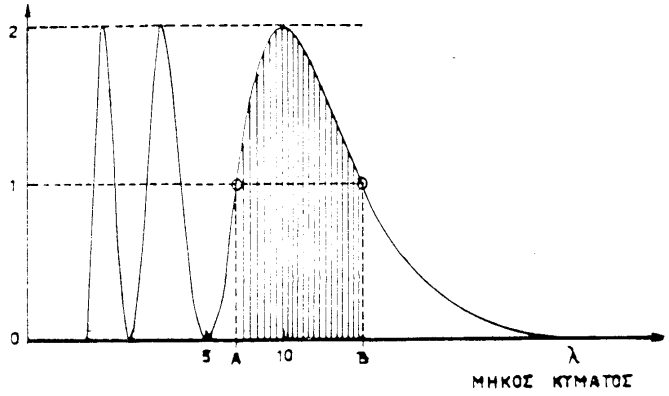


Σχήμα 3: Καταγραφικό όχημα του οποίου η απόσταση αξόνων συμπίπτει με το μήκος κύματος του σφάλματος [Γιαννακός κ.ά., 1990]

καταγραφής που κάνει το όχημα και περιοχής μηκών κύματος (άρα συχνότητας) σφαλμάτων γραμμής όπου τα διαγράμματα είναι αξιόπιστα. Ανάλογα με τη βάση μέτρησης που χρησιμοποιεί ένα δεδομένο όχημα, μπορούν να κατασκευασθούν καμπύλες που δείχνουν την διακύμανση της ακρίβειας των μετρήσεών του και της αξιοπιστίας των καταγραφικών διαγραμμάτων του. Από τις καμπύλες αυτές που θα κατασκευασθούν, εύκολα συνάγεται το συμπέρασμα για το ποια περιοχή μηκών κύματος σφαλμάτων,

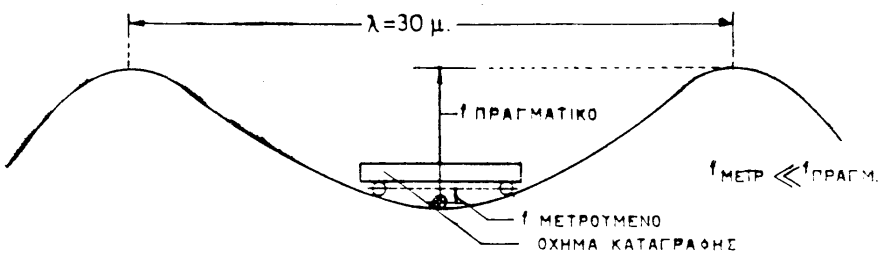
είναι αυτή που καταγράφεται αξιόπιστα και συνεπώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί το όχημα.

Στο σχήμα 4, οριζόντιος άξονας είναι το μήκος κύματος των σφαλμάτων και κατακόρυφος άξονας είναι το μέτρο της συνάρτησης μετασχηματισμού των μετρήσεων ή με απλά λόγια η σχέση μεταξύ του μετρούμενου σφάλματος και του πραγματικού. Ετσι για λ=10 η σχέση είναι 2, δηλ. μετράται διπλάσιο σφάλμα από το πραγματικό. Για λ=5μ, η σχέση είναι 0, δεν μετράται καθόλου σφάλμα όσο μεγάλο και αν είναι το πραγματικό. Για λ<5 υπάρχει μια εναλλασσόμενη καμπύλη μεταξύ 0 και 2, άρα δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε την ακρίβεια των μετρήσεων. Για λ>10 η καμπύλη φθίνει και τείνει στο μηδέν.



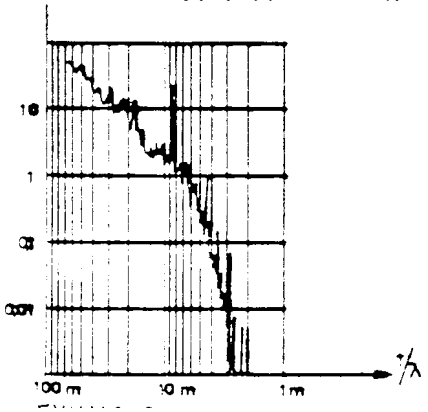
Σχήμα 4: μήκος κύματος σφάλματος και μετρούμενη ακρίβεια λόγω της βάσης μέτρησης του καταγραφικού οχήματος [Γιαννακός κ.ά., 1990]

Η παραπάνω καμπύλη μπορεί και πρέπει να συνταχθεί για κάθε χρησιμοποιούμενη βάση μέτρησης, από το όχημα. Η περιοχή αξιοπιστίας των καταγραφικών διαγραμμάτων για κάθε συγκεκριμένη βάση μέτρησης είναι η γραμμοσκιασμένη περιοχή



Σχήμα 5: Αδυναμία αξιόπιστης μέτρησης μεγάλου μήκους σφαλμάτων γραμμής (με μήκος κύματος πολύ μεγαλύτερο από τη βάση μέτρησης του καταγραφικού) [Γιαννακός κ.ά., 1990]

που βρίσκεται μεταξύ λ=Α και λ=Β, εκεί δηλαδή που η οριζόντια ευθεία τέμνει τον άξονα y στη θέση 1 ή ίσως και λίγο περισσό **τ**ερο από τη γραμμοσκιασμένη περιοχή. Βλέπουμε λοιπόν ότι το καταγραφικό είναι αξιόπιστο σε μια μικρή περιοχή μηκών κύματος σφαλμάτων γραμμής. Εξω από αυτήν την περιοχή των λ, η ακρίβεια μετρήσεων μειώνεται πολύ.



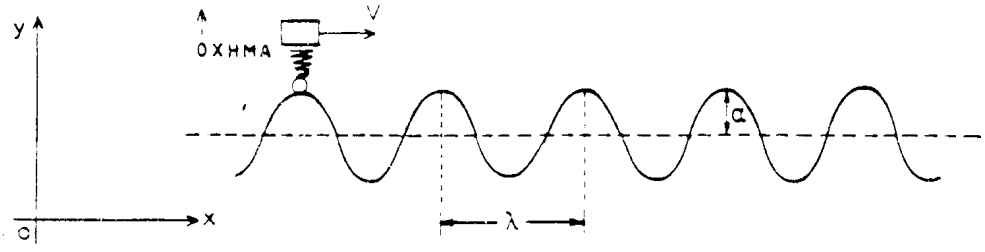
Σχήμα 6: φασματική πυκνότητα S(λ) σφαλμάτων γραμμής [Γιαννακός κ.ά., 1988]

Για παράδειγμα ένα σφάλμα με λ=30μ. (σχήμα 5)
Αν λ=100μ. το $f_{μετρ}$ είναι ακόμη πιο μικρό σε σχέση με το $f_{πραγμ}$.
Για το λόγο αυτό επεξεργάζονται τα καταγραφικά διαγράμματα και φθάνουν στο φάσμα πυκνότητας σφαλμάτων γραμμής, του οποίου ενδεικτική μορφή είναι αυτή που φαίνεται στο σχήμα 6. Η S (λ) είναι η διασπορά και ισχύει ότι $S_{πραγμ} = S_{μετρηθέν}/|H|^2$. Οπου $|H|$ το μέτρο της μετασχηματισμένης του Fourier.
Στο σημείο αυτό πλέον μπορούμε να δώσουμε την απάντηση *στο ερώτημα που* γεννιέται: ***«Ποιά είναι η σχέση μήκους κύματος σφαλμάτων και της συχνότητας δονήσεων σ' ένα τραίνο;»***
Έστω ένα όχημα όπως στο σχήμα 7 που κινείται σε μια γραμμή ημιτονοειδούς μορφής λόγω σφαλμάτων.V σε m/sec, t σε sec, x σε m.

$$x = V \cdot t, \qquad Y = a \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot x}{\lambda}\right) = a \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot V \cdot t}{\lambda}\right)$$

$$\text{Η περίοδος} \quad T = \frac{\lambda}{V} \ (\text{sec}), \ \text{η συχνότητα} \quad v = \frac{1}{T} = \frac{V}{\lambda} \ (\text{sec}^{-1})$$

Η διέγερση ενός οχήματος από ένα δοσμένο μήκος κύματος είναι η συχνότητα ν.

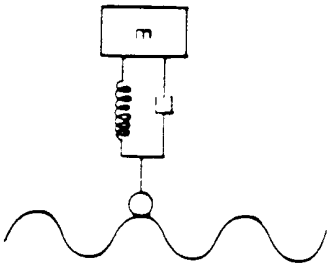


Σχήμα 7: όχημα κινούμενο επί γραμμής σε σχηματική αναπαράσταση

2.3. Επιταχυνσιογραφήματα

Για να ελεγχθεί η κατάσταση γραμμής και από άποψη άνεσης του επιβάτη και από άποψη ασφάλειας, κάνουν επιταχυνσιογραφήματα.

Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι είναι δυνατό π. χ. σε

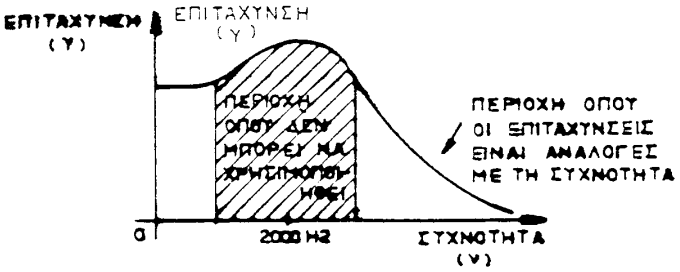


Σχήμα 8

παραβολική συναρμογή να υπάρχει σφάλμα που δεν το «πιάνει» η συνηθισμένη καταγραφή σφαλμάτων γραμμής, λόγω μεγάλου λ, το αισθάνεται όμως έντονα ο επιβάτης και φυσικά καταγράφεται από τον επιταχυνσιογράφο. Υπάρχουν δύο ειδών επιταχυνσιογράφοι:

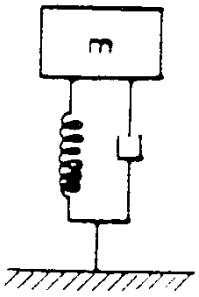
(α) του αμαξώματος του οχήματος (άνεση επιβάτη) και
(β) του κιβωτίου των αξόνων (ασφάλεια έναντι εκτροχίασης).

Είναι μια μάζα σε ελατήριο (σχήμα 8) και έχει σαν σύστημα μια χαρακτηριστική ιδιοσυχνότητα. Αν κάνουμε διάγραμμα επιταχύνσεων - συχνοτήτων (σχήμα 9), βλέπουμε ότι υπάρχει μια περιοχή συχνοτήτων που πλησιάζουν την ιδιοσυχνότητα του επιταχυνσιογράφου και υπάρχει συντονισμός, όπου δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Υπάρχει επίσης μια περιοχή όπου οι μετρούμενες επιταχύνσεις είναι ανάλογες προς την συχνότητα.



Σχήμα 9: Περιοχή συντονισμού επιταχυνσιογράφου δεν είναι αξιόπιστη για καταγραφές [Γιαννακός κ..ά., 1988]

Αν οι επιταχυνσιογράφοι μετρούν μέχρι 2,5g, τοποθετούνται στο αμάξωμα του οχήματος. Είναι πολύ ευαίσθητοι και αν πέσουν κάτω σπάνε. Δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα κιβώτια αξόνων (σπάνε στα 10g).
Για τα κιβώτια αξόνων χρησιμοποιούνται πολύ πιο ανθεκτικοί επιταχυνσιογράφοι, που μετράνε από -25g μέχρι +25g. Αντέχουν όμως πολύ περισσότερο. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι όταν ένας άξονας περνά μέσα από αιχμές αλλαγών, η κατακόρυφη επιτάχυνση φθάνει μέχρι 100g. Ο επιταχυνσιογράφος του κιβωτίου αξόνων δεν γράφει πάνω από ± 25g, όμως δεν σπάει. Και για τα επιταχυνσιογραφήματα κάνουν φάσματα και μέσο όρο σε ολισθαίνουσα βάση. Η μελέτη των επιταχυνσιογραφημάτων μας δίνει αποτελέσματα για την κατάσταση της επιφάνειας κύλισης της σιδηροτροχιάς.



Σχήμα 10

Ο συντελεστής Κ προκύπτει από επιταχυνσιογραφήματα του κιβωτίου αξόνων, αφού τα επεξεργαστούμε και βγάλουμε την τυπική απόκλιση των επιταχύνσεων. Υπάρχουν στην αγορά συσκευές που επεξεργάζονται ένα σήμα και βγάζουν κατευθείαν την τυπική απόκλιση. Επειδή σ(γ)=Κ·V, υπάρχουν συσκευές που αυτόματα κάνουν την διαίρεση και καταγράφουν κατευθείαν το γ/V γιατί είναι δύσκολο να καταγράφουμε συνεχώς με V=σταθ.
Δεν πρέπει η κατακόρυφη επιτάχυνση να ξεπερνά τα 0,5g, στο αμάξωμα του οχήματος.
Αν θεωρήσουμε ημιτονοειδή γεωμετρία γραμμής, όπως η δική μας σύμφωνα με τα καταγραφικά διαγράμματα που είχαμε μαζί μας, το όχημα διεγείρεται από την κύμανση της γραμμής (σχήμα 10):

$$\gamma_{\kappa\alpha\tau} = \frac{1}{2\varepsilon} \cdot \alpha \cdot \omega^2$$

όπου:
ε = συντελεστής απόσβεσης γραμμής (από 0,2 ÷ 0,5 με συνηθισμένο 0,3)
ν=συχνότητα, άρα ω=2πν
α= εύρος ταλάντωσης

$$\gamma_{\kappa\alpha\tau} = \frac{1}{2\varepsilon}\alpha \cdot 4\pi^2 \cdot \nu^2 \cong \frac{1,6}{2\varepsilon} \quad \sigma\varepsilon \quad m/sec^2$$

Αν ε=0,3, γ=2,9m/sec = 0,29g
αν ε=0,15, γ=5,33m/sec = 0,53g (πολύ μεγαλύτερη)
Τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτουν για κυματοειδή φθορά δηλ. με λ=1,70μ, για V=90km/h ⇒ V=25m/sec.
Άρα T=λ/V, ν=V/λ=14,70Hz, α=0,2mm=0,0002m (βάθος κυματοειδούς φθοράς). Σημειώνουμε ότι όριο για την κυματοειδή φθορά κατά την παραλαβή στο εργοστάσιο, είναι 3/10mm ή 0,0003m.
Βλέπουμε ότι η κατακόρυφη επιτάχυνση είναι πολύ μεγάλη για γραμμή με μικρή απόσβεση (γραμμή όχι ελαστική) και ημιτονοειδή γραμμή, δηλ. σφάλματα πολύ περιοδικά, ιδίου λ και α.
Συμπέρασμα: Για τα σφάλματα της γραμμής μας που έχουν αυτή τη μορφή με τα ίδια λ και α, έχουμε κακή συμπεριφορά των συρμών δηλ. μεγάλη καταπόνηση της γραμμής.

Επιτρεπόμενη κατακόρυφη επιτάχυνση στο κιβώτιο του άξονα: γ=0,02g/km/h. Δηλαδή για V=100km/h, γ=2g.

Τα επιταχυνσιογραφήματα μας δίνουν πλήρη εικόνα για την κατάσταση της επιφάνειας κύλισης της σιδηροτροχιάς (κυματοειδής φθορά) και την ανάγκη να γίνει τρόχισμα της επιφάνειας κύλισης της σιδηροτροχιάς. Για ασφάλεια έναντι εκτροχίασης πρέπει να έχουμε για την εγκάρσια επιτάχυνση $\gamma \leq 0,4g$ (η επιτάχυνση αυτή είναι σχετική δηλ. σε ευθεία, επειδή σε καμπύλη υπάρχει μια πρόσθετη επιτάχυνση λόγω φυγόκεντρης).

2.4. Καθορισμός των ανεκτών ορίων των διαφόρων τύπων σφαλμάτων γραμμής σε συνάρτηση με τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα.

Ο καθορισμός των ανεκτών ορίων των διαφόρων τύπων σφαλμάτων γραμμής είναι ιδιαίτερα σημαντικό ζήτημα για την επίτευξη γραμμής ασφαλούς κυκλοφορίας και ικανοποιητικών συνθηκών άνεσης του επιβάτη. Οι τιμές που δίδονται στη συνέχεια καθορίστηκαν με βάση:

- Στοιχεία δυτικοευρωπαϊκών δικτύων και συμπεράσματα ερευνητικών εργασιών όπου, βέβαια, mutatis mutandis, αυτό είναι δυνατό,
- Καταγραφές και μετρήσεις που έγιναν σε γραμμές του ελληνικού δικτύου,
- Την πείρα των τεχνικών του ΟΣΕ που επί χρόνια είναι επιφορτισμένοι με τη συντήρηση της γραμμής.

Για κάθε ταχύτητα καθορίζουμε αφενός τις οριακές τιμές επέμβασης και αφετέρου τις επιθυμητές τιμές του σφάλματος που υπολείπεται μετά τις εργασίες συντήρησης. Θα καλούμε τις πρώτες ανοχές επέμβασης και τις δεύτερες ανοχές συντήρησης. Έτσι έχουμε:

Κατά μήκος υψομετρικό σφάλμα
Για βάση μέτρησης 10m θα πρέπει να τηρούνται οι τιμές του πίνακα 3:

Πίνακας 3: Ανοχές επέμβασης και συντήρησης για το κατά μήκος υψομετρικό σφάλμα

Ταχύτητα	***Ανοχές επέμβασης***	***Ανοχές συντήρησης***
60km/h<V<80km/h	NL < 15mm	NL< 6mm
80km/h<V<100km/h	NL < 12mm	NL< 5mm
100km/h<V<120km/h	NL < 10mm	NL< 4mm

Εγκάρσιο υψομετρικό σφάλμα
Για V<120km/h θα είναι:
Ανοχές επέμβασης: NT<(10mm
Ανοχές συντήρησης: NT<(3mm

Οριζοντιογραφικό σφάλμα
Για βάση μέτρησης 10m οι ανεκτές τιμές προδιαγράφονται στον πίνακα 4:

Πίνακας 4: ανοχές επέμβασης και συντήρησης για το οριζοντιογραφικό σφάλμα

Ταχύτητα	***Ανοχές επέμβασης***	***Ανοχές συντήρησης***
80km/h<V<100km/h	DH < (± 10mm	DH < (± 3mm
100km/h<V<120km/h	DH < (± 8mm	DH < (± 2mm

Αποκλίσεις εύρους γραμμής
Οι ανοχές επέμβασης και συντήρησης δίνονται στον πίνακα 5.

Πίνακας5: Ανοχές επέμβασης και συντήρησης για το εύρος γραμμής

Είδος γραμμής	***Ταχύτητα V (km/h)***	***Ακτίνα καμπυλότητας r (m)***	***Ανοχές επέμβασης (ακρότατες επιτρεπόμενες τιμές του εύρους) (mm)***	***Ανοχές συντήρησης (μεταβολή του εύρους από στρωτήρα σε στρωτήρα) (mm)***
Γραμμή με στρωτήρες από σκυρόδεμα	V> 130	Ευθυγρ. – καμπύλες	1432÷1442	1
	100<V<130	Ευθυγρ. Και R>1000	1432÷1450	2
		600<R<1000	1432÷1460	
		R<600	1432÷1465	
	V<100	Ευθυγρ. και R>600 R<600	1432÷1460 1435÷1465	2
Γραμμή με στρωτήρες ξύλινους ή μεταλλικ.	V> 130	Ευθυγρ. – καμπύλες		1
	100<V<130	Ευθυγρ. Και R>1000 R<1000	1435÷1450 1435÷1460	2
	V<100	Ευθυγρ. Και R>400 350<R<400 300<R<350 250<R<300 R<250	1432÷1460 1435÷1465 1440÷1465 1445÷1465 1452÷1465	3

Στρεβλότητα
Θα πρέπει να τηρούνται οι τιμές που δίνονται στον πίνακα 6:

Πίνακας 6: Ανοχές επέμβασης και συντήρησης για τη στρεβλότητα

Ταχύτητα	***Ανοχές επέμβασης***	***Ανοχές συντήρησης***
60km/h<V<80km/h	G<5mm/m	G<1mm/m
80km/h<V<100km/h	G<4mm/m	G<1mm/m
100km/h<V<120km/h	G<3.3mm/m	G<1mm/m

Τέλος για τις χαμηλές και μέσες ταχύτητες, που εξετάζουμε στο άρθρο αυτό (V<140km/h), δίνουμε και τις ανοχές που αφορούν τις επεξεργασμένες τιμές των διαφόρων σφαλμάτων, όπως αυτές προδιαγράφονται από τους γαλλικούς σιδηρόδρομους.

Πίνακας 7: Ανοχές που αφορούν τις επεξεργασμένες τιμές των σφαλμάτων γραμμής για V<140km/h Lκατωτ επίπεδο προειδοποιητικό, Lανωτ οριακό επίπεδο επέμβασης)

	Μέση τυπική απόκλιση σφαλμάτων (mm)σε μήκος γραμμής 300m	
	Lκατωτ	Lανωτ
NL	0.8	1.2
NT	0.6	0.8
DH	1.2	2.0
E	0.8	1.0

3.- Εξέλιξη των Σφαλμάτων Γραμμής σε Συνάρτηση με τον Κυκλοφοριακό Φόρτο

Η ύπαρξη ενός σφάλματος γραμμής κάτω από τα όρια που προδιαγράψαμε στην προηγούμενη παράγραφο δεν δικαιολογεί επέμβαση των συνεργείων γραμμής. Το ερώτημα λοιπόν που ανακύπτει είναι πώς θα εξελιχθεί ένα υπάρχον αρχικό σφάλμα
γραμμής σε συνάρτηση με τον κυκλοφοριακό φόρτο. Η γνώση του τρόπου εξέλιξης των σφαλμάτων μπορεί να οδηγήσει στον έγκαιρο προγραμματισμό των επεμβάσεων των συνεργείων γραμμής, πριν ξεπεραστούν τα όρια που δόθηκαν πριν.

3.1. Το κατά μήκος υψομετρικό σφάλμα

Από σειρά πειραματικών δοκιμών και στατιστικών αναλύσεων που έγιναν στα πλαίσια της ORE (D 117, RP. 2,7) προέκυψε ότι ένα σφάλμα που υφίσταται στη γραμμή μετά τη συντήρησή της εξελίσσεται πολύ γρήγορα μέχρι ένα φόρτο της τάξεως των 2Mt, πέρα από τον οποίο ο ρυθμός αύξησης είναι πολύ βραδύτερος. Αυτό σημαίνει ότι μέχρι το φόρτο των 2 Mt η γραμμή δεν έχει σταθεροποιηθεί πλήρως, αλλά εμφανίζει ακόμη φαινόμενα αστάθειας.
Οι ορισμοί των μεγεθών που θα αναλύσουμε στη συνέχεια δίνονται τώρα:

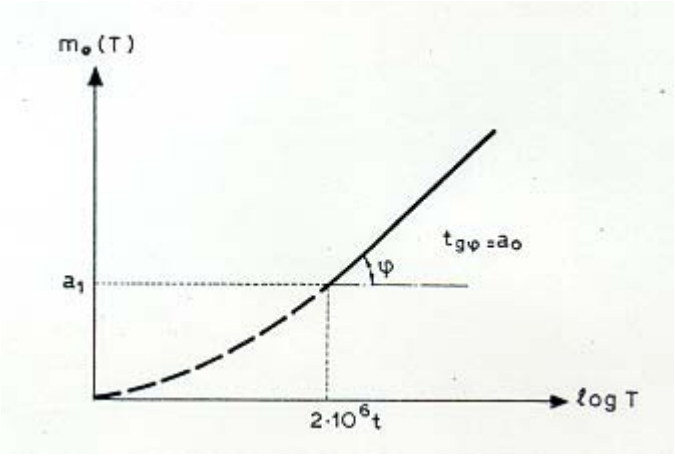
3.1.1.- Μέση βύθιση γραμμής

Δίνεται από την παρακάτω σχέση.

$$m_e(T) = a_1 + a_0 \log \frac{T}{Tr} \qquad (1)$$

όπου: Tr = 2 Mt

a_1: η μέση βύθιση για φόρτο Tr (με τιμές του a1 που κυμαίνονται από 5 ÷ 15mm)



Σχήμα 1: Η εξέλιξη της μέσης τιμής $m_e(T)$ της βύθισης της γραμμής σε συνάρτηση με τον κυκλοφοριακό φόρτο (διάγραμμα ημιλογαριθμικό)

a_0: η ταχύτητα αύξησης της βύθισης (mm/δεκαετία), που εξαρτάται κυρίως από την ποιότητα της υποδομής με μέσες τιμές 2mm ÷ 6mm/δεκαετία.

Ο λόγος $\frac{a_0}{a_1}$ δείχνει τη βραδεία εξέλιξη του φαινομένου μετά

το φόρτο των 2Mt και βρέθηκε ότι έχει τιμές 0.25 ÷ 0.70

$$\frac{a_0}{a_1} = 0.25 \div 0.70$$

3.1.2.- Μέση τυπική απόκλιση κατά μήκος υψομετρικού σφάλματος

Η χρησιμοποίηση της στατιστικά μέσης τιμής (όπως την ορίζουμε στο παράρτημα του άρθρου) οδηγεί για μεγάλο μήκος δείγματος σε τιμές του κατά μήκος υψομετρικού σφάλματος μηδενικές ή παραπλήσιες με το μηδέν. Η παρατήρηση αυτή συνδυαζόμενη με το γεγονός ότι κατά τις εργασίες συντήρησης γραμμών μέσης και υψηλής ταχύτητας μας ενδιαφέρει κυρίως η διαφορική τιμή του κατά μήκους υψομετρικού σφάλματος, οδηγούν στην υιοθέτηση ως θεμελιώδους παραμέτρου για τις προηγούμενες κατηγορίες γραμμών της μέσης τυπικής απόκλισης σNL(T). Από σειρά στατιστικών αναλύσεων διαφόρων δικτύων στα πλαίσια της ORE, προέκυψε η παρακάτω εμπειρική σχέση:

$$\sigma_{NL}(T) = C_1 + C_0 \cdot \log\frac{T}{T_r} \qquad (2)$$

όπου:

- **c_1:** η μέση τυπική απόκλιση των σφαλμάτων για φόρτο Tr = $2 \cdot 10^6$ t με μέσες τιμές 1.0 ÷ 1.35 mm,
- **c_0:** η ταχύτητα μεταβολής της τυπικής απόκλισης σφαλμάτων σε συνάρτηση με το φόρτο κυκλοφορίας, με μέσες τιμές 0.1 ÷ 0.2mm/δεκαετία.

Ο λόγος $\frac{c_1}{c_0} = 10$ πράγμα που μαρτυρεί ότι τα σφάλματα που

υφίστανται μετά τις εργασίες συντήρησης (και που έχουν εξελιχθεί γρήγορα ως το φόρτο των 2Mt είναι σχετικά μεγάλα σε σύγκριση με την εξέλιξή τους συναρτήσει του κυκλοφοριακού φόρτου Τ.

3.1.3.- Χρόνος μεταξύ δύο επεμβάσεων συντήρησης

Ας είναι σL η οριακή τιμή της μέσης τυπικής απόκλισης του κατά μήκος υψομετρικού σφάλματος, η οποία εξαρτάται κυρίως από το standing της γραμμής και καθορίζεται από τα όρια που προδιαγράψαμε προηγουμένως. Από την (2) προκύπτει ότι ο οριακός κυκλοφοριακός φόρτος T_L μεταξύ δύο διαδοχικών επεμβάσεων των συνεργείων συντήρησης θα είναι:

$$T_L = 2 \cdot 10^6 \cdot 10^{\left(\frac{\sigma_L - c_1}{c_0}\right)} \qquad (3)$$

Καθώς ό όρος C_0 είναι περίπου σταθερός, καθοριστικοί για το χρονικό διάστημα t_L μεταξύ δύο διαδοχικών εργασιών συντήρησης είναι οι όροι σ_L και C_1,
Δηλαδή σε τελευταία ανάλυση η κατάσταση στην οποία βρίσκεται η γραμμή μετά τις εργασίες συντήρησης. Αύξηση λοιπόν του χρόνου t_L μπορεί να προκύψει μόνο με βελτίωση της αρχικής κατάστασης της γραμμής μετά τις εργασίες συντήρησης, δηλαδή με καλύτερη ποιότητα των εργασιών υπογόμωσης.

3.2.- Το εγκάρσιο υψομετρικό σφάλμα

Οι στατιστικές αναλύσεις έδειξαν ότι το εγκάρσιο υψομετρικό σφάλμα έχει νόμο εξέλιξης αντίστοιχης μορφής με την (2). έτσι η μέση τυπική απόκλιση φαίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\sigma_{NT}(T) = u_1 + u_0 \cdot \log\frac{T}{T_r} \qquad (4)$$

όπου οι συντελεστές $\mathbf{u_1}$ (με μέση τιμή 1.2mm) και $\mathbf{u_0}$ (με μέσες τιμές $0.1 \div 0.4$ mm/δεκαετία) ορίζονται όπως, οι συντελεστές c_1, c_0 της (2).

3.3. Το οριζοντιογραφικό σφάλμα

Η εγκάρσια επιπόνηση της γραμμής διαφέρει από την κατακόρυφη ως προς δύο κυρίως ουσιώδη σημεία:

(α) Τα αναπτυσσόμενα φαινόμενα είναι πολύ πιο ακανόνιστα και ασυνεχή,
(β) Οι αναπτυσσόμενες δυνάμεις θα πρέπει, για λόγους ασφάλειας, να βρίσκονται μέσα στην ελαστική περιοχή. Κάτι αντίστοιχο ισχύει και για τα κατακόρυφα φαινόμενα αλλά σε μικρότερο βαθμό.

Καθώς μάλιστα τα εγκάρσια φαινόμενα εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τα χαρακτηριστικά και τις ιδιομορφίες του τροχαίου υλικού, η ορθολογική ανάλυση του προβλήματος και η αναζήτηση σχέσεων καθολικής εφαρμογής δεν έδωσε αποτελέσματα το ίδιο ικανοποιητικά με αυτά που αναπτύχθηκαν προηγουμένως. Γι αυτό θα πρέπει, όσο αυτό είναι δυνατό, στους χρησιμοποιούμενους φορμαλισμούς να αναφέρεται ο τύπος του τροχαίου υλικού που χρησιμοποιήθηκε.

Για να αποτιμηθεί το οριζοντιογραφικό σφάλμα, γίνονται με τη βοήθεια του καταγραφικού οχήματος μετρήσεις των βελών που εμφανίζονται ως προς μια χορδή μήκους της τάξης των 10 m.

Από στατιστική επεξεργασία σειράς μετρήσεων προέκυψε ότι το οριζοντιογραφικό σφάλμα εξελίσσεται σχετικά γρήγορα για έναν πρώτο φόρτο Tr της τάξεως των 2Mt και κατόπιν αρχίζει να επιβραδύνεται σημαντικά. Ο νόμος εξέλιξης του μπορεί να προσεγγισθεί σε συνάρτηση με τον κυκλοφοριακό φόρτο από μια σχέση ημιλογαριθμικής μορφής, η οποία ωστόσο σε πολλές περιπτώσεις εμφάνισε ουσιώδεις αποκλίσεις και μεγάλη διασπορά. Για τη μέση τιμή του οριζοντιογραφικού σφάλματος προτάθηκε η παρακάτω σχέση.

$$m_{DH}(T) = d_1 + d_0 \cdot \log \frac{T}{T_r} \qquad (5)$$

όπου οι συντελεστές $\mathbf{d_1}$,$\mathbf{d_0}$ ορίζονται όπως στην (1) με μέσες τιμές: $\mathbf{d_1}$ =0.6 ÷ 1.0 mm και $\mathbf{d_0}$ =0.15 ÷ 0.30 mm/δεκαετία.

Ο λόγος:

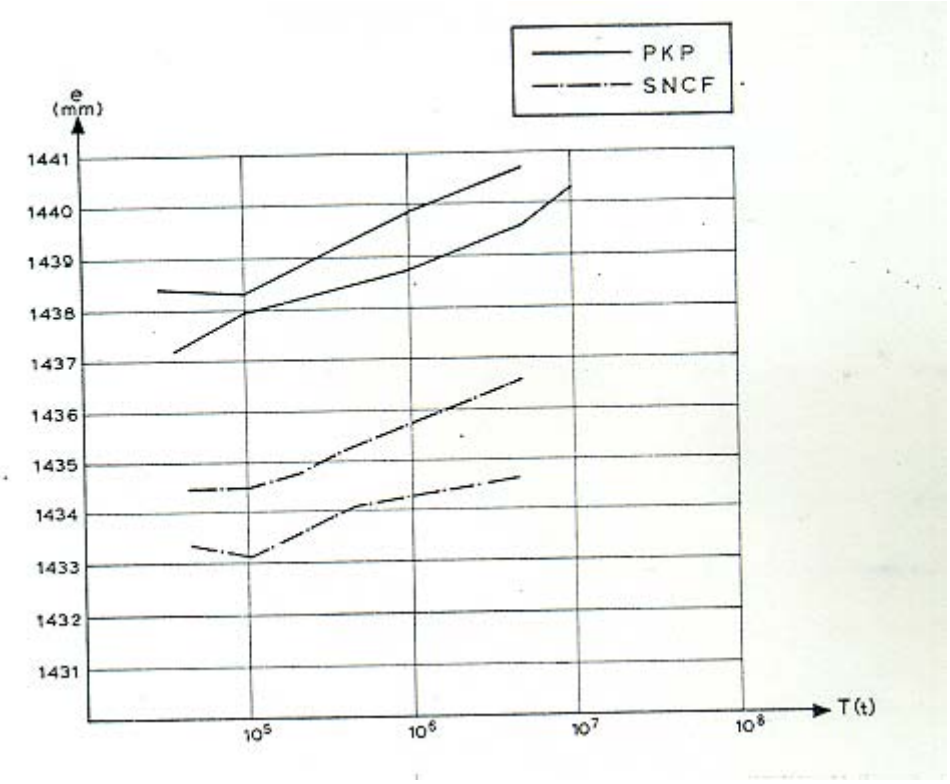
$$\frac{\mathbf{do}}{\mathbf{d1}} = \mathbf{0.20 \div 0.3,} \qquad (6)$$

Κυμαίνεται μεταξύ 0,2 και 0,3 πράγμα που δείχνει τη βραδεία εξέλιξη των σφαλμάτων μετά το φόρτο αναφοράς T_r.

3.4.- Οι αποκλίσεις του εύρους γραμμής

Οι αποκλίσεις του εύρους γραμμής εξαρτώνται κυρίως από τον τύπο του υλικού επιδομής και του τροχαίου υλικού και για αυτό είναι δύσκολο να καθορισθεί η εξέλιξη τους σε συνάρτηση με τις διάφορες παραμέτρους.

Το σχήμα 2 δίνει τις καμπύλες εξέλιξης του εύρους γραμμής σε συνάρτηση με τον κυκλοφοριακό φόρτο, από αποτελέσματα μετρήσεων των γαλλικών και πολωνικών σιδηροδρόμων για γραμμές πάνω σε ξύλινους στρωτήρες.



Σχήμα 2: Μέσες τιμές του εύρους γραμμής σε συνάρτηση με τον κυκλοφοριακό φόρτο για Πολωνικούς (PKP) και Γαλλικούς (SNCF) σιδηροδρόμους.

3.5.- Η στρεβλότητα

Η στατιστική επεξεργασία σειράς μετρήσεων έδειξε ότι η μέση τυπική απόκλιση αυξάνει σε συνάρτηση με τον κυκλοφοριακό φόρτο και παριστάνεται αρκετά αξιόπιστα από μια ημιλογαριθμική σχέση της μορφής:

$$\sigma_G(T) = g_1 + g_0 \cdot \log \frac{T}{T_r} \qquad (6)$$

όπου οι συντελεστές g_1 (με μέσες τιμές 1.0 ÷ 2.0mm και g_1 (με μέσες τιμές, 0.2 ÷ 1.0mm/δεκαετία) παρουσιάζουν τιμές με αρκετά μεγάλη διασπορά και ορίζονται αντίστοιχα με τους συντελεστές της σχέσης (2).

3.6. Κριτήρια - Ανοχές εργασιών στρώσης γραμμής

3.6.1. Γενικά

Κατά τη στρώση νέας γραμμής οι SNCF δίνουν πολύ μεγάλη βαρύτητα στην επιτυγχανόμενη ποιότητα γραμμής. Οι αρχικές δαπάνες είναι «μεγάλες» ώστε στη συνέχεια να μην τους δημιουργούνται προβλήματα. Προτιμούνται οι αρχικές μεγάλες επενδύσεις ώστε στη συνέχεια να υπάρχουν πολύ μικρές δαπάνες λειτουργίας και ελαχιστοποίηση πιθανοτήτων κακής συμπεριφοράς της γραμμής. Για την υπο δ μή δίνο ν πο λύ μεγάλη σημασία. Σχετικά αναφέρουμε εδώ κάποιες συνοπτικές παρατηρήσεις. Γενικά το κάτω μέρος της έδρασης της σχάρας, -το υπόστρωμα- και στο οποίο εδράζεται το σκύρο, κατασκευάζεται από δύο στρώματα, το πάχος των οποίων είναι συνολικά

περίπου 50 cm. Από αυτά τα δύο στρώματα, το επάνω, πο υ βρίσκεται σε επαφή με το σκύρο, γίνεται υποχρεωτικά από θραυστό υλικό, σκληρότητας 12 και συμπύκνωση 105% Proctor normal ή 100% Proctor τροποποιημένο. Στο κατώτερο από τα δύο αυτά στρώματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και φθηνότερα υλικά σκληρότητας 10 και συμπύκνωσης 100% Proctor normal. Το κάτω αυτό στρώμα περιέχει σε μεγάλο ποσοστό άμμο, με διευρυμένη κοκκομετρική διαβάθμιση.
Παλαιότερα χρησιμοποιούσαν ισόκκοκη άμμο με αποτέλεσμα να μην μπορεί να συμπυκνωθεί, να διαρρέει και να έχουμε καθιζήσεις ακανόνιστες στην επιφάνεια του επιχώματος. Με την κοκκομετρική σύνθεση που χρησιμοποιούν σήμερα αποφεύγουν την διείσδυση κόκκων στην υποδομή ή τη διάτρηση του γαιοϋφάσματος, όπου αυτό χρησιμοποιείται. Σημειώνουμε ότι είναι απαραίτητο στο αμμώδες αυτό υπόστρωμα να περιέχονται σε ποσοστό περίπου 20%, κόκκοι Φ0,2 mm.
Όσο πιο κακή είναι η υποδομή, τόσο πιο παχύ είναι το υπόστρωμα (sous-couche) που κατασκευάζεται στη στέψη της. Υπάρχουν σχετικά διαγράμματα που χρησιμοποιούνται για να υπολογισθεί το πάχος του.
Κατά τη στρώση νέων γραμμών το μηχάνημα υπογόμωσης έρματος δουλεύει με την οπτική μέθοδο και όχι με τον «αυτόματο» γιατί, ο «αυτόματος» διορθώνει το μισό σφάλμα γραμμής, άρα δεν αφήνει σε καλή κατάσταση τη γραμμή από άπο ψη σφαλμάτων. Οπωσδήπο τε πίσω από το μηχάνημα υπογόμωσης έρματος ακολουθεί το μηχάνημα σταθεροποίησης έρματος και μετά από λίγες μέρες γίνεται καταγραφή σφαλμάτων, ώστε να ελεγχθεί η εργασία συνολικά, αλλά και η ποιότητα δουλειάς του μηχανήματος σταθεροποίησης έρματος.
Ο τρόπος που εκτελείται η υπογόμωση έρματος, είναι στρώσεις σκύρου ανά 8cm, υπογόμωση έρματος και σταθεροποίηση με μηχάνημα σταθεροποίησης έρματος και όταν φθάσουμε το επιθυμητό πάχος σκύρου, ένα τελευταίο πέρασμα του μηχανήματος υπογόμωσης έρματος (φινίρισμα), ανύψωση μέχρι 20 mm και σταθεροποίηση της γραμμής. Στη συνέχεια περνάει το καταγραφικό.
Τονίζεται ότι έχει μεγάλη σημασία η ομοιογένεια του πετρώματος από το οποίο παράγονται τα σκύρα. Σε περίπτωση ορυχείου με κακής ποιότητας πέτρωμα αυτό έχει ακόμα μεγαλύτερη σημασία. Πρέπει να τεθούν αυστηρότατες προδιαγραφές στα σκυρορυχεία και να γίνονται αυστηροί έλεγχοι. Αν το πέτρωμα των σκύρων είναι ανομοιογενές, τότε δημιουργούνται ανισοκαθιζήσεις που είναι η αρχή του «χορού» (danse) των στρωτήρων.
Αμέσως μετά την στρώση της καινούργιας γραμμής, η γεωμετρία της γραμμής πρέπει να είναι πάρα πολύ καλή. Σε αντίθετη περίπτωση είναι πάρα πολύ πιθανό ότι σύντομα θα αρχίσουν να χορεύουν οι στρωτήρες.

3.6.2. Στοιχεία αρχών στρώσης γραμμής

3.6.2.1. Γενικά

Για να δημιουργηθεί ένας δρόμος για την κύλιση των τροχών των σιδηροδρομικών οχημάτων, που να ανταποκρίνεται στις επιθυμητές απαιτήσεις ασφαλείας ποιότητας και άνεσης, η γραμμή συντίθεται από στοιχεία που έχουν περιγραφεί στα προηγούμενα κεφάλαια, και πρέπει να στρώνεται σύμφωνα με ορισμένους κανόνες

Την Ελλάδα υπάρχει ο Νέος Κανονισμός Επιδομής Γραμμής (Ν.Κ.Ε.Γ.), που ισχύει σήμερα όπως και ο Κανονισμός Επιδομής Γραμμής (Κ.Ε.Γ.) και ο Συμπληρωματικός Κανονισμός Επιδομής Γραμμής (Σ.Κ.Ε.Γ.) που ίσχυαν στο παρελθόν και ισχύουν και σήμερα για τις περιπτώσεις που δεν ισχύει η δεν προβλέπει ο Ν.Κ.Ε.Γ. Για το λόγο αυτό στη συνέχεια γίνεται μια πολύ συνοπτική ανάπτυξη ορισμένων θεμάτων.

3.6.2.2. Θέση αρμών

Οι αρμοί είναι:

- Είτε 'γωνιασμένοι', δηλαδή συμπίπτει ο αρμός της εωτερικής και της εξωτερικής σιδηροτροχιάς σε μια ευθεία κάθετη στον άξονα της γραμμής.
- Είτε εναλλασσόμενοι, αν δεν ανταποκρίνονται σ' αυτή την συνθήκη. Στην περίπτωση αυτή, οι αρμοί της μιας σιδηροτροχιάς μπορούν να βρίσκονται περίπου στο μεσοδιάστημα των αρμών της άλλης (αμερικάνικη στρώση), να παρουσιάζουν μια μετατόπιση ενός μέτρου (1/2 φορείου) ή ακόμη και μια μετατόπιση ενός στρωτήρα (μετρό Παρισιού) ή να είναι μετατοπισμένοι μερικά μέτρα (στρώση SNCF για σιδηροτροχιές 36 μ με αρμούς μετατοπισμένους).
- Παρά τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει ο δεύτερος τύπος στρώσης με εναλλασσόμενους αρμούς, για το κράτημα και την οριζοντιογραφική κατάσταση της γραμμής (ιδίως σε καμπύλες) θεωρείται ότι προκαλεί πλάγιες κινήσεις προς τα πλάγια στα οχήματα με άξονες (και όχι φορεία) στην ευθυγραμμία. Επιπλέον αυτή η στρώση γραμμής δημιουργεί στρεβλότητα (κίνδυνος εκτροχίασης).

3.6.2.3. Σιδηροτροχιές εξισώσεως για καμπύλες (βραχέα σίδερα)

Στις καμπύλες, όταν έχουμε στρώση με γωνιασμένους αρμούς, είναι αναπόφευκτη η χρήση σιδηροτροχιών εξίσωσης, επειδή οι σιδηροτροχιές έχουν διαφορετικές ακτίνες και συνεπώς διαφορετικό μήκος. Αν ℓ,ℓ', τα μήκη των σιδηροτροχιών, e το εύρος της γραμμής, R η ακτίνα της εξωτερικής σιδηροτροχιάς, τότε:

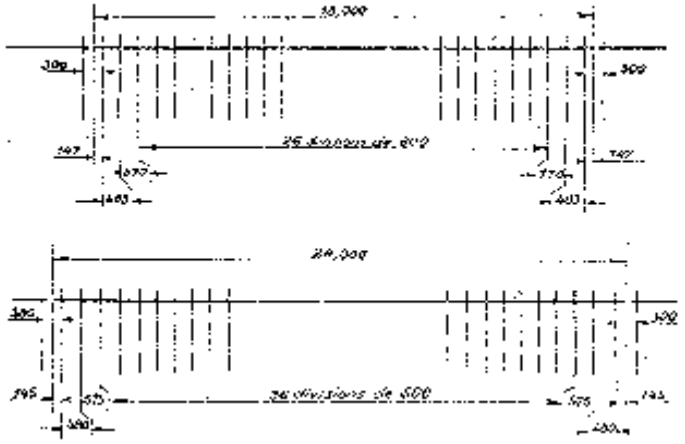
$$\ell - \ell' = \left(\frac{e}{R + \frac{e}{2}}\right) \qquad \text{και με μεγάλη προσέγγιση } \ell - \ell' = \ell \cdot \frac{e}{R}$$

Για να μην περιπλακούν ανώφελα οι προμήθειες των υλικών γραμμή με αγορά διαφόρων μηκών σιδηροτροχιών, έχει υιοθετηθεί μια συμβιβαστική λύση, που επιτρέπει μια περιορισμένη μετατόπιση των αρμών στις καμπύλες. Υπάρχει για κάθε κανονικό μήκος σιδηροτροχιάς, μια σειρά από βραχέα μήκη που επιτρέπουν με μια μελετημένη διανομή τους, στην εσωτερική σιδηροτροχιά, να μην υπάρχει ποτέ μετατόπιση των αρμών μεγαλύτερη της ημιδιαφοράς μεταξύ βραχείας και κανονικής σιδηροτροχιάς.

3.6.2.4. Απόσταση στρωτήρων

Όσο πιο μεγάλος αριθμός στρωτήρων υπάρχει τόσο πιο απαλή είναι η γραμμή και τόσο λιγότερο η υποδομή έχει την τάση να υποχωρεί. Στο παρελθόν τα δίκτυα ξεκίνησαν με 1000 στρω/km και προοδευτικά έφτασαν σήμερα περίπου στους 1700 στρω/km. Στη Σοβιετική Ένωση και στις ΗΠΑ όπου τα φορτία ανά άξονα είναι πιο αυξημένα έχουν φθάσει σε 1850 – 2000 στρ / km.

Κανονική απόσταση στρωτήρων 60 εκ.



Στα διπλανά σχήματα φαίνεται η στρώση μιας σκάρας για σιδηροτροχιά 18μ και 24μ.

3.6.2.5. Εύρος γραμμής

Το εύρος της γραμμής που υπάρχει στην ευθυγραμμία, στις καμπύλες (ανάλογα με την ακτίνα) μεταβάλλεται. Έχουμε διαπλάτυνση. Σύμφωνα με τον Ν.Κ.Ε.Γ. έχουμε:

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι		
Ακτίνα καμπύλης (μ)	**Διαπλάτυνση (χλστ)**	**Εύρος γραμμής (χλστ)**
Ευθυγραμμία και καμπύλη με ακτίνα: R≥400	0	1435
400>R≥350	5	1440
350>R≥300	10	1445
300>R≥250	15	1450
250>R	20	1455

Σε γραμμή με στρωτήρες σκυροδέματος, σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα ΙΙ.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙ		
Ακτίνα καμπύλης (μ)	**Διαπλάτυνση (χλστ)**	**Εύρος γραμμής (χλστ)**
Ευθυγραμμία και καμπύλη με ακτίνα: R≥600	0	1432
καμπύλη με ακτίνα: 300≤R<600	5	1437

2.6.2.6. Υπερύψωση

Έστω το όχημα του σχήματος σε καμπύλη ακτίνας R. Οι διαστάσεις του οχήματος είναι πολύ μικρές σε σχέση με R.

Εξασκείται η φυγόκεντρος $\frac{mV}{R}$ και το βάρος m·g. Η κλίση της συνισταμένης:

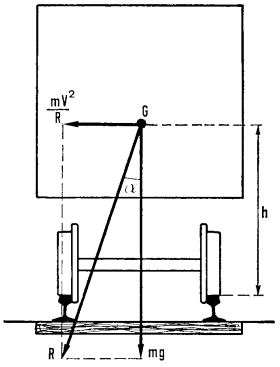
$$\varepsilon\varphi\alpha = \frac{V^2}{gR}$$

Για να μην εξασκεί το όχημα πλευρικές δυνάμεις οι οποίες είναι καταστροφικές για τη σταθερότητα της γραμμής πρέπει να δώσουμε υπερύψωση στην εξωτερική σιδηροτροχιά. Αν Ε το εύρος της γραμμής, τότε η υπερύψωση $h = E.\varepsilon\varphi\alpha = \frac{\mathrm{E}.V^2}{g.R}$

Αν θεωρήσουμε Ε=1,50m και εκφράσουμε την ταχύτητα V σε km/h και την ακτίνα R σε μέτρα τότε:

$$h = 0{,}0118\frac{V^2}{R}(\text{το h σε μέτρα}) \text{ ή } \mathrm{h} = 11{,}8\frac{V^2}{R}(\text{σε mm})$$

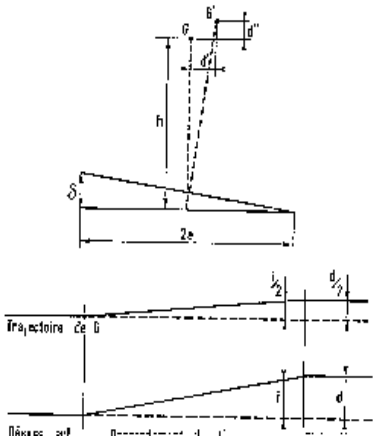
όμως σε μια γραμμή κυκλοφορούν τραίνα διαφόρων ταχυτήτων:
γρήγορα επιβατικά τρένα και αργά εμπορικά τρένα. Αν για τον υπολογισμό της h ληφθεί υπόψη η ταχύτητα των επιβατικών τρένων η άνεση των επιβατών εξασφαλίζεται. Αντίθετα οι όνυχες των τροχών των εμπορικών τρένων θα επιβάρυναν (θα εστηρίζοντο) την εσωτερική πλευρά της κεφαλής της εσωτερικής (χαμηλότερης) σιδηροτροχιάς, γεγονός που θα καθιστούσε δύσκολο, αν όχι αδύνατο το ξεκίνημα αμαξοστοιχίας που θα τύχαινε να σταματήσει σε καμπύλη με R≤1000m. Η υπερφόρτωση των σιδηροτροχιών θα συνέτριβε την κεφαλή τους και θα προκαλούσε εγκάρσιες ρωγμές.
Αν χρησιμοποιούσαμε την ταχύτητα των αργών τρένων η υπερύψωση θα ήταν



ανεπαρκής για τα γρήγορα τρένα, γεγονός που θα είχε επακόλουθο έλλειψη άνεσης, αξιοσημείωτη επιβάρυνση και φθορά μεγάλη της εξωτερικής σιδηροτροχιάς, όπως και των συνδέσμων της.
Υιοθετήθηκε λοιπόν μια μέση λύση για την πραγματική υπερύψωση, που δίνει μια ανεπάρκεια «**α**» υπερυψώσεως για τα γρήγορα τρένα, που μεταφράζονται σε μια κλίση $\frac{\alpha}{\mathrm{E}}(\text{ή}\frac{\Pi}{\mathrm{E}})$ του φαινομένου βάρους σε σχέση με την κάθετο στο επίπεδο κύλισης και επιβάλλει στα οχήματα μια επιτάχυνση γ. Αν είναι γ_1 η επιτάχυνση που αντιστοιχεί στη θεωρητική υπερύψωση της καμπύλης, τότε μια κυκλοφορία με ταχύτητα διαφορετική προκαλεί επιτάχυνση γ. $\frac{\gamma_1}{g} = \varepsilon\varphi\alpha = \frac{V^2}{gR} = \frac{h_{\theta\varepsilon\omega\rho.}}{E}$

$$h_\pi = h_\theta + \alpha \cdot (h_\pi = h_\theta - \Pi) \Rightarrow \frac{\gamma}{g} = \frac{h_{\theta+\alpha}}{E} \Rightarrow \gamma = \frac{h_\theta}{E}.g + \frac{a}{E}g = \gamma_1 + \frac{\alpha}{E}g$$

Άρα η επιτάχυνση που οφείλεται στην ανεπάρκεια ή στο πλεόνασμα υπερύψωσης είναι $\frac{\alpha}{E} g$ ή $\frac{\Pi}{E} g$.



Η εμπειρία δείχνει ότι η άνεση επιβάλλει ώστε η εγκάρσια επιτάχυνση να μη ξεπερνά το g/10. Το g/10 σημαίνει επίσης ότι οι δυνάμεις στη σιδηροτροχιά και στους συνδέσμους μένουν μέσα στα παραδεκτά όρια. Σημειώνεται ότι ο περιορισμός g/10 προκύπτει μόνο για λόγους άνεσης επιβατών και κόπωσης υλικού γραμμής. Θα πρεπει να φθάσουμε σε πολύ υψηλότερες τιμές για να τεθεί σε κίνδυνο η ασφάλεια της κυκλοφορίας. Σε γραμμή εύρους 1,50μ δεν κινδυνεύει η ασφάλεια παρά μόνο αν ξεπεραστεί το g/3. Κατ' επέκταση ο συντελεστής ασφάλειας βρίσκεται μεταξύ 4 και 5.

Ο Ν.Κ.Ε.Γ. δίνει h_{max}=160mm,a_{max}=105mm και Π_{max}=100mm.

3.6.2.7. Συναρμογή υπερύψωσης

3.6.2.7.1. Επίπτωση στα οχήματα

Είναι αδύνατο να δώσουμε την υπερύψωση όλη μαζί με την είσοδο στη καμπύλη. Δίνουμε την υπερύψωση σταδιακά. Η κλίση του πρανούς της υπερύψωσης j (mm/m) είναι εσκεμμένη στρεβλότητα γραμμής. Η κλίση αυτή πρέπει να είναι πολύ μικρή για πολλούς λόγους.

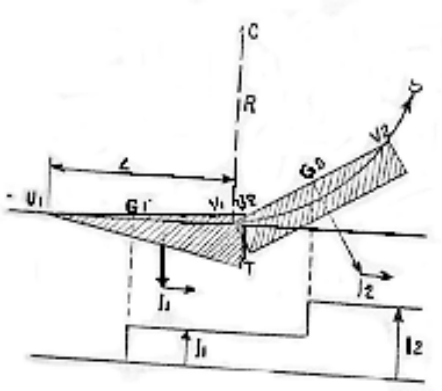
- Η στρεβλότητα γραμμής σημαίνει ότι μόνο τρεις τροχοί του φορείου (ή του οχήματος) στηρίζονται με το αυτό βάρος στη γραμμή και ο τέταρτος είναι σχεδόν αφόρτιστος. Υπάρχει κίνδυνος εκτροχίασης.
- Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται ότι στο σημείο που η υπερύψωση φθάνει την τιμή h, το κέντρο βάρους του οχήματος – υποτιθέμενου βραχέος οχήματος έχει μετακινηθεί:

Εγκάρσια : $d' = \frac{H}{E}.h$

Κατακόρυφα: $d'' = \frac{h}{2}$

Η ασυνέχεια στην καμπύλη που διαγράφει το κέντρο βάρους κατά την πορεία του είναι πιο έντονη όσο πιο μεγάλη η υπερύψωση και η συναρμογή πιο μικρή. Μπορούμε να μειώσουμε αυτή την ασυνέχεια δίνοντας 'γλυκίσματα' στις άκρες των συναρμογών υπερύψωσης.

3.6.2.7.2. Συνδυασμός συναρμογής καμπυλότητας με τη συναρμογή υπερύψωσης



Η υπερύψωση μεταβάλλεται γραμμικά κατά μήκος της συναρμογής. Για να λάβουμε μια κανονική μεταβολή της ανεπάρκειας υπερύψωσης, πρέπει να παρεμβάλλουμε μεταξύ ευθυγραμμίας και κυκλικού τμήματος μια καμπύλη, καμπυλότητα 1/ρ που να μεταβάλλεται με τον ίδιο νόμο με την υπερύψωση από καμπυλότητα 0 σε 1/R. Η ανεπάρκεια ή το πλεόνασμα της υπερύψωσης εφαρμόζονται προοδευτικά και όχι απότομα στο όχημα μέχρι να φθάσουν την πλήρη τους τιμή στο κυκλικό τμήμα.

Αν κυκλικό τμήμα χωρίς ενδιάμεση καμπύλη, εφάπτεται ευθυγραμμίας, τότε μόλις ο πρώτος τροχός εισέλθει στο κυκλικό τμήμα (U2) το διάγραμμα επιταχύνσεων γίνεται απότομα τριγωνικό, οι δυνάμεις αδράνειας από μηδέν γίνονται απότομα ανάλογες με την τριγωνική επιφάνεια. Μόλις και ο άλλος τροχός περάσει το U2 οι δυνάμεις αδράνειας υφίστανται δεύτερη ασυνέχεια και το διάγραμμα γίνεται ορθογωνικό.

Όπως περιγράφεται στην αρχή, αυτό αποφεύγεται με την καμπύλη συναρμογής μεταβλητού l/ρ. Το μήκος της καμπύλης συναρμογής είναι: $L = \frac{h}{j}$

Η ακτίνα καμπυλότητας, για να εξασφαλιστεί η αναλογία πρέπει να είναι $\frac{1}{\rho} = \frac{1}{L \cdot R} \cdot S = K \cdot S$ όπου S η τετμημένη.

Σαν καμπύλη συναρμογής χρησιμοποιείται η παραβολή:

$y = \frac{k.x^3}{6}$ παραβολή του Nordling, όπου $k = \frac{1}{L \cdot R}$

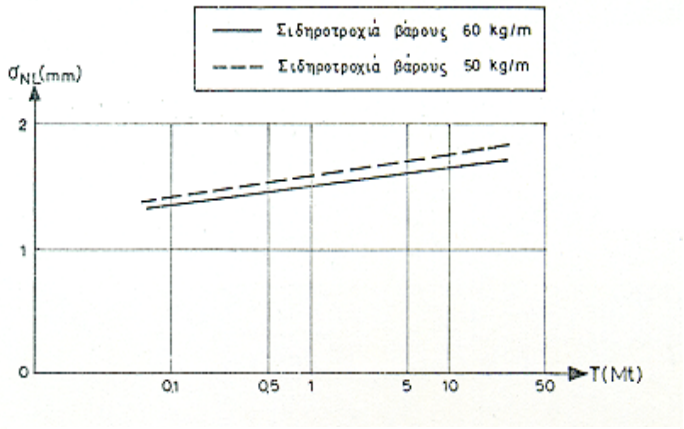
4.- Ανάλυση της Επιρροής στα Σφάλματα Γραμμής των διαφόρων παραμέτρων της Επιδομής και Υποδομής

Είδαμε πριν ότι το κατά μήκος υψομετρικό σφάλμα είναι ο καθοριστικότερος δείκτης για τις εργασίες συντήρησης γραμμής, ιδίως στις μέσες και υψηλές ταχύτητες. Γι 'αυτό και οι περισσότερες αναλύσεις μέχρι σήμερα ασχολήθηκαν κυρίως με τη μελέτη αυτού του τύπου σφάλματος. Για την επαρκή γνώση του όλου φαινομένου είναι απαραίτητο να εξετάσουμε, πέρα από τους νόμους εξέλιξης που παρουσιάσαμε πριν, και την επιρροή των διαφόρων παραμέτρων και συγκεκριμένα:

- του τύπου της σιδηροτροχιάς
- του πάχους του ελαστικού πέλματος (καουτσούκ) που παρεμβάλλεται μεταξύ σιδηροτροχιάς και στρωτήρα
- του υλικού και του μήκους του στρωτήρα,
- της απόστασης μεταξύ στρωτήρων,
- του πάχους του έρματος,

- της ποιότητας της υποδομής και,
- της τιμής της ανύψωσης που έχει δοθεί στη γραμμή κατά τις εργασίες συντήρησης.

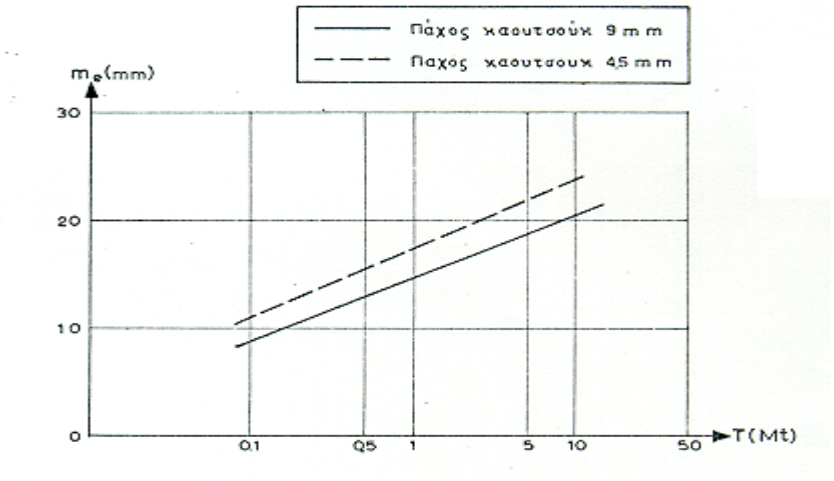
4.1.- Επιρροή του τύπου της σιδηροτροχιάς



Σχήμα, 1: Επιρροή του τύπου της σιδηροτροχιάς στη μέση τυπική απόκλιση σ_{NL} του κατά μήκος υψομετρικού σφάλματος

Η αύξηση του βάρους και της ροπής αδράνειας της σιδηροτροχιάς οδηγεί σε μείωση τόσο της μέσης ρύθμισης όσο και της μέσης τυπικής απόκλισης των σφαλμάτων, αλλά πάντως όχι σημαντικά, όπως δείχνει άλλωστε το σχήμα. 1.

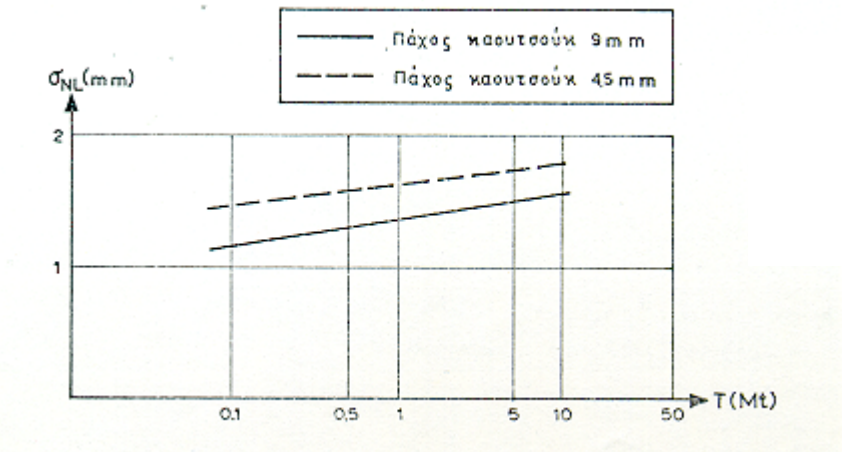
4.2.- Επιρροή του πάχους του ελαστικού υποθέματος_(καουτσούκ) που παρεμβάλλεται μεταξύ σιδηροτροχιάς και στρωτήρα.



Σχήμα 2: Επιρροή του πάχους του ελαστικού πέλματος στη μέση βύθιση m_e της γραμμής

Η αύξηση του πάχους του στρώματος καουτσούκ μεταξύ σιδηροτροχιάς και στρωτήρα οδηγεί σε σημαντική μείωση τόσο της μέσης βύθισης της γραμμής

όσο και της μέσης τυπικής απόκλισης του κατά μήκος υψομετρικού σφάλματος, όπως άλλωστε φαίνεται στα σχήματα 2 και 3.



Σχήμα 3: Επιρροή του πάχους του ελαστικού πέλματος στη μέση τυπική απόκλιση του κατά μήκος υψομετρικού

4.3. Επιρροή του στρωτήρα

4.3.1. Επιρροή του υλικού του στρωτήρα

Καθώς δεν υπάρχουν σήμερα στρωτήρες ξύλινοι μορφής αντίστοιχης με τους διμερείς, είναι πολύ δύσκολο να αποτιμηθεί απευθείας η επιρροή του υλικού, από το οποίο είναι κατασκευασμένος ο στρωτήρας. Σε μια προσπάθεια προσέγγισης του προβλήματος, οι γαλλικοί σιδηρόδρομοι, έκαναν σειρά δοκιμών, στις οποίες χρησιμοποίησαν στρωτήρες διμερείς από ξύλο, ίδιας επιφάνειας έδρασης και ίδιου μήκους με τους διμερείς στρωτήρες από σκυρόδεμα. Διαπιστώθηκε ότι η μέση βύθιση των ξύλινων ημιστρωτήρων ήταν πρακτικά η ίδια με τη μέση βύθιση των ημιστρωτήρων από σκυρόδεμα.

4.3.2. Επιρροή του μήκους του στρωτήρα

Από σειρά δοκιμών των γερμανικών σιδηροδρόμων, και από άλλες πρόσφατες ερευνητικές εργασίες, προέκυψε ότι η αύξηση του μήκους του στρωτήρα έχει επίδραση πολύ ευνοϊκή στην όλη επιπόνηση του συστήματος επιδομή - υποδομή και ειδικότερα προκαλεί μείωση της μέσης βύθισης της γραμμής και της δυναμικής επιπόνησης του έρματος, μικρότερη φθορά των κόκκων του έρματος και τέλος μικρότερη κόπωση της υποδομής.
Ας είναι l1 και l2 δυο μήκη του ίδιου στρωτήρα και m1 και m2 οι μέσες βυθίσεις που αντιστοιχούν στο καθένα απ' αυτά για ένα δοσμένο κυκλοφοριακό φόρτο Τ. Θα είναι:

$$\frac{m_1}{m_2} = \left(\frac{l_2}{l_1}\right)^2 \qquad (1)$$

13.3.3. Επιρροή της απόστασης μεταξύ στρωτήρων

Από σειρά ερευνών των αγγλικών και γαλλικών σιδηροδρόμων, διαπιστώθηκε

ότι η μείωση της απόστασης μεταξύ των στρωτήρων έχει ευνοϊκή επίδραση, η οποία είναι τόσο πιο εμφανής όσο ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι μεγαλύτερος και η ποιότητα της υποδομής κατώτερη (περίπτωση π.χ. της κακής ποιότητας υποδομής τύπου S1).

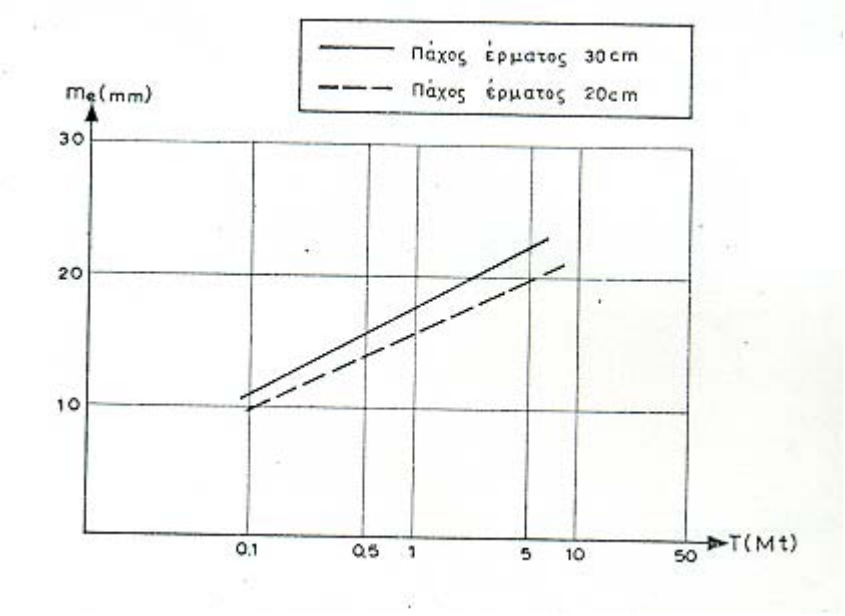
Ας είναι $m_{NL}(\lambda)$ η μέση βύθιση της γραμμής που αντιστοιχεί σε απόσταση μεταξύ στρωτήρων ίση με λcm. Η πειραματική έρευνα , έδωσε:

$$\frac{m_{NL}(60)}{m_{NL}(50)} = 1.2 \qquad (2\alpha) \quad \text{και}$$

$$\frac{m_{NL}(76)}{m_{NL}(60)} = 1.4 \qquad (2\beta)$$

4.4. Επιρροή του πάχους του έρματος

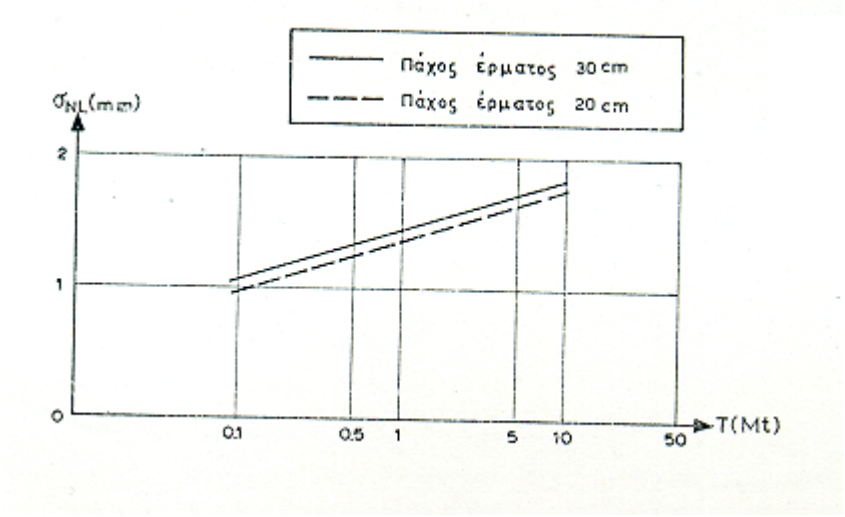
Η αύξηση του πάχους του έρματος οδήγησε σε αύξηση όλων των μεγεθών (μέση βύθιση, μέση τυπική απόκλιση σφαλμάτων, κ.λπ.) του κατά μήκος υψομετρικού σφάλματος, (σχήματα 4 και 5),



Σχήμα. 4: Επιρροή του πάχους του έρματος στη μέση βύθιση m_e της γραμμής

Ένα, λοιπόν, αρκετά μεγάλο πάχος έρματος, αν και οδηγεί σε μείωση της επιπόνισης της υποδομής, μπορεί να έχει δυσμενείς επιπτώσεις στην εξέλιξη των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της γραμμής. Ιδίως για τους πρώτους κύκλους συντήρησης, ένα μεγάλο πάχος έρματος οδήγησε σε ανομοιογενείς βυθίσεις, σε

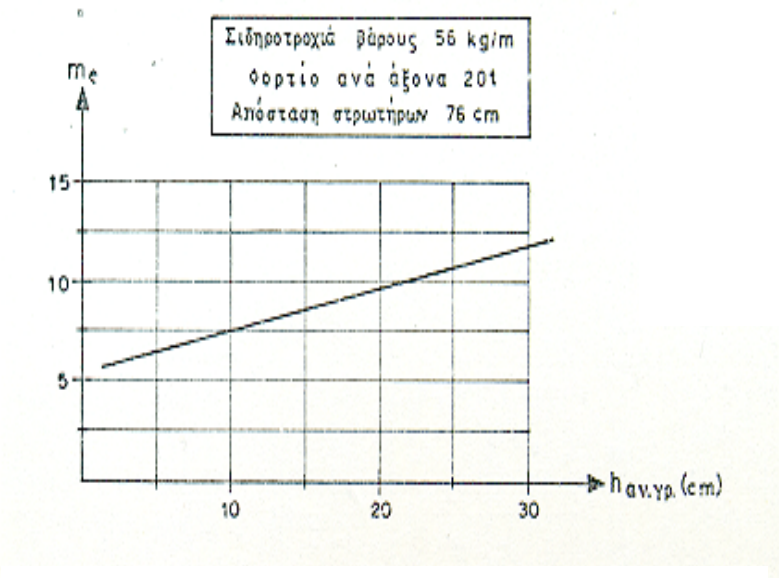
αύξηση των σφαλμάτων και σε ποιότητα της γραμμής όχι ικανοποιητική. Θα πρέπει λοιπόν να αναζητείται η απαραίτητη consensus, ώστε να εξελίσσονται βέλτιστα όλες οι παράμετροι του σιδηροδρομικού προβλήματος.



Σχήμα 5: Επιρροή του πάχους του έρματος στη μέση τυπική απόκλιση του κατά μήκος υψομετρικού σφάλματος

4.5. Επιρροή της ποιότητας της υποδομής

Η υποδομή είναι παράμετρος με πολύ καθοριστική επίδραση στην ποιότητα της γραμμής. Η εξυγίανση και βελτίωση της κακής (S_1) και πολύ κακής (S_0) ποιότητας υποδομής πρέπει να γίνεται με την τοποθέτηση στρώσης διαμόρφωσης κατάλληλου πάχους και επαρκών μηχανικών αντοχών και με τη χρησιμοποίηση ενδεχομένως γεωϋφασμάτων.



Σχήμα. 6: Η μέση βύθιση της γραμμής μετά από 10.000 κύκλους φόρτισης για διάφορες τιμές ανύψωσης γραμμής κατά τις εργασίες συντήρησης

4.6. Επιρροή της τιμής της ανύψωσης γραμμής.

Κατά τις εργασίες συντήρησης τα μηχανήματα υπογόμωσης ανυψώνουν τη γραμμή μέχρι μίαν ορισμένη στάθμη, ώστε να αποκατασταθούν τα σφάλματα γραμμής και κατόπιν υπογομώνουν το έρμα που βρίσκεται κάτω από τους στρωτήρες.
Η τιμή τις ανύψωσης της στάθμης της γραμμής (hauteur de relevage) αποδείχτηκε ότι είναι σημαντική παράμετρος για την εξέλιξη κατόπιν των σφαλμάτων γραμμής. Όσο μεγαλύτερη ήταν η τιμή αυτή, τόσο και η βύθιση ήταν μεγαλύτερη, με συσχέτιση μεταξύ τους περίπου γραμμική.

4.7. Μέση τυπική απόκλιση κατά μήκος υψομετρικού σφάλματος

Για τις εργασίες συντήρησης γραμμών μέσης και υψηλής ταχύτητας ενδιαφέρει κυρίως η διαφορική τιμή του κατά μήκους υψομετρικού σφάλματος, γι' αυτό και για τις γραμμές αυτές υιοθετείται ως θεμελιώδης παράμετρος η μέση τυπική απόκλιση sd_{NL} (T). Από σειρά στατιστικών αναλύσεων, προέκυψε η παρακάτω εμπειρική σχέση:

$$\sigma_{NL}(T) = c_1 + c_0 \cdot \log\frac{T}{T_r} \qquad (3)$$

Όπου c_1: η μέση τυπική απόκλιση των σφαλμάτων για φόρτο $T_r = 2{,}10^6$ t, με μέσες τιμές 1,0 ÷ 1,35 mm,

c_0: η ταχύτητα μεταβολής της τυπικής απόκλισης σφαλμάτων σε συνάρτηση με το φόρτο κυκλοφορίας, με μέσες τιμές 0,1 ÷ 0,2 mm/δεκαετία.

Ο λόγος c1/c0≅10 πράγμα που μαρτυρεί ότι τα σφάλματα που υφίστανται, μετά τις εργασίες συντήρησης (και που έχουν εξελιχθεί γρήγορα ως το φόρτο των 2Mt) είναι σχετικά μεγάλα σε σύγκριση με την εξέλιξή τους συναρτήσει του κυκλοφοριακού φόρτου T.

4.8. Χρόνος μεταξύ δύο επεμβάσεων συντήρησης

Ας είναι Sd_L η οριακή τιμή του κατά μήκος υψομετρικού σφάλματος, η οποία καθορίζεται από τα όρια που προδιαγράψαμε στην παράγραφο 4.7. Από την (4.7) προκύπτει ότι ο οριακός φόρτος κυκλοφορίας T_L μεταξύ δύο διαδοχικών επεμβάσεων των συνεργείων συντήρησης θα είναι:

$$T_L = 2 \cdot 10^6 \cdot 10^{\frac{\sigma_L - c_1}{c_0}} \qquad (4)$$

Καθώς ο όρος c_0 είναι περίπου σταθερός, καθοριστικοί για το χρονικό διάστημα t_L μεταξύ δύο διαδοχικών εργασιών συντήρησης είναι οι όροι sd_L και c_1, δηλαδή σε τελευταία ανάλυση η κατάσταση στην οποία βρίσκεται η γραμμή μετά τις εργασίες συντήρησης. Αύξηση λοιπόν του χρόνου t_L μπορεί να προκύψει μόνο με βελτίωση της αρχικής κατάστασης της γραμμής μετά τις εργασίες συντήρησης, δηλαδή με καλύτερη ποιότητα των εργασιών υπογόμωσης.

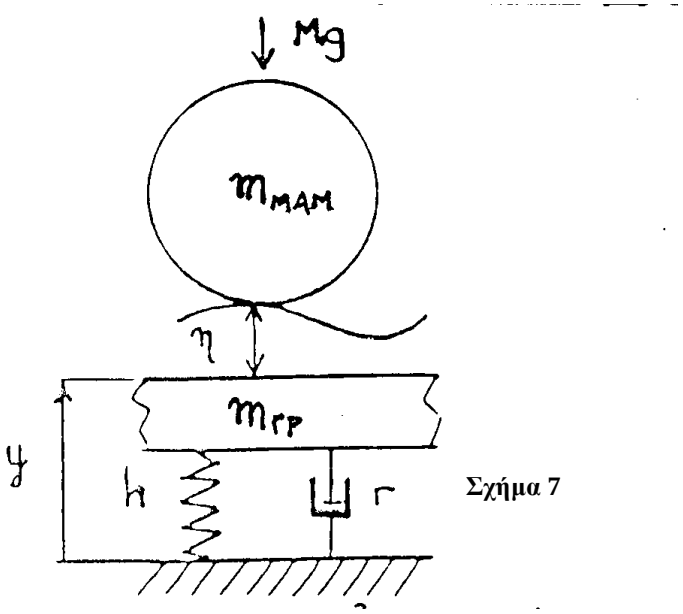
Στην περίπτωση γραμμών μέσης και χαμηλής ταχύτητας αντί για την τυπική απόκλιση χρησιμοποιείται η μέση τιμή του κατά μήκος υψομετρικού σφάλματος και η μορφή των προηγούμενων σχέσεων παραμένει η ίδια.

4.9. Επιρροή της κατάστασης της επιφάνειας κύλισης της κεφαλής της σιδηροτροχιάς

Η κατάστασης της επιφάνειας κύλισης της κεφαλής της σιδηροτροχιάς, επιρρεάζει άμεσα τη δυναμική **φ**όρτιση την οφειλόμενη στο τροχαίο υλικό δηλαδή:

(α) στις μη ανηρτημένες μάζες Μ.Α.Μ και
(β) στις ανηρτημένες μάζες Α.Μ (βλ. Κεφάλαιο 6 [Γιαννακός, 2002]).

Η φόρτιση αυτή επηρεάζει καθοριστικά την εξέλιξη της γεωμετρίας της γραμμής στο χρόνο.
Η διαφορική εξίσωση του απλοποιημένου μοντέλου του σχήματος 7 γράφεται:



Σχήμα 7

$$(m_{ΜΑΜ} + m_{ΓΡ}) \cdot \frac{d^2y}{dt^2} + \Gamma \cdot \frac{dy}{dt} + h \cdot y = -m_{ΜΑΜ} \cdot \frac{d^2n}{dt^2} + (m_{ΜΑΜ} + m_{ΑΜ}) \cdot g$$

Οπου: $m_{ΑΜ}$ η ανηρτημένη μάζα του οχήματος(Α.Μ.)
$m_{ΜΑΜ}$ η μη ανηρτημένη μάζα του οχήματος (Μ.Α.Μ.)
m_{rp} η ισοδύναμη μάζα της γραμμής που συμμετέχει στην κίνηση του τροχού
h η δυναμική ακαμψία της γραμμής

Γ συντελεστής αποσβέσεως της γραμμής

4.9.1. Επιρροή στην καταπόνηση που οφείλεται στις μη ανηρτημένες μάζες

Η θεωρητική ανάλυση στη συνέχεια οδηγεί στον ακόλουθο τύπο για τη μέση τυπική απόκλιση της φόρτισης που προκαλείται λόγω Μ.Α.Μ.

$$\sigma(\Delta R_{MAM}) = K_a \cdot V \cdot \sqrt{m_{MAM} \cdot h}$$

όπου k_α συντελεστής που εξαρτάται από τη γεωμετρία της επιφάνειας κύλισης σιδηροτροχιών
V ταχύτητα
m_{MAM} η μη ανηρτημένη μάζα του οχήματος
h ακαμψία της γραμμής

Στην πράξη για να υπολογισθεί το φορτίο αυτό πρέπει να γίνει μέτρηση επιταχύνσεων του λιποκιβωτίου ενός δεδομένου οχήματος και να υπολογισθεί η μέση τυπική απόκλιση

$$\sigma(\gamma) = k_1 \cdot V$$

όπου ο συντελεστής k_1 για κάθε όχημα εξαρτάται από τη γεωμετρία της επιφάνειας κύλισης της κεφαλής της σιδηροτροχιάς.
Οι SNCF δίδουν τις ακόλουθες τιμές για το συντελεστή:

k_1 κυμαίνεται: από 0,006g/km/h σε 0,012g/km/h για μη τροχισμένη γραμμή και
από 0,003g/km/h σε 0,0045g/km/h για τροχισμένη γραμμή

(όπου g η επιτάχυνση βαρύτητας).

Για μία δεδομένη γραμμή με σταθερά ka και h ισχύει

$$\sigma(\Delta R_{MAM}) = (m_{MAM} + m_{\Gamma P}) \cdot \sigma(\gamma)$$

Επειδή ο ΟΣΕ δεν διαθέτει δεδομένα μετρήσεων επί του δικτύου του, για τον υπολογισμό της $\sigma(\Delta R_{MAM})$, εφαρμόζεται ένας συγκριτικός τύπος με βάση αναφοράς μία μετρηθείσα γραμμή των SNCF με χαρακτηριστικά:

V=200 km/h, (Μ.Γ.+Μ.Α.Μ.)=1,8 t και h=75 kN/mm.

$$\sigma(\Delta R_{MAM}) = k'_a \cdot \frac{V}{200} \cdot \sqrt{\frac{m}{18}} \cdot \sqrt{\frac{h}{h_0}}$$

όπου: m σε kN, Μ.Α.Μ. οχήματος και γραμμής
V ταχύτητα σε km/h και

h δυναμική ακαμψία της γραμμής σε kN/mm

	τροχισμένη γραμμή	**μη τροχισμένη γραμμή**
Συντελεστής κα	**από 1,8 μέχρι 3,6**	**από 6 μέχρι 12**

Υπάρχει και δεύτερος εμπειρικός τύπος:

$$\sigma(\Delta R_{MAM}) = \frac{k \cdot m \cdot V}{1000}$$

όπου k συντελεστής κυμαινόμενος από 6 μέχρι 25, αλλά για γραμμές 200km/h δεν ξεπερνά το 12.

13.9.2. Επιρροή στην καταπόνηση που οφείλεται στις ανηρτημένες μάζες

Η τυπική απόκλιση του φορτίου δίδεται από τον τύπο:

$$\sigma(\Delta R_{AM}) = \frac{V - 40}{1000} \cdot N_L \cdot Q_{\tau p}$$

όπου N_L η μέση τυπική απόκλιση της υψομετρικής κατάστασης της γραμμής. Για μια καλής ποιότητας γραμμή του Γαλλικού δικτύου εκτιμάται σε 0,7. Για το ελληνικό δίκτυο εκτιμάται σε 1, ως προσέγγιση σε γραμμές λιγότερο καλές των SNCF, ελλείψει δεδομένων μετρήσεων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

A.R.E.A., "Manual for Railway Engineering", 1996
A.R.E.A., "Manual for Railway Engineering", 2005
ALIAS J. : La voie ferree, Eyrolles 1984
ALIAS J. : Le rail, Eyrolles 1987
Collins R. –Black J.– Tyrer J., "HIGH SPEED TRACK ON BR WESTERN REGION", Railway Engineer International, 1979.
Comite Francais des Geotextiles et Geomembranes, "RECOMMANDATIONS POUR L' EMPLOI DES GEOTEXTILES DANS LES VOIES FERREES" — Paris, Avril 1986.
COOPERATION OSE/SNCF : 6/1988 Comportement des traverses en relation avec les charges dynamiques.

COPERATION OSE/SNCF : 3/1989 Programme d' essais realise au centre d' essais de la Direction de l' Equipement
EISENMANN J. , MATTNER L. : Auswirkung der Oberbaukonstruktion auf die Schotter – und untergrundbeanspruchung, der Eisenbahningenieur 3/1984
EISENMANN J. : Qualitat des Oberbauzustandes, Eisenbahningenieur 3/1980
EISENMANN J. : Schotteroberbau – Moglichkeiten und Perspektiven fur die moderne Bahn 1988
EISENMANN J. : Verformungsverhalten der Schiene. Auswirkungen auf die Oberbaubeanspruchung, Lagestabilitat und Starung funktion, ZEV-Glasers Annalen 2/1980
EISENMANN J. : Verhaltensfunktion des Schotters, Folgerungen fur hohe Fahrgeschwindigkeiten, der Eisenbahningenieur 3/1989
Erieau Jean, "L' EVOLUTION DES ATTACHES DE RAILS ET DES TRAVERSES EN BETON FRANCAISES", R.G.C.F. 1980
Fastenrath Fritz, "RAILROAD TRACK, THEORY AND PRACTICE", Frederick Ungar Pub. Co., New York, 1981.
F.I.P. - Federation Internationale de la Precontrainte, "CONCRETE RAILWAY SLEEPERS", London 1987.
Feyrabant Mr," COURS DE CHEMIN DE FER", Ecole Nationale des Ponts et Chaussees, 1967.
Fiche U.I.C. 719 R.
Fiche U.I.C. 719 R.
Fiche UIC 510-2
Fiche UIC 715
HENN W. : Auswirkung von Oberbauform und Betriebsbelastung auf die Veranderung der Gleishohenlage, A E T (33)- 1978
HICKS T. G. : Standard Handbook of Engineering Calculations, 2nd Edition, Mc Graw Hill
Imbert B., "LES STRUCTURES D' ASSISE FERROVIAIRE, DIMENSIONNEMENT- DURABILITE", PARFAIRE No 39 – Avril '86.
Janin G. – Gent L., "LA QUALITE DE LA VOIE FERREE – COMMENT LA DEFINIR QUANTITATIVEMENT ?", R. G. C. F. – Decembre 1969.
JANIN G. : La maintenance de la geometrie de la voie, RGCF 6/1982
JANIN G. : La resistance laterale de la voie ferree.-Le probleme de la stabilisation du ballast, RGCF 10/1977
Janin G., "LA MAINTENANCE DE LA GEOMETRIE DE LA VOIE, LA PRISE DE DECISION DES OPERATIONS DE NIVELLEMENT – DRESSAGE, LE MAUZIN SYNTETIQUE", R.G.C.F. – Juin 1982.
Jenkins H. – Stephenson J. –. Clayton G – Morland G. – Lyon D., «Incidences des parametres caracteristigues de la voie et des vehicules sur les efforts dynamigues verticaux gui se developpent entre rail et roue»– Rail International 10/1974, 682-702.
JOLY R.: Vibratory behaviour of railway vehicle. Rail International 3/1986
KERR A. : Railroad Track Mechanics and Technology Pergamonn Press 1978
LECOCQ C. : La degradation du ballast 1/1985
LEONHARDT : Ολόσωμες κατασκευές Μ. Γκιούρδας 1977
Montagne S., "COMPORTEMENT DE LA VOIE DANS SON ENSEMBLE SOUS L' ACTION D' EFFORTS CONNUS", R. 1.200 – 87 – 10, S.N.C.F. – Direction de l' Equipement, 1987.

Murray Spiegel, "ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ", Schaum's Outline Series, Mc Graw-Hill-New York, ΕΣΠΙ – Αθήνα.
ORE: Question D 117, RP 2
ORE: Question D 117, RP 4
ORE: Question D 117, RP 6
ORE: Question D 71, RP 9
PRUD' HOMME A. , ERIEAU J. : Les nouvelles traverses en beton de la SNCF, RGCF 2/1976
PRUD' HOMME A. : La voie, RGCF 1/1970
PRUD' HOMME A. : Sollicitation et stabilite de la voie aux grandes vitesses, Colloque ORE "Grandes Vitesses" Vienne 4/1971
Prud' homme A., "SOLLICITATIONS STATIQUES ET DYNAMIQUES DE LA VOIE " , S.N.C.F. – Direction des Installations Fixes, 1966.
REGLES TECHNIQUES de Conception de Calcul des Ouvrages et Constructions en Beton Arme suivant la methode des Etats Limites, Eyrolles 1980
RIESSBERGER K. Univ. Prof. fur Eisenbahn und Verkehrswesen GRAZ, Επιστολή από 11-5-1989 για ερευνητικό πρόγραμμα του ΟΣΕ.
S.N.C.F / Direction de l' Equipement, "MECANIQUE DE LA VOIE", 1981
Sauvage R.– Huart F., "MAINTENANCE DES COUCHES D' ASSISE DES VOIES FERREES".
Sauvage R.– Richez G, "LES COUCHES D' ASSISE DE LA VOIE FERREE", R. G. C. F. – Decembre 1978.
Schram Gerhard, "Permanent Way Technique and Permanent Way Economy", Otto Elsner Verlagsgesellschaft, Darmstadt,1961
SENAC G. : Le relevement des vitesses sur les lignes existantes, RGCF 10/ 1983
SNCF Rapport de Mission effectuee aupres de CH (ΟΣΕ) CERVI G. 1987
SNCF Specification Technique pour la fourniture de ballast et de gravillon 12/1985
Αμπακούμκιν Κ., «Μητροπολιτικοί Σιδηρόδρομοι», Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1990.
Αμπακούμκιν Κ., «Σιδηρόδρομοι», Εκδόσεις Συμμετρία. Αθήνα 1990.
ΓΕΩΡΓΙΚΟΠΟΥΛΟΣ Κ. : Τεχνική Μηχανική Γ' Αντοχή των υλικών, Εκδοση Τ.Ε. Ε. , Αθήνα 1967
Γιαννακός Κωνσταντίνος, "Η διαλειτουργικότητα στον σιδηρόδρομο: ένα μοντέλο ανάπτυξης για τη ΝΑ. Ευρώπη", Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ./ Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, 2000
Γιαννακός Κωνσταντίνος, «Διαχείριση Σιδηροδρομικής Υποδομής», Εργασία που υποβλήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού μαθήματος «Μελέτη και Διαχείριση Οδικών έργων και Συγκοινωνιακής Υποδομής», για απόκτηση Διδακτορικού Διπλώματος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Συγκοινωνιών και Οργάνωσης, Θεσσαλονίκη, 1999.
Γιαννακός Κ, Βλασοπούλου Ι, – «Μελέτη για την καταπόνηση του έρματος και τη συμπεριφορά της επιδομής σε σχέση με το είδος των χρησιμοποιουμένων στρωτήρων», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1990.
Γιαννακός Κ, Βλασοπούλου Ι, – «Μελέτη για το σύστημα «στρωτήρας - σκύρο», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1990.
Γιαννακός Κ, Βλασοπούλου Ι, «Προβλήματα και Λύσεις για το σύστημα «στρωτήρας – σκύρο» στον ΟΣΕ», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1991.

Γιαννακός Κ, Ιορδανίδης Π, Βλασοπούλου Ι, «Εκθεση Επιτροπής Εμπειρογνωμόνων του ΟΣΕ για την επίσκεψη τους στους SNCF από 15.5.1988 - 11.6.1988», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1988.

Γιαννακός Κ, Ιορδανίδης Π, Βλασοπούλου Ι, «Συνοπτική Έκθεση Επιτροπής για το θέμα των διμερών στρωτήρων μετά τη δεύτερη επίσκεψη στους SNCF το Μάρτη του 1989», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1989.

Γιαννακός Κ, ''Σιδηροτροχιές, Στρωτήρες, Σύνδεσμοι, Αρμοί, Σ.Σ.Σ., Ερμα, Στρώση Γραμμής'', ΟΣΕ – Αθήνα, Οκτώβριος 1985.

Γιαννακός Κ., « Παρούσα και μελλοντική κατάσταση του ΟΣΕ», Τεχνικά Χρονικά, 3/1993

Γιαννακός Κ., Βλασοπούλου Ι., " Προδιαγραφές Στρωτήρων από Σκυρόδεμα", ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής & Ε.Μ.Π., Αθήνα 1992

Γιαννακός Κ., Βλασοπούλου Ι., «: Ερευνα για τον καθορισμό του τύπου του στρωτήρα που θα υιοθετηθεί από τον ΟΣΕ – Συγκριτική Παρουσίαση των Διαφόρων Τύπων Στρωτήρων – Αξιολόγηση έρευνας του Καθ. Κ. Riessberger", ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1992

Γιαννακός Κ., Βλασοπούλου Ι., «Φόρτιση Στρωτήρων από Σκυρόδεμα και Εφαρμογή για Διμερείς Στρωτήρες», Τεχνικά Χρονικά, Επιστημονική Εκδοση Τ.Ε.Ε., Volume 14, 2/1994

Ε.Μ.Π / Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος /20-10-1989 Εργαστηριακές δοκιμές και μετρήσεις σε στρωτήρες του ΟΣΕ.

HAY W. : Railroad Engineering, John Wiley & Sons 1982

ΚΑΝΥ Μ. Μεθοδικός υπολογισμός επιφανειακών θεμελιώσεων Μ. Γκιούρδας 1979

ΟΣΕ / Δημητριάδης Γ. Παπαγιαννόπουλος Θ., Κορωναίος Δ. : Σημειώσεις από το εκπαιδευτικό σεμινάριο στους Γαλλικούς Σιδηροδρόμους.

ΟΣΕ, "ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΠΙΔΟΜΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ (Κ.Ε.Γ.) των ΣΕΚ", 1953

ΟΣΕ, "ΝΕΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΠΙΔΟΜΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ (Ν.Κ.Ε.Γ.)", 1978

ΟΣΕ, "ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΠΙΔΟΜΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ (Σ.Κ.Ε.Γ.) των ΣΕΚ", 1953

ΟΣΕ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ, "ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΓΡΑΜΜΗΣ Ερμηνεία των διαγραμμάτων καταστάσεως γραμμής (καταγραφικά διαγράμματα σφαλμάτων γραμμής)», Τεχνική Οδηγία

ΟΣΕ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ, «Βασικές Αρχές για το Σχεδιασμό Εργασιών Συντήρησης Γραμμής», Β. Προφυλλίδης, Οκτώβριος 1984.

ΟΣΕ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ, «Βασικές Αρχές για το Σχεδιασμό Εργασιών Συντήρησης Γραμμής», Β. Προφυλλίδης, Οκτώβριος 1984.

ΟΣΕ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ, «Η ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ», Β. Προφυλλίδης – Α. Κουπαρούσος, Ιούλιος 1984.

ΟΣΕ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ, «ΣΤΡΩΣΙΣ ΕΠΙΒΛΕΨΙΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΩΝ ΤΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΜΕΝΩΝ ΕΙΣ ΜΕΓΑΛΑ ΜΗΚΗ (Σ.Σ.Σ.)», Τεχνική Οδηγία.

Προφυλλίδης Β., «Σιδηροδρομική», τόμος Ι, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Ξάνθης, Ξάνθη, 1994

Προφυλλίδης Β., «Σιδηροδρομική», τόμος ΙΙ, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Ξάνθης, Ξάνθη, 1997

Πυργίδης Χ., "Σχεδιασμός και Κατασκευή Σιδηροδρομικής Υποδομής", Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 1994

ΤΑΣΙΟΣ Θ. : Μαθήματα ωπλισμένου σκυροδέματος Ε.Μ.Π. Αθήνα 1979.

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 6

- **Εργασίες Συντήρησης**
- **Παράμετροι που τις επηρεάζουν**
- **Συντήρηση Έδρασης Γραμμής**
- **Προγραμματισμός Εργασιών Συντήρησης**

1. Οι Εργασιες Συντηρησης Γραμμης και οι Παραμετροι που τις Επηρεαζουν

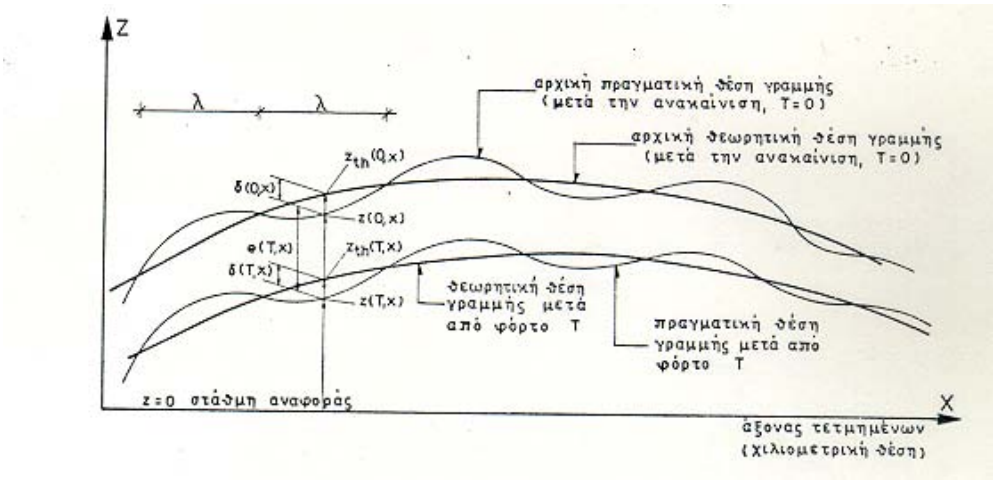
1.1. Γενικά

Βασικός προορισμός της υπηρεσίας γραμμής κάθε δικτύου είναι να επιτρέπει στα τρένα να κυκλοφορούν στην προβλεπόμενη ταχύτητα υπό συνθήκες ασφάλειας και ικανοποιητικής άνεσης. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο οποιαδήποτε προσπάθεια εκσυγχρονισμού ενός δικτύου έχει ως προαπαιτούμενο την ύπαρξη μιας γραμμής ικανοποιητικού standing. Για να συμβεί αυτό, τα ποσά που δαπανώνται ετήσια για τη συντήρηση της γραμμής αποτελούν σημαντικό τμήμα των συνολικών δαπανών του δικτύου (για το έτος 1983 οι δαπάνες συντήρησης γραμμής του ΟΣΕ ανήλθαν σε 2.579.5 εκατ. δρχ. και αντιπροσωπεύουν 16% των συνολικών δαπανών).
Η συντήρηση λοιπόν της γραμμής πρέπει να είναι τέτοια ώστε για μια ορισμένη ταχύτητα να βρίσκονται μέσα σε παραδεκτά όρια, με όσο γίνεται μικρότερες δαπάνες, οι εξής δύο βασικές συνιστώσες: **(α) ασφάλεια κατά την κίνηση και (β) άνεση του επιβάτη.**
Ως προς την ασφάλεια η συντήρηση πρέπει να είναι προληπτική ως προς την άνεση πρέπει να είναι διορθωτική και τέλος ως προς την οικονομική πτυχή του θέματος πρέπει να εξασφαλίζεται η βέλτιστη δυνατή λύση που αφενός επιτρέπει ικανοποιητικά περιθώρια ασφάλειας και αφετέρου περιορίζει το ενδεχόμενο ανεπανόρθωτης υποβάθμισης της ποιότητας της γραμμής (degradation irreversible).
Οι παραπάνω συνιστώσες εξαρτώνται από δύο θεμελιακά διαφορετικές οικογένειες παραμέτρων: τις γεωμετρικές αφενός, των οποίων η εξέλιξη είναι συνήθως επανορθώσιμη (irreversible), τις μηχανικές αφετέρου, των οποίων η μείωση των αντοχών στην πλειονότητα των περιπτώσεων δεν μπορεί να επανορθωθεί παρά μόνο με αντικατάσταση (σιδηροτροχιές, σύνδεσμοι, στρωτήρες, συγκολλήσεις, κ.λπ.).
Εξάλλου οι γεωμετρικές παράμετροι εξελίσσονται πολύ πιο γρήγορα από τις μηχανικές, περίπου 5 - 15 φορές. Έτσι για γραμμές μέσου κυκλοφοριακού φόρτου η επανόρθωση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών γίνεται μετά από φόρτο περίπου 40 - 50 Mt (1Mt = 106 t), ενώ η τιμή αυτή είναι περίπου 500-600 Μτ για αντικατάσταση των σιδηροτροχιών. Αυτό δίνει για μια γραμμή UIC 4 (όπως ο άξονας Αθήνας - Θεσσαλονίκης) διάρκεια ανάμεσα σε δύο γενικές επισκευές (revisions generales) περίπου 4 χρόνια και αντικατάσταση των σιδηροτροχιών κάθε 60 χρόνια (οι τιμές αυτές είναι ενδεικτικές της τάξης μεγέθους μόνο).
Στο σημείο αυτό θα ασχοληθούμε με τις γεωμετρικές παραμέτρους που αφορούν τις εργασίες συντήρησης γραμμής.

1.2. Οι διάφορες μορφές σφαλμάτων γραμμής και ο εντοπισμός τους

1.2.1. Ορισμός βασικών μεγεθών για τον καθορισμό των εργασιών συντήρησης γραμμής

Ας είναι Z_i (T,x) και Z_e (T,x) η κατακόρυφη στάθμη της εσωτερικής και εξωτερικής σιδηροτροχιάς που αντιστοιχούν σε κυκλοφοριακό φόρτο T (από την τελευταία ανακαίνηση γραμμής και μετά) και στη χιλιομετρική θέση χ . Ορίζουμε τα παρακάτω μεγέθη σχήμα 1.



Σχήμα 1: ορισμοί βασικών μεγεθών για τις εργασίες συντήρησης γραμμής [Γιαννακός 1999]

κατακόρυφη στάθμη γραμμής z(T,x)

$$z(T,\ x) = \frac{z_i(T,\ x) + z_e(T,\ x)}{2}$$

βύθιση γραμμής e (T,x)

$$e(T,\ x) = z(O,\ x) - z(T,\ x)$$

Μέση βύθιση m_e (T) σ' ένα μήκος γραμμής L

$$m_e(T) = \frac{1}{L}\int_{X=O}^{X=L} e(T,\ x)dx$$

για μετρήσεις που γίνονται σε διακριτές θέσεις κι όχι συνεχώς, θα είναι

$$m_e(T) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} e(T,\ x_i)$$

Διαφορική βύθιση Δe(T,x)

$$\Delta e(T,\ x) = e(T,\ x) - m_e(T)$$

Μέση τυπική απόκλιση βύθισης $\sigma_e(T)$ σ' ένα μήκος γραμμής L

$$\sigma_e(T) = \sqrt{\frac{1}{L}\int_{X=O}^{x=L}[e(T, x) - m_e(T)]^2 dx}$$

Και για διακριτές τιμές

$$\sigma_e(T) = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}[e(T, x_i) - m_e(T)]^2}$$

Κατακόρυφη θεωρητική στάθμη γραμμής $Z_{th}(T,x)$

Η πραγματική θέση Z (T,x) της γραμμής ταλαντώνεται γύρω από τη θεωρητική θέση Z_{th} (T,χ) που καθώς μας είναι άγνωστη την προσεγγίζουμε , σ' ένα ορισμένο μήκος 2λ γύρω από τη θέση χ με την τιμή Z_{th}(T,x).

$$\delta(T, \chi) = \frac{1}{2\lambda}\int_{\chi-\lambda}^{\chi+\lambda} z(T, \xi)d\xi$$

Κατακόρυφο υψομετρικό σφάλμα γραμμής δ(T,χ)

$$\delta(T, x) = z(T, x) - z_{th}(T, x)$$

Μέση τιμή σφαλμάτων σ' ένα μήκος L

$$m_\delta(T) = \frac{1}{L}\int_{x=0}^{x=L}\delta(T, \chi)dx$$

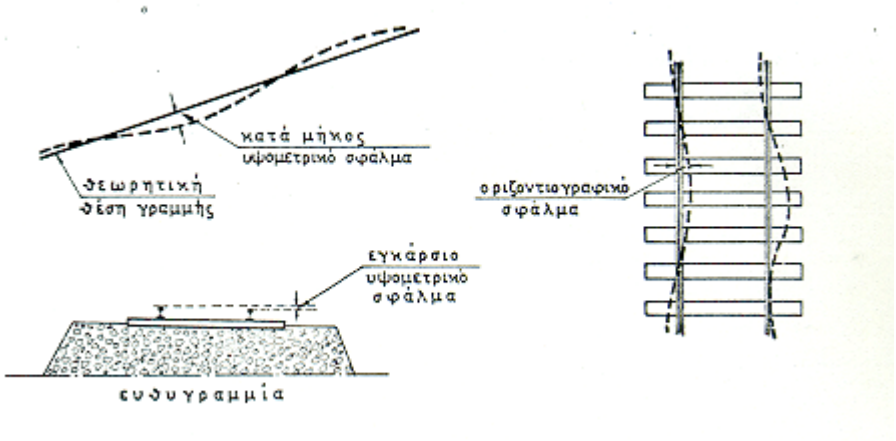
που συνήθως για δείγμα πολύ μεγάλο έχει τιμή μηδενική ή παραπλήσια με το μηδέν

Μέση τυπική απόκλιση σφαλμάτων σ' ένα μήκος L

$$\sigma_\delta(T) = \sqrt{\frac{1}{L}\int_{X=O}^{X=L}[\delta(T, \chi) - m_\delta(T)]^2 dx}$$

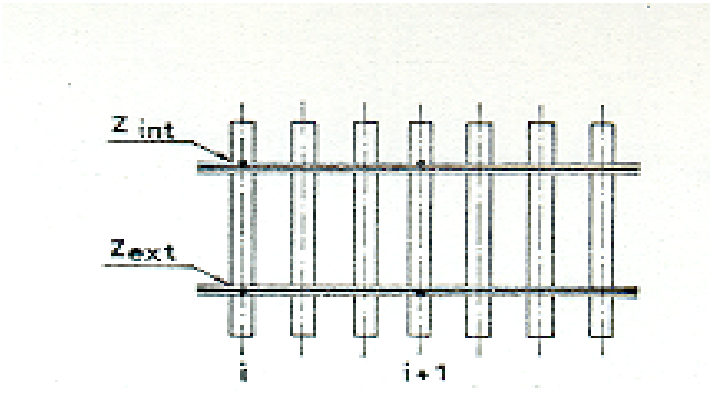
1.2.2. Οι διάφορες μορφές σφαλμάτων γραμμής

Ως σφάλματα γραμμής καλούνται οι αποκλίσεις ανάμεσα στις πραγματικές και θεωρητικές τιμές των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της γραμμής. Οι αποκλίσεις αυτές οφείλονται σε πλαστικές παραμορφώσεις διαφορικές καθιζήσεις, κ.λπ.
Οι κυριότερες μορφές σφαλμάτων γραμμής είναι οι παρακάτω:



Σχήμα 2: Το κατά μήκος υψομετρικό,το εγκάρσιο υψομετρικό και το οριζοντιογραφικό σφάλμα γραμμής [Γιαννακός 1999]

1.2.2.1. Το κατά μήκος υψομετρικό σφάλμα NL (default de nivellement longitudinal) (σχήμα 2), είναι γνωστό ως "σάλτο" στην ορολογία των εργοταξίων συντήρησης γραμμής. Το κατά μήκος υψομετρικό σφάλμα είναι αυτό που παριστάνει πιο αξιόπιστα την επίπτωση των δυναμικών φορτίων στην ποιότητα της γραμμής και καθορίζει κατά κύριο λόγο (μαζί με το εγκάρσιο υψομετρικό σφάλμα, που άλλωστε εμφανίζεται συντρέχοντος με το κατά μήκος) την οικονομία των δαπανών συντήρησης.
1.2.2.2. Το εγκάρσια υψομετρικό σφάλμα NT (default de nivellement transversal), (σχήμα 2), που ορίζεται ως η διαφορά ανάμεσα στην κανονική τιμή της υπερύψωσης και στην τιμή που υφίσταται πραγματικά.
1.2.2.3. Το οριζοντιογραφικό σφάλμα DH (σχήμα 2), που εξαρτάται από τα εγκάρσια φαινόμενα της γραμμής (περισσότερο από τους δύο προηγούμενους τύπους σφαλμάτων) και από τα χαρακτηριστικά και τις ιδιομορφίες του τροχαίου υλικού.
1.2.2.4.- Οι αποκλίσεις του εύρους γραμμής από τις τιμές που προδιαγράφει ο νέος κανονισμός επιδομής γραμμής του ΟΣΕ (πίνακας 1) και οι οποίες εξαρτώνται κυρίως από τα εγκάρσια φαινόμενα της γραμμής, συνεπώς επηρεάζονται άμεσα από τις μηχανικές αντοχές του υλικού επιδομής και τις ιδιομορφίες του τροχαίου υλικού



Σχήμα 3: Η στρεβλότητα της γραμμής: η απόκλιση ενός σημείου από το επίπεδο που ορίζουν τα άλλα 3. [Γιαννακός 1999]

Πίνακας 1. Το εύρος γραμμής σε συνάρτηση με την ακτίνα καμπυλότητας και τον τύπο του στρωτήρα, όπως προδιαγράφεται από το νέο κανονισμό επιδομής γραμμής του ΟΣΕ.

Γραμμή με στρωτήρες ξύλινους ή μεταλλικούς		Γραμμή με στρωτήρες από σκυρόδεμα	
Ακτίνα καμπυλότητας (m)	Εύρος γραμμής (mm)	Ακτίνα καμπυλότητας (m)	Εύρος γραμμής (mm)
R>400	1435	R>600	1432
350<R<400	1440	300<R<600	1437
300<R<350	1445		
250<R<300	1450		
R>250	1455		

7.2.2.5. Η στρεβλότητα G της γραμμής (gauche). Στην ευθυγραμμία καθώς και στο κυκλικό τμήμα της καμπύλης (όπου η υπερύψωση είναι σταθερή). Τέσσερα σημεία της γραμμής που ανήκουν σε δυο εγκάρσιες τομές στις θέσεις δύο στρωτήρων σχ. 3) πρέπει να ανήκουν στο ίδιο επίπεδο. Η στρεβλότητα ορίζεται ως η απόκλιση ενός σημείου από το επίπεδο που ορίζουν τα άλλα τρία.Ας είναι Zint και Zext οι στάθμες της εσωτερικής και εξωτερικής τροχιοσειράς. Τότε το εγκάρσιο υψομετρικό σφάλμα σε μία ορισμένη θέση θα είναι:

$$NT=Z_{ext} - Z_{int}$$

Αν i και i+1 είναι δύο διαδοχικές εγκάρσιες τομές της γραμμής που απέχουν μεταξύ τους μήκος Δl (στις θέσεις, π.χ., δύο διαδοχικών στρωτήρων), τότε
η στρεβλότητα ορίζεται ως η μεταβολή του εγκάρσιου υψομετρικού σφάλματος στη μονάδα του μήκους,

$$G = \frac{NT_{i+1} - NT_i}{\Delta l}$$

Για ν' αποφευχθεί ο κίνδυνος εκτροχιασμού θα πρέπει

$$G < \varepsilon$$

όπου ε είναι μια τιμή που εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την ταχύτητα και δευτερευόντως από τον τύπο του υλικού επιδομής και του τροχαίου υλικού.
Προκύπτει λοιπόν ότι η στρεβλότητα και το εγκάρσιο υψομετρικό σφάλμα δεν είναι ανεξάρτητες παράμετροι. Πολύ συχνά όμως μελετώνται ξεχωριστά, γιατί η στρεβλότητα αποτελεί μια από τις πιο συχνές αιτίες εκτροχιασμών, ιδίως μάλιστα στις χαμηλές (V<100Km/h) και μέσες (V<140 Km/h) ταχύτητες. Κρίσιμη παράμετρος για την ασφάλεια για τις παραπάνω ταχύτητες είναι κυρίως η στρεβλότητα κι όχι τόσο οι προηγούμενες κατηγορίες σφαλμάτων γραμμής.

1.3. Εντοπισμός των σφαλμάτων γραμμής – Μέτρα για την ασφάλεια της κυκλοφορίας

1.3.1. Η λήψη μέτρων από πλευράς γραμμής για την εξασφάλιση της κανονικότητας της κυκλοφορίας είναι συνάρτηση:

(α) της ποιότητας της αρχικής κατασκευής της γραμμής (ποιότητας κατασκευαζομένης νέας υποδομής και στρώση νέας επιδομής)
(β) της ποιότητας της συντήρησης γραμμής (οργάνωση – μέσα – έλεγχος)
(γ) του συρμού κύλισης και γενικότερα της ανάρτησης των οχημάτων (ελατηρίων και αποσβεστήρων).

1.3.2. Η ασφάλεια κυκλοφορίας από πλευράς γραμμής επιτυγχάνεται με τις ακόλουθες ενέργειες:

(α) Την επιθεώρηση της γραμμής, των τεχνικών έργων και εγκαταστάσεων εν γένει, σε τακτικές και έκτακτες επισκέψεις, από το αρμόδιο τεχνικό προσωπικό, για τη διαπίστωση της κατάστασής τους.
(β) Την καταγραφή της κατάστασης της γραμμής από τα καταγραφικά οχήματα, την αξιολόγηση και την αξιοποίησή τους.
(γ) Επιβολή βραδυποριών σε περιπτώσεις έντονων ανωμαλιών γραμμής, μέχρις αποκατάστασης τους. Σε ακραίες περιπτώσεις, αμέσου κινδύνου, διακόπτεται και η κυκλοφορία μέχρις ότου εκτελεσθούν οι αναγκαίες εργασίες άρσης του κινδύνου.

1.3.3. Η επιθεώρηση και ο έλεγχος της γραμμής και των τεχνικών της έργων, σύμφωνα με τους ισχύοντες Κανονισμούς, εγκυκλίους και οδηγίες, πραγματοποιείται:

1.3.3.1. *Από τους Φύλακες Γραμμής* (ή τους αντικαταστάτες τους) πεζή κάθε μέρα ή ανά διήμερο ή πολλαπλή, ανά ημέρα, επιθεώρηση, στα επισφαλή σημεία όπως προβλέπεται, κατά περιοχές από τις υπηρεσιακές διαταγές. Στις ομάδες με Σ.Σ.Σ, η επιθεώρηση γίνεται από τους Αρχιεργάτες μια φορά την εβδομάδα.
Ο έλεγχος της κανονικής πραγματοποίησης των διαδρομών αυτών των Φυλάκων Γραμμής (Φύλακες Γραμμής) γίνεται με την υπογραφή που υποχρεούνται να βάζουν στα βιβλιάρια ελέγχου διαδρομών, που βρίσκονται στα άκρα (ή και ενδιάμεσα) των διαδρομών τους. Οι Φύλακες Γραμμής κατά την εκτέλεση της υπηρεσίας τους, φέρουν τα προβλεπόμενα εφόδια (σημαία κόκκινη, κροτίδες, σάλπιγγα κ.λ.π) για να μπορούν να δώσουν εντολές στάθμευσης ή βραδυπορίας της αμαξοστοιχίας σε περίπτωση που διαπιστώσουν επικίνδυνες ανωμαλίες στη γραμμή.
Οι Εργοδηγοί, οι Τεχνικοί Βοηθοί, οι Τεχνολόγοι Μηχανικοί και οι Διπλωματούχοι Μηχανικοί των Τμημάτων Γραμμής, στις εξόδους τους, επιθεωρούν τα βιβλιάρια ελέγχου διαδρομών, για την διαπίστωση της κανονικής εκτέλεσης της επιθεώρησης και υπογράφουν και οι ίδιοι στα βιβλιάρια.
Οι Προϊστάμενοι Διπλωματούχοι Μηχανικοί των Τμημάτων Γραμμής μεριμνούν για την ενημέρωση των Φυλάκων Γραμμής καθώς και των Εργατών Γραμμής, που τους αντικαθιστούν για τα καθήκοντα και υποχρεώσεις τους, που προκύπτουν από τον Κανονισμό των Φυλάκων Γραμμής και Φυλάκων Ισοπέδων Διαβάσεων.

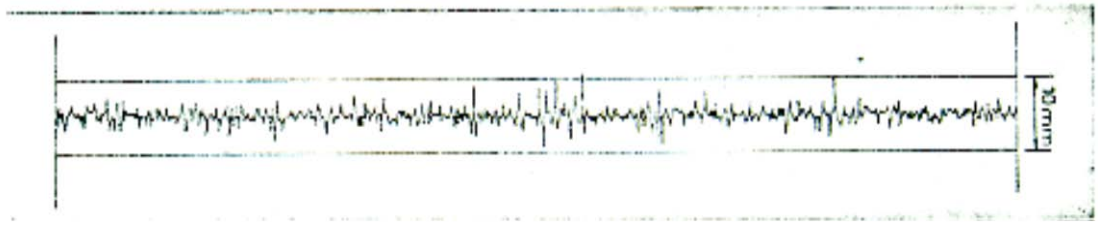
Η παραπάνω ενημέρωση πρέπει να γίνεται από τους Προϊσταμένους των Τμημάτων Γραμμής, τούτο δε ν' αναφέρεται στους Αρχιμηχανικούς των Υπηρεσιών Γραμμής των Περιφερειών. Η ενημέρωση αυτή πρέπει να επαναλαμβάνεται από τους Προϊσταμένους των Τμημάτων Γραμμής κάθε 2 χρόνια.

1.3.3.2. *Από τους Αρχιεργάτες Γραμμής* (ή τους αντικαταστάτες τους Υπαρχιεργάτες) που προϊστανται των ομάδων συντηρήσεως γραμμής, κάθε βδομάδα, πεζή, σε όλη την περιοχή δικαιοδοσίας της ομάδας. Εξυπακούεται ότι, εκτός από την ανά βδομάδα, κανονική επιθεώρηση, ο Αρχιεργάτης υποχρεούται σε έκτακτες επιθεωρήσεις εφόσον η κατάσταση γραμμής το επιβάλλει ή όταν πληροφορηθεί, καθ' οιονδήποτε τρόπο, για ύπαρξη ανωμαλιών στη γραμμή.
Κατά τις παραπάνω επιθεωρήσεις, ο Αρχιεργάτης υποχρεούται να υπογράφει, στα βιβλιάρια των Φυλάκων Γραμμής.
Τονίζεται ιδιαίτερα ότι ο Αρχιεργάτης έχει την υποχρέωση να διατάσσει έκτακτη επιθεώρηση της γραμμής, από το προσωπικό του, σε περιπτώσεις δυσμενών καιρικών συνθηκών (έντονες βροχοπτώσεις, χιονοθύελλες, πλημμύρες, παγετοί ή υψηλές θερμοκρασίες, όταν μάλιστα οι τελευταίες είναι απότομες κ.λπ.) ή εκτάκτων συμβάντων (σεισμοί κ.λπ.) ή ακόμη και συνεχή φρούρηση επισφαλών σημείων της γραμμής, στα οποία παρουσιάστηκαν ανωμαλίες (κατακλίσεις γραμμών από νερά, πτώσεις λίθων στη γραμμή από τα πρανή ορυγμάτων, υποσκαφές βάθρων γεφυρών κ.λπ) μέχρις άρσης της ανωμαλίας ή λήψης των ενδεικνυομένων μέτρων.
Επιβάλλεται η εφαρμογή των ειδικών οδηγιών που αφορούν στις επιθεωρήσεις (επιβλέψεις), στις συνεχώς συγκολλημένες σιδηροτροχιές (Σ.Σ.Σ) κατά την περίοδο των υψηλών και χαμηλών θερμοκρασιών καθώς και σε περιπτώσεις εκτέλεσης, σ' αυτές εργασιών συντήρησης.
Τονίζεται ότι δεν πρέπει να υπάρχει κανένας δισταγμός, από τον Αρχιεργάτη και Εργοδηγό για βραδυπόρηση των αμαξοστοιχιών ή ακόμη και στάθμευσή τους, σε περίπτωση που διαπιστωθούν στη γραμμή ή τεχνικά έργα ανωμαλίες που θέτουν σε κίνδυνο την ασφάλεια της κυκλοφορίας.

1.3.3.3. *Από τους Εργοδηγούς Γραμμής* (ή τους εκτελούντες χρέη Εργοδηγού Αρχιεργάτες) πεζή, σ' όλη την περιοχή δικαιοδοσίας τους με συνοδεία των Αρχιεργατών των ομάδων τουλάχιστον μια φορά το μήνα, χωρίς δε τη συνοδεία των Αρχιεργατών, σύμφωνα με τις ανάγκες, που εμφανίζονται.
Τονίζεται ότι τουλάχιστον, μια φορά την εβδομάδα ο Εργοδηγός Γραμμής υποχρεούται να κάνει επιθεώρηση της γραμμής, σ' όλη την περιοχή της δικαιοδοσίας του, επιβαίνοντας στο θάλαμο οδήγησης (ή στην οροφή) μιας από τις ταχύτερες αμαξοστοιχίες, για την διαπίστωση της κατάστασης της γραμμής, εν κινήσει και να παρέχει σχετικές οδηγίες συντήρησης.
Πλέον από την υποχρέωση των Εργοδηγών, όταν επιθεωρούν πεζή τη γραμμή, να υπογράφουν στο βιβλιάριο ελέγχου των Φυλάκων Γραμμής, οφείλουν στο τέλος κάθε μήνα να αποστέλλουν στο Τμήμα Γραμμής το «Φύλλον εξελέγξεως της εκτελέσεως επισκέψεων».
Τέλος τονίζεται ότι, στις υποχρεώσεις, κατά την επιθεώρηση της γραμμής από τους Φύλακες Γραμμής, Αρχιεργάτες και Εργοδηγούς, περιλαμβάνεται και ο μακροσκοπικός έλεγχος της κατάστασης και παντός τεχνικού έργου της γραμμής (γεφυρών, σηράγγων, τοίχων προστασίας ορυγμάτων επιχωμάτων κ.λπ).

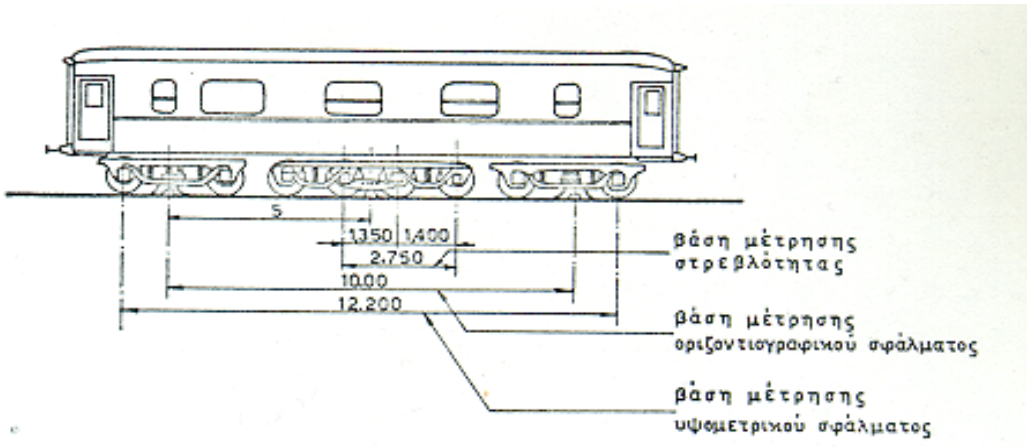
1.3.3.4. *Από το Τεχνικό Προσωπικό των Τμημάτων Γραμμής (Τεχνικούς Βοηθούς, Τεχνολόγους Μηχανικούς, Διπλωματούχους Μηχανικούς)* κατά τις εκάστοτε εξόδους τους, με αμαξοστοιχίες ή δραιζίνες ή πεζή.
Ειδικότερα για τους Προϊσταμένους Μηχανικούς των Τμημάτων Γραμμής και τους αντικαταστάτες τους Διπλωματούχους Μηχανικούς ισχύουν τα αναφερόμενα στις εγκυκλίους διαταγές που εφαρμόζονται.
Τονίζεται η ανάγκη συστηματικής εκτέλεσης, της, κάθε χρόνο, κάθε εξάμηνο και κάθε μήνα, προβλεπόμενης επιθεώρησης, από την παραπάνω εγκύκλιο.
Επίσης δεν θα παραλείπεται, η ανά 10ημερο, τουλάχιστον επιθεώρηση της γραμμής με δραιζίνες, από τους Προϊσταμένους ή τους Μηχανικούς των Τμημάτων.

1.3.4. Από την καταγραφή που γίνεται *από τα καταγραφικά οχήματα σφαλμάτων γραμμής,* ανά εξάμηνο τακτικά και έκτακτα όσες φορές απαιτείται, την αξιολόγησή τους από τον Αρχιμηχανικό της ΔΓ/ΥΓ, της ΥΓ της αντίστοιχης Περιφέρειας και τον Προϊστάμενο του αντίστοιχου Τμήματος Γραμμής και τη λήψη των ενδεικνυομένων μέτρων.
Τα σφάλματα γραμμής εντοπίζονταν μέχρι πριν από λίγα χρόνια μόνο από το αρμόδιο



Σχήμα 4: Κατά μήκος υψομετρικά σφάλματα μιας τροχιοσειράς, όπως εντοπίζονται από το καταγραφικό μηχάνημα.

προσωπικό συντήρησης είτε οπτικά (η μέθοδος αυτή, με την οποία μόνο ευμεγέθη σφάλματα μπορούσαν να εντοπισθούν, αποδείχθηκε αντιορθολογική και επιδεκτική υποκειμενικών εκτιμήσεων) είτε με μετρήσεις με απλά όργανα.



Σχήμα 5: Συνοπτικό διάγραμμα του καταγραφικού οχήματος Mauzin [Γιαννακός 1999]

Τα τελευταία όμως χρόνια η σύγχρονη σιδηροδρομική τεχνολογία χρησιμοποιεί επίσης και καταγραφικά οχήματα που διατρέχουν κατά ορισμένα χρονικά διαστήματα τη γραμμή. Τα μηχανήματα με τα οποία είναι εφοδιασμένα τα οχήματα αυτά δίνουν

τις τιμές των διαφόρων σφαλμάτων για μια ορισμένη βάση μέτρησης (που είναι της τάξεως των 10m για το υψομετρικό και οριζοντιογραφικό σφάλμα και της τάξεως των 2.5 - 3m για τη στρεβλότητα).
Το σχήμα 4 δίνει ένα διάγραμμα κατά μήκος υψομετρικών σφαλμάτων γραμμής (για μία τροχιοσειρά) που αντιστοιχούν σε βάση μέτρησης 12.2m και το σχήμα 5 δίνει σχηματική παράσταση ενός καταγραφικού οχήματος (Mauzin των Γαλλικών σιδηροδρόμων).
Η μελέτη της κατανομής των διαφόρων τύπων σφαλμάτων ανάγεται σ ένα πρόβλημα στοχαστικό, το οποίο προσεγγίζεται με τη βοήθεια της φασματικής ανάλυσης. Έτσι υπολογίζουμε για κάθε κατηγορία σφαλμάτων τη συχνότητα με την οποία εμφανίζονται, το μήκος κύματος στο οποίο αντιστοιχούν, τη συσχέτισή τους με την ταχύτητα του συρμού κ.λπ.
Ένας πρώτος, και ο απλούστερος, τρόπος ανάλυσης είναι να υπολογισθούν οι μέσες (μη προσημασμένες) τιμές ενός σφάλματος καθώς και οι μέγιστες μεμονωμένες τιμές του σ' ένα ορισμένο μήκος. Τόσο οι πρώτες όσο και οι δεύτερες θα καλούνται απόλυτες τιμές σφάλματος. Χρησιμοποιούνται για τις χαμηλές και μέσες ταχύτητες, όπου καθοριστικές και κρίσιμες παράμετροι είναι αυτές που καθορίζουν την ασφάλεια.
Για τις μέσες, ωστόσο, τις μεγάλες και πολύ μεγάλες ταχύτητες, καθοριστικές παράμετροι είναι αυτές που ρυθμίζουν το επίπεδο άνεσης του επιβάτη.
Γι αυτό για τις παραπάνω ταχύτητες χρησιμοποιούνται ως δείκτες της ποιότητας της γραμμής οι επεξεργασμένες τιμές των διαφόρων τύπων σφαλμάτων (οι οποίες προκύπτουν με βάση τις τιμές που έχει καταγράψει το καταγραφικό όχημα). Χαρακτηριστικότερη από τις επεξεργασμένες αυτές τιμές είναι η μέση τυπική απόκλιση ενός τύπου σφάλματος σ' ένα ορισμένο μήκος, η οποία αποτιμά πολύ αξιόπιστα τη διαφορική τιμή του υπόψη σφάλματος. Σε συνάρτηση με το standing της γραμμής (που προσδιορίζεται κυρίως από τη μέγιστη ταχύτητα των συρμών που τη διατρέχουν) καθορίζονται δύο οριακές τιμές:

- Μια κάτω οριακή τιμή Linf, κάτω από την οποία δεν απαιτείται καμιά εργασία τακτοποίησης γραμμής,
- Μια πάνω οριακή τιμή Lsup, πέρα από την οποία η άνεση του επιβάτη ελαττώνεται αισθητά και η ταχύτητα μείωσης της ποιότητας της γραμμής (vitesse de degradation) αυξάνει γρήγορα.

Οι εργασίες συντήρησης της γραμμής πρέπει να εκτελούνται όσο τα σφάλματα Γραμμής βρίσκονται στο εύρος Linf- Lsup.
Επισημαίνουμε ότι για τις γραμμές μέσης ταχύτητας χρησιμοποιούνται ως δείκτες τόσο οι απόλυτες όσο και οι επεξεργασμένες τιμές, κυρίως όμως οι πρώτες.

7.3.5 *Για τις γέφυρες, και τα τεχνικά έργα*[2] ο Υπηρεσιακός Κανονισμός προβλέπει:

7.3.5.1. Μακροσκοπικές επιθεωρήσεις:

- Κάθε μέρα (ή κάθε 2 μέρες) *από τον Φύλακα Γραμμής*, κατά τη διαδρομή του τμήματός του, (όπου εξακολουθεί να υπάρχει ημερήσια ή ανά 2ημερο φύλαξη).
- Κάθε 7 μέρες *από τον Αρχιεργάτη Γραμμής*.

- Κάθε μήνα (τουλάχιστον) *από τον Εργοδηγό Γραμμής.*

7.3.5.2. Λεπτομερέστερη (επίσης μακροσκοπική) επιθεώρηση, κάθε χρόνο, *από τους Μηχανικούς του Τμήματος Μεταλλικών Κατασκευών (ΤΜΚ) και του αρμόδιου Τμήματος Γραμμής.*

7.3.5.3. Διεξοδική επιθεώρηση των μεταλλικών γεφυρών, κάθε 5 χρόνια, *από συνεργείο του ΤΜΚ, υπό την επίβλεψη Μηχανικού* (με εγκατάσταση ικριωμάτων – όπου χρειάζεται – για την εξέταση, από κοντά, όλων των στοιχείων της κατασκευής, βελομετρήσεις κ.λπ).
Τα αποτελέσματα των ετήσιων και πενταετών επιθεωρήσεων καταχωρούνται σε πίνακες και υποβάλλονται στις ΥΓ των Περιφερειών και στην Υπηρεσία Γεφυρών της ΔΓ.
Στον πενταετή κύκλο επιθεωρήσεως ανταποκρίνεται αντίστοιχος 5ετής κύκλος συντηρήσεως των μεταλλικών γεφυρών.
Τονίζεται επίσης ότι από τις Υπηρεσίες Γραμμής (ΥΓ) των Περιφερειών, πρέπει να ελέγχεται και να παρακολουθείται η τήρηση των προαναφερθέντων, σε ότι αφορά τις επιθεωρήσεις της γραμμής, τεχνικών έργων και γεφυρών.

7.3.6. Η κανονική συντήρηση της γραμμής αποτελεί βασικό παράγοντα στην ασφάλεια της κυκλοφορίας. Αυτή πρέπει να γίνεται έγκαιρα και τεχνικά σωστά, με τα διατιθέμενα μέσα και σύμφωνα με τους Κανονισμούς, τεχνικές οδηγίες και υπηρεσιακές διαταγές, που κατά καιρούς έχουν εκδοθεί και σταλεί.
Οι Προϊστάμενοι των Τμημάτων Γραμμής, που έχουν την άμεση επίβλεψη των εργασιών συντήρησης που εκτελούν οι ομάδες, πρέπει να την παρακολουθούν συνεχώς, να την κατευθύνουν με τα όργανά τους (Εργοδηγούς Τεχνικούς Βοηθούς, Τεχνολόγους Μηχανικούς και Διπλωματούχους Μηχανικούς των Τμημάτων) και να την ελέγχουν ποιοτικά και ποσοτικά.
Υπενθυμίζεται ότι, οι Τεχνικοί Βοηθοί των Τμημάτων Γραμμής, οφείλουν να επισκέπτονται με έξοδό τους, τουλάχιστον 2 φορές την εβδομάδα, τις διάφορες ομάδες που παρακολουθούν την εργασία τους, παραμένοντες στον τόπο εργασίας, για πολυ χρόνο, να δίδουν οδηγίες στους αρχ/τες, να παίρνουν στοιχεία της κατάστασης της γραμμής κ.λπ.
Οι ορισθέντες Διπλωματούχοι Μηχανικοί, στις Υ.Γ των Περιφερειών για την παρακολούθηση των εργασιών συντήρησης, μαζί με τους αντίστοιχους Διπλωματούχους Μηχανικούς της ΥΓ/ΔΓ (ΔΓ=Διεύθυνση Γραμμής) οφείλουν να επισκέπτονται μια φορά ανά 3 μήνες τα Τμήματα Γραμμής (οι Διπλωματούχοι Μηχανικοί των ΥΓ των Περιφερειών και συχνότερα, κατά την κρίση των Αρχιμηχανικών) για την παρακολούθηση της εξέλιξης των εργασιών συντήρησης, επίλυση από κοινού με τους Προϊσταμένους των Τμημάτων, των προβλημάτων που ανακύπτουν και να θέτουν υπόψη των Αρχιμηχανικών των ΥΓ θέματα, η επίλυση των οποίων απαιτεί παρέμβαση δική τους.
Τέλος, ο Αρχιμηχανικός της ΥΓ/ΔΓ, συνοδευόμενος από τον Αρχιμηχανικό της ΥΓ των Περιφερειών, οφείλουν να επισκέπτονται – μια φορά το χρόνο, όλα τα τμήματα γραμμής (ο Αρχιμηχανικός της ΥΓ της Περιφέρειας τουλάχιστον μια φορά το 2μηνο) κάνοντας διαδρομή με δραιζίνα όλου του μήκους περιοχής δικαιοδοσίας των τμημάτων, να εξετάζουν την πρόοδο των εργασιών συντήρησης και να υποβάλλουν

από κοινού, στον Διευθυντή Περιφερείας και Διευθυντή Γραμμής, σχετική έκθεση, για την κατάσταση της Γραμμής.
Εξυπακούεται, ότι, κατά τις παραπάνω επιθεωρήσεις από τους Αρχιμηχανικούς και Διπλωματούχους Μηχανικούς Γραμμής της ΔΓ και Περιφερειών, πέρα από τα θέματα συντήρησης γραμμής θα εξετάζονται και ανάλογα θέματα που αφορούν τα τεχνικά έργα. Ειδικά σοβαρά θέματα γεφυρών θα τίθενται υπόψη της ΔΓ/ΥΓ-ΓΕΜΕ[1], από τις Περιφέρειες, με σχετικές ιδιαίτερες έγγραφες αναφορές για μελέτη και επίλυσή τους.

2.- Συντήρηση της έδρασης της Σιδηροδρομικής Γραμμής

2.1. Γενικά

Η πρόοδος που έγινε σε όσα αφορά τα υλικά της επιδομής της γραμμής (σιδηροτροχιές, σύνδεσμοι, στρωτήρες κ.λπ.), οδήγησαν στο να χρησιμοποιούνται (στις ανακαινίσεις) υλικά με μεγάλη διάρκεια ζωής και με μικρές μεταβολές στη συμπεριφορά τους (σταθερότητα) συν τω χρόνω. Αυτό είχε σαν συνέπεια την ορθολογικοποίηση (rationalisation) των εργασιών συντήρησης και τη μείωση του κόστους αυτών των εργασιών. Αυτός ο προσανατολισμός θα ήταν λανθασμένος εάν ταυτόχρονα δεν θα είχαν καλά αποτελέσματα και καλή συμπεριφορά τα υλικά που αποτελούν την έδραση της γραμμής. Βασικό πρόβλημα αποτελεί η ανάβαση της παιπάλης (fines), στοιχείο που γεννά τη διαφορική καθίζηση (tassement differential). Επειδή οι καινούριες μέθοδοι υψομετρικής τακτοποίησης με μπουρέζες δεν «συμβαδίζουν» με τις παλαιές μεθόδους συντήρησης (τοπικές επεμβάσεις), είναι επίσης αναγκαίο και οι εδράσεις των γραμμών να κατασκευάζονται έτσι, ώστε η φθορά τους να γίνεται με όσο το δυνατό πιο αργό και σταθερό ρυθμό.
Η μελλοντική εξέλιξη της κυκλοφορίας, του κατά άξονα βάρους και ταχυτήτων, μας αναγκάζουν να λάβουμε ειδικά μέτρα κατά την ανακαίνιση των γραμμών (π.χ. πιο σκληρό σκύρο, ενισχύσεις) *με σκοπό να μειώσουμε όσο το δυνατό το κόστος της συντήρησης*.

2.2. Οργάνωση της συντήρησης

Σε ότι αφορά την έδραση της γραμμής, οι εργασίες συντήρησής της περιλαμβάνουν:

- Τις εκτεταμένες εργασίες ανακαίνισης της γραμμής και του σκύρου.
- Τις τοπικές εργασίες που έχουν ως σκοπό τη διατήρηση σε καλή κατάσταση του ίδιου του εδάφους (π.χ. συμπληρώσεις στο δίκτυο αποστράγγισης, έλεγχος).
- Τις συνήθεις εργασίες συντήρησης γραμμής (μπουράρισμα κ.λπ), και των πρανών.

- Σε μια υπάρχουσα γραμμή, η συντήρηση πρέπει να οργανωθεί λαμβάνοντας υπόψη τις εξής παραμέτρους :

- Τη φύση της κυκλοφορίας (ημερήσιο φορτίο, ταχύτητα).

[1] Υπηρεσία Γεφυρών

- *Ποιότητα γεωμετρίας γραμμής* που πρέπει να εξασφαλισθεί και από άποψη ασφάλειας κυκλοφορίας και από άποψη άνεσης επιβατών.
- *Το απαιτούμενο κόστος των εργασιών συντήρησης* για την εξασφάλιση της κατάλληλης γεωμετρίας γραμμής.

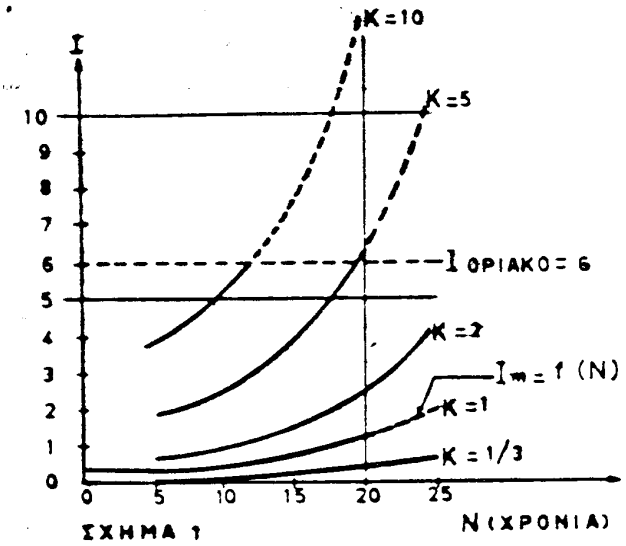
Με τις προϋποθέσεις αυτές οι SNCF χωρίζουν το δίκτυό τους σε τρεις κατηγορίες γραμμών:

- Τις «κόκκινες» γραμμές, όπου η ανακαίνιση γίνεται συστηματικά.
- Τις «μπλε» γραμμές, όπου η ανακαίνιση γίνεται ανάλογα με την περίπτωση.
- Τις «μαύρες» γραμμές, όπου δεν γίνεται ανακαίνιση.

Στις κόκκινες γραμμές περιλαμβάνονται όλες οι γραμμές της κατηγορίας UIC 1 και 2 και μεγάλο μέρος των γραμμών κατηγορίας 3, 4 και 5.
Στις μπλε γραμμές περιλαμβάνεται επίσης αρκετά μεγάλο μέρος των γραμμών της κατηγορίας 3, 4, 5 και 6 και μέρος γραμμών ανώτερης κατηγορίας κατά UIC.
Στην κατηγορία των μαύρων γραμμών περιλαμβάνεται ένα πολύ μικρό ποσοστό των γραμμών 3, 4, 5 και 6, ένα μεγάλο ποσοστό γραμμών της κατηγορίας UIC 7 και 8 και όλες οι γραμμές της κατηγορίας UIC 9.
Οι κόκκινες γραμμές είναι οι πιο σημαντικές γραμμές, από άποψη φορτίου κυκλοφορίας και ταχύτητες που ξεπερνούν τα 140km/h στο μεγαλύτερό τους μήκος, ή γραμμές που σε σχετικά σύντομο μέλλον θα φθάσουν σ' αυτές τις τιμές. *Σ'_αυτές τις γραμμές η γεωμετρία πρέπει να συγκρατείται σταθερά σε βέλτιστο επίπεδο,* για να μπορούν οι γραμμές αυτές να ανταποκριθούν και από άποψη ασφάλειας κυκλοφορίας και από άποψη άνεσης επιβατών.
Αυτόν τον στόχο δεν μπορούμε πρακτικά να τον εκπληρώσουμε, αν σε τακτικές χρονικές περιόδους δεν κάνουμε ανακαίνιση της γραμμής και του σκύρου μαζί. Μεταξύ δύο ανακαινίσεων, το κόστος των εργασιών συντήρησης της γεωμετρίας της γραμμής δεν είναι σταθερό, αλλά μεταβάλλεται (αυξάνεται) *με αργό ρυθμό,* λόγω γήρανσης της γραμμής. Ο ρυθμός αυτός εξαρτάται *κατά κύριο λόγο* από την ποιότητα της έδρασης της γραμμής.
Αυτό το φαινόμενο αποδεικνύεται από τις διαφορές που συναντάμε στους αριθμούς επεμβάσεων συντήρησης, που απαιτούνται ώστε να κρατηθεί η γεωμετρία σε κάποιο επίπεδο, συγκρινόμενους για διαφορετικά τμήματα της ίδιας γραμμής, της ίδιας ηλικίας, ίδιας κατασκευής και με ισοδύναμη κυκλοφορία.
Για ένα συγκεκριμένο ημερήσιο φορτίο, μπορούμε να εκφράσουμε το μέσο αριθμό επεμβάσεων αυτών (Im), που βγαίνει από στατιστικούς υπολογισμούς, σε συνάρτηση με την «ηλικία» της γραμμής. Θα βρούμε λοιπόν την σχέση

$$I_m = f(N) \qquad \text{όπου N = ηλικία σε χρόνια}$$

Για μια συγκεκριμένη γραμμή (i), της ίδιας πάντα ηλικίας, ο αριθμός επεμβάσεων I(i), διαφέρει από τις τιμές που εκφράζονται με τον πιο πάνω αριθμό I(m).
Ο λόγος $K=I_i/I_m$ *ονομάζεται «coefficient d' entretient d' assise»* (συντελεστής συντήρησης έδρασης της γραμμής).



Σχήμα 6: Συντελεστής επεμβάσεων στη γραμμή σε συνάρτηση με τα χρόνια [Γιαννακός, 1990, Sauvage 1978]

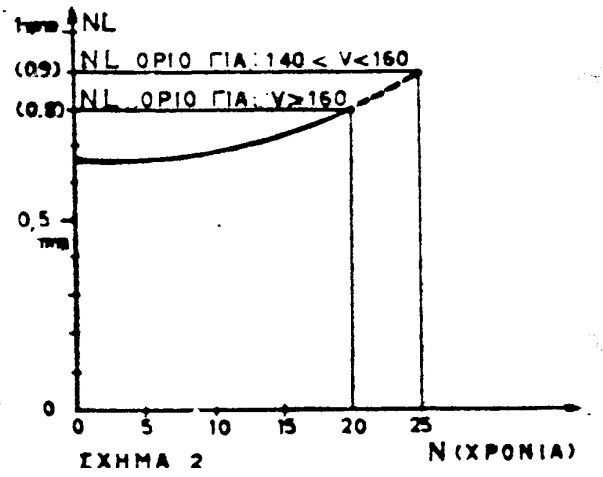
Η τιμή του πιο πάνω συντελεστή (K), είναι 1 για τη μέση κατάσταση, μπορεί όμως να αυξηθεί για περιπτώσεις κακής έδρασης της γραμμής. Η πιο πάνω συνάρτηση εικονίζεται γραφικά στο πιο κάτω διάγραμμα (σχήμα 6), για γραμμές κατηγορίας UIC 1, 2 & 3 της SNCF.

Μαζί με την καμπύλη Im = f(N) συνηθίζεται να αναλύεται παράλληλα και η αντίστοιχη καμπύλη που εκφράζει τη μεταβολή στο χρόνο της μέσης τυπικής απόκλισης του υψομετρικού σφάλματος (NL) λαμβάνοντας υπόψη μια ολισθαίνουσα βάση μέτρησης μήκους 300m.

Η καμπύλη φαίνεται στο σχήμα 7 για γραμμές UIC 1, 2 & 3 (SNCF).

Αυτή η καμπύλη δείχνει τηνοιότητα γεωμετρίας γραμμής που επιτυγχάνουμε, με (Im) μέσο αριθμό επεμβάσεων στη γραμμή κατηγορίας UIC 1, 2 & 3 των SNCF. Βλέπουμε ότι η γεωμετρία της γραμμής χαλάει με αργό ρυθμό και στο τέλος του κύκλου που είναι: 20 χρόνια για V > 160 και 25 χρόνια για 140 < V < 160 φθάνει την οριακή τιμή NL = 0,8mm ή 0,9mm αντίστοιχα.

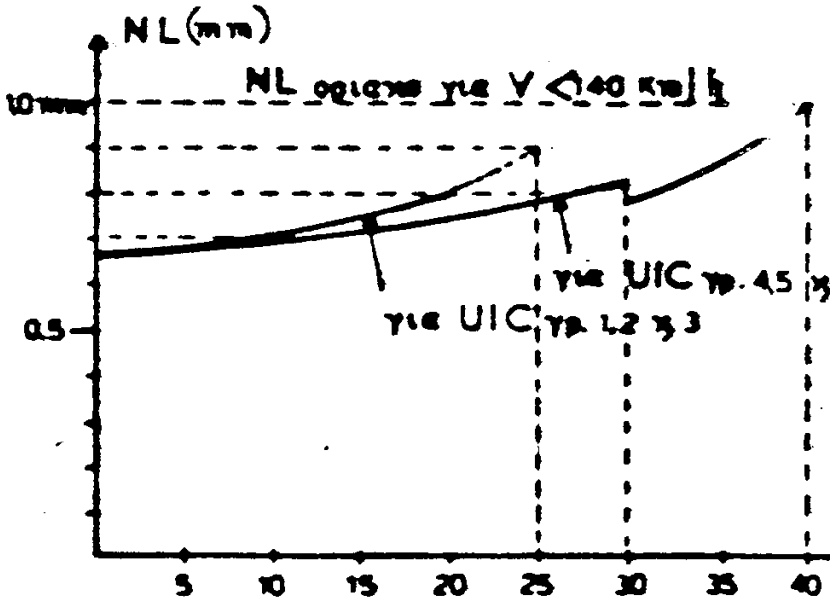
Η απόφαση για επέμβαση (ανακαίνιση) λαμβάνεται όταν ο αριθμός (Ii) είναι τόσο μεγάλος, που φθάνει ή ξεπερνάει την οριακή τιμή (I οριακή) δηλ. όταν η απαιτούμενη ποιότητα της γεωμετρίας δεν μπορεί να εξασφαλιστεί με τις (Ii) αναγκαίες



Σχήμα 7: Υψομετρικό σφάλμα γραμμής (NL) σε συνάρτηση με τα χρόνια [Γιαννακός, 1990, Sauvage 1978]

επεμβάσεις για διάφορες αιτίες (π.χ. δεν επιτρέπεται να επεμβαίνουμε σε ΣΣΣ για μεγάλη χρονική διάρκεια εντός του έτους). Δηλαδή το κόστος συντήρησης φθάνει στο σημείο να υπερβαίνει κάποια όρια.
Επίσης αποφασίζεται η ανακαίνιση όταν η μέση τυπική απόκλιση του υψομετρικού σφάλματος NL φθάνει στην οριακή τιμή της. Στις κόκκινες γραμμές η κανονική συντήρηση γίνεται με τα βαρέα μηχανήματα (μπουρέζες) και είναι απαραίτητα αναγκαίο (με την ευκαιρία των ανακαινήσεων και της συντήρησης), να ομογενοποιηθεί και να βελτιωθεί η ποιότητα της έδρασης της γραμμής. Δηλαδή πρέπει να βελτιωθεί ο συντελεστής ($K = I_i / I_m$) της συντήρησης της έδρασης. Αυτός λοιπόν ο συντελεστής «K» είναι ένα πολύ ευαίσθητος δείκτης της ποιότητας της έδρασης και εξαρτάται από:

- την καταπόνηση σε επαναλαμβανόμενες φορτίσεις του επιχώματος, ανάλογα με το πάχος της έδρασης.
- την κατάσταση των στρωμάτων της έδρασης (βαθμός ρύπανσης, τη συμβατότητα των διαφόρων στρωμάτων που αποτελούν τη θεμελίωση).
- την καλή λειτουργία απορροής υδάτων
- την ευαισθησία του επιχώματος σε παγετό

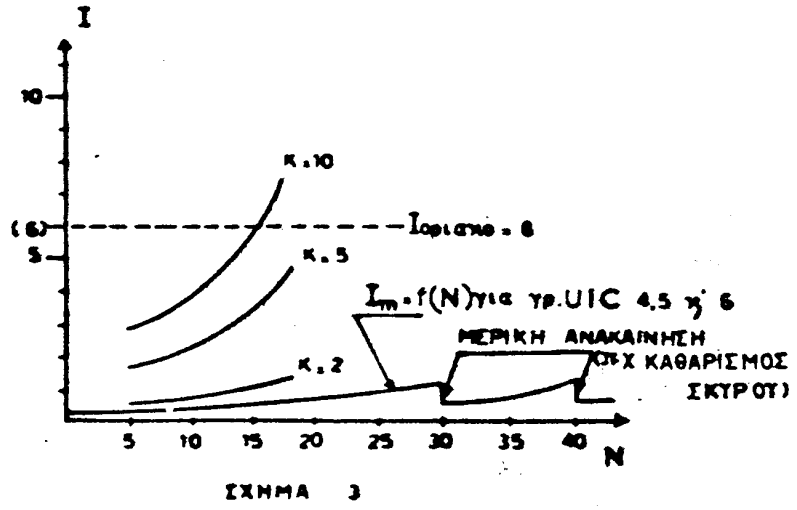


Σχήμα 3

Σχήμα 8: Υψομετρικό σφάλμα γραμμής (NL) σε συνάρτηση με τα χρόνια για διάφορες κατηγορίες γραμμών [Γιαννακός, 1990, Sauvage 1978]

Οι μπλέ γραμμές είναι οι γραμμές με μεσαία φορτία, V < 140km/h. Ασφαλώς ο χρόνος ζωής τους είναι μεγαλύτερος από ότι οι κόκκινες γραμμές.
Για γραμμές με πολύ χαμηλό «K», μπορεί ο κύκλος ζωής να ξεπεράσει ακόμα και τα 40 χρόνια.

Σε τέτοιες γραμμές συνήθως δεν γίνεται ολική ανακαίνιση, παρά μόνο μερική ανακαίνιση (π.χ. καθαρισμός σκύρου) και αυτό μόνο και μόνο για να συγκρατήσουμε τη γεωμετρία της γραμμής σε κάποιο ανεκτό επίπεδο και ο αριθμός επεμβάσεων να είναι ικανοποιητικός.
Υπάρχουν όμως περιπτώσεις που σε ορισμένα κομμάτια γραμμής το «Κ» είναι πολύ μεγάλο και τότε επεμβαίνουμε (τοπικά πάντα), με ανακαινίσεις ολικές.
Στις *μπλε γραμμές* ο οικονομικός τρόπος συντήρησης με βαρέα μηχανήματα γίνεται σε όλες τις περιπτώσεις που οι τεχνικές συνθήκες το επιτρέπουν. Τα αντίστοιχα διαγράμματα των συναρτήσεων I = f(N) και NL = f(N) των γραμμών αυτών είναι τα παρακάτω:



Σχήμα 9: Διακύμανση συντελεστού I σε συνάρτηση με τα χρόνια για διάφορες κατηγορίες γραμμών και με εργασίες συντήρησης [Γιαννακός, 1990, Sauvage 1978]

Οι μαύρες γραμμές είναι αυτές για τις οποίες δεν προβλέπεται καμία ανακαίνιση και φυσικά έχουν πολύ χαμηλή κυκλοφορία. Η συντήρησή τους γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλιστεί η ασφάλεια της κυκλοφορίας και το υλικό να είναι σε καλή κατάσταση.

2.3. Παράγοντες που επηρεάζουν την κατάσταση (το κράτημα) της *υποδομής της γραμμής*.

Η καταπόνηση σε επαναλαμβανόμενα φορτία της υποδομής εξαρτάται:

- από την τιμή του φορτίου πάνω στη γραμμή
- από τα χαρακτηριστικά της εσχάρας της γραμμής (είδος στρωτήρων, ...)
- πάχος και χαρακτηριστικά των στρωμάτων της έδρασης
- τάξη φορτοϊκανότητας της υποδομής (αυτό εξαρτάται αποκλειστικά από τη φύση του εδάφους της υποδομής του επιχώματος).

2.3.1. Ταξινόμηση των εδαφών και της υποδομής

Γίνεται σύμφωνα με την Fiche UIC 719 R.

2.3.1.1. Γεωτεχνική ανάλυση των εδαφών

Τα εδάφη χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- ανόργανα εδάφη
- οργανικά εδάφη

2.3.1.1.1. Ανόργανα εδάφη

Ο βασικός διαχωρισμός γίνεται ανάλογα με την κοκκομετρία τους. Ανάλογα λοιπόν με το μέγεθος των κόκκων που υπάρχουν, υπάρχουν και οι αντίστοιχες ονομασίες αυτών (π.χ. άργιλος, γαρμπίλι, πέτρα, κ.λπ.).

2.3.2.1.2. Οργανικά εδάφη

Προέρχονται από αποσύνθεση φυτών ή μικροζωαρίων

2.3.1.1.2. Ποιότητα εδαφών

Εξαρτάται από:

- τη γεωτεχνική φύση του εδάφους
- τις τοπικές, υδρογεωλογικές και υδρολογικές συνθήκες

Υπάρχουν τέσσερις ποιότητες εδάφους:

QSO - ακατάλληλα εδάφη (π.χ. πολλά οργανικά ή εδάφη από βιομηχανικά απόβλητα ή με παιπάλη (fines) > 15%.
QS1 - ικανοποιητικά εδάφη (π.χ. τα μαλακά πετρώματα με ξηρό Deval < 6 και L.A. > 33)
QS2 - μέτρια εδάφη (π.χ. μέτριας αντοχής πετρώματα με 6 < = ξηρό Deval < 9 και 33 > L.A. > 30)
QS3 - καλά εδάφη (π.χ. από πετρώματα με ξηρό Deval > = 9 και LA< =30).

2.3.1.3. Τάξη φορτοικανότητας της υποδομής

Η φορτοϊκανότητα εξαρτάται από:

- την ποιότητα του εδάφους που σχηματίζει το επίχωμα
- την ποιότητα και το πάχος του στρώματος που τοποθετείται για να αντικαταστήσει το πάνω μέρος του επιχώματος (στρώση διαμόρφωσης).

Έχουμε τρεις τάξεις υποδομής, ανάλογα με την αντοχή τους:

P1 κακή υποδομή
P2 μέτρια υποδομή
P3 καλή υποδομή

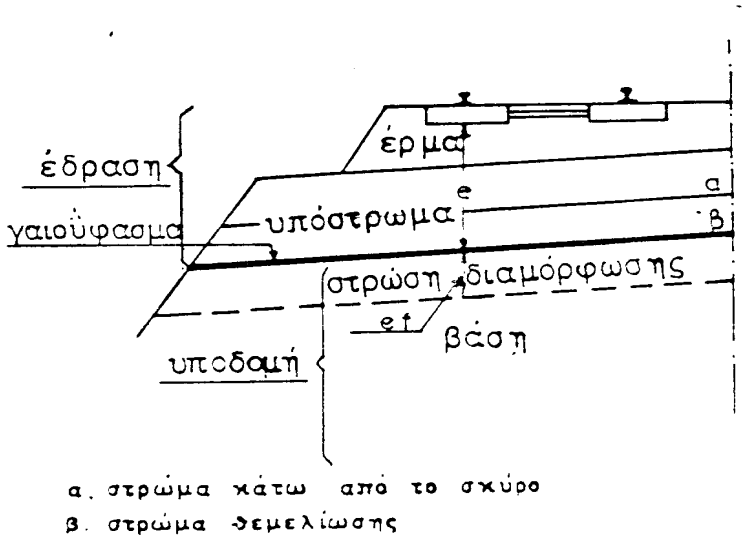
Έχοντας λοιπόν:

- την ποιότητα του επιχώματος
- την επιθυμητή τάξη φορτοϊκανότητας της υποδομής

τίθεται θέμα επιλογής ποιότητας έδρασης της γραμμής και εξασφάλισης ενός ελάχιστους πάχους αυτής της έδρασης.

2.3.2. Διαστασιολόγηση της έδρασης (ανάλογα με την αντοχή)

Υπάρχει πίνακας στην fiche UIC 719 R από το οποίο προκύπτει το πάχος e του σκύρου και του υποστρώματος μαζί ανάλογα με την κατηγορία UIC της γραμμής κ.λπ. όπως και το πάχος et του στρώματος διαμόρφωσης (βλ. σχήμα 10).



Σχήμα 10: Διατομή

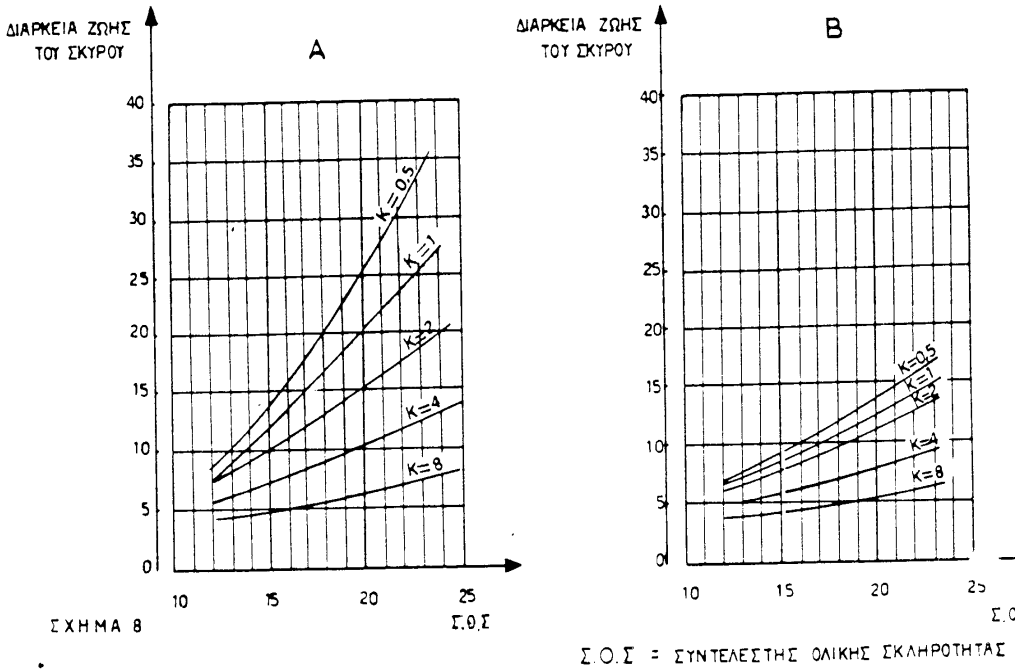
Πίνακας 2

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ (ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ)	**ΤΑΞΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**	**ΑΝΑΓΚΑΙΑ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΕΓΟΜΕΝΗ ΤΑΞΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**	
		ΠΟΙΟΤΗΤΑ	**ΠΑΧΟΣ ef(μ)**
QS1	P1	QS1	-
	P2	έδαφος με χημική επεξεργασία	0,30
	P2	QS2	0,55
	P2	QS2	0,40
	P3	QS3	0,60
QS2	P2	QS2	-
	P3	QS3	0,40
QS3	P3	QS3	-

2.4. Τα επιμέρους στρώματα της έδρασης της γραμμής

2.4.1. *Το σκύρο* πρέπει να προέρχεται από συμπαγή πετρώματα και να έχει κόκκους γωνιώδεις. Πρέπει να έχει αντοχή, να εξασφαλίζει την απορροή, να απορροφά

κραδασμούς και να δημιουργεί τις καλύτερες συνθήκες για το κράτημα της γεωμετρίας της γραμμής μετά το μπουράρισμα. Από αυτή την άποψη τα σκύρα πρέπει να επιτυγχάνουν ταυτόχρονα τις απαιτούμενες αντίστοιχες αντοχές (α) στο πείραμα Deval υγρό, που δείχνει το μέτρο της αντοχής στην τριβή των κόκκων μεταξύ τους, καθώς και στο πείραμα Los Angeles που δείχνει το μέτρο της αντοχής του σκύρου σε κρουστική καταπόνηση (chok). Η γαλλική εμπειρία λέει ότι ο συνδυασμός αυτών των δύο δίνει το μέτρο της ολικής αντοχής του σκύρου και μετράται με το συντελεστή ολικής σκληρότητας (βλ. Παράρτημα 1). Αυτός ο συντελεστής (ολικής σκληρότητας) είναι μια παράμετρος που απεικονίζει τη συμπεριφορά του σκύρου στο χρόνο. Η σχετική ποσότητα της παιπάλης (fines) που σχηματίζεται λόγω κρούσεων και τριβής είναι ανάλογη με τον συντελεστή ολικής σκληρότητας. Ο συντελεστής αυτός δίνει το μέτρο της ζωής του στρωμένου στη γραμμή σκύρου. Αυτό αποδεικνύεται από τα δυο πιο κάτω διαγράμματα (σχήμα 8) που δείχνουν για διάφορους συντελεστές συντήρησης έδρασης (κόστος συντήρησης), το χρόνο ζωής του σκύρου σε σχέση με την τιμή του συντελεστή ολικής σκληρότητας. Σε περίπτωση σκύρου με χαμηλό βαθμό θρυμματισμού (0,03125% το χρόνο) και υψηλό βαθμό θρυματισμού (0,125% το χρόνο) για μια γραμμή με ημερήσιο φορτίο 85.000t (σχήμα 11 Α και Β αντίστοιχα).



ΣΧΗΜΑ 8

Σχήμα 11: Διάρκεια ζωής του σκύρου σε συνάρτηση με το Συντελεστή ολικής σκληρότητας ($DR_{ολικό}$) [Γιαννακός, 1990, 1989]

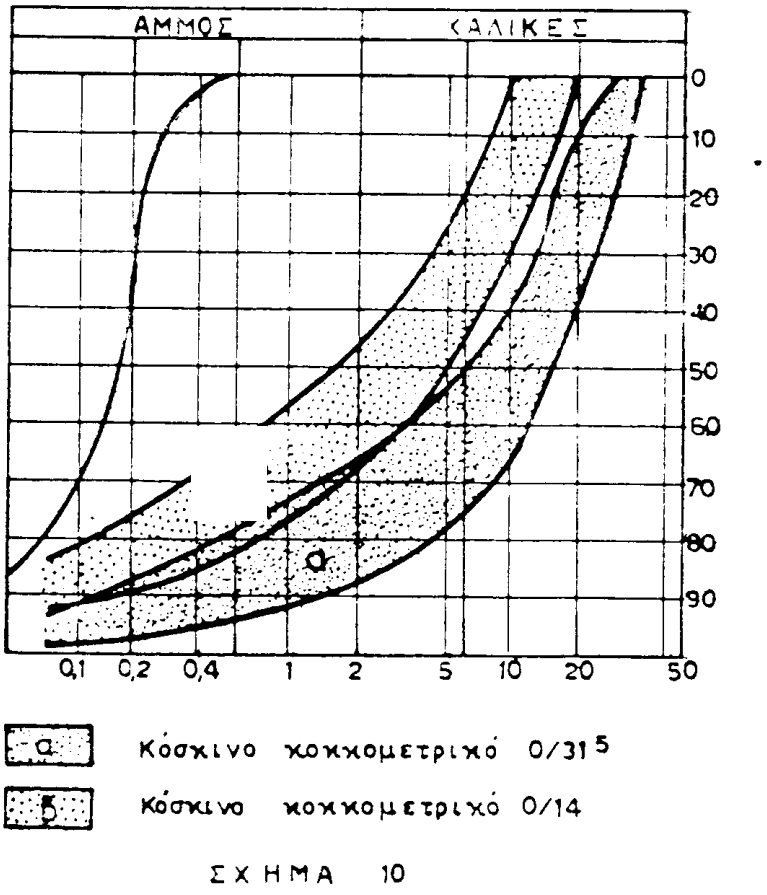
Φαίνεται καθαρά, ότι όσο αυξάνεται ο ρυθμός θρυμματισμού (στην ουσία η ποσότητα της σκόνης μέσα στο σκύρο), ο χρόνος ζωής του σκύρου μειώνεται σημαντικά. Οι Γάλλοι παρατήρησαν ότι το μπουράρισμα παύει πλέον να μπορεί να γίνεται στη γραμμή, όταν η παιπάλη φθάνει σε ποσοστό τα 12,5%. Αυτό το φαινόμενο της ρύπανσης του σκύρου έχει σαν αιτία βασικά τη φθορά του σκύρου και της επιφάνειας έδρασης του στρωτήρα από σκυρόδεμα. Τα μπουραρίσματα με βαρέα μηχανήματα έχουν ελάχιστη συμμετοχή στο φαινόμενο της ρύπανσης του σκύρου. Οι

δοκιμές που έκαναν, έδειξαν ότι 80 μπουραρίσματα προκαλούν λιγότερο από 1% ρύπους (παιπάλη) για σκύρο με συντελεστή ολικής σκληρότητας 16,4.

2.4.2. Τα στρώματα της έδρασης κάτω από το σκύρο

Τα στρώματα κάτω από το σκύρο μπορεί να είναι ένα ή περισσότερα ανάλογα με την τάξη φορτοϊκανότητας της υποδομής.
Η έδραση έχει ως σκοπό να προστατεύει την υποδομή από τη διάτρηση, να εξασφαλίζει την απορροή, να προστατεύει από τον παγετό την υποδομή και να μεταβιβάζει σ' αυτήν τα φορτία.

(α) Αμέσως κάτω από το σκύρο τοποθετείται ένα υλικό αμμοχαλικώδες με κοκκομετρία 0/31 από σκληρά πετρώματα για να προσφέρει μηχανική αντοχή και σταθερότητα στη γραμμή (βλ. Σχήμα 12).



Σχήμα 12: Κοκκομετρική καμπύλη και σύνθεση σκύρου [Γιαννακός 1989, 1999]

(β) Ακολουθεί ένα στρώμα αμμοχαλικώδες λιγότερο σκληρό, με κοκκομετρία 0/14, αποτελούμενο βασικά από φερτά υλικά (όχι θραυστό υλικό) μαζί με ένα μικρό ποσοστό θραυστό υλικό. Αυτό το υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης και σαν στρώμα (α), αμέσως κάτω δηλ. από το σκύρο, για γραμμές χαμηλής κυκλοφορίας (UIC 5-9). Παλαιότερα αντί για τα δύο παραπάνω στρώματα χρησιμοποιούσαν 3, από

τα οποία το τελευταίο στρώμα, ήταν άμμος με κοκκομετρία 0,06/2 (σε mm πάντα) για την προστασία του γαιοϋφάσματος ή της υποδομής από διάτρηση.
Τα αποτελέσματα χρησιμοποίησης αυτού του υλικού (άμμος), δεν ήταν ικανοποιητικά, επειδή δεν ήταν δυνατό να συμπυκνωθεί και στο πέρασμα των οδικών οχημάτων των εργοταξίων διέρρεε και δημιουργούσε κυματοειδή επιφάνεια επιχώματος (αυλακώσεις). Αυτή είναι η αιτία που οι Γάλλοι χρησιμοποιούν τώρα αντί για τα τρία στρώματα δύο, τα παραπάνω (α) και (β) (βλ. και σχήμα 10).
Πρέπει επίσης να δίνεται η κατάλληλη προσοχή στις απαιτούμενες κλίσεις για να μπορεί εύκολα να γίνεται η απορροή των υδάτων. Να σημειωθεί ότι η ποιότητα των υλικών και η διαστασιολόγηση των στρωμάτων που γίνεται για τις καινούριες γραμμές δεν μπορεί να επεκταθεί αυτόματα παρά μόνο με μεγάλη επιφύλαξη για άλλες περιπτώσεις, όπως π.χ. για το υπόλοιπο των στρωμάτων που μένουν μετά τον καθαρισμό παλιάς γραμμής. Απαιτείται μελέτη κατά περίπτωση.

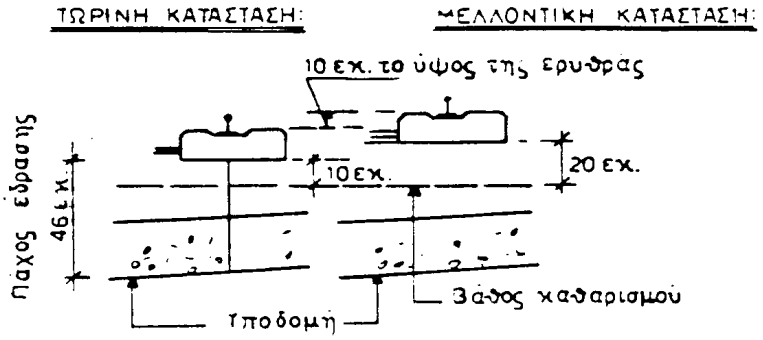
2.5. Διατήρηση του σκύρου σε κατάσταση που να μπορεί να μπουράρεται (υπογομωσιμότητα)

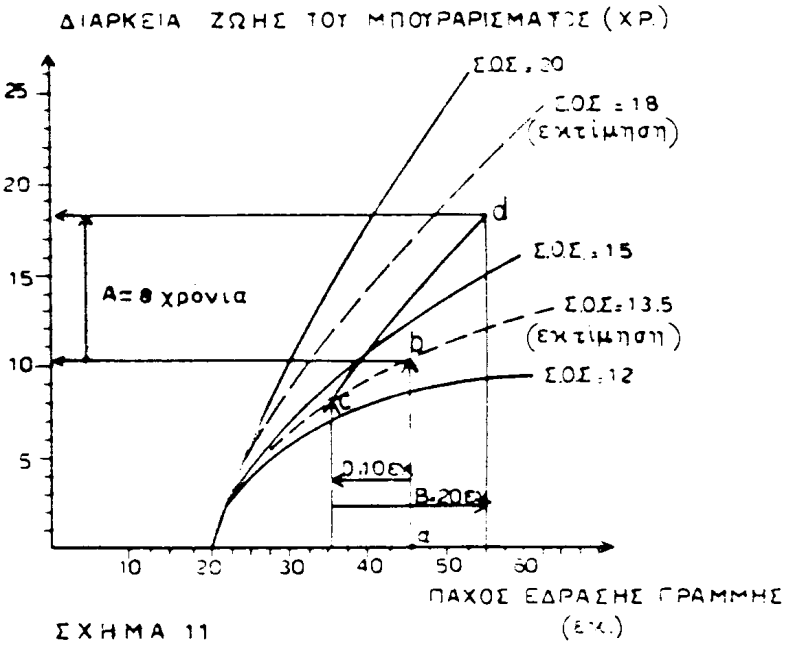
Όταν το ποσοστό των ρύπων (σκόνη) μέσα στο σκύρο φθάνει τα 12,5% το μπουράρισμα δεν μπορεί πλέον να προσφέρει αποτελέσματα για το κράτημα της γραμμής. Είναι λοιπόν ενδεδειγμένο να γίνεται ανύψωση συνοδευόμενη ίσως και με καθαρισμό σκύρου. Η ανύψωση να είναι τουλάχιστον 15cm. Η βελτίωση που προκύπτει από τέτοιες εργασίες φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα (σχήμα 13) που έγινε για γραμμές UIC 1 και 2 με V > 200km/h.

Στο παρακάτω διάγραμμα έστω ότι:

- Το πάχος της έδρασης (σκύρο + υποστρώματα) = 46 cm.
- Το υπάρχον σκύρο έχει Σ.Ο.Σ. 13,5 (Συντελεστής Ολικής Σκληρότητας).
- Θέλουμε να κάνουμε καθαρισμό 15cm κάτω από το πέλμα του μπλοκέτου.
- Θα ανυψώσουμε την τελική στάθμη της γραμμής κατά 10cm, που είναι το πάχος του πρόσθετου στρώματος σκύρου.
- Το καινούριο σκύρο έχει Σ.Ο.Σ. 18 αντί 13,5.

Στο διάγραμμα που περιέχει στοιχεία μόνο για σκύρα με Σ.Ο.Σ. 12, 15, και 20 παρεμβάλλουμε διακεκομμένες γραμμές, κατ' εκτίμηση, με τα αντίστοιχα στοιχεία για σκύρο με Σ.Ο.Σ. 13,5 και 18.
Στη διακεκομμένη γραμμή που αντιστοιχεί σε 13,5 για πάχος 46 cm σημείο «α», αντιστοιχεί χρόνος ζωής του σκύρου περίπου 10-10,5χρ.





Σχήμα 13: Τυπική διατομή σκύρου με διμερείς στρωτήρες και διάγραμμα διάρκειας ζωής εργασιών υπογόμωσης γραμμής σε σχέση με τα χρόνια και το συντελεστή ολικής σκληρότητας ($DR_{ολικό}$) [Γιαννακός, 1989,1990]

Πάνω στο ίδιο διάγραμμα (για Σ.Ο.Σ. 13,5), μεταθέτουμε την κατακόρυφη α, β κατά D = 10cm προς αριστερά και βρίσκουμε το σημείο «c». Από το σημείο «c» μεταφερόμαστε προς τα δεξιά με μια κατακόρυφη σε απόσταση B = 20cm, που συμβολίζει την αύξηση του πάχους της καινούριας ποιότητας σκύρου. Από το σημείο «c» σχηματίζουμε μια νέα γραμμής παράλληλη με τη διακεκομμένη γραμμή για Σ.Ο.Σ. = 18. Το σημείο τομής της με την κατακόρυφη είναι το σημείο «d» που σύμφωνα, με το διάγραμμα, αντιστοιχεί περίπου σε 18 χρόνια ζωής του μπουραρίσματος. Η διαφορά «Α» των δύο καταστάσεων αντιστοιχεί σε 8 χρόνια αύξηση χρόνου ζωής. Αυτή είναι και η συμβολή της αύξησης του πάχους κατά 20cm με καινούριο σκύρο που έχει Σ.Ο.Σ. 18 αντί για Σ.Ο.Σ. 13,5.

Ο ρόλος του γαιοϋφάσματος προσμετράται

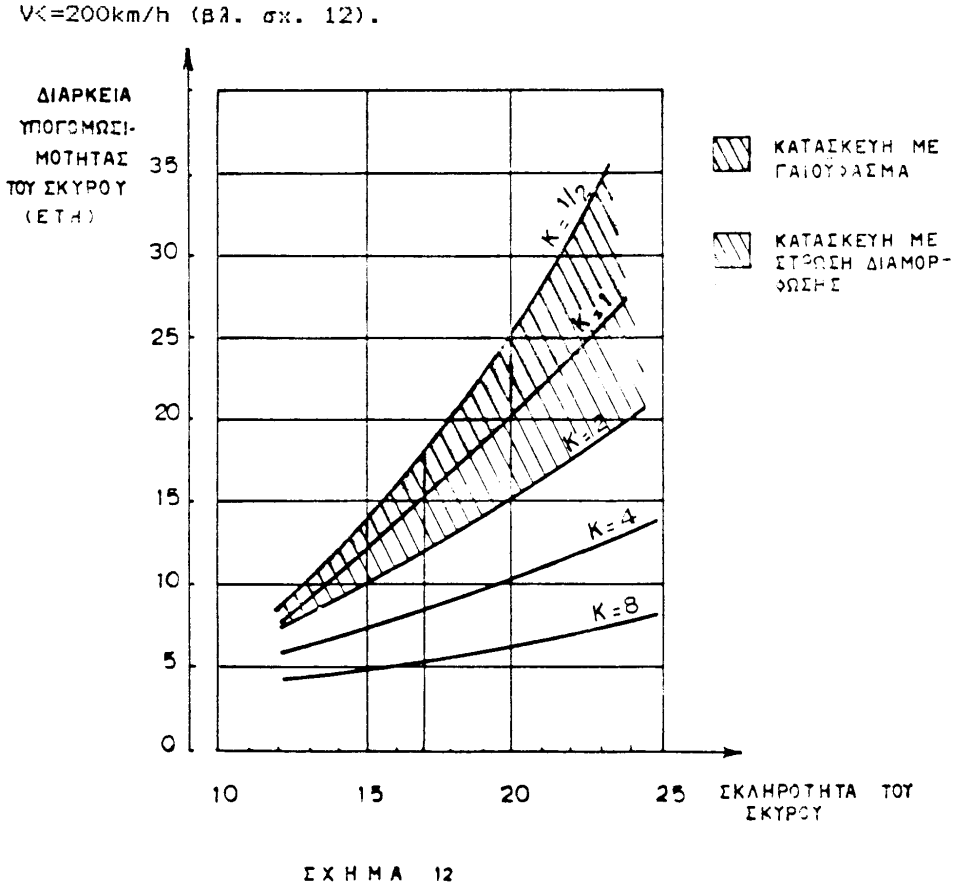
(α) Κατά την τοποθέτηση: προστασία της υποδομής (πλατφόρμας) από τις αυλακώσεις των οδικών οχημάτων του εργοταξίου.

(β) - λειτουργικός:

- σταματάει τα φαινόμενα ανάβασης ψιλού υλικού της υποδομής
- βοηθά την απορροή των υδάτων προς τα πλάγια, με ανάλογες κλίσεις
- αυξάνει τη μηχανική αντοχή του συστήματος. Παίρνει τις δυνάμεις εφελκυσμού.

Υπάρχουν συγκεκριμένα στοιχεία και μεθοδολογία επιλογής τύπου γαιοϋφάσματος, τα οποία είναι στη διάθεση των ενδιαφερομένων.

Σημείωση: *Η στρατηγική των SNCF είναι να διαστασιολογήσουν την έδραση της γραμμής με τέτοιο τρόπο ώστε, με την πάροδο του χρόνου, ο αριθμός των επεμβάσεων συντήρησης, να είναι ελάχιστος (το κόστος συντήρησης δηλαδή).*



ΣΧΗΜΑ 12

Σχήμα 14: Διάρκεια υπογομωσιμότητας (ζωής εργασιών υπογόμωσης) σκύρου σε συνάρτηση με τη σκληρότητα του σκύρου και τη χρήση ή μη γαιοϋφάσματος [Γιαννακός 1989, 1999].

Από αυτή την άποψη στα στρώματα της έδρασης κάτω από το σκύρο (περιλαμβάνεται και το γαιούφασμα), δεν προβλέπεται *καμία μετέπειτα επέμβαση* και πρέπει να είναι με τέτοιο τρόπο διαστασιολογημένα ώστε να μπορούν να λειτουργούν

ικανοποιητικά για πολύ μεγάλο διάστημα. Αν συγκρίνουμε το χρόνο ζωής του μπουραρίσματος μιας διατομής με γαιούφασμα σε σχέση με διατομή χωρίς γαιοϋφασμα αλλά με στρώση διαμόρφωσης θα δούμε ότι για την πρώτη περίπτωση είναι μεγαλύτερος κατά 3 χρόνια (από 12 σε 15 για μια γραμμής με κυκλοφορία 85.000t/ημ., με σκύρο Σ.Ο.Σ. = 17 και V = 200km/h (βλ. σχήμα 14).

Επειδή οι SNCF επιβάλλουν Σ.Ο.Σ. = 17 για 85.0007/ημ και V < = 200km/h θα έχουμε:

- 18 χρ. ζωής για καλές συνθήκες (K = 0,5)
- 15 χρ. ζωής για κακές κλιματολογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες αφού με το γαιούφασμα εξασφαλίζεται: K = 1.
- 12 χρ. ζωής με τις ίδιες κακές συνθήκες αφού με αντικατάσταση του πάνω μέρους (στρώση διαμόρφωσης) εξασφαλίζεται: K = 2.

Οι εδράσεις των γραμμών των γραμμών των οποίων τα γενικά σχήματα υπάρχουν στο σχήμα 13 χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

(α) Κλασικές εδράσεις που έχουν το μεγαλύτερο πεδίο χρησιμοποίησης. Κατά την στρώση τους λαμβάνονται ειδικά μέτρα μόνο σε περιπτώσεις με άσχημες κλιματολογικές ή υδρογεωλογικές συνθήκες.
(β) Με αντικατάσταση του πάνω μέρους του επιχώματος (το πρώτο στρώμα κάτω από το γαιούφασμα) με στρώμα εδάφους καλύτερης (βελτιωμένης) ποιότητας ή και με χημική επεξεργασία του (στρώση διαμόρφωσης).
(γ) Οταν μεταξύ του γαιοϋφάσματος και του σκύρου (δηλαδή μέσα στο σώμα της έδρασης) τοποθετείται και γαιομεμβράνη, που σκοπό έχει την καλύτερη προστασία της υποδομής από το νερό της βροχής.

2.6. Γαιοϋφάσματα

Για τη διαστασιολόγησή τους λαμβάνουμε υπόψη το ημερήσιο φορτίο που μπορεί να είναι: - έντονο - μέτριο – χαμηλό.
Τα γαιοϋφασμα με βραχύ χρόνο ζωής, τοποθετούνται στις καινούργιες γραμμές πάνω από την υποδομή, ενώ στις παλιές γραμμές, στο βάθος που φθάνει ο καθαρισμός. Τα γαιοϋφάσματα με μέτριο και μεγάλο χρόνο ζωής, τοποθετούνται πάντα μεταξύ της έδρασης και της υποδομής. Η τοποθέτηση του γαιοϋφάσματος αντιστοιχεί οικονομικά στη μείωση του πάχους των στρωμάτων που σχηματίζουν την έδραση της γραμμής χωρίς να επιφέρει αύξηση του κόστους συντήρησης (ή του «K»).

2.7. Αλλες παρατηρήσεις σχετικά με τον συντελεστή συντήρησης της έδρασης.

(α) *Για τις κόκκινες γραμμές* κανονικά πρέπει για την κατασκευή τέτοιων γραμμών να εξασφαλίζεται K < 1. Κατά την ανακαίνιση τέτοιας γραμμής πρέπει να προσέξουμε ώστε η αλυσίδα της μηχανής καθαρισμού να μην εισχωρήσει σε βάθος πέρα από το βάθος του σκύρου. Η αλυσίδα να δίνει σωστά την κλίση. Η συντήρηση να γίνεται με κυκλικές υπογομώσεις. Χρειάζεται επίσης προσοχή στα συστήματα αποστράγγισης. Το πρόσθετο στρώμα σκύρου πρέπει να εξασφαλίζει για την ανακαινισμένη γραμμή

Κ=1/3 περίπου. Αν σε νεοκατασκευασμένη γραμμή δεν έχει εξασφαλιστεί Κ < 1 αλλά 1 < κ < 2,5, η γραμμή θεωρείται ελαφρώς υποδιαστασιολογημένη. Η συντήρηση τέτοιας γραμμής χρειάζεται να γίνει με συχνές ανυψώσεις γραμμής για να διατηρείται η τιμή του Κ γύρω στο 1 και να είναι δυνατό να εξασφαλίζεται ικανοποιητική διάρκεια ζωής στο μπουράρισμα. Να δίνεται προσοχή στην καλή λειτουργία της έδρασης και να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα μόλις εμφανιστεί ανάβαση λάσπης. Στην ανακαίνιση τέτοιας γραμμής πρέπει να εξασφαλίζεται Κ < 1. Θα ήταν σωστό να βελτιώνεται η ικανότητα της υποδομής ώστε να εξασφαλίζεται Κ=1/3 περίπου. Όταν η έδραση για μια νεοκατασκευασμένη γραμμή εξασφαλίζει 2,5 < Κ < 5 λέγεται ότι η θεμελίωση είναι υποδιαστασιολογημένη. Αναμένονται συχνές επεμβάσεις στη γραμμή και φαινόμενα ανάβασης λάσπης. Πρέπει λοιπόν να γίνονται συχνά ανυψώσεις για μείωση της τιμής του Κ. Αν το υλικό της θεμελίωσης δεν είναι καλό θα πρέπει να γίνει εξυγίανση (επέμβαση στην έδραση της γραμμής). Η ανακαίνιση μιας τέτοιας γραμμής πρέπει να εξασφαλίζει Κ < 1. Αν αυτό δεν είναι δυνατό τότε να γίνεται εξυγίανση της έδρασης. Για γραμμές με Κ > 5 λέμε ότι είναι κακής ποιότητας ή δεν έχουν έδραση και έχουν κακή υδραυλική λειτουργία. Αν διαπιστωθεί ύπαρξη τέτοιων γραμμών, πρέπει να γίνει εξυγίανση.

(β) *Για μπλε γραμμές*, ισχύουν όλα τα παραπάνω.

2.8. Εργασίες ολικής εξυγίανσης της έδρασης

Γίνονται όταν διαπιστώνεται ότι με όλα τα μέτρα συντήρησης που πάρθηκαν δεν εξασφαλίστηκε ανεκτή τιμή του «Κ». Για να εκπονηθεί μελέτη εξυγίανσης πρέπει να βρεθούν όλα τα αναγκαία στοιχεία για:

- τον υπάρχοντα συντελεστή έδρασης «Κ»
- το ημερήσιο φορτίο
- τα στοιχεία της επιδομής
- τοπικές παρατηρήσεις: ανάβαση λάσπης, λειτουργία απορροής υδάτων, συμπεριφορά στον παγετό
- επίσης πρέπει να γίνουν δειγματοληψίες για να διαπιστωθεί η ποιότητα του εδάφους της υποδομής QS και της έδρασης
- συλλογή υδρογεωλογικών στοιχείων: βάθος των υπόγειων υδάτων, τρόπος και κατεύθυνση κυκλοφορίας των υπογείων υδάτων
- να συνταχθούν μηκοτομή με κλίσεις εδάφους και τοπογραφικοί χάρτες

Η εξυγίανση μπορεί να γίνει με μια απλή ενίσχυση της έδρασης κατά την ανακαίνιση της γραμμής ή με πλήρη αντικατάστασή της, σε περιορισμένο μήκος.

(α) *Ενίσχυση της έδρασης κατά την ανακαίνιση της γραμμής*

Γίνεται όταν για την υποδομή έχει εξασφαλιστεί η Π3 τάξη φορτοϊκανότητας (καλή υποδομή). Σε τέτοιες περιπτώσεις αρκεί:

- να δοθούν με τη μηχανή καθαρισμού οι απαιτούμενες κλίσεις
- να τοποθετηθεί αμμοχάλικο πάχους 15cm με τις απαιτούμενες κλίσεις
- να τοποθετηθεί το απαιτούμενο πάχος σκύρου και να ανυψωθεί η γραμμή ώστε να μειωθεί το βάθος της αλυσίδας καθαρισμού
- όπου είναι ανάγκη να τοποθετηθεί σύστημα αποστράγγισης.

(β) *Αντικατάσταση της έδρασης (τοπική)*

Παίρνουμε αυτό το μέτρο όταν η υποδομή έχει μεγάλες καθιζήσεις και η αντοχή της έδρασης δεν είναι ικανοποιητική. Πρέπει να τοποθετηθεί ένα στρώμα αμμοχαλικώδες αρκετού πάχους ώστε (α) να κάνει κατανομή τάσεων και (β) η κοκκομετρία του να είναι συμβατή με την υποδομή. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι γι' αυτό:

- Η κλασική μέθοδος όπως στις καινούριες γραμμές, όταν η ανύψωση που θα πάρει τελικά η γραμμή είναι επιτρεπτή.
- Αδιαβροχοποίηση («Impermebilisation») με πλαστική μεμβράνη ή ασφαλτική. Χρειάζεται μεγάλη προσοχή να μην υπάρχουν υπόγεια νερά. Να γίνεται σε μεγάλα επιχώματα. Με τέτοια λύση μια υποδομή ποιότητας P1 γίνεται P2.
- Χρησιμοποίηση υλικών με χημική επεξεργασία, στο πάνω μέρος της υποδομής (στρώση διαμόρφωσης). Μεταξύ αυτής και του σκύρου θα πρέπει να τοποθετηθεί αμμοχάλικο μη επεξεργασμένο χημικά και να εξασφαλιστεί αρκετό πάχος στην έδραση.
- Ενίσχυση των οργανικών υποδομών. Η κλασική λύση είναι η ανύψωση της γραμμής. Οι εργασίες να επιφέρουν «συμμετρικά» αποτελέσματα ως προς τον άξονα της γραμμής, για να μην δημιουργούνται προβλήματα στρεβλότητας.

2.9. Συμπεράσματα

1. *Σωστή μελέτη των εργασιών συντήρησης*, σημαίνει πρώτα από όλα να τηρούνται στατιστικά στοιχεία: (α) επεμβάσεων στη γραμμή (β) φαινομένων ανάβασης και (γ) απορροής των υδάτων.
Η τιμή του «Κ» μας βοηθάει:

- να προσανατολίζουμε σωστά τις έρευνες και να διαλέγουμε σωστές μεθόδους επέμβασης
- να προσδιορίζουμε με ακρίβεια τον γεωγραφικό χώρο των επεμβάσεων.

Όταν πρόκειται να γίνει ανακαίνιση γραμμής στην χρονική στιγμή Α τότε:

(α) Στην χρονική στιγμή Α-3: Μελέτη της ζώνης που θα ανακαινισθεί για να προσδιορισθούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά της ανακαίνισης (υλικά, βάθος καθαρισμού, πάχος σκύρου) καθώς και τα κομμάτια που απαιτείται εξυγίανση.
(β) Στη χρονική στιγμή Α-2: να μελετηθούν σε βάθος τα κομμάτια που θα γίνει εξυγίανση έδρασης και να εξερευνηθούν οι οικονομικοί πόροι των εργασιών αυτών.

(γ) Στη χρονική στιγμή Α - 1 : γίνονται τα έργα των τοπικών εξυγιάνσεων της έδρασης.
(δ) Χρονική στιγμή Α : Ανακαίνιση γραμμής.

Τα πολλά και σύνθετα δεδομένα που πρέπει να ληφθούν υπόψη καθώς και η ανάγκη για τεχνοοικονομική μελέτη ώστε να εξευρεθεί η βέλτιστη λύση μέσω χρήσης Η/Υ

Το πρόγραμμα του Η/Υ :

- αναλύει όλα τα δεδομένα
- υπολογίζει (προτείνει) μηκοτομές λαμβάνοντας υπόψη :

  (α) τις επιτρεπόμενες τάσεις και
  (β) τα κριτήρια βελτιστοποίησης

- προτείνει τις ανάλογες λύσεις διατομών
- προσφέρει όλα τα αναγκαία στοιχεία για τη μελέτη του καθαρισμού έρματος.

Ολες οι προτεινόμενες λύσεις εμφανίζονται σε οθόνη, τόσο για τη μηκοτομή όσο και για τις διατομές. Υπάρχει δυνατότητα σχεδίασης (σε χαρτί) της λύσης. Ολες οι λύσεις που μελετώνται μπορούν να αποθηκευθούν στη μνήμη.
Η μηχανή έχει την δυνατότητα σχεδίασης της τελικής μελέτης.

3.- Ο Προγραμματισμος των Εργασιων Συντηρησης

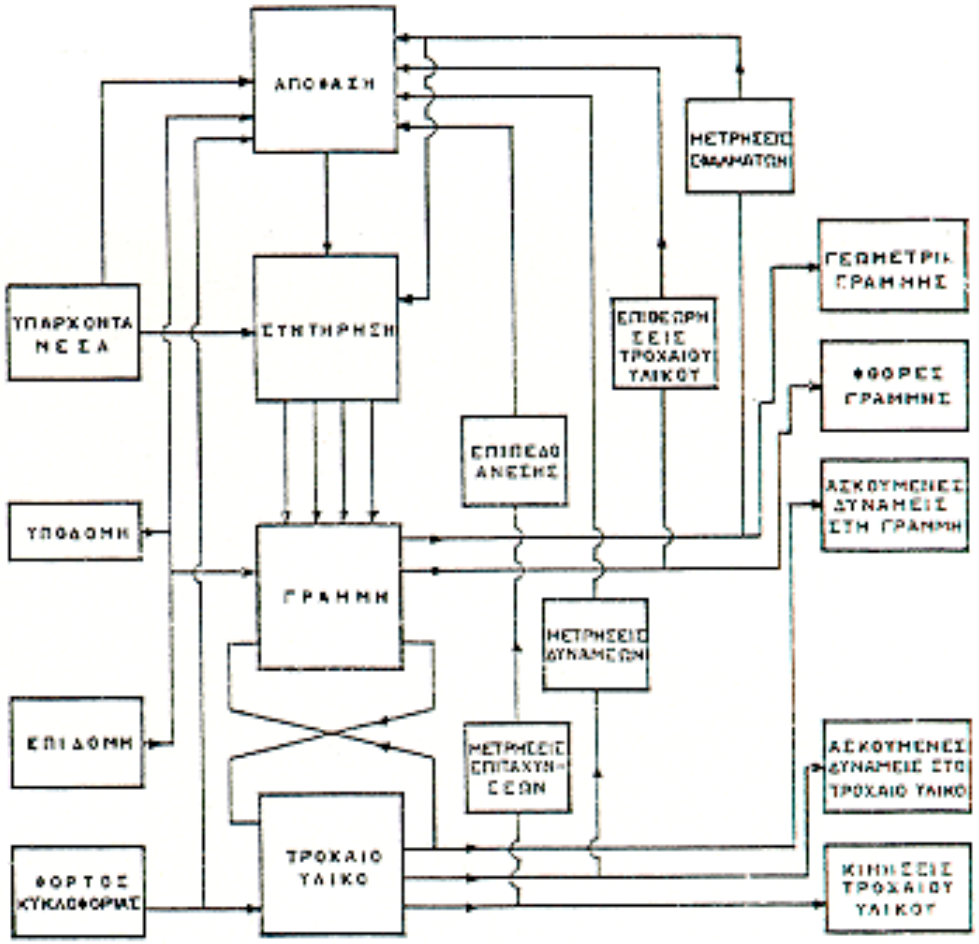
3.1. Γενικά

Ο σιδηρόδρομος παρουσιάζει την ιδιομορφία να αποτελείται από επιμέρους υποσυστήματα, των οποίων η αλληλεπίδραση ούτε απλή και προφανής είναι αλλά και πολύ δύσκολο να προβλεφθεί. Το Σχήμα 15 δίνει ένα οργανόγραμμα του όλου πλέγματος των εργασιών συντήρησης και των παραμέτρων που υπεισέρχονται. Στο οργανόγραμμα αυτό διακρίνουμε δύο διαδικασίες εξέλιξης, που η μια αντιστρατεύεται την άλλη:

- τη διαδικασία της κυκλοφορίας, η οποία μέσω της αλληλεπίδρασης γραμμής-τροχαίου υλικού τείνει προς αύξηση των σφαλμάτων γραμμής και γενικότερα αποσταθεροποίηση του όλου συστήματος,
- τη διαδικασία της συντήρησης, μέσω της οποίας γίνεται προσπάθεια να μειωθούν τα σφάλματα και να επανέλθει η γραμμή στην προηγούμενη καλή κατάσταση.

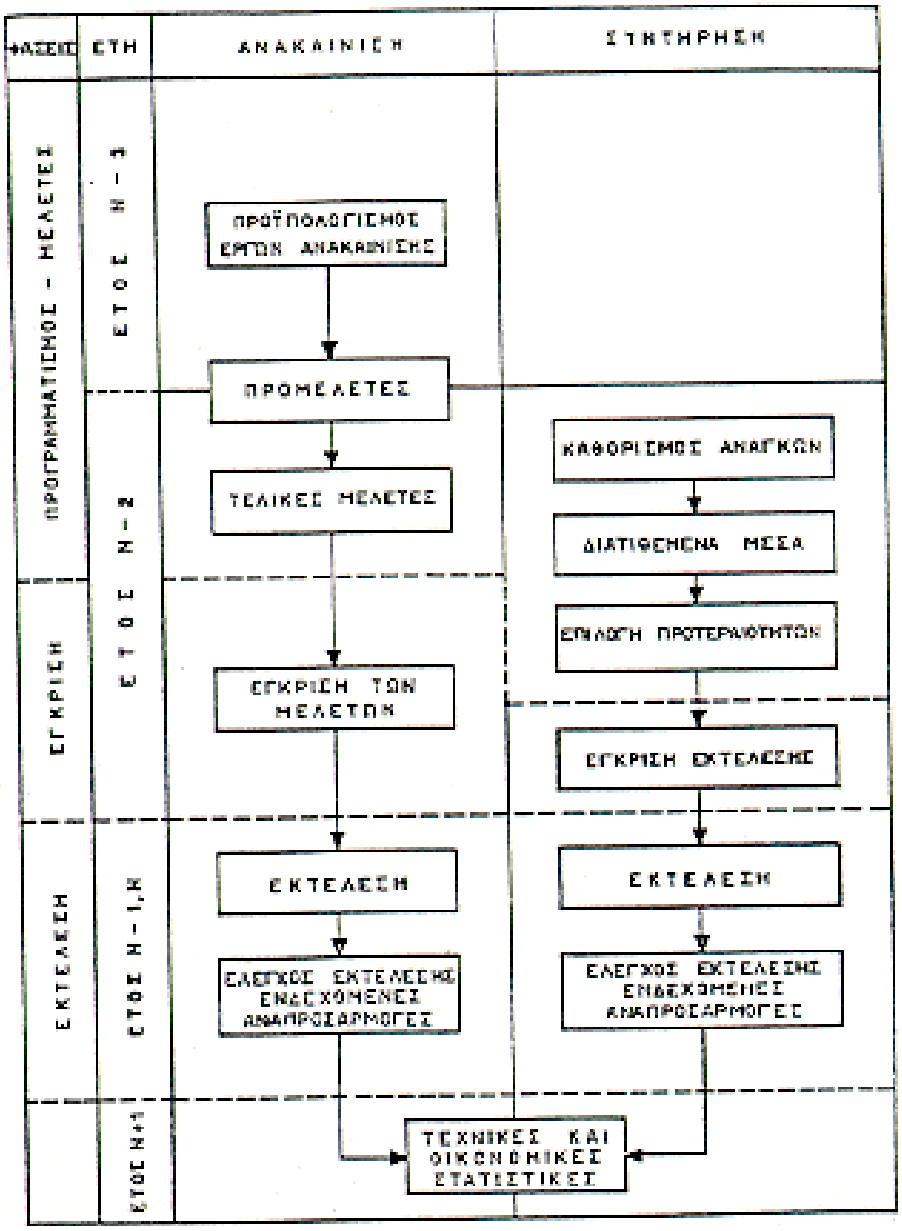
Οι δύο προηγούμενες διαδικασίες πρέπει να βρίσκονται σε ισορροπία, η αναζήτηση της οποίας αποτελεί και το βασικό σκοπό των εργασιών συντήρησης.
Η επίτευξη της ισορροπίας αυτής μπορεί να προκύψει μόνο με ένα έγκαιρο και ορθολογικό προγραμματισμό, ο οποίος:

- θα βασίζεται σε στοιχεία ταξινομημένα συστηματικά από εργασίες συντήρησης κατά το παρελθόν,
- θα εξασφαλίζει βέλτιστη χρησιμοποίηση του μηχανικού εξοπλισμού,
- θα ιεραρχεί σωστά τις προτεραιότητες σε επίπεδο δικτύου, περιφέρειας και τμήματος.

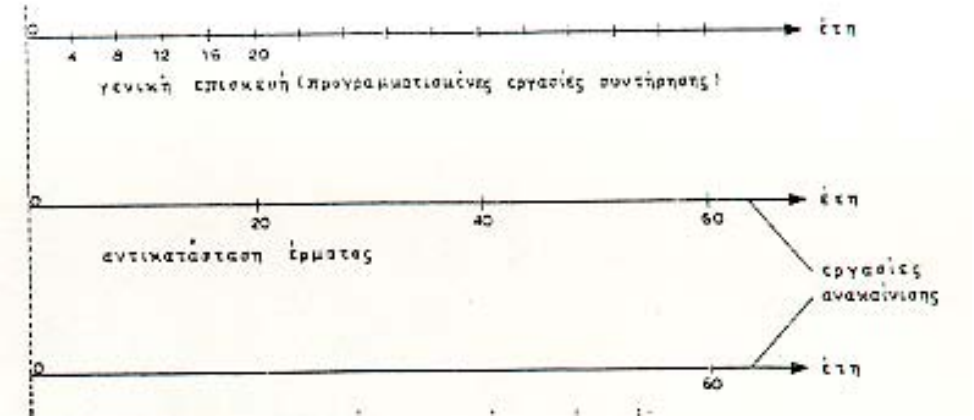


Σχήμα 15: Γενικό οργανόγραμμα της αλληλεπίδρασης των διαφόρων υποσυστημάτων και παραμέτρων που καθορίζουν τις εργασίες συντήρησης.

Δίνουμε στο Σχήμα 16 παρακάτω ένα οργανόγραμμα των διαδοχικών φάσεων των εργασιών συντήρησης και ανακαίνισης της γραμμής. Η σύνταξη οργανογραμμάτων αυτής της μορφής είναι απαραίτητη τόσο σε επίπεδο επιτελικής διεύθυνσης όσο και κατά τη φάση εκτέλεσης των εργασιών συντήρησης, για να γίνεται η καλύτερη αξιοποίηση αφενός του έμψυχου υλικού και αφετέρου του μηχανικού εξοπλισμού.
Τέλος για τη γραμμή Αθήνας-Θεσσαλονίκης (Ομάδας UIC 4) δίνουμε ένα ενδεικτικό χρονοδιάγραμμα των εργασιών συντήρησης και ανακαίνισης (Σχήμα 17 παρακάτω).
Το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών γενικών επισκευών είναι 6 χρόνια για τις γραμμές Θεσσαλονίκης-Αλεξανδρούπολης, Αθήνας - Πάτρας, Κορίνθου - Μύλων, Θεσσαλονίκης - Εδεσσας και 8 χρόνια για τις υπόλοιπες γραμμές του ΟΣΕ.



Σχήμα 16: Οργανόγραμμα διαδοχικών φάσεων για τον προγραμματισμό και την εκτέλεση των εργασιών ανακαίνισης και συντήρησης γραμμής.



Σχήμα 17: Ενδεικτικό χρονοδιάγραμμα εργασιών ανακαίνισης και συντήρησης για τον άξονα Αθήνας-Θεσσαλονίκης (Ομάδα UIC 4).

15.2. Περιγραφή Ημερολογίου Προγράμματος Συντήρησης Γραμμής (Η-Π).

Ολα τα σιδηροδρομικά δίκτυα, όπως είναι αυτονόητο, για να διατηρούν τη γραμμής τους, ως προς την ασφαλή κυκλοφορία και την προσφερόμενη ποιότητα, σε καλή κατάσταση, ανάλογη της κατηγορίας της γραμμής, εφαρμόζουν κάποιο σύστημα - πρόγραμμα συντήρησης αυτής.
Ο ΟΣΕ εφαρμόζει το γαλλικό σύστημα συντήρησης, το οποίο μελετήθηκε, προσαρμόστηκε στα ελληνικά δεδομένα και προτάθηκε από την γαλλική εταιρεία Sofrerail. Το πρόγραμμα αυτό, το οποίο πρέπει να εκτελείται κάθε χρόνο, ονομάζεται «Ημερολόγιο Πρόγραμμα (Η-Π) και καθορίζει ημερολογιακά (διότι υπάρχουν εργασίες που δεν πρέπει να γίνονται στις θερμές περιόδους του έτους δηλαδή από 1/5 έως 15/9) τις εργασίες συντήρησης που θα πρέπει να γίνουν στη διάρκεια του έτους στα διάφορα τμήματα γραμμής.
Οι διάφορες εργασίες συντήρησης που πρέπει να γίνουν, κατά περίπτωση, εμφαίνονται στο συνημμένο «ΚΑΤΑΛΟΓΟ ΑΡΘΡΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ».
Οι προετοιμασίες για την σύνταξη Η-Π του επόμενου έτους εμφαίνονται στο συνημμένο Πίνακα «Ενέργειες για την προετοιμασία του Η-Π» και καταλήγουν:
Στη συμπλήρωση από τα τμήματα γραμμής, για κάθε Διαμέρισμα του συνημμένου «ΤΕΤΡΑΔΙΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ (Η-Π)». Στο τετράδιο αυτό αναγράφονται αναλυτικά όλες οι απαιτούμενες εργασίες συντήρησης της γραμμής.
Το «ΤΕΤΡΑΔΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ» του Η-Π διευκολύνει στην απεικόνιση των προγραμματισμένων εργασιών συντήρησης του επόμενου έτους και βοηθά κατά την εφαρμογή, στον έλεγχο των προβλέψεων και αποδόσεων κ.λπ. Οπως αναφέρονται στο συνημμένο τεύχος του «ΤΕΤΡΑΔΙΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ» Η-Π. Η στήλη των αποδόσεων για τις προς εκτέλεση εργασίες στο «ΤΕΤΡΑΔΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ» έχουν υπολογισθεί ανάλογα με τον τρόπο εκτέλεσή τους και τον τύπο της γραμμής (μετρική - κανονική) και εμφανίζονται για κάθε εργασία στον συνημμένο πίνακα «ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΡΘΡΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ - ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ - ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ». Στον πίνακα αυτόν υπάρχει πλήρης περιγραφή κάθε εργασίας (άρθρο) και ανάλυση αυτής καθώς και διάφορα απαραίτητα στοιχεία για την διεκπεραίωση κάθε εργασίας, αρχίζοντας

από το Αρθρο 1 (Εκπαίδευση) και τελειώνοντας στο Αρθρο 82^S (Διάθεση εργατών σε αλλότρια καθήκοντα).
Το περιεχόμενο των προγραμματισμένων εργασιών κατανέμεται κατά μήνα στον συνημμένο επιτοίχιο πίνακα «ΗΜΕΡΟΛΟΓΙΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΕΩΣ ΕΤΟΥΣ.....» και έτσι είναι γνωστές οι εργασίες που θα πρέπει να γίνουν στο «Χ» συγκεκριμένο μήνα του επόμενου έτους.
Όλα αυτά τα στοιχεία καθώς και τα αντίστοιχα του προηγούμενου έτους (ώστε να διαπιστωθεί το ποσοστό υλοποίησης του Η-Π προηγούμενου έτους) ελέγχονται, επί τόπου των Τμημάτων Γραμμής εντός του μηνός Ιανουαρίου από τους Αρχιμηχανικούς Διεύθυνσης Γραμμής/Υπηρεσία Γραμμής και Υπηρεσίες Γραμμής των Περιφερειών και εγκρίνονται ανάλογα με τη δύναμη σε προσωπικό συντήρησης γραμμής οι αντίστοιχες εργασίες που θα πρέπει να πραγματοποιηθούν κατά το τρέχον έτος.
Σημειώνεται ότι κάθε τρίμηνο συντάσσονται ισολογισμοί ώστε να διορθωθούν ενδεχόμενες υπερτιμήσεις ή υποτιμήσεις κατά τη σύνταξη του Η-Π.
Από τη μελέτη του εν λόγω προγράμματος και αφού ελήφθησαν υπόψη οι εργασίες που πρέπει να περιλαμβάνει ένα πρόγραμμα συντήρησης της γραμμής, σε αποδόσεις για κάθε είδους εργασία και για κάθε δυνατό τρόπο εκτέλεσης αυτής καθώς και η χρήση φορητών και βαρέων μηχανημάτων στη συντήρηση της γραμμής, προέκυψε μείωση του προσωπικού συντήρησης της γραμμής κατά 40% περίπου καθώς και η ανάγκη διάταξης αυτού σε ομάδες εργασίας.

Ενέργειες προς εκτέλεση για την προετοιμασία του Ημερολογίου Προγράμματος

Οι εξής	***Εκτελούν τις κάτωθι εργασίες***	***μέχρι την***
Τα Τμήματα	- Τελειώνουν την διερεύνηση προς προσδιορισμό του αναγκαίου υλικού γραμμής για τη συντήρηση των γραμμών κατά το επόμενο έτος.	20/8
Οι Υ.Γ των Περιφερειών	- Βεβαιώνονται ότι αιτιολογούνται σωστά τα αιτηθέντα υπό των τμημάτων υλικά και ότι μπορούν να διατεθούν στα τμήματα, λαμβάνοντας υπόψη: • τα αποθέματα • άλλες ανάγκες πλην της συντήρησης (π.χ ανακαινίσεις, τις παραγγελίες υπό εκτέλεση κ.λπ) - Ελέγχουν τις πιθανές ημερομηνίες παραδόσεως του υπό παραγγελία υλικού και ειδοποιούν τα τμήματα, για να μπορούν εγκαίρως να προβλέψουν τις διάφορες φάσεις των εργασιών συντήρησης	1/10 1/11
Η Υ.Γ της Περιφερείας Πελ/σου	- Εξακριβώνει την καλή κατάσταση και έχει έτοιμη για λειτουργία τη δραιζίνα καταγραφής σφαλμάτων, της μετρικής γραμμής. - Καταρτίζει, από συμφώνου με τις αρμόδιες ενδιαφερόμενες υπηρεσίες, το πρόγραμμα κυκλοφορίας ώστε η καταγραφή να έχει τελειώσει την..... - Επιβλέπει την εφαρμογή του προγράμματος κατά την εκτέλεση της καταγραφής η οποία πρέπει να έχει τελειώσει την..... - Προβλέπει, από συμφώνου με την ΔΠΑ, την κυκλοφορία της δραιζίνας καταγραφής σφαλμάτων της μετρικής γραμμής, στο Βόλο, ώστε αυτή να έχει τελειώσει την καταγραφή της γραμμής Βόλου - Καλαμπάκας σύμφωνα με το πρόγραμμα πορείας προ της.....	10/9 25/10 25/10 15/11
Η Υ.Γ της Περιφερείας Αθηνών	- Συνεννοείται με την ΔΠΠ για την αποστολή της δραιζίνας καταγραφής σφαλμάτων της μετρικής γραμμής στο Βόλο αμέσως μετά την ..... - Καταρτίζει το πρόγραμμα κυκλοφορίας στη γραμμή Βόλου - Καλαμπάκας από συμφώνου με τις αρμόδιες υπηρεσίες για την ..... - Επιβλέπει την εφαρμογή του προγράμματος καταγραφής σφαλμάτων, ώστε η καταγραφή αυτή να έχει τελειώσει την..... - Εξακριβώνει την καλή κατάσταση και έχει έτοιμη για λειτουργία τη δραιζίνα καταγραφής σφαλμάτων της κανονικής γραμμής. - Καταρτίζει από συμφώνου με τις ενδιαφερόμενες υπηρεσίες το πρόγραμμα κυκλοφορίας, (πρέπει να περιορισθεί κατ' αρχήν στην καταγραφή πρώτα των περιοχών που δεν έχουν ληφθεί διαγράμματα από το όχημα καταγραφής) ώστε οι εργασίες καταγραφής να έχουν τελειώσει την.....	25/10 25/10 15/11 15/9 15/10

Οι εξής	**Εκτελούν τις κάτωθι εργασίες**	**μέχρι την**
Η Υ.Γ της Περιφερείας Αθηνών	- Λαμβάνει υπόψη την κυκλοφορία του οχήματος καταγραφής σφαλμάτων για τον καταρτισμό του προγράμματος. - Επιβλέπει την εφαρμογή του προγράμματος καταγραφής σφαλμάτων κανονικής γραμμής για την ..... - Αποστέλει το όχημα στη Θες/νίκη	 15-10 20-10
Η Υ.Γ της Περιφερείας Θεσ/νίκης	- Συνεννοείται με την Περιφέρεια Αθηνών για την υποδοχή του οχήματος καταγραφής σφαλμάτων. - Καταρτίζει από συμφώνου με τις άλλες υπηρεσίες, το πρόγραμμα κυκλοφορίας, ώστε οι εργασίες καταγραφής σφαλμάτων να έχουν τελειώσει την..... - Λαμβάνει υπόψη, όπως και η ΔΠΑ, την κυκλοφορία του οχήματος καταγραφής σφαλμάτων για τον καταρτισμό του προγράμματος..... - Επιβλέπει την εφαρμογή του προγράμματος καταγραφής σφαλμάτων ώστε η καταγραφή να έχει τελειώσει την.....	 20-10 15-11 15-11
Οι Υ.Γ των Περιφερειών	- Λαμβάνουν μέτρα που επιβάλλονται μετά την κυκλοφορία των οχημάτων καταγραφής σφαλμάτων (άμεση διόρθωση των επικίνδυνων σημείων, ή επιβολή βραδυποριών εφόσον η αποκατάσταση είναι πιθανόν να αργήσει). - Αποστέλλουν το διάγραμμα καταγραφής σφαλμάτων στα τμήματα βαθμηδόν και σύμφωνα με την πρόοδο της πορείας καταγραφής, το αργότερο μέχρι την……..	 20-11
Τα Τμήματα	- Συμπληρώνουν τα καταγραφικά, με τις ενδείξεις (σύμφωνα με τις οδηγίες) των περιοχών Γενικής Επισκευής, των επεμβάσεων που έχουν γίνει, των περιοχών στις οποίες πρέπει να γίνουν εργασίες, τον τρόπο υπογόμωσης που θα χρησιμοποιηθεί (βαρέα μηχανήματα, Τζάκσον ή σκαπάνη) - Καταρτίζουν το δικό τους πρόγραμμα υπογόμωσης σύμφωνα με το καταγραφικό διάγραμμα. - Αποστέλλουν - στη Διεύθυνση Περιφερείας -στη Διεύθυνση Γραμμής το συνοπτικό πρόγραμμα υπογόμωσης.	 1-12 6-12
Οι Υ.Γ των Περιφερειών	στη δικαιοδοσία των οποίων εργάζονται ένα ή περισσότερα βαρέα μηχανήματα υπογόμωσης την..... και τα οποία ευρίσκονται κατά την 15-10 είτε -σε ένα εργοτάξιο ανακαινίσεως -σε ένα εργοτάξιο συντήρησης -για επιθεώρηση σε ένα συνεργείο (ΤΜΚ ή εργοστάσιο Βόλου) πρέπει να αποστείλουν στην Διεύθυνση Γραμμής μέχρι..... -πλήρη κατάλογο των μηχανημάτων υπογόμωσης (μπουρεζών) με τα στοιχεία τούτων -την έδρα τους (Σταθμός,συνεργείο κ.λπ) -την χρήση των (ανακαίνισης,συντήρησης γραμμών ή σε επιθεώρηση προς γενική επισκευή)	15/10 25-10
Οι ΥΓ των Περιφερειών	- τον αριθμό των ωρών λειτουργίας κάθε μπουρέζας από την τελευταία επιθεώρηση (γενική επισκευή) μέχρι της 15-10.	
Η Διεύθυνση Γραμμής	-Μετά από συμφωνία με τις Περιφέρειες -Μετά από συμφωνία με την ΔΕΡ οι οποίες είναι επιφορτισμένες με την συντήρηση και περιοδική επιθεώρηση των μηχανημάτων. Καταρτίζει το πρόγραμμα διάθεσης των βαρέων μηχανημάτων	

	υπογόμωσης του επόμενου έτους. Το αποστέλλει στις Διευθύνσεις για εφαρμογή.	11-12 20-12
Η Διεύθυνση Γραμμής	Μετά από συμφωνία με τις Υπηρεσίες Γενικού Λογιστικού της Υπηρεσίας Λογιστηρίου εξακριβώνει την συμφωνία των διαφόρων στοιχείων: - Τετράδιο μελέτης - Επιτοίχιος πίνακας του Η-Π - Κατάλογος εργασιών και πίνακας αποδόσεων Εκτελεί ενδεχομένως τις αναγκαίες ενημερώσεις. Διανέμει στις Περιφέρειες τα ανωτέρω έντυπα ενημερωμένα, που είναι αναγκαία για τα τμήματα μέχρι την.....	25-9 1-10
Η Διεύθυνση Γραμμής	Μετά από συμφωνία με τις ενδιαφερόμενες υπηρεσίες, καταρτίζει το πρόγραμμα εκπαίδευσης για το επόμενο έτος και το διανέμει στις Περιφέρειες.	25-9
Οι ΥΓ των Περιφερειών	Κοινοποιούν στα τμήματα - τον αριθμό των ατόμων κατά τμήμα που θα σχηματίσουν μια σειρά εκπαίδευσης ή μετεκπαίδευσης - την διάρκεια αυτών των εκπαιδευτικών σειρών.	1-10
Οι ΥΓ των Περιφερειών	Κοινοποιούν στα τμήματα (ώστε αυτά να μπορούν να προβλέπουν τον αναγκαίο αριθμό ωρών), τα προγράμματα: - ανακαίνισης της γραμμής - ανακαίνισης των συσκευών γραμμής - κατασκευής νέων γραμμών (παρακαμπτηρίων σταθμών, μηχανοστασίων, λιμένων κ.λπ.) ή συνδέσεις προς τρίτους. - νέων γενικώς κατασκευών οι οποίες θα απαιτήσουν τη διάθεση προσωπικού.	1-10
Οι ΥΓ των Περιφερειών	Μετά από συμφωνία με την Διεύθυνση Γραμμής πληροφορούν τα Τμήματα για τα προγράμματα προσεχών ανακαινίσεων (προσεχούς τετραετίας) ώστε να μπορέσουν να προσανατολίσουν σωστά οι προϊστάμενοι των τμημάτων τη συντήρηση γραμμών.	1-10
Οι ΥΓ των Περιφερειών	Ερωτούν τις διάφορες υπηρεσίες (Εκμετάλλευσης, Ελξης, ΤΜΚ, Γεφυρών, ΤΗΕ, κτηρίων.....κ.λπ. ....) για τη βοήθεια σε προσωπικό που έχουν την πρόθεση να ζητήσουν κατά την διάρκεια του έτους επομένου έτους. - Κοινοποιούν τις ανωτέρω πληροφορίες στα τμήματα.	5-10
Τα Τμήματα	- Καταρτίζουν το τετράδιο μελέτης του ημερολογίου προγράμματος	10-12
Οι ΥΓ των Περιφερειών	- Μετά από συμφωνία με την Διεύθυνση Γραμμής ελέγχουν τα τετράδια μελέτης του ημερολογιακού Προγράμματος Όλων των τμημάτων.....και κοινοποιούν στα τμήματα τον αριθμό του προσωπικού που θα υπάρχει στη διάθεσή τους στην πραγματικότητα.....	20-12 31-12
Τα τμήματα	Καταρτίζουν το πρόγραμμα των μηχανικών εργαλείων (Τιρφωνέζες, διατρητήρες στρωτήρων, μηχανήματα υπογομώσεως Τζάκσον). Καταρτίζουν τους πίνακες του ημερολογίου Προγράμματος	10-12 05-01

Οι ΥΓ των Περιφερειών	Μετά από συμφωνία με την Διεύθυνση Γραμμής, ελέγχουν τους πίνακες του ημερολογίου Προγράμματος όλων των τμημάτων και δίνουν εντολή εκκίνησης των εργασιών συντήρησης του επομένου έτους προς της.....	30-1

<u>ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΡΘΡΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</u>

ΟΜΑΔΩΝ ΓΡΑΜΜΗΣ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΡΘΡΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	**Ε Ι Δ Ο Σ Ε Ρ Γ Α Σ Ι Α Σ Κ Α Τ' Α Ρ Θ Ρ Ο**
01	Εκπαίδευση κατ' επιλογή προσωπικού
02	Περιοδείες των οργάνων των ομάδων και αντικαταστάσεις των φυλάκων γραμμής
03	*Υψομετρική και οριζοντιογραφική τακτοποίηση της κυρίας γραμμής* **α)** Γόμωση με πικούνι **β)** Γόμωση με φορητά μηχανήματα **γ)** Γόμωση με βαρέα μηχανήματα
05	Μεμονωμένες επισκευές υψομετρικής και οριζοντιογραφικής κατάστασης των κυρίων γραμμών που δεν έχουν προβλεφθεί
06	*Εργασίες Γ.Ε. στις κύριες γραμμές επισκευή υλικού*
07	Γ.Ε. των μηχανημάτων στην κύρια γραμμή
08	*Εργασίες εκτός Γ.Ε. στις κύριες γραμμές* **α)** εργασίες κυκλικές **β)** εργασίες μη κυκλικές
09	*Εργασίες εκτός Γ.Ε. των μηχανισμών στην κύρια γραμμή* **α)** Εργασίες κυκλικές **β)** Εργασίες μη κυκλικές **γ)** Εργασίες υψομετρικής και οριζοντιογραφικής τακτοποίησης των μηχανισμών στην κύρια γραμμή
11	Συντήρηση υπηρεσιακών γραμμών
12	Συντήρηση μηχανισμών στις υπηρεσιακές γραμμές
21	Ασφάλεια προσωπικού
22	Φορτοεκφορτώσεις μεταφορές και τακτοποιήσεις υλικών και εργαλείων
23	Επεξεργασία υλικών γραμμής και συντήρηση εργαλείων
24	Χωματισμοί-Εξυγίανση
25	Εκχορτώσεις – εκθαμνώσεις - αντιπυρικές ζώνες
26	Οδήγηση συνοδεία και μικρή συντήρηση Δραιζινών ομάδων αυτοκινήτων και μηχανημάτων συντήρησης γραμμής
27	Καθαρισμός και εξωραϊσμός σταθμών, οριοθέτηση σταθμών και γραμμής
32	Εκτακτα συμβάντα, εκτροχιάσεις
33	Διάφορες βοήθειες
	Αντικατάσταση Φυλάκων Ι.Δ.
51	Συντήρηση Ι.Δ.
60	Ανακαινίσεις γραμμών και άλλες έκτακτες εργασίες σε βάρος του προϋπολογισμού του ΟΣΕ
61	Εκτακτα έργα και έργα επαύξησης Α εγκαταστάσεων που βαρύνουν τον προϋπολογισμό του ΟΣΕ
70 71	*Εργα επενδύσεων:* **α)** Ανακαίνιση γραμμών **β)** Ολα τα άλλα εκτός των ανακαινίσεων γραμμών
72	Εργα υπέρ τρίτων
81-1 81-2 81-3	*Ωρες μη παραγωγικές* (δεν περιλαμβάνονται : άδειες, αναπαύσεις και απουσίες) **α)** Ασθένειες **β)** Επιφυλακή και εξαιρετέες ημέρες **γ)** Ατυχήματα σε προσωπικό (τραυματισμοί)

81-4	**δ)** Κακοκαιρίες
81-5	**ε)** Καθυστερήσεις (αναμονή στους σταθμούς προς αναχώρηση για εργασία)
81-6	**στ)** Διαδρομές (χρόνος μεταβάσεως και επιστροφής σε εργασία)
	ζ) Διάφορες άλλες αιτίες
81-7	

Κ Α Τ Α Λ Ο Γ Ο Σ Α Ρ Θ Ρ Ω Ν Ε Ρ Γ Α Σ Ι Α Σ

Α Ρ Θ Ρ Ο Ε Ρ Γ Α Σ Ι Α Σ	**ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΡΘΡΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**	**ΑΡΙΘΜΟΣ ΛΟΓΑΡΙΑΣ ΜΟΥ**
- Εκπαίδευση και επιλογή Προσωπικού	01	31502
- Περιοδείες των οργάνων των ομάδων και αντικαταστάσεις φυλάκων γραμμής	02	1321(1)
Υψομετρική και Οριζ/φική τακτοποίηση κυρίων γραμμών - *Αναπεπταμένης Γραμμής σε ζώνες Γ.Ε. και Ε.Γ.Ε* Προγραμματισμένες με πικούνι ->- με φορητές συσκευές ->- με βαρέα μηχανήματα - *Μηχανισμών γραμμών σε ζώνες Γ.Ε. και Ε.Γ.Ε* Προγραμματισμένες με πικούνι ->- με φορητές συσκευές - Μεμονωμένες, απρόοπτες μη προγραμματισμένες	031) 032) 03 033) 041) (04 042) 05	1342(1) 1342 (1)
Γενική Επισκευή Κυρίων Γραμμών-Επισκευή υλικού - *Αναπεπταμένη Γραμμή* Καθαρισμός έρματος Σύσφιγξη συνδέσμων Αντικατάσταση στρωτήρων Λοιπές εργασίες - *Μηχανισμών Γραμμής* Καθαρισμός έρματος Σύσφιγξη συνδέσμων Αντικατάσταση στρωτήρων Λοιπές εργασίες	061) 062) 06 063) 069) 071) 072) 07 073) 079)	1342(1) 1342(1)
Εργασίες Εκτός Γενικής Επισκευής Κυρίων Γραμμών - *Περιοδικές Ανεπτάμενης Γραμμής και Μηχανισμών* Σύσφιγξη προσηλώσεων γραμμών και Μηχανισμών Λοιπές εργασίες - *Αλλες, εν γένει έκτακτα αναλαμβανόμενες, κυρίως από την κατάσταση των ανεπτάμενων γραμμών και μηχανισμών τους.*	082)) 08 089) 09	1342(1) 1342(1)

Α Ρ Θ Ρ Ο Ε Ρ Γ Α Σ Ι Α Σ	**ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΡΘΡΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**	**ΑΡΙΘΜΟΣ ΛΟΓΑΡΙΑΣΜΟΥ**
Εργασίες Υπηρεσιακών Γραμμών - *Συντήρηση Αναπεπταμένης Γραμμής* Εκτακτος καθαρισμός έρματος Σύσφιγξη προσηλώσεων Αντικατάσταση στρωτήρων Λοιπές εργασίες - *Συντήρηση Μηχανισμών* Καθαρισμός έρματος και επιφανείας Σύσφιγξη των συνδέσμων Αντικατάσταση των στρωτήρων & ξύλινων μερών Λοιπές εργασίες	 111) 112) 11 113) 119) 121) 122) 12 123) 129)	 1342(1) 1342(1)
Ασφάλεια προσωπικού και μεταφορές - Ασφάλεια του προσωπικού (κατά τις εργασίες συντήρησης). - Μεταφορές και φορτοεκφορτώσεις υλικού συντήρησης. - Οδήγηση, μικρή συντήρηση δραιζινών, αυτοκινήτων.	 21 22 23	 (2) (2) (2)
Εργασίες επί επιδομής και των πέριξ - Χωματουργικά – εξυγίανση - Εκχορτώσεις – Αποψιλώσεις - Αντιπυρικές ζώνες - Καθαρισμός και καλλωπισμός σταθμών και γραμμών σταθμών.	 24 25 26 27	 1341(1) 1341(1) 1341(1) 1341(1)
- Συμβάντα – Εκτροχιάσεις	32	10320
Βοήθειες Παρεχόμενες σε ειδικά Συνεργεία - Για τις εγκαταστάσεις ασφαλείας και τηλεπικοινωνιών - Για τα Τεχνικά Εργα Γραμμής	 33 34	 1361(1) 1351(1)
- Συντήρηση των Μονίμων Εγκατ/σεων.	41	1331(1)
Ισόπεδες διαβάσεις - Αντικατάσταση Ισοπεδοφυλάκων - Συντήρηση των οδοστρωμάτων και διάφορα	 50 51	 1331(1) 1332(1)

Α Ρ Θ Ρ Ο Ε Ρ Γ Α Σ Ι Α Σ	**ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΡΘΡΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**	**ΑΡΙΘΜΟΣ ΛΟΓΑΡΙΑΣΜΟΥ**
Εργα Προϋπολογισμού ΟΣΕ - Ανακαινίσεις και άλλες ειδικές περιοδικές εργασίες γραμμών - Νέα έργα και έργα επαυξήσεως	60 61	
Εργα Δημοσίων Επενδύσεων - Ανακαίνιση γραμμής - Απαντα τα υπόλοιπα έργα	70 71	
- Εργα υπέρ τρίτων	72	530 (5)
Ωρες μη παραγωγικές (όχι άδειες και απουσίες) Ασθένειες Επιφυλακή σε εξαιρέσιμες ημέρες Τραυματισμοί Κακοκαιρίες Καθυστερήσεις - Αναμονές Διαδρομές Διάφορες άλλες αιτίες	811) 812) 813) 814) 81 815) 816) 817)	(4)
Βοήθεια προς άλλες Υπηρεσίες Στην Κεντρική Διοίκηση Στην Υπηρεσία Εκμετάλλευσης Στην Υπηρεσία Ελξεως Στην Υπηρεσία Γραμμής Στα Τμήματα Γραμμής	821) 822) 823) 82 824) 825)	10010 11000 12000 13000 1311(1)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Alias J, "LA VOIE FERREE", Eyrolles 1984, Paris.

ALIAS J. : Le rail, Eyrolles 1987

Collins R. –Black J.– Tyrer J., "High Speed Track on BR Western Region", Railway Engineer International, 1979.

Comite Francais des Geotextiles et Geomembranes, "Recommandations Pour l' Emploi des Geotextiles dans les Voies Ferrees" — Paris, Avril 1986.

Fastenrath Fritz, "Railroad Track, Theory And Practice", Frederick Ungar Pub. Co., New York. 1981

F.I.P. - Federation Internationale de la Precontrainte, "Concrete Railway Sleepers", London 1987.

fib Federation Internationale du beton, (CEB/ FIP)**,** bulletin 37 – state-of-the-art report, " Precast concrete railway track systems", participation of K. Giannakos in the Task Group as co-author of the bulletin

Imbert B., "Les Structures d' Assise Ferroviaire, Dimensionnement- Durabilite", PARFAIRE No 39 – Avril '86.

Janin G. – Gent L., "La Qualite de la Voie Ferree – Comment la Definir Quantitativement ?", R. G. C. F. – Decembre 1969.

Janin G., "La Maintenance de la Geometrie de la Voie, la Prise de Decision des Operations de Nivellement – Dressage, le Mauzin Syntetique", R.G.C.F. – Juin 1982.

Jenkins H. – Stephenson J. –. Clayton G – Morland G. – Lyon D., «Incidences des parametres caracteristigues de la voie et des vehicules sur les efforts dynamigues verticaux gui se developpent entre rail et roue»– Rail International 10/1974, 682-702.

Montagne S., "Comportement de la Voie dans son ensemble sous l' Action d' Efforts Connus", R. 1.200 – 87 – 10, S.N.C.F. – Direction de l' Equipement, 1987.

Murray Spiegel, "Πιθανοτητες και Στατιστικη", Schaum's Outline Series, Mc Graw-Hill-New York, ΕΣΠΙ – Αθήνα.

Prud' homme A. – Erieau J., "Les Nouvelles Traverses en Beton de la S.N.C.F.", R.G.C.F. – Fevrier 1976.

Prud' Homme A. : La voie, RGCF 1/1970

Prud' homme A., "Sollicitations Statiques et Dynamiques de la Voie " , S.N.C.F. – Direction des Installations Fixes, 1966.

Riessberger K. Univ. Prof. fur Eisenbahn und Verkehrswesen GRAZ, Επιστολή από 11-5-1989

S.N.C.F / Direction de l' Equipement, "Comportement des Traverses en Relation avec des Charges Dynamiques", S.N.C.F. Juin 1988.

S.N.C.F / Direction de l' Equipement, "Mecanique de la Voie", 1981

S.N.C.F. - (D. 1150 – 74 – 10) μετάφραση Γαλλική άρθρου που δημοσιεύτηκε στο "The Railway Engineering Journal",- Ιανουάριος 1974.

S.N.C.F. – Direction de l' Equipement, Specification Technique VRE 2321 80 – 06 (B) , pour la fourniture de traverses mixtes en beton arme – Juin 1980.

S.N.C.F. – Direction de l' Equipement, Specification Technique VRE 2321 - 77 – 09 (A), Essais d' argement et definition des valeurs a utiliser pour les essais de charge lors de la reception des traverses mixtes en beton arme.

Sauvage R. –Imbert B., "Utilisation d' Additifs de Structures" dans Les Couches d' Assise de Voies Ferrees", Ille Congres International des Geotextiles – Vienne, Autriche, 7-11 Avril 1986.

Sauvage R.– Huart F., "Maintenance des Couches d' Assise des Voies Ferrees".

Sauvage R.– Richez G, "Les Couches d' Assise de la Voie Ferree", R. G. C. F. – Decembre 1978.

Schram Gerhard, "Permanent Way Technique and Permanent Way Economy", Otto Elsner Verlagsgesellschaft, Darmstadt,1961

U.I.C./ Fiche 719 R.

U.I.C./ ORE, Question D117, Rp 2

U.I.C./ORE/, Question D117, Rp 7

U.I.C./ ORE: Question C 9, RP 9

U.I.C./ ORE: Question D 117, RP 4 Utrecht 1974

Γιαννακός Κωνσταντίνος, "Η διαλειτουργικότητα στον σιδηρόδρομο: ένα μοντέλο ανάπτυξης για τη ΝΑ. Ευρώπη", Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ./ Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, 2000

Γιαννακός Κωνσταντίνος, «Διαχείριση Σιδηροδρομικής Υποδομής», Εργασία που υποβλήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού μαθήματος «Μελέτη και Διαχείριση Οδικών έργων και Συγκοινωνιακής Υποδομής», για απόκτηση Διδακτορικού Διπλώματος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Συγκοινωνιών και Οργάνωσης, Θεσσαλονίκη, 1999.

Γιαννακός Κ, Βλασοπούλου Ι, – «Μελέτη για την καταπόνηση του έρματος και τη συμπεριφορά της επιδομής σε σχέση με το είδος των χρησιμοποιουμένων στρωτήρων», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1990

Γιαννακός Κ, Βλασοπούλου Ι, – «Μελέτη για το σύστημα «στρωτήρας - σκύρο», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1990.

Γιαννακός Κ, Βλασοπούλου Ι, «Προβλήματα και Λύσεις για το σύστημα «στρωτήρας – σκύρο» στον ΟΣΕ», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1991.

Γιαννακός Κ, Ιορδανίδης Π, Βλασοπούλου Ι, «Εκθεση Επιτροπής Εμπειρογνωμόνων του ΟΣΕ για την επίσκεψη τους στους SNCF από 15.5.1988 - 11.6.1988», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1988.

Γιαννακός Κ, Ιορδανίδης Π, Βλασοπούλου Ι, «Συνοπτική Έκθεση Επιτροπής για το θέμα των διμερών στρωτήρων μετά τη δεύτερη επίσκεψη στους SNCF το Μάρτη του 1989», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1989.

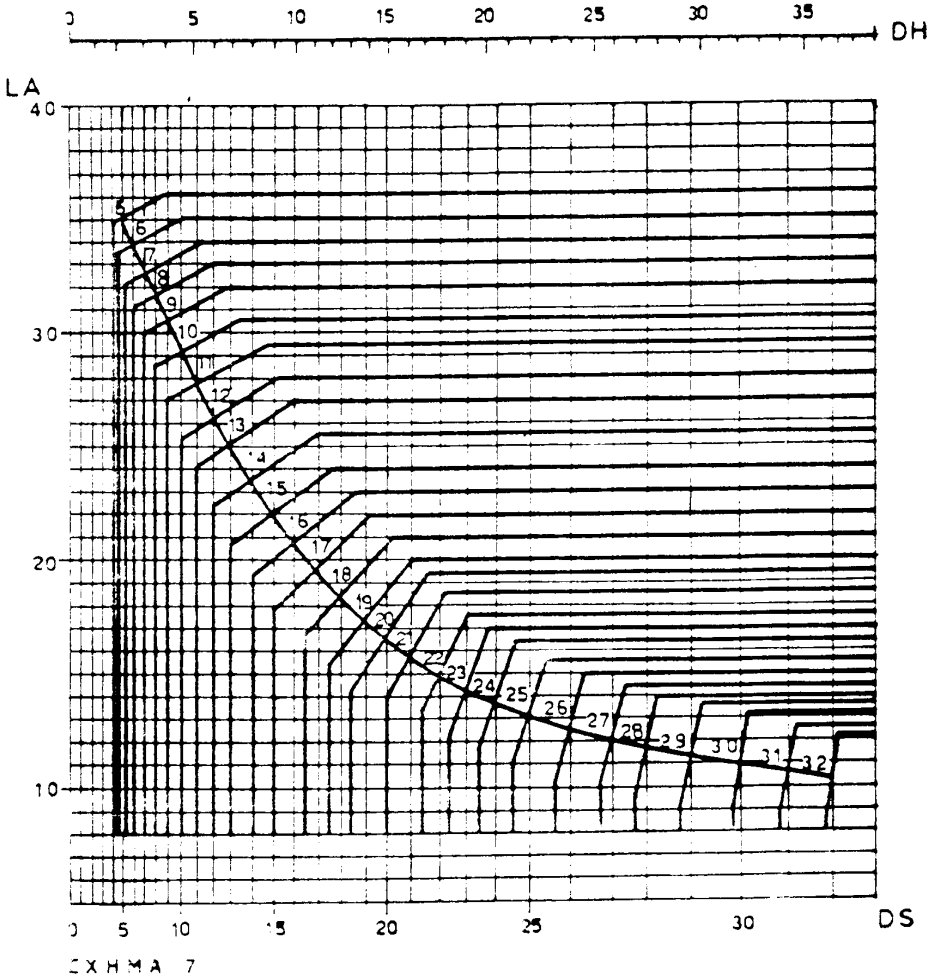
Γιαννακός Κ, ''Σιδηροτροχιές, Στρωτήρες, Σύνδεσμοι, Αρμοί, Σ.Σ.Σ., Ερμα, Στρώση Γραμμής'', ΟΣΕ – Αθήνα, Οκτώβρης 1985.

Γιαννακός Κ., Βλασοπούλου Ι., «: Ερευνα για τον καθορισμό του τύπου του στρωτήρα που θα υιοθετηθεί από τον ΟΣΕ – Συγκριτική Παρουσίαση των Διαφόρων Τύπων Στρωτήρων – Αξιολόγηση έρευνας του Καθ. Κ. Riessberger", ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1992

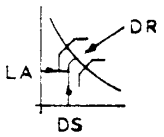
ΟΣΕ, "ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΠΙΔΟΜΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ (Κ.Ε.Γ.) των ΣΕΚ", 1953
ΟΣΕ, "ΝΕΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΠΙΔΟΜΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ (Ν.Κ.Ε.Γ.)", 1978
ΟΣΕ, "ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΠΙΔΟΜΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ (Σ.Κ.Ε.Γ.) των ΣΕΚ", 1953.
ΟΣΕ/Γενικη Διευθυνση Γραμμης, « Οδηγίες για την Ασφάλεια Κυκλοφορίας», 1998
ΟΣΕ/Διευθυνση Γραμμης, " Ημερολόγιο Πρόγραμμα Εργασιών Συντήρησης Γραμμής", Τεχνική Οδηγία.
ΟΣΕ/Διευθυνση Γραμμης, «Βασικές Αρχές για το Σχεδιασμό Εργασιών Συντήρησης Γραμμής», Β. Προφυλλίδης, Οκτώβριος 1984.
ΟΣΕ/Διευθυνση Γραμμης, «Η Μηχανικη Συμπεριφορα της Σιδηροδρομικης Υποδομης», Β. Προφυλλίδης – Α. Κουπαρούσος, Ιούλιος 1984.
ΟΣΕ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ, «Η ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ», Β. Προφυλλίδης – Α. Κουπαρούσος, Ιούλιος 1984.
ΟΣΕ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ, «Ο σιδηρόδρομος και οι Μεγάλες Ταχύτητες», Β. Προφυλλίδης, Ιούνιος 1984.
ΟΣΕ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ, «ΣΤΡΩΣΙΣ ΕΠΙΒΛΕΨΙΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΩΝ ΤΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΜΕΝΩΝ ΕΙΣ ΜΕΓΑΛΑ ΜΗΚΗ (Σ.Σ.Σ.)», Τεχνική Οδηγία.
ΟΣΕ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ, «ΣΤΡΩΣΙΣ ΕΠΙΒΛΕΨΙΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΩΝ ΤΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΜΕΝΩΝ ΕΙΣ ΜΕΓΑΛΑ ΜΗΚΗ (Σ.Σ.Σ.)», Τεχνική Οδηγία.
ΟΣΕ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ, Ισχύοντες Κανονισμοί
Προφυλλίδης Β., «Σιδηροδρομική», τόμος Ι, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Ξάνθης, Ξάνθη, 1994.
Προφυλλίδης Β., «Σιδηροδρομική», τόμος ΙΙ, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Ξάνθης, Ξάνθη, 1997.
Πυργίδης Χ., "Σχεδιασμός και Κατασκευή Σιδηροδρομικής Υποδομής", Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 1994.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Διάγραμμα καθορισμού της σκληρότητας (DRi) των σκύρων μέσω συντελεστών Los Angeles και Deval κατά τους SNCF που υιοθετήθηκε και από τον ΟΣΕ πριν από την υιοθέτηση των Ευρωπαϊκών προτύπων (ΕΝ).



ΣΧΗΜΑ 7



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

LA	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ LOS ANGELES
DS	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ DEVAL ΞΗΡΟ
DH	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ DEVAL ΥΓΡΟ
DR	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΟΛΙΚΗΣ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΟΣ

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 7

Μηχανήματα Συντήρησης Γραμμής

1.- Συντηρηση Γραμμης

1.2.- Γενικά

Συντήρηση γραμμής νοείται το σύνολο των διαδικασιών που απαιτούνται για τη συντήρησή της προκειμένου να διασφαλισθούν τα στάνταρτς της ασφάλειας και της ποιότητας πάντα σε συνάρτηση με την ελαχιστοποίηση του κόστους.

Το σχήμα που ακολουθεί διαγράφει συνοπτικά τα διάφορα στάδια και τους παράγοντες που απαιτούνται για την εκτέλεση των εργασιών συντήρησης.

Η συντήρηση και η ανακαίνιση σχεδιάζονται ανάλογα, λαμβάνοντας πάντα υπόψη τις τοπικές συνθήκες και βασιζόμενες πάνω σε μια συνισταμένη δεδομένων ελέγχου από μετρητικά συστήματα, οπτική παρατήρηση και χρηματοοικονομικά δεδομένα.

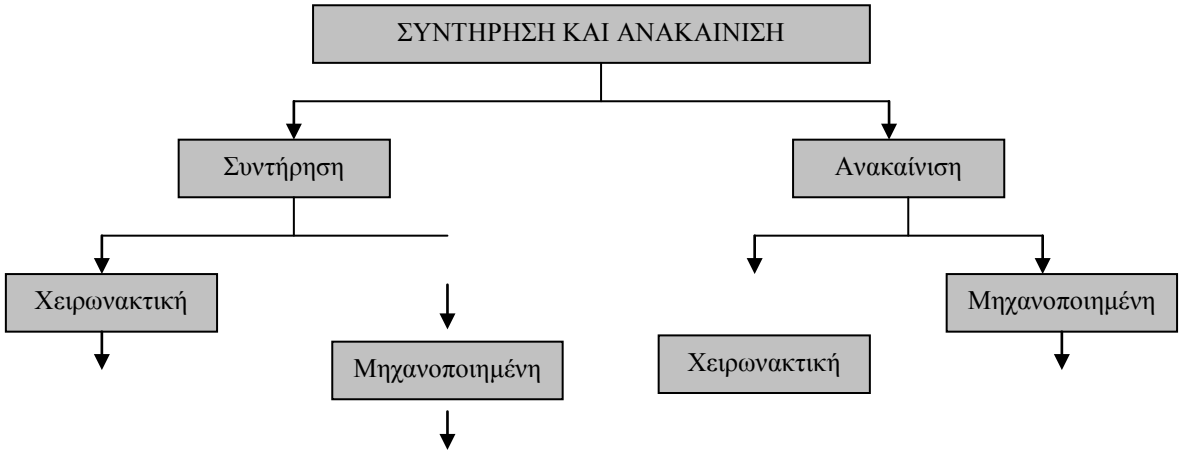
Κάθε γραμμή, όπως και κάθε κατασκευή, έχει ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ζωής κατά τη διάρκεια της οποίας απαιτούνται εργασίες συντήρησης για να εξασφαλισθούν – όπως προηγουμένως αναφέρθηκε – τα ελάχιστα στάνταρντς της ποιότητας και ασφάλειας. Για τη συμβατική επιδομή γραμμής, δηλαδή σιδηροτροχιές, συνδέσμους, στρωτήρες και σκύρο (έρμα) υπάρχουν βέλτιστοι, από χρηματοοικονομική σκοπιά, χρόνοι ζωής: Για το σκύρο ο βέλτιστος χρόνος ζωής είναι είκοσι πέντε χρόνια και για την εσχάρα της γραμμής πενήντα χρόνια. Αυτό σημαίνει ότι κάθε πενήντα χρόνια γίνεται ολική ανακαίνιση της επιδομής μιας σιδηροδρομικής γραμμής, ενώ στην εικοσιπενταετία γίνεται αντικατάσταση του σκύρου.

Η συντήρηση γραμμής η οποία γίνεται κατά τη διάρκεια του χρόνου ζωής μιας γραμμής μπορεί να διακριθεί σε:

- γεωμετρία της σιδηροτροχιάς
- γεωμετρία της επιδομής της γραμμής
- έρμα (σκύρο)
- τεχνικά έργα
- ισόπεδες διαβάσεις
- διάφορα

Η συντήρηση της γεωμετρίας της επιδομής της γραμμής διακρίνεται σε δύο κατηγορίες:

α) *συμπτωματική* συντήρηση, δηλαδή επιδιόρθωση τοπικών ανωμαλιών και
β) *συστηματική* συντήρηση η οποία εκτελείται κυρίως με βαρέα μηχανήματα. Αυτή η συντήρηση αναφέρεται και ως μηχανοποιημένη.



Συγκολλήσεις/ μέθοδος αποκατάσταση της επιφάνειας κύλισης μέθοδος	Υπογόμωση (μπουράρισμα)	Συνεχής
	Σταθεροποίηση του σκύρου	Τμηματική
Αλλαγές	Λείανση (τρόχισμα)	
Ισόπεδες Διαβάσεις	Ευθυγράμμιση συγκολλήσεων	Αλλαγές
Τεχνικά έργα	Καθαρισμός σκύρου	Τεχνικά έργα

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕ ΤΗ ΣΥΝΕΧΗ ΜΕΘΟΔΟ

1. Απομάκρυνση και φόρτωση παλαιών εσχαρών
2. Απομάκρυνση παλαιού σκύρου
3. Τοποθέτηση στρωτήρων
4. Ρύθμιση στρωτήρων και τοποθέτηση σιδηροτροχιών
5. Τοποθέτηση κυλίστρων κάτω από τις σιδηροτροχιές
6. Ρύθμιση σιδηροτροχιών στο σωστό μήκος (έλκοντας/θερμαίνοντας)
7. Σύσφιγξη συνδέσμων
8. Ξεφόρτωμα σκύρου, υπογόμωση και σταθεροποίηση της γραμμής

Η μηχανοποιημένη συντήρηση εκτελείται:

1. Με μια σειρά τριών μηχανημάτων δηλαδή:
   - μηχάνημα τακτοποίησης έρματος (ρεγκαλέζα), το οποίο *τακτοποιεί και ρυθμίζει το πρόσθετο σκύρο* που έχει αδειάσει στη γραμμή ένας συρμός από σκυροφόρα οχήματα, που αποκαλείται αμαξοστοιχία έργων.
   - μηχάνημα υπογόμωσης έρματος (μπουρέζα), το οποίο *τακτοποιεί οριζοντιογραφικά και υψομετρικά τη γραμμή και υπογομώνει* με σκύρο τους στρωτήρες, ώστε να εξασφαλισθεί η τελική θέση της επιφάνειας κύλισης των σιδηροτροχιών με ακρίβεια χιλιοστού και
   - μηχάνημα δυναμικής σταθεροποίησης της γραμμής (σταμπιλιζάτορας), το οποίο *σταθεροποιεί και συμπιέζει* το έρμα με δονήσεις ώστε να επιτευχθεί μια ελεγχόμενη συμπίεση του έρματος – καθίζηση, γεγονός που επιτρέπει να δίνεται η γραμμή σε κυκλοφορία χωρίς βραδυπορία και εξασφαλίζει τη διατήρηση της γεωμετρίας της γραμμής στο χρόνο.
2. Μηχάνημα εμφύσησης μικρών λίθων (stone blower) ή αλλιώς μηχάνημα μετρημένου υποπτυαρισμού. Το μηχάνημα έχει εφαρμογή σε περιπτώσεις συμπυκνωμένου έρματος, συμπύκνωση που γίνεται λόγω πλήρωσης των κενών του από λεπτόκκοκο υλικό το οποίο προέρχεται από τη φθορά του σκύρου.
3. Μηχανήματα και συρμοί λείανσης σιδηροτροχιών.
4. Μηχανήματα καθαρισμού έρματος που χρησιμοποιούνται για την αντικατάσταση του σκύρου κάθε είκοσι πέντε χρόνια περίπου.
5. Μηχανήματα κατασκευής, ευθυγράμμισης συγκολλήσεων και διάφορα άλλα μηχανήματα.

Η σύγχρονη σιδηροδρομική τεχνολογία για την πραγματοποίηση των εργασιών συντήρησης, διαθέτει μια πανοπλία μέσων.

Μπορούμε να διακρίνουμε:

1. Τα **βαρέα** *μηχανήματα υπογόμωσης, υψομετρικής και οριζοντιογραφικής τακτοποίησης* τα οποία πρέπει να χρησιμοποιούνται, κατά το δυνατόν, μόνο σε περιοχές γενικής επισκευής, όπου η υψομετρική και οριζοντιογραφική τακτοποίηση είναι συστηματική. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη χρησιμοποίησή τους είναι το έρμα να είναι υγιές, απαλλαγμένο από προσμίξεις εδαφικού υλικού, σωστής κοκκομετρικής διαβάθμισης και επαρκών μηχανικών αντοχών. Έχουν μέση ωριαία απόδοση περίπου 200-300 m. Επειδή όμως όσο διαρκεί αυτή η

εργασία υπάρχουν μεγάλοι χρονικοί περιορισμοί στην κυκλοφορία και απαιτείται συχνά και διπλή διέλευση, η μέση ημερήσια απόδοση κυμαίνεται μόλις στα 700 m γραμμής περίπου.
Η υπογόμωση είναι η διαδικασία με την οποία αποκαθίστανται τα σφάλματα γραμμής και περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

- Τοπογραφικό συνεργείο καθορίζει κατ' αρχάς την ενδεδειγμένη ανύψωση ή οριζοντιογραφική μετακίνηση της γραμμής.
- Επειτα διέρχεται το μηχάνημα υπογόμωσης. Μετακινεί τη γραμμή δεξιά-αριστερά ή προς τα πάνω ανάλογα με τα σφάλματα που πρέπει να διορθωθούν.
- Κατεβάζει τα πτερύγια ('μπούρα' στην ορολογία των συνεργείων συντήρησης) και συμπιέζει το έρμα κάτω από τον στρωτήρα.
- Στο τέλος διέρχεται το καταγραφικό, το οποίο μετρά τα σφάλματα που υπολείπονται (ανοχές συντήρησης).

Στο βαρύ μηχανικό εξοπλισμό πρέπει να προσθέσουμε επίσης:

- Τα μηχανήματα τακτοποίησης διατομής έρματος (regaleuse), που επιτρέπουν τη διαμόρφωση της κανονικής διατομής του έρματος.
- Τα μηχανήματα συμπίεσης (dameuse) ή σταθεροποίησης (stabilisateur) του έρματος, τα οποία ακολουθούν μετά τα μηχανήματα υπογόμωσης και τα οποία συμβάλλουν στην αύξηση της σταθερότητας και εγκάρσιας αντίστασης της γραμμής.
- Τα μηχανήματα καθαρισμού έρματος (degarnisseuse).

2. Τα **ελαφρά** (φορητά) συγκροτήματα μηχανικής υπογόμωσης, τα οποία προϋποθέτουν επίσης για τη χρησιμοποίησή τους την ύπαρξη υγιούς έρματος. Καθώς μετακινούνται εύκολα, παρουσιάζουν μεγάλη ευκαμψία και πρέπει να χρησιμοποιούνται για :

- εργασίες περιορισμένης έκτασης σε ασυνεχή τμήματα της γραμμής, μέχρι μήκος 300 m περίπου, για τις οποίες θα ήταν ασύμφορη η χρησιμοποίηση βαρέων μηχανημάτων υπογόμωσης,
- επανάληψη υπογόμωσης σε κάποια ιδιαίτερα σημεία της γραμμής,
- υψομετρική τακτοποίηση των συσκευών γραμμής,
- (μόνο κατ' εξαίρεση) για συνεχή υψομετρική τακτοποίηση τμημάτων της γραμμής, για τα οποία δεν είναι δυνατή η διάθεση βαρέων μηχανημάτων.

3. Τη **σκαπάνη** *(πικούνι)* που είναι σήμερα μέσο παρωχημένο, και που πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο στις παρακάτω περιπτώσεις:

- Σε τμήματα της γραμμής όπου το έρμα είναι πολύ αποσαθρωμένο και όπου μια μηχανική υπογόμωση δεν είναι δυνατή χωρίς να προσκομισθεί νέο υγιές έρμα.
- Σε μεμονωμένες και τοπικές επαναλήψεις υπογόμωσης, για τις οποίες επιβάλλεται μια επείγουσα επέμβαση, χωρίς ωστόσο η έκταση των εργασιών να δικαιολογεί τη χρησιμοποίηση ενός ελαφρού συγκροτήματος μηχανικής υπογόμωσης.
- Μόνο στην περίπτωση μεταλλικών και ξύλινων στρωτήρων.

Με την ευκαιρία των προγραμματισμένων εργασιών συντήρησης γίνεται και επιθεώρηση του υλικού επιδομής και πιθανή αποκατάσταση βλαβών. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται τα παρακάτω μηχανήματα:

- μηχανήματα κοχλίωσης - αποκοχλίωσης βλήτρων και μπουλονιών,
- μηχανήματα διάτρησης ξύλινων στρωτήρων,
- μηχανήματα κοπής σιδηροτροχιών,

- μηχανήματα διάνοιξης οπών σε σιδηροτροχιές, κ.λπ.

Συντήρηση της γραμμής με βαρέα μηχανήματα

Γενικά

Η ανάπτυξη της μηχανοποίησης της συντήρησης της γραμμής με βαρέα μηχανήματα, προωθήθηκε στην Ευρώπη μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο.

Με τη μηχανοποίηση αυτή, που άρχισε με την υψομετρική τακτοποίηση της γραμμής και την οποία διαδέχθηκε η οριζοντιογραφική, επιτυγχάνεται στάθμη ποιότητας πολύ καλύτερη από αυτή της χειρωνακτικής εργασίας.

Επιπροσθέτως και ιδιαίτερα για τις χώρες που η χειρωνακτική εργασία κοστίζει πολύ ακριβά, η μηχανοποίηση μειώνει τα έξοδα συντήρησης των γραμμών.

Αλλά χρειάσθηκε πολύς καιρός έως ότου τα βαρέα μηχανήματα μπορέσουν να ανταποκριθούν στις συνθήκες χρησιμοποίησης που διαμόρφωσαν τελικά τα δίκτυα.

Τρία ουσιώδη προβλήματα όφειλαν να επιλυθούν:

- Η απόδοση των μηχανημάτων
- Η ποιότητα και σταθερότητα της εκτελούμενης εργασίας
- Η οδήγηση των μηχανημάτων

Η απόδοση των μηχανημάτων προσδιορίζεται από τον αριθμό των ωρών πραγματικής εργασίας και του αριθμού των ωρών δυνατής εργασίας.

Για παράδειγμα αν η υπηρεσία εκμετάλλευσης επιτρέψει να εργασθεί μία "μπουρέζα" τρείς ώρες καθημερινά (δηλαδή ετησίως 250 ημέρ. Χ 3 ώρ./ημ. = 750 ώρες) και λόγω βλαβών ο μέσος όρος των ωρών πραγματικής εργασίας κυμανθεί περί τις δύο ώρες καθημερινά, η απόδοση του μηχανήματος αυτού θα είναι:

$$f = \frac{500}{750} = 0{,}66$$

Μπορεί επίσης η απόδοση να προσδιορισθεί και με τη σχέση:

$$F = 1 \cdot \frac{p}{u}$$

όπου p = αριθμός των απωλεσθέντων ωρών πραγματικής εργασίας λόγω βλάβης του μηχανήματος και u = ο αριθμός των ωρών χρησιμοποίησης συμπεριλαμβανομένων και των ωρών βλάβης.

Χρησιμοποίηση των μηχανημάτων

Τα βαρέα μηχανήματα υπογόμωσης για τη συντήρηση της γραμμής απαιτούν πάντοτε την κατάληψή της για αρκετό χρονικό διάστημα. Με αυτό το δεδομένο, η εκμετάλλευση οφείλει να διαθέτει στην υπηρεσία συντήρησης χρονικά διαστήματα εργασίας όσον το δυνατόν μεγαλύτερα. Ο απαιτούμενος όμως αυτός χρόνος αποτελεί "σημείο τριβής" για τη μηχανοποίηση των εργασιών συντήρησης της γραμμής. Ετσι οι απαραίτητες εργασίες συντήρησης εκτελούνταν στα διαστήματα μεταξύ των διελεύσεων των τραίνων, πράγμα

δύσκολο έως αδύνατο και απαιτούσαν ειδικευμένα εργατικά χέρια που εξαιτίας του υψηλού κόστους τους δεν ήταν εφικτό.

Προς το παρόν σε όλα σχεδόν τα δίκτυα η υπηρεσία γραμμής προσπαθεί να συνεργασθεί με τις υπηρεσίες εκμετάλλευσης, βάσει μιας κοινής συμφωνίας. Σύμφωνα με αυτήν η υπηρεσία εκμετάλλευσης δέχεται μια καθυστέρηση των εμπορευματικών συρμών και συμφωνεί σε μια διακοπή περισσότερων συνεχομένων ωρών, αντί για πολλές διακοπές μιας ώρας.

Συνθήκες εκτέλεσης της εργασίας

Το μήκος των γραμμών που μπορούν να συντηρηθούν ετησίως με τα μηχανήματα, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, από τους οποίους οι πλέον καθοριστικοί είναι:

α) Τα διατιθέμενα διαστήματα εργασίας
β) Η ωριαία πρόοδος του μηχανήματος
γ) Η ποιότητα των υλικών που συνιστούν τη γραμμή.

Η μέση ωριαία (ή ημερήσια) απόδοση επιτρέπει να λαμβάνουμε υπόψη την πραγματική πρόοδο που επιτυγχάνεται στη συντήρηση της γραμμής με το μηχάνημα.

Οσο ο αριθμός των ωρών ετήσιας εργασίας παραμένει αμετάβλητος, ο αριθμός των χιλιομέτρων της συντηρούμενης γραμμής ετησίως δίνει από μόνος του την πρόοδο που επιτεύχθηκε. Αλλά όταν ο αριθμός των ωρών της ετήσιας εργασίας ελαττώνεται (από κάποια επιρροή της κοινωνικής εξέλιξης), η μέση ωριαία απόδοση δίνει μία τιμή πραγματικής προόδου περισσότερο ακριβή. Επί πλέον η απόδοση αυτή επιτρέπει εξίσου στους διευθύνοντες ενός δικτύου την απαιτούμενη συνεργασία μεταξύ των υπηρεσιών εκμετάλλευσης και συντήρησης γραμμής.

Όταν για ένα μηχάνημα που δεν παρουσιάζει υψηλό ποσοστό αβαριών, η απόδοση είναι χαμηλή, αυτό σημαίνει ότι τα διαστήματα είναι πολύ μικρά για τη σωστή χρήση του μηχανήματος.

Εξάλλου, από κατασκευή, τα μηχανήματα επιτρέπουν να πραγματοποιείται για κάθε κατηγορία εργασίας μια πρόοδος αρκετά υψηλή.

Παρ' όλα αυτά, με κριτήριο την ίση ποιότητα εργασίας, η πραγματική απόδοση των μηχανημάτων πιθανόν να διαφέρει από τον ένα χειριστή στον άλλο και από τη μία γραμμή στην άλλη. Παρά την προωθημένη αυτοματοποίηση είναι γεγονός πως ο χειριστής παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση του μηχανήματος.

Συμπερασματικά αυτό σημαίνει ότι πρέπει να ελέγχουμε τους χειριστές, οι οποίοι έχουν την τάση να χρησιμοποιούν τα μηχανήματα στο μέγιστο της απόδοσής τους, γιατί όταν η μηχανή εργάζεται συνεχώς στο maximum της ισχύς της μπορεί να υποστεί σοβαρή φθορά - πολλές φορές ανεπανόρθωτη - που δεν είναι ανάλογη με την απόδοση της εργασίας που επιτεύχθηκε. Ο χειριστής που εργάζεται με ένα μέσο κανονικό ρυθμό θα αποφύγει τις βλάβες και θα διασφαλίσει τη «μακροζωία» της μηχανής του. Εξάλλου η επιπόνηση της μηχανής επηρεάζεται και από την ποιότητα της γραμμής επάνω στην οποία εργάζεται.

Η καλύτερη εργασία συντήρησης επιτυγχάνεται με ένα ρυθμό αρκετά υψηλό επάνω σε μια γραμμή που έχει πρόσφατα ανακαινισθεί εξ ολοκλήρου (σιδηροτροχιές, στρωτήρες και

προπαντός έρμα). Οσο η γραμμή γερνάει, τόσο η ποιότητα της εργασίας αποτελεί το κριτήριο σχετικά με το άν θα πρέπει να είναι ο ρυθμός υψηλός ή μετριότερος.

Σε μια παλαιότερη γραμμή, πρέπει να μειώσουμε το ρυθμό του μηχανήματος για να επιτύχουμε μια παραδεκτή εργασία. Παρ' όλα αυτά η συντήρηση θα

απαιτήσει μία αύξηση του αριθμού των επεμβάσεων των μηχανημάτων στις παλαιότερες γραμμές. Η συχνότητα αυτών των επεμβάσεων είναι πράγματι όχι μόνο συνάρτηση της πυκνότητας της κυκλοφορίας (ταχύτητα και φορτία) αλλά επίσης και της ηλικίας ή της κατάστασης των υλικών που έχουν χρησιμοποιηθεί στη γραμμή.

Η πρόοδος της εργασίας επηρεάζεται επίσης από τον αριθμό των καταδύσεων των πεδίλων που έχουν πραγματοποιηθεί και από το ύψος της απαιτούμενης ανύψωσης. Το ύψος αυτό εξαρτάται από τη μέθοδο εργασίας που εφαρμόζεται. Η εργασία θα είναι πιο ενδιαφέρουσα όταν χρησιμοποιηθεί για την υψομετρική τακτοποίηση η μέθοδος της απόλυτης βάσης. Όλα τα δίκτυα που η ταχύτητα κυκλοφορίας των πιο γρήγορων συρμών δεν υπερβαίνει τα 100 χιλ./ώρ. οφείλουν να εφαρμόσουν τον οικονομικό κανονισμό που αναφέρεται στην εφαρμογή της συντήρησης της σχετικής βάσης.

Σημειώνουμε επίσης πως η αναλογική απόδοση της μπουρέζας προσδιορίζεται από τον αριθμό των στρωτήρων ανά μέτρο μήκους γραμμής.

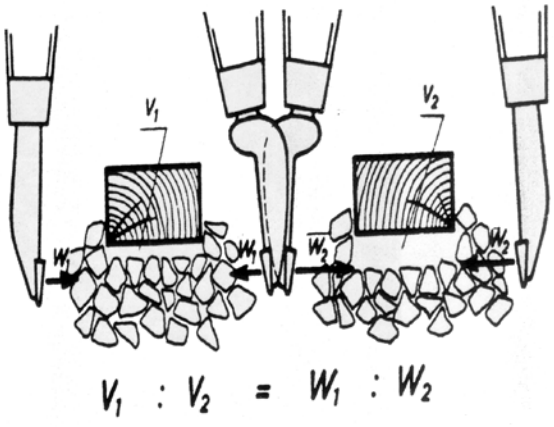
Οσο ο αριθμός αυτός είναι μεγαλύτερος τόσο η πρόοδος ελαττώνεται.

Βαρέα μηχανήματα

Γενικά

Ο εξοπλισμός της συντήρησης των γραμμών με βαρέα μηχανήματα, επιτρέπει σήμερα να επιτυγχάνονται μηχανικώς οι ακόλουθες εργασίες:

- *Η κατά μήκος και εγκάρσια υψομετρική τακτοποίηση*
- *Η οριζοντιογραφική τακτοποίηση*
- *Η διαμόρφωση του έρματος*



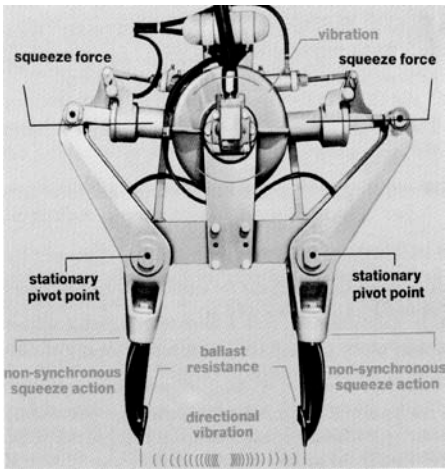
Βαρύ Μηχάνημα υπογόμωσης έρματος (μπουρέζα)

Στις εργασίες αυτές προστέθηκε σήμερα και η συμπίεση του έρματος μεταξύ των στρωτήρων - με μηχανικά μέσα - στις στρωμένες γραμμές με συνεχώς συγκολλημένες σιδηροτροχιές.

Η ορθή ***υψομετρική τακτοποίηση*** της γραμμής μπορεί να επιτευχθεί με τα βαρέα αυτόματα μηχανήματα υπογόμωσης των στρωτήρων και οριζοντιογραφικής και υψομετρικής τακτοποίησης (μπουρέζες) που επιτρέπουν ***τη διόρθωση των σφαλμάτων οριζοντιογραφικά,*** ειδικά στις καμπύλες.

Μηχανήματα υπογόμωσης έρματος (μπουρέζα)

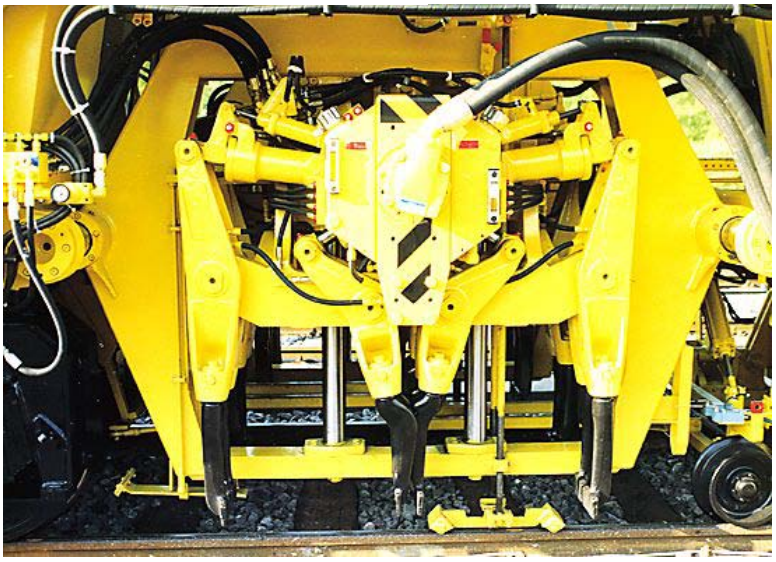
Τις μονάδες υπογόμωσης αποτελούν τα μηχανήματα για την υψομετρική, οριζοντιογραφική τακτοποίηση και υπογόμωση έρματος, οι οποίες υφίστανται τη μεγαλύτερη καταπόνηση. Η λειτουργική αξιοπιστία των μονάδων υπογόμωσης είναι λοιπόν ένας καθοριστικός παράγοντας για χαμηλού κόστους συντήρηση γραμμής.



Δονητική μονάδα υπογόμωσης (μπούρο)

Μονάδα υπογόμωσης ενός στρωτήρα

Η κλασική μονάδα υπογόμωσης είναι εφοδιασμένη με οκτώ δονητές υπογόμωσης, ταξινομημένους σε ζεύγη, οι οποίοι παράγουν μια νέα φέρουσα επιφάνεια στρωτήρων σε κάθε τομή σιδηροτροχιάς στρωτήρα.



Μονάδα υπογόμωσης δύο στρωτήρων

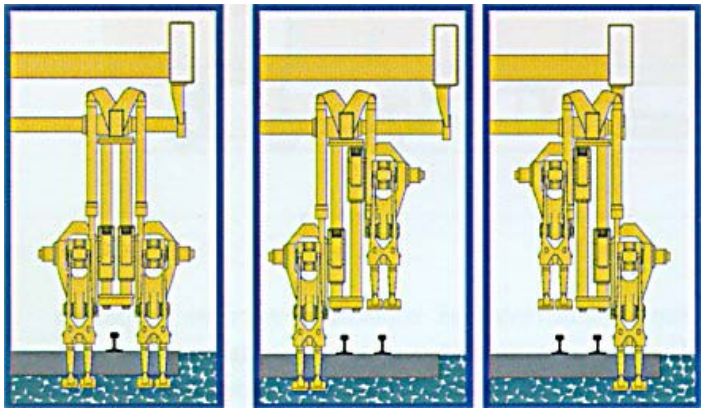
Η μονάδα υπογόμωσης δύο στρωτήρων είναι εφοδιασμένη συνολικά με δέκα έξι δονητές υπογόμωσης ταξινομημένους σε ζεύγη. Αυτά ενεργοποιούνται σε κάθε διείσδυση στην κλίνη του έρματος, για να υπογομώσουν δύο στρωτήρες ταυτόχρονα.

Μονάδα υπογόμωσης τριών στρωτήρων

Αυτή η μονάδα είναι σχεδιασμένη για να υπογομώνει τρείς στρωτήρες ανά κύκλο υπογόμωσης. Διαιρείται σε τμήματα που μπορούν να λειτουργούν ανεξάρτητα και να τη μετατρέπουν σε μονάδα υπογόμωσης ενός στρωτήρα οποιαδήποτε στιγμή.

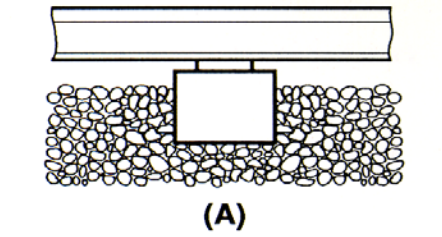
Μονάδες υπογόμωσης αλλαγών και ανοιχτής γραμμής

Υπάρχουν μονάδες υπογόμωσης για αλλαγές, με ανακλινόμενους πλευρικούς δονητές υπογόμωσης. Επιπλέον υπάρχει τεχνολογία split – head ώστε να λειτουργούν σε αλλαγές και ανοιχτή γραμμή. Κάθε μονάδα υπογόμωσης διαιρείται στην επιμήκη διεύθυνση. Κάθε ένα από τα δύο μισά της μονάδας μπορούν να χαμηλώσουν και να βυθίζονται στο έρμα ξεχωριστά από το άλλο μισό. Επιπλέον και τα δύο μισά της μονάδας μπορούν να μετατοπίζονται πλευρικά μαζί ή ξεχωριστά.

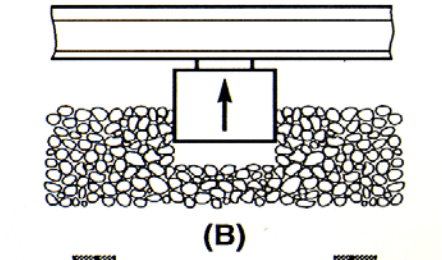


Βαρύ Μηχάνημα Υπογόμωσης έρματος (μπουρέζα) - Λεπτομέρεια

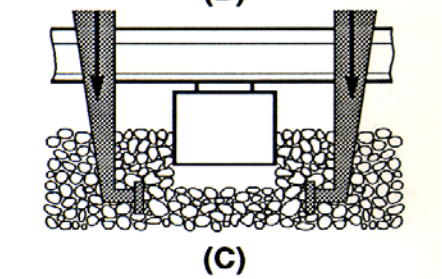
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΠΟΓΟΜΩΣΗΣ



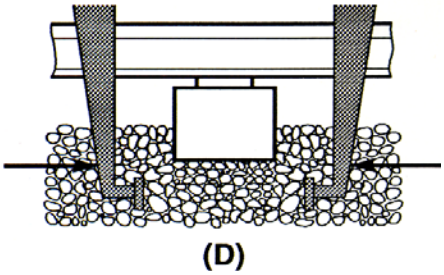
(A) Αρχική θέση Γραμμής



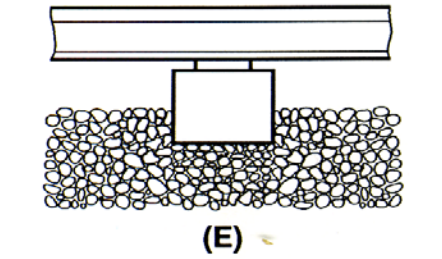
(B) Ανύψωση εσχάρας σιδηροτροχιών – στρωτήρων, δημιουργία κενού μεταξύ στρωτήρα – έρματος



(C) Εναρξη δόνησης σκύρου με τις μονάδες υπογόμωσης (μπούρα)



(D) Τέλος δόνησης, πλήρωση κενού, στήριξη στρωτήρα



(E) Τελική θέση Γραμμής

Το μηχάνημα τακτοποίησης έρματος (ρεγκαλέζα) επιτρέπει τη διασπορά του συσσωρευμένου έρματος και τη διαμόρφωση με αυτόν τον τρόπο της καθορισθείσης διατομής του έρματος της γραμμής. Το μηχάνημα αυτό σε συνδυασμό με τα ειδικά βαγόνια για την εκφόρτωση των σκύρων κατά μήκος των γραμμών, καταργεί μία από τις πιο κοπιαστικές χειρωνακτικές εργασίες, δηλαδή τη διαμόρφωση του έρματος.

Το μηχάνημα αυτό φέρει πτερύγια τα οποία προκαλούν ροή σκύρου στη στέψη του έρματος εγκάρσια προς τον άξονα της γραμμής σε όποια επιθυμητή κατεύθυνση. Τα πτερύγια μπορούν να ρυθμιστούν ώστε να μπορεί να προσδιοριστεί ακριβώς η ποσότητα του σκύρου που παραμένει στη στέψη του έρματος. Υπάρχουν πτερύγια πλευρικά αλλά και στο κέντρο. Σε συνδυασμό του κεντρικού με τα πλευρικά πτερύγια οι μετακινήσεις ποσοτήτων του σκύρου μπορούν να γίνονται κατά μήκος της γραμμής της διατομής, από τον άξονα της γραμμής προς τα άκρα της διατομής και αντιθέτως. Τα πλευρικά πτερύγια ενεργοποιούνται από το κεντρικό χειριστήριο του μηχανήματος. Οποιαδήποτε γωνία μεταξύ $0 – 45^{o}$ μπορεί να τοποθετηθεί για τη διαμόρφωση του πρανούς της διατομής του έρματος (μπαγκίνα).

Μηχάνημα τακτοποίησης έρματος (ρεγκαλέζα)

Τα πτερύγια ρυθμίζονται στο επίπεδο με τρόπο τέτοιο, ώστε να αποφεύγονται τα εμπόδια στη γραμμή χωρίς όμως να αλλάζουν τη γωνία του πρανούς και χωρίς να αφήνουν σωρούς από σκύρο. Ανάλογα με το μοντέλο του μηχανήματος η εργασία μπορεί να εκτελείται και

στις δύο κατευθύνσεις ή μπορεί να σχηματισθεί ένα «κουτί σκύρου» για να το μετατοπίσει κατά μήκος της γραμμής. Ανάλογα με τους κανονισμούς μερικών σιδηροδρομικών δικτύων που αναφέρονται στη ρύθμιση της επιφάνειας του σκύρου στην κεντρική περιοχή μεταξύ δύο γραμμών (σε περίπτωση διπλής γραμμής), τα μηχανήματα αυτά είναι ρυθμισμένα αυτόματα, γεγονός που περιορίζει την έκταση των πλευρικών πτερυγίων.

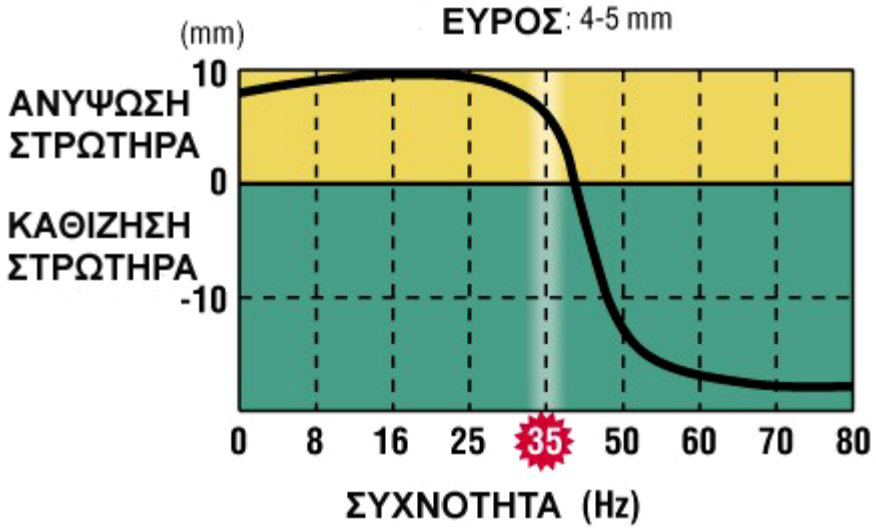
Δυναμικός σταθεροποιητής γραμμής (σταμπιλιζάτορας)

Η δυναμική σταθεροποίηση των γραμμών είναι μια επιτυχημένη μέθοδος - που αναπτύχθηκε τις τελευταίες δεκαετίες - για τη βέλτιστη συντήρηση της γραμμής. Δεν υπάρχει άλλη μέθοδος στη στρώση και τη συντήρηση γραμμής, που να έχει τόσο πολύ μελετηθεί από σιδηροδρομικά δίκτυα και ερευνητικά κέντρα, όσο η δυναμική σταθεροποίηση γραμμής. Ο σκοπός της δυναμικής σταθεροποίησης είναι να επιτύχει βελτιωμένη αγκύρωση της εσχάρας γραμμής στην κλίνη του έρματος όταν συντηρείται ή ανακαινίζεται η γραμμή. Η κατάσταση της γραμμής μετά τη δυναμική σταθεροποίηση προσφέρει μεγάλη ασφάλεια λειτουργίας και ιδίως σε καινούργια στρώση, και αποδίδεται στην κυκλοφορία με τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα χωρίς επιβολή βραδυποριών. Επιπλέον η γεωμετρικά σωστή θέση της γραμμής μπορεί να διατηρηθεί για μεγαλύτερη χρονική περίοδο αυξάνοντας «τα αποθέματα» ποιότητας της. Η συστηματική εφαρμογή αυτής της τεχνικής σε συνδυασμό με την ανακαίνιση γραμμής, τη στρώση της, τον καθαρισμό έρματος και τη συντήρηση προσπορίζει οφέλη στον τομέα της εκμετάλλευσης και καλό δείκτη από άποψης στην επένδυση για ολόκληρη τη συντήρηση της γραμμής. Ο δυναμικός σταθεροποιητής εξαναγκάζει τη γραμμή σε οριζόντιες ταλαντώσεις ενώ ταυτόχρονα εφαρμόζει ένα στατικό κατακόρυφο φορτίο. Αυτό εξαναγκάζει τούς λίθους του

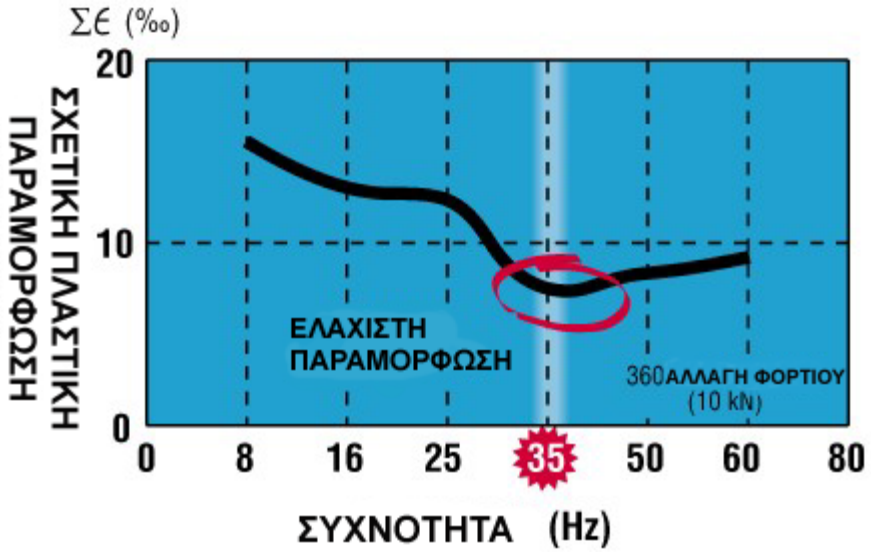
έρματος να ανακαταταχθούν με αποτέλεσμα η εσχάρα γραμμής να χαμηλώνει και να αγκυρώνεται μέσα στην κλίνη του σκύρου.

Επίδραση του δυναμικού σταθεροποιητή

Οταν η συντήρηση εκτελείται από το μηχάνημα υπογόμωσης η γραμμή τακτοποιείται υψομετρικά, οριζοντιογραφικά, ανυψώνεται και υπογομώνεται. Το μηχάνημα υπογόμωσης συμπυκνώνει το σκύρο κάτω από τον στρωτήρα στην περιοχή της ζώνης υπογόμωσης. Η δυναμική σταθεροποίηση που ακολουθεί, δημιουργεί μια ομογενή κατασκευή έρματος. Η μεταδιδόμενη δόνηση στο έρμα μαζί με το στατικό κατακόρυφο φορτίο επιβάλλουν στους λίθους του έρματος να υποχωρήσουν πλησιάζοντας μεταξύ τους.

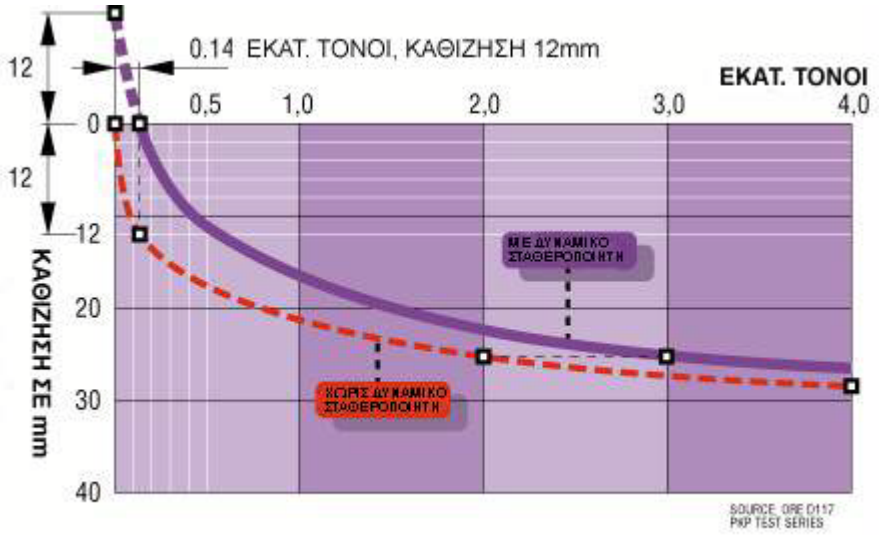


Το αποτέλεσμα είναι μια - ελεύθερη δυνάμεων - ανακατανομή των λίθων του έρματος. Ο δείκτης κενών μειώνεται και αντί για μεμονωμένα σημεία επαφής των λίθων του έρματος έχουμε έναν μεγαλύτερο αριθμό επιφανειών και σημείων επαφής. Επιπλέον το σύνολο των επιφανειών επαφής μεταξύ στρωτήρων και λίθων του έρματος αυξάνεται αξιοσημείωτα. Η επιτυγχανόμενη ομογενοποίηση της κλίνης έρματος αυξάνει τη χρονική διάρκεια μεταξύ των διαδοχικών επεμβάσεων για συντήρηση. Η συνολική μεγαλύτερη επιφάνεια τριβής μεταξύ των στρωτήρων και του έρματος επιφέρει μεγαλύτερη αντίσταση σε πλευρική μετατόπιση τόσο για γραμμή υπό φορτίο όσο και για ελεύθερη γραμμή. Ετσι μια νέα φέρουσα επιφάνεια δημιουργείται για τον στρωτήρα, ενώ διατηρείται ή ακόμη και βελτιώνεται η τέλεια γεωμετρία γραμμής σε ευρύτερες περιοχές κλίνης έρματος που συμμετέχουν στην κατανομή των δυνάμεων. Ακόμη και η αντίσταση σε επιμήκη μετατόπιση της γραμμής αυξάνεται. Η συντήρηση της γραμμής πρέπει να σκοπεύει στην τοποθέτηση της εσχάρας σε ορθή γεωμετρικά θέση για να διατηρηθεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερη χρονική περίοδο. Για να ελαχιστοποιηθούν οι τυχαίες υποχωρήσεις που προκαλούνται από τα διερχόμενα φορτία που ακολουθούν μετά τη συντήρηση με μηχανήματα υπογόμωσης επιβάλλονται, με ελεγχόμενο τρόπο, αρχικές υποχωρήσεις της γραμμής από τον δυναμικό σταθεροποιητή.

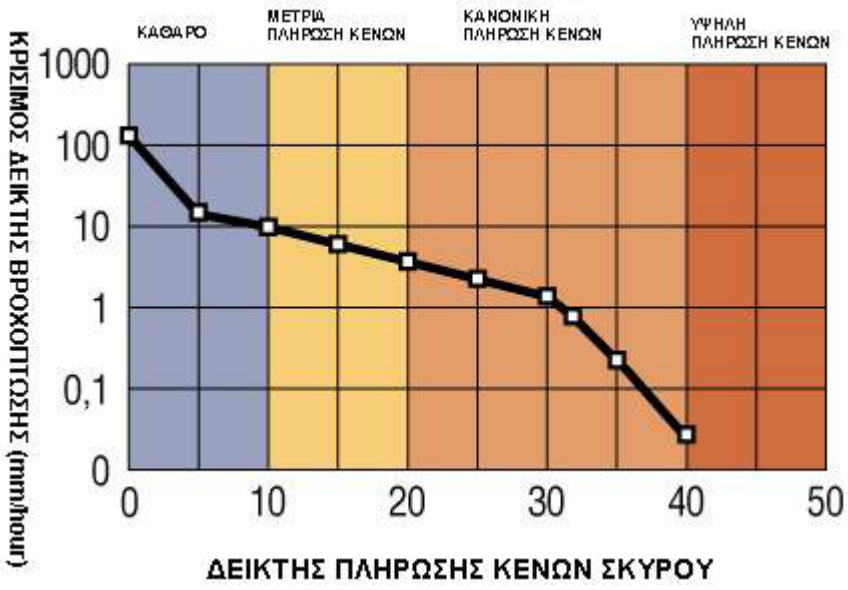


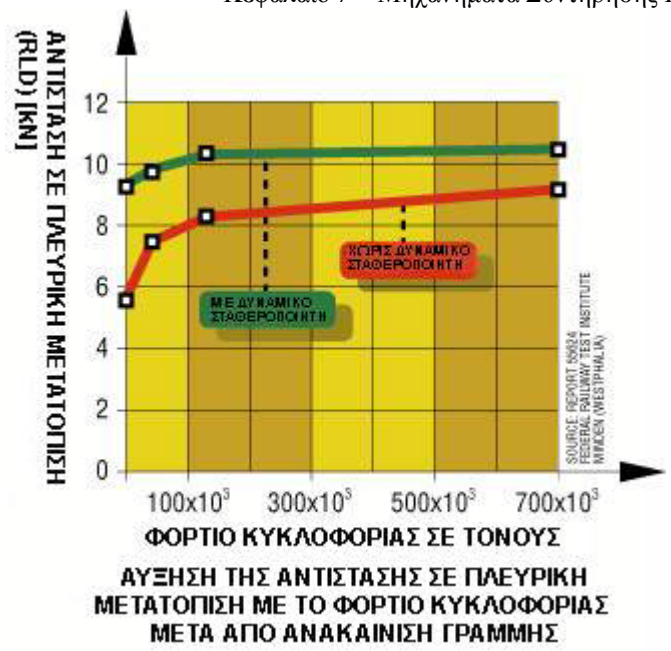
Για βέλτιστα αποτελέσματα η κλίνη έρματος υπογομούται και σταθεροποιείται δυναμικά σε στρώσεις. Ο απαιτούμενος αριθμός στρώσεων έρματος και περασμάτων με μηχανήματα ποικίλλει ανάλογα με το τελικό πάχος της κλίνης σκύρου. Στο τελευταίο πέρασμα υπογόμωσης η γραμμή τοποθετείται στην ορθή τελική θέση και μετά περνά ο δυναμικός σταθεροποιητής γραμμής. Το αποτέλεσμα είναι η ακριβής τοποθέτηση της γραμμής σε μια ομογενοποιημένη κλίνη έρματος η οποία μπορεί να αποδοθεί στην κυκλοφορία με τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα αμέσως μετά από τη διαδικασία.

Ο δυναμικός σταθεροποιητής (σταλιμπιζάτορας) είναι επίσης αναγκαίος στις στρώσεις με συνεχώς συγκολλημένες σιδηροτροχιές. Είναι φανερό, πράγματι, ότι κατά τη συντήρηση της γραμμής με τις μπουρέζες, η αποσταθεροποίηση της γραμμής μειώνει αισθητά την εγκάρσια αντίστασή της, η οποία αποκαθίσταται μόνο μετά τη διέλευση ενός σημαντικού φορτίου (150-250.000 τον.). Για την ταχύτερη επίτευξη της απαιτούμενης σταθεροποίησης, η εφαρμογή των μηχανών συμπίεσης και σταθεροποίησης του έρματος κατέστη αναγκαία.



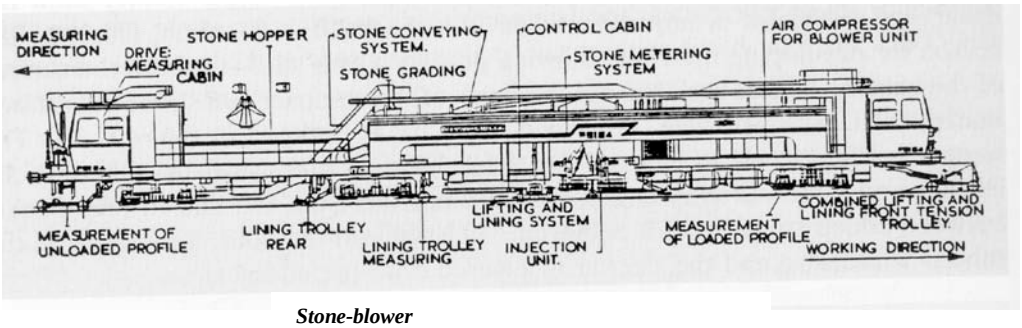
ΚΑΘΙΖΗΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΦΟΡΤΙΟ ΤΡΑΙΝΟΥ





Μηχάνημα εμφύσησης μικρών λίθων ή μηχάνημα μετρημένου υποπτυαρισμού (stone blower)

Οι βρετανικοί σιδηρόδρομοι (BR και Railtrack) ανέπτυξαν ένα βαρύ μηχάνημα για «μετρημένο υποπτυαρισμό» (stone-blowing ή soufflage), κατάλληλο για γραμμές με ρυπασμένο και πολύ συμπυκνωμένο σκύρο.



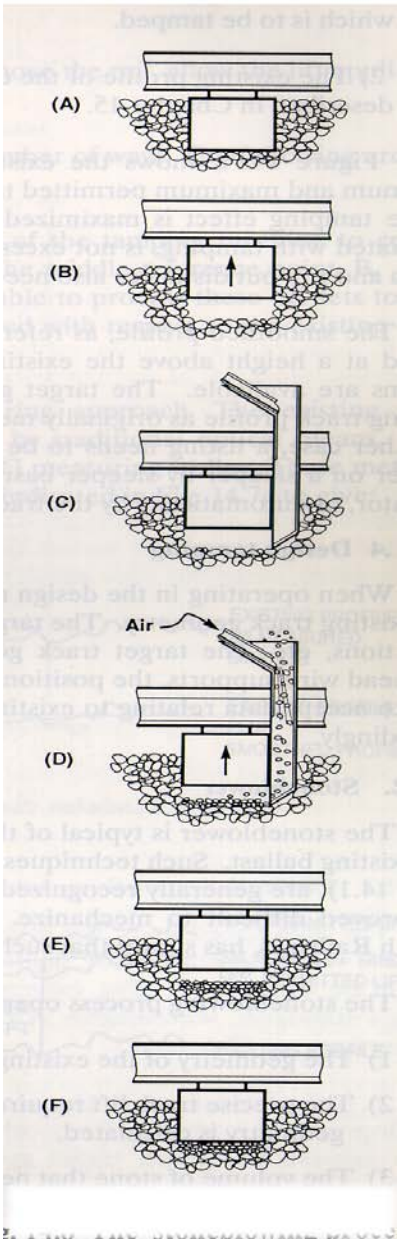
Stone-blower

Η ανάπτυξη του μηχανήματος βασίστηκε στην παρατήρηση ότι το έρμα έχει «μνήμη» του σχήματος στο οποίο είχε καταλήξει μετά τη χειροτέρευση της γεωμετρίας του πριν από κάθε εργασία υπογόμωσης. Η διαδικασία έχει ως εξής:

- Ο στρωτήρας σηκώνεται για δημιουργηθεί κενό μεταξύ της κάτω επιφανείας του και του έρματος.

- Ο σωλήνας εμφύσησης μικρών λίθων βυθίζεται δίπλα από την πλευρά του στρωτήρα και μια μετρημένη ποσότητα μικρών λίθων, που είναι ανάλογη του αναγκαίου κενού - που δημιουργείται για να ανυψωθεί η γραμμή - εμφυσάται στο κενό.
- Επειτα από αυτό ο σωλήνας εμφύσησης απομακρύνεται και ο στρωτήρας χαμηλώνει και ακουμπά στην ποσότητα λίθων, που προστέθηκε.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΜΕΝΟΥ ΥΠΟΠΤΥΑΡΙΣΜΟΥ STONE-BLOWING



Ο χρόνος διατήρησης της γεωμετρίας της γραμμής μετά από μετρημένο υποπτυαρισμό σε σύγκριση με την υπογόμωση, σύμφωνα με τους British Rail, ποικίλλει από δύο έως επτά φορές. Ο μετρημένος υποπτυαρισμός δεν θα πρέπει όμως να θεωρείται ως υποκατάστατο της υπογόμωσης αλλά μάλλον ως συμπληρωματική εργασία. Οταν μια γραμμή έχει πλήρως συμπυκνωμένο έρμα (έπειτα από την πλήρωση των κενών με υλικό από την τριβή των λίθων του έρματος) η διόρθωση της τελικής επιφάνειας κύλισης μπορεί να επιτευχθεί με μετρημένο υποπτυαρισμό, ακριβώς όπως η διαδικασία λείανσης είναι το τελικό στάδιο στην ευθυγράμμιση των συγκολλήσεων.

Τα διάφορα στάδια της εργασίας φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα.

(A) Αρχική θέση γραμμής

(B) Ανύψωση εσχάρας σιδηροτροχιών – στρωτήρων, δημιουργία κενού μεταξύ στρωτήρα – έρματος

(C) Είσοδος σωλήνα εμφύσησης μικρών λίθων

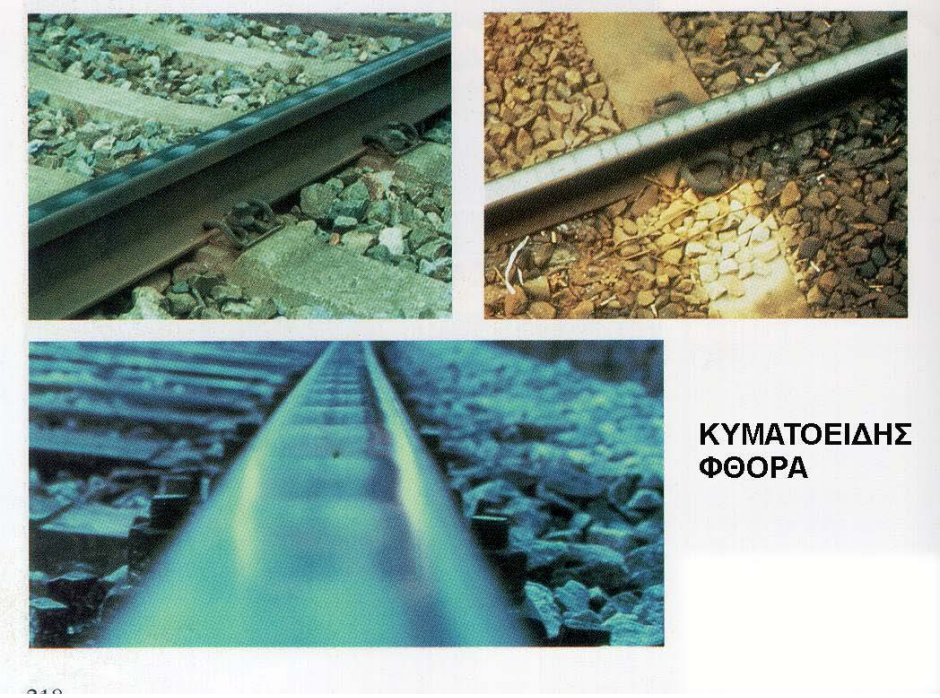
(D) Εμφύσηση μετρημένης ποσότητας μικρών λίθων (γαρμπίλι) ώστε να εξασφαλισθεί η απαιτούμενη ανύψωση της εσχάρας

(E) Τέλος εμφύσησης

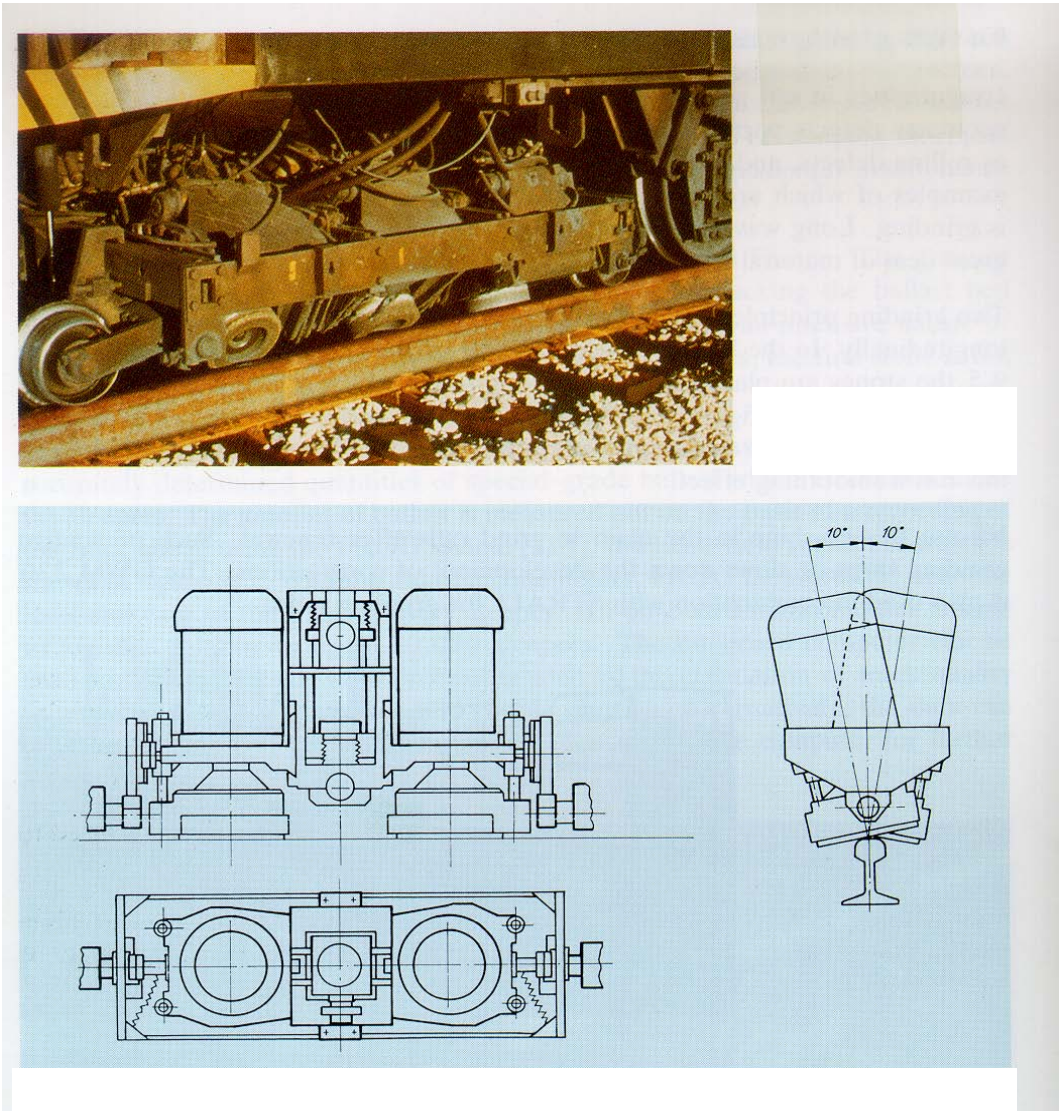
(F) Απόθεση της εσχάρας στη διαμορφωμένη επιφάνεια

Μηχανήματα λείανσης σιδηροτροχιών

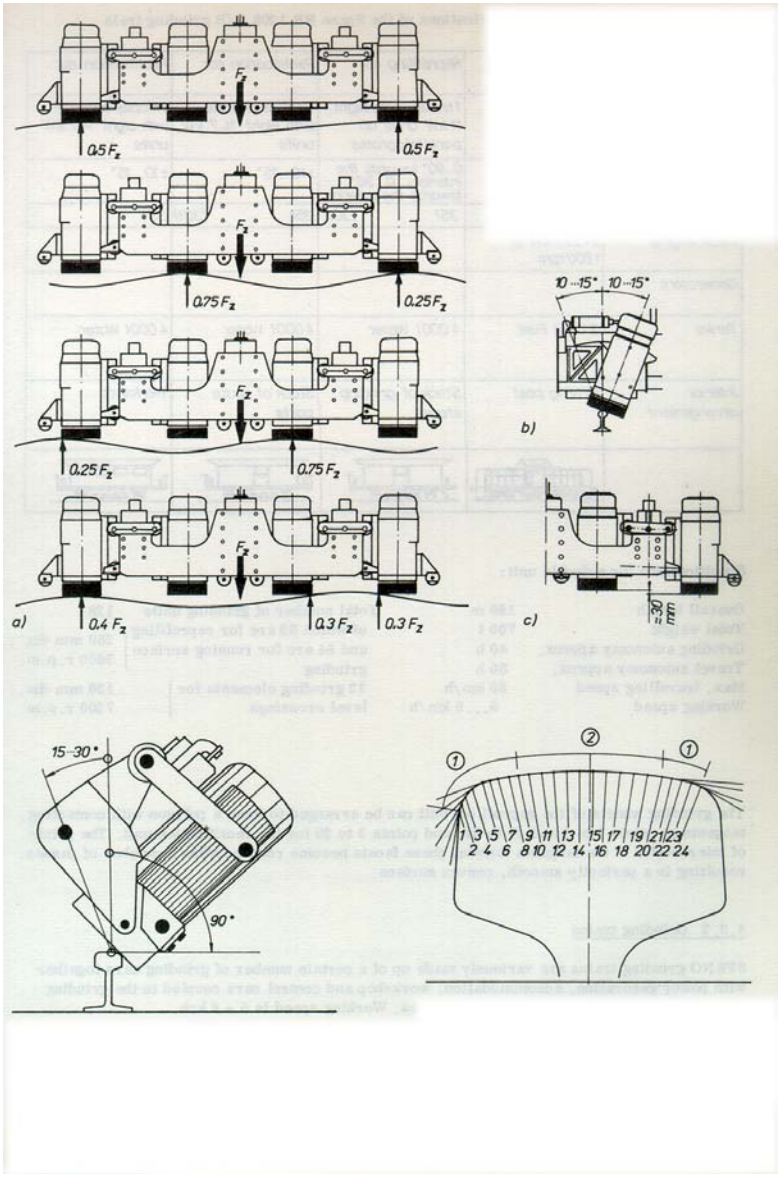
Η κατάσταση της επιφάνειας κύλισης της σιδηροτροχιάς με τις παρουσιαζόμενες κυματοειδείς φθορές προκαλεί μεγάλες καταπονήσεις στη γραμμή και μεγάλες κατακόρυφες επιταχύνσεις στα κιβώτια αξόνων των οχημάτων. Η λείανση της επιφάνειας κύλισης των σιδηροτροχιών επιβάλλεται, ιδιαίτερα για ταχύτητες που υπερβαίνουν τα 120 ή 140 χλμ/ω, και γίνεται με ειδικούς συρμούς διάφορων εταιρειών. Στη συνέχεια παρατίθενται διαγράμματα κατακορύφων επιταχύνσεων όπως και φωτογραφίες με κυματοειδείς φθορές σιδηροτροχιών και μηχανήματα λειάνσεως.



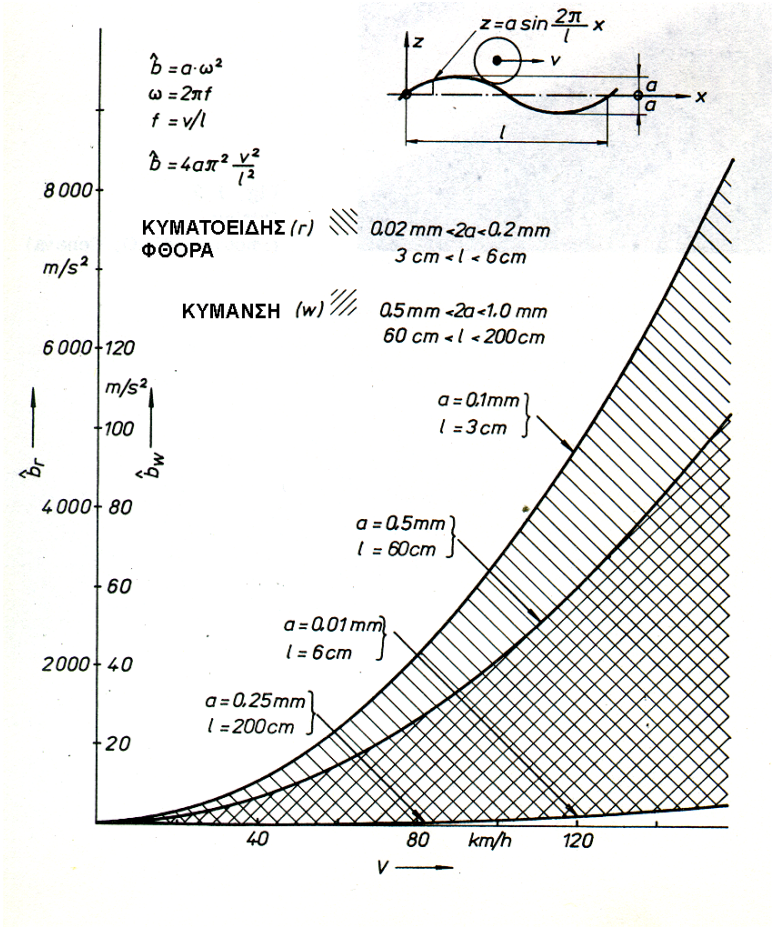
Φωτογραφίες επιφάνειας κύλισης σιδηροτροχιών με κυματοειδή φθορά.



Συγκρότημα λείανσης επιφανειών κεφαλής σιδηροτροχιών.



Συγκρότημα λείανσης επιφανειών κεφαλής σιδηροτροχιών.



Διάγραμμα κατακόρυφων επιταχύνσεων λιποκιβωτίου αξόνων σιδηροδρομικού οχήματος

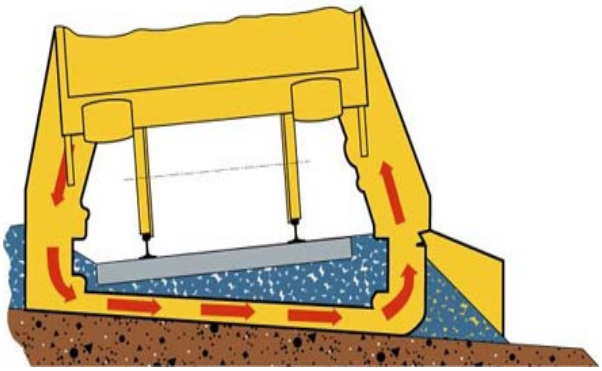
$$\hat{b}^r, \hat{b}w$$

σε σχέση με την ταχύτητα κυκλοφορίας (V), το εύρος διακύμανσης (α), και το μήκος κύματος (l) της κυματοειδούς φθοράς.

Μηχανήματα καθαρισμού έρματος

Το μηχάνημα καθαρισμού έρματος χρησιμοποιείται για την αντικατάσταση του έρματος το οποίο έχει συμπληρώσει τον χρόνο ζωής του χωρίς να αντικατασταθεί η εσχάρα γραμμής. Η εκσκαπτική μονάδα είναι σχεδιασμένη με τέτοιο τρόπο ώστε να αφαιρείται το σκύρο κάτω από τον στρωτήρα σε μία φάση. Το βάθος των εκσκαφών μπορεί να φτάσει ως τα οκτώ μέτρα ανάλογα με τον σχεδιασμό του μηχανήματος.

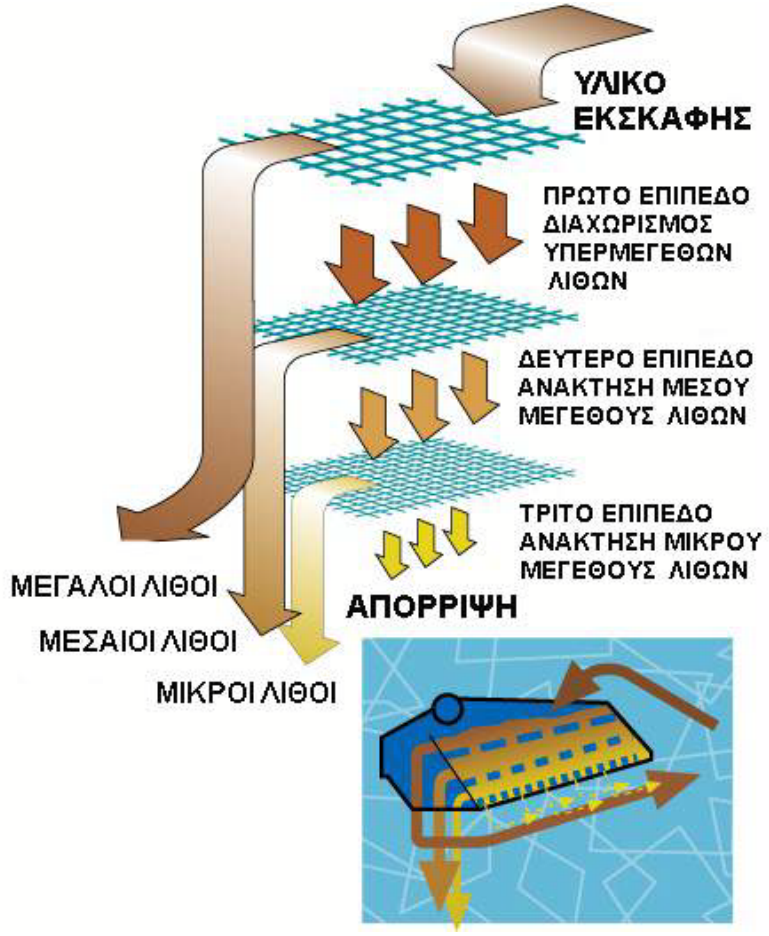
Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται σχηματικά η αλυσίδα εκσκαφής και η λειτουργία αφαίρεσης του σκύρου.



Διάταξη αλυσίδας για τον καθαρισμό έρματος.

Το υλικό που ανασκάφθηκε μεταφέρεται σε ειδικό χώρο του μηχανήματος καθαρισμού, όπου υπάρχουν δονητικά κόσκινα και εκεί διαχωρίζονται οι υπερμεγέθεις λίθοι και τα πολύ λεπτόκκοκα υλικά τα οποία και απορρίπτονται ή δίπλα στη γραμμή όπου αυτό είναι δυνατόν ή σε βαγόνια με μεταφορική ταινία. Οι λίθοι οι οποίοι είναι κατάλληλοι για το σιδηροδρομικό σκύρο αδειάζονται μέσα στη γραμμή.

Στο σχήμα και στη φωτογραφία που ακολουθούν φαίνεται η διαδικασία καθαρισμού έρματος, της διαλογής του και η απόρριψη του άχρηστου υλικού.



Διαδικασία διαλογής (κοσκινίσματος) ανασκαφέντος σκύρου και επαναχρησιμοποίηση ή/και απόρριψη ποσοτήτων.

Απόρριψη άχρηστου υλικού μετά τον καθαρισμό του έρματος.

Μηχανήματα κατασκευής, ευθυγράμμισης συγκολλήσεων

Οι συνεχώς συγκολλημένες σιδηροτροχιές (Σ.Σ.Σ) κατασκευάζονται ή με αλουμινοθερμική συγκόλληση ή με συγκόλληση βολταϊκού τόξου. Οι αλουμινοθερμικές συγκολλήσεις γίνονται με χειρωνακτική μέθοδο και δεν έχουν συνήθως την απαιτούμενη ποιότητα όσον αφορά την επιφάνεια κύλισης των σιδηροτροχιών. Υπάρχουν όμως βαρέα μηχανήματα γραμμής με κεφαλές, που προκαλούν βολταϊκό τόξο και συγκολλούν τις σιδηροτροχιές μεταξύ τους.

Και τα δύο είδη συγκολλήσεων απαιτούν λείανση και ευθυγράμμιση αμέσως μετά, ώστε η επιφάνεια κύλισης να μην παρουσιάζει τοπική ανωμαλία στις συγκολλήσεις.

Ελαφρά μηχανήματα

Τα ελαφρά συγκροτήματα μηχανικής υπογόμωσης (Jackson)

Η παράγραφος αυτή έχει ως σκοπό να καθορίσει, με πρακτικό τρόπο τη σειρά και τις λεπτομέρειες των επί μέρους εργασιών της ελαφριάς μηχανικής υπογόμωσης και να δώσει τις αναγκαίες επεξηγήσεις, που πρέπει να ξέρουν όσοι εργάζονται σ' αυτόν τον τομέα.

Τάξη διαδοχής των εργασιών

I. Αναζήτηση των περιοχών που θα γίνουν οι εργασίες
II. Προσδιορισμός επί τόπου των περιοχών που θα γίνουν οι εργασίες
III. Λήψεις των σημείων και μετρήσεις
IV. Ανύψωση της γραμμής
V. Υπογόμωση
VI. Επαλήθευση τής υψομετρικής θέσης και ενδεχόμενες διορθώσεις
VII. Σκέπασμα της γραμμής (τακτοποίηση του έρματος)
VIII. Οριζοντιογραφική τακτοποίηση
IX. Επαλήθευση τής οριζοντιογραφικής τακτοποίησης και ενδεχόμενες διορθώσεις
X. Επίβλεψη (παρακολούθηση)
XI. Ελεγχος

Λήψη των σημείων και μετρήσεις

1. Στην περίπτωση μικρών ζωνών (περιοχών) ο προσδιορισμός των υψηλών σημείων, είναι αρκετός.
2. Στην περίπτωση υπογόμωσης συνεχών μεγάλων ζωνών, πρέπει να ζητηθούν ενδιάμεσα υψηλά σημεία, δηλαδή θα γίνει:
(α) Αναζήτηση με το μάτι και στις δύο τροχιοσειρές των υψηλών σημείων σε όλη την ζώνη πού έχουμε προηγουμένως επισημάνει (προσδιορίσει).
(β) Μέτρηση των υπερυψώσεων σε κάθε υψηλό σημείο που καθορίστηκε έτσι.
(γ) Ορισμός της οδηγού τροχιοσειράς στην οποία θα τοποθετήσουμε τη διόπτρα και τη μοίρα.

Οργάνωση - Απόδοση

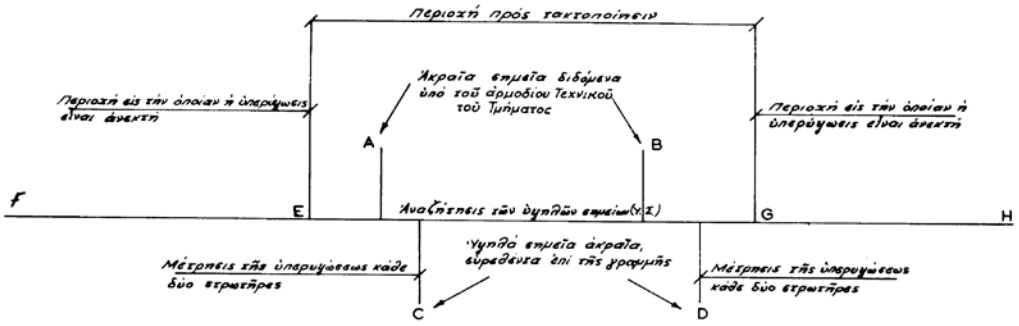
Το διάγραμμα οργάνωσης που καταρτίσθηκε, δεν αποτελεί παρά ένα παράδειγμα εφαρμόσιμο για ένα ορισμένο εργοτάξιο.

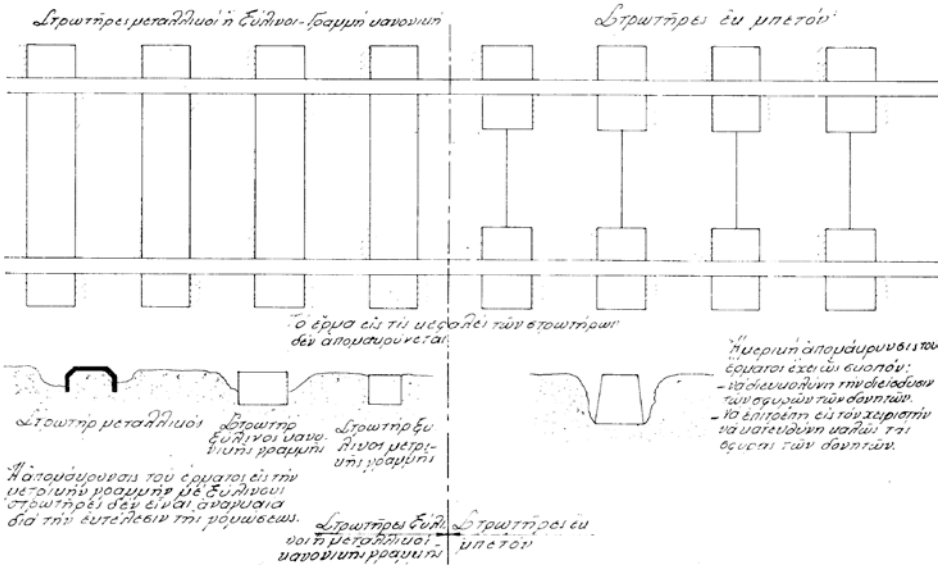
Απομένει στα στελέχη των τμημάτων γραμμής να μελετήσουν ένα διάγραμμα οργάνωσης για κάθε περιοχή τής γραμμής τους, λαμβάνοντας υπ' όψη τις τοπικές συνθήκες.

Απαιτούμενο προσωπικό:

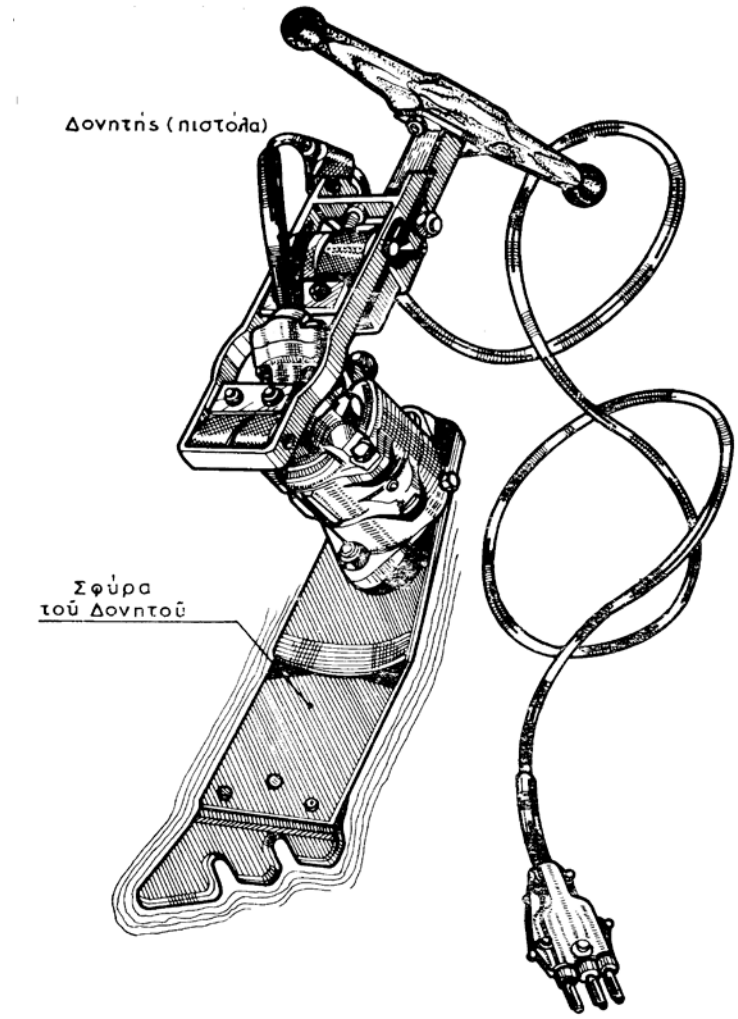
Ένας Αρχιεργάτης
Ένας Υπαρχιεργάτης
Τέσσερις Εργάτες για την υπογόμωση (μπουράρισμα)
Ένας Εργάτης για να εφοδιάζει με έρμα.

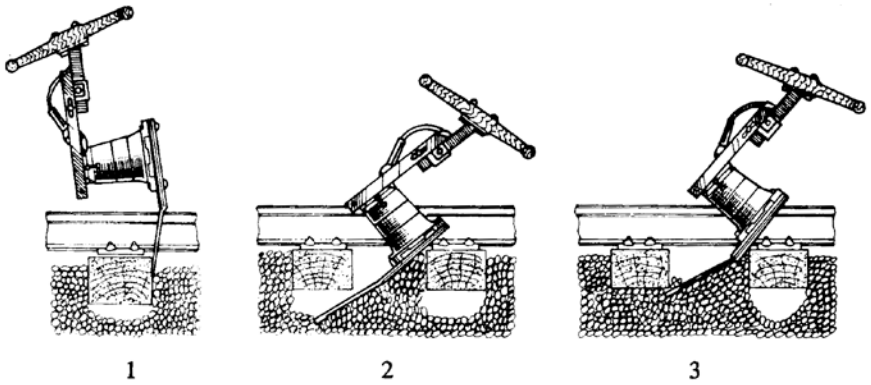
Δηλαδή *επτά* άτομα συνολικά συν το αναγκαίο προσωπικό ασφαλείας. Χρειάζονται όμως *πέντε,* συμπληρωματικά, άτομα, άν το μπουράρισμα είναι συνεχές σε μεγάλες περιόδους διακοπής της κυκλοφορίας (περιλαμβανομένων και αυτών της ασφάλειας).





Απόδοση: Μια ομάδα καλά εκπαιδευμένη και καλά οργανωμένη μπορεί να επιτύχει καλή ποιότητα εργασίας και να πραγματοποιήσει 100 έως 120 μέτρα, οριζοντιογραφικής-υψομετρικής τακτοποίησης ημερησίως, λαμβάνοντας ύπ' όψη τις πιθανές περιόδους διακοπής τής κυκλοφορίας που υφίστανται.





Τρόπος εργασίας του ελαφρού μηχανήματος υπογόμωσης

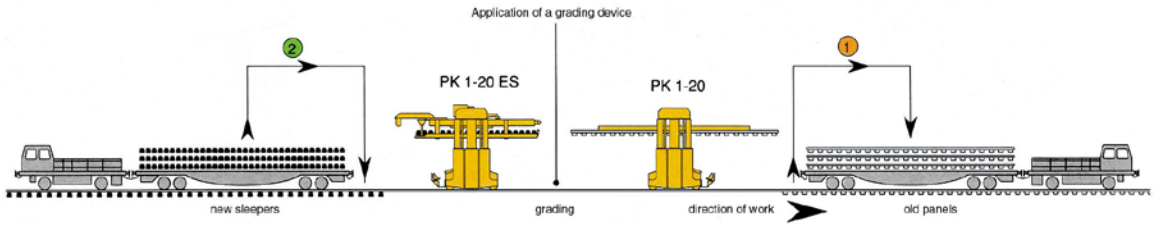
Βαρέα μηχανήματα στρώσης και ανακαίνισης γραμμής

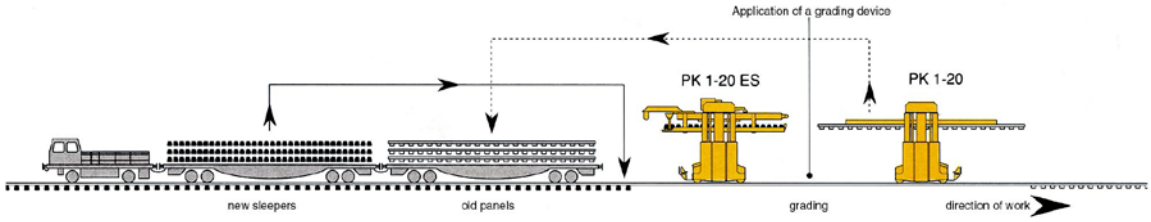
Μέθοδοι πλήρους ανακαίνισης γραμμής και στρώσης νέων

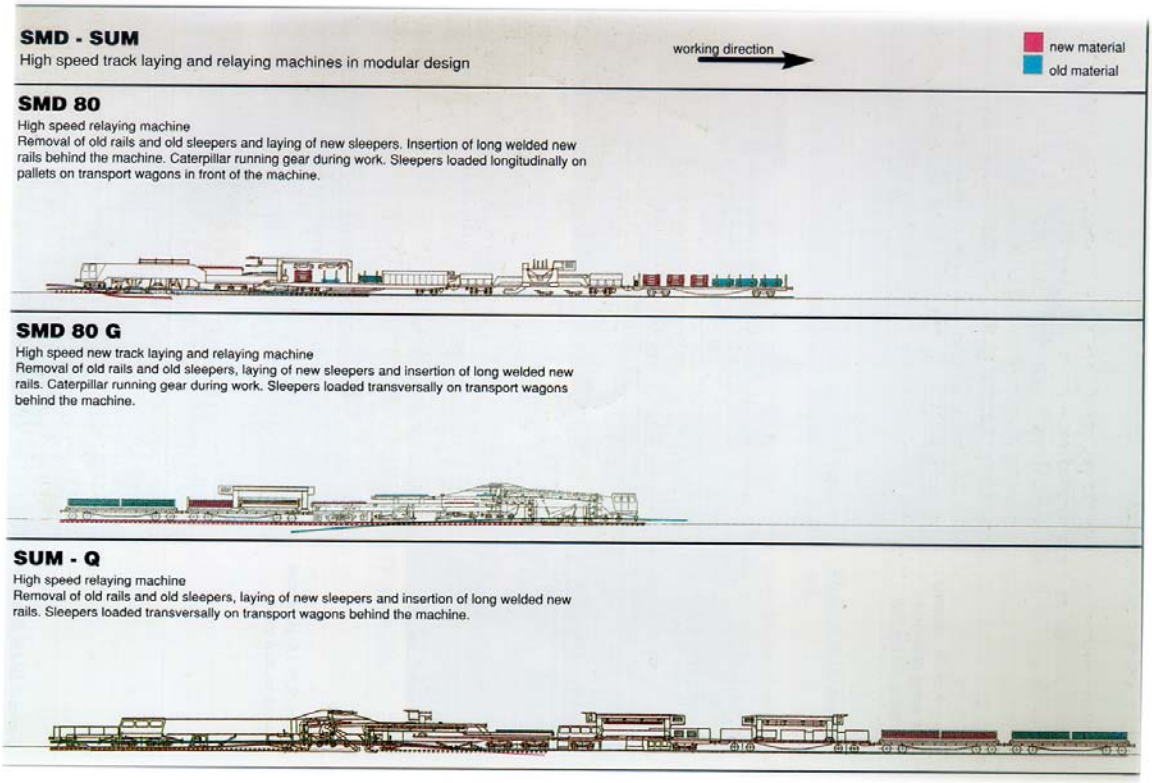
Υπάρχει μια σειρά μηχανημάτων για την πλήρη ανακαίνιση της επιδομής της γραμμής, δηλαδή αφαίρεση των παλαιών εσχαρών, απομάκρυνση του παλαιού σκύρου, επιδιόρθωση – πιθανά – της υποδομής, τοποθέτηση νέου σκύρου και στρώση νέων εσχαρών γραμμής. Στη συνέχεια ακολουθεί αμαξοστοιχία έργων με σκυροφόρα βαγόνια που αδειάζουν σκύρο, πέρασμα συρμού ρεγκαλέζας, μπουρέζας, σταμπιλιζάτορα, εκ νέου άδειασμα σκύρου κ.λπ. μέχρι να επιτευχθεί η τελική θέση της επιφάνειας κύλισης της σιδηροτροχιάς, οπότε γίνεται και η τελική υπογόμωση της γραμμής.

Για το θέμα αυτό υπάρχουν στη συνέχεια –σχηματικά- σειρά μηχανημάτων για την ανακαίνιση της γραμμής.

Είναι αξιοσημείωτο ότι μερικές εταιρείες έχουν αναπτύξει συρμούς οι οποίοι εκτελούν τις περισσότερες από τις παραπάνω εργασίες δηλαδή την αφαίρεση της παλαιάς επιδομής, την τοποθέτηση και συμπύκνωση άμμου ως στέψη του επιχώματος, την τοποθέτηση γαιοϋφάσματος, την τοποθέτηση στρωτήρων από σκυρόδεμα σε κανονικές αποστάσεις των 0,60 μέτρων, τοποθέτηση σιδηροτροχιών και τη σύσφιγξη τέλος των συνδέσμων.







Εχουν επίσης αναπτυχθεί μηχανήματα – συρμοί, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ή για ανακαίνιση υφιστάμενων γραμμών, ή για στρώση νέων.

Υπενθυμίζεται ότι η ανακαίνιση γραμμών είναι η απομάκρυνση της παλαιάς υποδομής και η στρώση νέας. Κατά την ανακαίνιση εκτελούνται όλες οι εργασίες της νέας επιδομής και επιπλέον η αποξήλωση της παλαιάς. Η κλασική μέθοδος είναι με πυλώνες όπως στα σχήματα της προηγούμενης σελίδας και στην παρακάτω φωτογραφία.

Τα νέα μηχανήματα – συρμοί εκτελούν:

- Απομάκρυνση της παλαιάς υποδομής
- Συλλογή των συνδέσμων με μαγνητικό τύμπανο και σύστημα μεταφοράς με ιμάντα

- Απομάκρυνση παλαιών στρωτήρων
- Διαμόρφωση έρματος (αντίστοιχο της ρεγκαλέζας), με έλεγχο του τελικού ύψους με laser, ώστε να παράγεται τέλεια νέα φέρουσα επιφάνεια για τους στρωτήρες
- Τοποθέτηση νέων στρωτήρων με μονάδα η οποία λειτουργεί εν κενώ, για προσεκτική μεταχείριση των νέων στρωτήρων, ώστε να μην προκαλούνται φθορές στους στρωτήρες σκυροδέματος
- Ευθυγράμμιση και τοποθέτηση σιδηροτροχιών
- Διαθέτουν επίσης γερανούς με δυνατότητα μεταφοράς είκοσι στρωτήρων από σκυρόδεμα

Επισημαίνεται ότι υπάρχουν μηχανήματα, τα οποία διαμορφώνουν την υποδομή, συμπυκνώνουν την άμμο στη στέψη του επιχώματος, τοποθετούν γαιοϋφασμα, κ.λπ.

Τα μηχανήματα αυτά είναι αυτοκινούμενα και η ταχύτητά τους είναι 100χλμ/ω, για πορεία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Γιαννακός Κωνσταντίνος, "Η διαλειτουργικότητα στον σιδηρόδρομο: ένα μοντέλο ανάπτυξης για τη ΝΑ. Ευρώπη", Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ./ Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, 2000

Γιαννακός Κωνσταντίνος, «Διαχείριση Σιδηροδρομικής Υποδομής», Εργασία που υποβλήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού μαθήματος «Μελέτη και Διαχείριση Οδικών έργων και Συγκοινωνιακής Υποδομής», για απόκτηση Διδακτορικού Διπλώματος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Συγκοινωνιών και Οργάνωσης, Θεσσαλονίκη, 1999.

Γιαννακός Κ., « Μηχανήματα Συντήρησης και Ανακαίνισης της Σιδηροδρομικής Επιδομής», ΕΜΠ/Τομέας Προγραμματισμού και Διαχείρισης Τεχνικών Εργων, για το μάθημα «Δομικές Μηχανές και κατασκευαστικές Μέθοδοι», του 7^{ου} εξαμήνου, Αθήνα, Μάϊος 1999.

Pandrol - Jackson, «Εγχειρίδια Μηχανημάτων Γραμμής", Μεγάλη Βρεταννία

Plassert & Theurer "Εγχειρίδια Μηχανημάτων Γραμμής», Αυστρία

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 8

Ηλεκτροκίνηση

ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗ

1. Ιστορικό

Η τεχνολογία που σχετίζεται με την ηλεκτρική τροφοδοσία σε σιδηροδρομικές εφαρμογές συνίσταται στην παροχή καλής ποιότητος ηλεκτρικού ρεύματος σε ηλεκτρικές μηχανές τροχαίου υλικού και αφορά στην μετατροπή της ενέργειας του κύριου δικτύου τροφοδοσίας στους υποσταθμούς, στα συστήματα τροφοδοσίας συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος και στις κατασκευές – υλικά – μετρήσεις – συντήρηση των εναέριων γραμμών επαφής. Η χρήση παντογράφου σε σιδηροδρομικές εφαρμογές χρονολογείται πάνω από 100 έτη και η αρχή λειτουργίας της ηλεκτροκίνησης παραμένει βασικά αναλλοίωτη στο πέρασμα του χρόνου. Παρόλα αυτά η οι τεχνολογικές εξελίξεις της τελευταίας δεκαπενταετίας οδήγησαν σε πολύ σημαντική αύξηση της χωρητικότητας του ρεύματος, της ταχύτητας των ηλεκτροκινούμενων συρμών (ηλεκτροκίνηση σε γραμμές υψηλών ταχυτήτων) και της ασφάλειας.

Η ιστορία της ηλεκτροκίνησης ξεκινά από το 1835 όταν ο T. Davenport ανακάλυψε ένα μοντέλο ηλεκτρικού οχήματος που τροφοδοτούταν με βολταϊκά κελιά και το οποίο, μετά από βελτιώσεις, έκανε την πρώτη δημόσια εμφάνισή του το έτος 1879 στο Βερολίνο. Δυο χρόνια αργότερα, το έτος 1881 η Siemens Halske κατασκεύασε τον πρώτο ηλεκτρικό σιδηρόδρομο στο Lichteferlde για επιβατικούς συρμούς. Η ηλεκτροκίνηση προτιμάται σε γραμμές που έχουν πολλές σήραγγες ή σε υπόγειο σιδηρόδρομο επειδή η αποδοτικότητα της ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλότερη από τις συμβατικές ντιζελοκίνητες μονάδες και δεν ενέχει θέματα καύσης επί του συρμού (μεγαλύτερη ασφάλεια έναντι πυρκαγιάς).

Στην αρχή χρησιμοποιήθηκαν συστήματα τροφοδοσίας συνεχούς ρεύματος τα οποία κινούσαν κινητήρες DC με υψηλή δύναμη έλξης και εύκολη διαχείριση της ταχύτητας κυκλοφορίας. Το σύστημα τροφοδοσίας των 3 kV DC χρησιμοποιήθηκε σε πολλές χώρες ενώ στην Ιαπωνία υιοθετήθηκε κυρίως το σύστημα τροφοδοσίας των 1,5 kV DC. Στην Ευρώπη αναπτύχθηκε το τριφασικό σύστημα τροφοδοσίας με το οποίο διοχετεύεται μια φάση στην εναέρια γραμμή επαφής, όπου μικρές συχνότητες όπως 25 Hz και 16,66 Hz εισήχθηκαν στην ηλεκτροκίνηση χωρών όπως η Αυστρία, Γερμανία κ.α. με σκοπό την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων στους ανορθωτές ρεύματος.
Οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος ανακαλύφθηκαν το 1883 από τον N. Τέσλα και το 1904 η Siemens πειραματιζόταν με την εφαρμογή ηλεκτροκίνησης με εναλλασσόμενο ρεύμα 15 kV /16 Hz στη γραμμή Murnau - Oberammergau της Βαυαρίας, που ήταν και η πρώτη ηλεκτροκινούμενη γραμμή με τροφοδοσία AC.
Η χρήση της βιομηχανικής συχνότητας των 50 Hz για ηλεκτροκίνηση 16 kV προτάθηκε από τον Kando στην Ουγγαρία πριν τον 2^{ο} Παγκόσμιο πόλεμο και μετά από επιτυχή πειράματα που διεξείχθησαν μετά τον πόλεμο, καθιερώθηκε η χρήση της συχνότητας στην Ευρωπαϊκή πολιτική που αφορά την ηλεκτροκίνηση.

Ο Hence το 1950 οδήγησε στην ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης των 25kV / 50Hz για την Γερμανία και την Γαλλία. Βρέθηκε λοιπόν ότι το σύστημα τροφοδοσίας των 25 kV είχε προτερήματα έναντι των συστημάτων τροφοδοσίας συνεχούς ρεύματος, αφού παρήγαγε περισσότερη ισχύ με μικρότερη ένταση ρεύματος, γεγονός που οδηγεί σε σημαντική

εξοικονόμηση ενέργειας και σε οικονομικότερο εξοπλισμό. Έτσι πολλές χώρες όπως η Φιλανδία, η Ρουμανία, η Βουλγαρία, η Δανία και η Ελλάδα υιοθέτησαν το σύστημα των 25kV/50 Hz ως το στάνταρ σύστημα τροφοδοσίας των κύριων ηλεκτροκινούμενων γραμμών. Η εξέλιξη της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών ισχύος στα τέλη της δεκαετίας του '60 οδήγησε στην υιοθέτηση συνήθων βιομηχανικών συχνοτήτων από χώρες όπως η Γαλλία κ.α. Το σύστημα των 25 kV AC εξαπλώθηκε ραγδαία στον κόσμο (πχ. η Ιαπωνία έχει ηλεκτροκίνηση 25 kV για την γραμμή Shinkansen και 20 kV για τις συμβατικές γραμμές).

Οι απαιτήσεις της ηλεκτροκίνησης αυξήθηκαν λόγω των απαιτήσεων ταχύτητας κυκλοφορίας και χωρητικότητας της γραμμής. Έτσι από την χρήση των απλών μετασχηματιστών (booster transformers) οδηγηθήκαμε στους αυτομετασχηματιστές (autotransformers). Η χρήση των αυτομετασχηματιστών [776] έχει γίνει ή γίνεται σήμερα στη Γαλλία (LGV γραμμές υψηλών ταχυτήτων), στην Βρετανία (WCML), στην Ουγγαρία (MAV γραμμές υψηλών ταχυτήτων), στην Ισπανία (AVE HSL), στη γραμμή Παρίσι – Βρυξέλες (HSL) και στη Ρωσία (γραμμή Vjazma – Orsha).

2. Γενική περιγραφή

2.1. Τα δύο υποσυστήματα της ηλεκτροκίνησης: Το κύκλωμα τροφοδοσίας και το κύκλωμα έλξης.

Σε αντίθεση με τη δηζελοκίνηση, όπου η ενέργεια που είναι απαραίτητη για την κίνηση του συρμού παράγεται μέσα στην ίδια τη δηζελάμαξα, στην ηλεκτροκίνηση η ενέργεια μεταφέρεται στην ηλεκτράμαξα από ένα εξωτερικό υποσύστημα που καλείται κύκλωμα τροφοδοσίας. Το κύκλωμα τροφοδοσίας εξασφαλίζει την απαραίτητη ενέργεια στο κύκλωμα έλξης για την κίνηση του συρμού.

2.1.1. Το κύκλωμα τροφοδοσίας

Το κύκλωμα τροφοδοσίας περιλαμβάνει:

- ***τους υποσταθμούς*** όπου γίνεται πτώση της τάσης και (σε ορισμένα συστήματα ηλεκτροκίνησης) μετασχηματισμός της συχνότητας του ηλεκτρικού ρεύματος ή ανόρθωση του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές.
- ***τις γραμμές μεταφοράς*** του ρεύματος από τους υποσταθμούς στις ηλεκτράμαξες.

Οι υποσταθμοί μπορούν να τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια:

- Είτε από το εθνικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης με συχνότητα 50 Hz για την Ευρώπη (60 Hz για τις ΗΠΑ).
- Είτε από ιδιαίτερο δίκτυο υψηλής τάσης, του οποίου η συχνότητα (συνήθως 16 2/3 Hz) είναι σημαντικά μικρότερη από τη συχνότητα του εθνικού δικτύου. Το ιδιαίτερο αυτό δίκτυο μπορεί να είναι συνδεμένο με το εθνικό δίκτυο, μπορεί όμως να είναι και αυτοτελές, να έχει δηλαδή δικούς του σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Έτσι κατά τη μελέτη ηλεκτροκίνησης μιας γραμμής (υφιστάμενης ή υπό κατασκευή) θα πρέπει πρώτα να εξετασθεί η γειτνίαση της σιδηροδρομικής γραμμής με το εθνικό δίκτυο

μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και η διαθεσιμότητα ενέργειας που μπορεί να έχει το εθνικό δίκτυο.

Η ηλεκτρική ενέργεια υψηλής τάσης του Εθνικού Δικτύου (220 KV 90 KV 63 KV) μετασχηματίζεται σε ειδικούς υποσταθμούς και διανέμεται σε μια γραμμή επαφής (εναέριο καλώδιο ή τρίτη σιδηροτροχιά). Τα κινητήρια οχήματα συλλέγουν με τη βοήθεια ειδικών κινητών διατάξεων (παντογράφοι βλ. Σχήμα 5.3.) την ενέργεια αυτή και τη μετατρέπουν εντός του οχήματος και με τη βοήθεια ειδικού ηλεκτρικού εξοπλισμού (πίνακες, μετασχηματιστές, ανορθωτές, κινητήρες), σε μηχανική ενέργεια για να εξασφαλίσουν την κίνηση των συρμών. Το ρεύμα επιστρέφει στους υποσταθμούς με τη βοήθεια συνήθως των σιδηροτροχιών κύλισης. Το ηλεκτρικό κύκλωμα έλξης δεν είναι επομένως σταθερό. Μεταβάλλεται ανάλογα με τη θέση και τον αριθμό των τρένων. Μπορεί να φτάσει, ανάλογα με την περίπτωση, 10, 20...50 km.

Στους υποσταθμούς, που, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, γίνεται μετατροπή των χαρακτηριστικών της ηλεκτρικής ενέργειας η οποία έχει μεταφερθεί από το εθνικό δίκτυο (μείωση της τάσης, μεταβολή της συχνότητας ή ανόρθωση του εναλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές) και η μετασχηματισμένη πλέον ενέργεια μεταφέρεται με τη γραμμή μεταφοράς προς τα οχήματα. Η απόσταση μεταξύ υποσταθμών ποικίλλει μεταξύ 10-70 km και εξαρτάται πρώτα από το σύστημα ηλεκτροκίνησης και κατά δεύτερο λόγο από το φόρτο κυκλοφορίας της γραμμής.

Η γραμμή μεταφοράς από τους υποσταθμούς στα οχήματα είναι κατά κανόνα μονοφασική. Η μεταφορά του ρεύματος στις ηλεκτράμαξες μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

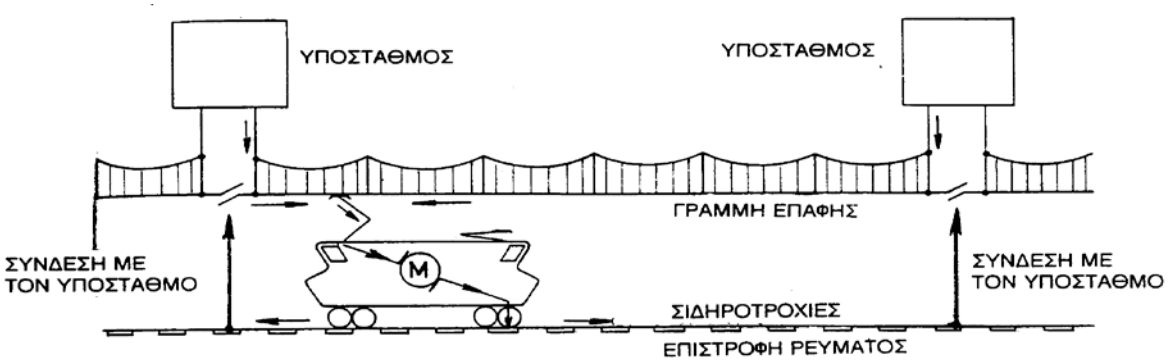
- **Εναέρια γραμμή**, που χρησιμοποιείται σε υπεραστικούς και (ορισμένες φορές) σε αστικούς σιδηροδρόμους και μητροπολιτικούς σιδηροδρόμους.
- **Τρίτη σιδηροτροχιά,** που χρησιμοποιείται σε μητροπολιτικούς και (ορισμένες φορές) σε αστικούς σιδηροδρόμους.

Η επιστροφή του ρεύματος γίνεται μέσω των σιδηροτροχιών. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε η μία είτε και οι δύο σιδηροτροχιές.

Η γραμμή επαφής αποτελείται από τα εξής δύο κύρια μέρη:

- Την αλυσσοειδή, η οποία περιλαμβάνει τον αγωγό επαφής (ή γραμμή μεταφοράς), το φέρον καλώδιο και τους αναρτήρες
- Τον εξοπλισμό ανάρτησης, ο οποίος περιλαμβάνει τις κονσόλες, τους αντιταλαντωτές, τους μονωτήρες, του βραχίονες επαναφοράς και τους στύλους θεμελίωσης.

Οι στύλοι θεμελίωσης κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα ή μέταλλο.



Σχήμα. 1. Διάταξη Ηλεκτροκίνησης [Γιαννακός, 1999]

Η γραμμή επαφής πρέπει να πληρεί τις παρακάτω προϋποθέσεις:

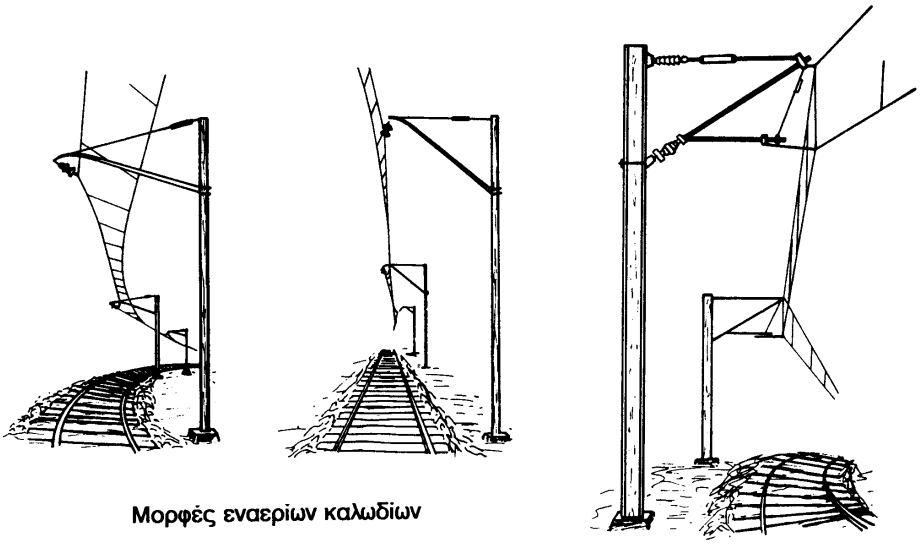
- Συνεχής επαφή παντογράφου - φέροντος καλωδίου, για όλες τις προβλεπόμενες ταχύτητες κυκλοφορίας και ανεξάρτητα από τις μετεωρολογικές συνθήκες. Σε αυτό συντελεί και η καλή ποιότητα του παντογράφου ως επίσης και η σταθερότητα της γραμμής.
- Καλή ηλεκτρική μόνωση ως προς το έλκον και ελκόμενο τροχαίο υλικό και ως προς τις γειτονικές προς τη γραμμή εγκαταστάσεις.
- Μεγάλη σχετικά διάρκεια ζωής.

2.1.2. Το κύκλωμα έλξης

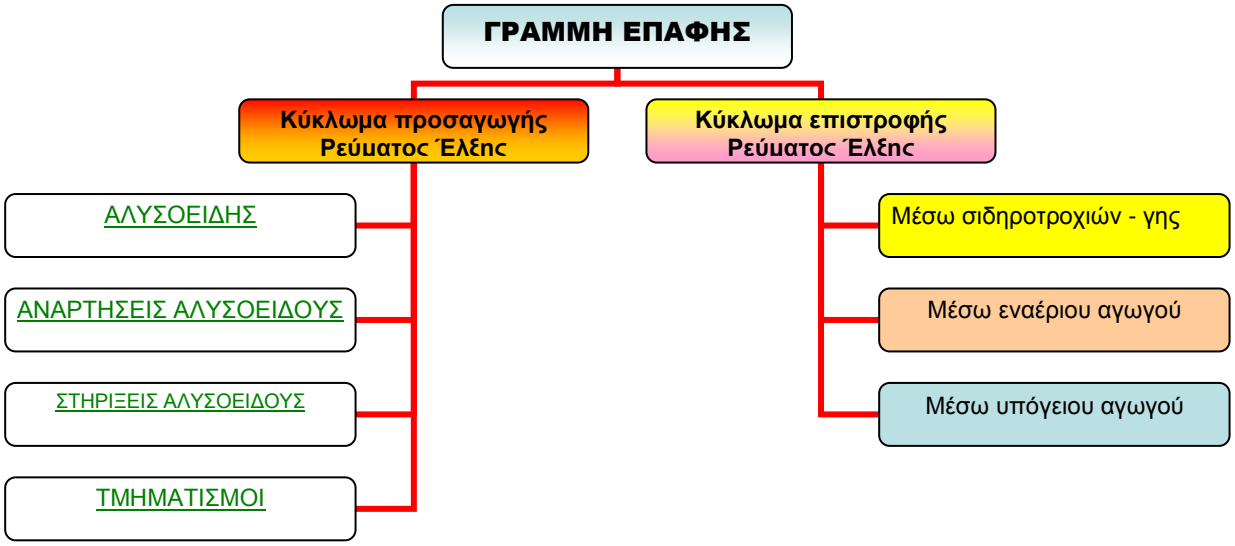
Το κύκλωμα έλξης περιλαμβάνει τις ηλεκτράμαξες με όλες τις διατάξεις που βρίσκονται πάνω σε αυτές. Στο κύκλωμα αυτό γίνεται μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική, η οποία και χρησιμοποιείται για την κίνηση των συρμών.
Στην περίπτωση εναέριας γραμμής μεταφοράς, το ρεύμα μεταφέρεται από αυτήν στο όχημα μέσω του παντογράφου.

2.1.3. Οι απαιτήσεις των δύο επιμέρους υποσυστημάτων

Τα δύο προηγούμενα υποσυστήματα έχουν διαφορετικές απαιτήσεις και ανάλογα με την προτεραιότητα που δίνεται στη μεταφορά της ενέργειας (κύκλωμα τροφοδοσίας) ή στη χρήση της ενέργειας (κύκλωμα έλξης) έχουν αναπτυχθεί τα διάφορα συστήματα ηλεκτροκίνησης.



Σχήμα 2: Σταθερές εγκαταστάσεις ηλεκτροκίνησης, μορφές εναέριων καλωδίων [Γιαννακός, 1999]



Σχήμα 3: Τα τμήματα που συνθέτουν τη γραμμή επαφής

3. Το κύκλωμα τροφοδοσίας

3.1. Γραμμή Επαφής

Με τον όρο γραμμή επαφής εννοούνται όλες εκείνες οι κατασκευές – εγκαταστάσεις οι οποίες επιτρέπουν σε ένα ηλεκτροκινούμενο συρμό να οδεύει επί γραμμής με τη χρήση παντογράφου (ηλεκτροκίνηση ΟΣΕ ή ΤΡΑΜ) ή τρίτης ράβδου (contact rail – ηλεκτροκίνηση τύπου ΜΕΤΡΟ) και περιλαμβάνει το κύκλωμα προσαγωγής του ρεύματος έλξης και το κύκλωμα επιστροφής του ρεύματος έλξης.

Στο ακόλουθο διάγραμμα (Σχήμα 3) δίδονται σχηματικά τα τμήματα που συνθέτουν την Γραμμή Επαφής για ηλεκτροκίνηση με εναέρια γραμμή επαφής.

Η γραμμή επαφής οφείλει να εξασφαλίζει την τροφοδότηση με ηλεκτρική ενέργεια των μηχανών και των ηλεκτροκίνητων συνθέσεων, με μια καλή λήψη ρεύματος υπό φυσιολογικές συνθήκες.

Η **αλυσοειδής** (εναέρια γραμμή επαφής) περιλαμβάνει τον αγωγό επαφής, το φέρον καλώδιο, αναρτήρες, βοηθητικά καλώδια, συσκευές τάνυσης, μονωτήρες ηλεκτρικές συνδέσεις κλπ.

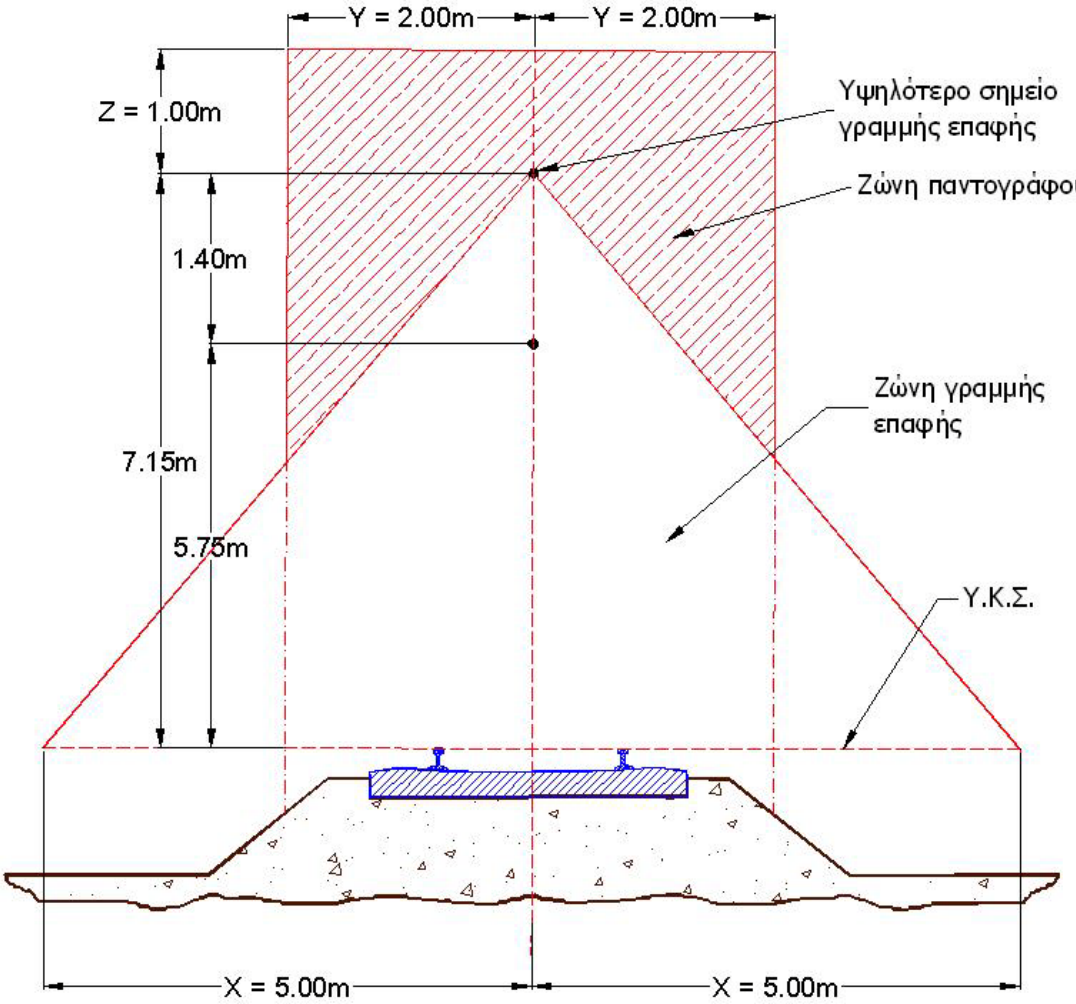
Οι **εξοπλισμοί αναρτήσεως της αλυσοειδούς** περιλαμβάνουν κονσόλες, μονωτήρες, αρπάγες, οπλισμοί στήριξης κλπ.

Οι **εξοπλισμοί στηρίσεως της αλυσοειδούς** περιλαμβάνουν στύλους, θεμέλια, αγκυρώσεις, πλαίσια, έδρες κλπ.

Οι **εξοπλισμοί ηλεκτρικού διαχωρισμού (τμηματοποιήσεις)** περιλαμβάνουν Διακόπτες, Αποζεύκτες, συσκευές τηλεχειρισμού, RTU, διατάξεις προστασίας (αλεξικέραυνα), ηλεκτρικές συνδέσεις κατανομής και συνεχείας κλπ.

Το κύκλωμα επιστροφής του ρεύματος έλξης υλοποιείται μέσω του κυκλώματος σιδηροτροχιά – γη και με τη χρήση συλλεκτήριου εναέριου αγωγού (αγωγός γης).

Για τη λειτουργία της ηλεκτροκινούμενης γραμμής απαιτείται η λήψη μέτρων προστασίας πέριξ της γραμμής σύμφωνα με τα πρότυπα, τόσο σε περιπτώσεις βραχυκυκλώματος αλλά και για την προστασία έναντι βηματικών τάσεων. Η Ζώνη Επικινδυνότητας απεικονίζεται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4 : Ζώνη Επικινδυνότητας

Όλα τα μεταλλικά αντικείμενα που βρίσκονται εντός της περιοχής που ορίζεται από τη ζώνη επικινδυνότητας (πχ. περιφράξεις, στύλοι φωτισμού κλπ) θα πρέπει να προστατεύονται ηλεκτρικά, δηλαδή να συνδέονται με το κύκλωμα επιστροφής (με τη σιδηροτροχιά ή με το συλλεκτήριο αγωγό).

3.2. Συστήματα τροφοδοσίας

Το συνολικό μήκος των σιδηροδρομικών γραμμών στην Ευρώπη, συμπεριλαμβανομένης της Ρωσίας και της Τουρκίας είναι πάνω από 350.000 km μονής γραμμής ενώ σύμφωνα με στοιχεία της UIC (έτος 2000) οι ηλεκτροκινούμενες γραμμές είναι περίπου 150.000 km, δηλαδή περίπου 40 % του συνόλου των γραμμών. Η στάθμη της τάσης τροφοδοσίας των συστημάτων ηλεκτροκίνησης έχει καθοριστεί από Ευρωπαϊκά Πρότυπα και συγκεκριμένα το EN 50163. Η συντριπτική πλειοψηφία των τάσεων τροφοδοσίας που χρησιμοποιούνται για ηλεκτροκίνηση των συρμών είναι οι ακόλουθες :

- 1500 V συνεχές
- 3000 V συνεχές

- 15 kV / 16 2/3 Hz
- 25 kV / 50 Hz

Στην Μ. Βρετανία ένα μέρος του ηλεκτροκινούμενου σιδηροδρομικού δικτύου τροφοδοτείται με 750 V συνεχές μέσω ηλεκτροφόρου ράβδου. Το συνολικό δίκτυο των 1,5 kV DC που υφίσταται κυρίως στη Γαλλία, Ισπανία, Ολλανδία και Τσεχία αντιπροσωπεύει τα 20.000 km ενώ το δίκτυο των 3 kV DC είναι σημαντικά μεγαλύτερο αφού αντιστοιχεί σε 80.000 km περίπου.

Τα συστήματα τροφοδοσίας της γραμμής επαφής διακρίνονται στις ακόλουθες βασικές κατηγορίες :

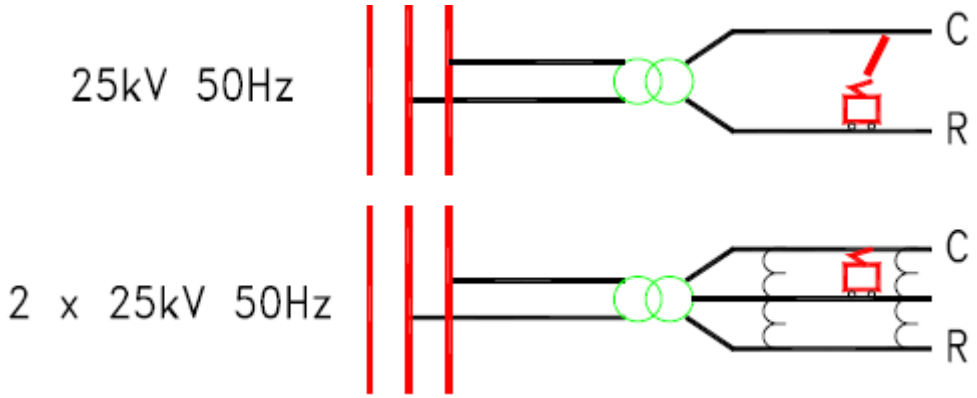
- Συστήματα συνεχούς ρεύματος (DC feeding system)
- Συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος (AC feeding system)
- BT feeding system (κύκλωμα επιστροφής)
- AT feeding system (κύκλωμα επιστροφής)
- Coaxial cable feeding system (κύκλωμα επιστροφής)

Για την επιστροφή του ρεύματος έλξης τα σιδηροδρομικά δίκτυα που χρησιμοποιούν εναλλασσόμενο ρεύμα έχουν υιοθετήσει διάφορους τρόπους για την επιστροφή του ρεύματος έλξης, δηλαδή μέσω σιδηροτροχιών μόνο ή μέσω σιδηροτροχιών και εναέριου αγωγού επαφής, ή μέσω μετασχηματιστών booster ή μέσω αυτομετασχηματιστών.

Έχουν γίνει διεθνώς προσπάθειες ώστε να εισαχθούν νέες γενιές σιδηροδρομικών ηλεκτροκινούμενων οχημάτων με λιγότερο βάρος (χρήση νέων υλικών υψηλής τεχνολογίας) αποσκοπώντας στην εξοικονόμηση ενέργειας. Τα οχήματα αυτά είναι σχεδιασμένα ώστε να μετατρέπουν την κινητική ενέργεια που υπάρχει κατά τη διάρκεια της επιβράδυνσης σε ηλεκτρική, η οποία ενέργεια επιστρέφει στη γραμμή επαφής. Παρόλα αυτά η αναπαραγόμενη αυτή ενέργεια μπορεί να απολεσθεί αν δεν υπάρχουν άλλα οχήματα για να την χρησιμοποιήσουν.

Τα συστήματα τροφοδοσίας με εναλλασσόμενο ρεύμα χρησιμοποιούνται επίσης στην λειτουργία του «υποσυστήματος» της ηλεκτροκίνησης. Από τη στιγμή που οι τρεις φάσεις μετατρέπονται σε δυο από τον υποσταθμό, για να διασφαλιστεί ότι το ρεύμα είναι όσο κοντά γίνεται στην πλευρά των τριών γραμμών μεταφοράς του τριφασικού, μια ξεχωριστή φάση τροφοδοτεί κάθε μια εναέρια και υπόγεια γραμμή.

Στην Γαλλία χρησιμοποιείται τροφοδοσία 25 kV (Υ/Σ των 16 MW σε αποστάσεις από 40 έως 50 Km) και 2 X 25 kV, στα 50 Hz (Υ/Σ των 45 MW σε αποστάσεις από 50 έως 90 Km ανάλογα με την ταχύτητα) όπως φαίνεται στο Σχήμα 5. Για την τροφοδοσία των 25 kV χρησιμοποιούνται συνολικά 152 Υ/Σ από 10 έως 60 MVA.



Σχήμα 5: σχηματική παράσταση τροφοδοσίας στο ηλεκτροκίνητο δίκτυο της Γαλλίας

Πίνακας 1:

Παγκόσμια ηλεκτρικά σιδηροδρομικά συστήματα τροφοδοσίας και ηλεκτροκινούμενες αποστάσεις (1996)							
Τύπος συστήματος			Ιαπωνία 1		Κόσμος (με Ιαπωνία)		
			km	%	km	%	Κύριες χώρες
DC	Λιγότερο από 1,500 V		915	5	5,106	2	Γερμανία, Ην.Βασίλειο, Ελβετία, ΗΠΑ
	1,500 ως 3,000 V (συνήθως 1,500 V)		10.484	61	22.138	9	Γαλλία, Ισπανία, Ολλανδία, Αυστραλία
	3,000 V ή περισσότερα (συνήθως 3,000 V)				78.276	33	Ρωσία, Πολωνία, Ιταλία, Ισπανία, Ν.Αφρική
Μονοφασικό AC	50 Hz , 60 Hz	Λιγότερο από 20 kV			245	0	Γαλλία, ΗΠΑ
		20 kV	3.741	22	3,741	2	
		25 kV	2.037	12	84,376	36	Ρωσία, Γαλλία, Ρουμανία, Ινδία, Κίνα
		50 kV			1.173	0	ΗΠΑ, Καναδάς, Ν.Αφρική
	25 Hz , 11 kV ως 13 kV				1.469	1	ΗΠΑ, Αυστρία, Νορβηγία
	16.66 Hz	11 kV			120	0	Ελβετία
		15 kV			35.461	15	Γερμανία, Σουηδία, Ελβετία
Τριφασικό AC					43	0	Ελβετία, Γαλλία
Άγνωστο					3.668	2	Καζακστάν 2, Γαλλία
Σύνολο					235.816	100	

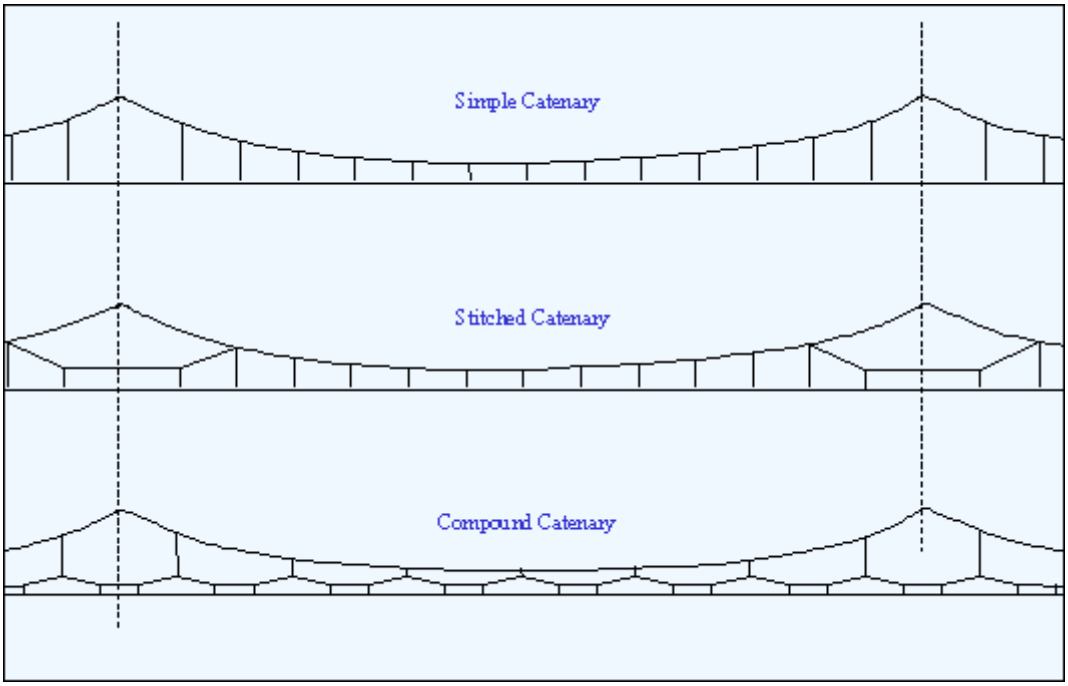
Σημειώσεις : 1 Τα στατιστικά στοιχεία περιλαμβάνουν τον ιαπωνικό υπόγειο και τα AGT.
2 Το Καζακστάν είναι 3,528 km (3.000 V dc και 50 Hz 25 kV ac) αλλά δεν είναι γνωστές οι λεπτομέρειες.

Πηγές : 1) Railway Electrical Engineering Association of Japan, vol.8, no.10, pp.3-5 Oct.1997
2) ως άνω, vol.8, no.11, pp 77-78 and 81-83, Nov.1997

Στον πίνακα 1 διακρίνονται τα διάφορα συστήματα τροφοδοσίας γραμμών επαφής που βρίσκονται σε λειτουργία περί την υφήλιο καθώς και οι αποστάσεις των γραμμών που τροφοδοτούνται σε κάθε περίπτωση.

3.3. Η εναέρια γραμμή επαφής

Στην Ευρώπη χρησιμοποιείται για την ηλεκτροκίνηση (εναέρια γραμμή επαφής) η απλή αλυσοειδής με έναν αγωγό επαφής ενώ εξαίρεση αποτελεί η Ιταλία στην οποία εφαρμόζεται διπλός αγωγός επαφής με ηλεκτροδότηση 3 kV συνεχούς ρεύματος. Στην Ιαπωνία ο εξοπλισμός της γραμμής επαφής περιλαμβάνει τρεις αγωγούς (γραμμή Shinkansen).
Γενικά η αλυσοειδής γραμμή επαφής, ως προς τη μορφή της, διακρίνεται σε τρεις βασικές κατηγορίες : α) στην **απλή αλυσοειδή** (simple catenary), β) στην **αλυσοειδή με ανάρτηση «Υ»** (Stitched catenary) και γ) στην **σύνθετη αλυσοειδή** (compound catenary), όπως διακρίνεται στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 6). Η μορφή της αλυσοειδούς συσχετίζεται με τις απαιτήσεις σχεδιασμού του δικτύου (εμφανιζόμενα βέλη, διεπαφή παντογράφου – καλωδίου, απαιτήσεις συντήρησης κλπ.)

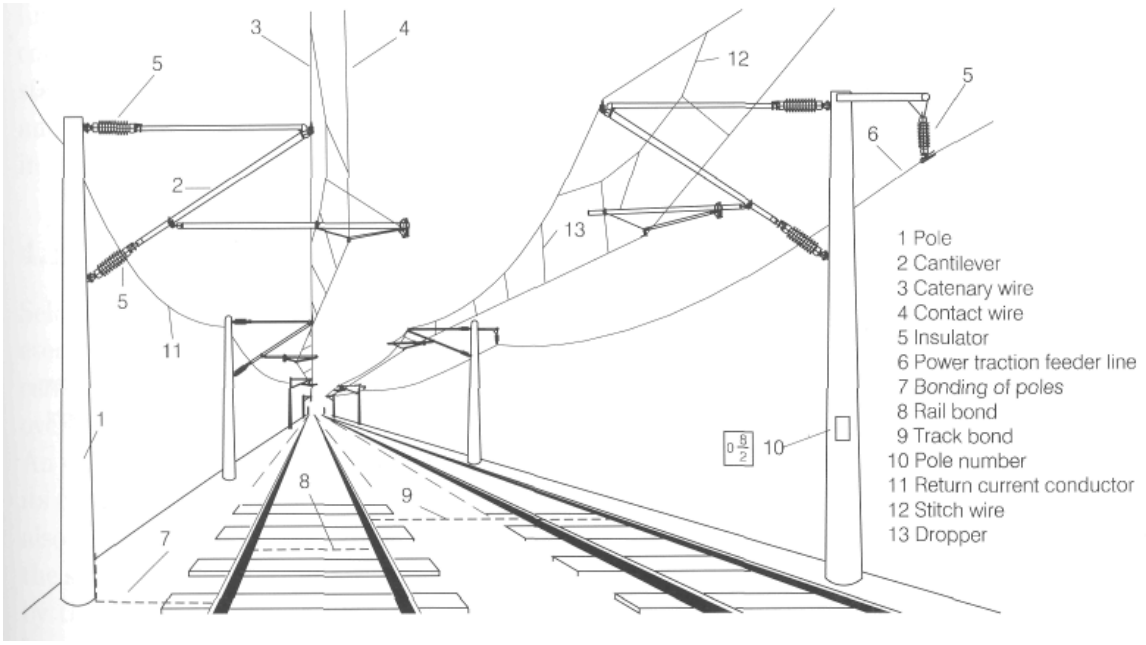


Σχήμα 6. Τύποι αλυσοειδούς γραμμής επαφής.

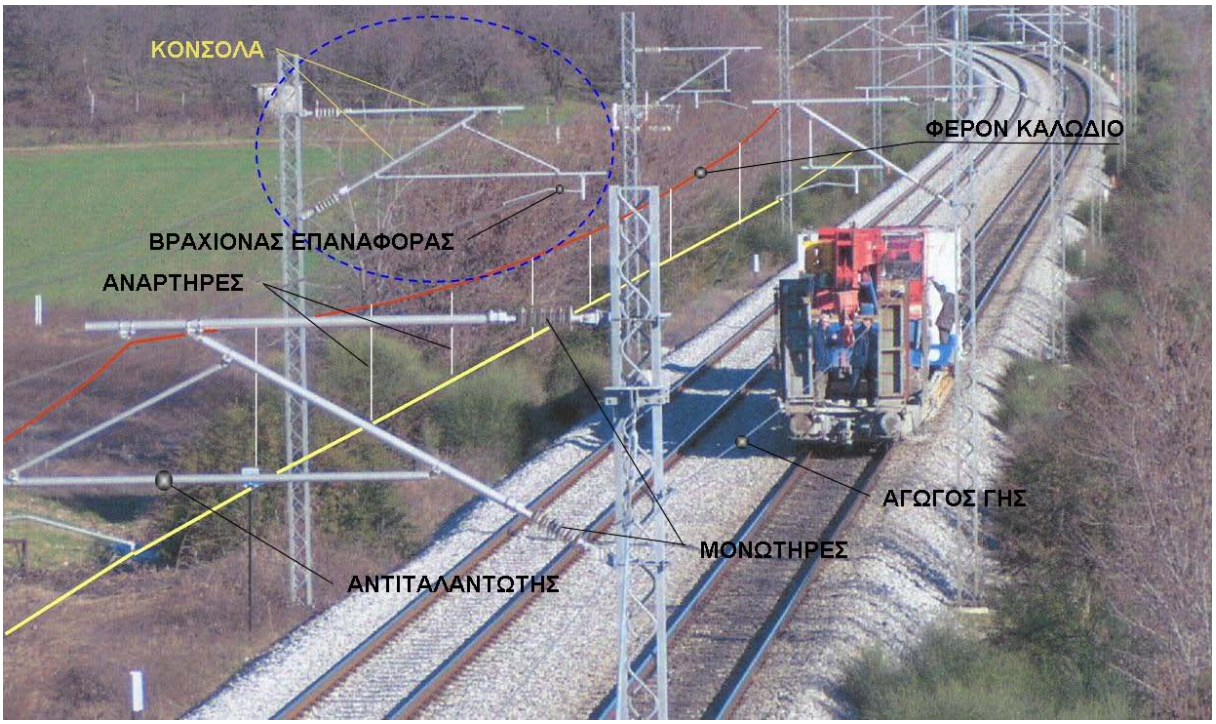
Τα συστήματα της σύνθετης αλυσοειδούς έχουν το πλεονέκτημα της ανάπτυξης μικρότερων κατακόρυφων κινήσεων του παντογράφου και προσδίδουν μεγαλύτερη χωρητικότητα ρεύματος στο σύστημα αλλά απαιτούν πολύπλοκο σχεδιασμό γενικά.
Στην Ευρώπη εφαρμόζεται ως κατασκευαστική τεχνική η ύπαρξη αρχικών βελών (pre-sag) στην απόσταση ενός ανοίγματος αλυσοειδούς ως αντιστάθμισμα της μεγάλης σχετικά κατακόρυφης κίνησης του παντογράφου στα απλά συστήματα αλυσοειδούς. Η ύπαρξη των συγκεκριμένων βελών αναφέρονται ως ειδικό χαρακτηριστικό του σχεδιασμού και η επιβαλλόμενη τιμή του βέλους στο μέσον του ανοίγματος ορίζεται στο 1/1000 του μήκους

της φέρουσας απόστασης για ταχύτητες ως 230 χ.α.ω. Γενικά σε πραγματικές συνθήκες κατασκευής το αρχικό βέλος του αγωγού επαφής κυμαίνεται από 20 έως 30 χιλιοστά. Η κατασκευή αυτή είναι αποτελεσματική στις ηλεκτροκινούμενες γραμμές υψηλών ταχυτήτων της Γαλλίας και Γερμανίας όπου η αλυσοειδής κατασκευάζεται με μεγάλες φέρουσες αποστάσεις ενώ είναι λιγότερο αποτελεσματική τεχνική σε εναέριες γραμμές που είναι κατασκευασμένες με μικρές φέρουσες αποστάσεις όπως η Ιταλική γραμμή υψηλών ταχυτήτων και η γραμμή Shinkansen στην Ιαπωνία.

Στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 7) απεικονίζονται χαρακτηριστικά στοιχεία που συνθέτουν την γραμμή επαφής και εφαρμόζονται για ηλεκτροκίνηση κύριων γραμμών σε όλες τις συνηθισμένες τάσεις τροφοδοσίας. Βέβαια ως προς τις κονσόλες και τους στύλους - πλαίσια χρησιμοποιούνται ποικίλοι τύποι.



Σχήμα 7 : σχέδιο αλυσοειδούς γραμμής επαφής.



Σχήμα 8. σχηματική παράσταση εναέριας γραμμής επαφής (απλή αλυσοειδής).

Στο σχήμα 7 απεικονίζονται σχηματικά :
[1] : Στύλοι ηλεκτροκίνησης (pole) , [2] : Κονσόλες (Cantilever), [3] : Φέρον καλώδιο (catenary wire), [4] : Αγωγός επαφής (contact wire), [5] : Μονωτήρες (Insulators), [6] Εναέριος αγωγός τροφοδοσίας (Power traction feeder line), [7] : Σύνδεση στη σιδηροτροχιά (Bonding of poles), [8] : Ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ των σιδ/χιών (Rail bond), [9] : Ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ των γραμμών (track bond), [10] : Αριθμός στύλου ηλεκτροκίνησης με πόντα (Pole number), [11] : Αγωγός γης (return current conductor), [12] : Βοηθητικό καλώδιο (Stitch wire), [13] : Αναρτήρας (dropper).

3.4. Αλυσοειδής γραμμή επαφής.

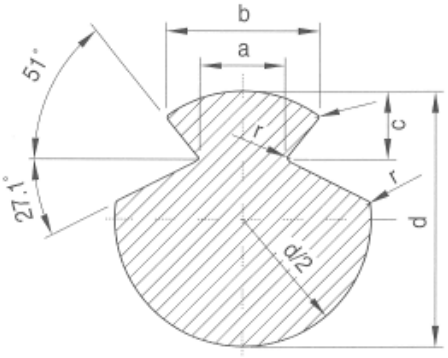
Στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 8) απεικονίζονται οι βασικές κατασκευές που συνθέτουν την αλυσοειδή.

Διακρίνονται οι κονσόλες που αναρτούν την αλυσοειδή με όλα τα στοιχεία που τις συνθέτουν, το φέρον καλώδιο που αναρτά τον αγωγό επαφής, οι αναρτήρες, ο αγωγός επαφής, ο αγωγός γης κλπ.

3.4.1. Περί υλικών αλυσοειδούς

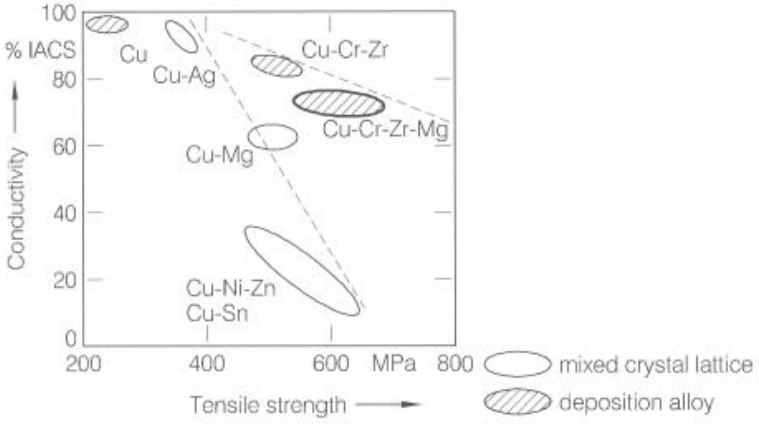
Οι αγωγοί της Γ.Ε. που χρησιμοποιούνται σε ηλεκτροκινούμενες γραμμές υψηλών ταχυτήτων παρουσιάζουν ειδικό προφίλ, δηλαδή έχουν αυλάκωση σε κάθε πλευρά του άνω τμήματός τους για να επιτρέπουν τη στερέωσή τους με ειδικό εξοπλισμό. Οι διατομές που προτιμώνται είναι συνήθως της διατομής που φαίνεται στο Σχήμα 9 και επιλέγονται με κριτήριο την

ένταση του διερχόμενου ρεύματος, τη σταθερότητα της τάσης τροφοδοσίας και τις δυνάμεις που προβλέπεται να εφαρμοστούν πάνω στον αγωγό.



Σχήμα 9 : τυπική διατομή αγωγού επαφής

Χάρη στην υψηλή αγωγιμότητά τους, την μεγάλη εφελκυστική αντοχή και τη σκληρότητα, καθώς επίσης στη δυνατότητά τους να αντέχουν σε θερμοκρασιακές μεταβολές καθώς και στη διάβρωση, ο σκληρός ηλεκτρολυτικός χαλκός και τα κράματα χαλκού είναι τα βασικά υλικά κατασκευής των αγωγών. Κατά την έκθεση στον αέρα, ο χαλκός διαμορφώνει στην επιφάνειά του ένα σκληρό αλλά αγώγιμο στρώμα οξειδίων που δεν αποτρέπει τη ροή το ρεύματος. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο ο χαλκός, σε αντιδιαστολή με το αλουμίνιο, που διαμορφώνει ένα στρώμα οξειδίων φτωχής αγωγιμότητας, είναι κατάλληλος ως υλικό για τις επιφάνειες επαφής. Όλες οι προσπάθειες να χρησιμοποιηθεί το αλουμίνιο ως υλικό αγωγού επαφής έχουν αποτύχει. Κράματα με πρόσθετες ουσίες όπως ο άργυρος (0.1%) ή μαγνήσιο (0.5%) χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση των μηχανικών ή θερμικών ιδιοτήτων των καλωδίων χαλκού, επιτρέποντας έτσι την ανάληψη μεγαλύτερων εφελκυστικών δυνάμεων. Αυτές οι ιδιότητες είναι ιδιαίτερα σημαντικές για την χρήση των αγωγών σε ηλεκτροκινούμενες γραμμές υψηλών ταχυτήτων. Εκτός από τον άργυρο, όλα τα υπόλοιπα μέταλλα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κραμάτωση μειώνουν την αγωγιμότητα του υλικού (βλ. Σχήμα 10).



Σχήμα 10: Αγωγιμότητα σε σχάση με την εφελκυστική αντοχή και τη σύνθεση του κράματος

Στο Σχήμα 11 απεικονίζονται πολύκλωνοι αγωγοί που χρησιμοποιούνται ευρέως στην ηλεκτροκίνηση ως καλώδια ανάρτησης, εφαρμογής δυνάμεων τάνυσης καθώς και ως ηλεκτρικοί αγωγοί. Κράμα επεξεργασμένου χαλκού (CuMg0,5), αποκαλούμενο επίσης και ως Bz II, χρησιμοποιείται ευρέως στην κεντρική Ευρώπη, όπου η πλειοψηφία των καλωδίων των αλυσοειδών, τα καλώδια ανάρτησης και οι αναρτήρες φέρουν υψηλά μηχανικά και ηλεκτρικά φορτία.

Σχήμα 11 : Πολύκλωνοι αγωγοί

Μέχρι τώρα δεν υπάρχει κάποιο ευρωπαϊκό πρότυπο για τους αγωγούς από χαλκό., επομένως ισχύουν τα εθνικά πρότυπα.

Για τον **αγωγό επαφής** το μόνο υλικό που χρησιμοποιείται είναι ο **σκληρός ηλεκτρολυτικός χαλκός**, λόγω των ηλεκτρικών και μηχανικών ιδιοτήτων του.
Οι διατομές που χρησιμοποιούνται είναι 150 mm^2, 120 mm^2 , 107 mm^2 , 100 mm^2 για κύριες γραμμές και 80 mm^2 για δευτερεύουσες γραμμές και εντός σταθμών. Για τη μονοσυρμάτινη ανάρτηση (τύπου ΤΡΑΜ) χρησιμοποιείται συνήθως η διατομή των 150 mm^2.

Το καλώδιο το οποίο φέρει τις αναρτήσεις της αλυσοειδούς (**φέρον καλώδιο**) πρέπει να εξασφαλίζει :

- μια σημαντική συμμετοχή στην κυκλοφορία του ρεύματος
- μια καλή μηχανική αντίσταση
- μια καλή αντίσταση στη διάβρωση

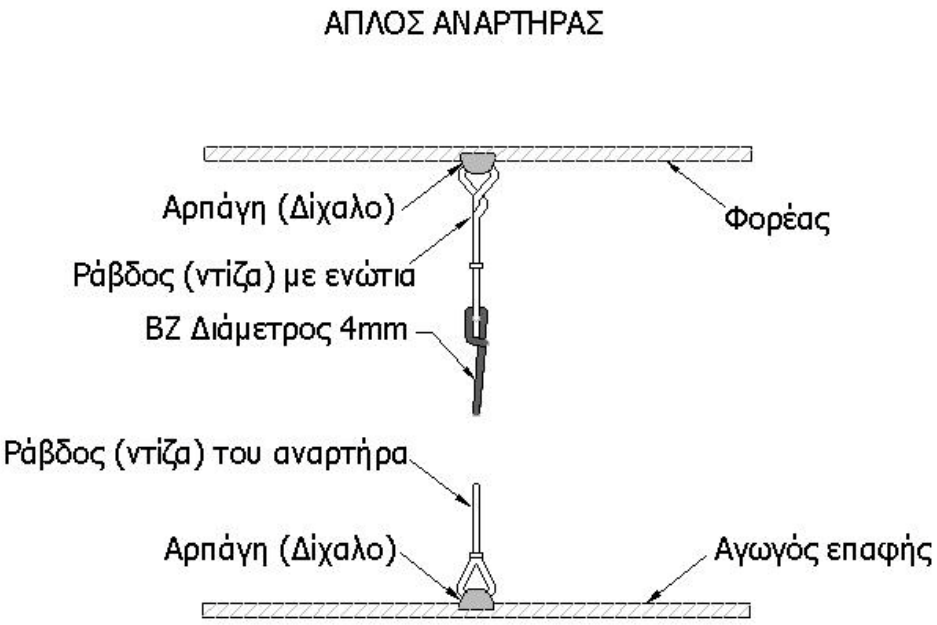
Συνήθως για το φέρον καλώδιο χρησιμοποιείται καλώδιο από ορείχαλκο διατομής 65 mm^2.

3.4.2. Ανάρτηση Αλεισοειδούς

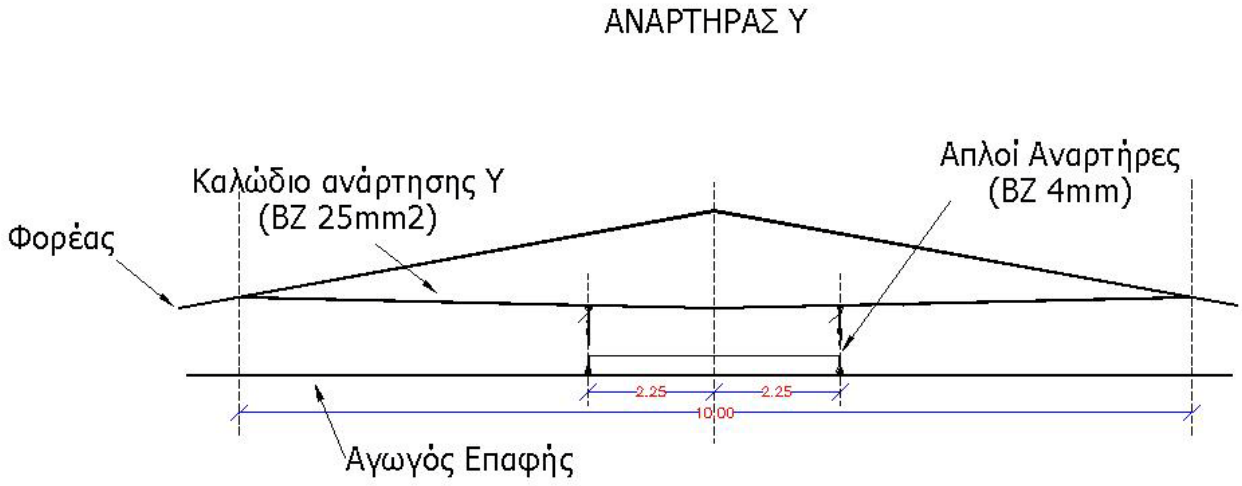
Ο αγωγός επαφής αναρτάται από το φέρον καλώδιο με αναρτήρες σε αποστάσεις που καθορίζονται από μελέτη. Ακολούθως (βλ. Σχήμα 12) φαίνονται οι απλοί αναρτήρες που χρησιμοποιούνται για την ανάρτηση του αγωγού επαφής από το φέρον καλώδιο.

Στο Σχήμα 13 απεικονίζεται ένα άνοιγμα αλυσοειδούς με ανάρτηση «Υ». Ο όρος «ανάρτηση Υ» χρησιμοποιείται για να υποδείξει το στοιχείο σύνδεσης που παρεμβάλλεται μεταξύ του φέροντα αγωγού της αλυσοειδούς και του αγωγού επαφής. Στις ημι-αντισταθμισμένες αλυσοειδείς, χρησιμοποιείται για να αντισταθμίσει τις διαφορές ύψους του αγωγού επαφής μεταξύ των μέσων των ανοιγμάτων και των υποστηρίξεων στις θέσεις των στύλων. Όταν συμβαίνει μια μεταβολή στη θερμοκρασία, η κάθετη μετακίνηση των σημείων, στα οποία στηρίζεται η ανάρτηση «Υ» στον μη αντισταθμισμένο φέροντα αγωγό, σε συνδυασμό με την μεταβολή του μήκους των καλωδίων και την δύναμη τάνυσης, αναγκάζει τον αγωγό επαφής στις θέσεις των στύλων να αυξήσει και να μειώσει το ύψος του, όμοια με τις αλλαγές του ύψους του στο μέσο του ανοίγματος. Αυτή η ελαστικότητα που δίνει η ανάρτηση Υ στην

αλυσοειδή είναι ο κύριος λόγος που χρησιμοποιούνται αναρτήσεις «Υ» στις πλήρως αντισταθμισμένες αλυσοειδείς.



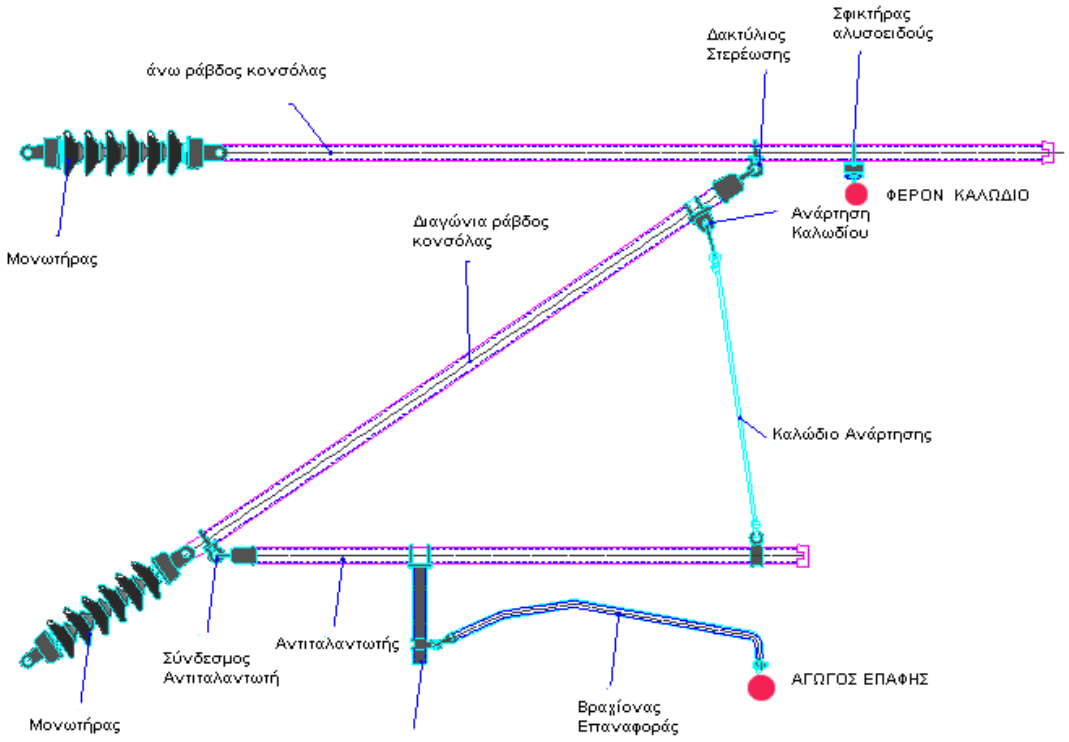
Σχήμα 12 : τυπικό σχέδιο αλυσοειδούς με απλή ανάρτηση



Σχήμα 13 : τυπικό σχέδιο αλυσοειδούς με ανάρτηση «Υ»

3.4.3 Κονσόλες

Πρόκειται για κατασκευές από αλουμίνιο ή κράμα αλουμινίου που στηρίζονται επί στροφείων (αρθρωτές κονσόλες), ώστε να μπορούν να παρακολουθήσουν την προκαλούμενη από τη θερμοκρασία μετατόπιση της γραμμής επαφής. Στο Σχήμα 14 που ακολουθεί παρουσιάζεται μια τέτοια κονσόλα.



Σχήμα 14: κονσόλα, αντιταλαντωτής, βραχίονας επαναφοράς

3.4.5. Μονωτήρες

Σε ότι αφορά τους μονωτήρες που χρησιμοποιούνται στα σιδηροδρομικά συστήματα και πιο συγκεκριμένα σε εκείνα τα συστήματα που διαθέτουν ηλεκτροκίνηση των 25kV / 50Hz, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα :

- Υψηλή απαιτούμενη αξιοπιστία, εφόσον η μηχανική αποτυχία μπορεί να οδηγήσει στην πτώση του αγωγού επαφής.
- Ύπαρξη σοβαρής και ασυνήθιστης μόλυνσης από την πιθανή παρουσία ντηζελαμαξών καθώς επίσης και από την παρουσία μεταλλικής σκόνης που οφείλεται στις πεδήσεις και στους παντογράφους.

- Πιθανότητα άμεσης επαφή, σε μερικές περιπτώσεις, μεταξύ ενός μονωτήρα και του παντογράφου σε ταχύτητες της τάξης των 200 km/h, σε συνδυασμό με την απαίτηση σχεδιασμού του μονωτήρα για μικρό βάρος και περιορισμένη διάμετρο.
- Περιορισμένος φυσικός καθαρισμός μέσω της βροχής.
- Μεγάλη πιθανότητα ζημιάς από βανδαλισμό λόγω της έκθεσης.

Οι βασικές κατηγορίες των σιδηροδρομικών μονωτήρων είναι οι **μονωτήρες άνω ράβδου κονσόλας** (top ties) και **οι μονωτήρες προβόλου κονσόλας** (strut), που χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη των αλυσοειδών από στύλους ή άλλα κατασκευαστικά ικριώματα, οι **μονωτήρες τμηματισμού** (section insulator), που χρησιμοποιούνται για να διαχωρίσουν τη γραμμή επαφής σε τμήματα ηλεκτρικώς μονωμένα το ένα από το άλλο και οι μονωτήρες που χρησιμοποιούνται σε τούνελ όπου οι αποστάσεις είναι μικρές και επικρατούν ειδικές μηχανικές και ηλεκτρικές συνθήκες.

Κατηγοριοποίηση μονωτήρων ανά ΥΛΙΚΟ

Α. **Μονωτήρες υάλου** (Glass insulator)
Β. **Κεραμικοί μονωτήρες** (Ceramic insulator)

- Κεραμικός μονωτήρας πορσελάνης χαλαζία (Quartz porcalain)
- Κεραμικός μονωτήρας αργιλικής πορσελάνης (Alumina porcelain)

Γ. **Συνθετικοί μονωτήρες ή Μη – κεραμικοί μονωτήρες** (Composite insulator or non – ceramic insulator (NCI))

- Μονωτήρες από τεφλόν (Teflon insulator)
- Μονωτήρες ελαστομερούς σιλικόνης SIR (Silicon rubber insulator)
- Μονωτήρες από «PTFE polytetraflouroethylene» (PTFE insulator)
- Μονωτήρες υάλου σιλικόνης
- Μονωτήρες από EPM (ethylene propylene monomer)
- Μονωτήρες από EPDM (ethylene propylene diene monomer)

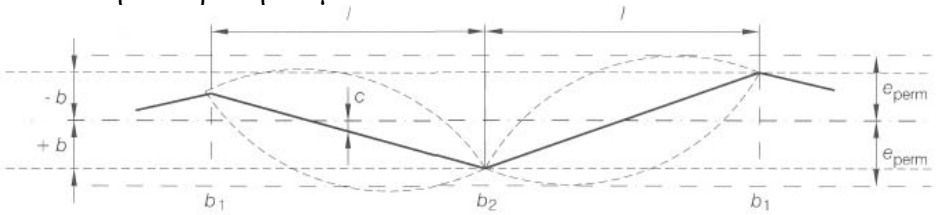
Μετά από μακροχρόνιες έρευνες αποδείχθηκε ότι η ελαστομερής σιλικόνη αποτελεί μακράν το καλύτερο προστατευτικό υλικό.

Ένας μονωτήρας φτάνει στο τέλος της ζωής του όταν αποτυγχάνει από μηχανικής άποψης, παράγει σπινθήρες με απαράδεκτα υψηλή συχνότητα ή έχει ενδείξεις επιδείνωσης προς μια κατάσταση που πρόκειται να μειώσει το βαθμό ασφάλειας της λειτουργίας του μονωτήρα.
Οι μονωτήρες ελέγχονται σύμφωνα με τις ακόλουθες κατηγορίες ελέγχου :

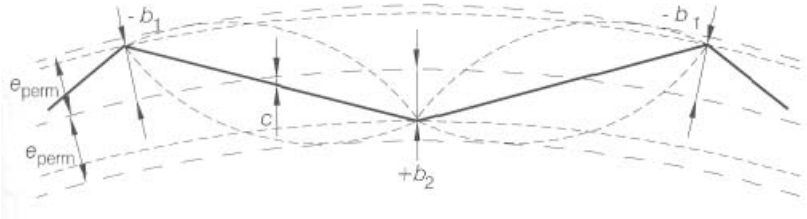
- Έλεγχος ποιότητας κατά την κατασκευή.
- Έλεγχος για την επίδειξη της συμμόρφωσης με τις προδιαγραφές του αγοραστή.
- Έλεγχος για την πρόβλεψη του αναμενόμενου χρόνου ζωής σε λειτουργία του μονωτήρα.
- Έλεγχος για το καθορισμό της πιθανής απόδοσης του μονωτήρα κατά την ηλεκτροδότηση του σε μολυσμένο περιβάλλον.

3.4.6. Αγωγός επαφής

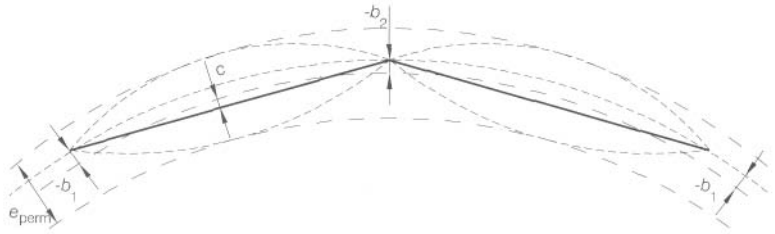
Γενικά είναι γνωστό ότι ο αγωγός επαφής δεν κατασκευάζεται παράλληλα με τον άξονα της γραμμής αλλά ακολουθεί ένα ελιγμό (zig-zag). Αυτό γίνεται με σκοπό να αποφευχθεί η ανομοιόμορφη φθορά των ταινιών ολίσθησης των παντογράφων και να είναι συνεχής η επαφή τους, τόσο στις ευθείες (Σχήμα 15), όσο και στις καμπύλες (Σχήματα 16, 17) ακόμη και υπό την επίδραση ανέμου.



Σχήμα 15: Επαφή παντογράφου – γραμμής επαφής σε ευθυγραμμία



Σχήμα 16: Επαφή παντογράφου – γραμμής επαφής σε καμπύλη



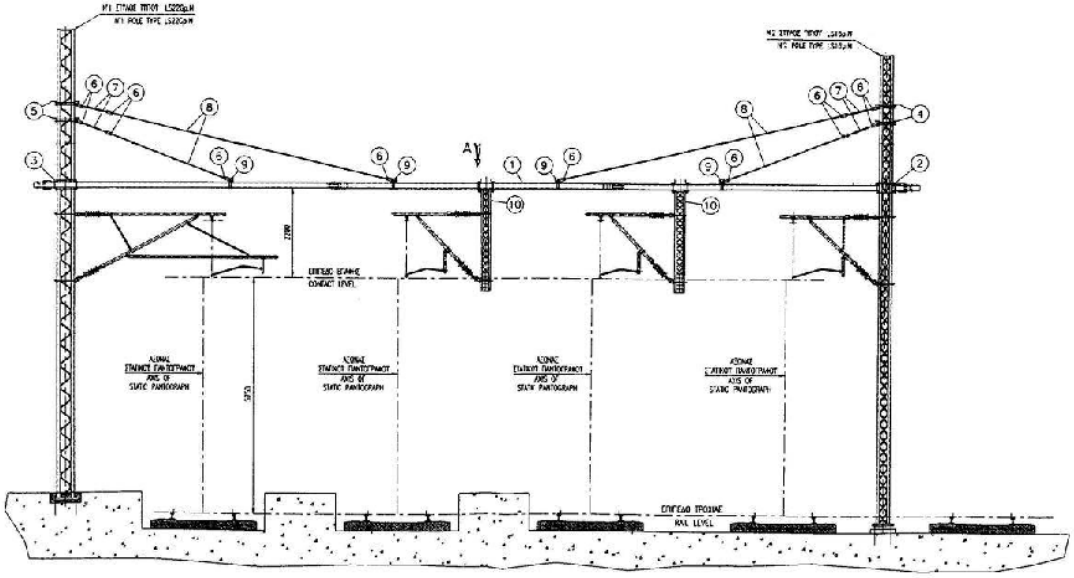
Σχήμα 17: Επαφή παντογράφου – γραμμής επαφής σε καμπύλη

Στους Γερμανικούς σιδηροδρόμους, για τα συστήματα Re100 και Re200 ο φέρων αγωγός βρίσκεται στον άξονα της γραμμής στις ευθυγραμμίες, ενώ στις καμπύλες βρίσκεται πάνω από τον αγωγό επαφής. Για τα συστήματα Re250 και Re330 τόσο στις ευθυγραμμίες, όσο και στις καμπύλες βρίσκεται πάνω από τον αγωγό επαφής.

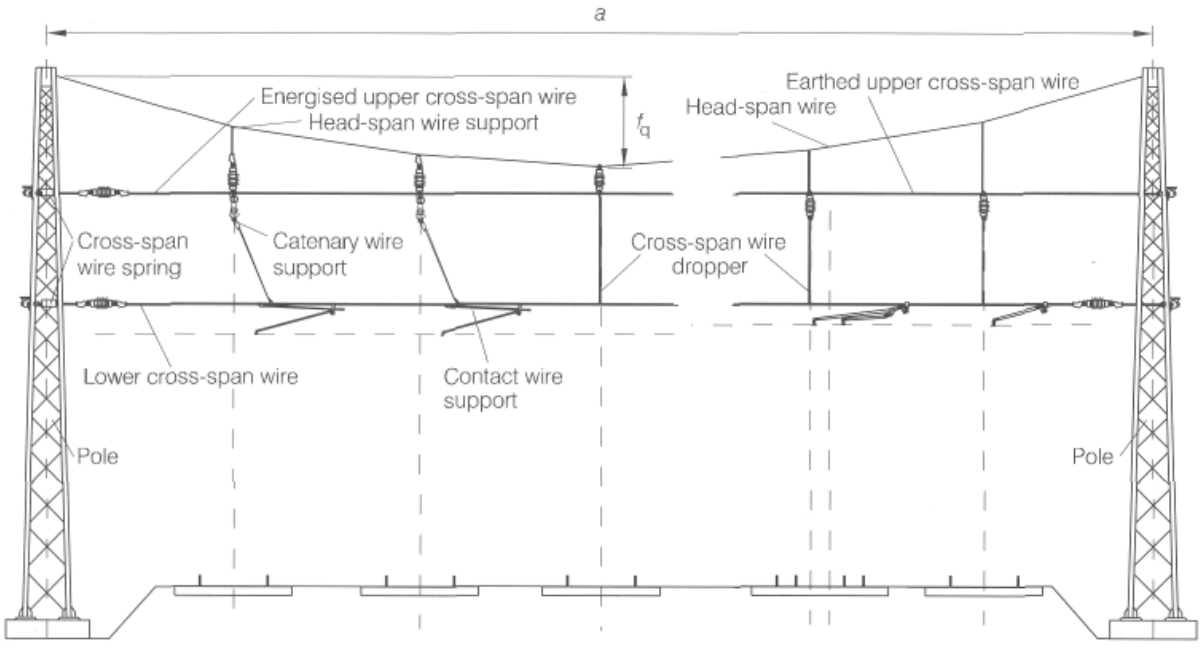
Ο προσδιορισμός των θέσεων των στύλων αποτελεί σημαντικότατο παράγοντα κατά την μελέτη και κατασκευή λόγω της πολύ μεγάλης επιρροής που έχει στο τελικό κόστος της Ηλεκτροκίνησης. Για το λόγο αυτό οι οδηγίες των Γερμανικών Σιδηροδρόμων αποσκοπούν στην εκμετάλλευση των μέγιστων επιτρεπόμενων ανοιγμάτων όσο το δυνατόν περισσότερο, τα οποία καθορίζονται από το πλάτος του παντογράφου, το σχεδιασμό της γραμμής, τις ταχύτητες ανέμου στην υπό εξέταση περιοχή, κ.λπ.

3.4.7. Πλαίσια στήριξης αλυσοειδών

Διακρίνονται δυο τύποι πλαισίων που χρησιμοποιούνται για την έδραση αλυσοειδών γραμμών επαφής, τα **άκαμπτα πλαίσια** και τα **εύκαμπτα πλαίσια**.
Στο επόμενο σχέδιο (Σχήμα 18) διακρίνεται ένας τύπος άκαμπτου πλαισίου που χρησιμοποιείται για την ανάρτηση τεσσάρων αλυσοειδών.



Σχήμα 18 : άκαμπτο πλαίσιο για τέσσερις ηλεκτροκινούμενες γραμμές.



Σχήμα 19 : τυπική διάταξη εύκαμπτου πλαισίου

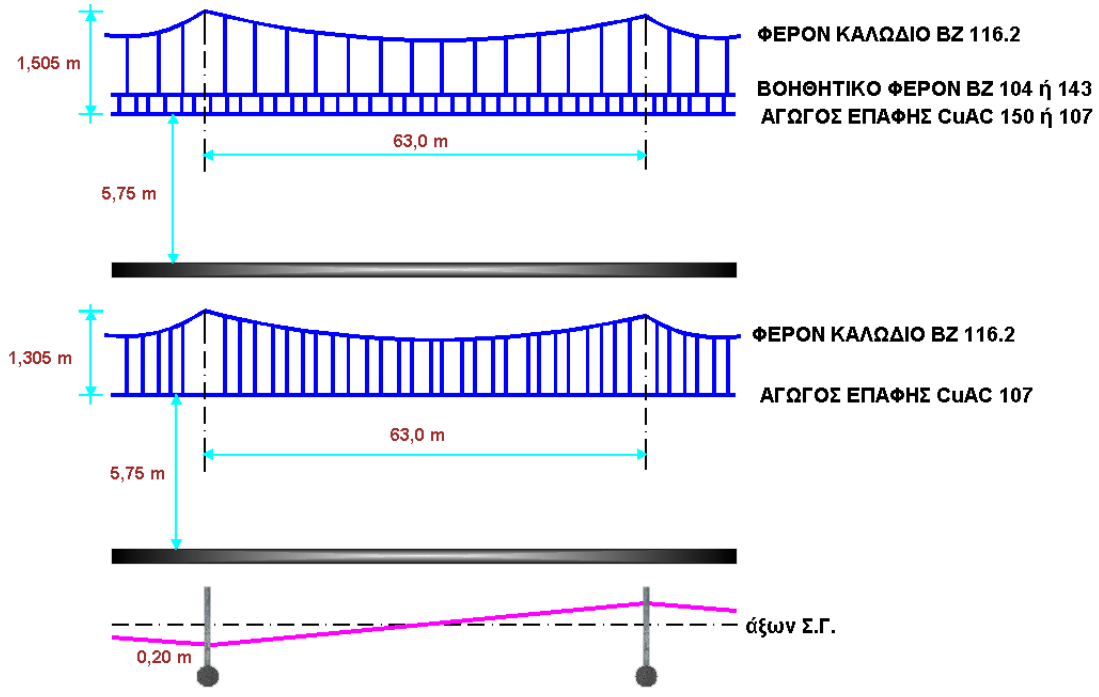
Στο Σχήμα 19 απεικονίζεται μια τυπική κατασκευή ενός εύκαμπτου πλαισίου. Οι κάθετες δυνάμεις που ασκούνται στις κονσόλες του ανοίγματος μεταφέρονται μέσω των καλωδιώσεων και με τη βοήθεια των αναρτήρων στους στύλους. Το πλήθος καλωδίων και η διατομή αυτών εξαρτώνται από το φορτίο λειτουργίας. Συνήθως χρησιμοποιούνται τουλάχιστον δύο καλώδια στις αλυσοειδείς κύριων γραμμών, για λόγους ασφάλειας.

Τα εύκαμπτα πλαίσια απαιτούν συχνά ρυθμίσεις (απαιτήσεις συντήρησης) και υπάρχει η τάση ελαχιστοποίησης της χρήση τους στις κύριες γραμμές κυκλοφορίας.

3.4.8. Αγκύρωση Αλυσοειδούς

Η αλυσοειδής γραμμή επαφής δεν εκτείνεται σε άπειρο μήκος αλλά σε συγκεκριμένες αποστάσεις (από ~700 έως 1400 μέτρα) τμηματίζεται – Ζώνη Αγκύρωσης – σε επαλληλία με την επόμενη αλυσοειδή όπου και αγκυρώνεται με μια διάταξη στύλων σε μήκος 200 μέτρων περίπου (ζώνη υπερκάλυψης).

Το εύρος των θερμοκρασιών στο οποίο είναι εκτεθειμένος να λειτουργεί ο εξοπλισμός της αλυσοειδούς, οι προβλεπόμενες μεταβολές στην δύναμη τάνυσης, το εύρος λειτουργίας του μηχανισμού τάνυσης, οι επιτρεπόμενες ανοχές του αγωγού επαφής ως προς τις μετατοπίσεις και το ύψος του αγωγού επαφής καθορίζουν το μήκος της ζώνης αγκύρωσης.



Σχήμα 20: Η αλυσοειδής στους Γαλλικούς Σιδηροδρόμους

Στη ζώνη υπερκάλυψης γίνονται οι τανύσεις των αγωγών (φέρον καλώδιο – αγωγός επαφής). Όταν βρίσκεται υπό τάνυση μόνο ο αγωγός επαφής τότε η αλυσοειδής καλείται ημι-αντισταθμισμένη ενώ όταν και ο αγωγός επαφής και το φέρον καλώδιο τανύονται η αλυσοειδής καλείται πλήρως αντισταθμισμένη.

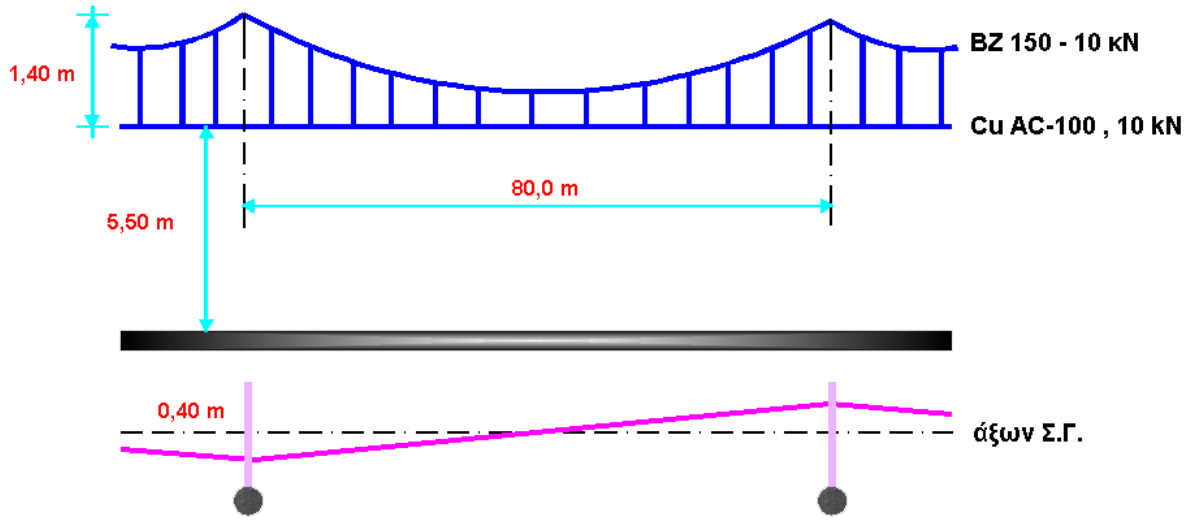
3.4.9. Τύποι αλυσοειδών σε Ευρωπαϊκά Δίκτυα

Εδώ δίδονται πληροφοριακά στοιχεία για τις αλυσοειδείς γραμμές επαφής που υπάρχουν σε κάποια από τα σιδηροδρομικά δίκτυα της Ευρώπης.

Οι Γαλλικοί σιδηρόδρομοι (SNCF) διαθέτουν 5833 km [1] με DC 1,5 kV στα οποία χρησιμοποιούν σύνθετη αλυσοειδή με βοηθητικό καλώδιο και δυο αγωγούς, για τις κύριες γραμμές, όπως φαίνεται στο Σχήμα 20 (άνω) και απλή αλυσοειδή όπως φαίνεται στο Σχήμα 20 (κάτω). Τα τυπικά ανοίγματα σε ευθυγραμμία είναι 63 μέτρα[2].

Στην Ελλάδα αλλά και σχεδόν σε όλη την Ευρώπη έχει υιοθετηθεί επίσημα το Γαλλικό μοντέλο όπου χρησιμοποιούνται μέγιστο άνοιγμα 63,0 μέτρα για την φέρουσα απόσταση μεταξύ διαδοχικών στύλων.

.



Σχήμα 21: η αλυσοειδής Re100 των Γερμανικών Σιδηροδρόμων

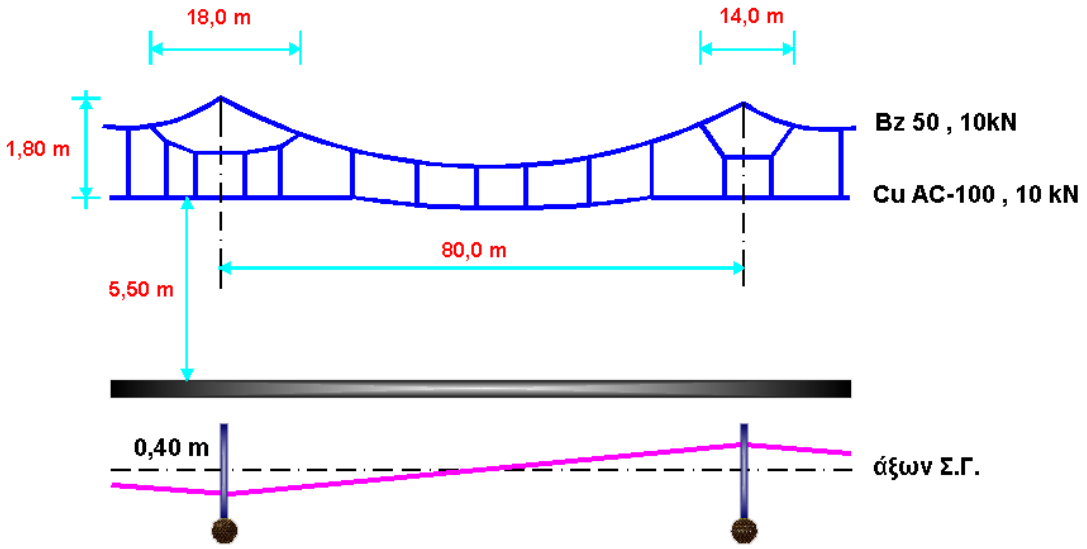
Στη Γερμανία (DB) οι εναέριες γραμμές επαφής έχουν τυποποιηθεί σε τρεις βασικούς τύπους που ονομάζονται Re100, Re200 και Re330 κι έχουν μέγιστο τυποποιημένο άνοιγμα 80 μέτρα (φέρουσα απόσταση). Ο τύπος αλυσοειδούς Re100 (βλ. Σχήμα 21) χρησιμοποιείται για

[1] Στην Γαλλία υπάρχουν περί τα 8.300 Km ηλεκτροκίνητων γραμμών που περιλαμβάνουν και μεγάλο τμήμα αλυσοειδών γραμμών με εναλλασσόμενο ρεύμα τροφοδοσίας 25 kV / 50 Hz.

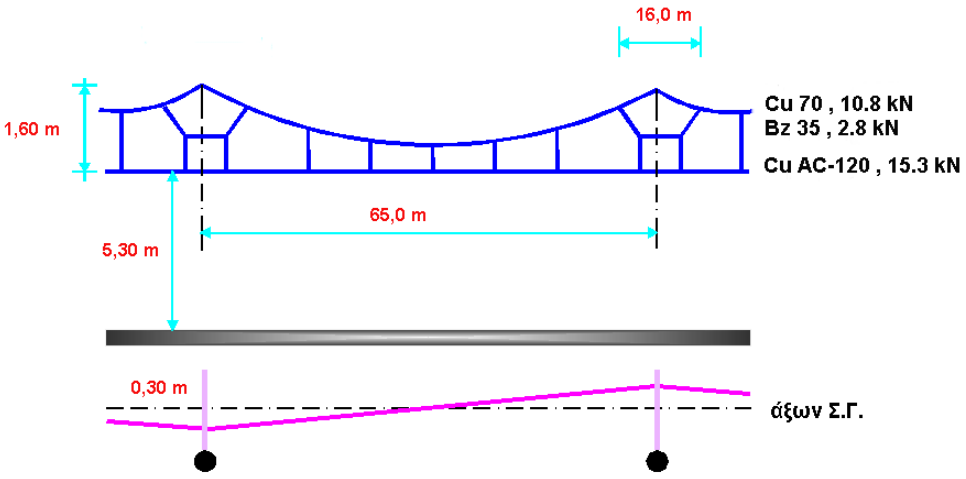
[2] Το ίδιο ισχύει και για την αλυσοειδή των 25 kV

ταχύτητες σχεδιασμού μέχρι 100 km/h και διαθέτει φέρον καλώδιο τύπου Bz 50 και αγωγό επαφής Cu AC-100, με πλήρη αντιστάθμιση της αλυσοειδούς, τυπικό ύψος 1.400mm και δύναμη τάνυσης 10 kN ίδια και στα δυο καλώδια

Ο τύπος αλυσοειδούς Re 200 (βλ. Σχήμα 22) χρησιμοποιείται για ταχύτητες σχεδιασμού μέχρι 200 km/h και διαθέτει φέρον καλώδιο τύπου Bz 50 και αγωγό επαφής Cu AC-100, καλώδιο ανάρτησης «Y» Bz 25, αναρτήρες Bz 10 και τυπικό ύψος 1.800mm, ενώ η δύναμη τάνυσης είναι10 kN, η ίδια και στα δυο καλώδια. Ο βαθμός της ανομοιομορφίας στην ελαστικότητα της αλυσοειδούς έχει προκύψει από μελέτες και έρευνες ότι είναι 16 %.



Σχήμα 22 : η αλυσοειδής Re200 των Γερμανικών Σιδηροδρόμων

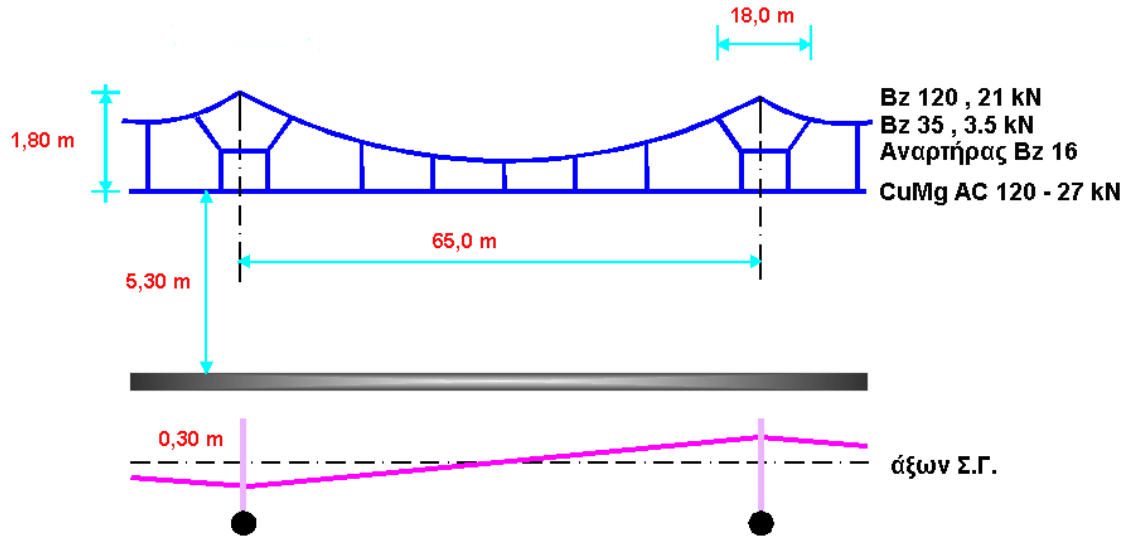


Σχήμα 23 : η αλυσοειδής Re330 των Γερμανικών Σιδηροδρόμων

Ο τύπος αλυσοειδούς Re330 (βλ. Σχήμα 23) χρησιμοποιείται για ταχύτητες μέχρι 350 km/h και διαθέτει φέρον καλώδιο τύπου Bz 120 με δύναμη τάνυσης 21 kN και αγωγό επαφής CuMg AC-120 με δύναμη τάνυσης 27 kN. Το καλώδιο ανάρτησης «Υ», μήκους 18 μέτρων, είναι Bz 35 με 3.5 kN προένταση, οι αναρτήρες είναι Bz 16 και το τυπικό ύψος είναι 1.800mm. Ο βαθμός της ανομοιομορφίας στην ελαστικότητα της αλυσοειδούς είναι 8 %.

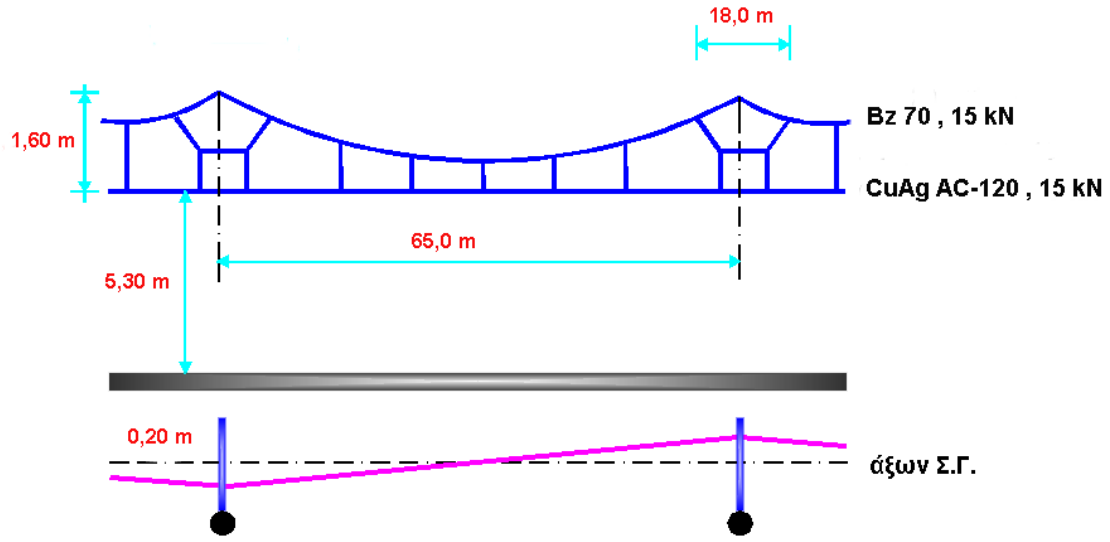
Οι Αυστριακοί Σιδηρόδρομοι (Austrian Federal Railway -OBB -) έχουν υιοθετήσει αλυσοειδή με τυπικό άνοιγμα 65 m (βλ. Σχήμα 24) και ανάρτηση «Υ», φέρον καλώδιο από χαλκό 70 mm^2, αγωγό επαφής Cu AC-120, μέγιστο μήκος ζωνών αγκύρωσης 750 m και δυνάμεις τάνυσης στο φέρον καλώδιο 10.8 kN και 15.3 kN στον αγωγό επαφής. Ο αγωγός τροφοδοσίας παράλληλα στη γραμμή είναι τύπου ACSR 260/23.

Οι Αυστριακοί χρησιμοποιούν επίσης στύλους από σκυρόδεμα, ενώ στα υπόλοιπα δίκτυα η χρήση τέτοιων στύλων τείνει να εξαλειφθεί ή δεν εφαρμόζεται πια.



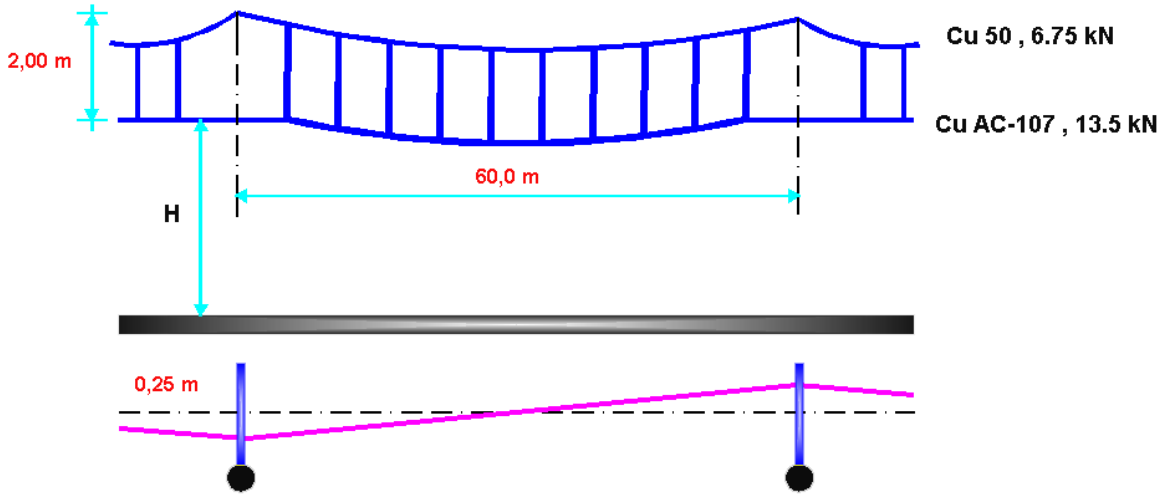
Σχήμα 24 : η αλυσοειδής των Αυστριακών Σιδηροδρόμων

Οι Νορβηγικοί Σιδηρόδρομοι (Norwegian Jernbane-verket - JBV -) έχουν υιοθετήσει αλυσοειδή με τυπικό άνοιγμα 65 m (βλ. Σχήμα 25) και ανάρτηση «Υ», φέρον καλώδιο από χαλκό 70 mm^2, αγωγό επαφής Cu AC-120 και δυνάμεις τάνυσης 15 kN (πλήρως αντισταθμισμένη).



Σχήμα 25 : η αλυσοειδής των Νορβηγικών Σιδηροδρόμων

Οι Ελβετικοί Σιδηρόδρομοι έχουν υιοθετήσει αλυσοειδή με τυπικό άνοιγμα 60 m (βλ. Σχήμα 26) χωρίς ανάρτηση «Υ», με φέρον καλώδιο από χαλκό 50 mm^2, με αγωγό επαφής Cu AC-107 και δυνάμεις τάνυσης στο φέρον καλώδιο 6.75 kN και στον αγωγό επαφής13.5 kN.



Σχήμα 26 : η αλυσοειδής των Ελβετικών Σιδηροδρόμων

3.4.10. Θέματα μηχανικής συμπεριφοράς της αλυσοειδούς.

Οι πιο κρίσιμες παράμετροι για την μηχανική συμπεριφορά της εναέριας γραμμής επαφής (εγκάρσια διάδοση κυμάτων κατά την κίνηση του οχήματος) είναι το βάρος και η αναπτυσσόμενη ένταση ανά μονάδα μήκους της αλυσοειδούς. Η συνολική ένταση που αναπτύσσεται στην αλυσοειδή είναι συνάρτηση της κατακόρυφης δύναμης που ασκεί ο παντογράφος κατά την κίνηση του οχήματος στον αγωγό επαφής και σχετίζεται στενά με τη δυνατότητα κατακόρυφης μετακίνησης της αλυσοειδούς («μαλακά» - «σκληρά» σημεία, αντίσταση στην κατακόρυφη κίνηση).

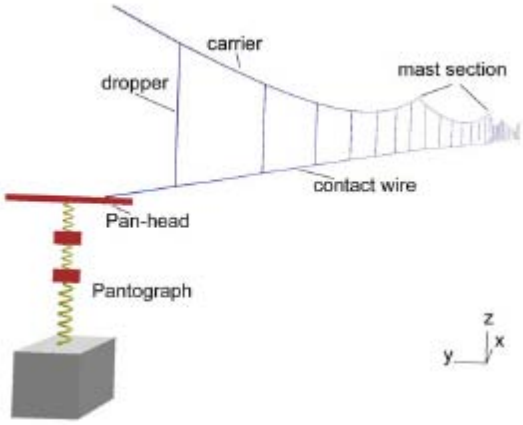
Η συνολική επιτρεπόμενη δύναμη της αλυσοειδούς λαμβάνεται ίση σε 54 kN για τους Ιαπωνικούς Σιδηροδρόμους (για το Shinkansen), 28 kN για το Γαλλικό σύστημα, 38 kN για το Γερμανικό, ενώ στην Ιταλία λαμβάνεται στα 66 kN διότι εκεί χρησιμοποιείται διπλό σύστημα αλυσοειδούς με μεγαλύτερες διαμέτρους καλωδίων.

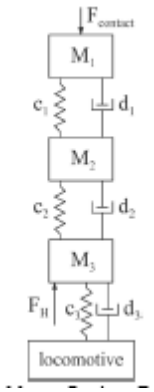
Αντίστοιχα η επιτρεπόμενη κατακόρυφη δύναμη του παντογράφου που ασκείται στην αλυσοειδή είναι μεταξύ 70 και 80 kN για την Ιαπωνία, 130 έως 250 kN για την Γερμανία και την Γαλλία και 200 έως 300 kN για την Ιταλία. Αυτό σημαίνει ότι η Γαλλία και η Γερμανία έχουν συστήματα εναέριων γραμμών με πλάτη μεγαλύτερα κατά τέσσερις φορές απ' ότι η Ιαπωνία. Μιλώντας γενικά μπορούμε να πούμε ότι μικρότερα πλάτη εναέριων γραμμών επαφής οδηγούν σε μεγαλύτερη εν γένει σταθερότητα και μειώνουν τη συχνότητα των σφαλμάτων και της συντήρησης.

Η τετραγωνική ρίζα του λόγου της αναπτυσσόμενης δύναμης ως προς το βάρος της αλυσοειδούς ανά μονάδα μήκους αντιπροσωπεύει την ταχύτητα μετάδοσης των εγκάρσιων κυμάτων κατά μήκος του αγωγού. Αυτή είναι και η πιο σημαντική παράμετρος στην ανάλυση της αλυσοειδούς και στη σιδηροδρομική τεχνολογία και καλείται ταχύτητα μετάδοσης κύματος και αναγνωρίζεται ως κρίσιμη ταχύτητα.

Διάφορες θεωρητικές προσομοιώσεις καθώς και πειράματα έδειξαν ότι όσο η ταχύτητα του τραίνου πλησιάζει την κρίσιμη ταχύτητα τόσο το μήκος της «ζώνης» όσο και τοπικά η κάμψη της αλυσοειδούς αυξάνουν κι έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της δυσκολίας της επαφής του παντογράφου με τον αγωγό επαφής. Η απώλεια επαφής του παντογράφου είναι φανερό ότι λαμβάνει χώρα όταν η ταχύτητα του τραίνου υπερβαίνει το 70 - 80 % της κρίσιμης ταχύτητας και στις περιπτώσεις αυτές μπορεί να συμβεί και καταστροφή της αλυσοειδούς. Συμπερασματικά, η κατασκευή της αλυσοειδούς θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε η ταχύτητα μετάδοσης των κυμάτων να είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την ταχύτητα των συρμών. Η κρίσιμη ταχύτητα αυξάνεται με τη χρήση λεπτότερων αγωγών σε υψηλότερες τάσεις.

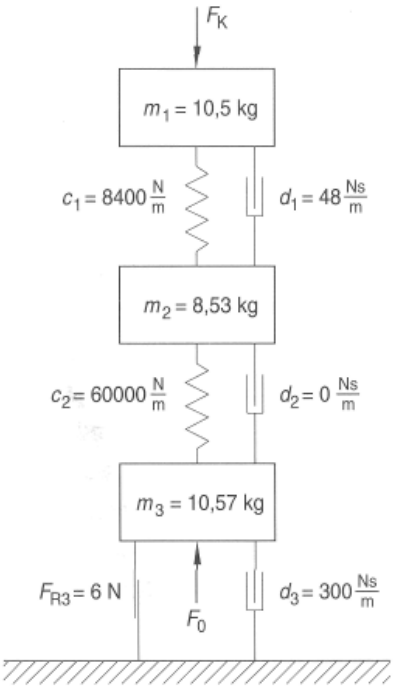
Η δυναμική συμπεριφορά του παντογράφου διερευνάται με μαθηματικές αναλύσεις που ενέχουν τρισδιάστατα μοντέλα (ANCF beam elements, cable elements κλπ) και την παράμετρο του χρόνου (βλ. Σχήμα 27 και Σχήμα 28).





masses	M_1	6.4kg
	M_2	7.2kg
	M_3	4.8kg
spring constants	c_1	4700N/m
	c_2	13912N/m
	c_3	80N/m
damping constants	d_1	50Ns/m
	d_2	15Ns/m
	d_3	85Ns/m
vertical force at M_1	F_H	100N

Σχήμα 27 : παράμετροι μοντελοποίησης του παντογράφου

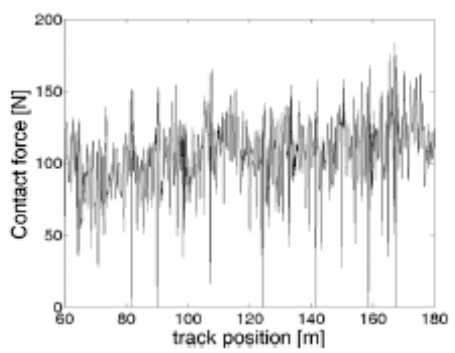


Σχήμα 28: μοντέλο προσομοίωσης

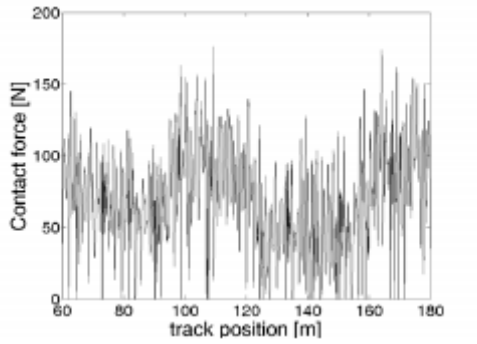
Ο παντογράφος υποκαθίσταται από μάζες που συνδέονται μεταξύ τους μέσω των ελατηρίων και διατάξεων απόσβεσης. Η συμπεριφορά ταλάντωσης τέτοιων συστημάτων περιγράφεται από ένα σύστημα των δευτεροβάθμιων διαφορικών εξισώσεων. Το πλήθος εξισώσεων καθορίζεται από τον αριθμό μαζών που υποκαθιστούν τον παντογράφο, δηλ. από τον αριθμό βαθμών ελευθερίας του συστήματος.

Στο Σχήμα 29 δίδονται αποτελέσματα μιας ανάλυσης που έγινε με μαθηματικά μοντέλα και αφορά τη μεταβολή της δύναμης επαφής του παντογράφου σε σχέση με την ταχύτητα του

παντογράφου (32 και 45 m/s) λαμβάνοντας υπόψη και το ζικ-ζακ σε μια αλυσοειδή χωρίς βέλος μεταξύ δυο διαδοχικών κονσολών (presage).



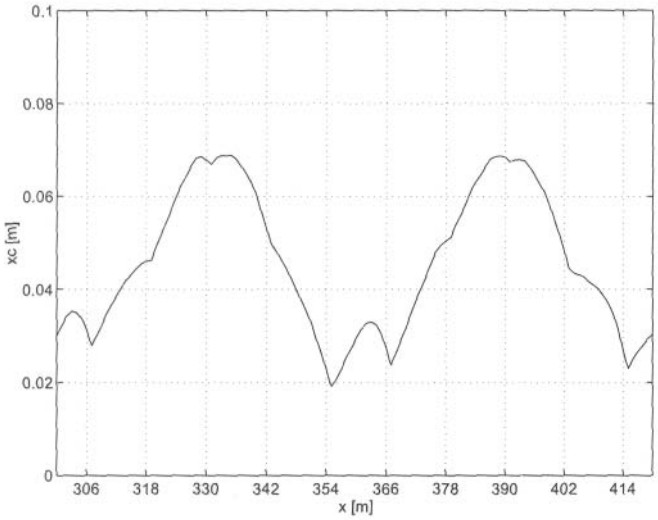
ταχύτητα : 32 m/sec.



ταχύτητα : 45 m/sec.

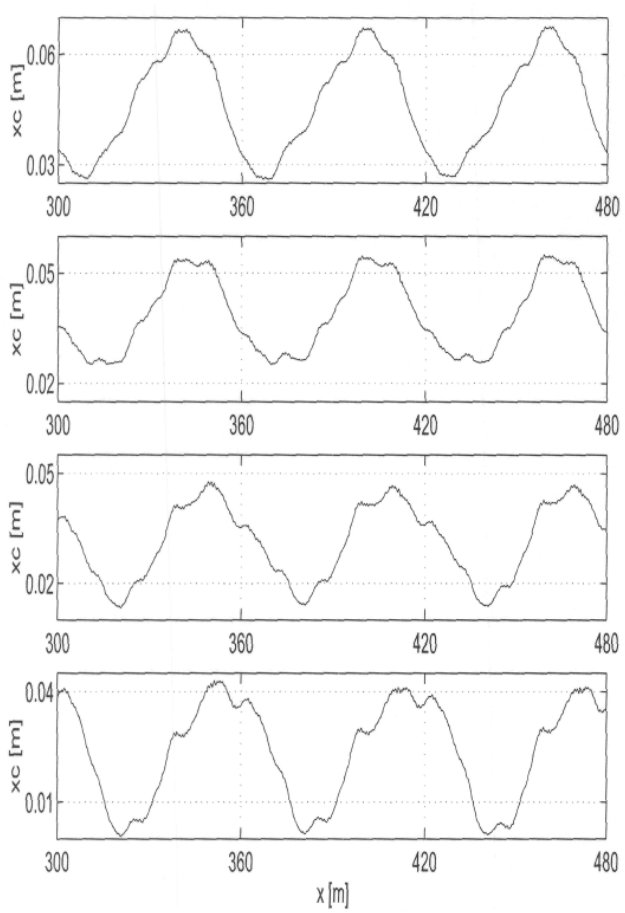
Σχήμα 29 : Μεταβολή της δύναμης επαφής σε σχέση με την απόσταση του οχήματος

Η ανύψωση του αγωγού επαφής σε σχέση με τη θέση της στατικής ισορροπίας, ανάλογα με τη θέση της στατικής δύναμης το υ παντογράφο υ πο υ ελήφθη ίση με 8 0 kN δίδεται διαγραμματικά στο Σχήμα 30.



Σχήμα 30 : ανύψωση του αγωγού επαφής ανάλογα με τη δύναμη επαφής

Στα διαγράμματα του Σχήματος 31 φαίνεται η ανύψωση του αγωγού επαφής στη θέση του κινούμενου παντογράφου με, κατά την σειρά που εμφανίζονται, μηδενικό βέλος κάμψης, με βέλος κάμψης 2 cm, 4 cm και 6 cm ανά άνοιγμα.



Σχήμα 31 : ανύψωση του αγωγού επαφής σε σχέση με το αρχικό βέλος

4. Συστήματα ηλεκτροκίνησης

4.1. Ηλεκτροκίνηση με συνεχές ρεύμα

Το συνεχές ρεύμα είναι πλεονεκτικότερο από το εναλλασσόμενο σε ότι αφορά το κύκλωμα έλξης. Έτσι για μεγάλο διάστημα (από τις αρχές του αιώνα μέχρι περίπου το 1950) δόθηκε προτεραιότητα στην καλύτερη λειτουργία του κινητήρα. Καθώς ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος με διέγερση σειράς εξασφάλιζε μέχρι πρότινος τις καλύτερες συνθήκες για την κίνηση οχημάτων, αναζητήθηκε σύστημα ηλεκτροκίνησης που χρησιμοποιούσε συνεχές ρεύμα.
Το συνεχές όμως ρεύμα δεν μετασχηματίζεται. Έτσι στην πρώτη φάση ηλεκτροκίνησης χρησιμοποιήθηκε τάση ίδια με την τάση λειτουργίας του κινητήρα. Οι τάσεις που χρησιμοποιήθηκαν κυρίως ήταν:

- 750 V , κυρίως για ηλεκτροκίνηση από τρίτη σιδηροτροχιά
- 1.500 V, που χρησιμοποιήθηκε περισσότερο από τις άλλες και
- 3.000 V.

Οι τάσεις αυτές είναι πολύ χαμηλές ως προς την τάση μεταφοράς του ρεύματος (για τη χώρα μας 150.000 V, 220.000 V). Έτσι η ηλεκτροκίνηση με συνεχές ρεύμα οδηγεί σε μεγάλες

διατομές της γραμμής μεταφοράς του ρεύματος (400-900 mm^2) και σε υποσταθμούς κοντινούς τον ένα με τον άλλο. Η απόσταση υποσταθμών είναι 15-20 Km στην περίπτωση της τάσης των 1500 V και 35-40 km για την τάση των 3000 V.
Έτσι ηλεκτροκίνηση με συνεχές ρεύμα, που είναι πλεονεκτική για το κύκλωμα έλξης, αποδεικνύεται πολύ μειονεκτική για το κύκλωμα τροφοδοσίας.
Το σύστημα ηλεκτροκίνησης με συνεχές ρεύμα αντιπροσωπεύει σήμερα περίπου το 50% των γραμμών που ηλεκτροκινούνται σε όλο τον κόσμο και έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως στη Γαλλία, Ισπανία, Ιταλία, Ρωσία, Ιαπωνία, κ.λπ.

4.2. Ηλεκτροκίνηση με εναλλασσόμενο ρεύμα

Το εναλλασσόμενο ρεύμα είναι πλεονεκτικότερο από το συνεχές σε ότι αφορά το κύκλωμα τροφοδοσίας, δημιουργεί όμως προβλήματα στο κύκλωμα έλξης. Οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος που ανταποκρίνονται άμεσα στις απαιτήσεις των μηχανών έλξης είναι οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος σειράς με συλλέκτη, οι οποίοι όμως εμφανίζουν προβλήματα που αυξάνουν ανάλογα με τη συχνότητα του ρεύματος τροφοδοσίας. Έτσι προέκυψε κατ' αρχήν η ανάγκη να χρησιμοποιηθεί εναλλασσόμενο ρεύμα με συχνότητα αρκετά μικρότερη από την συχνότητα των 50 Hz του βιομηχανικού ρεύματος.

4.2.1. Ηλεκτροκίνηση με εναλλασσόμενο ρεύμα 15.000V, 16 2/3 Hz.

Το ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί να φθάνει στους υποσταθμούς με δύο τρόπους:

- Τροφοδοσία από το εθνικό δίκτυο (συχνότητας 50 Hz), οπότε στους υποσταθμούς έχουμε μείωση της τάσης και μετατροπή της συχνότητας του ρεύματος.
- Τροφοδοσία από ιδιαίτερο δίκτυο που διατρέχεται από ρεύμα χαμηλής συχνότητας, οπότε στους υποσταθμούς έχουμε μόνο μείωση της τάσης.

Η ηλεκτροκίνηση με εναλλασσόμενο ρεύμα 15.000 V, 16 2/3 Hz εφαρμόζεται στην Κεντρική Ευρώπη (Γερμανία, Αυστρία, Ελβετία) όπου οι υποσταθμοί τροφοδοτούνται από ειδικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος χαμηλής συχνότητας και στη Βόρεια Ευρώπη (Σουηδία, Νορβηγία), όπου οι υποσταθμοί τροφοδοτούνται από το εθνικό δίκτυο συχνότητας 50 Hz. Το σύστημα αυτό ηλεκτροκίνησης αντιπροσωπεύει το 20% των ηλεκτροκινούμενων γραμμών παγκοσμίως.
Στην ηλεκτροκίνηση με εναλλασσόμενο ρεύμα 15.000 V, 16 2/3 Hz οι υποσταθμοί απέχουν μεταξύ τους 50-60 km και οι αγωγοί μεταφοράς έχουν διατομές σημαντικά μικρότερες σε σύγκριση με την ηλεκτροκίνηση με συνεχές ρεύμα. Ωστόσο και στο σύστημα αυτό παραμένουν τα μειονεκτήματα που αναφέρονται στους κινητήρες και κυρίως η σημαντικά μεγάλη ευπάθειά τους.

4.2.2. Ηλεκτροκίνηση με εναλλασσόμενο ρεύμα 25.000 V, 50 Hz.

Τα μειονεκτήματα των δύο προηγούμενων συστημάτων οδήγησαν στην αναζήτηση ενός συστήματος, που θα συγκεντρώνει τα πλεονεκτήματα και των δύο, χωρίς να παρουσιάζει και τα μειονεκτήματά τους. Αυτό επιτεύχθηκε μετά το 1950 με το σύστημα ηλεκτροκίνησης με εναλλασσόμενο ρεύμα τάσης 25.000 V και βιομηχανικής συχνότητας 50 Hz. Στους

υποσταθμούς (που τροφοδοτούνται από το εθνικό δίκτυο) γίνεται απλώς υποβιβασμός της τάσης του ρεύματος που κατόπιν μεταφέρεται με τη γραμμή μεταφοράς στις μηχανές έλξης. Στις τελευταίες η τάση υποβιβάζεται με τη βοήθεια μετασχηματιστών και το ρεύμα ανορθώνεται σε συνεχές με τη βοήθεια ανορθωτών. Το συνεχές αυτό ρεύμα χαμηλής τάσης τροφοδοτεί τους κινητήρες που είναι συνεχούς ρεύματος σειράς.
Το σύστημα 25.000 V, 50 Hz αντιπροσωπεύει το 30% των ηλεκτροκινούμενων γραμμών παγκοσμίως και χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά στις νέες ηλεκτροκινήσεις. Οι υποσταθμοί απέχουν μεταξύ τους 60-100 km και οι αγωγοί μεταφοράς έχουν διατομή 3-5 φορές μικρότερη από ότι στην ηλεκτροκίνηση με συνεχές ρεύμα. Ακόμη το σύστημα αυτό κάνει δυνατή τη χρησιμοποίηση κινητήρων συνεχούς ρεύματος σειράς που είναι ευνοϊκότεροι για την κίνηση και έλξη των συρμών.

4.3. Στοιχεία διαλειτουργικότητας[3] [Γιαννακός, 2000]

Η Συνθήκη της Ρώμης οδήγησε την Ευρωπαϊκή Κοινότητα στην προσπάθεια ανάπτυξης ενός διεθνούς δικτύου μεταφορών με ηλεκτροκινούμενες γραμμές τόσο για επιβατικούς όσο και για εμπορικούς συρμούς. Το πρώτο σημαντικό βήμα έγινε με την οδηγία 91/440, που συχνά αναφέρεται ως οδηγία 2001/12, που μεταξύ των άλλων προέβλεπε και την ανάπτυξη του ηλεκτροκίνητου δικτύου αρχικά μέχρι το έτος 2003 για τα επιβατικά και μέχρι το 2008 για τα εμπορικά τρένα.

Παρά τις αρχικές απαιτήσεις, οι φραγμοί για την υλοποίηση της «ιδέας» ενός διαλειτουργικού διασυνοριακού συστήματος ηλεκτροκινούμενων σιδηροδρόμων, αναφορικά με όλα τα κράτη της Ε.Ε., ήταν οι ακόλουθοι βασικοί παράγοντες :

- η ύπαρξη πέντε διαφορετικών τύπων ηλεκτροκίνησης
- οι διαφοροποιήσεις στις πρακτικές διαχείρισης της υποδομής
- τα διαφορετικά συστήματα συντήρησης
- οι διαφοροποιήσεις στα συστήματα επιδομής, όπως πχ. το εύρος της γραμμής
- η συμβατότητα του τροχαίου υλικού αναφορικά με το αξονικό φορτίο
- τα διαφορετικά συστήματα σηματοδότησης

Η απάντηση της Ε.Ε. στα προαναφερόμενα προβλήματα ήταν η έκδοση των οδηγιών 96/48/ΕC και 2001/16/ΕC περί της Διαλειτουργικότητας των Ευρωπαϊκών Σιδηροδρομικών Δικτύων, ώστε όλα τα μέλη της Ε.Ε. να μπορούν να κινούνται σε όλα τα κράτη μέλη :

- Χωρίς την ανάγκη να σταματούν στα σύνορα
- Χωρίς την ανάγκη αλλαγής της κινητήριας μονάδας στα σύνορα
- Χωρίς την ανάγκη αλλαγής του πληρώματος του τρένου

Οι οδηγίες αυτές επέτρεψαν την Ε.Ε. να εκδώσει τις Τεχνικές Προδιαγραφές Διαλειτουργικότητας (TSI) ώστε να απαλειφθούν οι τεχνικοί και λειτουργικοί φραγμοί και

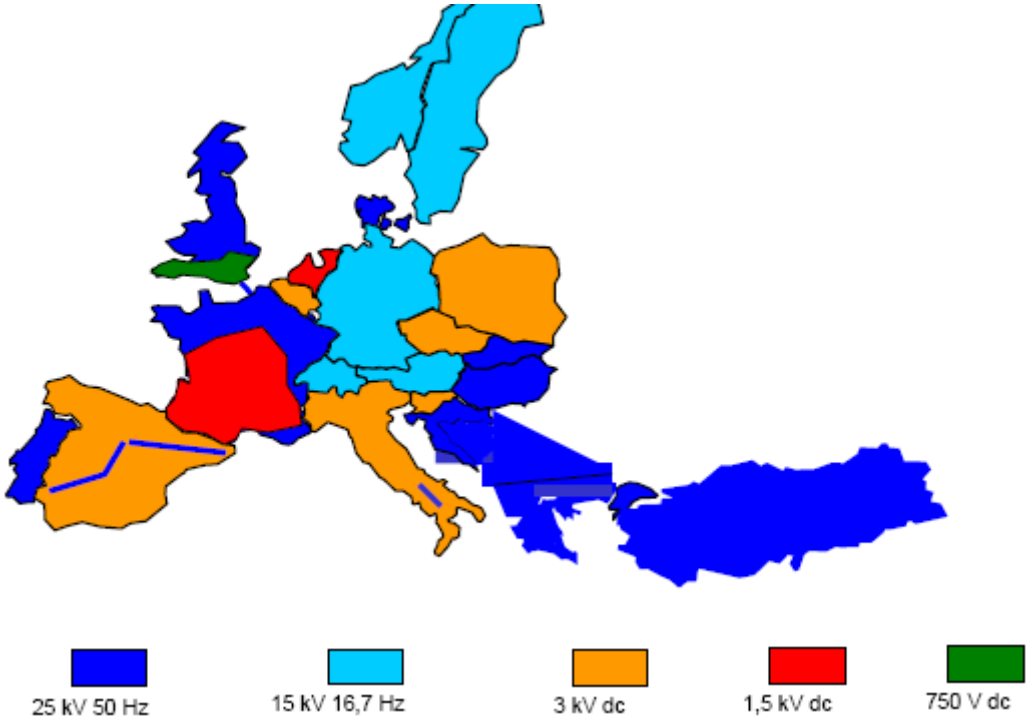
[3] Για τη διαλειτουργικότητα θα παρουσιασθεί ξεχωριστό μάθημα, εδώ δίδονται στοιχεία που θα βοηθήσουν την κατανόηση του μαθήματος της ηλεκτροκίνησης

παράλληλα να μειωθεί το κόστος μέσω του ανταγωνισμού αλλά και με την δυναμική των μεγαλύτερων ταξιδιών και εμπορευματικής δραστηριότητας των σιδηροδρομικών δικτύων.

Στο Σχήμα 32 που ακολουθεί φαίνονται με αντίστοιχα χρώματα τα συστήματα τροφοδοσίας που χρησιμοποιούνται σήμερα στην Ευρώπη για ηλεκτροκίνηση κύριων γραμμών κυκλοφορίας.

Από τη στιγμή που υπάρχουν 5 διαφορετικά συστήματα τροφοδοσίας ηλεκτροκινούμενων συρμών, ο προσδιορισμός της τάσης τροφοδοσίας για την εφαρμογή της διαλειτουργικότητας, μέσω των προδιαγραφών για την τροφοδοσία που προσδιορίζονται από την TSI 2002/733/EC, αποτελεί το βήμα που σήμερα γίνεται με κατεύθυνση την προτυποποίηση της τάσης και συχνότητας λειτουργίας της ηλεκτροκίνησης. Σκοπός της συγκεκριμένης προδιαγραφής είναι η εξάλειψη της ανάγκης χρήσης κινητήριων μονάδων με πολλαπλές τάσεις τροφοδοσίας και της ανάγκης αλλαγής της κινητήριας μονάδος ή του παντογράφου, στα σύνορα των χωρών μελών.

Επίσης τα συστήματα των παντογράφων με τις αντίστοιχες διαστάσεις τους, που χρησιμοποιεί κάθε δίκτυο, στον ευρύτερο Ευρωπαϊκό χώρο, απεικονίζονται στο Σχήμα 33.



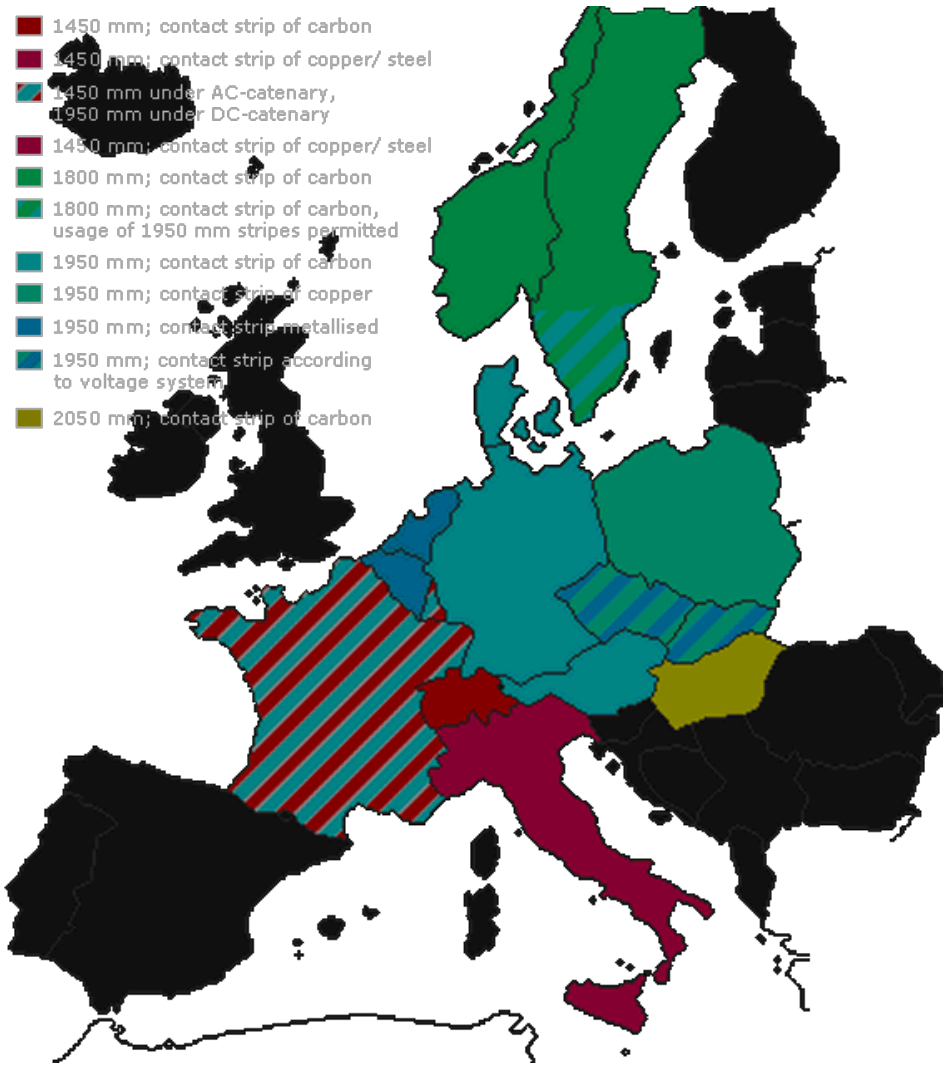
Σχήμα 32 : Συστήματα ηλεκτρικής τροφοδοσίας στην Ευρώπη

Δεδομένου ότι υφίστανται τέσσερις διαφορετικοί τύποι παντογράφων στην Ευρώπη, υπάρχουν προτάσεις στα πλαίσια της διαλειτουργικότητας για την ανάπτυξη ενός κοινού παντογράφου σε σταθερό πλάτος 1600 mm για όλα τα δίκτυα, με το ίδιο υλικό κατασκευής τόσο για συνεχές, όσο και για εναλλασσόμενο ρεύμα.

Σήμερα, τα κυριότερα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι Ευρωπαϊκοί Σιδηρόδρομοι ως προς την ηλεκτροκίνηση γενικότερα είναι :

- Ο περιορισμός της χωρητικότητας των σημαντικότερων ευρωπαϊκών σιδηροδρομικών αξόνων
- Οι διαφοροποιήσεις των εθνικών προτύπων που ακόμη αποτελούν ανασταλτικό παράγοντα για τις σιδηροδρομικές διαλειτουργικές υπηρεσίες
- Η χρήση πέντε διαφορετικών συστημάτων ηλεκτροκίνησης
- Η ύπαρξη 10 συστημάτων και 16 αντίστοιχων λογισμικών για την σηματοδότηση – τηλεδιοίκηση.

Η ανάγκη χρήσης κινητήριων μονάδων που λειτουργούν σε διαφορετικές τάσεις τροφοδοσίας (πχ. σε 15kV και σε 25kV) είναι βραχυπρόθεσμα ορατή και φαίνεται ότι θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην Ευρώπη των διαφορετικών συστημάτων ηλεκτροκίνησης.



Σχήμα 33: Συστήματα παντογράφων στην Ευρώπη

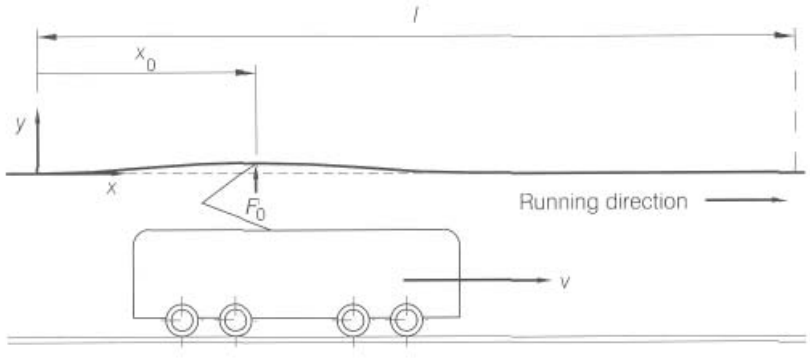
Το επίπεδο φθοράς του αγωγού επαφής αλλά και η κατάσταση της αλυσοειδούς από γεωμετρικής απόψεως – αυστηρές απαιτήσεις ως προς τη γεωμετρία – αποτελούν αντικείμενα που ελέγχονται συνεχώς από τα σιδηροδρομικά δίκτυα με διάφορα τεχνικά μέσα υψηλής τεχνολογίας.

5. Αλληλεπίδραση παντογράφου και Γραμμής Επαφής

Ο βασικός παράγοντας που επιδρά καταλυτικά στην λειτουργία της ηλεκτροκίνησης, ιδίως σε γραμμές υψηλών ταχυτήτων, είναι η **επαφή μεταξύ του παντογράφου και του αγωγού επαφής**, όπου λαμβάνουν χώρα ιδιαίτερα φαινόμενα θερμο – ηλεκτρικο - μηχανικής φύσεως. Έτσι λαμβάνεται ιδιαίτερη φροντίδα για την τήρηση εκείνων των κανόνων που θα εξασφαλίσουν την ποιότητα της τροφοδοσίας σε ρεύμα, την ομαλότητα της κίνησης και τις ελάχιστες κατά το δυνατό απαιτήσεις συντήρησης. Η φθορά που προκαλείται στον εμπλεκόμενο κατά την κίνηση του οχήματος εξοπλισμό (αγωγός επαφής και παντογράφος) αποτελεί αντικείμενο ιδιαίτερης έρευνας στα ξένα σιδηροδρομικά δίκτυα και είναι σημαντικότατος παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη κατά το σχεδιασμό του συστήματος, τόσο σε επίπεδο μελέτης όσο και σε επίπεδο υλικών κατασκευής.

Η δύναμη επαφής μεταξύ παντογράφου και αγωγού, που αναπτύσσεται κατά την κίνηση του οχήματος, διερευνάται σε θεωρητικό επίπεδο (ανάπτυξη μεθόδων υπολογισμού) στα ξένα Δίκτυα και ελέγχεται με τεχνικά μέσα προς επαλήθευση της θεωρίας. Απτό παράδειγμα των προαναφερομένων αποτελεί το σιδηροδρομικό δίκτυο της Κορέας όπου το έτος 2004 δοκιμάστηκε η πρώτη ηλεκτροκινούμενη γραμμή υψηλών ταχυτήτων (300 Km/h). Όλα τα ζωτικά στοιχεία για τη λειτουργία της ηλεκτροκίνησης, όπως ο παντογράφος, που εφαρμόστηκαν στην κατασκευή προέκυψαν από εντατική έρευνα που διενεργήθηκε τα παρελθόντα έτη και στην οποία συμμετείχαν Ινστιτούτα και ιδιωτικές εταιρείες. Αποσπάσματα από μια τέτοια έρευνα δίδονται ακολούθως.

Ως γνωστό ο παντογράφος πρέπει να εφάπτεται στον αγωγό επαφής ασκώντας κατάλληλη πίεση, χωρίς ανωμαλίες στην κίνηση και απώλεια της επαφής. Στο ακόλουθο Σχήμα 34 απεικονίζεται η συμπεριφορά του τανυσμένου αγωγού επαφής όταν επ' αυτού ασκείται σημειακή δύναμη ανύψωσης Fq που κινείται με ταχύτητα v.



Σχήμα 34 : Ανύψωση του αγωγού επαφής

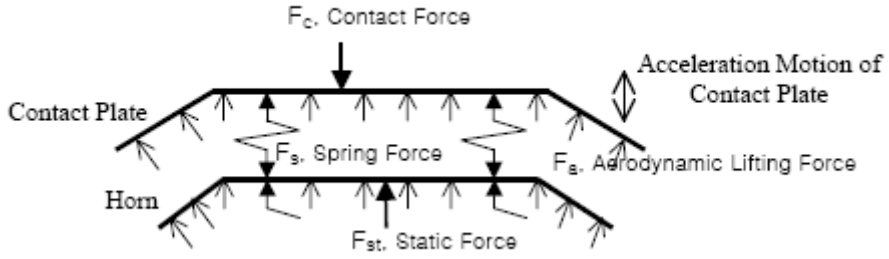
Η δύναμη επαφής πρέπει να είναι επαρκής ώστε να μην εμφανίζεται το φαινόμενο του αποχωρισμού του παντογράφου, το οποίο προκαλεί ηλεκτρικό τόξο (σπινθηρισμό) και περιορισμό στη λήψη του ρεύματος με αποτέλεσμα την κακή ποιότητα τροφοδοσίας και τη φθορά της αλυσοειδούς. Από την άλλη πλευρά η άσκηση από τον παντογράφο υπερβολικής πίεσης προκαλεί ταχύτατη διάβρωση στον αγωγό επαφής. Συνεπώς ο έλεγχος της ασκούμενης πίεσης επαφής του παντογράφου αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την συλλογή του ρεύματος και στη συντήρηση της αλυσοειδούς. Το σύστημα του παντογράφου που χρησιμοποιείται στις ηλεκτροκινούμενες κινητήριες μονάδες της γραμμής υψηλών ταχυτήτων της Κορέας (βλ. Σχήμα 35) είναι παντογράφος απλού βραχίονα με δυο συστήματα ανάρτησης, όπου το δεύτερο χρησιμοποιείται για να παρεμποδίζει τον αποχωρισμό από τον αγωγό, και έχει τα ακόλουθα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά :

Πίνακας 2:

Δύναμη κινήσεως	άνω : Κύριο ελατήριο
	κάτω : πνευματική ανάρτηση
Ανεμοπίεση	490 ~ 908 kPa
Δύναμη επαφής	Στατική : 70 kN
	Όριο : 200 kN
Ύψος εργασίας από τη θέση έδρασης	Ελάχιστη : 100 mm
	Μέγιστη : 1500 mm
	Κανονική : 1092 mm
Βάρος	2,7 kN
Τάση ρεύματος	25 kV / 60 Hz
Ένταση ρεύματος	Λειτουργία : 1000 A
	Μέγιστη : 1200 A
Απώλεια επαφής	Κάτω από 1% κατά τη λειτουργία

Σχήμα 35 : Παντογράφος Κορεάτικων Σιδηροδρόμων

Η δύναμη επαφής (ανύψωσης) του παντογράφου είναι ένα σύνολο δυνάμεων, δηλαδή δυνάμεις ελατηρίου, αδρανειακές και αεροδυναμικές. Οι ασκούμενες δυνάμεις στον παντογράφο σε κατάσταση ισορροπίας, αγνοώντας τη δύναμη ελατηρίου του δεύτερου βραχίονα, τη φαίνονται στο Σχήμα 36.



Σχήμα 36 : Ασκούμενες δυνάμεις στον παντογράφο

Η εξίσωση ισορροπίας των δυνάμεων είναι η ακόλουθη :

$$-F_{con} + F_{aero} + F_{sp} = m_{cp} \cdot a$$

όπου :

a = επιτάχυνση του ελάσματος επαφής του παντογράφου
F_{aero} = αεροδυναμική δύναμη ανύψωσης
F_{con} = δύναμη στο έλασμα επαφής
$\overline{F}_{con}$= μέση τιμή δύναμης του ελάσματος επαφής
F_{sp} = στατική δύναμη ελατηρίου
$\overline{F}_{sp}$ = μέση τιμή στατικής δύναμης ελατηρίου
k = σταθερά αεροδυναμικής δύναμης ανύψωσης
m_{cp} = μάζα του ελάσματος επαφής του παντογράφου
V = ταχύτητα του τραίνου

Το έλασμα επαφής (ή διαφορετικά «πλάκα ολίσθησης») είναι πάνω στην δευτερεύουσα ανάρτηση του βραχίονα οδήγησης ώστε να ακολουθεί τον αγωγό επαφής με ομαλό τρόπο. Η αρχική στατική δύναμη ανύψωσης παρέχεται από τα κύρια ελατήρια που βρίσκονται στην οροφή της κινητήριας μονάδος και μεταφέρεται στην δευτερεύουσα ανάρτηση και είναι ελεγχόμενη από το πνευματικό σύστημα.

Ο παντογράφος σε υψηλές ταχύτητας υπόκειται σε αεροδυναμικά πεδία που προκαλούν δύναμη ανύψωσης, η οποία κατανέμεται σε όλα τα επιμέρους στοιχεία. Είναι γενικά δύσκολο να μετρηθεί σε πραγματικό χρόνο, δηλαδή κατά τη φάση λειτουργίας, η αναπτυσσόμενη τιμή της δύναμης επαφής διότι οι συσκευές μετρήσεως υπόκεινται στους κινδύνους της υψηλής τάσης. Στις περισσότερες περιπτώσεις μελετών αγνοείται η επίδραση της αεροδυναμικής δύναμης ανύψωσης, κάτι το οποίο δεν μπορεί να συμβεί για τις υψηλές ταχύτητες αφού η επιρροή της αεροδυναμικής είναι σημαντικά υψηλή και για το λόγο αυτό είναι απαραίτητος ο ακριβής υπολογισμός της δύναμης αυτής.

Η συμμετοχή των αδρανειακών δυνάμεων στην συνολική δύναμη επαφής είναι μηδενική και όπως φαίνεται από το Σχήμα 36 η δύναμη ελατηρίων που εφαρμόζεται με τη δευτερεύουσα ανάρτηση υπολογίζεται ως δύναμη επαφής αν αφαιρεθεί η επίδραση της αεροδυναμικής

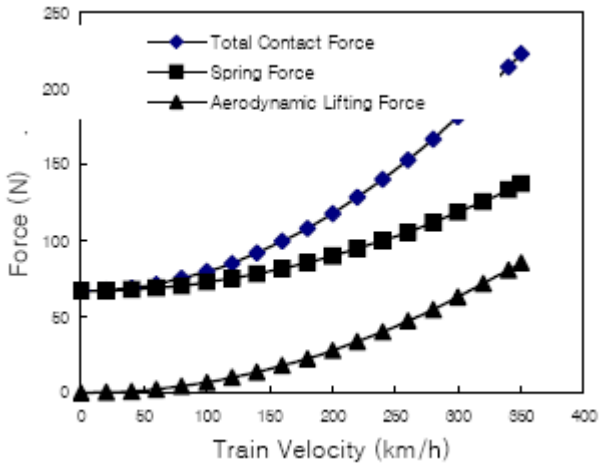
ανύψωσης. Η μέση τιμή της δύναμης ελατηρίων μπορεί να μετρηθεί με όργανο ακριβείας που τοποθετείται στην δευτερεύουσα ανάρτηση στη φάση λειτουργίας. Όπως είναι γνωστό η αεροδυναμική ανυψωτική δύναμη είναι ανάλογη με το τετράγωνο της ταχύτητας κυκλοφορίας του οχήματος. Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο μέσος όρος των αδρανειακών δυνάμεων είναι μηδέν προκύπτει η ακόλουθη εξίσωση :

$$\bar{F}_{con} = \bar{F}_{sp} + k \cdot V^2$$

Αν είναι εφικτό να μετρηθούν ταυτόχρονα η δύναμη ελατηρίων και η δύναμη επαφής κατά τη διάρκεια της κίνησης του οχήματος, τότε προκύπτει ο αεροδυναμικός συντελεστής k με την εφαρμογή της απλής εξισώσεως :

$$k = \frac{\bar{F}_{con} - \bar{F}_{sp}}{V^2}$$

Από μετρήσεις διαφαίνεται ότι η δύναμη ανύψωσης αυξάνει ανάλογα με το τετράγωνο της ταχύτητας. Επίσης η μεταβολή του αθροίσματος των μετρούμενων δυνάμεων ανύψωσης και ελατηρίων σε σχέση με την ταχύτητα του οχήματος, δίδεται διαγραμματικά στο Σχήμα 37, από το οποίο προκύπτει η αεροδυναμική δύναμη ανύψωσης ως διαφορά των δυο μετρούμενων δυνάμεων.



Σχήμα 37 : ανάλυση δυνάμεων βάσει των μετρήσεων

Έτσι προέκυψε η σταθερά της αεροδυναμικής δύναμης ανύψωσης, δηλαδή

$$k = 0.000545 \text{ N/km}^2$$

Όπως φάνηκε από τα αποτελέσματα η συνολική δύναμη «διεπαφής» ξεπερνά το όριο των 200 kN όταν η ταχύτητα του τραίνου έφτανε στα 270 km/h. Το γεγονός αυτό οδήγησε στην τροποποίηση της ταινίας ολίσθησης (ελάττωση διαστάσεων) ως προς το πλάτος και το πάχος αυτής.

6. Τροχαίο Υλικό

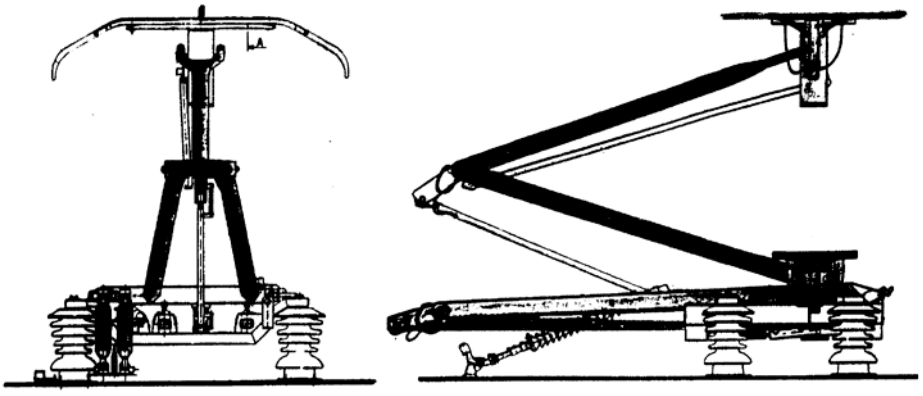
Τα ελκτικά στοιχεία είναι:

- η πρόσφυση μεταξύ των κινητηρίων τροχών και των σιδηροτροχιών,
- η συνολική αντίσταση του συρμού,
- η ισχύς του κινητήρα ή των κινητήρων,
- η δύναμη έλξης που αναπτύσσεται στα επίσωτρα των κινητηρίων τροχών.

Η ισχύς διακρίνεται σε ονομαστική και ωφέλιμη ισχύ. Η ονομαστική ισχύς είναι η αρχικά παρεχόμενη ισχύς όπως προδιαγράφεται από τον κατασκευαστή του κινητήρα. Ένα μέρος της απορροφάται από τις βοηθητικές διατάξεις του κινητήρα και ένα μέρος της χάνεται κατά τη μετάδοση της κίνησης από τον άξονα του κινητήρα στα επίσωτρα των τροχών. Η ισχύς που απομένει ονομάζεται ωφέλιμη ισχύς και είναι αυτή που πραγματικά διατίθεται για την κίνηση των κινητηρίων μονάδων και του όλου συρμού.
Η δύναμη που προέρχεται από την ωφέλιμη ισχύ της κινητήριας μονάδας και ενεργεί στα επίσωτρα των τροχών ονομάζεται ελκτική δύναμη επισώτρων. Η δύναμη αυτή προκαλεί την κίνηση των κινητηρίων μονάδων και του όλου συρμού.
Η βασική σχέση που πρέπει να ισχύει κάθε στιγμή για να εξασφαλίζεται η κίνηση του συρμού είναι [Γιαννακός, 1999]:

$$\Pi > F_t > W_k$$

όπου Π: συνολική δύναμη πρόσφυσης των κινητηρίων τροχών
F_t δύναμη έλξης στα επίσωτρα
W_k αντίσταση κίνησης της όλης αμαξοστοιχίας.



Σχήμα 38: Παντογράφος [Γιαννακός, 1999]

Στα σιδηροδρομικά, όπως και στα οδικά οχήματα, η δύναμη έλξης των κινητήρων δεν μπορεί να παράγει μεταφορικό έργο εάν δεν έχει σημείο εφαρμογής. Στο σιδηρόδρομο το σημείο εφαρμογής βρίσκεται στην ελλειπτική επιφάνεια επαφής επισώτρου τροχών - σιδηροτροχιάς.
Η επιφάνεια επαφής, σαν επιφάνεια εφαρμογής της ελκτικής δύναμης (F_t), πρέπει να προβάλλει μια ορισμένη αντίσταση. Η αντίσταση αυτή που δεν είναι άλλη από τη δύναμη

πρόσφυσης (Π) πρέπει, για να εξασφαλίζεται η κίνηση του συρμού, να είναι οπωσδήποτε μεγαλύτερη από τη δύναμη έλξης (F_t).

Πρέπει να τονισθεί ότι στην περίπτωση ηλεκτρικής έλξης, ένας ηλεκτρικός κινητήρας χαρακτηρίζεται και από την ικανότητα που έχει να παρέχει για μικρό χρονικό διάστημα (short time), δύναμη έλξης μεγαλύτερη από αυτή που μπορεί να παρέχει σε συνεχή λειτουργία(continuous).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Bonnett Clifford, "Practical Railway Engineering", 2nd edition, Imperial College Press, 2005

Feyrabant Mr," Cours des Chemins de Fer", Ecole Nationale des Ponts et Chaussees, 1967.

Hay William, "Railroad Engineering", John Wiley, 1982

Kiessling, Puschmann, Schmieder, "Contact Lines for Electric Railways", Publicis, Munich, 2001

Railway Electrical Engineering Association of Japan, vol.8, no.10, pp.3-5, Oct.1997

Railway Electrical Engineering Association of Japan, vol.8, *vol.8, no.11, pp 77-78 and 81-83, Nov.1997*

Αμπακούμκιν Κ., «Σιδηρόδρομοι», Εκδόσεις Συμμετρία. Αθήνα 1990.

Αμπακούμκιν Κ., «Μητροπολιτικοί Σιδηρόδρομοι», Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1990.

Γιαννακός Κωνσταντίνος, "Η διαλειτουργικότητα στον σιδηρόδρομο: ένα μοντέλο ανάπτυξης για τη ΝΑ. Ευρώπη", Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ./ Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, 2000

Γιαννακός Κωνσταντίνος, «Διαχείριση Σιδηροδρομικής Υποδομής», Εργασία που υποβλήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού μαθήματος «Μελέτη και Διαχείριση Οδικών έργων και Συγκοινωνιακής Υποδομής», για απόκτηση Διδακτορικού Διπλώματος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Συγκοινωνιών και Οργάνωσης, Θεσσαλονίκη, 1999.

Προφυλλίδης Β., «Σιδηροδρομική», τόμος Ι, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Ξάνθης, Ξάνθη, 1994

Προφυλλίδης Β., «Σιδηροδρομική», τόμος ΙΙ, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Ξάνθης, Ξάνθη, 1997

Πυργίδης Χ., "Σχεδιασμός και Κατασκευή Σιδηροδρομικής Υποδομής", Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 1994

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 9

Σταθερή Επιδομή

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως είναι γνωστό, η τεχνολογία της προκατασκευής έχει υπεισέλθει σε πλήθος τεχνικών έργων συμβάλλοντας όλο και περισσότερο στην συντόμευση του χρόνου κατασκευής τους παράλληλα με την βελτίωση της αντοχής στον χρόνο και την συνολική αύξηση της ποιότητας τους. Σε σχέση με τα σιδηροδρομικά έργα, πέραν της τεχνολογίας κατασκευής προκατασκευασμένων προεντεταμένων στρωτήρων που κυριαρχούν στην δομή και διαδικασία στρώσης γραμμής, τα τελευταία χρόνια ολοένα και περισσότερο η τεχνολογία της προκατασκευής συμβάλλει στην ανάπτυξη συστημάτων «σταθερής επιδομής».

Με τον όρο «σταθερή επιδομή» νοείται το σύστημα γραμμής στο οποίο η έδραση των σιδηροτροχιών δεν πραγματοποιείται επί στρωτήρων επί έρματος (όπως η παραδοσιακή πρακτική), αλλά σε σταθερή οπλισμένη πλάκα από σκυρόδεμα, η οποία με την σειρά της εδράζεται σε κάτω από αυτήν φέρουσες στρώσεις με κλιμακούμενο προς τα κάτω μέτρο ελαστικότητας. (βλ. Σχ. 1)

Σταθερή Επιδομή (Slab Track ή Feste Fahrbahn)[1]

Μετά από αρκετά χρόνια διεθνούς εμπειρίας (π.χ. Ιαπωνία, Γερμανία, Γαλλία κ.λπ.) σε υψηλές ταχύτητες, παρατηρήθηκε σημαντική φθορά στο έρμα, το οποίο λόγω των δυναμικών φορτίων, τροχοπεδήσεων κ.λπ., κυριολεκτικά συνθλίβεται και συμπυκνούται με αποτέλεσμα την απώλεια της ελαστικότητας του, τη δυσχέρεια στην απορροή των ομβρίων κ.λπ. Υπό αυτές τις συνθήκες η διατήρηση της γεωμετρίας της γραμμής απαιτεί συχνότατες και δαπανηρότατες επεμβάσεις, τα δε επιμέρους δομικά στοιχεία της επιδομής (στρωτήρες, σιδηροτροχιές, υλικά σύνδεσης κ.λπ.) υφίστανται ανεπίτρεπτες φθορές και χρήζουν με τη σειρά τους αντικατάστασης πολύ ενωρίτερα από τον αναμενόμενο χρόνο ζωής τους. Επίσης δεν αποφεύγονται δαπανηρές επεμβάσεις και στην υποδομή.

Η σταθερή επιδομή συνίσταται ουσιαστικά από ένα σύστημα άκαμπτης φέρουσας κατασκευής από σκυρόδεμα και τους κατάλληλα διαμορφωμένους και στερεωμένους επ' αυτής συνδέσμους, οι οποίοι συγκρατούν τις σιδηροτροχιές (σχήμα 1[2] παρουσιάζει ενδεικτικά σχηματική τομή).

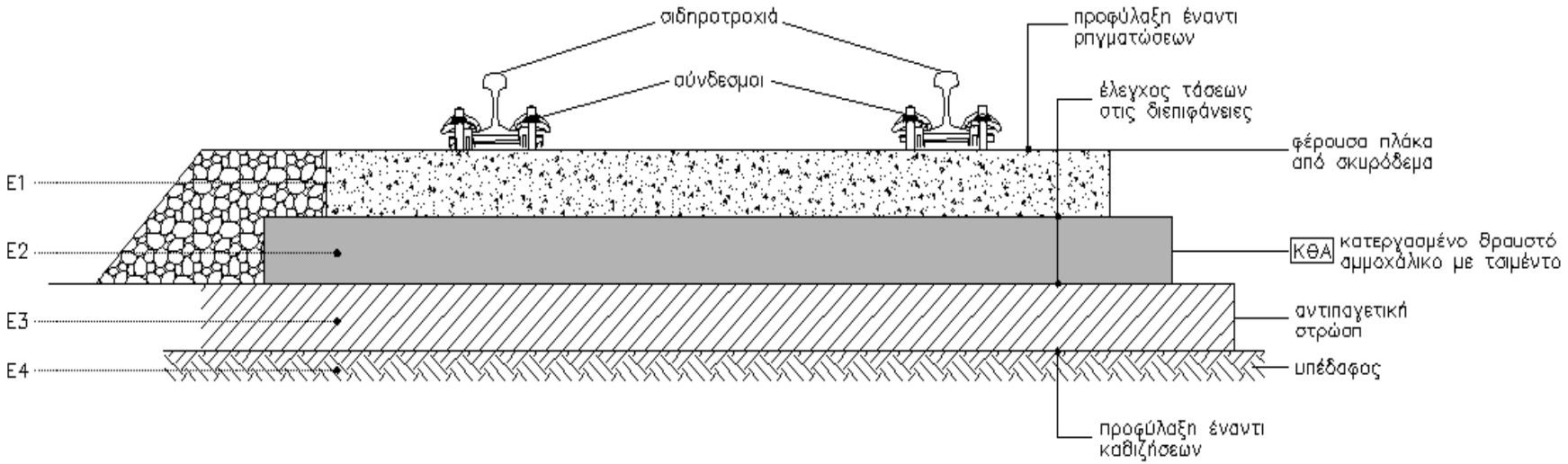
Με τη μέθοδο της Σταθερής Επιδομής (Σ.Ε.) αίρονται ουσιαστικά (όπως αποδείχθηκε και πρακτικά από την πάνω από 30 χρόνια εφαρμογή της) τα μειονεκτήματα της γραμμής επί «έρματος», αφού το έρμα αντικαθίσταται εξ ολοκλήρου από φέρουσα πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος επί κατάλληλα διαμορφωμένου υποστρώματος (σχήμα 1).

---

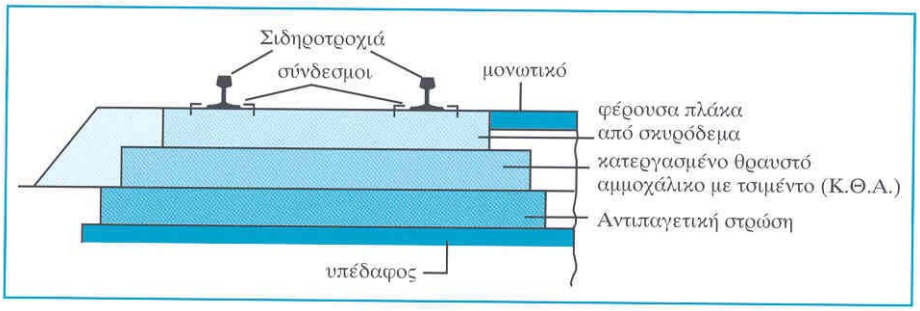
[1] Τσουκαντάς Σ., Τσίτουρας Χ., Γιαννακός Κ., Παλιεράκης Α., Ταλαμπέκος Γ., «Σταθερή Επιδομή - Η νέα τεχνολογία με βάση το σκυρόδεμα στη διαμόρφωση σιδηροδρομικής γραμμής», ΤΕΕ - Ελληνικό Τμήμα Σκυροδέματος (Μέλος FIB - RI-LEM), 13° Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, Ρέθυμνο, 25-27 Οκτωβρίου 1999, Πρακτικά τόμος ΙΙΙ, σελ. 411-425. Γιαννακός Κωνσταντίνος, Η διαλειτουργικότητα στον σιδηρόδρομο: ένα μοντέλο ανάπτυξης για τη ΝΛ. Ευρώπη, Διδακτορική διατριβή στο Α.Π.Θ., 2000.

[2] Επιτροπή Παρακολούθησης Σταθερής Επιδομής ΟΣΕ – ΕΡΓΟΣΕ, Τσουκαντάς Σ. Γ., «Διερεύνηση προβλημάτων που αφορούν την Εφαρμογή «Σταθερής Επιδομής» στην Ελλάδα σε σήραγγες, ανοιχτή γραμμή και Γέφυρες», Αθήνα Ιούλιος 2000

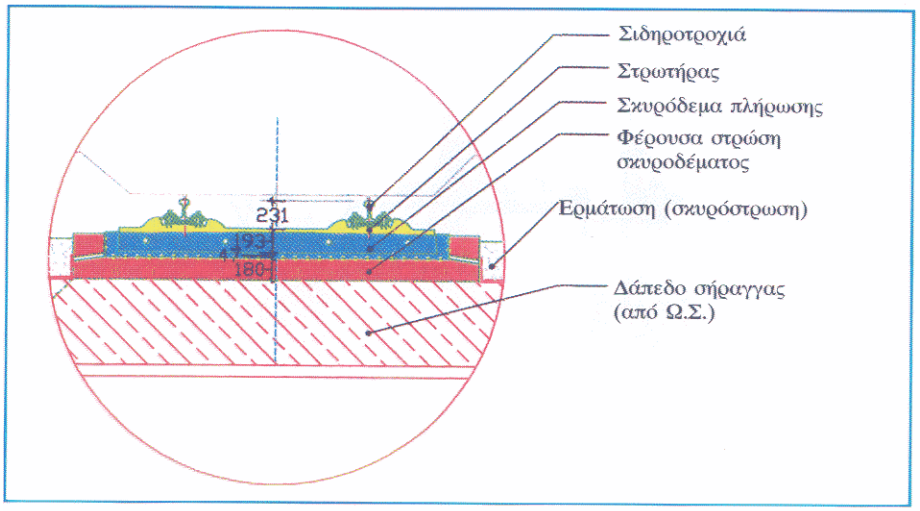
Σχ.1 : Σχηματική παράσταση συστήματος σταθερής επιδομής



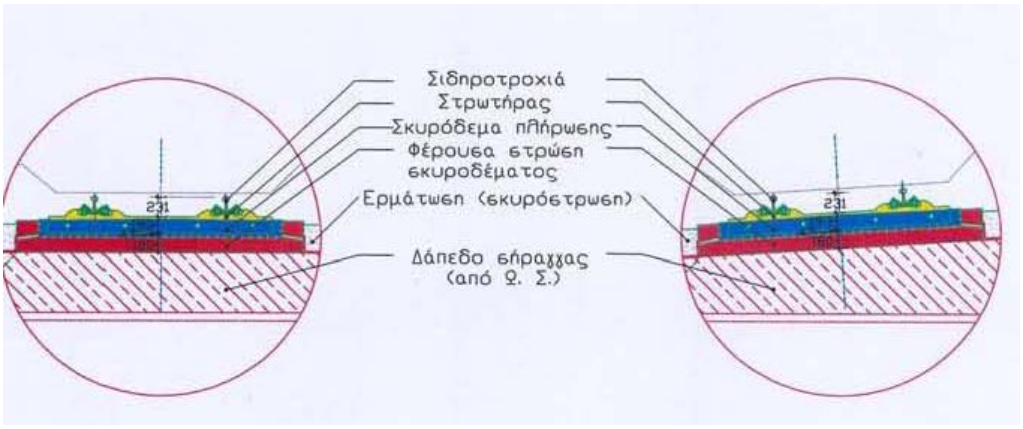
Πηγή Τσουκαντάς 2000



Σχήμα 21: Σχηματική παράσταση σταθερής επιδομής[3]

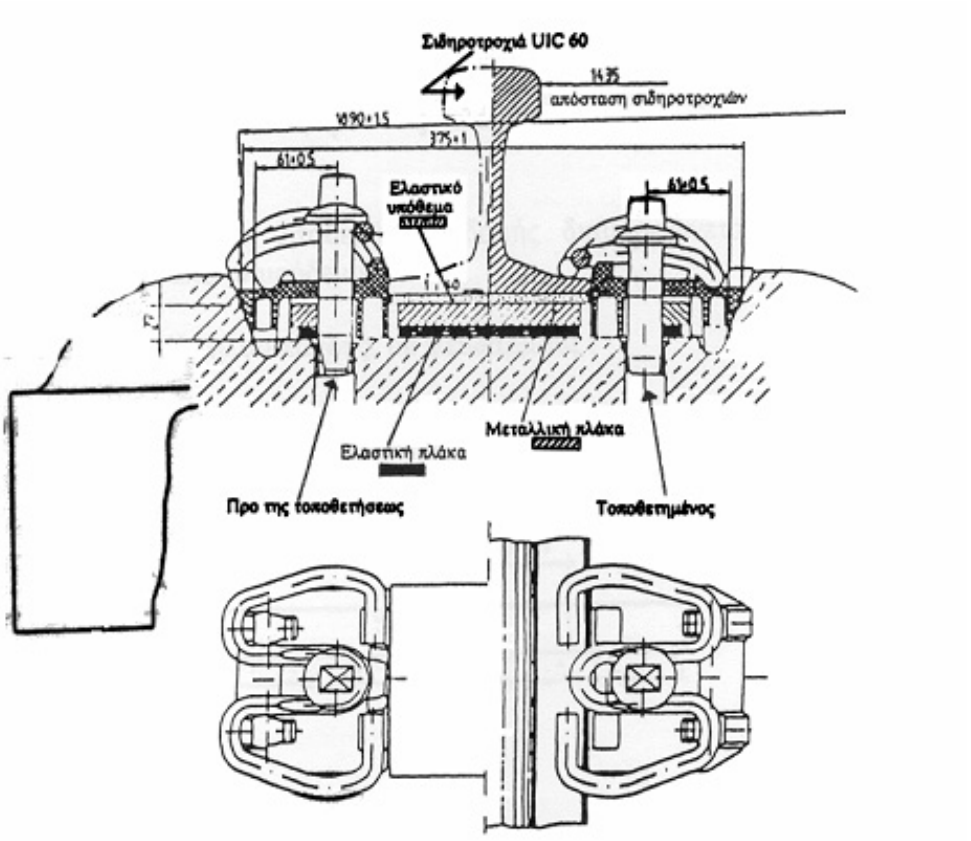


Σχήμα 3: Λεπτομέρεια σταθερής επιδομής τύπου Rheda



Σχήμα 4: Σταθερή επιδομή τύπου Rheda σε σήραγγα με απ' ευθείας έδραση στον πυθμένα της σήραγγας [Γιαννακός 2000, Τσουκαντάς 2000].

[3] Γιαννακός Κ. «Δράσεις στην Σιδηροδρομική Υποδομή», σελ. 57



Σχήμα 5: Σύνδεσμος Skl-300 για σταθερή επιδομή

Επιλογή κατασκευής γραμμής με σκυρογραμμή ή σταθερή επιδομή

Κύρια *πλεονεκτήματα* της μεθόδου της σταθερής επιδομής είναι:

- η προσφερόμενη αυξημένη άνεση επιβατών,
- η μεγάλη διάρκεια ζωής και
- η ελαχιστοποιημένη συντήρηση στο χρόνο σε σχέση με γραμμή έρματος, πράγμα που την καθιστά την πλέον ενδεδειγμένη μέθοδο για κατασκευή Γραμμής Υψηλών Ταχυτήτων μικτής κυκλοφορίας (βλ. και σχήματα 6, 7).

Τονίζεται ότι η εφαρμογή σταθερής επιδομής σε νέες σήραγγες επιτρέπει την μείωση της διατομής της σήραγγας με αποτέλεσμα, μείωση του συνολικού κόστους του έργου.

Μειονεκτήματα της σταθερής επιδομής, σε σύγκριση πάντα με γραμμή επί έρματος, είναι:

- το αρχικά υψηλότερο κόστος κατασκευής, το οποίο όμως αποσβέννυται με τον χρόνο, λαμβανομένου υπόψη του σχεδόν μηδενικού κόστους συντηρήσεως. Αν όμως ληφθεί υπόψη η εμπειρία του Γερμανικού δικτύου, το συνολικό κόστος εφαρμογών σταθερής επιδομής τείνει να είναι ολοένα και μικρότερο (20% έως 40 % ακριβότερο[4]

[4] Σημειώνεται ότι το κόστος εγκατάστασης της πρώτης εφαρμογής της Σταθερής Επιδομής σε ανοιχτή γραμμή στη Γερμανία, κόστισε περίπου 80% περισσότερο από την κλασσική σκυρογραμμή, σήμερα κυμαίνεται μεταξύ 20% και 40% με τάση περαιτέρω μείωσης.

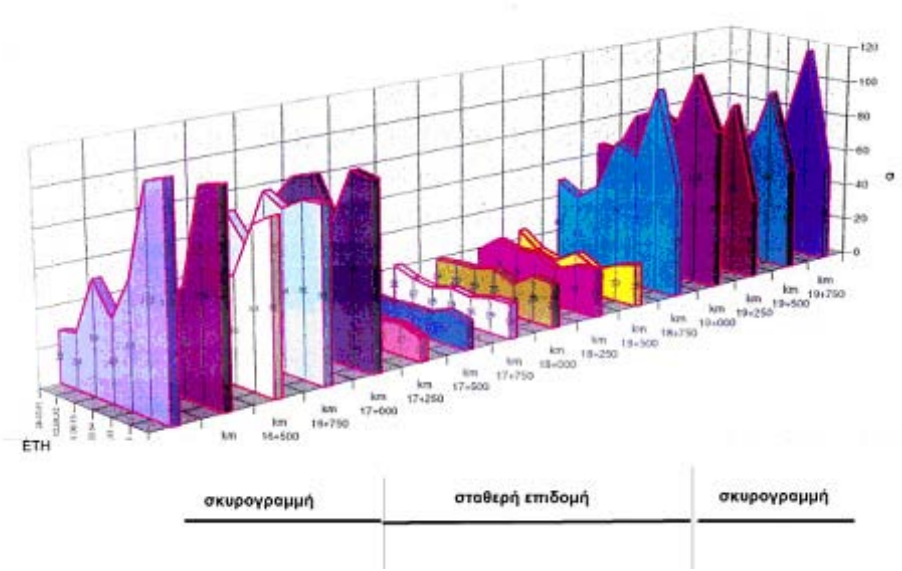
από το κόστος επιδομής με σκύρο, το οποίο ανάγεται σε 6% του συνολικού κόστους του έργου)[5].

- η κατά 3db περίπου αύξηση του θορύβου κατά την διέλευση συρμών επί σταθερής επιδομής.
  Σε περιπτώσεις όμως όπου αυτή η αύξηση θορύβου έχει ουσιαστικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, μπορούν να ληφθούν κατάλληλα μέτρα μείωσης του θορύβου πχ. κατάλληλες επικαλύψεις της φέρουσας πλάκας σε σιδηροδρομικούς σταθμούς, ή προσθήκη ηχοπετασμάτων κατά μήκος των γραμμών σε περιοχές διελεύσεων συρμών μέσω οικισμών.

  Σήμερα ευρίσκεται σε εξέλιξη συντονισμένη διεθνής έρευνα προς την κατεύθυνση μειώσεων του θορύβου σε γραμμές σταθερής επιδομής και αναμένεται ότι σύντομα και το θέμα αυτό θα επιλυθεί επαρκώς για τα επόμενα χρόνια.

Για την επιλογή του τύπου της γραμμής που θα κατασκευασθεί (σκυρογραμμή / σταθερή επιδομή) διάφοροι παράγοντες παίζουν ρόλο, όπως:

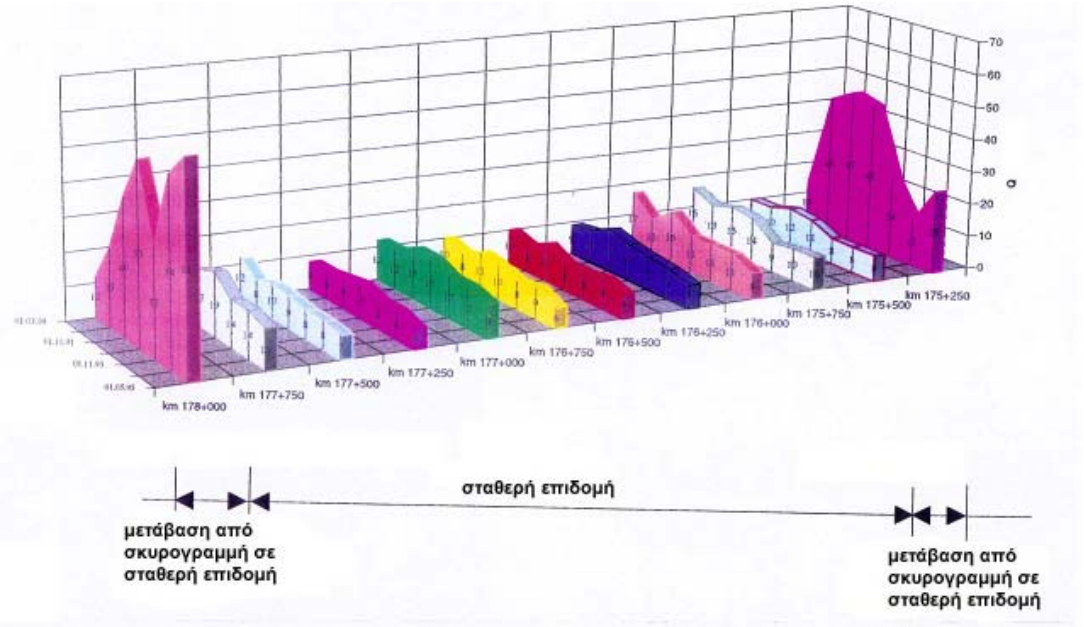
- κόστος κύκλου ζωής (life cycle cost) (αρχική επένδυση, διάρκεια ζωής, κόστος συντήρησης)
- διάρκεια κατασκευής
- διαθεσιμότητα και διατηρισιμότητα



Σχήμα 6: Χαρακτηριστική τιμή δείκτη ποιότητας γραμμής (Q) σε σταθερή επιδομή τύπου Rheda και τα εκατέρωθεν αυτής τμήματα γραμμής με σκύρο στον άξονα υψηλών ταχυτήτων, Köln - Leverkusen

[5] ΟΣΕ, Γενική Διεύθυνση Υποδομής, εισήγηση στο Δ.Σ. του ΟΣΕ για την «Έγκριση σκοπιμότητας, χαρακτηριστικών και ποιοτικών στοιχείων της μελέτης για την κατασκευή επιδομής της νέας διπλής σιδηροδρομικής γραμμής με την εφαρμογή της μεθόδου «Σταθερής Επιδομής» μεταξύ χ.θ. 374+625 έως χ.θ. 381+547 της γραμμής Αθηνών-Θεσσαλονίκης (περιοχή σήραγγας Τεμπών)», Αθήνα 2000.

Η επιλογή του τρόπου κατασκευής βασίζετο στο παρελθόν στο αρχικό κόστος επένδυσης, ενώ σήμερα θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το κόστος κύκλου ζωής (life cycle cost). Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα την επιλογή της λύσης της σταθερής επιδομής. Η επιλογή αυτή έχει και πρόσθετα οικονομικά οφέλη σε περιπτώσεις σηράγγων.



Σχήμα 7: Χαρακτηριστική τιμή δείκτη ποιότητας γραμμής (Q) σε σταθερή επιδομή τύπου Rheda και τα εκατέρωθεν αυτής τμήματα γραμμής με σκύρο στον άξονα υψηλών ταχυτήτων, Hannover - Würzburg

Απαιτήσεις σε μία υψηλής απόδοσης συντήρηση της γραμμής

Για μία αποτελεσματική συντήρηση της γραμμής, απαιτείται η επιθεώρηση της γραμμής και η εκτέλεση μετρήσεων (καταγραφή). Τα περισσότερα σιδηροδρομικά δίκτυα (διαχειριστές υποδομής) χρησιμοποιούν σήμερα καταγραφικά οχήματα για την καταγραφή της γεωμετρίας της γραμμής και συστήματα υπερήχων. Βάσει των καταγραφών και των επιθεωρήσεων προκύπτουν οι ανάγκες εκσυγχρονισμού των γραμμών για λόγους ασφαλείας και αύξησης ταχυτήτων.

Οι αυξήσεις στις ταχύτητες και τις δυνάμεις επιβάλλουν ακόμα πιο αυστηρούς περιορισμούς στις επιτρεπόμενες παρεκκλίσεις στη γεωμετρία της γραμμής. Οι μετρήσεις πρέπει να είναι εξαιρετικά ακριβείς. Οπότε, είναι πολύ σημαντικό να διαμορφώσουμε τις προδιαγραφές για τη δομή της γραμμής κατά τρόπο τέτοιο ώστε οι σχετικές παράμετροι να μπορούν να μετρώνται και να επαληθεύονται σαφώς. Αυτό ισχύει όχι μόνο για τις αντοχές της κατασκευής αλλά και για τα πρότυπα της συντήρησης.

Η χρήση νέων τεχνολογιών, νέων μεθόδων επιθεώρησης (π.χ. αυτόματες επιθεωρήσεις με βίντεο), και η χρήση υποστηρικτικών συστημάτων πληροφορικής και υποστήριξης

αποφάσεων, θα μπορούσε να αυξήσει την αποτελεσματικότητα της συντήρησης γραμμής και να μειώσει το κόστος συντήρησης.

Η ΑΝΑΓΚΗ ΧΡΗΣΕΩΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΕΠΙΔΟΜΗΣ

α) Τάσεις για την ανάπτυξη των σιδηροδρόμων στα τέλη του προηγούμενου αιώνα και απαιτήσεις του τρέχοντος αιώνα, είναι η εφαρμογή Γραμμών Υψηλών Ταχυτήτων (200 ÷ 350 km/h).

Για την ικανοποίηση δε των απαιτήσεων για υψηλές ταχύτητες, τα τελευταία 30 περίπου χρόνια έχει αναπτυχθεί παγκοσμίως και συνεχώς εξελίσσεται η τεχνολογία της Σταθερής Επιδομής.

β) Με την κίνηση των συρμών επί επιδομής με βάση την γνωστή σκυρογραμμή (γραμμή επί έρματος) και, ανάλογα με το φορτίο των συρμών, την πυκνότητα κινήσεως και ιδίως με την ταχύτητά-τους καθώς και την ποιότητα κατασκευής και συντήρησης της γραμμής, προκύπτουν οριζόντιες ή/και κατακόρυφες μετατοπίσεις των γραμμών («σφάλματα») λόγω στατικών και δυναμικών καταπονήσεων, και απαιτούνται διορθώσεις σε τακτά διαστήματα.

Μετά όμως από αρκετά χρόνια διεθνούς εμπειρίας (π.χ. Ιαπωνία, Γερμανία, Γαλλία κ.λ.π) σε υψηλές ταχύτητες παρατηρήθηκε σημαντική φθορά στο έρμα, το οποίο λόγω των δυναμικών φορτίων, τροχοπεδήσεων κλπ, κυριολεκτικά συνθλίβεται και συμπυκνούται με αποτέλεσμα την απώλεια της ελαστικότητάς του, τη δυσχέρεια στην απορροή των ομβρίων κ.λ.π. Υπό αυτές τις συνθήκες, η διατήρηση της γεωμετρίας της γραμμής απαιτεί συχνότατες και δαπανηρότατες επεμβάσεις, τα δε επιμέρους δομικά στοιχεία της επιδομής (στρωτήρες, σιδηροτροχιές, υλικά πρόσδεσης κ.λ.π.) υφίστανται ανεπίτρεπτες φθορές και χρήζουν με την σειρά-τους αντικατάσταση πολύ νωρίτερα από τον αναμενόμενο χρόνο ζωής-τους. Επίσης δαπανηρές επεμβάσεις δεν αποφεύγονται και στην υποδομή.

Σε ό,τι αφορά το έρμα, αυτό απαιτείται να αντικαθίσταται εξ' ολοκλήρου ανά διαστήματα πολύ συχνότερα απ΄ ότι για τις χαμηλότερες ταχύτητες ακόμη και στην περίπτωση γρανιτικών ή βασαλτικών πετρωμάτων.

Όταν δε το έρμα προέρχεται από ασβεστολιθικά πετρώματα όπως συμβαίνει στην Ελλάδα, τότε τα δυναμικά φαινόμενα του συστήματος «όχημα-γραμμή» καθιστούν την εφαρμογή γραμμής επί έρματος άκρως προβληματική, εξαιρετικώς δαπανηρή και κατ' ουσίαν ανεπίτρεπτη για γραμμές Υψηλών Ταχυτήτων.

Οι αρνητικές αυτές διεθνείς εμπειρίες οδήγησαν διεθνώς στην υιοθέτηση της σταθερής επιδομής. Με την μέθοδο της σταθερής επιδομής αίρονται ουσιαστικά (όπως αποδείχθηκε και πρακτικά από την πάνω από 30 χρόνια εφαρμογή-της) τα ως άνω μειονεκτήματα της γραμμής επί έρματος, αφού το έρμα αντικαθίσταται εξ΄ ολοκλήρου από φέρουσα πλάκα Ω.Σ. επί κατάλληλα διαμορφωμένου υποστρώματος.

γ) Σταθερή Επιδομή εφαρμόζεται :

- σε όλες σχεδόν τις Νέες γραμμές υψηλών ταχυτήτων στο Ευρωπαϊκό δίκτυο σε αντικατάσταση της κλασικής σκυρογραμμής,

- κατ' αποκλειστικότητα σχεδόν σε όλες τις σήραγγες.

ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΕΠΙΔΟΜΗΣ

Η δομή της σταθερής επιδομής, παρουσιάζεται σχηματικά στο Σχήμα 1.

α) Οι σιδηροτροχιές συνδέονται ελαστικά (ανά αποστάσεις 60÷65cm) με την άκαμπτη σταθερή φέρουσα κατασκευή.

β) Η φέρουσα κατασκευή συντίθεται από φέρουσες στρώσεις (πολυστρωματικό σύστημα), η αντοχή και το μέτρο ελαστικότητας των οποίων προβλέπεται να μειώνεται εκ των άνω προς τα κάτω (βλ. Σχ. 1), δηλαδή $E_1>E_2>E_3>E_4$.

γ) Η ελαστική σύνδεση των σιδηροτροχιών με το σώμα της Σ.Ε., εξασφαλίζεται μέσω κατάλληλων συνδέσμων και ελαστικών πλακών οι οποίες τίθενται μεταξύ του κάτω πέλματος της σιδηροτροχιάς και του άνω πέλματος της άνω φέρουσας στρώσης (της φέρουσας κατασκευής), σε κατάλληλα διαμορφωμένη περιοχή-της στην θέση της συνδέσεως όπως παρουσιάζεται σχηματικά στο Σχήμα 5 και Σχήμα 10.

δ) Οι ελαστικές πλάκες πρέπει να διαθέτουν τιμή c_{stat} = 22.5±2.5 kN/mm, σταθερή για περιοχές θερμοκρασιών από -30°C έως +60°C.

Με όλη αυτή τη διάταξη, την ελαστική στήριξη των σιδηροτροχιών και λόγω της καμπτικής ικανότητας της σιδηροτροχιάς UIC 60 (η οποία προβλέπεται με συνεχή συγκόλληση), η φόρτιση τροχού του συρμού κατανέμεται ομαλά στις ένθεν και εκείθεν του τροχού στηρίξεις της σιδηροτροχιάς έτσι ώστε να εξασφαλίζεται «ήρεμη» πορεία κατά την κίνηση του συρμού με ελαχιστοποίηση των δυναμικών επιβαρύνσεων (λόγω της κινήσεως).

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΕΠΙΔΟΜΗΣ.

α) Μετά την δοκιμαστική εφαρμογή σταθερής επιδομής σε άκαμπτη βάση σήραγγας το 1967 στο *Radcliffe on Trent* στην Αγγλία, όπου δοκιμάστηκαν διάφορα συστήματα στερεώσεως των σιδηροτροχιών σιδηροδρομικών γραμμών επί φέρουσας πλάκας (αντί στρωτήρων επί έρματος), άνοιξε ουσιαστικά ο δρόμος για την ανάπτυξη συστημάτων σταθερής επιδομής στην Ευρώπη .

β) Στην Ιαπωνία, από το 1964 δοκιμάστηκε με επιτυχία εφαρμογή Σ.Ε. και μετά από μερικά χρόνια έρευνας και παρατηρήσεις υιοθετήθηκε και εφαρμόζεται σχεδόν αποκλειστικά στις κύριες γραμμές σταθερή επιδομή με βάση την προκατασκευή.

γ) Στην Γαλλία, Ελβετία, Ιταλία, Αυστρία, Αγγλία, Ισπανία και αλλού σε όλες τις σήραγγες τα τελευταία χρόνια εφαρμόζεται η τεχνολογία σταθερής επιδομής, ενώ πρόσφατα στη Γαλλία στην γραμμή Μασσαλία – Παρίσι εφαρμόστηκε επίσης η Σταθερή Επιδομή.

δ) Η πρώτη επιτυχημένη εφαρμογή της Σ.Ε. στην Γερμανία έγινε περί το 1976, με την ανάπτυξη του συστήματος *RHEDA* και σήμερα (στην Γερμανία) Σταθερή Επιδομή είναι σε χρήση περί τα 350km γραμμής, με εφαρμογή διαφόρων συστημάτων Σ.Ε. που αναπτύχθησαν εν τω μεταξύ.

Στην Γερμανία σήμερα διατίθενται 6 εγκεκριμένα συστήματα Σταθερής Επιδομής, 4 με βάση το σκυρόδεμα και 2 με βάση ασφαλτικά υλικά, ενώ πλήθος άλλων ευρίσκονται σε φάση δοκιμαστικής διαδικασίας.

ε) Στο Σχ. 10, παρουσιάζεται τυπική διατομή Σταθερής Επιδομής τύπου *RHEDA – Sengeberg*. Με το σύστημα αυτό ευρίσκεται σήμερα σε εξέλιξη στην Ελλάδα η

κατασκευή διπλής σιδηροδρομικής γραμμής στις χιλιομετρικές θέσεις 374+625÷381+547 της γραμμής Αθηνών Θεσ/κης υπό την εποπτεία της ΕΡΓΑ-ΟΣΕ (μετά από διεξοδική μελέτη του συστήματος αυτού από την ίδια εταιρεία).

Το σύστημα αυτό αποτελεί μετεξέλιξη του προαναφερθέντος συστήματος *Rheda* και κατασκευάζεται με επί τόπου του έργου διαδικασίες.

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΕΠΙΔΟΜΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Γενικά

Από τις πρώτες κιόλας προσπάθειες εφαρμογών Σταθερής Επιδομής διεφάνησαν τα πλεονεκτήματα εφαρμογής της τεχνολογίας της προκατασκευής, και δεν είναι τυχαίο, ότι στην Ιαπωνία από το 1970 μέχρι σήμερα εφαρμόζονται σχεδόν αποκλειστικά προκατασκευασμένα συστήματα Σταθερής Επιδομής σ΄ όλο το Δίκτυο των Ιαπωνικών σιδηροδρόμων.

Σε αυτά που ακολουθούν, περιγράφονται συνοπτικά συστήματα Σ.Ε. με βάση την προκατασκευή όπως αναπτύχθησαν στην Ιαπωνία, Ιταλία και Γερμανία.

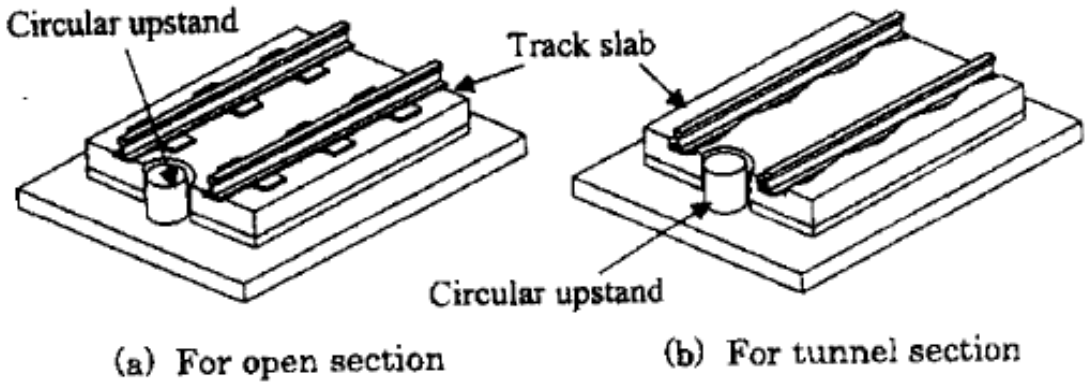
Στην Ιαπωνία

- Στο Σχ. 8 φαίνεται η κατασκευαστική διαμόρφωση Σ.Ε. μέσω προκατασκευής και το τύπος αυτός Σταθερής Επιδομής είναι ο βασικός τύπος (*Type A*). Στο Σχήμα 9 φαίνεται ο Ιαπωνικός τύπος σταθερής επιδομής για επίχωμα.

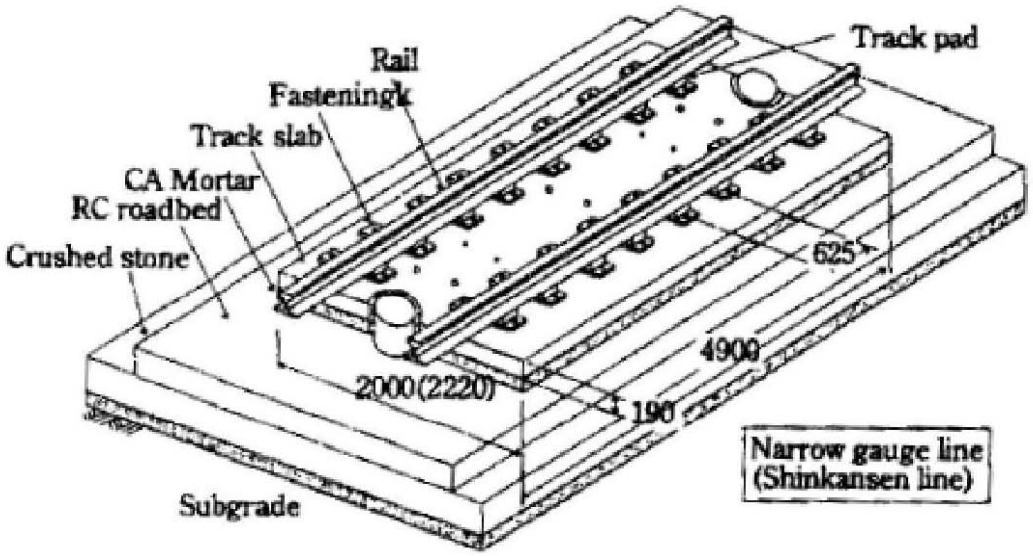
- Στον τύπο αυτό, οι προκατασκευασμένες πλάκες στηρίζονται επί βάσεως από σκυρόδεμα με ειδικές διατάξεις υψομετρικής ρυθμίσεως. Φροντίζεται έτσι ώστε η κάτω επιφάνεια της προκατασκευασμένης πλάκας να απέχει περί τα 50mm από την πάνω επιφάνεια της βάσεως η οποία είναι κατασκευασμένη επίσης από σκυρόδεμα.

- Η ενδιάμεση αυτή περιοχή των 50 mm πληρούται με έγχυση (και εκ των άνω μέσω κατάλληλων οπών της πλάκας) κονιάματος τσιμέντου - ασφαλτικού. [*C.A.M.*], κατάλληλης σύνδεσης.

- Οι προκατασκευασμένες πλάκες, έχουν μήκος 4.93÷4.95m, πλάτος 2.34m και πάχος 16÷20cm. Στις ακραίες περιοχές του πλάτους των πλακών, στις απολήξεις του διαμήκους άξονα, υπάρχει κατάλληλη ημικυκλική διαμόρφωση (θηλυκό) για την ορθή τοποθέτηση των πλακών στην θέση κατάλληλης κυλινδρικής διατάξεως.



Σχήμα 8: Σταθερή επιδομή σε προκατασκευασμένα τεμάχια των Ιαπωνικών σιδηροδρόμων [Ando et al., 2001]



Σχήμα 9: Σταθερή επιδομή σε προκατασκευασμένα τεμάχια των Ιαπωνικών σιδηροδρόμων επί επιχώματος [Ando et al., 2001]

- Η κυλινδρική διάταξη συγκρατήσεως, διαμέτρου 400mm και ύψους 250mm είναι κατασκευασμένη από οπλισμένο σκυρόδεμα και είναι ακάμπτως συνδεδεμένη με την βάση από οπλισμένο σκυρόδεμα. Χρησιμεύει ως οδηγός τοποθετήσεως των προκατασκευασμένων πλακών και κυρίως ως μηχανισμός συγκρατήσεως μετακινήσεων των προκατασκευασμένων πλακών σε διαμήκη και εγκάρσια έννοια. Οι διατάξεις αυτές συγκρατήσεως είναι κατασκευασμένες ανά αξονικές αποστάσεις 5.0m μεταξύ-τους.

- Οι προκατασκευασμένες πλάκες τοποθετούνται μεταξύ των δύο κυλινδρικών διατάξεων συγκρατήσεως με τις κατάλληλες ανοχές.

- Το κονίαμα *C.A.M.* είναι βασικότατος παράγοντας επιτυχίας και καλής λειτουργίας του όλου συστήματος της Σταθερής Επιδομής. Πρόκειται περί κονιάματος ειδικής συνθέσεως, από ασφαλτοπίλημα - τσιμέντο - λεπτόκκοκα αδρανή.

Ο ρόλος του είναι να αναλαμβάνει την φόρτιση, παρέχοντας ταυτοχρόνως ελαστική παραμόρφωση και απορρόφηση κραδασμών από την κίνηση των συρμών υπό μεγάλες ταχύτητες, συμβάλλοντας επίσης και στην μείωση του θορύβου.

- Η βάση του όλου συστήματος κατασκευάζεται επί τόπου του έργου (είτε μέσω σταθερών τύπων, είτε με τεχνικές ολισθαινόντων τύπων) από οπλισμένο σκυρόδεμα, (με αρμούς) ποιότητας 25N/mm^2.

- Οι προκατασκευασμένες πλάκες κατασκευάζονται κατά κανόνα από προεντεταμένο σκυρόδεμα με πλήρη ή μερική προένταση.

- Για την διαστασιολόγηση, σε περιοχές χαμηλών θερμοκρασιών θεωρούνται δύο άξονες (170 kN) σε απόσταση 2.5m λαμβάνοντας υπόψη συντελεστή επαυξήσεως λόγω

δυναμικών φαινομένων 1.45 για τις συνήθεις περιπτώσεις και 3.0 για εξαιρετικές περιπτώσεις.

- Σε όλες τις περιπτώσεις, υπό την επαναλαμβανόμενη φόρτιση εκ συρμών, βασική απαίτηση είναι να μην αναπτύσσονται εφελκυστικές τάσεις εκ κάμψεως και σε ακραίες περιπτώσεις, οι εξ αυτής της αιτίας αναπτυσσόμενες ρωγμές, δεν πρέπει να έχουν εύρος μεγαλύτερο από 0.1mm.

- Για την υποδομή και την στρώση διαμόρφωσης (κάτω από την πλάκα σκυροδέματος βάσεως) ως ελάχιστη τιμή του μέτρου συμπιεστότητας λαμβάνεται 111MN/m^3, υπό συνθήκες προσδιορισμού με πλάκα διαμέτρου 750mm.

5.3.Στην Ιταλία

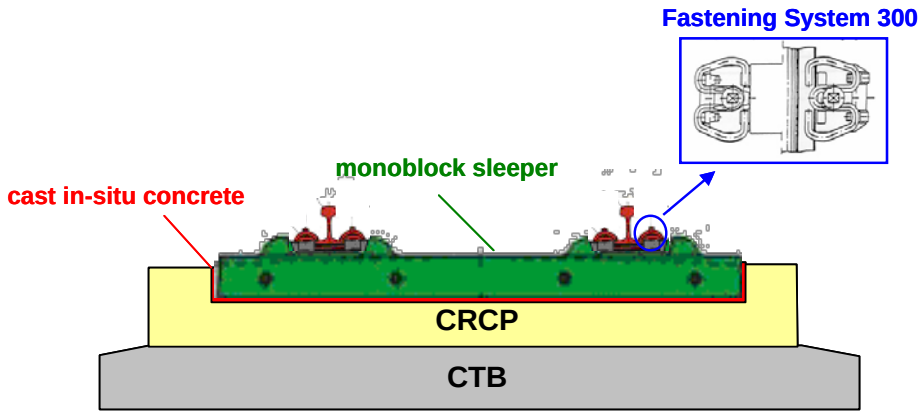
α) Στην Ιταλία έχει αναπτυχθεί το σύστημα «*IPA – System*» του οποίου η λογική σχεδιασμού είναι αυτή όπως εφαρμόζεται στην Ιαπωνία με μικρές βελτιώσεις.

β) Στο σύστημα αυτό :

– οι προκατασκευασμένες πλάκες έχουν μήκος 4.75m, πλάτος 2.5m και πάχος 15cm, είναι δε προεντεταμένες.

– Η βάση έδρασης προβλέπεται από πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος πάχους 25cm με συμμετρικό διπλό οπλισμό και αρμούς κάθε 30m, ικανή να παραλάβει την κατανομή των φορτίων που μεταφέρονται από τις άνω στρώσεις αλλά και καταπονήσεις λόγω ανωμαλιών της στρώσης διαμόρφωσης (του εδάφους).

– Η προκατασκευασμένη πλάκα τοποθετείται με ειδική μηχανική διάταξη (4 κοχλίες με δυνατό **η**τα ρυθμίσεως) επί της πλάκας έδρασης έτσι ώστε το κάτω πέλμα της να ευρίσκεται σε απόσταση περί τα 5cm πάνω από το άνω πέλμα της πλάκας έδρασης.
Ο χώρος αυτός (5×475×2.5) πληρούται με ειδικό υδαρές κονίαμα τσιμέντου-ασφαλτικού, με πίεση εκ των άνω, μέσω 8 κατακόρυφων οπών διαμέτρου 60mm, που προβλέπονται στο σώμα της προκατασκευασμένης πλάκας.



Σχήμα 10: Τυπική διατομή τύπου Rheda με σύνδεσμο Ioarv300 της Vossloh. [Giannakos et al., 2006]

Η στρώση αυτή του κονιάματος, αφ' ενός μεν εξομαλύνει τις ανωμαλίες του πάνω πέλματος της πλάκας έδρασης, αφ' ετέρου δε, προσδίδει και ελαστικότητα (μικρού μεγέθους όμως).

Στα πέρατα του διαμήκους μέσου άξονα της προκατασκευασμένης πλάκας, προβλέπονται από την παραγωγή της (στο μέσο των απολήξεων του πλάτους της) ημικυκλικές κυλινδρικές απολήξεις διαμέτρου 600mm που προεξέχουν 20mm από το κάτω πέλμα της πλάκας.
Οι ημικυλινδρικές αυτές απολήξεις (αρσενικό), με την τοποθέτηση της προκατασκευασμένης πλάκας εισέρχονται σε αντίστοιχες θέσεις-οπές (θηλυκό) που προβλέπονται στην οπλισμένη πλάκα έδρασης (που κατασκευάζονται από επιτόπου σκυροδέτηση), και έχουν σκοπό την εξασφάλιση της προκατασκευασμένης πλάκας έναντι διαμήκων και πλευρικών μετατοπίσεων.

5.4.Στην Γερμανία

5.4.1. Γενικά

α) Στην Γερμανία δοκιμές για κατασκευή Σταθερής Επιδομής άρχισαν προ 30 και πλέον ετών.

β)Πρώτη δοκιμή έγινε το 1967 στον Σιδηροδρομικό σταθμό *Hirschaid* με χρήση προκατασκευασμένων προεντεταμένων πλακών με διαμήκη και εγκάρσια προένταση.

Με βάση την εμπειρία από την πρώτη αυτή εφαρμο ή, η ο ό όμως δεν ήταν επιτυχημένη, οι Γερμανικοί σιδηρόδρομοι, ανέπτυξαν διάφορα συστήματα με βάση την προκατασκευή τα οποία ευρίσκονται στην φάση τεχνοοικονομικών διερευνήσεων.

γ) Εν των μεταξύ, η εταιρεία *Bögl*, ανέπτυξε σύστημα ομοειδές με αυτό των Ιαπωνικών σιδηροδρόμων το οποίο πρόσφατα, μετά από την διαδικασία δοκιμών επί πειραματικής γραμμής, έλαβε την έγκριση ευρείας εφαρμογής-του.

5.4.2. Συνοπτική παρουσίαση του συστήματος Bögl

Περιγραφή του συστήματος

- Στον τύπο αυτό, το βασικό φέρον στοιχείο της Σ.Ε. είναι προκατασκευασμένες πλάκες από προεντεταμένο σκυρόδεμα, ποιότητας Β55, οι οποίες παράγονται σε σύγχρονες εγκαταστάσεις δυναμικότητας 100 πλακών την ημέρα.

Οι πλάκες αυτές έχουν πλάτος όσο το απαιτούμενο από τον τύπο της γραμμής (μονή ή διπλή) και κατά κανόνα μήκος 6m.

- Στην πάνω επιφάνεια της προκατασκευασμένης πλάκας, από την παραγωγή της προβλέπονται ειδικές διαμορφώσεις στις θέσεις (ανά 65cm) όπου θα γίνει η τοποθέτηση και πρόσδεση των σιδηροτροχιών (πχ. διαμόρφωση όπως στους στρωτήρες, βλ. Σχ.11). Στις θέσεις μάλιστα εκείνες, στο πάχος της πλάκας (20cm) επιβάλλεται και η εγκάρσια προένταση.

- Μετά την κατασκευή στρώσεως Κ.Θ.Α. πάχους 30cm (με τις απαιτούμενες ανοχές), τοποθετούνται αρχικά επ' αυτής οι προκατασκευασμένες πλάκες και ακολουθεί η οριζοντιογραφική και υψομετρική ρύθμιση των πλακών η οποία επιτυγχάνεται με κατάλληλο απλό μηχανισμό που προβλέπεται στα άκρα των πλακών (βλ. Σχ. 11) ο

οποίος επιτρέπει και διορθώσεις εκ των υστέρων, πραγματοποιούμενες με ειδικό μηχάνημα με ακτίνες Λέιζερ.

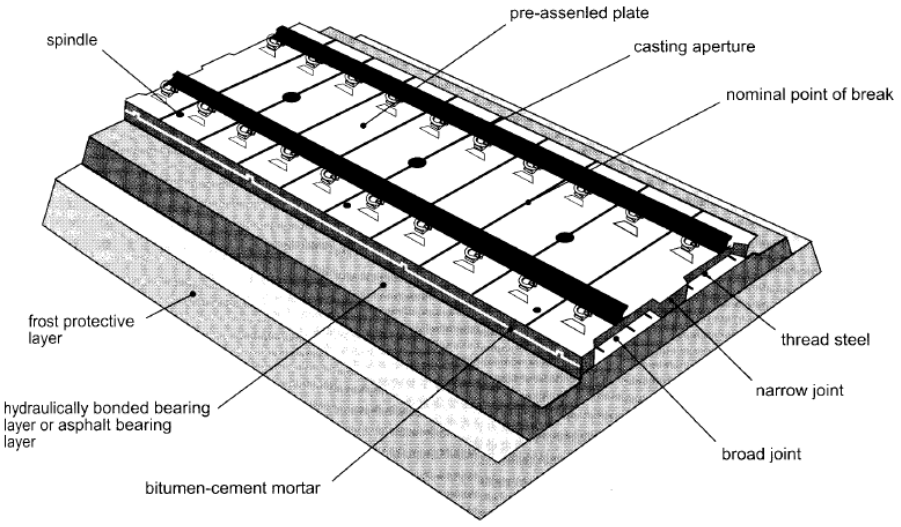
Με αυτόν τον τρόπο οι προκατασκευασμένες πλάκες ρυθμίζονται να συγκρατούνται υψομετρικώς σε απόσταση 20÷30mm από την στρώση Κ.Θ.Α. και η συνεργασία των δυο στρώσεων και ασφαλής στήριξη της πλάκας στην στρώση Κ.Θ.Α. επιτυγχάνεται με έκχυση (στον χώρο μεταξύ πλάκας και Κ. Θ. Α.) υδαρούς ειδικού μίγματος ασφαλτοτσιμέντου.

Το υλικό αυτό έχει μεγάλη αρχική ρευστότητα και διεισδυτικότητα, ενώ μετά από λίγες ώρες (~8) από την έγχυσή-του αποκτά σημαντικές αντοχές, ώστε το όλο σύστημα να μπορεί να τεθεί σε πλήρη φόρτιση.

Για την εξασφάλιση της πληρώσεως του κενού (μεταξύ προκατασκευασμένης πλάκας και Κ.Θ.Α.) προβλέπονται στις πλάκες μεγάλες οπές ελέγχου, ενώ στα πλαϊνά των πλακών η συγκράτηση του υδαρούς υλικού πληρώσεως προβλέπεται με ξύλινες απλές διατάξεις.

Κατά μήκος δε των πλακών σε αποστάσεις κάθε μιάμιση πλάκα, προβλέπεται και συγκράτηση του υλικού μέσω εγκάρσιων λωρίδων αεροθαλάμων (σαμπρέλες), από τις οποίες αφαιρείται ο αέρας μετά την σκλήρυνση του υδαρούς αρχικά υλικού και επαναχρησιμοποιούνται οι αεροθάλαμοι.

Κατά μήκος, οι πλάκες συνδέονται μεταξύ-τους μέσω εγκάρσιου αρμού με οδοντώσεις και αναμονές διαμήκων οπλισμών όπου με ειδική απλή διάταξη, οι απέναντι αναμονές (των διαμήκων οπλισμών) διαδοχικών πλακών, συνδέονται μεταξύ-τους (στην θέση του αρμού) και τους επιβάλλεται διαμήκης εφελκυστική δύναμη (με σύσφιγξη της κάθε άκρης αναμονής με την απέναντί-της).



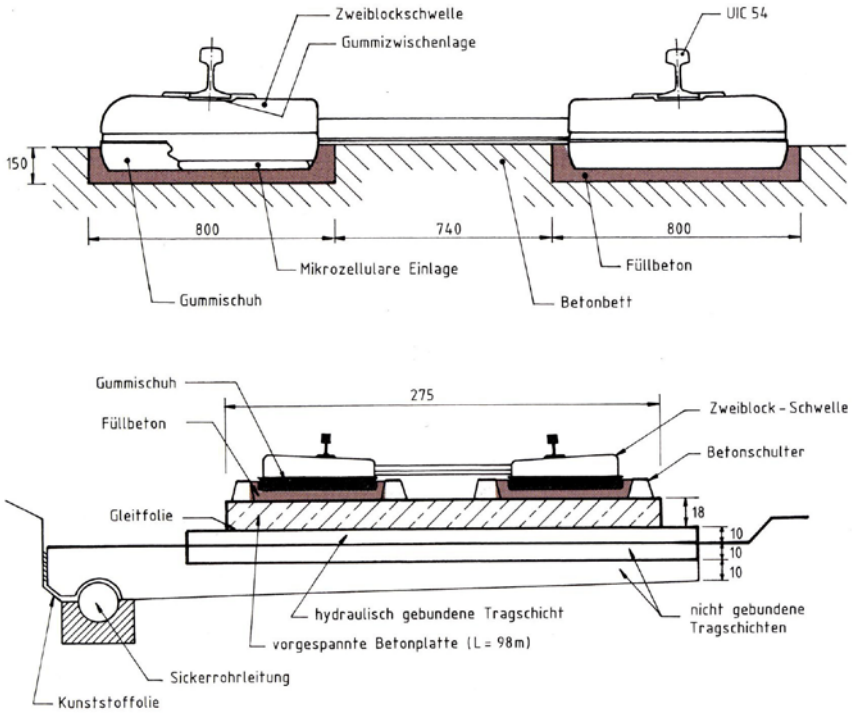
Σχήμα 11: το σύστημα σταθερής επιδομής Bögl [Lichtberger 2005]

Έχει δε προβλεφθεί, από την παραγωγή των προκατασκευασμένων πλακών, οι διαμήκεις αυτές ράβδοι οπλισμού να προβλέπονται με προένταση (μέσω συναφείας), με τόση δύναμη, όση απαιτείται για την διαμήκη συνεργασία των πλακών. Δηλαδή έχει

προβλεφθεί ώστε οι επιβαλλόμενες εφελκυστικές δυνάμεις συσφίγξεως να μην προκαλούν τελικά διαμήκεις εφελκυσμούς στο σώμα των πλακών.

Η άνω επιφάνεια των αρμών πληρούται επίσης με σκυρόδεμα.

Οι σύνδεσμοι συγκρατήσεως των σιδηροτροχιών είτε προβλέπονται κατά την παραγωγή των πλακών, είτε τοποθετούνται εκ των υστέρων π.χ. με χρήση ειδικού συστήματος της *Hilti* ή με άλλα παρόμοια συστήματα.



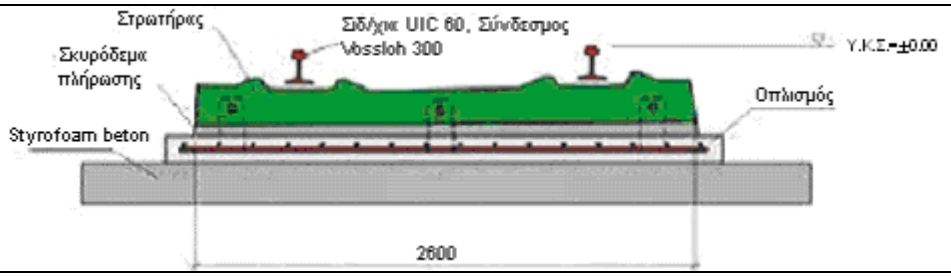
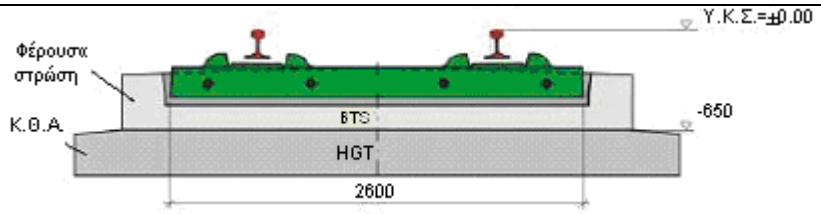
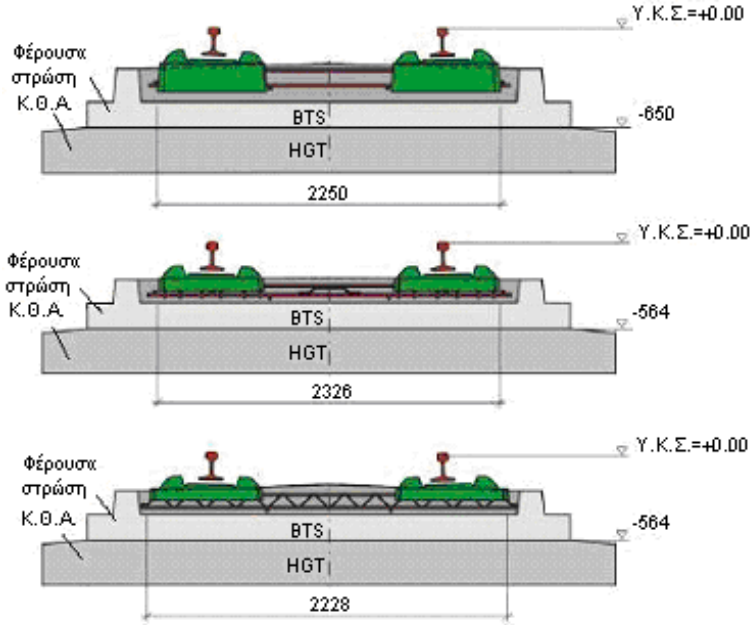
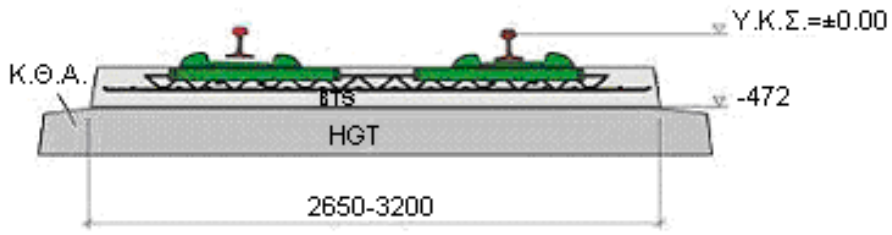
Σχήμα 12: Σύστημα σταθερής επιδομής Γαλλικού τύπου (STEDEF ή Sonneville) με διμερή στρωτήρα και ελαστική «μπότα». Χρησιμοποιείται στο Μετρό των Αθηνών και στη σήραγγα της Μάγχης. [Leykauf et al., 1997]

ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ RHEDA 2000

Το κλασικό σύστημα RHEDA είναι το πρώτο που μελετήθηκε συστηματικά στην Γερμανία και σχεδιάστηκε για συγκεκριμένη εφαρμογή που πραγματοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1972 στο σιδηροδρομικό σταθμό Rheda, απ' όπου πήρε και το όνομα.

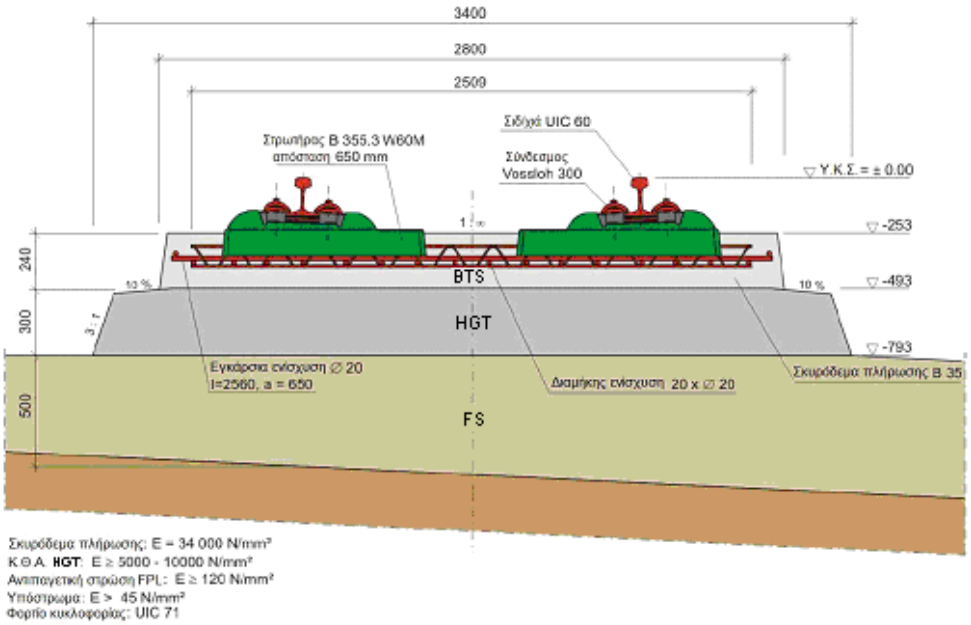
Μετά τις πρώτες επιτυχημένες εφαρμογές του κλασικού συστήματος Rheda (1972-1998) οι τεχνικές κατασκευαστικές εταιρίες (ή εταιρίες παραγωγής συστημάτων), εξέλιξαν το σύστημα αυτό κυρίως για την διευκόλυνση της κατασκευαστικής διαδικασίας (Rheda – Sengeberg) και την εξασφάλιση αρτιότερης μονολιθικότητας του όλου σώματος της Σ.Ε. (Rheda – Berlin, Rheda 2000).

Στα σχήματα που ακολουθούν (Σχ. 13 α, β, γ δ) παρουσιάζονται σχηματικά οι εξελίξεις αυτές :

	1972
Σχήμα 13α: Κλασσικό σύστημα Rheda	
	1981
Σχήμα 13β. Σύστημα Rheda – Sengeberg	
	1994 1996 1997
Σχήμα 13γ: Συστήματα Rheda – Berlin	
	1998
Σχήμα 13δ: Σύστημα Rheda 2000	

Σχήμα 13: Εξέλιξη του συστήματος Rheda στη Γερμανία [Τσουκαντάς, Γιαννακός κ.ά., 2006]

Στο Σχήμα 14 παρουσιάζεται σχηματικά η δομή του συστήματος RHEDA 2000 σε ανάχωμα :



Σχήμα 14: Διατομή συστήματος Rheda 2000 επί αναχώματος. Το σύστημα αυτό είναι το πλέον σύγχρονο των Γερμανικών σιδηροδρόμων

Στο παραπάνω σχήμα διακρίνονται από κάτω προς τα άνω :

- Η αντιπαγετική στρώση (FS), όπου απαιτείται.

- Η Στρώση κατεργασμένου με τσιμέντο θραυστού αμμοχάλικου (Κ.Θ.Α./ HGT). Η στρώση αυτή εδράζεται επί της κατάλληλης διαμορφωμένης στρώσης υποδομής (ανάχωμα), ή απευθείας επί φέρουσας πλάκας π.χ. όπως σε γέφυρες ή σε σήραγγες όπου εδράζεται απευθείας στην πλάκα δαπέδου της σήραγγας.

- Η Φέρουσα στρώση σκυροδέματος, το οποίο εκχύνεται μετά την τοποθέτηση των διμερών στρωτήρων. Η φέρουσα στρώση (από σκυρόδεμα Β35) προβλέπεται οπλισμένη με διαμήκη και εγκάρσιο οπλισμό, με ποσοστό συνολικού οπλισμού $\rho_s \sim 0,85 \div 0,9\%$.

  Ο οπλισμός αυτός (όπως και στα άλλα συστήματα Σ.Ε.) ο οποίος τίθεται στο μέσο του πάχους της φέρουσας πλάκας έχει σκοπό να εξασφαλίσει ελεύθερη ρηγμάτωση στην πλάκα, με εύρη ρωγμών≤0.5mm και α πόσταση μεταξύ ρωγμών μικρότερη από 1.5m περίπου.

  Η σκυροδέτηση πραγματοποιείται ως συνεχής (δηλ. χωρίς άλλους αρμούς παρά μόνο αρμούς εργασίας) και ο οπλισμός πρέπει να εξασφαλίζει στατική συνέχεια κατά μήκος.

  Το ελάχιστο πάχος της Φέρουσας Στρώσης είναι της τάξεως των 16 εκ ενώ ανάλογα με την περίπτωση μπορεί να αυξηθεί

- Οι στρωτήρες της επιδομής. Χρησιμοποιούνται διμερείς στρωτήρες οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με οπλισμό τύπου filigran, δηλαδή τρισδιάστατης εσχάρας οπλισμών (δικτυοδοκός), οι οποίοι προεξέχουν από το κάτω πέλμα των δύο επιμέρους σωμάτων από σκυρόδεμα τα οποία συνθέτουν τον διμερή στρωτήρα. Τα δύο σώματα (του διμερή στρωτήρα) δεν είναι προεντεταμένα, αλλά κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα με χαλαρό οπλισμό. Έτσι αποφεύγονται οι ερπυστικές παραμορφώσεις του προεντεταμένου στρωτήρα που στο κλασσικό σύστημα εκδηλωνόντουσαν ως διαφορικές οριζόντιες παραμορφώσεις στην διεπιφάνεια μεταξύ προεντεταμένου στρωτήρα και σκυροδέματος πληρώσεως. Εξάλλου στην Σ.Ε. Rheda 2000 το σύστημα «στρωτήρας-σκυρόδεμα» αποτελεί τώρα ενιαία μονολιθική φέρουσα στρώση.

- Για την προσήλωση των σιδηροτροχιών χρησιμοποιούνται σύνδεσμοι. Γενικά όλα τα συστήματα ελαστικών συνδέσμων σιδηροτροχιών για συστήματα σταθερής επιδομής μπορούν να εφαρμοστούν στο σύστημα Rheda 2000, εντούτοις αυτό απαιτεί μια προσαρμογή στον τύπο του στρωτήρα. Οι σύνδεσμοι των σιδηροτροχιών και τα ελαστικά υποθέματα διαδραματίζουν έναν πολύ σημαντικό ρόλο στα συστήματα σταθερής επιδομής επειδή παρέχουν το σύνολο της απαιτούμενης ελαστικότητας στη γραμμή, η οποία ελαστικότητα στη συμβατική στρώση γραμμής (δηλαδή στη σκυρογραμμή) παρέχεται από τα ελαστικά υποθέματα, τους συνδέσμους και τα σκύρα. Η απαιτούμενη δε ελαστικότητα που παρέχεται από τους συνδέσμους και τα ελαστικά υποθέματα στην σταθερή επιδομή είναι κατ΄ ελάχιστον διπλάσια συγκριτικά με τις αντίστοιχες ελαστικότητες τις σκυρογραμμής.

Η ΛΟΓΙΚΗ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ Σ.Ε.

Η λογική του σχεδιασμού της άκαμπτης φέρουσας κατασκευής της Σταθερής Επιδομής, είναι αντίστοιχη με αυτή των «δύσκαμπτων οδοστρωμάτων εδραζόμενων σε ελαστικό υπόβαθρο».

Για τον υπολογισμό των δυνάμεων που δρουν επί των στρωτήρων και μέσω αυτών στην φέρουσα στρώση του σκυροδέματος (Φ.Π.) χρησιμοποιείται η μέθοδος Zimmerman.

Στην μέθοδο αυτή η σιδηροδρομική τροχιά προσομοιάζεται με δοκό απείρου μήκους η οποία είναι ελεύθερα εδραζόμενη επί συνεχούς ελαστικού μέσου (θεωρεία Winkler), θεωρώντας ελατήρια στις θέσεις των στρωτήρων . Το βασικό τυπολόγιο της μεθόδου υπολογισμού δίδεται στις σχέσεις 1 και 2 που παρατίθενται ακολούθως :

Βύθιση της σιδηροτροχιάς : $$y = \frac{(\Sigma Q_i \cdot n_i)}{2 \cdot (b \cdot C) \cdot L} \quad (1)$$

Δύναμη στην θέση του στρωτήρα : $$S = (b \cdot C) \cdot a \cdot y_i \quad (2)$$

όπου : $$n = \frac{\sin\xi + \cos\xi}{e^{\xi}}$$

$$\xi = \frac{X}{L}, \quad L = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E \cdot I}{b \cdot C}}, \quad b \cdot C = c / a$$

όπου :

E : μέτρο ελαστικότητας σιδηροτροχιάς

I : ροπή αδράνειας σιδηροτροχιάς

C : δείκτης εδράσεως γραμμής

a : η απόσταση μεταξύ των στρωτήρων

b : μέσο πλάτος στρωτήρων

X : απόσταση φορτίου τροχού από στρωτήρα

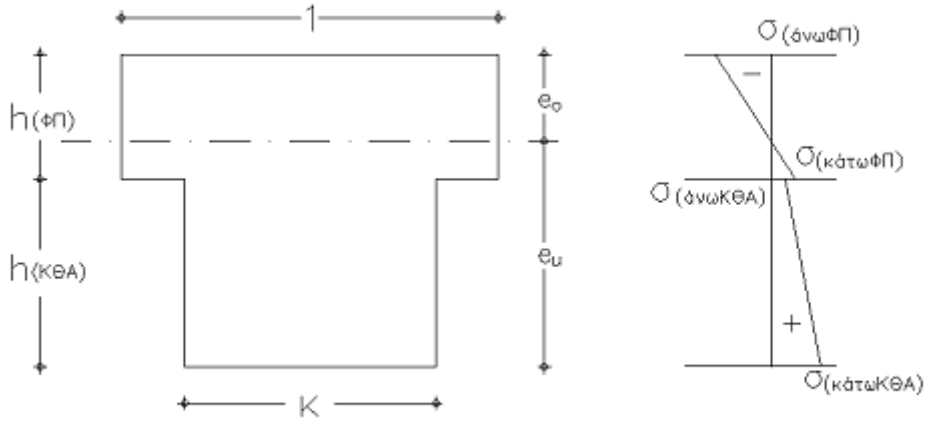
c : Δυναμικός συντελεστής ελαστικού υποθέματος

Q : φορτίο τροχού

L : ελαστικό μήκος ιδεατής γραμμής

Για τον υπολογισμό των τάσεων στις φέρουσες στρώσεις της Σταθερής Επιδομής ΦΠ και ΚΘΑ. χρησιμοποιείται κατά κανόνα η Μέθοδος Eisenmann. Με την μέθοδο αυτή υπολογίζονται οι τάσεις που αναπτύσσονται σε πολυστρωματικά συστήματα λαμβάνοντας υπόψη και την συνάφεια ή μη μεταξύ των στρώσεων. Κατά την μεθοδολογία αυτή, αρχικά υπολογίζεται το ισοδύναμο μέτρο αντιστάσεως της στρώσης έδρασης K (σύμφωνα με την μέθοδο Odemark), το ισοδύναμο μέτρο ελαστικότητας E και το πάχος του ισοδύναμου συστήματος, ανάλογα εάν μεταξύ των στρώσεων υπάρχει συνάφεια ή όχι.

Ακολούθως εφαρμόζεται η μέθοδος Zimmerman για την εύρεση των ροπών του ισοδύναμου συστήματος και τέλος υπολογίζονται οι τάσεις καθ΄ ύψος του πολυστρωματικού συστήματος θεωρώντας το ως πλακοδοκό (στην περίπτωση που υπάρχει συνάφεια μεταξύ των στρώσεων) με τα εξής γεωμετρικά χαρακτηριστικά.



όπου $h_{(ΦΠ)}$: το πάχος της Φ.Π.
$h_{(ΚΘΑ)}$: το πάχος του Κ.Θ.Α.
e_o : απόσταση κ.β. από άνω ίνα πλακοδοκού σε mm
e_u : απόσταση κ.β. από κάτω ίνα της πλακοδοκού σε mm

Το τυπολόγιο με το οποία γίνεται υπολογισμός των τάσεων του πολυστρωματικού συστήματος της Σταθερής επιδομής θεωρώντας πλήρη συνεργασία μεταξύ των στρώσεων ΦΠ και ΚΘΑ είναι το ακόλουθο :

$$h_X = 0{,}83 \cdot h_{(ΦΠ)} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_{(ΦΠ)}}{E_{(ΑΜΣΣ)}}} + 0{,}83 \cdot h_{(ΚΘΑ)} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_{(ΚΘΑ)}}{E_{(ΑΜΣΣ)}}} \quad \text{σε mm}$$

$$K = \frac{E_{(ΑΜΣΣ)}}{h_X} \quad \text{σε kN/mm}^3$$

$$h_{II} = h_{(\Phi\Pi)} + 0{,}9 \cdot h_{(K\Theta A)} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_{(K\Theta A)}}{E_{(\Phi\Pi)}}} \quad \text{σε mm}$$

$$IE = b_{(\Phi\Pi)} \cdot h_{II}^3 / 12$$

$$LE = [\frac{4 \cdot E_{(\Phi\Pi)} \cdot IE}{b_{(\Phi\Pi)} \cdot K}]^{0,25}$$

$$e_o = \frac{\frac{h^2{}_{(\Phi\Pi)}}{2} + x \cdot h_{(K\Theta A)} \cdot [h_{(\Phi\Pi)} + \frac{h_{(K\Theta A)}}{2}]}{h_{(\Phi\Pi)} + x \cdot h_{(K\Theta A)}} \quad \text{σε mm}$$

$$e_u = h_{(\Phi\Pi)} + h_{(K\Theta A)} - e_o$$

$$I = b_{(\Phi\Pi)} \cdot [\frac{h^3{}_{(\Phi\Pi)}}{12} + h_{(\Phi\Pi)} \cdot (\frac{h_{(\Phi\Pi)}}{2} - e_o)^2) + b_{(K\Theta A)} \cdot [x \cdot \frac{h^3{}_{(K\Theta A)}}{12} + x \cdot h_{(K\Theta A)}] \cdot (e_u - \frac{h_{(K\Theta A)}}{2})^2]$$

$$x = E_{(K\Theta A)} / E_{(\Phi\Pi)}$$

$$\sigma_{(\Phi\Pi\ \text{άνω})} = M_{II} / I \cdot e_o \ \text{σε} \ N/mm^2$$

$$\sigma_{(\Phi\Pi\ \text{κάτω})} = M_{II} / I\ [h_{(\Phi\Pi)} - e_o] \quad \text{σε} \ N/mm^2$$

$$\sigma_{(K\Theta A\ \text{άνω})} = x \cdot M_{II} / I \cdot [h_{(\Phi\Pi)} - e_o] \quad \text{σε} \ N/mm^2$$

$$\sigma_{(K\Theta A\ \text{κάτω})} = x \cdot M_{II} / I \cdot e_u \ \text{σε} \ N/mm^2$$

όπου :

$h_{(\Phi\Pi)}$	: πάχος στρώσης (ΦΠ) σε mm
$E_{(\Phi\Pi)}$	: μέτρο ελαστικότητας (ΦΠ) σε kN/mm^2
$h_{(K\Theta A)}$	: πάχος στρώσης (ΚΘΑ) σε mm
$E_{(K\Theta A)}$	: μέτρο ελαστικότητας (ΚΘΑ) σε kN/mm^2
IE	: ισοδύναμη ακαμψία πολυστρωματικού συστήματος σε mm^4
LE	: ελαστικό μήκος πολυστρωματικού συστήματος mm
h_{II}	: ισοδύναμο πάχος πολυστρωματικού συστήματος mm
M_{II}	: ροπή υπολογισμένη κατά Zinnerman σε kNmm
x	: ο λόγος των μέτρων ελαστικότητας των δύο στρώσεων $E_{(K\Theta A)} / E_{(\Phi\Pi)}$
e_o	: απόσταση κ.β. από άνω ίνα πλακοδοκού σε mm
e_u	: απόσταση κ.β. από κάτω ίνα της πλακοδοκού σε mm

Για τον υπολογισμό του ποσοστού οπλισμού ρ_s στην φέρουσα πλάκα και την εκτίμηση της αναμενόμενης μέσης απόστασης μεταξύ εγκαρσίων ρωγμών καθώς και του αναμενόμενου εύρους ρωγμών μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ακόλουθες σχέσεις

α) Απόσταση μεταξύ ρωγμών

$$\overline{X} = \frac{0{,}0522(1 + \frac{f_t}{70{,}4})^{6{,}70}(1 + \frac{\alpha_s}{2\alpha_c})^{1{,}15}(2{,}54 + \phi)^{2{,}19}}{(1 + \frac{\sigma_w}{70{,}4})^{5{,}20}(1 + p)^{4{,}60}(1 + 1000Z)^{1{,}79}} \quad \text{(m)}$$

β) Εύρη ρωγμών

$$\Delta X = \frac{0{,}00305\left(1+\frac{f_t}{70{,}4}\right)^{6{,}53}(2{,}54+\phi)^{2{,}20}}{\left(1+\frac{\sigma_w}{70{,}4}\right)^{4{,}91}(1+p)^{4{,}55}} \qquad \text{(cm)}$$

γ) Τάση στον χάλυβα

$$\sigma_s = \frac{3660^{(x)}\left(1+\frac{\Delta T_c}{55{,}6}\right)^{0{,}425}\left(1+\frac{f_t}{70{,}4}\right)^{4{,}09}}{\left(1+\frac{\sigma_w}{70{,}4}\right)^{3{,}14}(1+1000Z)^{0{,}494}(1+p)^{2{,}74}} \qquad (\text{Kg/cm}^2)$$

1. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

4.1. Παραδοχές πάχους στρώσεων, ποιότητας υλικών και μηχανικών τους χαρακτηριστικών

Στο προηγούμενο σχήμα φαίνεται η γεωμετρία του πολυστρωματικού συστήματος Σ.Ε.και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των στρώσεων της Σ.Ε., των οποίων μετράται η επάρκεια.

- Φέρουσα στρώση από πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος Φ.Π., ποιότητας C30/37
  - Πάχος (Φ.Π.) $h_{(\Phi\Pi)}$ = 240 mm
  - Ημιπλάτος (Φ.Π.) $b_{(\Phi\Pi)}$ = 1400 mm
  - Μέτρο Ελαστικότητας (Φ.Π.) $E_{(\Phi\Pi)}$ = 32 GPa

- Υπόστρωμα Φ.Π. από Κ.Θ.Α.
  - Πάχος (Κ.Θ.Α.) $h_{(K\Theta A)}$ = 300 mm
  - Ημιπλάτος (Κ.Θ.Α.) $b_{(K\Theta A)}$ = 1700 mm
  - Μέτρο Ελαστικότητας E = 7 GPa
  - Άνω μη σταθεροποιημένη με τσιμέντο φέρουσα στρώση $E_{(AM\Sigma\Sigma)}$ = 0,12 GPa

- Σιδηροτροχιά UIC 60
  - Ροπή αδρανείας I_x = 30.550.000 mm^4
  - Ροπή αντίστασης W_x = 335.500 mm^3
  - Μέτρο Ελαστικότητας E = 210 GPa

- Φορτία
  - Τύπος Φόρτισης (βλ. Σχ. 6) UIC 71
  - Αριθμός φορτίων 4
  - Απόσταση μεταξύ φορτίων 1600 mm
  - Φορτίο τροχού Q = 125 kN
  - Επαύξηση φορτίου τροχού λόγω κλίσεων στις καμπύλες 20 %
  - Συντελεστής ποιότητας σιδηροτροχιάς n = 0,1
  - Μέγιστη ταχύτητα V_{max} = 250 km/h
  - Επαύξηση λόγω δυναμικών φαινομένων $f2=1+3\cdot n\cdot(1+(V_{max}-60)/380)$ 1,45

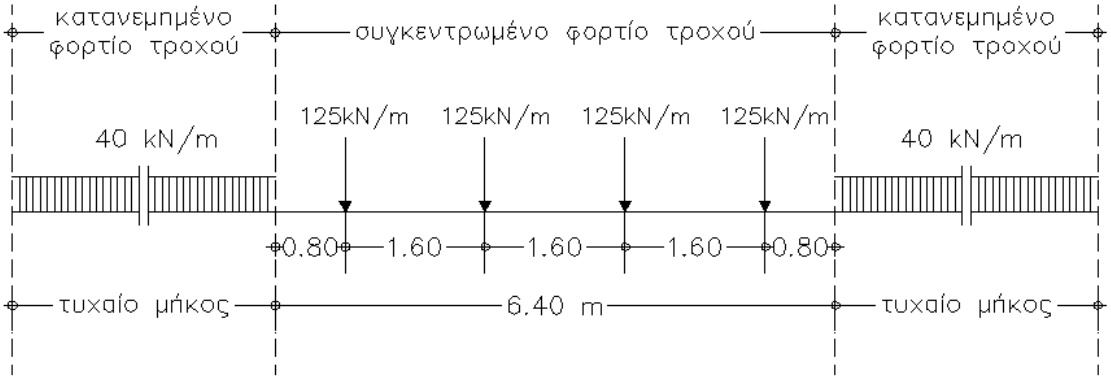
- Απόσταση μεταξύ στρωτήρων 0,65 m

- Σύνδεσμος εδράσεως σιδηροτροχιών : Ioarv 300, C_{stat} = 22,5 ± 2,5 kN/mm

Για τους υπολογισμούς λαμβάνεται επί το δυσμενέστερο :

$C_{dyn} = 1{,}6\ C_{stat,max} = 1{,}6 \cdot 25 = 40$ kN/mm > $1{,}4 \cdot 25 = 35$ kN/mm

- Επιτρεπόμενες τάσεις
  - Φέρουσα πλάκα από σκυρόδεμα C30/37
    - Καμπτική εφελκυστική αντοχή 5 MPa
    - Καμπτική εφελκυστική αντοχή μετά από $5 \cdot 10^6$ κύκλους φορτίσεως – αποφορτίσεως 0,85 MPa
  - Στρώση από Κ.Θ.Α. ή σκυρόδεμα ποιότητας C20
    - Καμπτική εφελκυστική αντοχή (ΚΘΑ) 1,6 MPa
    - Καμπτική εφελκυστική αντοχή (C20) 3 MPa
    - Καμπτική εφελκυστική αντοχή μετά από $5 \cdot 10^6$ κύκλους φορτίσεως – αποφορτίσεως 0,80 MPa



Σχήμα 15. Φόρτιση (σιδηροτροχιάς) UIC71

4.2.Έλεγχος τάσεων του πολυστρωματικού συστήματος όπως στο σχήμα 5, υπό τις παραδοχές που αναφέρονται παραπάνω , την μεθοδολογία και παραδοχή συνάφειας μεταξύ των στρώσεων φέρουσας πλάκας και Κ.Θ.Α.

4.2.1. Φορτία επί των στρωτήρων, σύμφωνα με την κατά Zimmerman θεώρηση

Επιρροή από	Άξονα 1			Άξονα 2		
Α/Α στήριξης	xi [mm]	ji	hi	xi [mm]	ji	hi
Στήριξη 1	350	0,47	0,836	1950	2,656	-0,029
Στήριξη 2	300	0,40	0,874	1300	1,771	0,133
Στήριξη 3	950	1,29	0,339	650	0,885	0,580
Στήριξη 4	1600	2,18	0,028	0	0,000	1,000
Στήριξη 5	2250	3,06	-0,04	650	0,885	0,580
Στήριξη 6	2900	3,95	-0,02	1300	1,771	0,133
Στήριξη 7	3550	4,83	-0,00	1950	2,656	-0,029
Στήριξη 8	4200	5,72	0,001	2600	3,542	-0,038
Στήριξη 9	4850	6,60	0,002	3250	4,427	-0,015
Στήριξη 10	5500	7,49	0,001	3900	5,313	-0,001
Επιρροή από	Άξονα 3			Άξονα 4		

Α/Α στήριξης		xi [mm	ji	hi	xi [mm]	ji	hi	S h
Στήριξη	1	3550	4,83	-0,00	5150	7,01	0,001	0,801
Στήριξη	2	2900	3,95	-0,02	4500	6,13	0,002	0,981
Στήριξη	3	2250	3,06	-0,04	3850	5,24	-0,002	0,874
Στήριξη	4	1600	2,18	0,028	3200	4,35	-0,016	1,040
Στήριξη	5	950	1,29	0,339	2550	3,474	-0,039	0,837
Στήριξη	6	300	0,40	0,874	1900	2,58	-0,024	0,955
Στήριξη	7	350	0,47	0,836	1250	1,703	0,157	0,957
Στήριξη	8	1000	1,36	0,304	600	0,817	0,624	0,891
Στήριξη	9	1650	2,24	0,016	50	0,068	0,996	0,999
Στήριξη	10	2300	3,13	-0,04	700	0,954	0,537	0,493

Α/Α ΣΤΗΡΙΞΗ		Συνολική επιρροή από τα 4 συγκεντρωμένα φορτία των αξόνων της φόρτισης UIC 7	Βύθιση γραμμή (mm)	Αντιδράσεις στηρίξεα (kN)
Στήριξη	1	0,837	1,058	42,337
Στήριξη	2	1,045	1,321	52,833
Στήριξη	3	0,985	1,245	49,798
Στήριξη	4	1,112	1,405	56,195
Στήριξη	5	0,949	1,200	48,001
Στήριξη	6	1,043	1,319	52,751
Στήριξη	7	1,050	1,327	53,077
Στήριξη	8	0,990	1,251	50,056
Στήριξη	9	1,028	1,299	51,947
Στήριξη	10	0,545	0,689	27,569

Η βύθιση της γραμμής καθώς και οι αντιδράσεις στηρίξεως φαίνονται στα Σχήματα 16 και 17 αντίστοιχα.

4.2.2. Αναπτυσσόμενες τάσεις στο πολυστρωματικό σύστημα

α) Υπολογισμός επιμέρους συντελεστών Zimmerman για την εύρεση της ροπής M_{II} (με συνθήκες συνάφειας).

Υπολογισμός επιμέρους συντελεστών Zimmerman για την εύρεση της ροπής M_{II} με συνάφ							
Μέτρο Ελαστικότητα C 30/37	A/A Στήριξη	xi [m	ji	hi	Si	hi*Si	S hi*Si =
$E_{(C30/37)}$ = 34 Gp	1	1950	1,038				104,784
	2	1300	0,692	0,06	52,833	3,486	
	3	650	0,346	0,42	49,798	21,194	
	4	0	0,000	1,00	56,195	56,195	
	5	650	0,346	0,42	48,001	20,429	
	6	1300	0,692	0,06	52,751	3,480	
	7	1950	1,038				
	8	2600	1,384				
	9	3250	1,730				
	10	3900	2,076				

β) Υπολογισμός τάσεων καθ' ύψος της Φ.Π. και του Κ.Θ.Α. λαμβάνοντας υπόψη στους υπολογισμούς μέτρο ελαστικότητας για Κ.Θ.Α. $E_{(ΚΘΑ)}$=7 GPa, μέτρο ελαστικότητας Άνω Μη Σταθεροποιημένης Στρώσης $E_{(ΑΜΣΣ)}$=0,12 MPa και πλήρη συνεργασία στρώσεων μεταξύ Φ.Π. και Κ.Θ.Α.

h_x (mr	k (kN/mm3	h_{II} (mr	IE (mm4)	LE (mm)	M_{II} (kNmm)	x	e_o (mr	e_u (mr	I (mm4)
2274	5.277E-05	387	6763638861	1878	49208	0.206	175	365	8268200277

$\sigma_{(ΦΠ)}$ άνω (Mpa)	$\sigma_{(ΦΠ)}$ κάτω (Mpa)	$\sigma_{(ΚΘΑ)}$ άνω (Mpa)	$\sigma_{(ΚΘΑ)}$ κάτω (Mpa)
-1.815	0.67	0.138	0.778

Η κατανομή των τάσεων καθ' ύψος του πολυστρωματικού συστήματος φαίνεται στο Σχήμα 18.

γ)Υπολογισμός εύρους ρωγμών, απόσταση ρωγμών, τάσεις χαλύβων

Πίνακας 1

Παράμετρος		Τιμή Μονάδο	Μονάδε	Συμβολισμό παραμέτρου σύμφωνα με ΕΚΩΣ	Συμβολισμό παραμέτρου σύμφωνα με τ σχέσεις της §
Εφελκυστική αντοχή σκυροδέματος (αντοχή C30/37)	f_{ctm}	29	Kg/cm^2	f_{ctm}	f_t
Ερπυστικός συντελεστής σκυρ/τος	ε_{cs}	$2,5 \cdot 10^{-4}$	---	ε_{cs}	z
Τάση από εξωτερική φόρτιο	σ_w	1.95	Kg/cm^2		$\sigma_w^{(x)}$
Λόγος θερμικού συντελεστι Χάλυβα-σκυρ/τος	α_s/α_c	1		α_s/α_c	α_s/α_c
Διάμετρος ράβδου οπλισμο	Φ	22	mm	Φ	Φ
Ποσοστό οπλισμού	ρ	0,85%	---	ρ_s	ρ
Μεταβολή θερμοκρασίας	$\Delta T\ ^0C$	40^o	^0C	$\Delta T\ ^0C$	$\Delta T\ ^0C$

$$^{(x)}\ \sigma_w = \frac{\max \text{Αντιδ}}{\text{Αστρωτ}} = \frac{1.45 \cdot 1.2 \cdot 56.195}{100.27/2} = 1.95\ Kg/cm^2$$

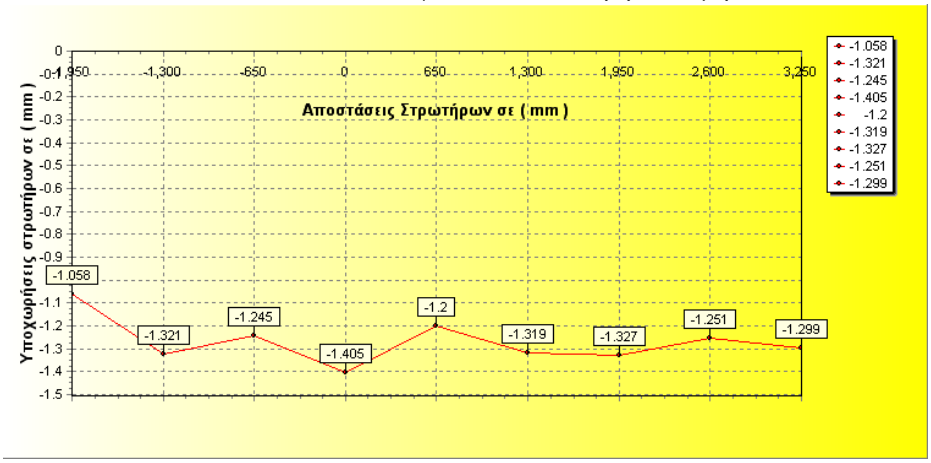
Με αντικατάσταση των τιμών των παραμέτρων στις παραπάνω σχέσεις προκύπτουν :

- Απόσταση μεταξύ ρωγμών : $\overline{X} = \ell_{cr} \approx 0.79\,m$
- Εύρη ρωγμών : $\Delta X = W_{cr} \approx 0.4\,mm$
- Τάση στον χάλυβα : $\sigma_s \approx 2877\ Kg/cm^2$

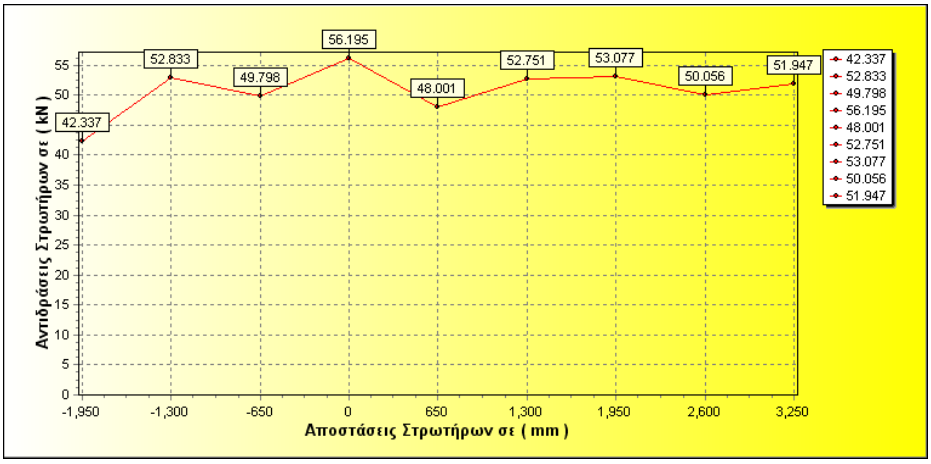
4.3. Κριτική θεώρηση

Από τα αποτελέσματα διαφαίνεται ότι το πολυστρωματικό σύστημα μπορεί να μεταφέρει με ασφάλεια τα επιβαλλόμενα φορτία της επιδομής και συγκεκριμένα :

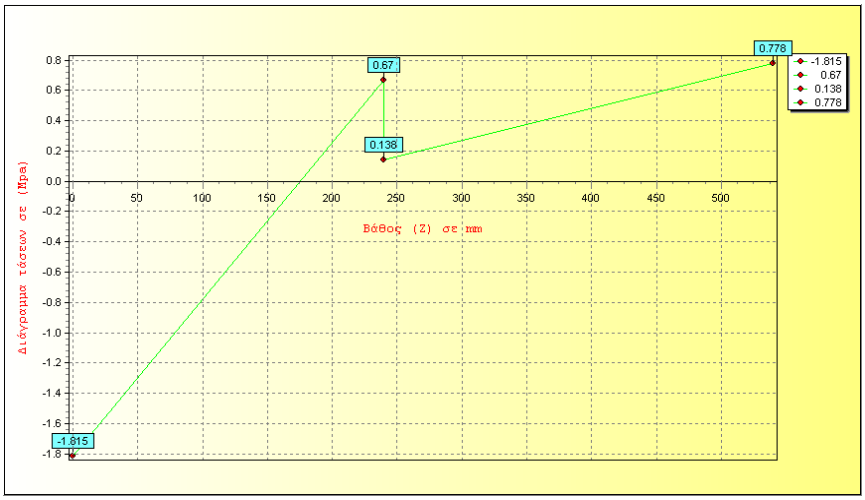
Μέγιστη εφελκυστική τάση φέρουσας πλάκας (ΦΠ)	0,67 MPa
Επιτρεπόμενη εφελκυστική τάση φέρουσας πλάκας (ΦΠ)	0,85 MPa
Μέγιστη εφελκυστική τάση κατεργασμένου θραυστού αμμοχάλικου (ΚΘΑ)	0,778 MPa
Επιτρεπόμενη εφελκυστική τάση κατεργασμένου θραυστού αμμοχάλικου (ΚΘΑ)	0,80 MPa



Σχήμα 16. Υποχωρήσεις στρωτήρων σε mm



Σχήμα 17. Αντιδράσεις στρωτήρων σε kN



Σχήμα 18. Διάγραμμα τάσεων πολυστρωματικού συστήματος για μέτρο ελαστικότητας ΚΘΑ = 7 GPa

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ando,K., Miura,S., Watanabe,K. 02/1994.Twenty years experience on Slab Track. Railway Technical Research Institute, Track Structure and Component Group. Vol. 35, N°1.

Ando K., Sunaga M., Aoki H., Haga O., 2001, "Development of Slab Tracks for Hokuriku Shinkansen Line", QR of RTRI, Vol 42, No 1, Mar. 2001.

Anforderungskatalog zum Bau der Festen Farhbahn. stand 01.07.1997 u. 01.05.1999. D.B. 4. Überarbeitete Auflage.

Becker, S., Lier, K-H., 2/1999. «Bewehrtung u. Varianten-Vergleich von Bauarten der Festen Fahrbahn», Ei-Eisenbahningenieur (50).

Concrete in railway structures, Report 97- 3a.

Darr, E., Fiebig, W., 1999. «Feste Fahrbahn», Konstruktion, Bauarten, Systemvergleich Feste Fahrbahn-Schotteroberbau. Schriftenreihe für Verkehr und Bahntechnik, VDEI, Tetzlaff.

Eisenmann, J.,1979. «Betonfahrbahnen», Handbuch für Beton–Stahlbeton–und Spannbetonbau., Verlag von Wilhelm Ernst u. Sohn., Berlin–München–Düsseldorf.

Esveld, C., Production, D - 2001. «Modern Railway Track», MTR

Feste Fahrbahn, 1999. Tagungsunterlagen, Wachenburg Weinheim.

Focacci,C. 02/1990.Balasteless Track–the Italien Experience. Rail International.

Giannakos K. "Requirements of tomorrow's Rail Transport Infrastructure", 2nd Traffic and Transportation Conference, Vossloh AG, Σεπτέμβριος 20, Βερολίνο *(επίσημος προσκεκλημένος ομιλητής).*

Giannakos K., " The need for fastenings with soft pads in the Railway Track – The experience in tha Greek network", International Conference, 3nd Forum of Rail Transport, Bratislava – Slovakia, March 13-14, *επίσημος προσκεκλημένος ομιλητής***.**

Giannakos K., 2004. *Actions on the Railway Track*, Papazissis publications, Athens

Giannakos K., Tsoukantas S., "Design methodology of slab track systems", submitted for reviewing to the 1st International Conference on Transportation Geotechnics, Notingham U.K., August 25-27

Giannakos K., Tsoukantas S., 2006. Ballasted And Unballasted Tracks – Need For Fastenings With Soft Pads. *International Railway Symposium, Ankara - Turkey, 14-16 December*

Holzinger,H., Schreiner,U. 03/2000.Feste Fahrbahn Bögl - Generationwechsel im Gleisoberbau. El – Eisenbahningenieur (51).

Leykauf,G., Maleki,N. 1997. Feste Fahrbahn. Entwicklung in Ausland. Edition ETR – Feste Fahrbahn, Hesta – Verlag, Holzohofallee 33, Darmstadt.

Lichtberger B., „Track Compendium – Formation, Permanent Way, Maintenance, Economics", Eurailpress, 2005

Miyamoto,H. 1995.30 Jahre Tokaido – Shinkansen. Eisenbahningenieur 46 H.2.S.66÷71.

Pahnke,U.04/1998.Verwendung von Fertigteilplatten bei der Fasten Fahrbahn. EI – Eisenbahningenieur (49).

Pahnke,U.1974.Das elastische Verhalten von Plattenoberbauten unter statischer Belastung. AET 29, S 80 bis 90.

Pahnke,U.1992.Konstruktive Gesichtspunkte bei der Gestaltung von Fahrbahnplatten aus Beton für Schienenbahnen. ETR 41, H.4., S227 bis 237.

Pfleiderer Aktiengesellschaft - Edition 02/2005, Feste Fahrbahn Rheda 2000

Τσουκαντάς, Σ., 2003. «Η συμβολή της προκατασκευής από σκυρόδεμα στην τεχνολογία της Σταθερής Επιδομής» 14ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, Κως.

Τσουκαντάς, Σ., Τσίτουρας, Χ., Γιαννακός, Κ., 2003. Εφαρμογές Σταθερής Επιδομής από σκυρόδεμα σε σήραγγες σιδηροδρομικής γραμμής, 14ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, Κως.

Τσουκαντάς, Σ., Τσίτουρας, Χ., Γιαννακός, Κ., Παλιεράκης, Α., Ταλαμπέκος, Γ.,1999. «Σταθερή Επιδομή, Η νέα τεχνολογία με βάση το σκυρόδεμα στην διαμόρφωση Σιδηροδρομικής γραμμής» 13ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, Ρέθυμνο.

Wato,G. 03/1996. Slab track development and its future. User-Producer International Programme. Phase I: Railway Track, New Delhi, 20-23.

Γιαννακός, Κ., 2002. «Δράσεις στη Σιδηροδρομική Γραμμή», Αθήνα, Εκδόσεις Παπαζήση.

Προφυλλίδης, Β., 1993. «Σιδηροδρομική» Εκδόσεις ΓΙΑΧΟΥΔΗ - ΓΙΑΠΟΥΛΗ

Ταλαμπέκος, Γ., 2000 – 2005. Διάφορες εσωτερικές δημοσιεύσεις (στην ΕΡΓΑ–ΟΣΕ) περί Σταθερής Επιδομής.

Τσουκαντάς Σ., Γιαννακός Κ., Τοπιντζής Τ., Ζώης Χ., «System Rheda 2000 from the point of view of a Structural Engineer – the most modern evolution of superstructure technology in Railway projects», – Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ – Ελληνικό Τμήμα Σκυροδέματος (Μέλος FIB – RILEM), Αλεξανδρούπολη, 24-27 Οκτωβρίου, Proceedings

Τσουκαντάς Σ., Γιαννακός Κ., Κρίθαρης Α., Τοπιντζής Τ., «Διερεύνηση μερικών παραγόντων που επιρρεάζουν τις δράσεις σε στρωτήρες από σκυρόδεμα», 13ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ – Ελληνικό Τμήμα Σκυροδέματος (Μέλος FIB – RILEM), Ρέθυμνο 25-27 Οκτωβρίου, Πρακτικά τόμος Ι.

Τσουκαντάς Σ., Γιαννακός Κ.,Τσίτουρας Χ., «Εφαρμογές Σταθερής Επιδομής από σκυρόδεμα σε σήραγγες σιδηροδρομικής γραμμής» 14ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ – Ελληνικό Τμήμα Σκυροδέματος (Μέλος FIB – RILEM), ΚΩΣ 15-17 Οκτωβρίου 2003.

Τσουκαντάς Σ., Σπυράκος Κ., Γιαννακός Κ., Μπιρλιράκης Ε., Σκούρας Γ., Τοπιντζής Τ., «Μελέτη του φέροντος οργανισμού των κτιριακών εγκαταστάσεων του ΟΣΕ στο Θριάσιο Πεδίο με την μέθοδο της προκατασκευής. Μελετητικά θέματα του φέροντος οργανισμού» 14ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ – Ελληνικό Τμήμα Σκυροδέματος (Μέλος FIB – RILEM), ΚΩΣ 15-17 Οκτωβρίου 2003.

Τσουκαντάς Σ., Τσίτουρας Χ., Γιαννακός Κ., Παλιεράκης Α., Ταλαμπέκος Γ., «Σταθερή Επιδομή – Η νέα τεχνολογία με βάση το σκυρόδεμα στην διαμόρφωση σιδηροδρομικής γραμμής», 13ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ – Ελληνικό Τμήμα Σκυροδέματος (Μέλος FIB – RILEM), Ρέθυμνο 25-27 Οκτωβρίου, Πρακτικά τόμος ΙΙΙ.

Τσουκαντάς, Σ. 2000. Ερευνητικό έργο με θέμα: «Διερεύνηση προβλημάτων που αφορούν στην εφαρμογή Σταθερής Επιδομής στην Ελλάδα», 11η Φάση, ΕΡΓΑ-ΟΣΕ Α.Ε.

Τσουκαντάς, Σ., Αύγουστος 2005. «Παρουσίαση της τεχνολογίας και των κατασκευαστικών λύσεων που αφορούν στα συστήματα Σ.Ε. Rheda Sengeberg, Rheda 2000 και Bögl», 1η φάση σύμβασης 107/2005 Ο.Σ.Ε.

Τσουκαντάς, Σ., Νοέμβριος 2000. «Ερευνητικό Έργο με θέμα «Διερεύνηση προβλημάτων που αφορούν στην εφαρμογή Σταθερής Επιδομής στην Ελλάδα». Έργα – ΟΣΕ Α.Ε.

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 10

Διαλειτουργικότητα

1. – Εισαγωγή

1.1. - Η ανάγκη για ένα Διαλειτουργικό Ευρωπαϊκό Σιδηροδρομικό Δίκτυο [Γιαννακός 2000]

Η τρέχουσα οικονομική κατάσταση στην Ευρώπη επιβάλει μια ισχυρή ζήτηση υπηρεσιών μεταφορών. Οι σιδηρόδρομοι πρέπει να προσαρμοσθούν στην διεθνή απελευθερωμένη αγορά των μεταφορών δηλαδή πρέπει να προσφέρουν αποτελεσματικές και ανταγωνιστικές υπηρεσίες σύμφωνες με τις απαιτήσεις των πελατών. Γι' αυτόν τον λόγο πρέπει να ολοκληρωθούν εξασφαλίζοντας τη διαλειτουργικότητα (interoperability) του σιδηροδρομικού συστήματος στο σύνολο της Ευρώπης.

Διαλειτουργικότητα ορίζεται *η ικανότητα του διευρωπαϊκού σιδηροδρομικού συστήματος μεγάλης ταχύτητας να επιτρέπει την ασφαλή και συνεχή κυκλοφορία τρένων, επιτυγχανομένων συγκεκριμένων επιδόσεων. Η ικανότητα αυτή βασίζεται στο σύνολο κανονιστικών, τεχνικών και λειτουργικών προϋποθέσεων που πρέπει να τηρούνται για να πληρούνται οι βασικές απαιτήσεις.*

Η ανάπτυξη ενός σιδηροδρομικού δικτύου σε όλη την Ευρώπη εξακολουθεί να εμποδίζεται από *διαφορετικό εύρος γραμμής, περιτυπώματα φορτώσεως, συστήματα ενεργείας και όχι λιγότερα από είκοσι μη συμβατά μεταξύ τους συστήματα ελέγχου των συρμών.* Στην προσπάθεια να υπερνικηθούν αυτά τα εμπόδια είναι ζωτικής σημασίας η συνεργασία μεταξύ των σιδηροδρομικών δικτύων. Η τεχνική όσο και η επιχειρηματική (εμπορική) *διαλειτουργικότητα* έχουν να διανύσουν έναν μακρύ δρόμο προς την κατεύθυνση της ολοκλήρωσης ενός διευρωπαϊκού δικτύου και θα συνεισφέρουν στον ευρύτερο στόχο της Ευρωπαϊκής ολοκλήρωσης.

Ο σιδηροδρομικός τομέας θα χαρακτηρίζεται στο μέλλον από την ανάγκη για ανταγωνισμό και συνεργασία. Μεταξύ των δύο αυτών αντίθετων πόλων θα πρέπει να εξελιχθούν οι σιδηροδρομικές επιχειρήσεις. Για να βρεθεί λύση στην τεχνική και επιχειρηματική (εμπορική) διαλειτουργικότητα θα πρέπει να ενισχυθεί η προοπτική συνεργασίας των ευρωπαϊκών δικτύων. Η επιτυχία των οδικών μεταφορών στηρίζεται, και αυτό δεν είναι αμελητέο, σε μια υποδομή συμβατή με τις υποδομές όλων των χωρών της Ευρώπης *ενώ οι σιδηρόδρομοι μετρούν προσθετικά, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, και ως μειονέκτημα το διαφορετικό εύρος γραμμής, το περιτύπωμα κυκλοφορίας και φόρτωσης, τα χαρακτηριστικά του συστήματος ηλεκτροκίνησης και μια εικοσάδα συστημάτων, μη συμβατών μεταξύ τους, για τη ρύθμιση και τον έλεγχο κυκλοφορίας των τρένων.* Οι SNCF οι FS και οι DB AGE έχουν συνεργασθεί για να υπερβούν τα υπάρχοντα τεχνικά εμπόδια σε ένα σχέδιο κοινό για την επεξεργασία του πρώτου συστήματος ευρωπαϊκού ελέγχου διαχείρισης των τρένων (ETCS) του οποίου η επιτυχία και η θέση σε λειτουργία θα βελτιώσει αξιοσημείωτα τις διεθνείς σιδηροδρομικές μεταφορές[1].

Οι υπάρχουσες σιδηροδρομικές επιχειρήσεις πρέπει να διατηρήσουν και να αναπτύξουν ακόμη περισσότερο τον διεθνή προσανατολισμό τους. Η εσωτερική ευρωπαϊκή αγορά έχει γίνει πλέον πραγματικότητα και ο σιδηρόδρομος μπορεί να παίξει τον ρόλο του σε μια Ευρώπη χωρίς σύνορα. Πρέπει να προετοιμαστεί για την εντατικοποίηση του ανταγωνισμού των τρίτων και να οργανωθεί για να απαντήσει με τον

[1] Durr Heinz, «Transformer un defi en veritable chance sur le marche Une vision du chemin de fer pour une Europe sans frontieres», Rail International, Avril 1996, σελ 3.

καλύτερο δυνατό τρόπο στις απαιτήσεις της πελατείας. Οι συνεργασίες και οι κοινοπραξίες συνιστούν, ιδιαίτερα για τα μικρά δίκτυα, την ευκαιρία ανάπτυξης των δραστηριοτήτων και βελτίωσης της ανταποδοτικότητας[2].

Είναι εξίσου σημαντικό για να βελτιωθεί η συνεργασία μεταξύ των διαφορετικών μέσων μεταφοράς. Τα σιδηροδρομικά δίκτυα εξετάζουν τρόπους που θα τους δώσουν τη δυνατότητα να παρέχουν εξυπηρετήσεις για τους επιβάτες από πόρτα σε πόρτα. Εκεί εύκολες συνδέσεις μεταξύ αεροπλάνου και σιδηροδρόμου διευκολύνουν τα ταξίδια και απελευθερώνουν τη χωρητικότητα των αεροδρομίων. Παρόμοια διευκολύνσεις διατροπικές όπως park and ride αναπτύσσονται οι οποίες θα ολοκληρώσουν μια ευρύτερη ποικιλία μεταφορικών δυνατοτήτων που περιλαμβάνει τρένα, ιδιωτικά αυτοκίνητα, τουριστικά λεωφορεία, ταξί, λεωφορεία και μετρό.

Αυτές οι συμπληρωματικές υπηρεσίες προσανατολισμένες στον καταναλωτή ανταποκρίνονται πολύ καλά και στην αντίληψη του δικτύου των πολιτών που περιλαμβάνεται στο πράσινο βιβλίο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής[3].

1.2.- Προς ένα Δίκτυο Σιδηρόδρομων Υψηλών Ταχυτήτων[4] ως κορμό ενός σύγχρονου σιδηροδρομικού δικτύου [Γιαννακός 2000]

Η ποιότητα προσφοράς ενός συστήματος μεταφοράς μπορεί να συνοψισθεί σε τέσσερα στοιχεία:

- Την ταχύτητα (άποψη πελατείας, χρόνος διαδρομής που προτείνεται)
- Την συχνότητα δρομολογίων
- Την χωρητικότητα της γραμμής και
- Την τιμή

Με την λογική αυτή προκύπτει αμέσως ότι η βέλτιστη χρήση των σιδηροδρόμων υψηλής ταχύτητας είναι η σύνδεση των σημαντικών πόλεων που απέχουν αρκετές εκατοντάδες χιλιόμετρα η μία από την άλλη, αν είναι δυνατό, χωρίς ενδιάμεση στάση.

Κατά τον ανταγωνισμό μεταξύ των σιδηροδρόμων υψηλών ταχυτήτων αφ' ενός και του αυτοκινήτου και του αεροπλάνου, αφ' ετέρου, ο σιδηρόδρομος υψηλών ταχυτήτων - σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες – αποτέλεσε το μέσον προσέλκυσης νέας πελατείας κυρίως προερχόμενης από τις αεροπορικές μεταφορές[5]. Οι μεταφορές με συρμούς υψηλών ταχυτήτων μπορούν ν' ανταγωνισθούν αποτελεσματικά τις αεροπορικές μεταφορές σε μεσαίες αποστάσεις καθώς είναι φθηνότερες, προσφέρουν μεγαλύτερη άνεση και είναι και ταχύτερες. Ο χρόνος διαδρομής προς το αεροδρόμιο, ο χρόνος ελέγχου (check in και check out) θα πρέπει να συνυπολογισθεί στον συνολικό χρόνο ταξιδιού. Όλα τα αεροδρόμια είναι συνήθως στην περιφέρεια των πόλεων και για την πρόσβαση σε αυτά απαιτείται ένας σημαντικός χρόνος. Οι σταθμοί των τρένων είναι συνήθως σε κεντρικές περιοχές των πόλεων, και ως εκ τούτου ευκολότερα προσβάσιμοι.

---

[2] Durr Heinz, «Transformer un defi en veritable chance sur le marche Une vision du chemin de fer pour une Europe sans frontieres», Rail International, Avril 1996, σελ 3.

[3] Halvorsen Trevor, «The railways of Europe: the way ahead", Rail Engineering International, 2/1996, σελ. 9.

[4] Γιαννακός Κωνσταντίνος, "Η διαλειτουργικότητα στον σιδηρόδρομο: ένα μοντέλο ανάπτυξης για τη ΝΛ. Ευρώπη", Διδακτορική διατριβή στο Α.Π.Θ., 2000, σελ. 87

[5] όπως παραπάνω σελ. 23.

Ένα ευρωπαϊκό δίκτυο υψηλών ταχυτήτων δεν μπορεί να θεωρηθεί μόνο στα μέτρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης αλλά πρέπει να προβλέψει την ολοκλήρωση του συνόλου των χωρών της Ηπείρου, λαμβάνοντας υπόψη την διαδικασία ομογενοποίησης και ολοκλήρωσής της που προκύπτει από τις πρόσφατες εξελίξεις της πολιτικής. Αυτό το Πανευρωπαϊκό δίκτυο θα αποτελέσει ένα ισχυρό συνεκτικό και δομικό στοιχείο μιας Ευρώπης χωρίς σύνορα και ένα ουσιαστικό παράγοντα για την οικονομική και κοινωνική συνοχή της Ευρώπης.

Το μελλοντικό δίκτυο υψηλών ταχυτήτων στην Ευρώπη (βλ. χάρτες στις επόμενες σελίδες) θα συνδέει τα μεγάλα αστικά κέντρα σε ανταγωνιστικούς των αεροπλάνων χρόνους για αποστάσεις έως 1500 km. Οι νέες γενιές των τρένων υψηλών ταχυτήτων θα επιτρέψουν ταχύτητες των 350 km/h, ενώ ήδη κατασκευάζονται γραμμές για τέτοιες ταχύτητες (Μαδρίτη – Βαρκελώνη). Τα σχήματα 6[6] και 7[7] απεικονίζουν την μεγάλη επιτυχία που σημειώνει η παροχή υπηρεσιών μεταφοράς επιβατών με συρμούς υψηλών ταχυτήτων.

Θα πρέπει να εξασφαλισθεί η διαλειτουργικότητα στη σιδηροδρομική μεταφορά, π.χ. από το Μόναχο στη Θεσσαλονίκη, με μεγάλη ταχύτητα, χωρίς καθυστερήσεις για αλλαγές ελκτικών μονάδων ή γενικότερα τροχαίου υλικού μεταξύ των διαφόρων κρατών σε χρόνους που θα ανταποκρίνονται στις ανάγκες των πολιτών της Ευρώπης του αιώνα που διατρέχουμε. Οι καθυστερήσεις που οφείλονται σε τεχνικούς λόγους (π.χ. ασυμβατότητα σηματοδότησης) αλλά και λόγους διοικητικούς (π.χ. αστυνομικοί έλεγχοι στα σύνορα) θα πρέπει όχι απλά να ελαχιστοποιηθούν, αλλά να μηδενισθούν. Μόνο με τον τρόπο αυτό θα αποκτήσει ο σιδηρόδρομος ανταγωνιστικότητα για τις αποστάσεις που αναφέρονται παραπάνω σε σχέση με τα άλλα μέσα μεταφοράς. Τα διευρωπαϊκά δίκτυα που θα δημιουργηθούν έτσι, με αυτά τα χαρακτηριστικά, θα καλύπτουν όλη την Ευρώπη, θα πρέπει να είναι συνεκτικά και να λειτουργούν, αν είναι δυνατό, ως ενοποιημένο δίκτυο. Τα διευρωπαϊκά δίκτυα αυτά πρέπει να αφορούν σε καθορισμένους «σιδηροδρομικούς διαδρόμους» υψηλών ταχυτήτων που θα συνδέουν τις σημαντικότερες πόλεις / πρωτεύουσες των χωρών της Ευρώπης και θα αποτελούν τον κύριο κορμό του σιδηροδρομικού δικτύου.

Το δίκτυο υψηλών ταχυτήτων θα πρέπει να συνδυασθεί με μέτρα που να διασφαλίζουν τη διαλειτουργικότητα και την ταχεία και χωρίς καθυστερήσεις διάσχιση των αποστάσεων για τους επιβάτες και τα εμπορεύματα.

Στο μέλλον θα πρέπει να εξετασθεί η δρομολόγηση και εμπορικών συρμών υψηλών ταχυτήτων.

Οι γραμμές που θα κατασκευασθούν για τις υψηλές ταχύτητες, θα πρέπει να σχεδιάζονται και για μεικτή χρήση (επιβατική / εμπορευματική), προκειμένου να είναι οικονομικά βιώσιμες.

[6] UIC, High Speed Trains around the world, 10/2002
[7] UIC, High Speed Trains around the world, 10/2002

1.3. Η μεγάλη σημασία της Διαλειτουργικότητας για την επιβίωση του σιδηροδρόμου [Γιαννακός 2000]

Η αγορά των μετακινήσεων προσώπων στην Ευρώπη βρίσκεται εδώ και αρκετές δεκαετίες σε σταθερή και ισχυρή αύξηση. Ολα δείχνουν ότι αυτό το φαινόμενο θα πάρει μεγαλύτερο εύρος στο μέλλον. Ο σιδηρόδρομος έχει τα μέσα να προσφέρει μια πλήρη απάντηση σ' αυτές τις αυξανόμενες ανάγκες κινητικότητας σε ένα σύγχρονο περιβάλλον κορεσμού του εναέριου χώρου και χρονικής συμφόρησης του οδικού δικτύου χάρις στα ειδικά του πλεονεκτήματα, ιδιαίτερα στην περιοχή των υψηλών ταχυτήτων: χρόνος διαδρομής, άνεση, οικονομία χώρου και ενέργειας, χωρητικότητα. Η ενεργοποίηση αυτών των πλεονεκτημάτων επιβάλει, όσο είναι δυνατόν, στις σχέσεις που έχουν επαρκές δυναμικό μετακινήσεων, την κυκλοφορία των τρένων από άκρου εις άκρο της Ευρώπης χωρίς σημεία ασυνέχειας και διακοπές του σιδηροδρομικού δικτύου. Αυτός άλλωστε είναι και ο ορισμός της διαλειτουργικότητας που έχει δοθεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή στη σχετική οδηγία 96/48, όπως έχει παρατεθεί στην προηγούμενη παράγραφο. Βέβαια εδώ και πολύ καιρό σιδηροδρομικά οχήματα ανταλλάσσονται με κοινότυπο τρόπο σε όλη την Ευρώπη αλλά η συμφωνίες που έχουν γίνει μέσω των στρεβλοτήτων των κανονισμών RIC, RIV και από τις fiches της UIC δεν προσεγγίζουν τα προβλήματα ιδίως στην περίπτωση εμπλοκής του δικτύου υψηλών ταχυτήτων[8]. Υπάρχουν λοιπόν προβλήματα θεμελιώδη εκεί που ο σιδηρόδρομος συνιστά μια εναλλακτική λύση ή μια αληθώς αξιόπιστη συμπληρωματική λύση στις οδικές μεταφορές και στο αεροπλάνο σε αποστάσεις από 200 έως 700 χλμ. και ακόμη περισσότερα, μέχρι και 1.500 χλμ., αν δε μιλήσουμε για τουριστικές μετακινήσεις και περιπτώσεις μετακινήσεων κατά τη διάρκεια της νύκτας[9], τότε υπάρχουν ακόμη μεγαλύτερα πλεονεκτήματα και η απόσταση για την οποία ο σιδηρόδρομος είναι ανταγωνιστικός μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερη.

Το εμπόδιο συνίσταται από τους κανονισμούς, τις κανονιστικές διατάξεις και τις προδιαγραφές των δικτύων κάθε χώρας που περιέχουν την εθνική εμπειρία της τεχνολογικής εξέλιξης και πολύ συχνά ενός προστατευτικού παρελθόντος των εθνικών αγορών. Αυτή η διαφορετικότητα αυξάνει τις τιμές και μειώνει την ανταγωνιστικότητα της θέσης των σιδηροδρομικών επιχειρήσεων.

Για τον σιδηρόδρομο ο λόγος που απαιτείται η διαλειτουργικότητα είναι, *εκτός από την πιο εύκολη εκμετάλλευση[10], η μείωση του κόστους του τροχαίου υλικού λόγω της επίδρασης της παραγωγής εν σειρά και η νέα δυνατότητα ανταγωνισμού μεταξύ των κατασκευαστών τροχαίου υλικού σε όλες τις ευρωπαϊκές αγορές[11]*. Αυτή η μείωση του κόστους πρέπει να επιτρέπει την αύξηση του αριθμού των ανταποδοτικών σχέσεων και την προσέλκυση στον σιδηρόδρομο ενός πολύ μεγάλου αριθμού χρηστών. Θα πρέπει χωρίς υπερβολική αύξηση κόστους της χρησιμοποιούμενης υποδομής από το τροχαίο υλικό υψηλών ταχυτήτων να χρησιμοποιείται και από το υπόλοιπο τροχαίο υλικό είτε του συμβατικού σιδηροδρόμου είτε του προαστιακού, ιδιαίτερα εκείνου που διεισδύει στο κέντρο των μεγάλων πόλεων.

---

[8] Soenen Rene, "Interoperabilite et Harmonisation Technique: situation actuelle et perspectives", Rail International, Aout/Septembre 1995, σελ. 126

[9] όπως παραπάνω σελ. 126

[10] Δηλαδή αποφυγή μεταφορτώσεων, αλλαγών τρένων για τους επιβάτες, αλλαγών ελκτικών μονάδων στα σύνορα, χρονοβόρες συνοριακές διατυπώσεις, αποφυγή διαφορετικών και ασύμβατων μεταξύ τους τεχνολογιών κ.λπ., που επιφέρουν σημαντικές επιβαρύνσεις κόστους και χρόνου.

[11] Soenen Rene, "Interoperabilite et Harmonisation Technique: situation actuelle et perspectives", Rail International, Aout/Septembre 1995, σελ. 126-128, αλλά και Raoul Jean-Claude, " Interoperabilite ", Rail International, Aout/Septembre 1995, σελ. 128-129

Ο στόχος δεν είναι να επιβληθεί ένα ενιαίο και ομοιόμορφο σύστημα, αλλά να συνεισφέρουμε στην εξάλειψη των τεχνικών και λοιπών δυσκολιών, ώστε να επιτραπεί στις σιδηροδρομικές υπηρεσίες υψηλών ταχυτήτων να είναι ανταγωνιστικές στην εκμετάλλευση, στη λογική ανταγωνισμού που επικρατεί στην ενοποιημένη αγορά μεταφορών[12].

Είναι χαρακτηριστικό ότι η διαλειτουργικότητα που επιχειρείται να καθιερωθεί από την οδηγία 96/48/ΕΚ είναι ένα ουσιαστικό στοιχείο της πολιτικής των μεταφορών στην πολιτική βελτίωσης της αποτελεσματικότητας του σιδηροδρόμου[13]. Επιπλέον είναι στοιχείο της βιομηχανική πολιτικής που ευνοεί το άνοιγμα των αγορών και την ελεύθερη κυκλοφορία των προϊόντων. Εχει στόχο γι' αυτό εκτός από την εναρμόνιση των τεχνικών παραμέτρων των δικτύων να υλοποιήσει επίσης εναρμόνιση των διαδικασιών πιστοποίησης και αποδοχής όλων των συνιστώντων μερών της διαλειτουργικότητας, γεγονός που διασφαλίζει τη διαφάνεια και παρακάμπτει ένα διαδεδομένο προστατευτισμό. Με τον τρόπο αυτόν επιδιώκεται η εισαγωγή ενός υγιούς ανταγωνισμού μεταξύ των ευρωπαϊκών κατασκευαστικών οίκων. Οι ευρωπαϊκοί σιδηρόδρομοι με αυτόν τον τρόπο θα επωφεληθούν από μείωση των τιμών που θα προκύψει από ακόμη μεγαλύτερο άνοιγμα της αγοράς[14].

3.- ΠΡΟΣ ΕΝΑ ΠΛΑΙΣΙΟ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΔΙΑΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ

3.1. ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΣΥΡΜΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΕΥΡΟΣ

3.1.1. Γενικά

Οι σιδηρόδρομοι που έχουν το πρόβλημα περισσοτέρων της μιας τιμής εύρους γραμμής μπορούν να βελτιώσουν την κατάσταση για την επιβατική κυκλοφορία με έναν ή δυο τρόπους: είτε να μετατρέψουν όλες τους τις επιδομές στην ίδια τιμή εύρους γραμμής, το οποίο στις περισσότερες περιπτώσεις είναι απαγορευτικά δαπανηρό, είτε να προσαρμόσουν τους συρμούς ώστε να λειτουργούν σε γραμμές με διαφορετικές τιμές εύρους[15].Η προσαρμογή του εύρους ενός δικτύου σε εκείνο του γειτονικού του αποτελεί την πλέον αποτελεσματική αλλά ταυτόχρονα και την πλέον δαπανηρή λύση. Ας εξετάσουμε από αυτή την πλευρά την τροποποίηση σε κανονικό εύρος των γραμμών εύρους 7' του Great Western Railways του οποίου το τελευταίο τμήμα, μήκους περίπου 120 χλμ τροποποιήθηκε μέσα σε μόνο μια μέρα. Αλλά αυτό το ρεκόρ καταρρίφθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες, όταν αποφασίσθηκε, μετά τον πόλεμο Βορείων και Νοτίων, κατά τη διάρκεια της κατασκευής του διηπειρωτικού συνδέσμου, να προσαρμοσθεί το σιδηροδρομικό δίκτυο στο κανονικό εύρος που ήταν πολύ εκτεταμένο στις χώρες του

[12] Vincent Daniel, " Interoperabilite et Harmonisation Technique", Rail International, Aout/Septembre 1995, σελ. 124-125.

[13] Soenen Rene, "Interoperabilite et Harmonisation Technique: situation actuelle et perspectives", Rail International, Aout/Septembre 1995, σελ. 126-128.

[14] Raoul Jean-Claude, " Interoperabilite ", Rail International, Aout/Septembre 1995, σελ. 128-129

[15] International Railway Journal, "Gauge-Changing, Japanese Develop First Gauge-Adaptable Emu", January 1999,σελ. 31

Βορά. Περίπου 50.000 άτομα τακτοποίησαν έτσι 23.400 χλμ γραμμών σε κανονικό εύρος σε μια μόνο μέρα την 1 Ιουνίου 1886[16].

Πλέον πρόσφατα αξίζει να αναφερθούν τα σχέδια της Ισπανίας να περάσει προοδευτικά από το μεγάλο εύρος στο κανονικό. Η υλοποίηση αυτού του σχεδίου θα απαιτήσει βεβαίως πολλές δεκαετίες. Με αυτή την προοπτική έχει ήδη αναπτυχθεί ένας, μεταβλητού εύρους στρωτήρας που θα παραμείνει σε λειτουργία μέχρι την οριστική μετάβαση σε κανονικό εύρος. Η πρώτη δοκιμή αυτής της διαδικασίας είναι η κατασκευή των γραμμών υψηλών ταχυτήτων (AVE) κανονικού εύρους.

Πολλές μη ευρωπαϊκές χώρες, για παράδειγμα η Ινδία και η Αυστραλία, αλλάζουν το εύρος των γραμμών τους σε ένα μέρος των δικτύων τους για να δημιουργήσουν δίκτυα που έχουν συνοχή μεταξύ τους και διαθέτουν το ίδιο εύρος. Η Ινδία τροποποίησε έτσι 6.000 χλμ μετρικών γραμμών σε μεγάλο εύρος[17].

Σχήμα 1[18] : Μεταφόρτωση στο terminal της Βάρνας [βλέπε και Γιαννακός 2000]

Μια άλλη τεχνική μετάβασης από ένα εύρος σε ένα άλλο αποτελεί η μεταφόρτωση των φορτίων των οχημάτων. Οι επιβάτες πρέπει λοιπόν να αλλάζουν όχημα. Αυτός ο τρόπος είναι τεχνικά ο πλέον απλός αλλά είναι ο πλέον δαπανηρός σε χρόνο και χρήμα στις μεταφορές εμπορευμάτων. Αν τα εμπορεύματα είναι εύκολα μεταφορτώσιμα, χύδην προϊόντα που μεταφορτώνονται με την βαρύτητα, ή επιδεχόμενα οργανωμένη μεταφόρτωση, για παράδειγμα τα εμπορευματοκιβώτια, τα προβλήματα δεν είναι πολύ σημαντικά. Αντίθετα η μεταφόρτωση γίνεται πάρα πολύ ακριβή για άλλους τύπους εμπορευμάτων, οι αποστολές για παράδειγμα εμπορευμάτων λιανικής πώλησης, και διαπιστώνεται συχνά μια οπισθοχώρηση της σιδηροδρομικής εμπορευματικής μεταφοράς οφειλόμενη στην υποχρεωτική μεταφόρτωση. Είναι πάρα πολλά τα δίκτυα με στενή γραμμή που λόγω αυτού του μειονεκτήματος οδηγήθηκαν στην παύση των δραστηριοτήτων τους.

[16] Saliger Wilhelm, " Essieux a ecartement variable", Rail International, Mars 2000, σελ. 7-13.
[17] Saliger Wilhelm, " Essieux a ecartement variable", Rail International, Mars 2000, σελ. 7-13.
[18] ферцьотеч Комплекс, ВАРНА, Bulgaria

3.1.2. Οχήματα με ικανότητα αλλαγής από το ένα εύρος στο άλλο

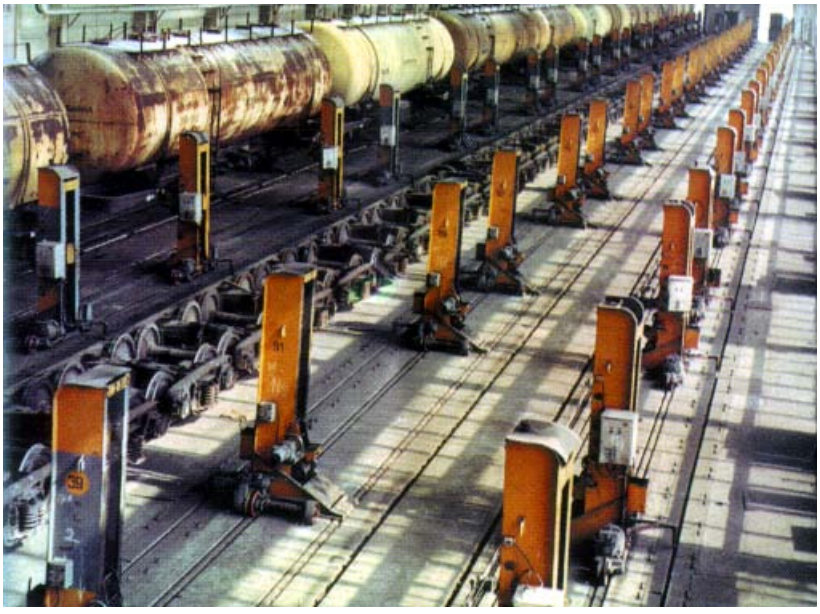
Το να περάσει ένα όχημα από ένα εύρος σε ένα άλλο είναι περισσότερο αποτελεσματικό από τη μεταφόρτωση του φορτίου του και υπάρχουν σήμερα πολλές λύσεις σε αυτή την κατεύθυνση. Οι δυνατότητες που υπάρχουν είναι:

Α) Βαγόνια ή φέροντα φορεία

Πρόκειται για μικρά όργανα κύλισης (φέροντα φορεία) που τοποθετούνται κάτω από τους άξονες του οχήματος με διαφορετικό εύρος ή οχήματα (φέροντα βαγόνια) που είναι εφοδιασμένα με σιδηροτροχιές στη βάση τους για να μεταφέρουν τα βαγόνια διαφορετικού εύρους. Αυτοί οι μηχανισμοί επιτρέπουν τη συνέχεια της όδευσης, σε γραμμές στενού εύρους, των οχημάτων κανονικού εύρους, υπό την προϋπόθεση βέβαια ότι το περιτύπωμα κίνησης το επιτρέπει.

Β) Αλλαγή οργάνων κύλισης

Εδώ τα όργανα κύλισης, μεμονωμένοι άξονες ή φορεία, αλλάζουν στα σύνορα μεταξύ δυο δικτύων που διαθέτουν διαφορετικό εύρος γραμμής. Το όχημα συνεχίζει την πορεία του στην άλλη πλευρά μετά την αλλαγή των οργάνων κύλισής του. Αυτή η τεχνική απαιτεί εξοπλισμούς, κύρια ανυψωτικούς γερανούς, σε επαρκή αριθμό για την αλλαγή των αξόνων ή των φορείων. Πρέπει να προβλεφθούν για τον λόγο αυτό τα αναγκαία logistics για να είναι εγγυημένη η διαθεσιμότητα του επαρκούς αριθμού των απαιτουμένων οργάνων κύλισης του εύρους γραμμής στο οποίο θα μεταβεί η αμαξοστοιχία (μετά την αλλαγή των οργάνων κύλισης).



Σχήμα 2[19] :Διαδικασία αλλαγής φορείων (Βάρνα) [βλέπε και Γιαννακός 2000]

Γ) Άξονες με μεταβλητό εύρος

Οι άξονες με μεταβλητό εύρος αποτελεί την ιδεώδη επίλυση του προβλήματος. Οι τροχοί τους, συναρμολογημένοι στην κεντροβαρική γραμμή του άξονα, μπορούν να μετακινηθούν κατά τη διαμήκη έννοια και ακινητοποιούνται στη θέση που αντιστοιχεί προς το επιθυμητό εύρος.

[19] όπως παραπάνω

Δ) Η τεχνική των αξόνων μεταβλητού εύρους

Εδώ οι τροχοί μετακινούνται κατά τη διαμήκη έννοια επί της κεντροβαρικής γραμμής του άξονα ή ενός ημιαξονίου, στην περίπτωση ανεξάρτητων τροχών. Ο τροχός ασφαλίζεται στη θέση που αντιστοιχεί στο επιθυμητό εύρος για να αποφευχθεί κάθε περίπτωση ανεπιθύμητης αποσφήνωσής του και μετατόπισης. Οι συναρμολογημένοι άξονες διαθέτουν ένα κλείδωμα ασφαλείας που εμποδίζει την περιστροφή του τροχού σε σχέση με τον άξονα με τέτοιο τρόπο ώστε «ο μηχανικός εφεκλυσμός» είναι εγγυημένος όπως σε έναν άξονα που είναι συναρμολογημένος με σταθερούς τροχούς. Αυτός ο μηχανισμός δεν είναι αναγκαίος σε περίπτωση ανεξάρτητων τροχών. Το όχημα φθάνοντας στα σύνορα μεταξύ των δυο σιδηροδρομικών δικτύων διαφορετικού εύρους, εμπλέκεται στην εγκατάσταση μετατροπής. Πρόκειται για ένα τμήμα γραμμής κατάλληλα εξοπλισμένο όπου γίνονται οι ακόλουθες λειτουργίες κατά τη φορά πορείας του οχήματος:

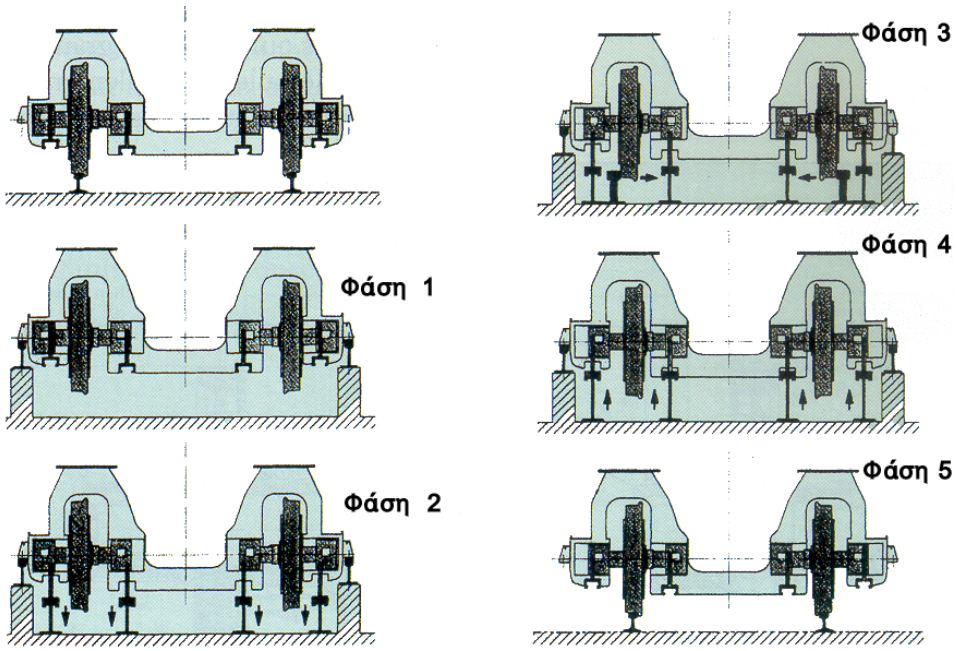
- ξεκλείδωμα των τροχών ή των κιβωτίων αξόνων
- μετατόπιση, μέσω ολισθητήρων (γλιστιερών) των τροχών προς το εσωτερικό ή το εξωτερικό του άξονα (σε συνάρτηση με το εύρος της γραμμής που βρίσκεται στην έξοδο της εγκατάστασης), κλείδωμα των τροχών ή των κιβωτίων των αξόνων στην τελική θέση που αντιστοιχεί στο νέο εύρος γραμμής

Αυτές οι εγκαταστάσεις πρέπει να προσαρμοσθούν σε κάθε σύστημα αξόνων. Η ευχέρεια μετατροπής του εύρους των αξόνων εν λειτουργία εξαρτάται από την αξιοπιστία της ασφάλισής τους και της σταθεροποίησης στη νέα θέση για την κυκλοφορία και ιδίως κατά τη διάρκεια της διάβασης από την εγκατάσταση μετατροπής (ξεκλείδωμα, κλείδωμα).

3.1.3. Η εφαρμογή των αξόνων μεταβλητού εύρους στην επιβατική κυκλοφορία

Η πρώτη τεχνική που χρησιμοποιήθηκε ήταν η αλλαγή των φορείων που στην περίπτωση επιβατικής κυκλοφορίας είχε ως αποτέλεσμα το να αποφεύγουν οι επιβάτες την δυσάρεστη αλλαγή οχημάτων, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια νυκτερινών διαδρομών. Επειδή αυτή η διαδικασία απαιτεί αρκετό χρόνο στις ημερήσιες διαδρομές η εταιρεία Talgo της οποίας το τροχαίο υλικό εκτελεί στην Ισπανία κυκλοφορία επιβατών υψηλής ποιότητας, εισήγαγε αρθρωτές αμαξοστοιχίες με άξονες μεταβλητού εύρους. Μετά τον εξοπλισμό τους με άξονες μεταβλητού εύρους, αυτές οι αμαξοστοιχίες Talgo μπόρεσαν να εξασφαλίσουν χωρίς διακοπή για μεταφόρτωση την κυκλοφορία μεταξύ Ισπανίας και Γαλλίας.

Οι αρθρωτές αμαξοστοιχίες Talgo είναι εφοδιασμένες με ανεξάρτητους τροχούς τοποθετημένες σε εγκάρσιους ημιάξονες που είναι τοποθετημένοι μεταξύ των αμαξωμάτων των διαδοχικών οχημάτων της αμαξοστοιχίας. Οι τροχοί και οι ένσφαιροι τριβείς τους (roulements) μπορούν να μετακινούνται αξονικά σε ένα επίπεδο για να περάσουν από το ένα εύρος στο άλλο (σχήμα 3). Κατά τη διάρκεια της αλλαγής του εύρους, οι τροχοί κατ' αρχάς αποφορτίζονται από το βάρος του αμαξώματος του οχήματος, το οποίο αμάξωμα μετατοπίζεται προς τα άνω με τη βοήθεια των κυλίστρων - βοηθητικών σιδηροτροχιών, (φάση 1). Τα προφίλ οδήγησης «αρπάζουν» τις κεφαλές των δυο μπουλονιών κλειδώματος κάθε τροχού, τις οδηγούν προς τα κάτω και απελευθερώνουν την αξονική μετατόπιση (φάση 2). Ο τροχός – και μαζί του ο ημιάξονας του τροχού – τοποθετείται, με τη βοήθεια των σιδηροτροχιών οδήγησης, στην τελική θέση που αντιστοιχεί στο άλλο εύρος (φάση 3).



Σχήμα 3[20] : Αξονας με μεταβλητό εύρος – Σύστημα Talgo για αρθρωτούς συρμούς

Στη συνέχεια (φάση 4) τα όργανα κύλισης ασφαλίζονται στη νέα θέση και το όχημα μπορεί να συνεχίσει την πορεία του στο άλλο εύρος (φάση 5). Το πέρασμα μιας αμαξοστοιχίας από το ένα εύρος στο άλλο απαιτεί χρόνο μερικών λεπτών με μια ταχύτητα ελαφρώς μεγαλύτερη από το βήμα πεζού.

Η έλξη των αμαξοστοιχιών απαιτούσε μέχρι τώρα την αλλαγή ελκτικής μονάδος στα σύνορα κάθε σιδηροδρομικού δικτύου αλλά οι επικεφαλής κινητήριες ντιζελομηχανές εφοδιασμένες με άξονες μεταβλητού εύρους είναι σήμερα υπό μελέτη και οι επικεφαλής ηλεκτρικές κινητήριες μονάδες είναι υπό κατασκευήν. Οι αμαξοστοιχίες Talgo μπορούν έτσι να περάσουν από το ένα εύρος στο άλλο χωρίς να αλλάξουν κινητήρια μονάδα (ίδε και σχήματα 14,15,16$^{\alpha}$, 16β του παρόντος κεφαλαίου).

Στην Ιαπωνία το εθνικό δίκτυο είναι κατασκευασμένο με το «εύρος του ακρωτηρίου» (1067 mm)[21]. Ομως από τα χρόνια του 1960 ένα κύριο δίκτυο νέων γραμμών «Shinkancen» υψηλών ταχυτήτων με κανονικό εύρος τέθηκε σε κυκλοφορία και είχε μεγάλη επιτυχία. Γίνονται αυτή την εποχή δοκιμές με αυτοκινούμενες αμαξοστοιχίες που διαθέτουν άξονες μεταβλητού εύρους και μπορούν να περάσουν από το δίκτυο υψηλών ταχυτήτων κανονικού εύρους στην υποδομή του «εύρους του ακρωτηρίου». Αυτή η αμαξοστοιχία έχει μια τεχνική πρόκληση ότι οι κινητήριοι άξονες είναι κατανεμημένοι σε όλο το μήκος του τρένου και πρέπει να περάσουν από την εγκατάσταση αλλαγής εύρους με τη βοήθεια της δικής του ελκτικής ισχύος. Κατά τη διάρκεια όλης της διαδικασίας τα αμαξώματα είναι αποτεθημένα σε βοηθητική κατασκευή.

[20] Saliger Wilhelm, " Essieux a ecartement variable", Rail International, Mars 2000, σελ. 7-10, ίδε και σχήματα 12, 13, 14α και 14β του παρόντος Κεφαλαίου

[21] Saliger Wilhelm, " Essieux a ecartement variable", Rail International, Mars 2000, σελ. 7-10.

3.1.4. Οι άξονες μεταβλητού εύρους σε εμπορευματική κυκλοφορία

Στην εμπορευματική κυκλοφορία οι άξονες μεταβλητού εύρους μπορούν να επιφέρουν ένα πολύ μεγάλο κέρδος χρόνου. Στην πράξη η μεταφόρτωση των φορτίων στα σύνορα απαιτεί καθυστέρηση 2,5 ημερών[22] κατά μέσο όρο που δεν μπορεί να μειωθεί παρά μόνο για τις περιπτώσεις φορτίων που είναι πιο εύκολα στη μεταφόρτωση: χύδην εμπορεύματα, υγρά ή εμπορευματοκιβώτια. Στην καθυστέρηση αυτή επιπροστίθεται και ο κίνδυνος απώλειας ή βλάβης του εμπορεύματος κατά τη διάρκεια της μεταφόρτωσης. Για αυτόν το λόγο η αλλαγή αξόνων ή φορείων αυξάνεται σε ποσοστό διότι δεν απαιτεί παρά μόνο λίγες ώρες.

Ομως η μετάβαση από το ένα εύρος στο άλλο, με άξονες μεταβλητού εύρους, απαιτεί μόνο 20 έως 30 sec ενώ το βαγόνι κινείται με ταχύτητα βήματος πεζού. Δεν πρέπει να εκπλήσσει το γεγονός ότι οι χώρες της κεντρικής Ευρώπης που διακινούν μεγάλες ποσότητες εμπορευμάτων από και προς τις χώρες της πρώην Σοβιετικής Ενωσης, έχουν ξεκινήσει έρευνες προς την κατεύθυνση αυτής της λύσης και η ο πο ία σήμερα είναι ακόμη πολύ ενδιαφέρουσα αν ληφθεί υπόψιν ότι το 1994 25,5 εκατ. τόνων έχουν μεταφορτωθεί μεταξύ των δικτύων κανονικού εύρους και των δικτύων εύρους 1.520 mm (της Φιλανδίας εξαιρουμένης).

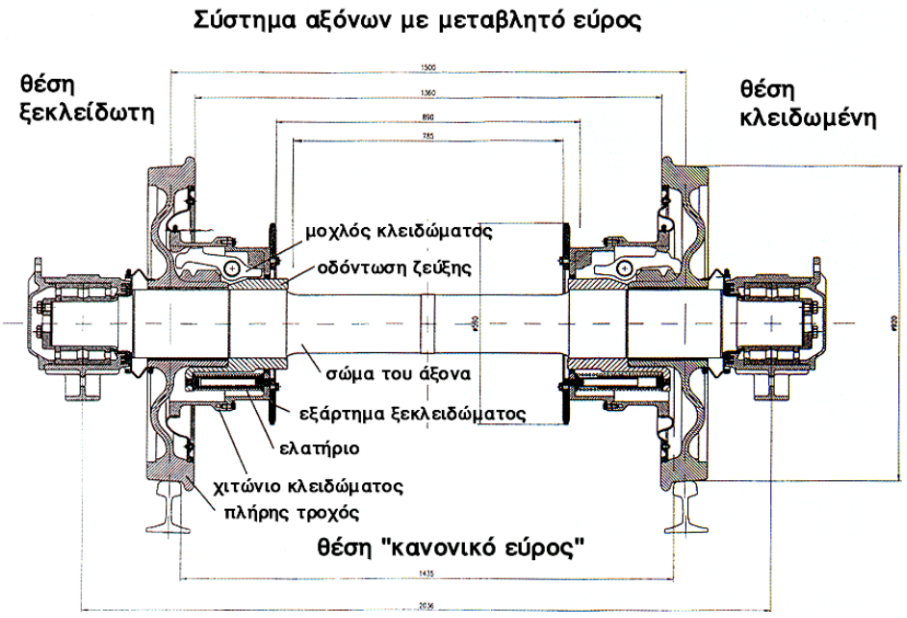
3.1.4.1. Το σύστημα αξόνων μεταβλητού εύρους Rafil V[23]

Ο άξονας αυτός αναπτύχθηκε από το δίκτυο της πρώην ανατολικής Γερμανίας και πρόσφατα έχει τελειοποιηθεί από τους γερμανικούς σιδηροδρόμους (DB AG) (σχήμα 4). Ο μηχανισμός κλειδώματος τοποθετείται στο εσωτερικό ενός κυλινδρικού ταμπούρου που βρίσκεται τοποθετημένο προς το κέντρο του άξονα και διαθέτει έναν σφικτήρα.

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αλλαγής εύρους οι τροχοί δεν αποφορτίζονται από το αμάξωμα του οχήματος και η κατακόρυφη δύναμη που εξασκείται μεταβιβάζεται στη σιδηροτροχιά γεγονός που απλοποιεί την εγκατάσταση μετατροπής. Ταυτόχρονα ο τροχός πρέπει να μετατοπιστεί εγκάρσια χωρίς αποφόρτιση.

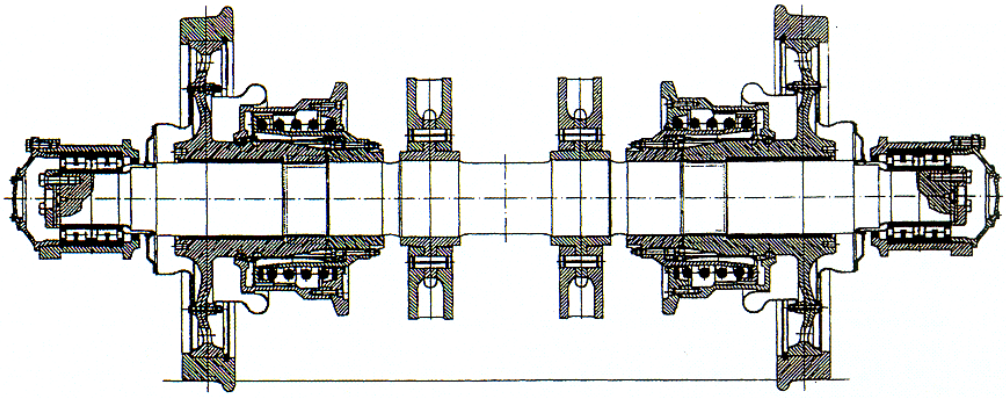
[22] Saliger Wilhelm, " Essieux a ecartement variable", Rail International, Mars 2000, σελ. 7-10.

[23] Στο - Ebeling Klaus, " The Pan-European Traffic Networks – An Opportunity for Europe's Railways ", Railway Technical Review, January/February/March 1999, σελ. 6,7. – περιέχεται η πληροφορία ότι «Αυτά τα σετ τροχών, κατάλληλα για ταχύτητες 120 χλμ/ώρα με αξονικό φορτίο 22 ½ τόνους και για ταχύτητες 160 χλμ/ώρα με αξονικό φορτίο 18 τόνους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για επιβατική και για εμπορευματική κυκλοφορία. Εχουν υποστεί για μακρά περίοδο δοκιμές αλλαγής εύρους και έχουν περάσει επανειλημμένα δοκιμές κατά τη διάρκεια του χειμώνα σε εξαιρετικά δυσμενείς καιρικές συνθήκες στην Kiruna της Σουηδίας χωρίς να παρουσιάσουν οποιοδήποτε πρόβλημα."



Σχήμα 4[24] : Αξονας με μεταβλητό εύρος DB AG/Rafil type V: Στα δεξιά θέση κλειδωμένη, στα αριστερά θέση ξεκλείδωτη

3.1.4.2. Ο άξονας με μεταβλητό εύρος SUW 2000

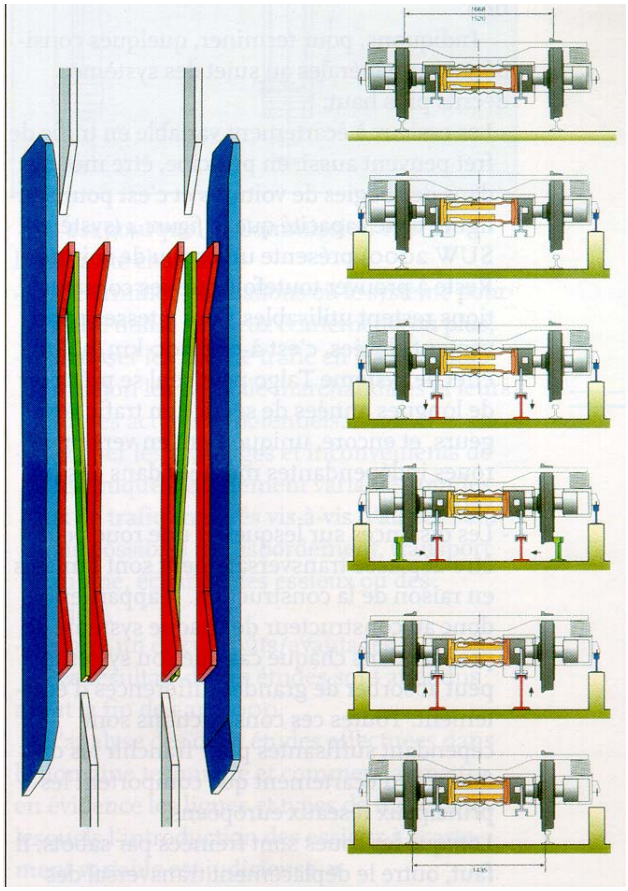


Σχήμα 5[25] : Αξονας με μεταβλητό εύρος SUW 2000: Εκδοση για φορείο οχήματος με πέδηση δίσκων

Ο άξονας αναπτύχθηκε από τους πολωνικούς σιδηροδρόμους (PKP) (σχήμα 5). Για να αποφευχθούν ανεπιθύμητες παρενέργειες από τις εγκάρσιες δυνάμεις, ο κατασκευαστής απαιτεί τη χρησιμοποίηση, για την αλλαγή εύρους, μιας εγκατάστασης της οποίας το πρώτο ήμισυ μετατοπίζει τους τροχούς μιας μόνο πλευράς του οχήματος. Μόλις οι τροχοί ασφαλιστούν στη νέα τους θέση οδηγείται το βαγόνι στο δεύτερο ήμισυ της εγκατάστασης όπου οι απέναντι τροχοί τοποθετούνται στη νέα τους θέση.

[24] Saliger Wilhelm, " Essieux a ecartement variable", Rail International, Mars 2000, σελ. 7-10.
[25] Saliger Wilhelm, " Essieux a ecartement variable", Rail International, Mars 2000, σελ. 7-10.

3.1.4.3. Ο άξονας με μεταβλητό εύρος «σύστημα Talgo»

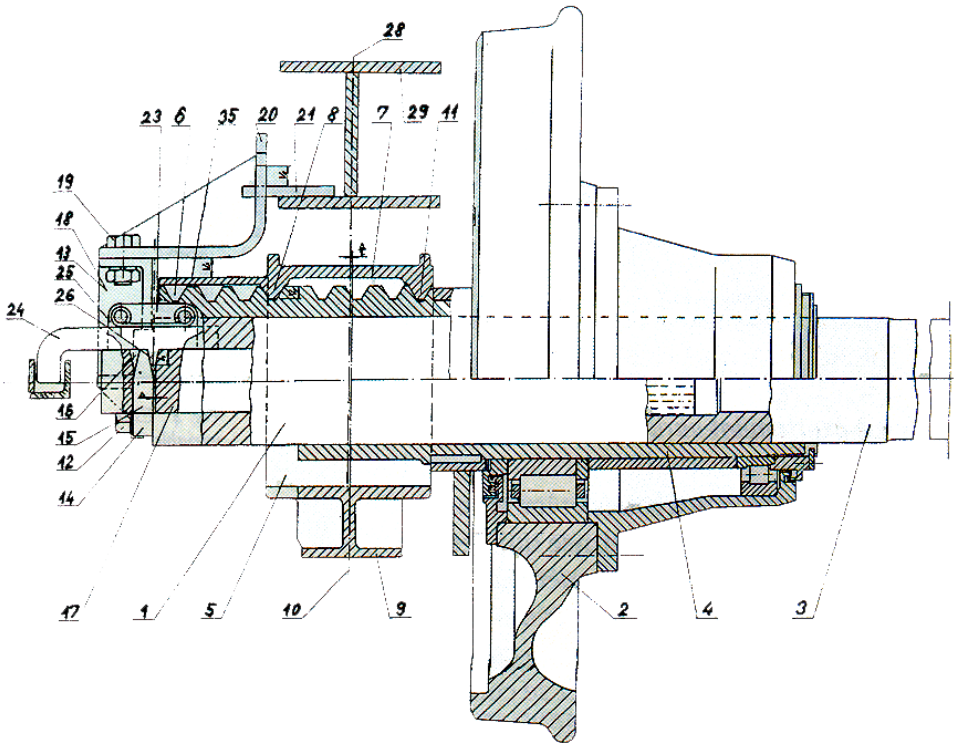


Σχήμα 6[26] : Άξονας με μεταβλητό εύρος για βαγόνια σύστημα Talgo

Η εταιρεία Talgo έχει σε εκμετάλλευση εδώ και τριάντα χρόνια με επιτυχία και πλήρη αξιοπιστία ένα σύστημα αξόνων μεταβλητού εύρους με το οποίο εξοπλίζει τις αρθρωτές της αμαξοστοιχίες. Ηταν απλό λοιπόν να επανασχεδιάσει αυτήν την κατασκευή προσαρμόζοντάς την σε άξονες συναρμολογημένους σε εμπορευματικά οχήματα. Ο ημιάξονας κάθε τροχού επιμηκύνθηκε έτσι προς το κέντρο του οχήματος και μια από τις επιμηκύνσεις είχε το σχήμα του κάλυκος φυσιγγίου ή δε άλλη επιμήκυνση το σχήμα στροφάλου.

Ο κάλυκας φυσιγγίου όπως και ο στρόφαλος φέρουν οδόντωση που επιτρέπει τη σταθεροποίηση του συνόλου στο οποίο εμπλέκονται κατά την περιφερειακή έννοια ώστε το σύνολο να συμπεριφέρεται σαν κλασσικός άξονας (σχήμα 6). Η αλλαγή εύρους μπορεί να γίνει με τη βοήθεια της ίδιας εγκατάστασης των συρμών Talgo, με την εναπόθεση του αμαξώματος του οχήματος στα κύλιστρα – βοηθητικές σιδηροτροχιές.

[26] Saliger Wilhelm, " Essieux a ecartement variable", Rail International, Mars 2000, σελ. 7-10, όπως και Sistema Talgo RD – Talgo RD System, ίδε και Σχήματα 12, 13, 14α και 14β του παρόντος Κεφαλαίου.



Σχήμα 7[27] : Αξονας με μεταβλητό εύρος – σύστημα BDZ

3.1.4.4. Ο άξονας μεταβλητού εύρους των βουλγαρικών σιδηροδρόμων (BDJ)

Σε αυτό το σύστημα οι τροχοί και οι ένσφαιροι τριβείς τους είναι εναποτεθιμένοι σε ένα περίβλημα που μπορεί να μετακινηθεί αξονικά σε ένα επίπεδο. Ο μηχανισμός κλειδώματος βρίσκεται στο εξωτερικό των τροχών (σχήμα 7). Οι τροχοί του ίδιου άξονα δεν συνδέονται ο ένας με τον άλλο και συμπεριφέρονται ως ανεξάρτητοι τροχοί γεγονός που μπορεί να επηρεάσει τα όργανα κύλισης ή τη συμπεριφορά σε κυκλοφορία.

3.1.5. Σύγκριση των εναλλακτικών συστημάτων

Σε σχέση με τα συστήματα που περιγράφονται παραπάνω μπορούν να διαπιστωθούν μια σειρά παρατηρήσεων που είναι οι παρακάτω:

- οι άξονες μεταβλητού εύρους για εμπορευματική κυκλοφορία μπορούν επίσης, κατ' αρχήν, να είναι συναρμολογημένοι στα φορεία των οχημάτων και αυτό υπογραμμίζει αυτή την ικανότητα που το σχήμα 4 παρουσιάζει έναν άξονα οχήματος. Εντούτοις μένει προς απόδειξη ότι αυτές οι κατασκευές είναι χρησιμοποιήσιμες σε σχετικά αυξημένες ταχύτητες, δηλαδή 200χλμ ανά ώρα. Στην πράξη μόνο το σύστημα Talgo μπορεί να παρουσιάσει μακρά περίοδο ετών εν λειτουργία σε επιβατική κυκλοφορία και ακόμη μόνο σε έκδοση ανεξάρτητων τροχών συναρμολογημένων σε ημιάξονες
- η απόσταση στην οποία ένας τροχός μπορεί να μετατοπισθεί εγκάρσια περιορίζεται για κατασκευαστικούς λόγους. Παραμένει λοιπόν στην ευθύνη του κατασκευαστή κάθε συστήματος να αποδείξει σε κάθε περίπτωση ότι το σύστημά του μπορεί να

[27]Saliger Wilhelm, " Essieux a ecartement variable", Rail International, Mars 2000, σελ. 7-10

απορροφήσει μεγάλες διαφορές εύρους. Ολες αυτές οι κατασκευές είναι παρ' όλα αυτά επαρκείς για αντιμετωπισθούν οι διαφορές εύρους που υπάρχουν στα κύρια ευρωπαϊκά δίκτυα

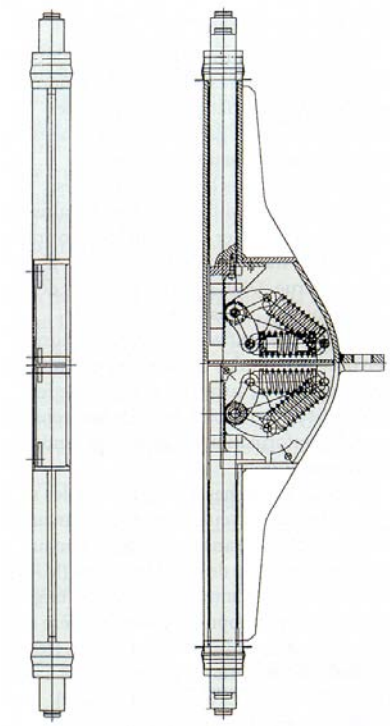
- όταν οι τροχοί έχουν σύστημα πέδησης με πέδιλα πρέπει η εγκάρσια μετατόπιση των τροχών να εγγυάται ότι επίσης και τα πέδιλα εφαρμόζουν ορθώς επί της επιφανείας κύλισης για κάθε εύρος γραμμής. Αυτό επιβάλει τη συναρμολόγηση ενός συμπληρωματικού εξαρτήματος – προσαρμογέα στο τρίγωνο του φρένου (παράδειγμα στο σχήμα 8)
- όλες οι κατασκευές επιφέρουν εντούτοις, λόγω του περιπλόκου της κατασκευής τους ένα συμπληρωματικό βάρος που μειώνει ακόμη και αν το εύρος της αλλαγής είναι μικρό, το ωφέλιμο φορτίο κάθε οχήματος και επιφέρει αύξηση του κόστους συντήρησης
- το μήκος των εγκαταστάσεων μετατροπής κυμαίνεται από μερικά μέτρα έως το μήκος 1,5 οχήματος κατά μέγιστο και αυτοί οι μηχανισμοί καταναλώνουν βεβαίως πολύ λιγότερο χώρο από όλα τα άλλα συστήματα που επιτρέπουν να περάσουμε από το ένα εύρος στο άλλο
- δεν πρέπει λοιπόν να λησμονείται ότι τα συνορεύοντα δίκτυα με διαφορετικό εύρος μπορεί επίσης να παρουσιάζουν διαφορές σε τεχνικές παραμέτρους και άλλων τομέων.

Η διαλειτουργικότητα ενός οχήματος που καλείται να κυκλοφορήσει από το ένα στο άλλο θα πρέπει να ανταποκρίνεται στο σύνολο αυτών των απαιτήσεων. Πρόκειται για παράδειγμα[28]:

- για το σύστημα πέδησης (η πέδηση με πεπιεσμένο αέρα των χωρών της πρώην Σοβιετικής Ενωσης με εύρος 1.520 mm λειτουργεί με πίεση διαφορετική και η πέδηση κενού υπάρχει σε ορισμένες υποδομές γραμμής στενού εύρους)
- για το σύστημα ζεύξης – πρόσκρουσης (πρόσκρουση με προσκρουστήρες κεντρικούς και ζεύξη αυτόματη ή χειροκίνητη, διαφορά πλευρικής αποστάσεως προσκρουστήρων με παρουσία προσκρουστήρων κοχλιωτών)
- για την αντοχή των κατασκευών (αύξηση των απαιτήσεων σε θέματα καταπόνησης αμαξωμάτων λόγω προσαύξησης του μήκους των τρένων που επιτρέπεται από την αυτόματη ζεύξη)

[28]Saliger Wilhelm, " Essieux a ecartement variable", Rail International, Mars 2000, σελ. 7-10

- για το σχήμα (profil) των τροχών και της κίνησης του άξονα στη γραμμή με διαφορετικές επικλίσεις σιδηροτροχιάς (ο αποδεκτός συμβιβασμός θα μπορούσε να επηρεάσει την ποιότητα κύλισης)



Σχήμα 8[29] : Τρίγωνο πέδησης με αυτόματη προσαρμογή της απόστασης μεταξύ των πεδίλων φρεναρίσματος σε συνάρτηση με το εύρος γραμμής (σύστημα SUW 2000)

3.1.6. Κινητήριοι άξονες ρυθμιζόμενου εύρους

Το Ιαπωνικό Σιδηροδρομικό Τεχνικό Ινστιτούτο Ερευνας (RTRI) κατασκεύασε ένα πρωτότυπο τρίδυμο συρμό (EMU[30]), με φορεία μεταβαλλόμενου (ρυθμιζόμενου) εύρους[31] που δοκιμάστηκε σε ταχύτητες μέχρι 100 χλμ. ανά ώρα στις στενού εύρους γραμμές των δυτικών ιαπωνικών σιδηροδρόμων, για να τεθεί σε κυκλοφορία και στις γραμμές υψηλών ταχυτήτων κανονικού εύρους του Shinkansen (1435 mm) και στις γραμμές στενού εύρους (1067 mm)[32]. Τα φορεία του έχουν υποστεί δυναμικές δοκιμές σε προσομοιωμένη μέγιστη ταχύτητα 500 χλμ. ανά ώρα[33]. Το τρένο δοκιμάζεται στο κέντρο κυκλοφοριακών δοκιμών του Pueblo, στην πολιτεία Κολοράντο των ΗΠΑ, όπου

[29] Saliger Wilhelm, " Essieux a ecartement variable", Rail International, Mars 2000, σελ. 7-10.

[30] *Electric Multiple Unit*

[31] International Railway Journal, "Gauge-Changing, Japanese Develop First Gauge-Adaptable Emu", January 1999,σελ. 31, αλλά και Hiroumi Soejima, "Maglev: The 21st Century Railway", International Railway Journal, January 2000, σελ. 25.

[32] *Ο άξονας στη θέση «στενού εύρους» στο Σχήμα 12 και στη θέση «μεγάλου εύρους» στο Σχήμα 17, του παρόντος Κεφαλαίου.*

[33] Kazuhiro Oda, "Gauge-Changing EMU on the road to success", Railway Gazette International, March 1999, σελ. 155,156

θα παραμείνει για 18 μήνες, σε ταχύτητες που φθάνουν μέχρι μέχρι 250 χλμ ανά ώρα. Οι Ιαπωνικοί σιδηρόδρομοι έχουν αναπτύξει κινητήρια φορεία μεταβλητού εύρους τα οποία θεωρούν ως περισσότερο αποδοτικά από πλευράς κόστους για να επεκτείνουν τα πλεονεκτήματα της σιδηροδρομικής μεταφοράς υψηλών ταχυτήτων προς το υπόλοιπο δίκτυο.

Ο νέος συρμός που αναπτύχθηκε από το ιαπωνικό σιδηροδρομικό τεχνικό ινστιτούτο έρευνας (RTRI) αυτόματα αλλάζει την απόσταση μεταξύ των τροχών σε κάθε άξονα κατά τη διάρκεια του ταξιδιού σε ένα τμήμα γραμμής που αποκαλείται τμήμα αλλαγής εύρους το οποίο έχει μήκος 22 μέτρα[34]. Μια πρωτότυπη εγκατάσταση εδάφους για αλλαγής εύρους κατασκευάστηκε για αξιολόγηση και τα πρωτότυπα φορεία εκτέλεσαν περισσότερες από 1000 διελεύσεις από την εγκατάσταση αυτή[35]. Επειδή ο πρωτότυπος συρμός είναι αυτοκινούμενος με κινητήριους άξονες διανεμημένους σε όλο το μήκος του συρμού έχει τη δυνατότητα να περάσει από το ένα εύρος στο άλλο με την δική του ελκτική ισχύ. Παράλληλα και εκατέρωθεν της γραμμής βρίσκεται τοποθετημένη από μια σιδηροτροχιά η οποία μπορεί να υποστηρίξει σιδηροδρομικό όχημα και η οποία μπορεί να λειτουργήσει σαν μεταφορικός ιμάντας. Ενώ η σιδηροτροχιά υποστήριξης παραμένει στο ίδιο επίπεδο, οι σιδηροτροχιές που αποτελούν το στενό εύρος γραμμής βαθμιαία χαμηλώνουν στο μεταβατικό τμήμα μέχρις ότου τερματίζουν 55 mm κάτω από το επίπεδο που έχουν στο σημείο εισόδου. Οι σιδηροτροχιές που αποτελούν το κανονικό εύρος γραμμής επίσης χαμηλώνουν στο μεταβατικό τμήμα[36].

Στο μέσον του τμήματος αλλαγής εύρους υπάρχει ένα διάκενο 5 μέτρων μεταξύ των γραμμών στενού και κανονικού εύρους. Κατά μήκος του μεταβατικού τμήματος (μήκους 5.000 mm) οι κανονικές σιδηροτροχιές αντικαθίστανται η κάθε μια από ένα ζεύγος (μιας εσωτερικής και μιας εξωτερικής) σιδηροτροχιών – οδηγών οι οποίες μετατοπίζουν τους τροχούς και τους τοποθετούν στη νέα θέση για το άλλο εύρος γραμμής. Η απόσταση μεταξύ των τροχών του κάθε άξονα του τρένου αλλάζει σ' αυτή την περιοχή. Οταν ένα τρένο μεταβαίνει από στενό εύρος σε κανονικό εύρος γραμμής και περάσει από αυτό το τμήμα, σιδηροτροχιές οδηγοί ωθούν τους τροχούς προς τα έξω στην κανονική απόσταση του κανονικού εύρους.

Μόλις ο άξονας μπαίνει στο τμήμα αλλαγής εύρους το ύψος των σιδηροτροχιών χαμηλώνει βαθμιαία, οι σιδηροτροχιές υποστήριξης παραμένουν επίπεδες και το βάρος κάθε οχήματος αργά μεταφέρεται από τις σιδηροτροχιές που αποτελούν τη γραμμή στις σιδηροτροχιές υποστήριξης[37]. Καθώς το τρένο περνά από το προσεγγίζον τμήμα γραμμής (με συγκεκριμένο εύρος) η βύθιση των κανονικών σιδηροτροχιών βαθμιαία μεταφέρει το βάρος των οχημάτων στις φέρουσες σιδηροτροχιές υποστήριξης που λειτουργούν δίκην μεταφορικής ταινίας. Στο σημείο όπου όλο το βάρος του οχήματος μεταφέρεται και υποβαστάζεται από τις σιδηροτροχιές υποστήριξης, οι σιδηροτροχιές που αποτελούν τη γραμμή τελειώνουν και οι τροχοί έρχονται σε επαφή με τις σιδηροτροχιές – οδηγούς από την εγκάρσια διεύθυνση. Με τα κιβώτια αξόνων πλήρως υποστηριζόμενα στο μεταβατικό τμήμα όπου οι κανονικές σιδηροτροχιές βρίσκονται στο χαμηλότερο σημείο μια περόνη κλειδώματος στο άκρο των αξόνων πέφτει για να απελευθερώσει τους τροχούς. Με την προς τα εμπρός κίνηση του συρμού οι σιδηροτροχιές – οδηγοί εξασκούν ώθηση επί των τροχών πλευρικά για να αλλάξει η

---

[34] *Φωτογραφία της συσκευής αλλαγής εύρους στο έδαφος, στο Σχήμα 11 του παρόντος Κεφαλαίου.*

[35] όπως παραπάνω

[36] ίδε Σχήμα 9 του παρόντος Κεφαλαίου

[37] *Η διαδικασία αλλαγής εύρους σε κάτοψη στο Σχήμα 10 και σε λεπτομέρειες όψεως – τομής στο Σχήμα 11 του παρόντος Κεφαλαίου.*

απόσταση μεταξύ τους. Οι τροχοί τότε οδηγούνται στη νέα τους θέση συμβατοί με το νέο εύρος γραμμής καθώς ο συρμός συνεχίζει την πορεία του. Οι σιδηροτροχιές της γραμμής επανεμφανίζονται όπου η νέα απόσταση μεταξύ των τροχών έχει επιτευχθεί. Οπως οι τροχοί αρχίζουν να ανυψώνονται πάλι το βάρος μεταφέρεται πάλι στους άξονες ενώ η περόνη κλειδώματος ανυψούται εκ νέου στο κιβώτιο αξόνων και ασφαλίζει τους τροχούς για τη συνέχεια του ταξιδιού ενώ το βάρος του συρμού[38] βαθμιαία ανυψώνεται από τις σιδηροτροχιές υποστήριξης και μεταφέρεται στις κανονικές σιδηροτροχιές[39].

Το σύστημα κλειδώματος των τροχών έχει προφανώς κρίσιμη σημασία και σπουδαιότητα. Στην είσοδο και την έξοδο του τμήματος αλλαγής εύρους γραμμής όπου οι σιδηροτροχιές αποκλίνουν ή συγκλίνουν οι τροχοί που επικάθονται σ' αυτές επίσης κινούνται προς τα πάνω και προς τα κάτω. Την ίδια στιγμή μια περόνη ασφαλείας στο άκρο των αξόνων επίσης κινείται επάνω ή κάτω. Οταν το κιβώτιο αξόνων επικάθεται στις επίπεδες σιδηροτροχιές υποστήριξης, το ίδιο το κιβώτιο αξόνων δεν ανυψώνεται ούτε χαμηλώνει. Ετσι όπως οι τροχοί χαμηλώνουν κατά την είσοδό τους στη μεταβατική περιοχή η περόνη κλειδώματος βγαίνει από το κιβώτιο αξόνων και οι τροχοί ξεκλειδώνουν. Οταν οι τροχοί είναι ξεκλείδωτοι η απόσταση μεταξύ τους αλλάζει από τις σιδηροτροχιές – οδηγούς. Οπως οι τροχοί φθάνουν στο τέλος του τμήματος αλλαγής εύρους η περόνη κλειδώματος επανέρχεται και κλειδώνει στο κιβώτιο αξόνων ξανά. Οταν η περόνη κλειδώματος εισέλθει στην οπή που βρίσκεται στην κορυφή του κιβωτίου αξόνων, οι τροχοί είναι και πάλι κλειδωμένοι με ασφάλεια στην νέα τους θέση.

Η σχεδίαση των αξόνων περιέχει ένα τμήμα σε κάθε άκρο του άξονα που αποτελείται από δυο στρώματα με ένα κύλινδρο που περιβάλει τον άξονα. Αυτός ο εξωτερικός κύλινδρος μπορεί να μετακινείται «εμπρός - πίσω» στον άξονα. Ο τροχός βρίσκεται προσαρμοσμένος στον εξωτερικό κύλινδρο και οι δύο τροχοί του άξονα περιστρέφονται είτε από απευθείας οδήγηση από τον κινητήρα είτε με συμβατική μετάδοση κίνησης μέσω κιβωτίου.

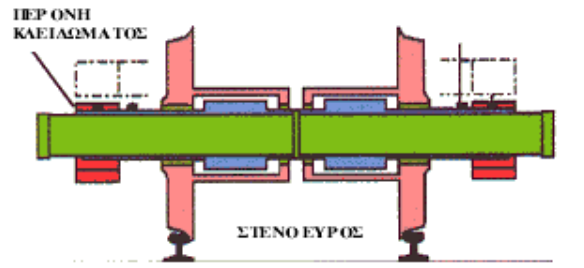
Καθοριστικός παράγων για την επιτυχή λειτουργία είναι η διατήρηση της ελκτικής ισχύος καθ' όλη την διαδικασία στη ζώνη μετάβασης. Με τη μεταφορά του βάρους στις σιδηροτροχιές υποστήριξης και το κενό μεταξύ των κανονικών σιδηροτροχιών οι άξονες δεν μπορούν να μεταδώσουν ισχύ κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αλλαγής εύρους. Ο πρωτότυπος τρίδυμος συρμός έχει έξι φορεία και δεν είναι δυνατόν να βρίσκονται περισσότερα από τρία φορεία στη συσκευή αλλαγής εύρους σε κάθε χρονική στιγμή και κατά τον δυσμενέστερο δυνατό συνδυασμό. Με τον τρόπο αυτόν παραμένουν εν λειτουργία τρία φορεία σε κάθε περίπτωση και με όλους τους άξονες κινητήριους αυτό είναι επαρκές για να διατηρήσει την κίνηση του συρμού. Οι ιάπωνες προσδοκούν ότι η αλλαγή εύρους θα λαμβάνει χώρα με μια ταχύτητα που δεν θα υπερβαίνει τα 15 χλμ ανά ώρα.

---

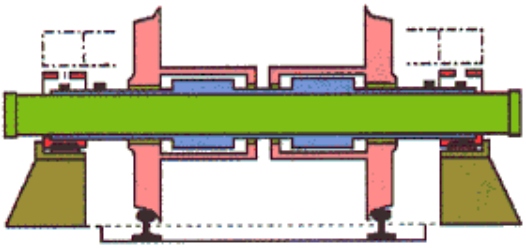
[38] *Ο πρωτότυπος Ιαπωνικός συρμός (EMU) εμπρός σε συσκευή εδάφους για αλλαγή εύρους, στο Σχήμα 13 του παρόντος Κεφαλαίου. Συρμός στην έξοδο της συσκευής εδάφους για αλλαγή εύρους, στο Σχήμα 8 του παρόντος Κεφαλαίου.*

[39] International Railway Journal, "Gauge-Changing, Japanese Develop First Gauge-Adaptable Emu",January 1999,σελ. 31, επίσης Hiroumi Soejima, "Maglev: The 21st Century Railway", International Railway Journal, January 2000, σελ. 25, αλλά και Kazuhiro Oda, "Gauge-Changing EMU on the road to success", Railway Gazette International, March 1999, σελ. 155,156.

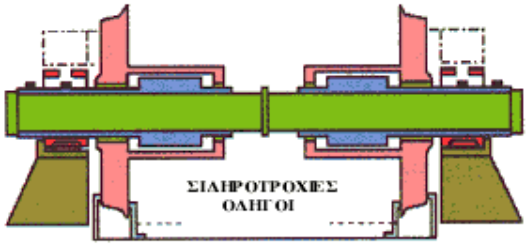
ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΕΥΡΟΥΣ



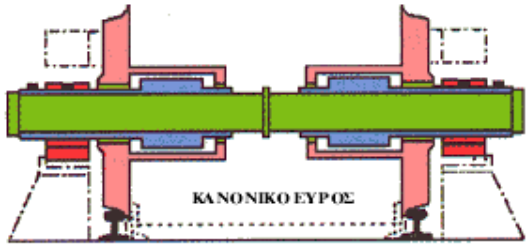
ΠΕΡΟΝΗ ΚΑΛΥΜΜΕΝΗ ΚΑΤΑ ΤΟ ΤΑΞΙΔΙ ΕΙΣΟΔΟΣ ΤΟΥ ΣΥΡΜΟΥ ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ ΣΤΗΝ ΠΛΕΥΡΑ ΣΤΕΝΟΥ ΕΥΡΟΥΣ



ΟΠΩΣ ΤΟ ΦΟΡΕΙΟ ΚΑΤΕΒΑΙΝΕΙ ΤΗΝ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΚΑΜΨΗ ΣΤΟ ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ, ΟΙ ΠΕΡΟΝΕΣ ΚΑΛΥΜΜΑΤΟΣ ΑΠΑΣΦΑΛΙΖΟΝΤΑΙ ΟΠΩΣ ΤΟ ΚΙΒΩΤΙΟ ΑΞΟΝΩΝ ΕΠΙΚΑΘΕΤΑΙ ΣΤΙΣ ΕΚΑΤΕΡΩΘΕΝ ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΕΣ-ΟΔΗΓΟΥΣ



ΟΙ ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΕΣ-ΟΔΗΓΟΙ ΩΘΟΥΝ ΤΟΥΣ ΤΡΟΧΟΥΣ ΠΡΟΣ ΤΑ ΕΞΩ ΟΠΩΣ ΤΟ ΦΟΡΕΙΟ ΚΙΝΕΙΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΟΥ ΕΥΡΟΥΣ



ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΟΥ ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΟ ΦΟΡΕΙΟ ΑΝΥΨΟΥΤΑΙ ΑΠΟ ΤΙΣ ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΕΣ-ΟΔΗΓΟΥΣ, ΟΙ ΤΡΟΧΟΙ ΚΑΤΕΒΑΙΝΟΥΝ ΕΠΙ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΚΑΝΟΝΙΚΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΚΑΙ ΟΙ ΠΕΡΟΝΕΣ ΚΑΛΥΜΜΑΤΟΣ ΕΠΙΣΤΡΕΦΟΥΝ ΣΤΟ ΚΙΒΩΤΙΟ ΑΞΟΝΩΝ

Σχήμα 9[40] : Διαδικασία αλλαγής εύρους για κινητήριο άξονα (EMU), σε τομή

[40] Hiroumi Soejima, "Maglev: The 21st Century Railway", International Railway Journal, January 2000, σελ. 25

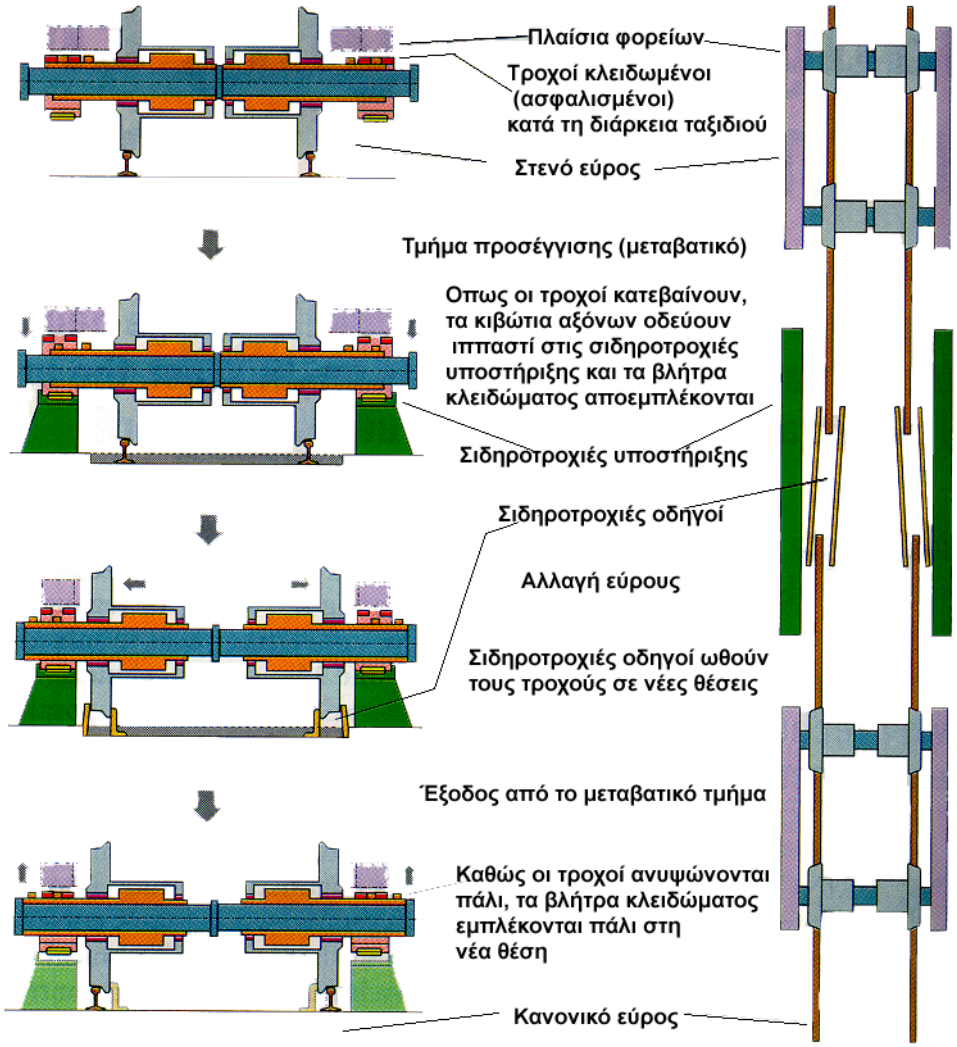
Σε συνθήκες πραγματικής εκμετάλλευσης οι συσκευές αλλαγής εύρους θα βρίσκονται τοποθετημένες σε κομβικούς σταθμούς όπου φυσιολογικά τα τρένα θα πρέπει να σταματούν και έτσι η χαμηλή ταχύτητα δεν θα επιφέρει οποιαδήποτε επιβάρυνση στην εκμετάλλευση[41].

Σχήμα 10 : Φωτογραφία οχήματος σε συσκευή αλλαγής εύρους

Σχήμα 11[42] : Συσκευή αλλαγής εύρους (μήκους 22m)

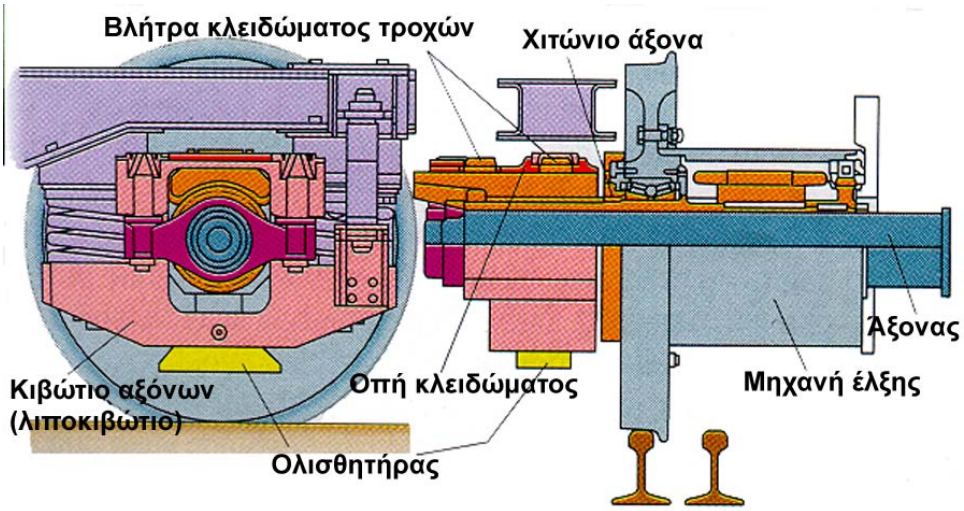
[41] Kazuhiro Oda, "Gauge-Changing EMU on the road to success", Railway Gazette International, March 1999, σελ. 155,156.

[42] International Railway Journal, "Gauge-Changing, Japanese Develop First Gauge-Adaptable Emu",January 1999,σελ. 31.

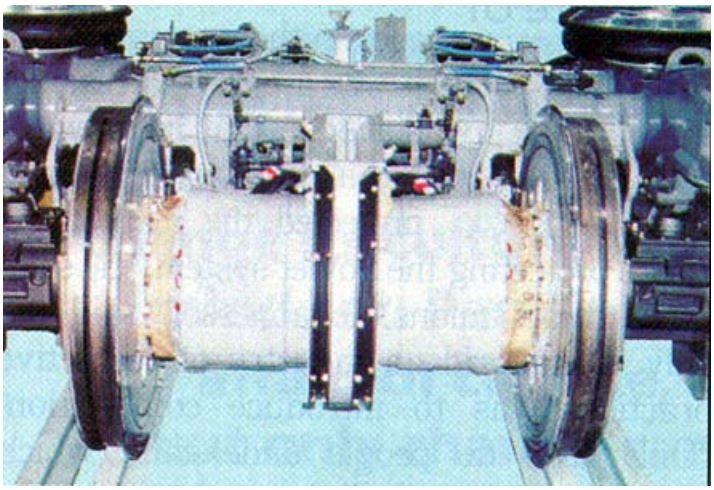


Σχήμα 12[43] : Διαδικασία αλλαγής εύρους σε κάτοψη

[43] Kazuhiro Oda, "Gauge-Changing EMU on the road to success", Railway Gazette International, March 1999, σελ. 155,156.



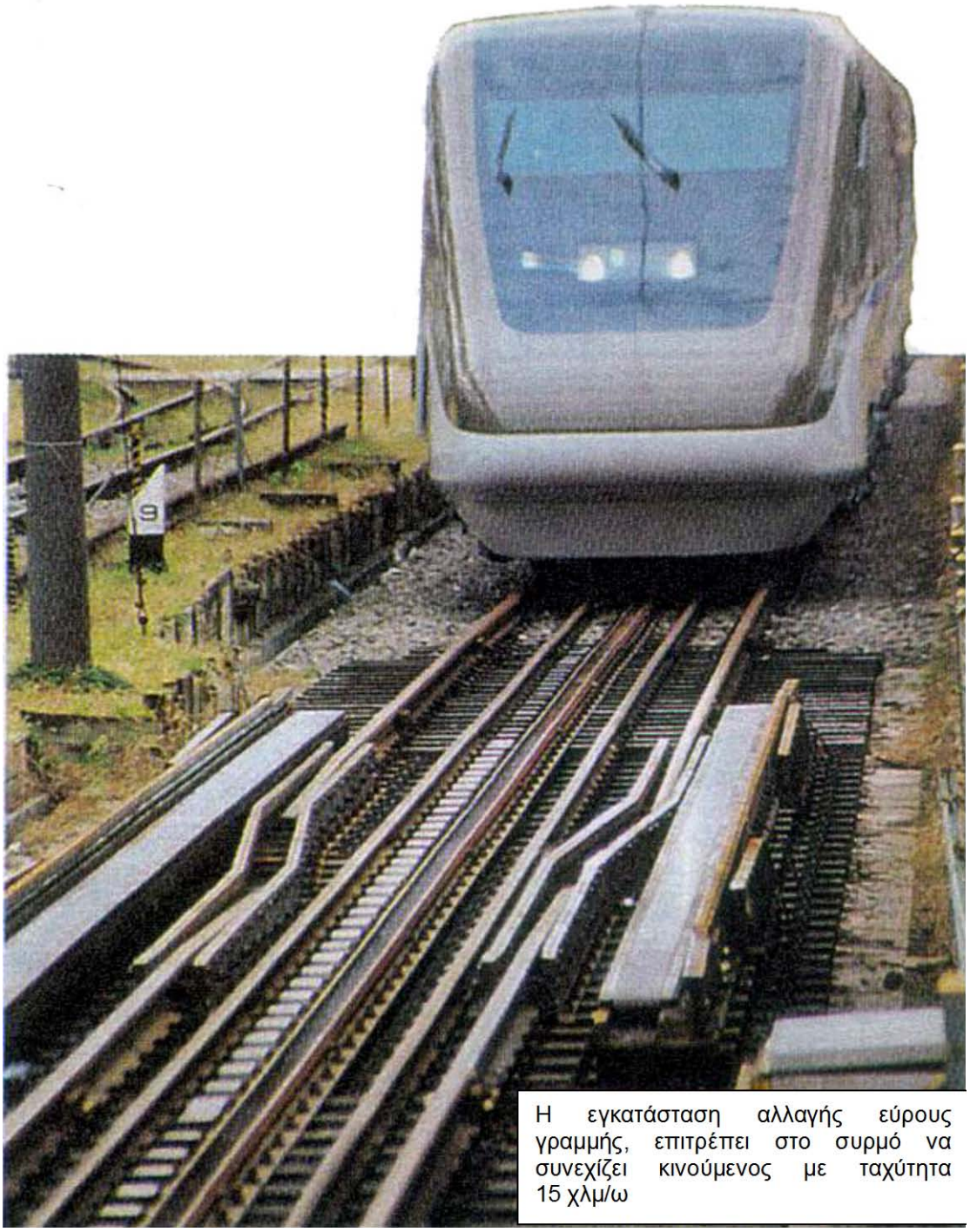
Σχήμα 13[44] : Λεπτομέρειες της EMU: Οι τροχοί έχουν ολοκληρωμένους κινητήρες έλξης, οι οποίοι ολισθαίνουν ως ενιαίο σύνολο κατά μήκος του σταθεροποιημένου άξονα



Σχήμα 14[45] : Φωτογραφία του φορείου ρυθμιζομένου εύρους στη θέση «στενό εύρος», του κινητηρίου άξονα EMU

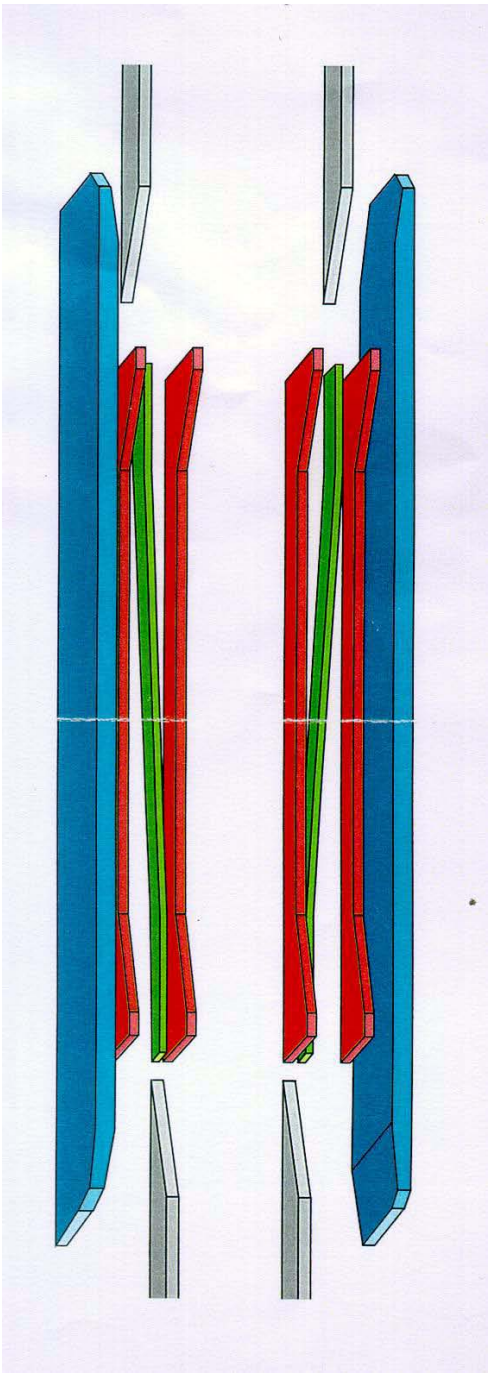
[44] Kazuhiro Oda, "Gauge-Changing EMU on the road to success", Railway Gazette International, March 1999, σελ. 155,156.

[45] International Railway Journal, "Gauge-Changing, Japanese Develop First Gauge-Adaptable Emu",January 1999,σελ. 31



Σχήμα 15[46] : Ο συρμός των Ιαπωνικών σιδηροδρόμων εισερχόμενος σε εγκατάσταση αλλαγής εύρους γραμμής

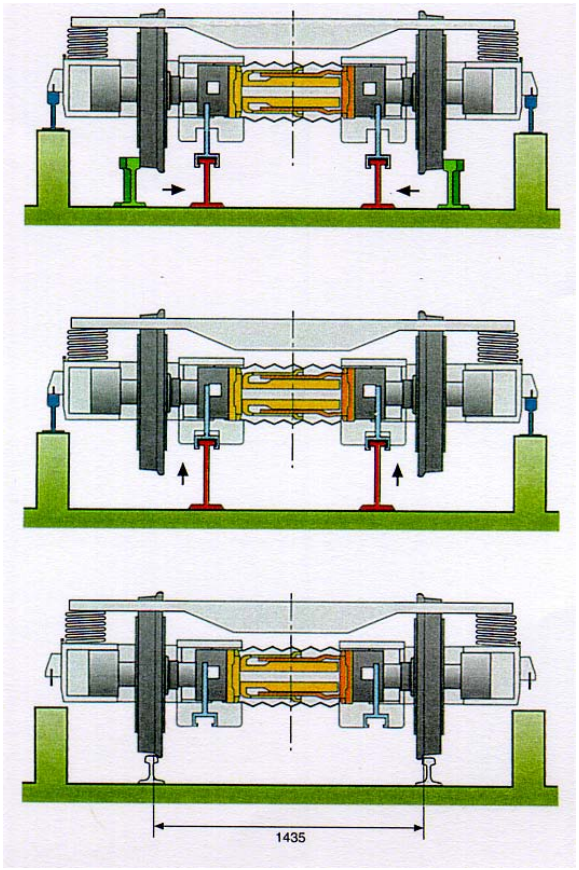
[46] Kazuhiro Oda, "Gauge-Changing EMU on the road to success", Railway Gazette International, March 1999, σελ. 155,156.



Σχήμα 16[47] : Λεπτομέρεια εγκατάστασης εδάφους για αλλαγή εύρους γραμμής στο σύστημα Talgo.

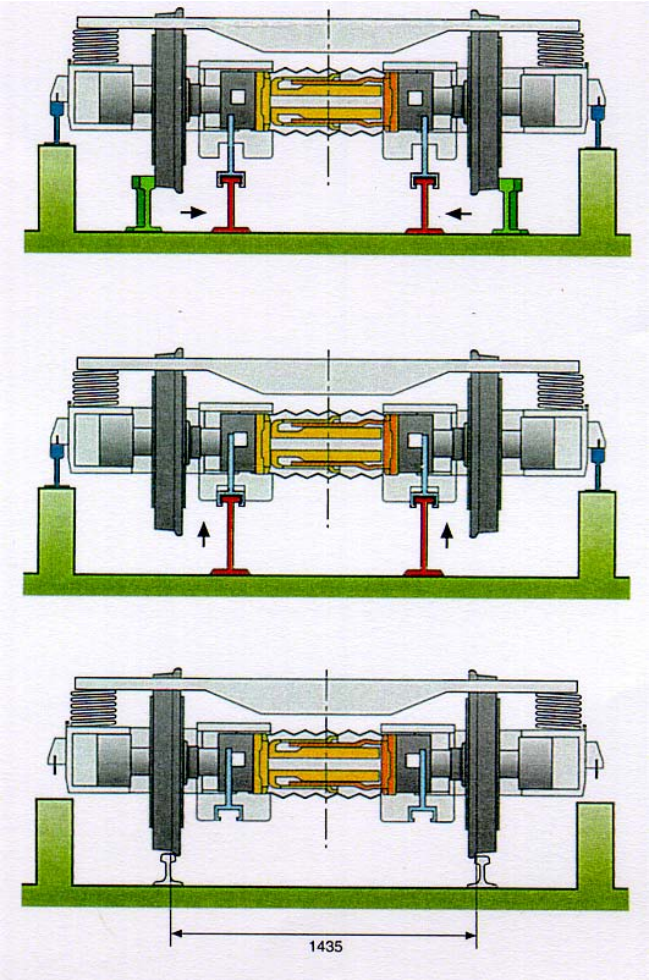
[47] Sistema Talgo RD - Talgo RD System

Σχήμα 17[48] : Οχημα εξερχόμενο της εγκατάστασης εδάφους αλλαγής εύρους του συστήματος Talgo



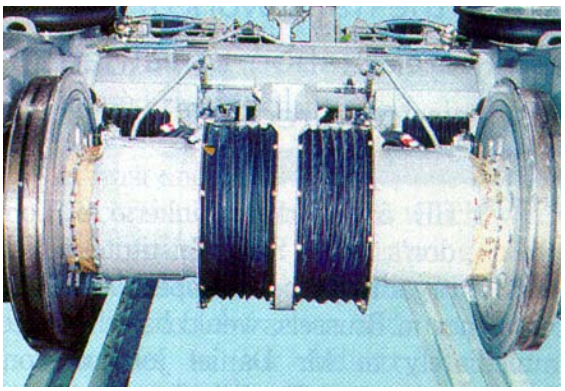
Σχήμα 18α[49] : Λεπτομέρεια λειτουργίας συστήματος αλλαγής εύρους Talgo για επιβατικά οχήματα – συρμούς
Από επάνω προς τα κάτω: 1-2) Αποφόρτιση του φορτίου στους τροχούς, 3) Απελευθέρωση των πλευρικών ασφαλειών των τροχών συνέχεια στην επόμενη σελίδα

[48] Sistema Talgo RD – Talgo RD System.
[49] όπως παραπάνω



Σχήμα 18β[50] *: Λεπτομέρεια λειτουργίας συστήματος αλλαγής εύρους Talgo για επιβατικά οχήματα – συρμούς* συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα

Από επάνω προς τα κάτω: 1) Πλευρική μετατόπιση των τροχών, 2) Πλευρική ασφάλιση (κλείδωμα) των τροχών, 3) Μεταφορά του φορτίου στους τροχούς



Σχήμα 19[51]*: Φωτογραφία του φορείου ρυθμιζομένου εύρους στη θέση «μεγάλο εύρος», του κινητηρίου άξονα EMU*

[50] Sistema Talgo RD – Talgo RD System.

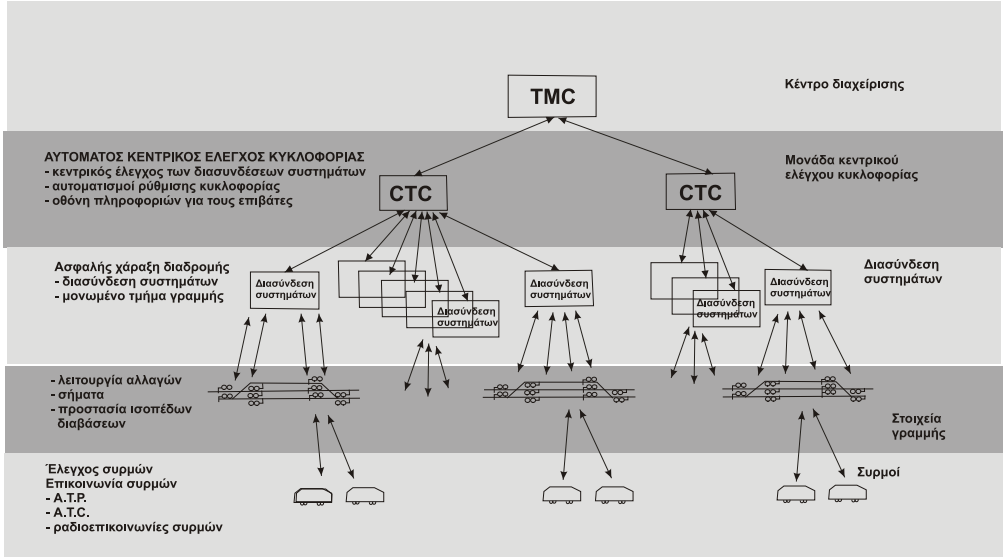
[51] International Railway Journal, "Gauge-Changing, Japanese Develop First Gauge-Adaptable Emu",January 1999,σελ. 31

3.2. ΠΡΟΩΘΗΣΗ ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ – ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

3.2.1. Βασικές αρχές

Για τους ευρωπαϊκούς σιδηροδρόμους οι εγκαταστάσεις σηματοδότησης και τηλεπικοινωνιών έχουν την μεγαλύτερη σπουδαιότητα για την παραγωγή τους. Αυτές οι εγκαταστάσεις είναι το μέτρο σύγκρισης για ένα υψηλό standard ασφαλείας, πάνω απ' όλα, στον τομέα της υψηλής ταχύτητας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βελτιώσει την λειτουργική απόδοση των εγκαταστάσεων σε υφιστάμενη και νέα υποδομή. Σε γραμμές χαμηλής πυκνότητας δρομολογίων, τα κόστη μπορούν να κρατηθούν χαμηλά με τη χρήση κατάλληλα προσαρμοσμένων συστημάτων σηματοδότησης και τηλεπικοινωνιών[52]. Αυτές οι εγκαταστάσεις είναι σημαντικές για σχέσεις με πελάτες πριν από και κατά την διάρκεια της λειτουργίας της μεταφοράς της ίδιας. Για όλους αυτούς τους λόγους οι ευρωπαϊκοί σιδηρόδρομοι κάνουν ουσιώδεις προσπάθειες να προσαρμόσουν τα συστήματά τους σηματοδότησης και τηλεπικοινωνιών στις νέες εξελιγμένες τεχνολογίες. Στην ολοκλήρωση αυτής της πολιτικής, οι σιδηρόδρομοι είναι αντιμέτωποι με ένα παράδοξο, δηλαδή να μην βρίσκεται σχεδόν κανένας άλλος τομέας σε τέτοιο ριζοσπαστικό βαθμό ανάπτυξης. Μέχρι σήμερα η στρατηγική για τα συστήματα σηματοδότησης βασίζονταν σε υποσυστήματα που μπορούσαν να αλληλοσυνδεθούν μέσω τυποποιημένων προγραμμάτων. Στα σημεία ή στις περιοχές επαφών μεταξύ των διαφόρων συστημάτων, μια τέτοια προσέγγιση επέτρεπε, σε μια σειρά διαφορετικά συστήματα από διαφορετικές περιόδους – από την καθαρά μηχανική στην εποχή των υπολογιστών να συνυπάρχουν. Στο μέλλον είναι πιθανόν να δούμε αλληλοσυνδέσεις υποσυστημάτων, με μια σειρά υποσυστήματα που καλύπτουν μεγαλύτερες περιοχές και ιδιαίτερα την ανάγκη για μονάδες υπολογιστών που πρόκειται να αντικατασταθούν σε ένα πολύ συντομότερο χρονικό όριο. Ενώ στο παρελθόν και οι σιδηρόδρομοι και η κατασκευαστική βιομηχανία δραστηριοποιούνταν σε μια, ουσιαστικά εθνική βάση, τώρα βρισκόμαστε στο κατώφλι εξελίξεων σε πανευρωπαϊκό επίπεδο. Αυτή η κίνηση εγκαινιάσθηκε από την Ευρωπαϊκή Ενωση με τις οδηγίες της για προμήθειες με δημόσια προκήρυξη και για διαλειτουργικότητα στον τομέα υψηλών ταχυτήτων.

[52]Winter Peter," Railway signalling and telecommunications systems in Europe – Current state and recent trends", Tokyo Seminar – "Railway Signalling & Telecommunication Technology", Rail International, June 1998, σελ. 15.



Σχήμα 20[53] :Απλοποιημένη δομή συστημάτων σηματοδότησης και τηλεπικοινωνιών

Η οδηγία 96/48 ορίζει σαφώς ότι όλα τα τεχνικά εμπόδια που ακόμη υπάρχουν σήμερα, στην λειτουργία των τρένων κατά μήκος των συνόρων, θα πρέπει να αρθούν. Αυτά τα εμπόδια περιλαμβάνουν φυσικά τις θεμελιώδεις διαφορές στα συστήματα σηματοδότησης και ελέγχου του τρένου από μια χώρα σε μια άλλη.

Η δομή των συστημάτων σηματοδότησης και επικοινωνιών απεικονίζεται με απλοποιημένη μορφή στο σχήμα 18, στην προηγούμενη σελίδα.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή το 1992, πολύ πριν την έκδοση της οδηγίας για τη διαλειτουργικότητα, έδωσε στο EUROSIG[54] που είναι κοινοπραξία των εννέα κύριων ευρωπαϊκών βιομηχανιών σιδηροδρομικής σηματοδότησης (της εποχής), ένα σύνολο ερευνητικών συμβολαίων για να επιτευχθεί η διαλειτουργικότητα των σιδηροδρομικών συρμών σε όλη την Ευρώπη με την εισαγωγή ενός βασικού συστήματος σηματοδότησης, του οποίου τα κύρια σημεία είναι[55]:

- EURET 1.2
  Συνολικό σχέδιο ενός μελλοντικού συστήματος διαχείρισης της ευρωπαϊκής σιδηροδρομικής κυκλοφορίας (αρχικά του συστήματος στην αγγλική γλώσσα ERTMS).
- EUROCAB

Σύστημα ασφαλείας για ανάγνωση και διαχείριση των πληροφοριών που προέρχονται από ένα εξάρτημα σηματοδότησης εγκατεστημένο επί της γραμμής.

- EUROBALISE

[53] Winter Peter," Railway signalling and telecommunications systems in Europe – Current state and recent trends", Tokyo Seminar – "Railway Signalling & Telecommunication Technology", Rail International, June 1998, σελ. 15.

[54] ABB Signal, ACEC, Alcatel SEL, Ansaldo,Compagnie des Signaux, GEC-Alsthom, Sasib, Siemens, Westinghause Signals

[55] Brandi Sylvano, "Interoperabilite et Harmonisation Technique", Tokyo Seminar – "Railway Signalling & Telecommunication Technology", Rail International, Aout/Septembre 1995, σελ. 130.

Τοπικό σύστημα και ημισυνεχές μετάδοσης με ασφάλεια μεταξύ γραμμής και θαλάμου οδήγησης

- EURORADIO
  Σύστημα μετάδοσης με ασφάλεια για ραδιοφωνική συνεχή επικοινωνία μεταξύ γραμμής και θαλάμου οδήγησης

Στα παραπάνω ερευνητικά προγράμματα τα σιδηροδρομικά δίκτυα αντιπροσωπεύονταν από την UIC ως συμβούλου της Ευρωπαϊκής Ενωσης και επιφορτίστηκαν με την ευθύνη του καθορισμού των χαρακτηριστικών της λειτουργίας και των ιδιοτήτων που θα παρέχει το σύστημα, ενώ το EUROSIG επιφορτίστηκε με την τεχνική λύση του σχεδίου και την υλοποίησή του. Τα αποτελέσματα τα οποία επετεύχθησαν είναι[56]:

- Η προτυποποίηση του εξοπλισμού και των συστημάτων σε ευρωπαϊκό επίπεδο θα επιφέρει σημαντικές οικονομίες στο επίπεδο κόστους των υλικών λόγω μεγαλύτερης παραγωγής και αυξημένου ανταγωνισμού
- Οι εταιρείες σηματοδότησης θα αυξήσουν τις δυνάμεις τους και την αξιοπιστίας τους για να ικανοποιήσουν μια πολύ μεγαλύτερη αγορά που θα επεκτείνεται πιθανά εκτός της Ευρώπης ιδίως στις χώρες εκείνες όπου η παράδοση και η ευρωπαϊκή εμπειρία εκτιμώνται ιδιαίτερα
- Η συνεργασία που προέκυψε μεταξύ των πλέον σημαντικών ευρωπαϊκών βιομηχανιών σηματοδότησης έχει σημαντικές συνέπειες σε όρους αμοιβαίας ανταλλαγής Know-How και το πλεονέκτημα της υλοποίησης ενός κοινού σχεδίου σε ένα κοινό σκοπό. Το αποτέλεσμα είναι η μεγάλη πιθανότητα να φθάσουμε σε καινούργιους αντικειμενικούς στόχους πιο γρήγορα από ότι στο παρελθόν.

Οι βασικές αρχές του συστήματος σηματοδότησης είναι:

α) Ο λειτουργικός έλεγχος της διαδρομής

Ο σιδηρόδρομος όντας ένα σύστημα καθοδηγούμενο -σε τροχιά- αντίθετα από τους οδικούς ή αεροπορικούς τρόπους μεταφοράς, τα τρένα, πρέπει να μετακινείται από την μια γραμμή σε μια άλλη μέσω ενεργητικών συστατικών εξαρτημάτων που κατασκευάζονται μέσα στη γραμμή – τις αλλαγές τροχιάς. Αρχικά αυτή η λειτουργία διεξαγόταν επί τόπου, ενώ σήμερα μπορούμε χρησιμοποιώντας σύγχρονη τεχνολογία να ελέγξουμε τις αλλαγές τροχιάς και τους ελιγμούς από μια μεγάλη απόσταση. Υπάρχουν διάφοροι τύποι συστημάτων τηλεχειριζόμενου ελέγχου σε χρήση στους ευρωπαϊκούς σιδηροδρόμους, με διαφορετικές εμβέλειες. Συστήματα πολύ μεγάλης εμβέλειας που χρησιμοποιούνται γιατί σε περιοχές με αραιό πληθυσμό σε ατομικούς σταθμούς και που είναι πολύ μακριά ο ένας από τον άλλο. Σε σιδηρόδρομους με δίκτυο πυκνής κίνησης όπως το ελβετικό[57] τίθενται τώρα όρια στην εμβέλεια αυτών των συστημάτων, λόγω προβλημάτων τηλεπικοινωνιών κατά τη διάρκεια μηχανικής εργασίας ή κατά τη διάρκεια διακοπών των λειτουργιών.

[56] Brandi Sylvano, "Interoperabilite et Harmonisation Technique", Tokyo Seminar – "Railway Signalling & Telecommunication Technology", Rail International, Aout/Septembre 1995, σελ. 130.

[57] Winter Peter," Railway signalling and telecommunications systems in Europe – Current state and recent trends", Tokyo Seminar – "Railway Signalling & Telecommunication Technology", Rail International, June 1998, σελ. 15,16.

Μέχρι πρόσφατα το σύστημα που επικρατούσε περιελάμβανε μια υποδιαίρεση σε τμήματα αποκλεισμού, με κατάληψη γραμμής δηλούμενη στην πραγματικότητα, μέσω κυκλωμάτων γραμμής ή άξονες – μετρητές.

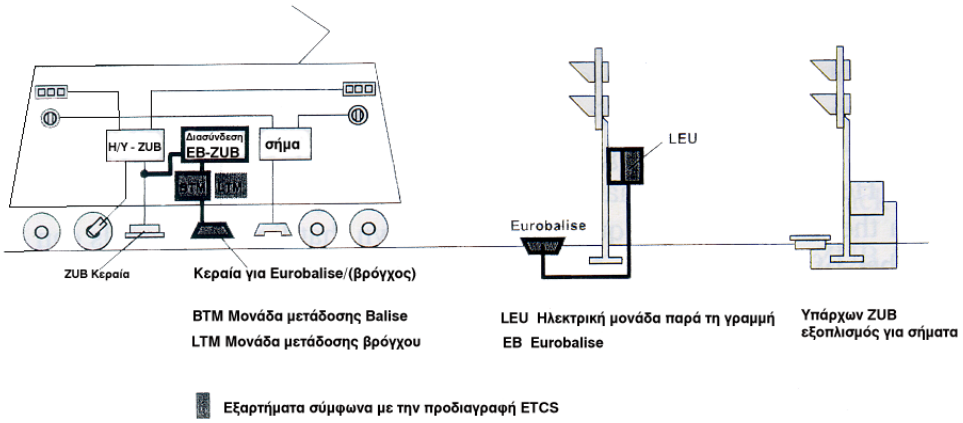
Στις ευρωπαϊκές γραμμές διπλής γραμμής εφαρμόζεται ευρέως λειτουργία αμφίδρομης σηματοδότησης, με άλλα λόγια τα τρένα μπορούν να κινούνται είτε στην αριστερή είτε στην δεξιά γραμμή μιας δεδομένης γραμμής. Για αναγγελία κατάληψης της γραμμής γίνονται προσπάθειες να καταργήσουμε τους δαπανηρούς μονωμένους συνδέσμους γραμμής χρησιμοποιώντας, είτε άξονες – μετρητές, είτε χρησιμοποιώντας κυκλώματα ραδιοσυχνότητας της γραμμής χωρίς σύνδεση. Η αυτόματη προστασία των πολλών οδικών/ σιδηροδρομικών ισόπεδων διαβάσεων που υπάρχουν ακόμη δημιουργεί πολύ αυστηρές απαιτήσεις, για εργοτάξια και εργασίες πολιτικού μηχανικού. Και στις δύο περιπτώσεις υπάρχει μια τάση για σχεδιασμούς που εξασφαλίζουν ότι το τρένο μπορεί να σταματήσει έγκαιρα, αν τα εμπόδια που μπορούν, πιθανώς, να οδηγήσουν σε συγκρούσεις δεν επαναφέρονται έγκαιρα μέσα σε μια απόσταση ασφαλείας διέλευσης των τρένων. Ενα τελευταίο σημείο είναι ότι τα συστήματα διαγνωστικής του τρένου όπως ονομάζονται στην Ευρώπη κερδίζουν συνεχώς σπουδαιότητα καθώς τα τρένα ελέγχονται και παρακολουθούνται για πολύ ώρα και λιγότερο από το προσωπικό κατά τη διέλευσή τους από τους σταθμούς. Θερμά λιποκιβώτια και ανιχνευτές σφηνωμένου τροχού, ιδιαίτερα έχουν αποδείξει από μόνα τους, ότι είναι αξιόπιστα και χρησιμοποιούνται ευρύτατα.

β) Ελεγχος τρένου

Δεν είναι αρκετό για την διαδρομή να είναι κατάλληλα καθορισμένη και ελεύθερη από εμπόδια. Για να είναι ασφαλής η σιδηροδρομική κίνηση. Είναι ζωτικό να εξασφαλίζουμε ότι τα τρένα κινούνται μέσα στην μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα προς ένα προκαθορισμένο σημείο στάθμευσης. Για την καλύτερη αντίληψη του οδηγού χρησιμοποιούνται ακόμη οπτικά πλευρικά σήματα γραμμής στην πλειοψηφία των περιπτώσεων του ευρωπαϊκού σιδηροδρομικού δικτύου, αλλά ο αριθμός των ενδείξεων που μπορούν να δώσουν είναι περιορισμένος. Τα βιβλία κανόνων που χρησιμοποιούνται για να βοηθήσουν τους οδηγούς να ερμηνεύσουν τις διάφορες ενδείξεις σημάτων έχουν γίνει ακόμη περισσότερο πολύπλοκα με το χρόνο και πάνω απ' όλα διαφορετικά από μια χώρα σε σχέση με μια άλλη. Παίρνοντας για παράδειγμα ένα κόκκινο φως: σε μερικές χώρες αυτό μπορεί να σημαίνει στάση κάτω υπό οιασδήποτε καταστάσεις», ενώ σε άλλες αυτό μπορεί να σημαίνει ότι είναι ένα εμπόδιο μπροστά, αλλά ότι το τρένο μπορεί να προχωρήσει με προσοχή μέχρις ότου φθάσει το εμπόδιο. Πρόσφατα υπήρξε μια de facto γενική κατεύθυνση σε αρκετούς σιδηροδρόμους, να απαιτούν άδεια για να κινηθούν σταθερά με ένα πράσινο κόκκινη θέση (ένδειξη), ενώ δείχνουν την ταχύτητα σε ψηφιακά νούμερα. Αυτό έχει γίνει τεχνικά δυνατόν μέσα από την έλευση δεσμών (ομάδων) υαλοβάμβακος που μεταδίδουν το φως από ένα απλό λαμπτήρα σε αρκετά σημεία στην περιοχή εμφάνισης. Οταν ερμηνεύονται από τον οδηγό τα σήματα υπάρχει πάντα χώρος, για ανθρώπινο σφάλμα.

Στην πορεία του χρόνου ένας μεγάλος αριθμός συστημάτων προστασίας του τρένου έχει αναπτυχθεί, τα οποία βοηθούν τον οδηγό του τρένου στην παρακολούθηση των σημάτων ή ακόμη εμφάνιση της απαιτούμενης ταχύτητας κατευθείαν, στην καμπίνα. Το παλαιότερο από αυτά μπορεί να μεταβιβάσει μόνο λίγες ενδείξεις στον οδηγό τέτοιες όπως, «προσοχή» ή «stop». Εδώ, η πληροφορία περνάει από το έδαφος στη μηχανή σε ατομικές αλλαγές τροχιάς με γαλβανικές επαφές ή επαγωγικά, χρησιμοποιώντας μαγνητικά πεδία τα οποία είναι είτε στατικά είτε τοποθετούνται σε καθορισμένες συχνότητες. Η εμφάνιση του μικροϋπολογιστού στα τέλη της δεκαετίας του 1960 ήταν

αποφασιστική στην θεμελιώδη βελτίωση στην εκτέλεση των δεδομένων σημείο – σημείο. Τώρα υπάρχουν «balises» που βρίσκονται στη γραμμή που στέλνουν στα οχήματα μεγάλα τηλεγραφήματα μόλις αυτά ενεργοποιούνται από την διέλευση του τρένου.



Σχήμα 21[58] : Εγκατάσταση σηματοδότησης με "Eurobalises" στην Ελβετία (SBB)

3.2.2. Νέα Αυτόματα Συστήματα Ελέγχου των Συρμών και Ελέγχου - Διαχείρισης της Κυκλοφορίας

Μέχρι τώρα τα διάφορα σιδηροδρομικά δίκτυα στην Ευρώπη έχουν το καθένα μια εθνική προσέγγιση. Αυτό είναι ιδιαίτερα φανερό στον τομέα σηματοδότησης και ελέγχου του τρένου. Τα διάφορα συστήματα που χρησιμοποιούνται σήμερα για έλεγχο της ταχύτητας του τρένου δεν είναι καθόλου συμβατά μεταξύ τους. Η συνεχής ανάπτυξη της υπερευρωπαϊκής κίνησης τροποποιεί αισθητά αυτό τον τρόπο σκέψης προς την κατεύθυνση βελτίωσης της διαλειτουργικότητάς τους, σε επίπεδο συστήματος και τυποποίησης.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αυτό το πρόβλημα δεν αφορά ιδιαίτερα τα τρένα υψηλής ταχύτητας αλλά αφορά περισσότερο ευρύτερα όλη την κύρια κίνηση των διάφορων δικτύων της Ευρωπαϊκής Ενωσης, όπου θα συνεχίσουν να αυξάνονται οι αλληλοσυνδέσεις (αλληλοανταποκρίσεις) τρένων.

Ο τρόπος για να επιτύχουμε αυτό το στόχο είναι να τυποποιήσουμε ένα σύστημα ATC[59] (αυτόματου ελέγχου τρένου) ή/και ένα σύστημα διαχείρισης κυκλοφορίας, που να βασίζεται σε μια απλή σειρά λειτουργικών και ηλεκτρονικής σύνδεσης, προδιαγραφών στην Ευρώπη. Ωστόσο, καθώς είναι απαραίτητο να προσαρμόσουμε την υφιστάμενη υποδομή στις διάφορες ευρωπαϊκές χώρες, το ζήτημα της διαλειτουργικότητας μεταξύ των υφιστάμενων συστημάτων, θα πρέπει να αντιμετωπισθεί κατά τη διάρκεια μιας μακράς μεταβατικής περιόδου[60].

[58] Winter Peter," Railway signalling and telecommunications systems in Europe – Current state and recent trends", Tokyo Seminar – "Railway Signalling & Telecommunication Technology", Rail International, June 1998, σελ. 15

[59] *Automatic Train Control*

[60] Lestime Hubert, "ETCS – Development of train control systems for European high-speed lines", Tokyo Seminar – "Railway Signalling & Telecommunication Technology", Rail International, June 1998, σελ. 51

3.2.2.1. Το Αυτόματο Σύστημα Ελέγχου – Διαχείρισης Κυκλοφορίας ERTMS[61]

Το ERTMS (Ευρωπαϊκό Σύστημα Διαχείρισης της Σιδηροδρομικής Κίνησης) δημιουργήθηκε το 1995 με πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. *Ο πυρήνας (κέντρο) του ERTMS, είναι το σύστημα ελέγχου διοίκησης του ERTMS (ERTMS/ETCS[62])*[63].

Τον Αύγουστο του 1995 ιδρύθηκε μια ομάδα χρηστών του ERTMS για να συντάξει τα χαρακτηριστικά (προδιαγραφές) και πραγματοποιήσει του ελέγχους για το πρόγραμμα ERTMS. Τα ιδρυτικά μέλη αποτελούνται από τρεις Σιδηρόδρομους: DB-AG (Γερμανία), FS (Ιταλία) και SNCF (Γαλλία). Η ομάδα χρηστών του ERTMS άρχισε την εργασία τον Δεκέμβριο του 1995 στα γραφεία της στις Βρυξέλλες, στο Βέλγιο. Το Νοέμβριο του 1997 έγιναν μέλη της ομάδας χρηστών, οι Σιδηρόδρομοι των κάτω χωρών (NS) και οι Ισπανικοί Σιδηρόδρομοι (RENFE) και στην αρχή του 1998 κατέστησαν, επίσης, μέλη και οι Αγγλικοί Σιδηρόδρομοι (UK). Επομένως ο αριθμός των μελών έχει τώρα διπλασιασθεί[64].

Το πρώτο κύριο βήμα στην εργασία της ομάδας χρηστών του ERTMS ήταν να σχεδιάσει την Ευρωπαϊκή τεχνική προδιαγραφή η οποία βασιζόταν κυρίως στα αποτελέσματα ενός άλλου προγράμματος (σχεδίου) του UIC/A200. Για να εξασφαλίσουμε την συνολική (γενική) έγκριση της προδιαγραφής της ομάδας των χρηστών του ERTMS από άλλα Ευρωπαϊκά Σιδηροδρομικά Δίκτυα, διεξήχθη μια έρευνα από ένα ανεξάρτητο σώμα εμπειρογνωμόνων από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Σιδηροδρομικής έρευνας (π.χ. ERRI).

Οι στόχοι του ERTMS/ETCS είναι[65] *:*

- Να επιτύχει διαλειτουργικότητα μεταξύ των διαφορετικών ευρωπαϊκών δικτύων (σήμερα υπάρχουν πολλά διαφορετικά συστήματα σηματοδότησης και τα οποία δεν είναι διαλειτουργικά).
- Να επαυξήσει την απόδοση (λειτουργία) μέσα από υψηλές ταχύτητες και συντομότερες αποστάσεις
- Να μειώσει την επένδυση στην υποδομή του δικτύου, εξαλείφοντας την ανάγκη για παράπλευρες (παρά την γραμμή) σηματοδοτήσεις και απελευθέρωση του εξοπλισμού.
- Να παρακινήσει τον ανταγωνισμό μέσα στην ευρωπαϊκή αγορά χρησιμοποιώντας κοινά ευρωπαϊκά πρότυπα (standards).

Για να επιτύχει αυτούς τους στόχους και να ελέγξει τις λειτουργίες του συστήματος ERTMS/ETCS, υπάρχουν δοκιμαστικά εργοτάξια σε Γερμανία, Γαλλία και Ιταλία. Η προετοιμασία του συστήματος και του εξοπλισμού για τα δοκιμαστικά εργοτάξια (τοποθεσίες) άρχισαν το δεύτερο μισό του 1997 και τα αποτελέσματα των διαφόρων δοκιμών (ελέγχων) αναμένεται να είναι διαθέσιμα περί τα τέλη του 2000[66].

---

[61] *European Rail Traffic Management System*
[62] *European Train Control System*
[63] Wojanowski Erich, "Development, testing and validation of new train control systems – The ERTMS project", Tokyo Seminar – "Railway Signalling & Telecommunication Technology", Rail International, June 1998, σελ. 45.
[64] Wojanowski Erich, "Development, testing and validation of new train control systems – The ERTMS project", Tokyo Seminar – "Railway Signalling & Telecommunication Technology", Rail International, June 1998, σελ. 45.
[65] όπως παραπάνω σελ. 45
[66] όπως παραπάνω σελ. 45

Το ERTMS/ETCS θα τεθεί σε κίνηση με διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας εξαρτώμενους από το κατά πόσο ή όχι χρησιμοποιείται παράπλευρος (παρά τη γραμμή) εξοπλισμός. Προβλέπει τρία επίπεδα λειτουργικότητας για να επιτρέψει διαφορετικές βαθμίδες (επίπεδα) λειτουργίας[67]:

- *Επίπεδο 1:* Ελεγχος της ταχύτητας του τρένου βασιζόμενος στην πληροφορία που παρέχεται από παράπλευρη σηματοδότηση μόνο, με μεταβίβαση αυτής της πληροφορίας από τη γραμμή προς το τρένο.
- *Επίπεδο 2:* Πλήρης διοίκηση του τρένου και έλεγχο του συστήματος χωρίς παράπλευρη σηματοδότηση αλλά με σταθερά (μόνιμα) συστήματα αποκλεισμού. Τα τρένα ανιχνεύονται και προσδιορίζεται η θέση τους από τον εξοπλισμό εδάφους. Η ολοκλήρωση των λειτουργιών του τρένου εκτελείται από παράπλευρο εξοπλισμό.
- *Επίπεδο 3:* Πλήρης διοίκηση του τρένου και έλεγχο του συστήματος χωρίς παράπλευρη σηματοδότηση και με κινητά συστήματα αποκλεισμού. Οι λειτουργίες του τρένου εκτελούνται από εσωτερικό φερόμενο εξοπλισμό του τρένου και η ολοκλήρωση των λειτουργιών του τρένου εκτελείται από εσωτερικό φερόμενο επαληθευτικό της ολοκλήρωσης (των λειτουργιών) εξοπλισμό.

Αυτά τα τρία επίπεδα (βαθμίδες) πρέπει να είναι αμοιβαίως σύμφωνα (συμβατά) και λειτουργικά και τεχνικά και ένα τρένο εξοπλισμένο με το πλέον περίπλοκο σύστημα πρέπει να είναι ικανό να λειτουργήσει σε μια υποδομή με ένα λιγότερο προηγμένο λειτουργικό επίπεδο. Αντιστρόφως, αυτό πρέπει να είναι σύστημα επιπέδου 1 ή επιπέδου 2, προσθέτοντας συμπληρωματικούς τεχνικούς συντελεστές (μέτρα).

Το νέο σύστημα πρέπει επίσης να είναι συμβατό με τα υφιστάμενα συστήματα ελέγχου των τρένων και αυτό επιτυγχάνεται με την παρεμβολή μονάδων ειδικά για τη διασύνδεση (διεπαφή), που καλούνται STMS[68] (ειδικές μονάδες μετάδοσης).

Το σύστημα ERTMS/ETCS βασίζεται στη συνεχή μεταβίβαση των δεδομένων και μεταβίβασης θέσεων για πολύ μετρική αρχιτεκτονική δομή κομπιούτερ, εσωτερική πάνω στο τρένο και για ''έξυπνους'' αισθητήρες που επιτρέπουν σε ένα τρένο να αναγνωρίσει τη θέση του σε μια γραμμή με ακρίβεια. Για τα επίπεδα 2 και 3 της εφαρμογής του συστήματος ERTMS/ETCS απαιτούνται ξεχωριστές για το σκοπό αυτό, ραδιοτηλεφωνικές συνδέσεις[69].

Αυτές οι ραδιοτηλεφωνικές συνδέσεις θα χρησιμοποιηθούν από το νέο ευρωπαϊκό ψηφιακό ραδιοτηλεφωνικό σύστημα που σήμερα είναι υπό εξέλιξη (ανάπτυξη, ως ένα ραδιοτηλεφωνικό πρότυπο για τους ευρωπαϊκούς σιδηροδρόμους και θα βασίζεται σε ένα κυψελωτό GSM τηλεφωνικό σύστημα[70].

Η ρύθμιση και η λειτουργία αυτού του συστήματος εκτελείται από το κέντρο μονάδας διαχείρισης σιδηροδρομικής κίνησης του συστήματος ERTMS[71].

Βραχυπρόθεσμα, κάποιες γραμμές υψηλής ταχύτητας που πρόκειται να εξοπλισθούν με το σύστημα ERTMS σχεδιάζονται ήδη στην Ευρώπη[72].

---

[67] όπως παραπάνω σελ. 45

[68] *Specific Transmission Modules*

[69] Wojanowski Erich, "Development, testing and validation of new train control systems – The ERTMS project", Tokyo Seminar – "Railway Signalling & Telecommunication Technology", Rail International, June 1998, σελ. 46

[70] Lestime Hubert, "ETCS – Development of train control systems for European high-speed lines", Tokyo Seminar – "Railway Signalling & Telecommunication Technology", Rail International, June 1998, σελ. 51

[71] όπως παραπάνω.

- Βερολίνο - Halle - Leipzig και Κολωνία - Φρανκφούρτη στη Γερμανία
- Το TGV Est στη Γαλλία (Παρίσι - Στρασβούργο)
- Μιλάνο - Βενετία στην Ιταλία
- Μαδρίτη - Βαρκελώνη στην Ισπανία
- Κύρια γραμμή Δυτικής όχθης στην Μεγάλη Βρετανία

Αυτές οι γραμμές θα πρέπει να επεκταθούν για να αντιμετωπίσουν την πρόταση για γραμμής υψηλής προτεραιότητας και υψηλής ταχύτητας, που τονίζει την ανάγκη της διαλειτουργικότητας στην Ευρώπη[73].

- Επέκταση του TGV ανατολικά του Μανχάιμ στη Γερμανία
- Επέκταση της γραμμής Μαδρίτη - Βαρκελώνη προς Μονπελιέ στη Γαλλία
- Επέκταση της γραμμής Μίλαν - Βενετία προς Λυών στη Γαλλία και προς το Μόναχο στη Γερμανία μέσω Αυστρίας
- Επέκταση της γραμμής Μαδρίτη - Dax μέσω Μπιλμπάο
- Σύνδεση της κύριας γραμμής της Δυτικής όχθης προς το Channel Link

3.2.2.2. Το νέο σύστημα ETCS[74] (Ευρωπαϊκό σύστημα ελέγχου του τρένου)

Σήμερα έχει καθορισθεί ένα νέο ευρωπαϊκό σύστημα ελέγχου του τρένου που ονομάζεται ETCS, για να επιτρέπει την πλήρη διαλειτουργικότητα μεταξύ των ευρωπαϊκών δικτύων για μελλοντικές γραμμές, όπως επίσης να επιτρέπει αυξημένη κίνηση, βελτίωση ασφάλειας του όλου συστήματος και μειωμένου κόστους επένδυσης.

Το νέο σύστημα θα διευκολύνει τη δημιουργία διεθνών διαδρόμων υψηλής ταχύτητας μειώνοντας ή εξαλείφοντας εντελώς τις συνοριακές καθυστερήσεις για επιβατικά και εμπορευματικά τρένα. Το σύστημα θα μειώσει επίσης τις αποστάσεις και θα βελτιώσει την ικανότητα της κυκλοφοριακής κίνησης.

Αυτό το νέο σύστημα προβλέπει τρία λειτουργικά επίπεδα[75] :

ETCS επίπεδο 1 : Βασιζόμενο σε σταθερά συστήματα σηματοδότησης και παράπλευρες σηματοδοτήσεις, αυτό το αυτόματο σύστημα προστασίας του τρένου χρησιμοποιεί διαλείπουσα ή ημισυνεχή μεταβίβαση από τη γραμμή προς το τρένο, για να ελέγχει την ταχύτητα του τρένου συνεχώς.
Το χαμηλότερο ETCS επίπεδο ορίζεται ως προσθήκη στα υπάρχοντα εθνικά συστήματα σηματοδότησης και στοχεύει στην αύξηση της ασφάλειας. Η τρέχουσα πληροφόρηση για τις ενδείξεις των φωτοσημάτων και όλα τα απαραίτητα δεδομένα για τη γραμμή μεταδίδονται εγκαίρως στο συρμό μέσω ραδιοφάρων (Eurobalises). Οι πομποδέκτες ενεργοποιούνται από το διερχόμενο συρμό με ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο 27 MHz και

---

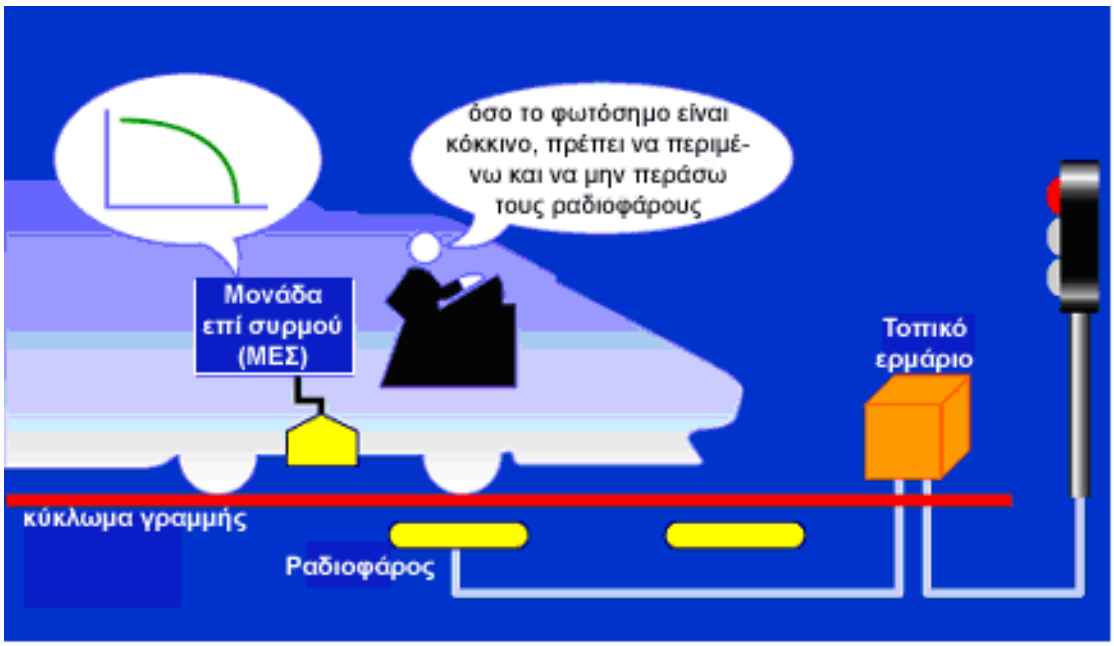
[72] όπως παραπάνω σελ. 53,54

[73] Lestime Hubert, "ETCS – Development of train control systems for European high-speed lines", Tokyo Seminar – "Railway Signalling & Telecommunication Technology", Rail International, June 1998, σελ. 51.

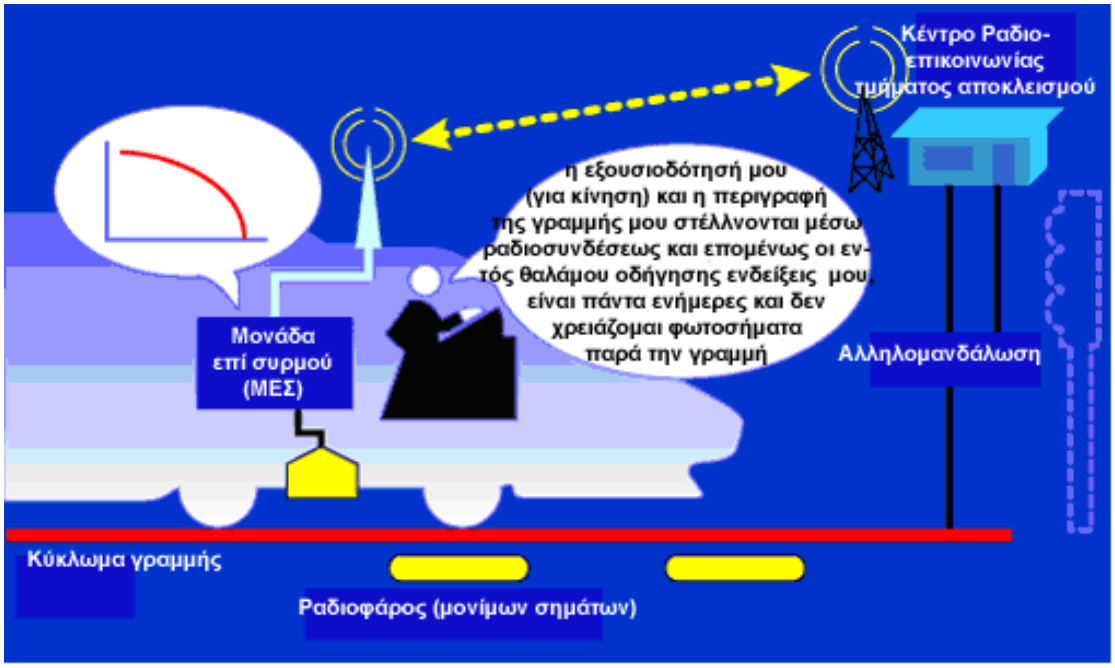
[74] *European Train Control System*

[75] Lestime Hubert, "ETCS – Development of train control systems for European high-speed lines", Tokyo Seminar – "Railway Signalling & Telecommunication Technology", Rail International, June 1998, σελ. 52.

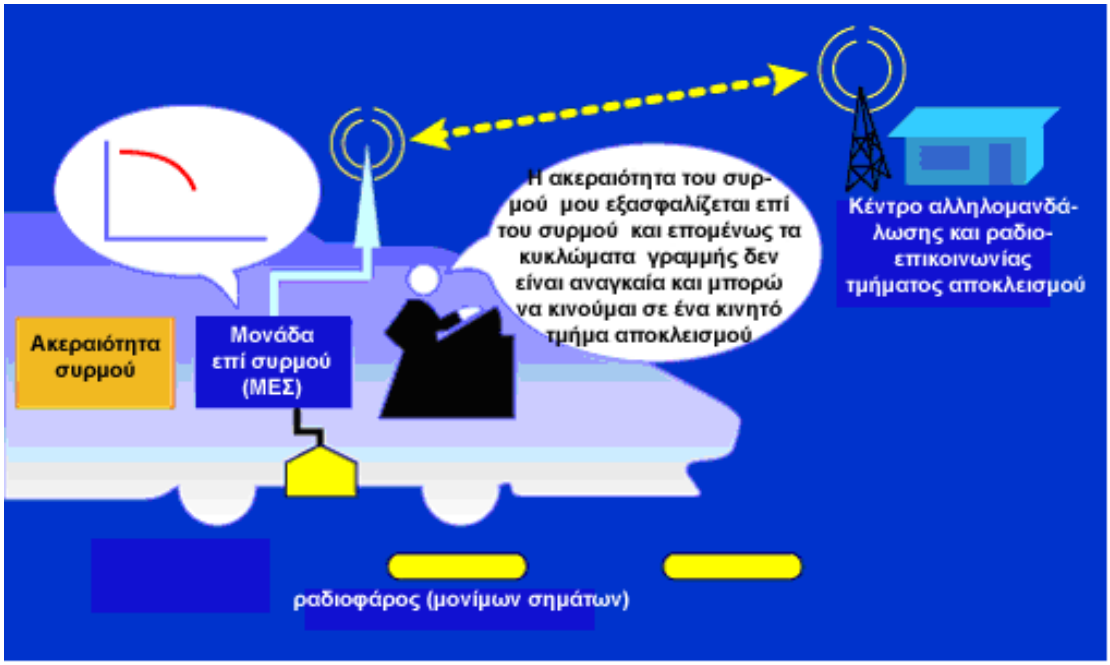
αντιδρούν στέλνοντας πληροφορίες από τη γραμμή στο συρμό στα 4,3 MHz με ένα ρυθμό δεδομένων 564 kbit/s περίπου. Η μονάδα επί του συρμού (ΜΕΣ) παρακολουθεί διαρκώς την επιτρεπόμενη ταχύτητα του συρμού και προειδοποιεί τον οδηγό σε περίπτωση υπέρβασης των ορίων ταχύτητας. Εάν δεν αναγνωρισθεί η προειδοποίηση και η ταχύτητα δε μειωθεί ανάλογα μέσα σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, ενεργοποιείται η πέδηση από το OBU, ή ενεργοποιείται ακόμα και μία νέα χάραξη δρομολογίου. Μία επιπλέον μετάδοση των αποκαλούμενων σταθερών πληροφοριών (infill), πριν από τα σήματα, μέσα από διαχέοντα καλώδια (κεραίες) ή επιπλέον ραδιοφάρων μπορεί να μειώσει το μειονέκτημα της μετάδοσης έγκαιρων πληροφοριών και να παράσχει επιπλέον βελτιώσεις της χωρητικότητας της γραμμής.



ETCS επίπεδο 2 : Βασιζόμενο σε σταθερά συστήματα και σε μια καμπίνα παρουσίασης (τα σήματα καθίστανται προαιρετικά), αυτό το Αυτόματο Σύστημα Ελέγχου, χρησιμοποιώντας ένα συνεχές σύστημα ραδιοτηλεφωνικής επικοινωνίας δύο κατευθύνσεων και διαλείπουσα μεταβίβαση, εκτελεί μια συνεχή λειτουργία ελέγχου της ταχύτητας. Συνεχής μετάδοση πληροφοριών από και προς το συρμό εκτελείται ψηφιακά μέσω ασυρμάτου GSM-R που επιτρέπει την αντικατάσταση της υπάρχουσας πλευρικής σηματοδότησης. Με αυτό το επίπεδο εφαρμογής, τα παράπλευρα σήματα μπορούν να αντικατασταθούν από σηματοδότηση εντός του θαλάμου οδήγησης, ενώ η κίνηση του συρμού καθορίζεται από τα σταθερά τμήματα αποκλεισμού (blocks) του συστήματος εντοπισμού κατάληψης, του εγκατεστημένου επί και παρά την γραμμή, συμβατικού συστήματος σηματοδότησης που διαθέτει.



- <u>ETCS επίπεδο 3</u> : Αυτό το αυτόματο σύστημα ελέγχου του τρένου χρησιμοποιεί ένα συνεχές ραδιοτηλεφωνικό σύστημα επικοινωνίας, δύο κατευθύνσεων και διαλείπουσα



μεταβίβαση και εκτελεί έναν συνεχή έλεγχο της ταχύτητας μετακινώντας το σύστημα αποκλεισμού. Επιπλέον, ο εντοπισμός θέσης του τρένου και ολοκλήρωση των λειτουργιών του τρένου, εκτελούνται από το ίδιο το τρένο.Όπως στο επίπεδο 2, συνεχής μετάδοση δεδομένων από και προς το συρμό εκτελείται μέσω ψηφιακού ραδιοσήματος GSM-R, το οποίο μπορεί να αντικαταστήσει τη συμβατική σηματοδότηση. Επιπλέον, η κίνηση του συρμού δεν καθορίζεται πλέον από τα σταθερά τμήματα αποκλεισμού του συμβατικού συστήματος σηματοδότησης.

Αντίθετα, είναι εφικτή η λειτουργία ενός μετακινούμενου τμήματος αποκλεισμού ενώ η ακεραιότητα του συρμού παρακολουθείται εντός του συρμού χωρίς ν' απαιτούνται πλέον μετρητές αξόνων ή κυκλώματα γραμμής.

3.2.2.3. Η νέα γενιά ATC μέσα στο τρένο

Σήμερα, αρκετά συστήματα ATC[76] είναι σε λειτουργία παντού στην Ευρώπη για να ελέγξουν και προστατεύσουν τα τρένα και να βοηθήσουν τον οδηγό κατά τη διάρκεια του ταξιδιού.

Τα πιο σημαντικά από αυτά είναι[77] :

- Το TBL και ο Βελγικός CROCODILE εγκατεστημένος στο Βέλγιο
- Τα ATB PH4 και ATB NG (στις Κάτω Χώρες)
- Τα BACC και RSDD (Ιταλία)
- Τα LZB και INDUSI (Αυστρία και Γερμανία)
- Τα TVM, KVB και ο γαλλικός CROCODILE (Γαλλία)
- Το ZUB (Δανία και Ελβετία)
- Τα AWS, SELGAB, TBL (Βρετανία)
- Τα ASFA, LZB (Ισπανία)
- Το EBICAB (Σουηδία, Φιλανδία, Νορβηγία, Πορτογαλία)

Τα εθνικά σιδηροδρομικά δίκτυα των διάφορων χωρών έχουν εξοπλισθεί ή είναι εξοπλισμένα κατά το μάλλον ή ήττον ευρύτερα με αυτά τα υφιστάμενα συστήματα, σε διαφορετικούς βαθμούς.

Μεταξύ των συστημάτων ATC (Αυτόματος Ελεγχος Συρμών), σήμερα χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι μετάδοσης γραμμής -προς- το τρένο για έλεγχο της ταχύτητας [78]:

- Μεταλλική συσκευή τοποθετούμενη στο μέσον της γραμμής και μεταλλική ψήκτρα που εδράζεται κάτω του τρένου για τα συστήματα CROCODILE.
- Παθητική συσκευή balise (ενεργοποιούμενη με κεραία) τοποθετούμενη στο μέσον της γραμμής και μια κεραία κάτω από το τρένο για το σύστημα KVB.
- Ενεργητική συσκευή balise και κλειστό τηλεφωνικό κύκλωμα, τοποθετούμενο στη γραμμή και μια κεραία κάτωθεν του τρένου για το σύστημα TBL.
- Κωδικοποιημένο κύκλωμα γραμμής και αισθητήρες κάτω από το τρένο για συστήματα ATB PH4 και TVM.
- Μαγνήτης τοποθετούμενος στη γραμμής και μια κεραία κάτω από το τρένο για το σύστημα INDUSI.
- Συνεχές κλειστό κύκλωμα τοποθετούμενο στη γραμμή και αισθητήρες κάτω από το τρένο για το σύστημα LZB.

---

[76] *Automatic Train Control*

[77] Lestime Hubert, "ETCS – Development of train control systems for European high-speed lines", Tokyo Seminar – "Railway Signalling & Telecommunication Technology", Rail International, June 1998, σελ. 51

[78] όπως παραπάνω

Η βασική απαίτηση για κάθε νέο σύστημα ATC να είναι διαλειτουργικό με τα υφιστάμενα συστήματα και συμβατό με τις αρχές του συστήματος ETCS. Το νέο σύστημα θα πρέπει να είναι ικανό να λειτουργήσει με τις υφιστάμενες, παρά τη γραμμή, υποδομές καθώς επίσης και με τις νέες υποδομές. Για να ελαχιστοποιήσουμε τους περιορισμούς που προέρχονται από το τρένο, ο στόχος είναι σαφώς να ενοποιήσουμε τον εξοπλισμό, μάλλον, παρά να τον θέσουμε σε αντιπαράθεση. Μια ολοκληρωμένη λύση προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα τέτοια όπως, λιγότερος όγκος για την καμπίνα, λιγότερη κατανάλωση ενέργειας, λιγότερο βάρος και καλύτερη αξιοπιστία.

Παρόλα αυτά, αυτή η ενοποίηση δεν θα πρέπει να οδηγήσει σε επιπλέον κόστος για την ολοκλήρωση των υφισταμένων λειτουργιών, είτε λόγω μιας εξολοκλήρου νέας ανάπτυξης, είτε λόγω της αναγκαιότητας μιας πλήρους επαναξιολόγησης του συστήματος.

Πρέπει να βρεθεί η σωστή ισορροπία μεταξύ του κόστους επένδυσης και του μεγέθους της αγοράς. Θα πρέπει να είναι δυνατόν να ενοποιήσουμε τις λειτουργίες του συστήματος ERTMS χωρίς βασικά να τροποποιήσουμε το εσωτερικό σύστημα του τρένου. Αυτό θα επιτρέψει στους σιδηρόδρομους να εφοδιάσουν τα δίκτυά τους σταδιακά με τις νέες υποδομές και επίσης να ικανοποιήσουν την άμεση ανάγκη τους για διεθνείς συνδέσεις. Αυτή η απαίτηση μπορεί να εκπληρωθεί πολύ ευκολότερα με ένα αναλογικό λειτουργικό σύστημα, εσωτερικά, στο τρένο.

Η στρατηγική που θα αναπτυχθεί σχετικά με τον εσωτερικό εξοπλισμό του τρένου, θα πρέπει να βασίζεται στην επαναχρησιμοποίηση του υφιστάμενου εξοπλισμού και συστημάτων. Ως παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί η περίπτωση των Γαλλικών Σιδηροδρόμων (SNCF), όπου 5000 κινητήριες μονάδες των γαλλικών σιδηροδρόμων είναι εφοδιασμένες με σύστημα μεταβίβασης KVB[79] (Σημειακής μετάδοσης προστασία του τρένου). Επομένως, ο νέος εξοπλισμός του τρένου, με το σύστημα ERTMS πρέπει να λαμβάνει υπόψη του[80] :

- Συμβατότητα με τις υφιστάμενες λειτουργίες
- Μείωση του κόστους εγκατάστασης και τροποποίησης των τρένων, που ήδη είναι εξοπλισμένα (επαναχρησιμοποίηση και συντήρηση του μεγέθους του εξοπλισμού).

Η διαμόρφωση του εσωτερικού εξοπλισμού του τρένου περιλαμβάνει όλους τους συντελεστές που προσδιορίζονται στην προδιαγραφή του συστήματος ERTMS :

- Το ευρωπαϊκό ζωτικό κομπιούτερ (EVC[81]) που εκτελεί τα επίπεδα 1,2 και 3.
- Τη μονάδα μέτρησης της ταχύτητας (SPMU[82]) με τα ραντάρ της και τους αισθητήρες των τροχών.
- Τη μονάδα καταγραφής κρίσεως (JRU[83]).
- Το μηχάνημα εγγραφής της διάγνωσης (DLU[84])

[79] *Spot Transmission Train Protection (French)*
[80] Lestime Hubert, "ETCS – Development of train control systems for European high-speed lines", Tokyo Seminar – "Railway Signalling & Telecommunication Technology", Rail International, June 1998, σελ. 51.
[81] *European Vital Computer*
[82] *Speed Measurement Unit*
[83] *Juridical Recorder Unit*
[84] *Diagnosis Recorder*

- Την ηλεκτρονική διασύνδεση μηχανής - ανθρώπου (MMI[85])
- Την μονάδα Ευρωραδιοτηλεφωνικής μετάδοσης GSM-R
- Την μονάδα μετάδοσης balise (BTM[86])
- Την μονάδα ηλεκτρονικής διασύνδεσης του τρένου (TIU[87]) για ηλεκτρονική σύνδεση με τους δύο τύπους τροχαίου υλικού για το γαλλικό δοκιμαστικό εργοτάξιο (RTG[88] και TGV PBKA[89])

Στη γαλλική δοκιμαστική διαδρομή η ευρωκαμπίνα διασυνδέεται ηλεκτρονικά με το KVB[90] STM[91] (ειδικ μέτρο (συντελεστής) μετάδοσης) και το TVM[92] STM[75.]

3.3. ΠΡΟΩΘΗΣΗ ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

3.3.1. GSM - R, Παγκόσμιο σύστημα για κινητό (φορητό) ραδιοτηλέφωνο - μία λύση για την ενοποίηση των σιδηροδρομικών τηλεπικοινωνιών

Τα συστήματα επικοινωνίας γραμμή -προς- τρένο έχουν τυποποιηθεί στην Ευρώπη και βασίζονται σε τρία διαφορετικά συστήματα[93] :

- Το σύστημα EUROBALISE, για διαλείπουσα μεταβίβαση βασίζεται σε μαγνητική σταθμιζόμενη τεχνολογία και παρέχει ασφάλεια κατά της αστοχίας και υψηλή ταχύτητα τηλεπικοινωνιακής σύνδεσης, μεταξύ γραμμής και τρένου. Τα συστήματα «balises» συνδέονται με τα σήματα, συστήματα σύμπλεξης, σύστημα εξοπλισμού, ενεργώντας ως δείκτες θέσης. Ο δείκτης (ασύρματος) στηρίζεται επάνω στο τρένο.
- Το σύστημα EUROLOOP, για ημισυνεχή μεταβίβαση χρησιμοποιείται για συνεχή τροφοδότηση πληροφοριών.
- Το σύστημα EURORADIO, για συνεχή μεταβίβαση βασίζεται σε ραδιοτηλεφωνική επικοινωνία GSM, που ονομάζεται GSM-R (το R συμβολίζει τους σιδηρόδρομους και πρέπει να συμπληρώνει και να αντικαταστήσει τελικά, την οπτική σηματοδότηση.

Οι προδιαγραφές του συστήματος GSM-R είναι τώρα έτοιμες να ολοκληρωθούν και οι πρώτες εφαρμογές των δικτύων GSM-R αρχίζουν τώρα[94].

Το σύστημα GSM-R καθορίσθηκε από την UIC[95] (πρόγραμμα EIRENE) για να ενοποιήσει και αντικαταστήσει μερικές ή όλες τις υφιστάμενες κινητές εφαρμογές, ενώ παρέχει διεθνή διαλειτουργικότητα για κινητά. Μια τέτοια μοντέρνα υποδομή τηλεπικοινωνίας αναμένεται να χρησιμοποιηθεί ως ακρογωνιαίος λίθος που θα βοηθήσει

---

85 *Man Machine Interface*
86 *Balise Transmission Module*
87 *Train Interface Unit*
88 *Rame a Tourbine a Gaz*
89 *Train a Grand Vitesse Paris-Bruxelles-Köln-Amsterdam*
90 *Spot Transmission Train Protection (French Terminology)*
91 *Specific Transmission Module*
92 *Continuous Train Supervision System (French Terminology)*
93 Lestime Hubert, "ETCS – Development of train control systems for European high-speed lines", Tokyo Seminar – "Railway Signalling & Telecommunication Technology", Rail International, June 1998, σελ. 51.
94 Robillard Christophe, "Asolution for the integration of Railway Networks – GSM-R", "Tokyo Seminar – Railway Signalling & Telecommunication Technology", Rail International, June 1999, σελ. 58.
95 όπως παραπάνω.

τις σιδηροδρομικές εταιρίες να μειώσουν δραστικά τα λειτουργικά τους κόστη και να αυξήσουν τη λειτουργική τους αποτελεσματικότητα και ως εκ τούτου αποφασιστική βελτίωση της ανταγωνιστικότητας σε ένα κόσμο μεταφοράς κοινού και εμπορευματικής μεταφοράς ολοένα και περισσότερο ελεύθερης σε απορύθμιση (deregulation) και απελευθέρωση (liberalisation)[96].

Τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα που χρησιμοποιούνται από σιδηροδρομικές εταιρείες είναι διαφορετικά, αποτελούμενα από ενσύρματα και ασύρματα συστατικά μέρη. Οταν τεθούν σε εφαρμογή τα δίκτυα GSM-R, είναι αποφασιστική μια σε βάθος κατανόηση αυτών των υφιστάμενων δικτύων, όπως επίσης και της πλήρους ενσωμάτωσής τους με τον κόσμο του συστήματος GSM-R.

Ολοκληρώνοντας τις υπηρεσίες και διαδικασίες διαχείρισης ομαλά, κατά μήκος του συνόλου των σιδηροδρομικών δικτύων, αναμένεται να εξασφαλισθεί μείωση του κόστους και βελτιωμένη λειτουργική αποτελεσματικότητα όχι μόνο στις κινητές εφαρμογές αλλά και σε ολόκληρο το δίκτυο που λειτουργείται από σιδηροδρομικές εταιρείες. Τα σύγχρονα τηλεπικοινωνιακά συστήματα και η τεχνολογία πληροφόρησης θεωρούνται μέρος των πλέον σημαντικών εργαλείων της στρατηγικής του χειριστή του σιδηρόδρομου για να απευθύνει τις νέες προκλήσεις που αντιμετωπίζει η βιομηχανία.

Το 1993, η σιδηροδρομική κοινότητα, επέλεξε το σύστημα GSM ως τη νέα κινητή τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία που θα έκανε δυνατόν να βελτιώσουμε την αποτελεσματικότητα και ασφάλεια των υφιστάμενων μεταφορικών συστημάτων και να μειώσει το συνολικό κόστος των λειτουργιών[97].

Διατέθηκε μια εμβέλεια συχνότητας στην UIC στη ζώνη των 900MHz για τις με αυτό τον τρόπο ονομαζόμενες εφαρμογές του συστήματος GSM-R[98].

Οι σιδηροδρομικές λειτουργίες είναι διαφορετικές και ανάλογα είναι οι τηλεπικοινωνιακές τους ανάγκες. Το EIRENE, ο υπεύθυνος φορέας της UIC καθορισμού των τηλεπικοινωνιακών δικτύων διαλειτουργικότητας, έχει αναπτύξει προδιαγραφές για να ικανοποιήσει τις ιδιαίτερες σιδηροδρομικές ανάγκες (απαιτήσεις). Η Ομάδα επικοινωνίας, κλήσεις προτεραιότητας, τα στοιχεία επικοινωνίας, ο αριθμός σχεδίου (προγραμμάτων) «λειτουργικής κατεύθυνσης» είναι μερικές από τις μεγαλύτερες προσπάθειες για να τυποποιήσουμε το σύστημα GSM[99].

Πρώτα θα κάνουμε μια ανασκόπηση του τι χρειάζεται για να προσαρμόσουμε τον υφιστάμενο εξοπλισμό του συστήματος GSM, εφαρμογές και υπηρεσίες για να εξασφαλίσουμε μια περιεκτική λύση του συστήματος GSM-R που να ικανοποιεί τις ιδιαίτερες σιδηροδρομικές απαιτήσεις. Ενεργώντας με αυτόν τον τρόπο θα τονίσουμε δύο σημαντικά σημεία[100] :

- Μόνη η εμπειρία του συστήματος GSM δεν είναι επαρκής, και είναι υποχρεωτική μια επαρκής γνώση της σιδηροδρομικής ιδιαιτερότητας για να αναπτυχθεί επιτυχώς ένα δίκτυο.
- Οι χρήστες κινητών συστημάτων είναι μόνο μια πλευρά των σιδηροδρομικών λειτουργιών, και για αυτό χρειάζεται να θεωρηθούν και οι συνδρομητές των ενσύρματων συστημάτων.

---

[96] όπως παραπάνω, σελ. 57.

[97] Robillard Christophe, "Asolution for the integration of Railway Networks – GSM-R", "Tokyo Seminar – Railway Signalling & Telecommunication Technology", Rail International, June 1999, σελ. 58.

[98] όπως παραπάνω σελ. 57,58

[99] όπως παραπάνω σελ. 58

[100] όπως παραπάνω σελ. 58

Τα υπό εντολή εκτέλεσης, προγράμματα EIRENE και MORANE επρόκειτο να σχεδιάσουν διαλειτουργικά διεθνή ή εθνικά κινητά τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Η ενσωμάτωση του νέου δικτύου GSM-R μέσα στην υπάρχουσα υποδομή ενσύρματης γραμμής, θεωρείται τηλεφωνική λειτουργία εξαρτώμενη, και ως τέτοια δεν προσαγορεύτηκε, εν τούτοις, όταν ολοκληρωθούν τα δίκτυα του νέου συστήματος GSM-R, η πείρα δείχνει ότι οι σιδηροδρομικοί χειριστές επιθυμούν να επεκτείνουν τις δυνατότητες που παρέχονται από αυτά τα νέα δίκτυα GSM-R σε μερικούς ή όλους τους συνδρομητές τους ενσύρματων γραμμών, επίσης. Οι βιομηχανικοί συνέταιροι των σιδηροδρομικών χειριστών αναμένεται να αναπτύξουν μια λύση του συστήματος GSM-R, αλλά επίσης να ενοποιήσουν τα σταθερά και κινητά δίκτυα, μέσα στα πλαίσια του συστήματος GSM-R[101].

3.3.2. Ενοποίηση των ενσύρματων και ασύρματων δικτύων

Οι υπηρεσίες είναι το ένα από τα θέματα-κλειδιά για τους σιδηροδρομικούς χειριστές. Μερικές από αυτές δεν είναι δοκιμασμένες με τους χειριστές του συστήματος GSM και χρειάζεται ένας συνέταιρος για να φέρει τις ζητούμενες τεχνικές ικανότητες στο τραπέζι. Αλλοι έχουν αναπτύξει τις τεχνικές ικανότητες και γνώση (πείρα) στο πεδίο του συστήματος GSM, αλλά χρειάζεται να επωφεληθούν για να μπορούν να δώσουν την ιδιαίτερη γνώση του συστήματος GSM-R. Από μια τέτοια άποψη η εμπειρία που συγκεντρώθηκε κατά μήκος των δοκιμαστικών γραμμών του προγράμματος MORANE είναι ένα προαπαιτούμενο για να καταλάβουμε τα πραγματικά προβλήματα του συστήματος GSM-R και να δώσουμε προστιθέμενη αξία στους πελάτες[102].

Τα εργαλεία των μηχανικών είναι στοιχεία - κλειδιά μιας πλήρους στρατηγικής του συστήματος GSM-R. Μια από τις πλέον προέχουσες ειδοποιούς διαφορές του περιβάλλοντος ενός συστήματος GSM-R είναι η ανάγκη για προσεκτικά σχεδιασμένου σχεδίου ηλεκτρικών στοιχείων και ελέγχου που βασίζεται στην εμπειρία που συγκεντρώθηκε από τις δοκιμαστικές γραμμές υψηλής ταχύτητας του προγράμματος MORANE[103].

Τώρα που έφθασε το στάδιο της ενοποίησης των δικτύων, εμφανίζονται ξαφνικά κάποια άλλα ιδιαίτερα προβλήματα σιδηροδρομικής λειτουργίας, που χρειάζεται να αντιμετωπισθούν από τις ίδιες τις σιδηροδρομικές λειτουργίες.

Η εμπειρία δείχνει ότι η πραγματική δυναμική που θα ήθελε από την υποδομή του συστήματος GSM-R είναι πλήρως κατανοητή, όταν οι νέες λειτουργικές διαδικασίες που αυτή φέρνει, είναι διαθέσιμες και από τους συνδρομητές κινητής και ενσύρματης τηλεφωνίας. Αυτό ισχύει για τους συνδρομητές στους οποίους απευθύνεται. Αποστολείς και/ή άλλοι λειτουργικοί χρήστες κινητών (κινητής τηλεφωνίας). Επομένως λειτουργική αντιμετώπιση χρειάζεται να παρασχεθεί κατά τον ίδιο τρόπο προς τα σταθερά και κινητά terminals (ακροδέκτες). Χρειάζεται να σχεδιασθούν οι διαδικασίες για να επιτρέψουν στις θέσεις ενσύρματης γραμμής, μια απευθείας πρόσβαση στον λειτουργικό αριθμό της βάσης δεδομένων που είναι εγκατεστημένες στο κόσμο του συστήματος GSM-R. Απαιτούνται πρόσβαση DTMF για καταγραφή / διαγραφή και/ή πρόσβαση για PC[104].

---

[101] Robillard Christophe, "A solution for the integration of Railway Networks – GSM-R", "Tokyo Seminar – Railway Signalling & Telecommunication Technology", Rail International, June 1999, σελ. 58

[102] όπως παραπάνω σελ. 60

[103] όπως παραπάνω σελ. 60

[104] όπως παραπάνω σελ. 61

Ενα άλλο σημαντικό σημείο είναι η ικανότητα να παρέχουμε (εξασφαλίζουμε) δυνατότητα επειγουσών κλήσεων στους συνδρομητές ενσύρματης τηλεφωνίας. Η συμβατότητα της εγκατεστημένης βάσης της ενσύρματης τηλεφωνίας προς τις εφαρμογές του συστήματος GSM-R, μπορεί να απαιτήσει κάποιες προσαρμογές, επίσης.

Επιπλέον, κάποια άλλα θέματα διαλειτουργικότητας ενσύρματης/ασύρματης τηλεφωνίας θα ανακαλυφθούν κατά τη διάρκεια των ενοποιήσεων που έρχονται.

3.4. ΚΑΝΟΝΕΣ ΕΝΑΡΜΟΝΙΣΗΣ ΓΙΑ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ (INTERLOCKING) ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗΣ[105]

3.4.1. Κανόνες εναρμόνισης για σηματοδότηση διασύνδεσης (interlocking)

Οι πρόσφατες τεχνολογικές αλλαγές στην περιοχή του ασφαλούς ηλεκτρικού υπολογισμού και των τηλεπικοινωνιών, επιτρέπουν μια νέα προσέγγιση που πρέπει να καθορισθεί για την παραδοσιακή συνιστώσα του σιδηροδρομικού συστήματος σηματοδότησης-σύμπλεξης. Η γενιά των μικροϋπολογιστών που βασίζεται στις συμπλέξεις είναι σε λειτουργία για περισσότερο από δέκα χρόνια. Παρόλα αυτά οι λειτουργικές συνθήκες είναι ακόμα εξαρτώμενες από τους κλασικούς λειτουργικούς κανόνες, που βασίζονται στην παραδοσιακή τεχνολογία. Λαμβάνοντας αυτό υπόψη, το 1993 η UIC ανάθεσε στο ERRI[106] (Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Σιδηροδρομικής Ερευνας) να διευθύνει ένα πρόγραμμα ειδικού προϋπολογισμού (ERRI A 201) για την «εναρμόνιση των λειτουργικών συνθηκών των συστημάτων σηματοδότησης»[107].

Η εργασία του προγράμματος ERRI A 201, η οποία επικεντρώθηκε στη σηματοδότηση σύμπλεξης, πραγματοποιήθηκε σε μια χρονική στιγμή που οι ευρωπαϊκοί σιδηρόδρομοι και η ευρωπαϊκή βιομηχανία σηματοδότησης συγκέντρωναν κυρίως τις προσπάθειές τους σε ζητήματα αλληλολειτουργικότητας με τη σύνταξη μιας προδιαγραφής για το σύστημα ERTMS και μέσα σ' αυτό, το σύστημα ETCS. Αυτή η εξέλιξη ήταν ένας καλός λόγος για να εξετάσουμε εξονυχιστικά το ρόλο της σύμπλεξης, στη νέα δομή του συστήματος σηματοδότησης. Εναρμονίζοντας τους λειτουργικούς κανόνες θα ήταν επομένως δυνατόν να ανακαθορίσουμε το ρόλο της σύμπλεξης, μέσα στο συνολικό σύστημα σηματοδότησης.

Μετά από εντατική ανάλυση η οποία τεκμηριώθηκε σε αρκετές εκθέσεις το πρόγραμμα Α 201 επεξεργάστηκε ένα κοινό κέντρο λειτουργικής προδιαγραφής για σύμπλεξη, το οποίο είναι μια καλή βάση για παραπέρα συζητήσεις μεταξύ των σιδηροδρόμων και της βιομηχανίας.

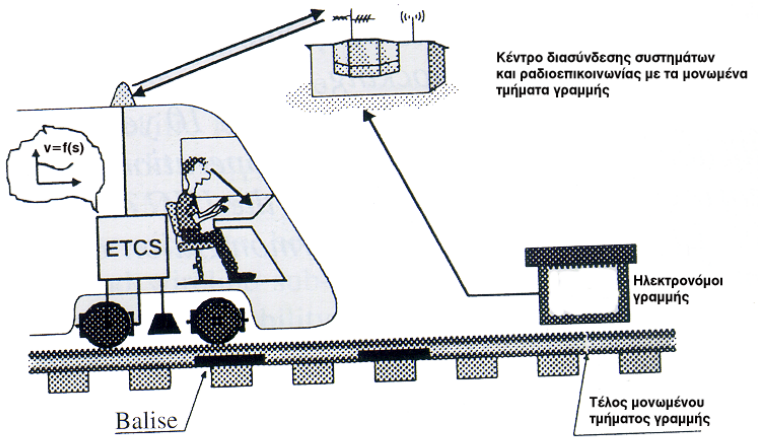
Ενας αριθμός σιδηροδρόμων συνεισέφερε σ' αυτή την εργασία. Η ανάλυση κάλυψε όχι μόνο την πρακτική των ευρωπαϊκών σιδηροδρόμων αλλά επίσης και των ιαπωνικών σιδηροδρόμων.

---

[105] Hirao Yuji, Godziejewski Bogdan, "Joint work of European and Japanese experts – Harmonising rules for signalling interlocking", Tokyo Seminar – "Railway Signalling & Telecommunication Technology", Rail International, June 1999,σελ. 63-70.

[106] *European Rail Research Institute*

[107] Hirao Yuji, Godziejewski Bogdan, "Joint work of European and Japanese experts – Harmonising rules for signalling interlocking", Tokyo Seminar – "Railway Signalling & Telecommunication Technology", Rail International, June 1999,σελ. 63-70.



Σχήμα 22[108] *: Κατανεμημένη λειτουργικότητα σύμπλεξης και RBC στο επίπεδο 2.*

- *Interlocking and Radio Block Centre = Κέντρο Διασύνδεσης και Επικοινωνίας μεταξύ των blocks*
- *Block Section = τμήμα μονωμένο*

Η συμμετοχή του RTRI (Ινστιτούτου Τεχνικής Ερευνας Σιδηροδρόμων) στο πρόγραμμα ERRI A 200 βοήθησε τους Ευρωπαίους εμπειρογνώμονες να εξετάσουν τις λειτουργικές προδιαγραφές για σύμπλεξη με ένα περισσότερο αντικειμενικό τρόπο. Αυτό το χαρτί (έγγραφο) θα συζητήσει την κοινή προσπάθεια μεταξύ των εμπειρογνωμόνων του ERRI και του RTRI για να προσδιορίσουμε (καθορίσουμε) τις λειτουργικές συνθήκες για σύμπλεξη μέσα στο πρόγραμμα A 201[109].

Οι Ευρωπαϊκοί Σιδηρόδρομοι αγωνίζονται να βελτιώσουν την υπηρεσία (λειτουργία) και ασφάλεια και να αυξήσουν την δυναμικότητα (ικανότητα) και αποτελεσματικότητα. Αυτές οι προσπάθειες ευθυγραμμίζονται με δύο σημαντικές οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ενωσης: 91/440/CE -που αφορά στην ελεύθερη πρόσβαση στο Σιδηροδρομικό δίκτυο για κάθε χειριστή τροχαίου υλικού και την 96/48/CE -που αφορά στην αλληλολειτουργικότητα του υπερευρωπαϊκού σιδηροδρομικού συστήματος υψηλής ταχύτητας.

3.4.2. Θέματα Αξιοπιστίας, Διαθεσιμότητας, Δυνατότητας συντήρησης, Ασφάλειας (RAMS)

Οι προδιαγραφές του συστήματος ERTMS που αφορούν στην ασφάλεια είναι στενά συνδεδεμένες με τα πρότυπα CENELEC[110] (Ευρωπαϊκή Επιτροπή για ηλεκτροτεχνική τυποποίηση).

Η σχέση των χαρακτηριστικών του RAMS[111] στη σιδηροδρομική αξιοπιστία, δίδεται στο πρότυπο της επιτροπής CENELEC pr EN 50126. Το πρότυπο καθορίζει την ανάγκη

[108] Hirao Yuji, Godziejewski Bogdan, "Joint work of European and Japanese experts – Harmonising rules for signalling interlocking", Tokyo Seminar – "Railway Signalling & Telecommunication Technology", Rail International, June 1999,σελ. 64

[109] όπως παραπάνω, σελ. 63-70

[110] *Comite Europeen de Normalisation Electrotechnique*

[111] *Reliability, Availability, Maintainability and Safety*

να καθιερώσουμε ένα πρόγραμμα RAMS και ένα σχέδιο ασφαλείας βασιζόμενο γύρω από ένα σύστημα προσέγγισης κύκλου ζωής.

Η ουσία της σύμπλεξης και οι αλληλεπιδράσεις της με το επίπεδο ελέγχου πρέπει να έχουν τις επιπτώσεις τους, που καθορίζονται στο σχέδιο RAMS στο σημείο της έννοιας του προγράμματος. Θα πρέπει να γίνει μια ανάλυση του κινδύνου για να εντοπίσουμε όλους τους λογικά προβλέψιμους κινδύνους στην λειτουργία του συστήματος RAMS. Η ανάλυση οδηγεί στην προδιαγραφή απαιτήσεων του προγράμματος RAMS ιδιαίτερα την ασφάλεια λειτουργικών απαιτήσεων και την ασφάλεια ολοκλήρωσης επιπέδων για κάθε σύστημα λειτουργίας. Καθοδήγηση γι' αυτές τις απαιτήσεις για το σύστημα σηματοδότησης δίδεται στην ENV 50129. Ειδικές πλευρές (software) του προγράμματος καθορίζονται στην pr EN 50128. Αυτές οι τυποποιήσεις (πρότυπα) έχουν να κάνουν με την επαλήθευση ότι οι απαιτήσεις του συστήματος RAMS ικανοποιούνται καθ' όλη την διάρκεια του κύκλου ζωής. Αυτές καθορίζουν ένα σύστημα αξιολόγησης της φάσης συμπεριλαμβανομένης της αποδοχής ασφαλείας. Η αποδοχή ασφαλείας ενός συστήματος σύμπλεξης θα πρέπει να επιτευχθεί μέσα από την προπαρασκευή μιας περίπτωσης ασφαλείας, όπως καθορίζεται στην ENV 50129.

Ενα αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό των κατευθυντήριων γραμμών στην Ιαπωνία είναι, ότι οι κατευθυντήριες γραμμές προσφέρουν πληροφορίες στις διοικήσεις των σιδηροδρομικών και στις βιομηχανίες για να αποφασίσουν μέτρα ασφάλειας και διαδικασιών για τους εαυτούς τους, ενώ οι ευρωπαϊκές χώρες στοχεύουν σε πρότυπα CENELEC με νομική ισχύ.

Μέχρι τώρα, αυτές οι κατευθυντήριες γραμμές εφαρμόζονται στην πραγματικότητα με μια ηλεκτρονική σύμπλεξη η οποία έχει πρόσφατα αναπτυχθεί και εισαχθεί. Ενώ οι προηγούμενες προσεγγίσεις συγκεντρώνονται σε ένα μάλλον ανεβοκατέβασμα του κύκλου-ζωής π.χ. (π.χ. δοκιμή), η νέα προσέγγιση απαιτεί περισσότερο αυστηρή διοίκηση από την αρχή και καθ' όλη την διάρκεια του κύκλου-ζωής.

Απαιτούνται ειδικές τεκμηριώσεις. Η πείρα μας δείχνει ότι είναι πράγματι δύσκολες αυτές οι προσεγγίσεις και προβλέπεται ότι το επίπεδο ασφαλείας ελέγχου του τρένου καθώς και τα συστήματα προστασίας τα οποία ακολουθούν τις κατευθυντήριες γραμμές, θα επαυξηθούν. Αν και υπάρχουν κάποιες διαφορές (ιδιαίτερα οργανωτικές) ακόμη και μεταξύ ευρωπαϊκών χωρών πιστεύουμε ότι υπάρχει η δυνατότητα να εναρμονισθούν στο μέλλον τα ευρωπαϊκά και Ιαπωνικά πρότυπα ασφαλείας. Οι ιαπωνικές κατευθυντήριες οδηγίες λαμβάνουν υπόψη τους την συμβατότητα των διεθνών προτύπων, και οι κατευθυντήριες οδηγίες θα πρέπει να αναθεωρηθούν στο εγγύς μέλλον, συσσωρεύοντας πολύτιμη εφαρμοσμένη εμπειρία.

3.5. ΠΡΟΩΘΗΣΗ ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗΣ

3.5.1. Γενικά

Τα δίκτυα ηλεκτροκίνησης έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Τύπος ρεύματος, εναλλασσόμενο ή συνεχές
- Τάση λειτουργίας από 600 έως 25.000 volts
- Συχνότητα (σε περίπτωση εναλλασσομένου ρεύματος), από 16+2/3 Hz έως 50 Hz στην Ευρώπη

Μία ηλεκτράμαξα για να κυκλοφορήσει σε περισσότερα του ενός δίκτυα, απαιτεί ειδικό σχεδιασμό και κατασκευή που να επιτρέπει λειτουργία πολυρευματική ή πολυσυστηματική. Αυτή την εποχή κατασκευάζεται η πρώτη τετραρευματική ηλεκτράμαξα.

Σε όλες τις χώρες της Ν.Α Ευρώπης τα συστήματα ηλεκτροκίνησης είναι ίδια με τεχνικά χαρακτηριστικά τάση 25.000 V και συχνότητα 50 Hz. Στην Αυστρία όπως και στη Γερμανία το σύστημα ηλεκτροκίνησης έχει τάση 15.000 V και συχνότητα 16+1/3 Hz. Στην Ιταλία όπως και στη Σλοβενία η ηλεκτροκίνηση έχει τάση συνεχούς ρεύματος 3.000 V. Είναι προφανές ότι θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν ελκτικές μονάδες που μπορούν να ανταποκριθούν και στα τρία είδη ηλεκτροκίνησης.

Με τον τρόπο αυτό αποφεύγονται οι καθυστερήσεις για αλλαγή ηλεκτράμαξας στα σύνορα, ενέργεια που απαιτεί τουλάχιστον 15' καθυστέρηση.

Εκτός από τις καθυστερήσεις στα σύνορα όπου υπάρχει διαφορετικό εύρος γραμμής όπως για παράδειγμα στην πρώην Σοβιετική Ενωση, ή διαφορετικά χαρακτηριστικά σηματοδότησης ή/και ηλεκτροκίνησης, σημαντικοί χρόνοι αναμονής στα σύνορα υπάρχουν και στις περιοχές όπου τα δύο συνορεύοντα δίκτυα έχουν τα ίδια τεχνικά χαρακτηριστικά. Σ' αυτή την περίπτωση είναι πιθανό να απαιτούνται αλλαγές στα συστήματα πέδησης και ζεύξης των συρμών επίσης, έτσι ώστε όλα τα μεταφερόμενα αγαθά πρέπει να εκφορτωθούν και να επαναφορτωθούν με γερανό ή απλά να μεταφορτωθούν ή να αντληθούν για εκφόρτωση και να αντληθούν εκ νέου για φόρτωση σε άλλο όχημα, ή σε εξαιρετικές περιπτώσεις το αμάξωμα του οχήματος πρέπει να αλλάξει φορεία ή άξονες, στα εμπορικά βαγόνια, διαδικασίες οι οποίες απαιτούν μεγάλο ποσό χρόνου και κόστους. Οι πρόσθετες καθυστερήσεις που προκαλούν τα προηγούμενα ανέρχονται κατά μέσο όρο σε $2^{1/2}$ ημέρες[112]. Σε αυτόν τον χρόνο ένα φορτηγό οδικό όχημα μπορεί να διασχίσει την μισή ήπειρο, π.χ η απώλεια χρόνου στον προσαρμογέα μεταξύ του κανονικού εύρους της δυτικής Ευρώπης και του μεγάλου εύρους των ρωσικών σιδηροδρόμων αντιστοιχεί στον μέσο χρόνο που χρειάζεται ένα οδικό φορτηγό όχημα να διασχίσει την Ευρώπη[113].

3.5.2. Πολυσυστηματικές Ηλεκτράμαξες

Εντελώς πρόσφατα είδε το φως της δημοσιότητας ένα άρθρο[114] για την ανάπτυξη των ηλεκτραμαξών σειράς 13 από τους βελγικούς σιδηροδρόμους SNCB οι οποίες μπορούν να λειτουργούν σε τρία συστήματα ηλεκτροκίνησης. Τα κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά των ηλεκτραμαξών αυτών, τα οποία προέρχονται κατ' ευθείαν από τα αντίστοιχα των ηλεκτραμαξών σειράς 3.000 των SNCF είναι τα ακόλουθα:

- Βάρος 90 τόνοι
- Μέγιστη ταχύτητα 200 χλμ/ώρα
- Ισχύς τροφοδοσίας 3 kV συνεχούς ρεύματος, 1,5 kV συνεχούς ρεύματος και 25 kV, 50 Hz εναλλασσόμενου ρεύματος
- Περιτύπωμα UIC 505 – 1
- Μήκος συμπεριλαμβανομένων των προσκρουστήρων 19,11 μέτρα
- Απόσταση αξόνων φορείου 3 μέτρα
- Απόσταση μεταξύ των κέντρων των φορείων 10,4 μέτρα'

[112] Ebeling Klaus, " The Pan-European Traffic Networks – An Opportunity for Europe's Railways ", Railway Technical Review, January/February/March 1999, σελ. 7.
[113] όπως παραπάνω
[114] Squiblin Michel Ir., «Les locomotives serie 13 de la SNCB», Rail International, Avril 2000, σελ 38 – 45.

- Συνεχής έξοδος στον τροχό για τα 3 kV και τα 25 kV: 5.000 kW μεταξύ 80 και 200 χλμ/ώρα και στο 1,5 kV: 2.100 kW
- Είναι εφοδιασμένη με διαξονικά φορεία

Οι μηχανές αυτές είναι σχεδιασμού της εταιρείας GEC Alsthom.

Πρόσφατα οι εταιρείες Siemens και Krauss - Maffei[115] έχουν σχεδιάσει και βρίσκεται υπό κατασκευήν η πρώτη τετρασυστηματική ηλεκτράμαξα τύπου BR 189. Τα κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά αυτής της ηλεκτράμαξας είναι:

- Βάρος 86 τόνοι
- Μέγιστη ταχύτητα 140 χλμ/ώρα και εναλλακτικά 230 χλμ/ώρα
- Ισχύς τροφοδοσίας εναλλασσόμενο ρεύμα 25 kV 50 Hz, εναλλασσόμενο ρεύμα 15 kV 16,7 Hz, συνεχές ρεύμα 3 kV, συνεχές ρεύμα 1,5 kV
- Ισχύς 6.400 kW για εναλλασσόμενο ρεύμα 25 kV και 15 kV, 6.000 kW για συνεχές ρεύμα 3 kV και 4.200 kW για συνεχές ρεύμα 1,5 kV
- Είναι εφοδιασμένη με διαξονικά φορεία
- Περιτύπωμα UIC 505 – 1
- Μήκος συμπεριλαμβανομένων των προσκρουστήρων 19,58 μέτρα
- Απόσταση αξόνων φορείου 3 μέτρα

Απόσταση μεταξύ των κέντρων των φορείων 9,9 μέτρα

7.5.3. Αποφυγή αλλαγών ελκτικών μονάδων και / ή προσωπικού οδήγησης και συμφωνία με γειτονικά δίκτυα

Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερο τα δίκτυα εισάγουν νέες τεχνολογίες που ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της διαλειτουργικότητας. Ενα από τα κυριότερα επιτεύγματα είναι η διρευματική έλξη. Εφόσον μια τέτοια τεχνολογία έλξης χρησιμοποιείται, το δίκτυο προορισμού δεν πρέπει να οργανώσει την κυκλοφορία των ελκτικών του μονάδων ούτε του προσωπικού του οδήγησης, ενοχλητική δραστηριότητα και η οποία μπορεί να γίνει περισσότερο ενοχλητική και να καταναλώσει περισσότερο χρόνο όταν το τρένο δεν ακολουθεί το προβλεπόμενο δρομολόγιο[116].

Σε μερικές διαδρομές η κατάσταση των βαγονιών είναι αποδεκτή τεχνικά από τα άλλα εμπλεκόμενα σιδηροδρομικά δίκτυα. Σε τέτοιες περιπτώσεις αποκαλύπτεται η ευκαιρία να εισαχθεί μια διαδικασία που βασίζεται στην αμοιβαία εμπιστοσύνη: το δίκτυο προορισμού δεν προχωρά σε επιθεώρηση του τροχαίου υλικού παρά μόνο αν προσκληθεί. Σε ορισμένες ισχύει ήδη η εφαρμογή μιας τέτοιας διαδικασίας[117].

Μεταξύ των τεχνικών εναρμονήσεων που πρέπει να αναληφθούν για να επιτευχθεί η διαλειτουργικότητα του ευρωπαϊκού δικτύου υψηλών ταχυτήτων, το ζήτημα του ελέγχου - διοίκησης της κυκλοφορίας κατέχει μια ξεχωριστή σπουδαιότητα. Η αναγκαιότητα να ολοκληρωθεί ένα σύστημα ελέγχου – διοίκησης και διαχείρισης της κυκλοφορίας εναρμονισμένο που επιτρέπει σε ένα τρένο μιας σιδηροδρομικής επιχείρησης να κυκλοφορεί σε μια γραμμή άλλης σιδηροδρομικής επιχείρησης και να συμπεριφέρεται με τα ίδια χαρακτηριστικά του τροχαίου υλικού της τελευταίας, καθίσταται αναγκαίος ο

[115] Siemens, VT 62 DB.F0218.27 Becker, " Mehrsystemlokomotive BR 189", folie 1-3, 12/1999.
[116] Fenyves Laszlo, "Franchissement des frontieres: Taches et activites", Rail International, Mars 2000, σελ. 14-17
[117] Fenyves Laszlo, "Franchissement des frontieres: Taches et activites", Rail International, Mars 2000, σελ. 14-17

κοινός προσδιορισμός ενός συστήματος σηματοδότησης που τα κύρια interface του (ιδίως μεταξύ του τρένου και της υποδομής), *όπως και οι αρχές ασφάλειας και οι πιο σημαντικοί κανονισμοί εκμετάλλευσης να είναι πλήρως εναρμονισμένοι*[118].

3.6. ΔΙΑΦΟΡΟΙ ΑΛΛΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΤΕΧΝΙΚΗ ΔΙΑΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ (ΠΕΡΙΤΥΠΩΜΑ, ΑΠΟΒΑΘΡΕΣ, ΑΞΟΝΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ)

Επιπλέον των όσων έχουν αναφερθεί στα προηγούμενα, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες, μικρότερης σημασίας, που επηρεάζουν την τεχνική διαλειτουργικότητα, όπως είναι τα περιτυπώματα, τα μέγιστα φορτία ανά άξονα που μπορεί να δεχθεί κάθε γραμμή, κ.λπ. Ηδη για το θέμα των περιτυπωμάτων έχει εκδοθεί ο κώδικας UIC 505 – 1 OR/8^{η} έκδοση 01-01-1997 για «το τροχαίο υλικό της σιδηροδρομικής μεταφοράς – περιτύπωμα κατασκευής τροχαίου υλικού»[119]. Είναι ο τελευταίος κανονισμός για την κατασκευή σε όλη την Ευρώπη, τροχαίου υλικού που θα αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο περιτύπωμα και θα διευκολύνεται η διέλευσή του από όλα τα δίκτυα. Επιπλέον με την τρίτη έκδοση του κώδικα UIC 505 – 4 ORI, 1-1-1977, που επανεκδόθηκε την 1-5-1988 για «τις επιδράσεις της εφαρμογής των κινηματικών περιτυπωμάτων των καθοριζομένων στη σειρά 505 των φυλλαδίων για την τοποθέτηση των κατασκευών σε σχέση με τις γραμμές και των γραμμών σε σχέση μεταξύ τους»[120], δίδονται προδιαγραφές για την κατασκευή των γραμμών ώστε να διέρχονται οχήματα συγκεκριμένου περιτυπώματος (με το οποίο συνδέονται και οι διαστάσεις των αποβαθρών των σταθμών). Το θέμα των αξονικών φορτίων, σήμερα, καλύπτει σχεδόν στο σύνολο της Ευρώπης το αξονικό φορτίο των 20 τόνων ανά άξονα με δυνατότητα αποδοχής, σε όλα τα ευρωπαϊκά δίκτυα, αξονικού φορτίου 22,5 τόνων. Αυτοί οι γενικοί κανόνες θα πρέπει να υιοθετηθούν γενικά, όπως προωθείται από την UIC ώστε να διευκολυνθούν, κύρια οι εμπορευματικές μεταφορές.

[118] Vincent Daniel, " Interoperabilite et Harmonisation Technique", Rail International, Aout/Septembre 1995, σελ. 124-125.

[119] Union Internationale des Chemins de Fer (U.I.C.), Code 505-1 OR, "Materiel de transport ferroviaire – Gabarit de construction du materiel roulant", 8e edition, 01-01-97.

[120] Union Internationale des Chemins de Fer (U.I.C.), Code 505-4 ORI, "Effects of the application of the kinematic gauges defined in the 505 series of leaflets on the positioning of structures in relation to the tracks and of the tracks in relation to each other", 3nd edition, 1-1-77, (Reprint of 1-5-88).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Brandi Sylvano, "Interoperabilite et Harmonisation Technique", Tokyo Seminar – "Railway Signalling & Telecommunication Technology", Rail International, Aout/Septembre 1995.

Durr Heinz, «Transformer un defi en veritable chance sur le marche Une vision du chemin de fer pour une Europe sans frontieres», Rail International, Avril 1996

Ebeling Klaus, " The Pan-European Traffic Networks – An Opportunity for Europe's Railways ", Railway Technical Review, January/February/March 1999

Fenyves Laszlo, "Franchissement des frontieres: Taches et activites", Rail International, Mars 2000, σελ. 14-17

Hirao Yuji, Godziejewski Bogdan, "Joint work of European and Japanese experts – Harmonising rules for signalling interlocking", Tokyo Seminar – "Railway Signalling & Telecommunication Technology", Rail International, June 1999

Hiroumi Soejima, "Maglev: The 21st Century Railway", International Railway Journal, January 2000.

International Railway Journal, "Gauge-Changing, Japanese Develop First Gauge-Adaptable Emu",January 1999.

International Railway Journal, "Gauge-Changing, Japanese Develop First Gauge-Adaptable Emu", January 1999.

Kazuhiro Oda, "Gauge-Changing EMU on the road to success", Railway Gazette International, March 1999.

Lestime Hubert, "ETCS – Development of train control systems for European high-speed lines", Tokyo Seminar – "Railway Signalling & Telecommunication Technology", Rail International, June 1998.

Robillard Christophe, "Asolution for the integration of Railway Networks – GSM-R", "Tokyo Seminar – Railway Signalling & Telecommunication Technology", Rail International, June 1999.

Saliger Wilhelm, " Essieux a ecartement variable", Rail International, Mars 2000.

Siemens, VT 62 DB.F0218.27 Becker, " Mehrsystemlokomotive BR 189", folie 1-3, 12/1999.

Sistema Talgo RD – Talgo RD System

Squiblin Michel Ir., «Les locomotives serie 13 de la SNCB», Rail International, Avril 2000, σελ 38 – 45

Van Dyck Raymond, " The Antwerp main hub – A terminal for all (intermodal) seasons", Rail International, January 2000

Vincent Daniel, " Interoperabilite et Harmonisation Technique", Rail International, Aout/Septembre 1995, σελ. 124-125.

Winter Peter," Railway signalling and telecommunications systems in Europe – Current state and recent trends", Tokyo Seminar – "Railway Signalling & Telecommunication Technology", Rail International, June 1998.

Wojanowski Erich, "Development, testing and validation of new train control systems – The ERTMS project", Tokyo Seminar – "Railway Signalling & Telecommunication Technology", Rail International, June 1998.

Γιαννακός Κ ., «Δράσεις στην Σιδηροδρομική Γραμμή», Εκδόσεις Παπαζήση, 2002

Γιαννακός Κ., «Σιδηροδρομική Γραμμή – σύνδεσμοι, Θεωρητικός Υπολογισμός, Παραμετρική Επίλυση», 1999

Γιαννακός Κωνσταντίνος, "Η διαλειτουργικότητα στον σιδηρόδρομο: ένα μοντέλο ανάπτυξης για τη ΝΛ. Ευρώπη", Διδακτορική διατριβή στο Α.Π.Θ., 2000

Γ

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 11

Σηματοδότηση
Τηλεδιοίκηση
Τηλεπικοινωνίες

ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ – ΤΗΛΕΔΙΟΙΚΗΣΗ - ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

1. Γενικά περί Σηματοδότησης – Τηλεδιοίκησης – Τηλεπικοινωνιών

1.1. Ρόλος και λειτουργίες της σηματοδότησης

1.1.1. Ιστορική εξέλιξη [Γιαννακός, 1999]

Ο σιδηρόδρομος ως μέσο μεταφοράς διαδέχθηκε τις ιπποκίνητες άμαξες.
Με την εμφάνιση όμως των πρώτων συρμών κατέστη σαφές ότι οι κανόνες κυκλοφορίας των σιδηροδρόμων έπρεπε να διαφοροποιηθούν υποχρεωτικά από τους κανόνες κυκλοφορίας των αμαξών.
Οταν οι σιδηροδρομικές γραμμές ήταν λίγες, χωρίς διακλαδώσεις και διασταυρώσεις μεταξύ τους, βασική μέριμνα (που παρέμεινε άλλωστε μέχρι και σήμερα) ήταν να εξασφαλισθεί πριν την αναχώρηση ενός συρμού ότι η γραμμή που βρίσκεται μπροστά του μέχρι την επόμενη στάση είναι ελεύθερη. Σειρά ατυχημάτων κατέστησαν αναγκαία την τοποθέτηση φυλάκων, οι οποίοι με ενδείξεις χεριού ή με σημαίες προσπαθούσαν να ενημερώσουν το μηχανοδηγό για το αν θα έπρεπε να σταματήσει ή να συνεχίσει.
Τα αναπόφευκτα όμως ανθρώπινα λάθη των φυλάκων οδήγησαν στην τοποθέτηση σημάτων ορατών μέρα και νύχτα των οποίων τα μηνύματα προς το μηχανοδηγό ήταν σαφέστερα από ότι οι ενδείξεις των φυλάκων. Η σήμανση αποτέλεσε για μεγάλο διάστημα τη βάση της σιδηροδρομικής κυκλοφορίας και χρησιμοποιείται σε αρκετό βαθμό ακόμη και σήμερα.
Οι πρόοδοι όμως της ηλεκτρικής τεχνολογίας οδήγησαν από το τέλος του προηγούμενου αιώνα στην εμφάνιση της φωτεινής σηματοδότησης, που υποκατέστησε σε μεγάλο βαθμό τη σήμανση. Η σηματοδότηση αποτελεί σήμερα το βασικό εργαλείο της σιδηροδρομικής κυκλοφορίας.
Μέχρι πριν λίγα χρόνια η σηματοδότηση γινόταν μόνο με τη βοήθεια σταθερών φωτεινών σηματοδοτών, που είναι τοποθετημένοι κατά μήκος της γραμμής. Οσο όμως αυξάνει η ταχύτητα, τόσο μεγαλώνει ο κίνδυνος να μην αντιληφθεί ο μηχανοδηγός κάποιο σήμα. Για αυτό και στις μεγάλες ταχύτητες χρησιμοποιείται και η σηματοδότηση μέσα στο θάλαμο οδήγησης (cab-signal) που παρέχει συνεχή ενημέρωση για τις συνθήκες κυκλοφορίας.

1.1.2. Η απόσταση πέδησης και οι επιπτώσεις στη σηματοδότηση [Γιαννακός, 1999]

Βασικό χαρακτηριστικό της σιδηροδρομικής μεταφοράς είναι η πρόσφυση μετάλλου (τροχός) προς μέταλλο (σιδηροτροχιά). Ετσι η μηχανή έλξης ενός συρμού μπορεί με την ίδια ελκτική ισχύ να κινήσει πολύ μεγαλύτερα φορτία σε υψηλότερες ταχύτητες σε σύγκριση με ένα οδικό όχημα. Η διαφορά όμως αυτή πρόσφυσης που προσδιορίζει το προηγούμενο πλεονέκτημα, συνεπάγεται ταυτόχρονα και ένα σοβαρό μειονέκτημα: τη δυσκολία στάθμευσης ενός κινούμενου συρμού.
Η απόσταση πέδησης είναι 1.300 - 1.400 m για την ταχύτητα των 160Km/h και γίνεται 2.500 - 3.000 m στην ταχύτητα των 200Km/h. Ετσι η προστασία από την ύπαρξη τυχόν εμποδίου στην πορεία ενός συρμού δεν μπορεί να αφεθεί στον εντοπισμό του εμποδίου από το μηχανοδηγό και στην αντίδραση του τελευταίου, λόγω των μεγάλων αποστάσεων πέδησης. Είναι λοιπόν απαραίτητο να ειδοποιείται έγκαιρα ο μηχανοδηγός, κάτι που γίνεται με την απαραίτητη σήμανση και σηματοδότηση.

1.1.3. Η απαίτηση σηματοδότησης [Γιαννακός, 1999]

Η κυκλοφορία των συρμών σε ένα σιδηροδρομικό δίκτυο, ελέγχεται σε κυμαινόμενο βαθμό κατά δίκτυο (ή τμήμα δικτύου) από τους μηχανοδηγούς.

Συμπληρωματικά ή και (εν μέρει) παράλληλα, ο έλεγχος γίνεται από προσωπικό εκτός συρμών μέσω κέντρων ελέγχου με βαθμό αυτοματοποίησης που ποικίλλει.

Η εξασφάλιση:

(α) Της σωστής πληροφόρησης των μηχανοδηγών για έγκαιρους χειρισμούς (μεταβολή ταχύτητας μέχρι και στάσης, σωστή χρονική εκκίνηση κ.λπ.) και
(β) Της σωστής συνεργασίας μεταξύ του προσωπικού επί των συρμών και του προσωπικού εκτός συρμών.

απαιτεί την ύπαρξη μιας σειράς εγκαταστάσεων που περιλαμβάνει:

(α) Σήματα: οπτικά, ακουστικά
(β) Τηλεπικοινωνιακή σύνδεση των υπευθύνων των συρμών και των κέντρων ελέγχου.
(γ) Κυκλώματα συνδυασμένης λειτουργίας σημάτων και αλλαγών
(δ) Κυκλώματα τηλεχειρισμού.
(ε) Κυκλώματα αποκλεισμού γραμμής σε ηλεκτροδοτούμενες γραμμές.
(στ) Κυκλώματα μετάδοσης πληροφοριών μεταξύ κινουμένων συρμών και κέντρων ελέγχου.

Οι πιο παλιές από τις εγκαταστάσεις περιλαμβάνουν σήματα συνδυασμένα με μηχανικά συστήματα τηλεχειρισμού. Αρχικά και για πολλές δεκαετίες αυτές ήταν και οι μόνες εγκαταστάσεις. Την τελευταία 50ετία και με επιταχυνόμενους ρυθμούς άρχισε η εφαρμογή και πιο εξελιγμένων συστημάτων με τη βοήθεια ηλεκτρικών κυκλωμάτων και αντίστοιχων διατάξεων. Σήμερα σε αρκετές γραμμές σημαντικού βαθμού δικτύων και ακόμα σε σιδηροδρομικούς σταθμούς χρησιμοποιούνται συστήματα ελέγχου με κάποιο βαθμό αυτοματοποίησης. Τα συστήματα αυτά εισάγουν πολλαπλές ασφάλειες στην κυκλοφορία των συρμών. Παραμένει όμως πάντοτε στην ευθύνη του μηχανοδηγού ενός συρμού να έχει τη δυνατότητα -όταν πρέπει- να δράσει με ολοένα πιο αποτελεσματικά συστήματα πέδησης, ανάλογα με τις ενδείξεις των σημάτων. Και στην περίπτωση όμως που όταν για κάποιους απρόβλεπτους λόγους ο μηχανοδηγός δεν είναι σε θέση να ενεργοποιήσει την πέδηση, υπάρχουν εγκαταστάσεις στην γραμμή που φρενάρουν το συρμό αφού προηγουμένως ελέγξουν ότι ο μηχανοδηγός δεν είναι σε θέση να χειρισθεί τα συστήματα πέδησης (π.χ. λιποθυμία μηχανοδηγού).
Ο χρόνος ελέγχου του οδηγού είναι περίπου 4 sec.
Τα σήματα έχουν εξελιχθεί και προσαρμοστεί στις ανάγκες για πυκνότερη κυκλοφορία , μεγαλύτερες ταχύτητες και μεγαλύτερη ασφάλεια. Παράλληλα δε -για την καλύτερη συλλειτουργία τους- με τις λοιπές εγκαταστάσεις.
Ως σήμα μπορεί να χαρακτηρισθεί κάθε σταθερή ή κινητή διάταξη που έχει σκοπό τη μεταβίβαση μιας πληροφορίας. Η πληροφορία μπορεί να είναι:

- ενημερωτική ή
- δεσμευτική (στις πιο πολλές περιπτώσεις).

Η δεσμευτική πληροφορία με βάση τους Κανονισμούς Κίνησης κάθε δικτύου υποχρεώνει σε συμμόρφωση άλλοτε άμεση και άλλοτε συνιστά προειδοποίηση για σήμα που ακολουθεί και που εκείνο υποχρεώνει σε άμεση συμμόρφωση. Ο Κανονισμός Κίνησης παρέχει λεπτομερείς οδηγίες στο προσωπικό για τον κάθε φορά υπεύθυνο, στο πότε, πως και από που μεταδίδεται ένα σήμα. Επίσης περιγράφει τις ενέργειες στις οποίες υποχρεώνεται εκείνος στον οποίο απευθύνεται κάθε φορά το σήμα.

Με ευρεία έννοια του σήματος νοούνται και οι πινακίδες πληροφόρησης και καθοδήγησης των επιβατών και συνοδών τους. Συνήθως αναφέρονται ως σήμανση (σιδηροδρομικού) σταθμού και οχήματος και δεν αναπτύσσονται στο κεφάλαιο αυτό.

1.1.4. Η ασφάλεια και η κανονικότητα της κυκλοφορίας

Ο σιδηρόδρομος αποτελεί μέσο μαζικών μεταφορών και πρέπει να εξασφαλίζει στους μετακινούμενους τη μεγαλύτερη δυνατή ασφάλεια. Κατά την κίνηση ενός συρμού τίθενται τρία προβλήματα ασφαλείας:

- Προστασία από άλλο συρμό που κινείται στην ίδια γραμμή και κατά την ίδια φορά κυκλοφορίας, πριν ή μετά από αυτόν. Δεδομένων των μεγάλων αποστάσεων στάθμευσης, μεταξύ διαδοχικών συρμών πρέπει να παρεμβάλλεται απόσταση ασφαλείας που δεν μπορεί να είναι μικρότερη από την απόσταση πέδησης.
- Σε περίπτωση μονής γραμμής ή διπλής γραμμής όπου όμως κάθε γραμμή μπορεί να κυκλοφορείται και προς τις δύο κατευθύνσεις (voie banalisee), προστασία από συρμό που κινείται από αντίθετη κατεύθυνση και αποτροπή μετωπικής σύγκρουσης. Για αυτό, σε ένα συγκεκριμένο τμήμα γραμμής επιτρέπεται η κυκλοφορία συρμού, μόνο εφόσον διασφαλισθεί ότι η γραμμή είναι και θα παραμείνει ελεύθερη.
- Προστασία από άλλο συρμό που κινείται σε άλλη γραμμή, η οποία όμως διασταυρώνεται ή συμβάλλει (με βοήθεια κάποιας αλλαγής γραμμής) στη συγκεκριμένη γραμμή.

Η σηματοδότηση αποβλέπει πρωτίστως στην ασφάλεια της κυκλοφορίας. Παράλληλα όμως διασφαλίζεται και η κανονικότητα της κυκλοφορίας, δηλαδή η παρουσία ενός συρμού σε ορισμένη θέση τη συγκεκριμένη στιγμή και με δεδομένη προτεραιότητα. Επιδείνωση της κανονικότητας μπορεί να προκαλέσει εμμέσως μείωση της ασφάλειας. Ας θεωρήσουμε την περίπτωση μονής γραμμής σε μεγάλο φόρτο κυκλοφορίας, στην οποία συμβαίνει κάποια διαταραχή της κανονικότητας της κυκλοφορίας. Από τη διαταραχή αυτή προκύπτει η ανάγκη σημαντικού αριθμού μετατοπίσεων διασταυρώσεων και υπερβάσεων που προβλέπονται από το δρομολόγιο, με αποτέλεσμα σοβαρή επιφόρτιση του προσωπικού ασφαλείας και ρύθμισης κυκλοφορίας, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της ασφάλειας.
Για γραμμές με μεγάλο φόρτο κυκλοφορίας, που πλησιάζει την κυκλοφοριακή ικανότητα της γραμμής (με κίνδυνο κορεσμού), η σηματοδότηση αποσκοπεί ακόμη στην αύξηση της κυκλοφοριακής ικανότητας, του μέγιστου αριθμού συρμών δηλαδή που μπορούν να κινηθούν στη συγκεκριμένη γραμμή στη μονάδα του χρόνου και για δεδομένη ταχύτητα.

1.1.5. Το κανονιστικό πλαίσιο

Η κυκλοφορία των συρμών διέπεται από λεπτομερείς κανόνες που περιγράφονται στο Εγχειρίδιο Δρομολογίων και στο Γενικό Κανονισμό Κίνησης, προς τους οποίους είναι υποχρεωμένος να συμμορφώνεται διαρκώς ο μηχανοδηγός. Ο τελευταίος εκτός από τις οδηγίες των Κανονισμών, πρέπει να ρυθμίζει την πορεία του σύμφωνα και με τις εντολές των σταθμαρχών κίνησης.
Σε γραμμές που δεν έχουν σηματοδότηση ή η σηματοδότηση βρίσκεται εκτός λειτουργίας, οι κανονισμοί κυκλοφορίας ενημερώνουν και καθοδηγούν το μηχανοδηγό για τις κινήσεις στις οποίες πρέπει να προβεί σε κάθε περίπτωση.
Αλλά ακόμη και σε γραμμές με σηματοδότηση, η σημασία των κανονισμών κυκλοφορίας είναι σημαντική για την ασφάλεια της κυκλοφορίας.

1.1.6. Βασικές λειτουργίες σηματοδότησης

Η σηματοδότηση λοιπόν καλείται να ανταποκριθεί στις παρακάτω λειτουργίες.

- Διαχωρισμός συρμών που κινούνται στην ίδια κατεύθυνση.
- Προστασία συρμού από άλλον συρμό που κινείται από την αντίθετη κατεύθυνση.
- Προστασία συρμών που διέρχονται από διασταυρώσεις ή αλλαγές γραμμής, ώστε να μη κινηθεί στην ίδια γραμμή άλλος συρμός.
- Προστασία συρμού σε ισόπεδες διαβάσεις.
- Διασφάλιση σεβασμού από το μηχανοδηγό των περιορισμών ταχύτητας, ώστε να αποτραπεί κάθε κίνδυνος εκτροχιασμού.
- Ενίσχυση τόσο της ασφάλειας όσο και της κανονικότητας της κυκλοφορίας.

2. Απλή Σήμανση – Στοιχειώδεις Αρχές

2.1. Βασικές αρχές σχεδιασμού των σημάτων

Ο σχεδιασμός των σημάτων στηρίζεται σε μερικές βασικές αρχές που απορρέουν από τους σκοπούς που εξυπηρετούν τα σήματα, από την μακρόχρονη πείρα λειτουργίας των σιδηροδρομικών δικτύων και από την ανάγκη σχεδιασμού είτε μεταξύ τους (για την ολοκλήρωση παρεχομένης πληροφορίας) είτε και με τις λοιπές εγκαταστάσεις.
Κύριος σκοπός ενός σήματος, ή μιας σειράς σημάτων είναι η πληροφόρηση ενός εξουσιοδοτημένου ατόμου (π.χ. του μηχανοδηγού) να προβεί σε ορισμένη ενέργεια (π.χ. πέδηση ή απλή επιβράδυνση του συρμού), ή ακόμα η πληροφόρηση ότι δεν είναι απαραίτητο να προβεί σε ενέργεια. Έτσι τα σήματα πρέπει, να είναι με τέτοιο τρόπο κατασκευασμένα και τοποθετημένα, ώστε η διοχέτευση της πληροφορίας να γίνεται:

- γρήγορα
- με σαφήνεια και (κατά το δυνατόν)
- ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες.

Η αντίληψη και η κατανόηση ενός σήματος απαιτεί έναν φυσικό χρόνο (έστω X_1) που πρόδηλα πρέπει να είναι ο ελάχιστος δυνατός. Η απόφαση του εξουσιοδοτημένου ατόμου και η ενέργεια-χειρισμός απαιτούν επίσης κάποια χρονικά διαστήματα (X_2 και X_3 αντίστοιχα). Τέλος η αντίδραση του συστήματος (π.χ. του συρμού, ή ο χειρισμός μιας αλλαγής) απαιτούν έναν πρόσθετο χρόνο (έστω X_4).
Οι χρόνοι $X_{1,2,3}$ εξαρτώνται από τις φυσιολογικές αντιδράσεις του αντίστοιχου προσωπικού και επηρεάζονται από το βαθμό εκπαίδευσης και εμπειρίας του. Ο χρόνος X_4 είναι συνάρτηση του στοιχείου του συστήματος και της συγκεκριμένης κατάστασης του (π.χ. στην πέδηση ενός συρμού ο χρόνος από το χειρισμό μέχρι την ακινητοποίηση είναι συνάρτηση του συστήματος πεδήσεως του συρμού, της ταχύτητας, της καταστάσεως της επιφάνειας κύλισης των σιδηροτροχιών, της κατά μήκος κλίσης, των καιρικών συνθηκών κ.λπ.). Για να είναι αποτελεσματικό ένα σήμα (ή ομάδα σημάτων) που έχει σκοπό να πληροφορήσει το μηχανοδηγό ότι πρέπει (σύμφωνα με τα παραπάνω) να γίνει αντιληπτό από το μηχανοδηγό από απόσταση.

$$S_0 = (X_1 + X_2 + X_3) \cdot U + S_{\pi}$$

Αν η απόσταση S_0 είναι πολύ μεγάλη, προκύπτει η ανάγκη να διαταχθεί μια ομάδα σημάτων. Είναι αξιόλογο να σημειωθεί ότι η απόσταση S_0 (απόσταση ορατότητας του συρμού) δεν μπορεί να προβλέπεται πολύ μεγάλη, επειδή τότε θα απαιτούνται πολύ μεγάλα σήματα και σημαντικές δεσμεύσεις στην χάραξη της σιδηροδρομικής γραμμής.
Με το παραπάνω παράδειγμα γίνεται φανερό ότι η μορφή και η θέση του σήματος (του κάθε σήματος) πρέπει να σχεδιάζεται σε τρόπο ώστε:

(α) $\{X_1+X_2+X_3\}\rightarrow\min$
(β) S_0 να είναι μικρό και πάντως να μην υπερβαίνει λογικά (κατά περίπτωση) όρια.

Και τούτο κάτω από την απαραίτητη προϋπόθεση τήρησης όλων των κανόνων ασφαλείας. Η απαίτηση ασφάλειας αναφέρεται σε όλα τα στοιχεία του σε λειτουργία συστήματος:

- Το σήμα καθεαυτό.
- Την εξασφάλιση της ευκρίνειας του σήματος, ανεξάρτητα με τις συνθήκες περιβάλλοντος.
- Την εξασφάλιση του τροχαίου υλικού, της επιδομής και των μηχανισμών γενικά.
- Η εξασφάλιση του σήματος και της αποτελεσματικής λειτουργίας του προϋποθέτει πέραν του συστήματος ελέγχου και της συντήρησης και σωστή κατασκευή. Προς επεξήγηση της έννοιας της σωστής κατασκευής διευκρινίζονται οι απαιτήσεις για ένα οπτικό μόνιμο σήμα:
- Να έχει απλή μορφή.
- Να έχει επιφάνειες που να διακρίνονται από το περιβάλλον με το χρώμα του την ημέρα και την φωτεινότητά του τη νύχτα.
- Οταν χρησιμοποιούνται χρώματα, αυτά να διαφοροποιούνται με σαφήνεια, ώστε τυχόν παραλλαγές αποχρώσεων να μην προκαλούν αμφιβολίες.
- Η κατασκευή να προστατεύεται από τους διερχόμενους συρμούς (τοποθέτηση σε ικανή απόσταση εκτός κινητικού περιτυπώματος), από τα συνεργεία και τα μηχανήματα συντήρησης γραμμής (χωρίς και να τα παρενοχλεί), από διερχόμενα άτομα, οχήματα κ.λπ.
- Η κατασκευή στήριξης του σήματος να είναι επαρκής σε κάθε φύσεως καταπονήσεις (ιδίου βάρους, ανέμου, χιονιού κ.λπ.).
- Το σήμα να μην αλλοιώνεται (φθείρεται) από τις καιρικές συνθήκες και γενικά από τις συνθήκες του περιβάλλοντος, ώστε να απαιτείται πολύ συχνή συντήρηση.
- Να υπόκειται στον υψηλότερο δυνατό βαθμό τηλεχειρισμού αλλά και με δυνατότητα ελέγχου των πραγματικών ενδείξεων
- Τα κινητά τμήματα να είναι ορατά και προσπελάσιμα για τον ευχερή έλεγχο και συντήρηση.

Εξ άλλου για να εξασφαλισθεί η ελαχιστοποίηση των χρόνων Xi θα πρέπει το κάθε σήμα να είναι:

- Ευκρινές, έτσι ώστε να διευκολύνεται από όσο το δυνατόν μεγαλύτερη απόσταση.
- Απλό και κατανοητό, που σημαίνει ότι πρέπει να αποφεύγονται πολύπλοκες διατάξεις, να κρατείται μια λογική στη σύνθεση των διαφόρων σημάτων που να μπορεί να απομνημονευθεί από το προσωπικό. Είναι χαρακτηριστικό π.χ. ότι τα χρησιμοποιούμενα χρώματα είναι μόνο τρία, βασικά και ευκόλως διακρινόμενα:
- Πράσινο, που γενικά υποδηλώνει άδεια ελευθερίας δράσης, άλλως απουσία δεσμεύσεων.

- Κόκκινο, που γενικά υποδηλώνει δεσμεύσεις που πρέπει να τηρηθούν.
- Κίτρινο, που γενικά επισημαίνει αυξημένη προσοχή και προειδοποίηση ότι ακολουθεί δεσμευτικό σήμα.
- Το μαύρο, λευκό και ανοικτόφαιο χρώμα χρησιμοποιούνται γενικά για το χρωματισμό:
- Βοηθητικών ενδείξεων (συνδυασμοί άσπρου –μαύρου).
- Αναγραφών.
- Πλαισίου ανάδειξης του περιεχομένου του σήματος (συνήθως το μαύρο).
- Χρωματισμό προστασίας στοιχείων εκτός του σήματος (π.χ. των σημαφόρων).
- Θα πρέπει να σημειωθεί ότι βοηθητικές πληροφοριακές ενδείξεις μπορεί να δίνονται και με μπλε χρώμα (βασικό επίσης).
- Να βρίσκεται σε αμφιμονοσήμαντη αντιστοιχία με την πληροφορία που παρέχει. Τούτο είναι αυτονόητο, αλλά θα πρέπει να επισημανθεί ότι η αντιστοιχία αυτή πρέπει να είναι σαφής ώστε να είναι αδύνατη η σύγχυση.

2.2. Σήμανση οπτική και ακουστική

Η σήμανση είναι κυρίως οπτική. Υπάρχουν όμως ακόμη και ακουστικά σήματα, κυρίως σε περίπτωση παραβίασης από το μηχανοδηγό κάποιου σήματος ή ορίου ταχύτητας. Η οπτική σήμανση είναι μόνιμη ή προσωρινή (στην περίπτωση εργοταξίων ή εκτάκτων συμβάντων) και αποτελείται από διατάξεις που ενεργοποιούνται με παρέμβαση μηχανική. Για αυτό και συχνά η σήμανση χαρακτηρίζεται ως μηχανική.

2.3. Χρησιμοποιούμενα χρώματα

Και στη σιδηροδρομική σηματοδότηση, η σημασία των χρωμάτων είναι αντίστοιχη με την οδική σηματοδότηση:

- Το ερυθρό δηλώνει υποχρέωση άμεσης ακινητοποίησης και στάθμευσης του συρμού.
- Το πράσινο υποδηλώνει ελεύθερη γραμμή και δυνατότητα του συρμού να κινηθεί απρόσκοπτα.
- Το κίτρινο απευθύνει προειδοποίηση και επιβάλλει περιορισμό της ταχύτητας, ενόψει ακολουθούντος απαγορευτικού σήματος (ερυθρό).

Σε ότι αφορά την ορατότητα των διαφόρων χρωμάτων, αν ℓ είναι η ορατότητα του λευκού χρώματος, τότε η ορατότητα του κίτρινου, ερυθρού και πράσινου είναι αντίστοιχα :

$$\frac{\ell}{3}, \quad \frac{\ell}{4}, \quad \frac{\ell}{5}$$

2.4. Τύποι σημάτων

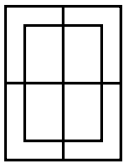
Τα διάφορα σήματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- Σήματα προστασίας γραμμών σταθμών.
- Σήματα διασφάλισης της ελάχιστης απαραίτητης απόστασης μεταξύ διαδοχικών συρμών.
- Σήματα αναγγελίας στάθμευσης.

- Σήματα αναγγελίας ελεύθερης γραμμής.
- Σήματα περιορισμού ταχύτητας.
- Σήματα προειδοποίησης ότι προσεγγίζεται απαγορευτικό σήμα περιορισμένης ορατότητας.

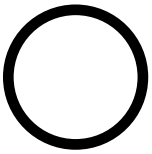
Δίνουμε στις επόμενες παραγράφους τα κυριότερα από τα χρησιμοποιούμενα σήματα.

2.5. Σήματα προστασίας γραμμής



Για να προστατευθεί τμήμα γραμμής ή αλλαγή γραμμής όπου βρίσκεται κάποιο σιδηροδρομικό όχημα, χρησιμοποιείται ως σήμα (Σχήμα 1) τετραγωνική ένδειξη με σταυρό με χρωματισμό ερυθρό και λευκό μπροστά από το οποίο ο μηχανοδηγός υποχρεώνεται σε στάση.
Είναι το αντίστοιχο του ερυθρού της φωτεινής σηματοδότησης.

Σχήμα 1: Σήμα προστασίας γραμμής (υποχρεωτικά στάση). [Γιαννακός, 1999]



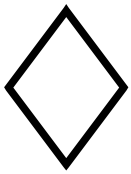
Συχνά πριν από είσοδο του συρμού πρέπει να προκληθεί η προσοχή του μηχανοδηγού, ώστε αυτός να είναι έτοιμος να αντιδράσει στην περίπτωση ύπαρξης προβλήματος. Το χρησιμοποιούμενο σχήμα καλείται δισκόσημα, έχει επίσης χρωματισμό ερυθρό και λευκό (Σχήμα 2) και επιβάλλει στον οδηγό βραδυπορία και πορεία ενόψει, ώστε να μπορεί να ακινητοποιήσει το συρμό πριν από ενδεχόμενο εμπόδιο που θα μπορούσε να εντοπίσει.

Σχήμα. 2 Σήμα προστασίας γραμμής (βραδυπορία). [Γιαννακός, 1999]

Τα σήματα της κατηγορίας αυτής μπορούν να χαρακτηρισθούν ως ατελή, διότι η έλλειψη παραγγελίας των ενδείξεών τους υποχρεώνει τους μηχανοδηγούς να προσεγγίζουν με πορεία ενόψει, ώστε να μπορούν να συμμορφωθούν έγκαιρα σε ενδεχόμενη απαγορευτική ένδειξη, με συνέπειες αφενός απώλεια χρόνου και αφετέρου μείωση της χωρητικότητας της γραμμής.

2.6. Σήματα αναγγελίας στάσης

Για να είναι σε θέση ο μηχανοδηγός να ακινητοποιήσει το συρμό πριν από κάποιο απαγορευτικό σήμα, θα πρέπει λόγω των μεγάλων αποστάσεων στάθμευσης να ειδοποιηθεί έγκαιρα. Για αυτό χρησιμοποιείται ως σήμα ο κίτρινος ρόμβος (Σχήμα 3) που επιβάλλει στο μηχανοδηγό να ρυθμίσει την κίνησή του, ώστε να είναι σε θέση να σταματήσει το συρμό πριν από απαγορευτικό σήμα που ακολουθεί.



Σχήμα. 3: Σήμα αναγγελίας στάσης [Γιαννακός, 1999]

2.7. Σήματα διασφάλισης της κυκλοφορίας μεταξύ διαδοχικών συρμών

Για τη διασφάλιση της κυκλοφορίας μεταξύ διαδοχικών συρμών, θα πρέπει να απέχουν μια ελάχιστη απόσταση. Όπως αναπτύσσουμε στην επόμενη παράγραφο η γραμμή διαιρείται σε τμήματα που καλούνται τμήματα αποκλεισμού (cantons), των οποίων το μήκος δεν μπορεί να είναι μικρότερο από την απόσταση πέδησης για τη μέγιστη ταχύτητα διάνυσης του συγκεκριμένου τμήματος. Μεταξύ διαδοχικών συρμών θα πρέπει να παρεμβάλλεται τουλάχιστον ένα τμήμα αποκλεισμού.

3. Κυκλοφορία συρμών σε γραμμές χωρίς φωτεινή σηματοδότηση.

3.1. Τηλεγραφήματα κυκλοφορίας και εποπτικός πίνακας κυκλοφορίας.

Σε γραμμές χωρίς φωτεινή σηματοδότηση, η ασφαλής κυκλοφορία των συρμών στηρίζεται αφενός στις ανταλλαγές τηλεγραφημάτων μεταξύ των διαδοχικών σταθμών αφετέρου στη συστηματική καταγραφή όλων των κυκλοφοριακών γεγονότων στον εποπτικό πίνακα κυκλοφορίας των σταθμών. Έτσι ο σταθμάρχης κίνησης έχει άμεση και συνεχή ενημέρωση για την κατάσταση κυκλοφορίας.
Τα κυκλοφοριακά γεγονότα που καταγράφονται στον εποπτικό πίνακα κυκλοφορίας είναι:

- Η δίοδος συρμού από τον υπόψη σταθμό (άφιξη, αναχώρηση, διέλευση).
- Η έναρξη και λήξη κατάληψης της γραμμής από συρμό που κυκλοφορεί στο τμήμα που ορίζεται από τους εκατέρωθεν σε υπηρεσία σταθμούς Α-Β.

Η έναρξη κατάληψης τμήματος γραμμής σημαίνεται με την αναγγελία του συρμού και η λήξη κατάληψης με τη βεβαίωση άφιξης του συρμού.

3.2. Αίτηση γραμμής

Έστω ότι ο σταθμός Α θέλει να αποστείλει το συρμό Χ στο σταθμό Β (Α --> Β). Θα πρέπει καταρχήν να υπάρξει διαβεβαίωση από το σταθμό Β ότι ο προηγούμενος συρμός Υ, που εστάλη από το σταθμό Α, ότι έφθασε στον Β. Το σχετικό τηλεγράφημα (Β --> Α) έχει τη μορφή: Αμαξοστοιχία Υ.....έφθασε).
Θα πρέπει ακόμη ο σταθμάρχης του Α να επιβεβαιώσει ότι ο τελευταίος συρμός Ζ που εστάλη από Β --> Α έχει φθάσει στον Α ακέραιος. Τέλος θα πρέπει να διασφαλίσει ότι μέχρι να φθάσει ο προς αποστολή συρμός Χ ακέραιος στο σταθμό Β, κανένας άλλος συρμός δεν θα αποσταλεί από Β --> Α. Για αυτό και απευθύνει προς το σταθμό Β το παρακάτω τηλεγράφημα αίτησης γραμμής (Α --> Β): «Τελευταίος συρμός Ζ από Β....έφθασε την ώρα..... Τηρείστε γραμμή ελεύθερη για συρμό Χ.....»).
Ο σταθμάρχης του Β, εφόσον συμφωνεί στο αίτημα ελεύθερης γραμμής, παίρνει από την πλευρά του τα ενδεικνυόμενα μέτρα. Καταρχήν κρατά στο σταθμό του κάθε συρμό που κατευθύνεται προς Α. Επιβεβαιώνει κατόπιν ότι ο τελευταίος συρμός που έστειλε προς το σταθμό Α είναι πράγματι ο συρμός Ζ που αναφέρεται στο τηλεγράφημα αίτησης γραμμής του σταθμού Α. Τέλος αποστέλλει στο σταθμό Α το τηλεγράφημα (Β --> Α): «Σύμφωνοι....Τελευταίος προς Α συρμός Ζ αναχώρησε ώρα.....Γραμμής ελεύθερη για συρμό Χ...».
Έτσι ο σταθμάρχης του Α, που πρόκειται να αποστείλει το συρμό Χ στο σταθμό Β, έχει τη διαβεβαίωση ότι η γραμμή μεταξύ των σταθμών Α και Β είναι και θα παραμείνει ελεύθερη μέχρι

να ολοκληρωθεί η κίνηση του προς αποστολή συρμού Χ και να φθάσει αυτός ακέραιος στο σταθμό Β.

3.3. Ρύθμιση αλλαγών και αναγγελία αποστολής

Μετά την εξασφάλιση της ελευθερίας της γραμμής μεταξύ Α και Β, ο σταθμάρχης του Α δίνει οδηγίες στον κλειδούχο να διευθετήσει τις αλλαγές προς τη γραμμή αναχώρησης του συρμού Χ. Επιβεβαιώνει επίσης ότι στη γραμμή αναχώρησης ο σημαφόρος της αντίστοιχης πλευράς εισόδου στο σταθμό βρίσκεται σε οριζόντια θέση (που σημαίνει απαγόρευση εισόδου). Την ένδειξη του σημαιοφόρου πρέπει να επιβεβαιώσει επίσης και ο μηχανοδηγός του υπό αναχώρηση συρμού. Πριν ο σταθμάρχης του Α δώσει στο συρμό Χ το σήμα αναχώρησης, αναγγέλλει στο σταθμό Β την αποστολή του συρμού με το παρακάτω τηλεγράφημα (Α --> Β) «Αναγγέλλω αποστολή συρμού Χ...».

3.4. Αφιξη αποσταλέντος συρμού

Ο σταθμάρχης του Β είναι πλέον έτοιμος να υποδεχθεί το συρμό που του απέστειλε ο Α. Δίνει λοιπόν οδηγίες στον κλειδούχο για διευθέτηση της αλλαγής προς τη γραμμή στην οποία αναμένεται η άφιξη του συρμού που εστάλη από το σταθμό Α. Μετά τη διευθέτηση της αλλαγής ανοίγει το σημαφόρο και έτσι ο συρμός Χ μπορεί πλέον να αφιχθεί στο σταθμό Β.

4.- Περιγραφή ενός απλού Συστήματος σύγχρονης Σηματοδότησης

4.1. Ορισμός φωτεινής σηματοδότησης.

Η κυκλοφορία συρμών με βάση τη μηχανική σήμανση παρέχει περιορισμένη ασφάλεια. Η διαδικασία επικοινωνίας μεταξύ διαδοχικών σταθμών με ανταλλαγή τηλεγραφημάτων είναι μεν ασφαλέστερη αλλά χρονοβόρα και περιορίζει σημαντικά την κυκλοφοριακή ικανότητα (χωρητικότητα) της γραμμής. Για αυτό και στις κύριες σιδηροδρομικές γραμμές, η ρύθμιση της κυκλοφορίας γίνεται με τη βοήθεια της φωτεινής σηματοδότησης.
Η φωτεινή σηματοδότηση αποτελεί την ηλεκτρική έκφραση, με τους επιβαλλόμενους περιορισμούς, του Κανονισμού Εκμετάλλευσης της συγκεκριμένης γραμμής. Σε σχέση με τη ρύθμιση κυκλοφορίας με ανταλλαγή τηλεγραφημάτων, η φωτεινή σηματοδότηση αναλαμβάνει με ανάλογο τρόπο και πραγματοποιεί τεχνικά και αυτόματα, και συνεπώς με μεγάλη ταχύτητα και σχεδόν απόλυτη ασφάλεια, όλες τις επιμέρους διαδικασίες που απαιτούνται για την ασφαλή κίνηση των συρμών, υπό την προϋπόθεση φυσικά του απόλυτου σεβασμού του προσωπικού των συρμών προς τα διάφορα φωτεινά σήματα.

4.2. Ρόλος της φωτεινής σηματοδότησης

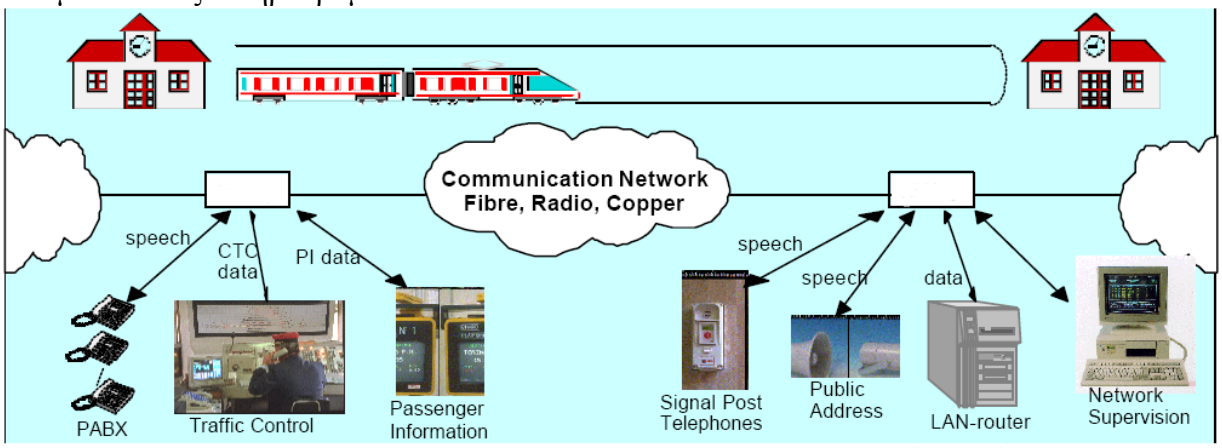
Για τη διασφάλιση της κυκλοφορίας των συρμών επί γραμμής είναι απαραίτητη η ύπαρξη φωτοσημάτων πλησίον της σιδηροδρομικής γραμμής, ο έλεγχος της κυκλοφορίας όλων των συρμών από απομακρυσμένα κέντρα (ΚΕΚ : Κέντρα Ελέγχου Κυκλοφορίας) τα οποία είναι εγκατεστημένα συνήθως σε κύριους Σιδηροδρομικούς Σταθμούς και η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των εμπλεκομένων στη κυκλοφορία και του συρμού.

Η σηματοδότηση καλύπτει με εξοπλισμό επί γραμμής (φωτοσήματα και ηλεκτρικά χειριστήρια αλλαγών τροχιάς) το δρομολόγιο ενός συρμού. Από τη στιγμή που ο συρμός ξεκινήσει το δρομολόγιό του ο Ελεγκτής Κυκλοφορίας πρέπει να γνωρίζει ανά πάσα στιγμή τη θέση του

συρμού, τις θέσεις στάθμευσης και να δίδει εντολές στα «κλειδιά» για την όδευση του συρμού δια της αλλαγής, όπου αυτό είναι απαραίτητο βάσει του δρομολογίου. Η λειτουργία που αναφέραμε είναι εφικτή μέσω της τηλεδιοίκησης.
Με τον όρο Τηλεδιοίκηση εννοούμε την οργάνωση – έλεγχο και διαχείριση της κυκλοφορίας των σιδηροδρομικών γραμμών με απομακρυσμένο χειρισμό από τα Κέντρα Ελέγχου Κυκλοφορίας, σύμφωνα με τις εκάστοτε δικαιοδοσίες. Επίσης μέσω της τηλεδιοίκησης λαμβάνονται πληροφορίες για τις εγκαταστάσεις επί γραμμής (πχ. για τη παύση λειτουργίας μιας λυχνίας φωτοσήματος) και επίσης ανταλλάσσονται πληροφορίες μεταξύ του Ελεγκτή και των Σταθμαρχών που ανήκουν στη δικαιοδοσία του Κ.Ε.Κ (συστήματα αναγγελίας επιβατών κοκ).

Για να υπάρχει Τηλεδιοίκηση πρέπει να υφίστανται τηλεπικοινωνίες. Το δίκτυο τηλεπικοινωνιών ενός σιδηροδρομικού δικτύου δεν αφορά μόνο στη Τηλεδιοίκηση αλλά εξυπηρετεί και άλλες ανάγκες που αφορούν τη λειτουργία του Σιδηροδρόμου, πλην της κυκλοφορίας που αποτελεί τη βασική μέριμνα του Δικτύου.

Στο Σχήμα 4 που ακολουθεί διακρίνονται σχηματικά οι βασικές λειτουργίες ανταλλαγής δεδομένων ενός Σιδηροδρομικούκού Δικτύου.



Σχήμα 4: Δίκτυο Επικοινωνιών Σιδηροδρόμου

Υπάρχουν δύο τύποι δικτύων μετάδοσης μηνυμάτων – «τηλεγραφημάτων» ανάλογα με την τεχνολογία μετάδοσης που χρησιμοποιούν:

- Τα Δίκτυα Εκπομπής (Broadcast)
- Τα Δίκτυα Σημείου προς Σημείο (Point – to – Point)

Τα δίκτυα εκπομπής έχουν ένα μοναδικό δίαυλο επικοινωνίας που τον μοιράζονται όλες οι μηχανές του δικτύου. Αποστέλλονται μικρά μηνύματα (τα επονομαζόμενα και «πακέτα») από μια μηχανή και λαμβάνονται από όλες. Ο κατάλληλος παραλήπτης καθορίζεται από ένα πεδίο διεύθυνσης μέσα στο πακέτο. Κάθε μηχανή που παραλαμβάνει το «πακέτο» εξετάζει τη διεύθυνση και αν αυτή είναι η δική του το επεξεργάζεται, διαφορετικά το αγνοεί.
Τα δίκτυα σημείου προς σημείο, αντίθετα, απαρτίζονται από πολλές συνδέσεις μεταξύ συγκεκριμένων ζευγών μηχανών. Εδώ, για να πάει το πακέτο από την πηγή στον προορισμό του επισκέπτεται διάφορες ενδιάμεσες μηχανές. Όταν υπάρχουν πολλαπλές διαδρομές διαφορετικού μήκους η επιλογή γίνεται από κατάλληλους αλγορίθμους δρομολόγησης. Συνηθίζεται για μικρά και γεωγραφικά περιορισμένα δίκτυα να επιλέγονται τα δίκτυα εκπομπής, ενώ για μεγαλύτερα τα δίκτυα σημείου προς σημείο.

Τα δίκτυα συνηθίζεται να χωρίζονται επίσης, ανάλογα με το μέγεθος τους σε Τοπικά Δίκτυα (LAN – Local Area Network), Μητροπολιτικά Δίκτυα (MAN – Metropolitan Area Network) και Δίκτυα Ευρείας Περιοχής (WAN - Wide Area Network).

Οι δυο βασικές κατηγορίες στις οποίες μπορούμε να χωρίσουμε τα μέσα μετάδοσης δεδομένων (data transmission media) στα δίκτυα επικοινωνιών, είναι τα **ενσύρματα μέσα μετάδοσης** και τα **ασύρματα μέσα μετάδοσης.**
Η βασική διαφορά που χαρακτηρίζει τον τρόπο λειτουργίας για αυτά τα μέσα μετάδοσης, είναι το είδος του σήματος που χρησιμοποιείται στη διαδικασία της επικοινωνίας. Πιο συγκεκριμένα, στα ομοαξονικά και στα συνεστραμμένα καλώδια το σήμα που αποστέλλεται είναι ηλεκτρικής φύσεως, ενώ στην περίπτωση των οπτικών ινών, χρησιμοποιούνται παλμοί φωτός (light pulses) η απουσία των οποίων υποδηλώνει το δυαδικό 0, ενώ η παρουσία τους, το δυαδικό 1. Η χρήση παλμών φωτός αντί για ηλεκτρικό σήμα, απαιτεί την χρήση ειδικών διατάξεων, οι οποίες στο ένα άκρο της γραμμής μετατρέπουν το ρεύμα σε φως, ενώ στο άλλο άκρο μετατρέπουν το φως σε ρεύμα, έτσι ώστε τελικά να είναι δυνατή η επικοινωνία ανάμεσα στα δύο άκρα.

4.3. Τμηματισμός γραμμής (Block Post)

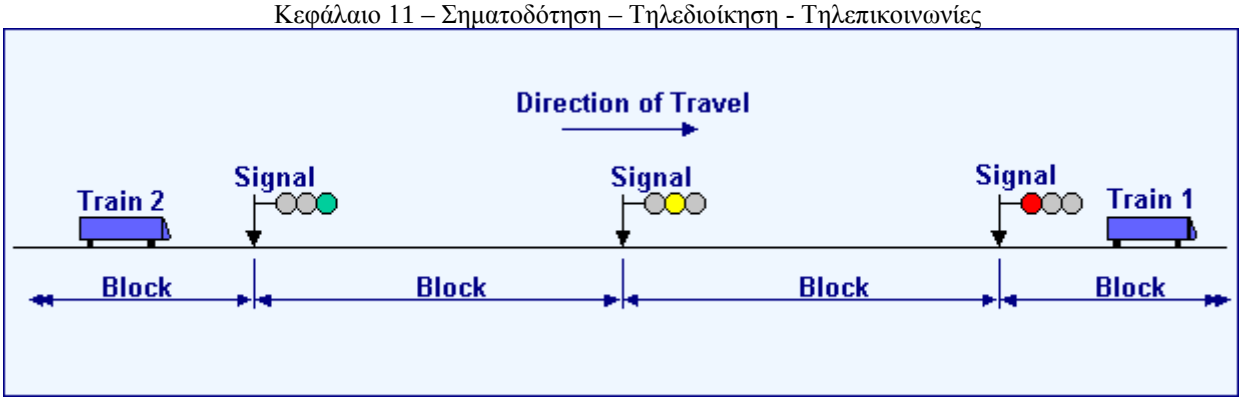
Για το ν έλεγχο της θέσης αλλά και ακεραιότητας ενός συρμού κατά τη διάρκεια του δρομολογίου η σιδηροδρομική γραμμή τμηματίζεται σε block ώστε με τις κατάλληλες διατάξεις (κυκλώματα γραμμής ή μετρητές αξόνων) να είναι εφικτός ανά πάσα στιγμή ο εντοπισμός της θέσης του συρμού σε μια περιοχή της γραμμής που θεωρείται αποκλεισμένη, έτσι ώστε κανένας άλλος συρμός να μην εισέλθει εντός της περιοχής αυτής και προκληθεί ατύχημα.

Έτσι λ.χ. μεταξύ δυο διαδοχικών σταθμών που απέχουν μεταξύ τους 10 Km εγκαθίστανται 5 κυκλώματα γραμμής που ελέγχουν 5 τμήματα μήκους 2 Km έκαστο και τα οποία καλούνται block post (θέσεις αποκλεισμού). Σε κάθε τέτοιο τμήμα υπάρχουν και τα αντίστοιχα φωτοσήματα τα οποία καλούνται φωτοσήματα ακολουθίας.

Με βάση αυτή την απλή λογική ελέγχονται σηματοτεχνικά και τηλεδιοικούνται περιοχές μεταξύ και εντός σιδηροδρομικών σταθμών ή στάσεων.

4.4. Φωτοσήματα Πολλαπλών Ενδείξεων (Multi – Aspect Signal)

Το βασικό φωτόσημα δύο ενδείξεων ερυθρό / πράσινο επαρκεί μόνο σε για κυκλοφορία συρμών χαμηλών ταχυτήτων, ενώ για ταχύτητες άνω των 50km/h ο οδηγός χρειάζεται προειδοποίηση για την ύπαρξη της ερυθράς ένδειξης, ώστε να έχει την απαιτούμενη απόσταση για να μπορεί να σταματήσει.
Έτσι τοποθετούνται φωτοσήματα (τα οποία καλούνται φωτοπροσήματα) αρκετά πριν από το φωτόσημα εισόδου του "block", ώστε να δώσει στον οδηγό μια προειδοποίηση και μία ασφαλή απόσταση πέδησης μέσα στην οποία θα σταματήσει τον συρμό. Το προειδοποιητικό φωτόσημα ενεργοποιείται από ένα τμήμα αποκλεισμού ακόμη πιο πίσω από το φωτόσημα στάσης. Κάθε φωτόσημα μπορεί να έχει την ερυθρά, κίτρινη και πράσινη ένδειξη – δηλαδή είναι ένα φωτόσημα πολλαπλών ενδείξεων.

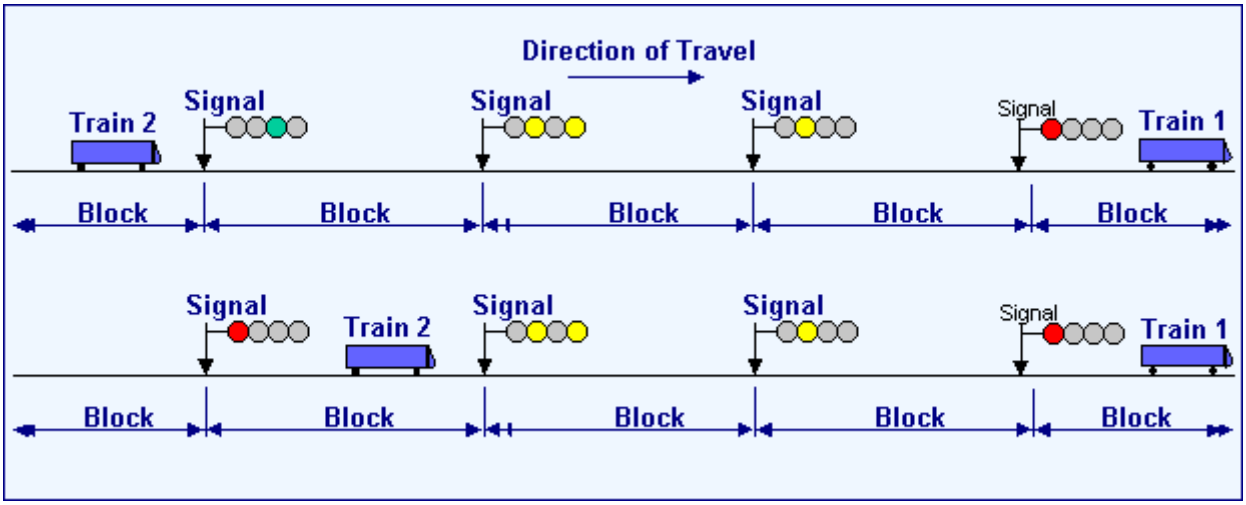


Σχήμα 5 : Φωτοσήματα τριών ενδείξεων

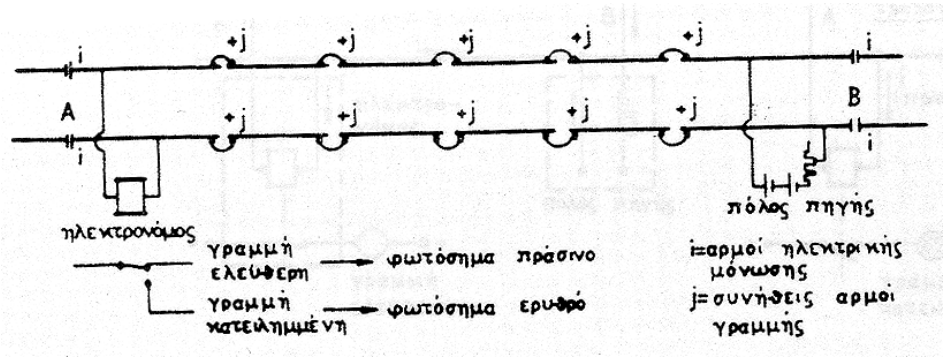
Το παραπάνω διάγραμμα (Σχήμα 5) απεικονίζει μια γραμμή με φωτοσήματα τριών ενδείξεων. Το "block" βρίσκεται υπό κατάληψη από το συρμό 1 και καλύπτεται από το φωτόσημα εισόδου του συγκεκριμένου "block", με την ένδειξη "ερυθρό". Το ακριβώς προηγούμενο "block" είναι ελεύθερο από συρμό αλλά το φωτόσημα εισόδου του έχει την ένδειξη κίτρινο, και παρέχει τη προειδοποίηση για την επόμενη ένδειξη που είναι το ερυθρό. Έτσι με τον τρόπο αυτό παρέχει το ασφαλές διάστημα στο συρμό 2. Το προηγούμενο "block" είναι επίσης ελεύθερο και έχει φωτόσημα με ένδειξη πράσινο. Ο οδηγός του συρμού 2 βλέπει το πράσινο και γνωρίζει ότι έχει κατά ελάχιστο δύο ελεύθερα "block" μπροστά του, έτσι μπορεί να διατηρήσει την μέγιστη επιτρεπτή ταχύτητα μέχρι να συναντήσει την επόμενη ένδειξη που είναι το κίτρινο.

4.5. Σηματοδότηση 4 Ενδείξεων (Four – Aspect Signaling)

Η Σηματοδότηση που χρησιμοποιείται συνήθως είναι το σύστημα με φωτοσήματα τεσσάρων ενδείξεων. Είναι παρόμοιας λειτουργίας με την Σηματοδότηση των τριών ενδείξεων με την διαφορά ότι εδώ απαιτούνται δύο προειδοποιήσεις πριν από την ένδειξη του ερυθρού, μία διπλή ένδειξη κίτρινου και μία απλή. Αυτό γίνεται για δύο λόγους. Πρώτον επιτυγχάνουμε γρηγορότερη προειδοποίηση κυρίως για συρμούς που κινούνται με υψηλή ταχύτητα και δεύτερον έχουμε αύξηση της χωρητικότητας, ελαττώνοντας το μήκος των τμημάτων αποκλεισμού. Οι υψηλής ταχύτητας συρμοί έχουν "προηγμένη" ειδοποίηση από "ερυθρά" φωτοσήματα ενώ ταυτόχρονα οι χαμηλής ταχύτητας συρμοί μπορούν να κυκλοφορούν ο ένας πλησιέστερα στον άλλον με 50 km/h ή αλλιώς, κάτω από την συνθήκη της "διπλής ένδειξης κίτρινου".



Σχήμα 6 : Φωτοσήματα τεσσάρων ενδείξεων



Στα παραπάνω διαγράμματα (Σχήμα 6), το πρώτο μας δείχνει τρία ελεύθερα "block" σε περίπτωση κίνησης συρμών με υψηλές ταχύτητες, ενώ το δεύτερο μας δείχνει δύο ελεύθερα "block" σε περίπτωση κίνησης συρμών με χαμηλή ταχύτητα. Βλέπουμε ότι στην περίπτωση συρμών με χαμηλή ταχύτητα, αυτά μπορούν να κινηθούν έχοντας μικρότερη απόσταση μεταξύ τους, έτσι περισσότεροι συρμοί μπορούν να κινηθούν σε ένα δεδομένο τμήμα γραμμής.

4.6. Έλεγχος κατάληψης γραμμής με κυκλώματα γραμμής

4.6.1. Ορισμός κυκλώματος γραμμής

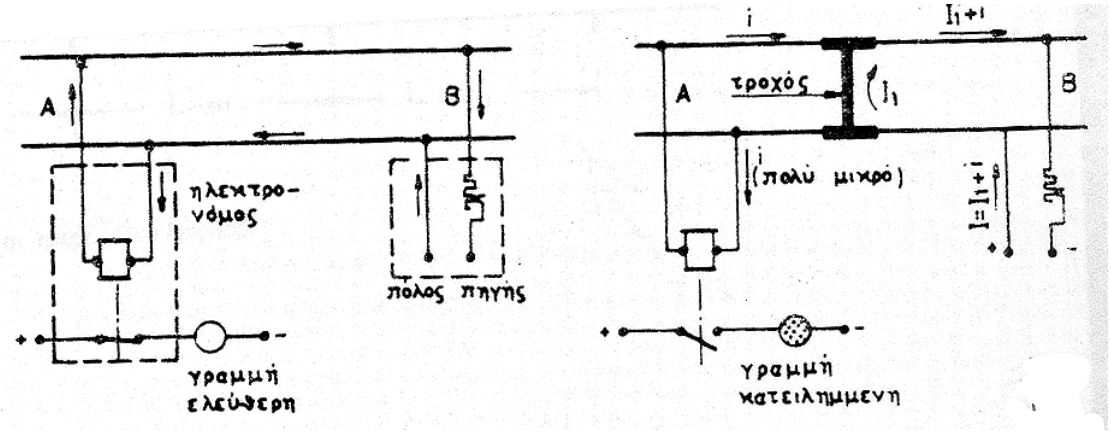
Για να εξασφαλισθεί η κυκλοφορία ενός συρμού είναι απαραίτητος ο εντοπισμός της ύπαρξης ή όχι συρμού σε κάποιο σημείο της γραμμής. Αυτό πετυχαίνεται με τρόπο συνεχή και αυτόματο με τη βοήθεια των κυκλωμάτων γραμμής, που αποτελούν τη βάση της φωτεινής σηματοδότησης.
Το κύκλωμα γραμμής είναι ένα υποσύστημα σιδηροδρομικό που αποτελείται από: (Σχήμα 7):

Σχήμα 7. Στοιχεία ενός κυκλώματος γραμμής [Γιαννακός, 1999]

- τις δύο σιδηροτροχιές ενός τμήματος γραμμής ΑΒ.
- έναν ηλεκτρονόμο στην είσοδο Α και έναν πόλο πηγής στην έξοδο Β.
- τους απαραίτητους αρμούς μόνωσης i των δύο σιδηροτροχιών του τμήματος ΑΒ κατά τη διαμήκη κατεύθυνση, δηλαδή το κάθε τμήμα σιδηροτροχιάς μεταξύ Α-Β είναι μονωμένο ηλεκτρικά ως προς το τμήμα της σιδηροτροχιάς που προηγείται και ακολουθεί.
- τις απαραίτητες διατάξεις ηλεκτρικής μόνωσης κάθε σιδηροτροχιάς από τους στρωτήρες (και συνεπώς και από την άλλη σιδηροτροχιά).

4.6.2. Αρχές λειτουργίας κυκλώματος γραμμής

Το κύκλωμα γραμμής είναι ένα ηλεκτρικό κύκλωμα με γραμμές μεταφοράς τις δύο σιδηροτροχιές και το οποίο ο πόλος πηγής τροφοδοτεί με ρεύμα χαμηλής έντασης. Όταν δεν κυκλοφορεί συρμός στο τμήμα ΑΒ (Σχήμα 8α - αριστερά), τότε το κύκλωμα γραμμής είναι κλειστό και στο σηματοδότη που προηγείται υπάρχει η ένδειξη ότι στο τμήμα ΑΒ που ακολουθεί δεν υπάρχει συρμός.
Μόλις ένας τροχός περάσει από τον ηλεκτρονόμο εισόδου (Σχήμα Σχήμα 8β - δεξιά), καθώς οι τροχοί είναι καλοί αγωγοί του ρεύματος, οι δύο σιδηροτροχιές βραχυκυκλώνονται μέσω των αξόνων, παύει να κυκλοφορεί ρεύμα και το κύκλωμα ανοίγει. Αυτόματα στο σηματοδότη που προηγείται δίνεται η ένδειξη ότι στο τμήμα ΑΒ που ακολουθεί εισήλθε συρμός.

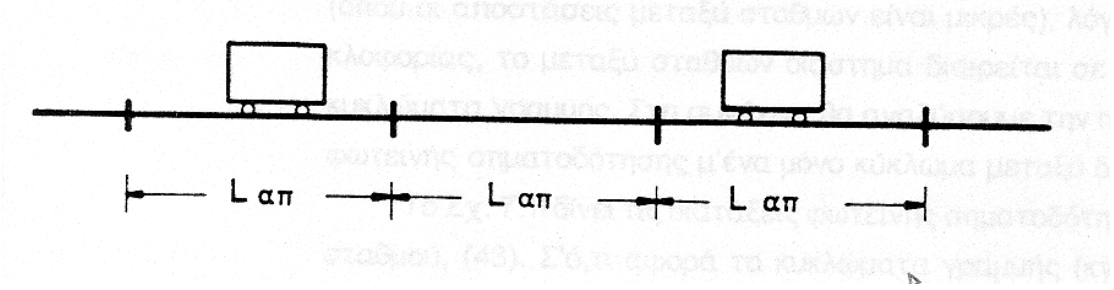


Σχήμα 8: Κύκλωμα γραμμής χωρίς συρμό (α) και με συρμό (β).
(α) Απουσία συρμού (κύκλωμα ανοιχτό)
(β) παρουσία συρμού (κύκλωμα κλειστό) [Γιαννακός, 1999]

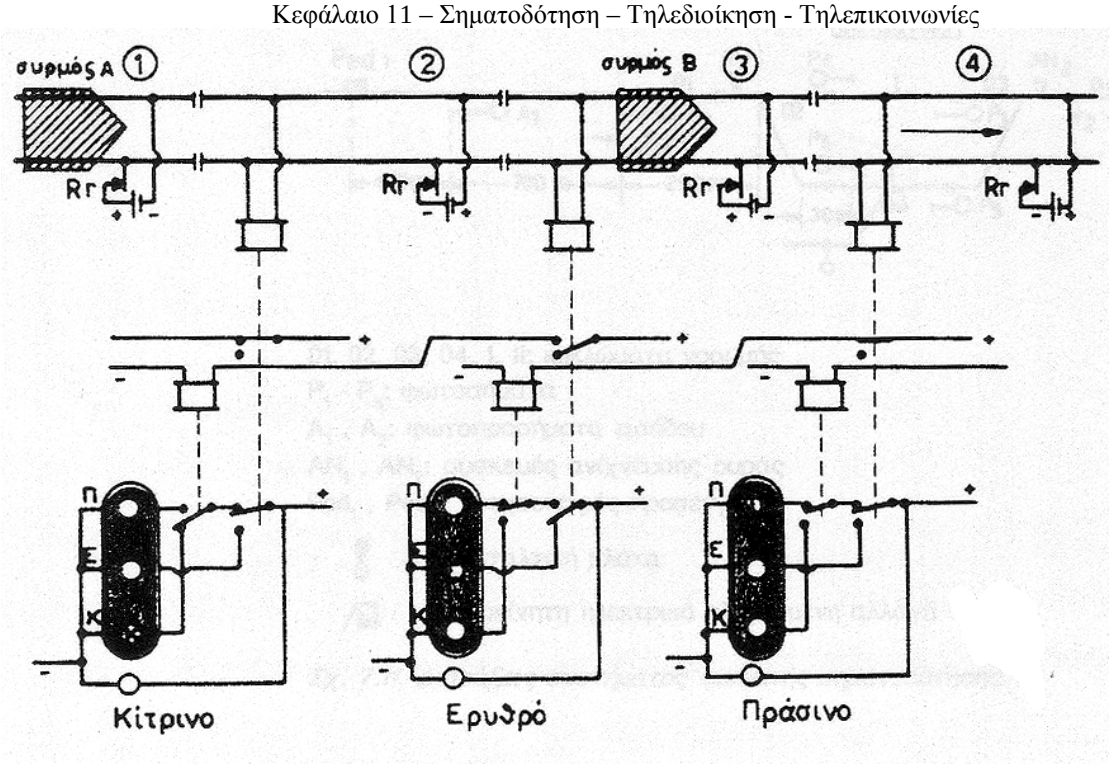
Για να θεωρηθεί όμως αξιόπιστη η ανίχνευση ενός άξονα, θα πρέπει να διέλθουν από τον ηλεκτρονόμο εισόδου τουλάχιστον δύο άξονες.

4.6.3. Το τμήμα αποκλεισμού

Κατά την κυκλοφορία διαδοχικών συρμών προς την ίδια κατεύθυνση, θα πρέπει αυτοί να διαχωρίζονται από μία απόσταση (που καλείται τμήμα αποκλεισμού) τουλάχιστον ίση με την απόσταση πέδησης για τη συγκεκριμένη ταχύτητα.
Στη φωτεινή σηματοδότηση μια γραμμή διαιρείται σε διαδοχικά κυκλώματα γραμμής ΑΒ, που το καθένα συνιστά και τμήμα αποκλεισμού. Μεταξύ διαδοχικών συρμών πρέπει να παρεμβάλλεται τουλάχιστον ένα κύκλωμα γραμμής ελεύθερο (Σχήμα 9). Θεωρούμε τη θέση συρμών όπως φαίνεται στο Σχήμα 10. Το φωτόσημα στο τέλος του κυκλώματος 3 δείχνει πράσινη ένδειξη, στο τέλος του κυκλώματος 2 που προηγείται του 3 δείχνει ερυθρή ένδειξη (απαγόρευση εισόδου), ενώ το πρόσημα στο τέλος του κυκλώματος 1 που προηγείται του 2 δείχνει κίτρινη προειδοποιητική ένδειξη (μείωση ταχύτητας ενόψει ακολουθούντος ερυθρού σήματος).



Σχήμα 9: Διαδοχή συρμών και τμήμα αποκλεισμού. [Γιαννακός, 1999]

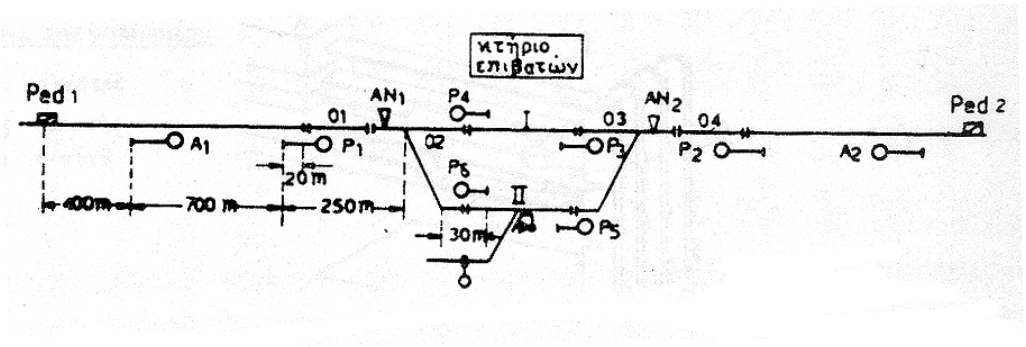


Σχήμα 10: Ενδείξεις φωτεινών σηματοδοτών σε περίπτωση διαδοχικών συρμών. [Γιαννακός, 1999]

4.6.4. Μορφές κυκλωμάτων γραμμής

Το διάστημα μεταξύ διαδοχικών σταθμών μπορεί να διαιρεθεί σε ένα ή περισσότερα κυκλώματα γραμμής. Για αποστάσεις σταθμών 10-20 km, είναι αρκετό ένα κύκλωμα γραμμής. Για μεγαλύτερες όμως αποστάσεις και για κυκλοφορία πυκνή, η μεταξύ σταθμών απόσταση διαιρείται σε περισσότερα από ένα κυκλώματα γραμμής. Τέλος στους μητροπολιτικούς και προαστειακούς σιδηροδρόμους (όπου οι αποστάσεις μεταξύ σταθμών είναι μικρές) λόγω της πυκνότητας κυκλοφορίας, το μεταξύ σταθμών διάστημα διαιρείται σε περισσότερα από ένα κυκλώματα γραμμής. Στη συνέχεια θα αναλύσουμε την περίπτωση συστήματος φωτεινής σηματοδότησης με ένα μόνο κύκλωμα μεταξύ διαδοχικών σταθμών.
Το Σχήμα 11 δίνει τις διατάξεις φωτεινής σηματοδότησης στην περιοχή ενός σταθμού. Σε ότι αφορά τα κυκλώματα γραμμής ενός σταθμού, αυτά διακρίνονται σε:

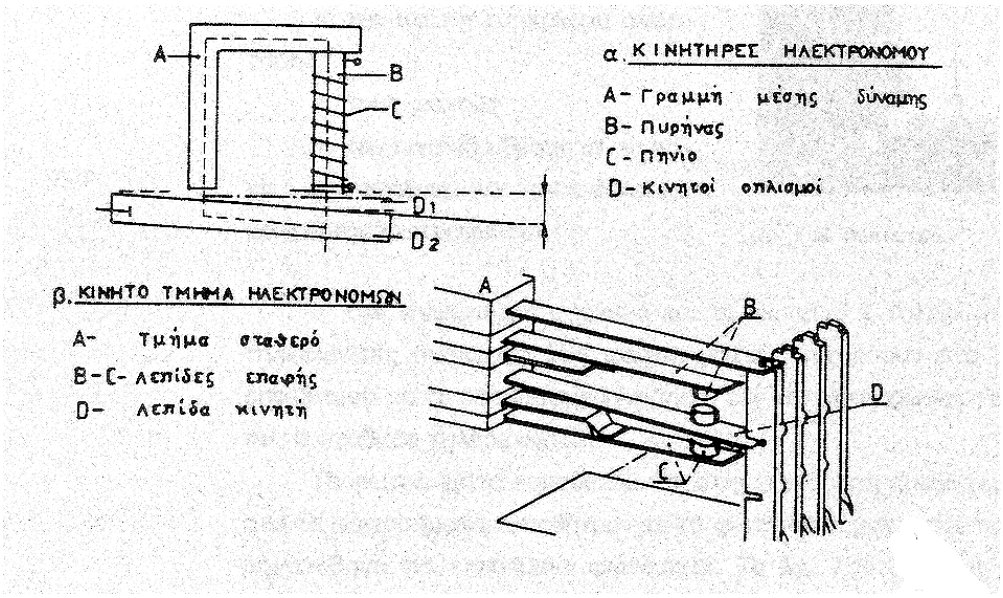
- Κύκλωμα γραμμής μόνιμης κατάληψης. Χαρακτηρίζεται έτσι το πρώτο μετά από κάθε φωτόσημα εισόδου κύκλωμα γραμμής (Σχήμα 11):
- Κύκλωμα γραμμής αλλαγών. Χαρακτηρίζεται έτσι το κύκλωμα γραμμής που ακολουθεί το κύκλωμα γραμμής μόνιμης κατάληψης και περιέχει όλες τις ηλεκτρικά ελεγχόμενες αλλαγές κάθε πλευράς του σταθμού (02, 03).
- Κύκλωμα γραμμής στάθμευσης. Είναι το κύκλωμα γραμμής στην περιοχή που σταθμεύουν οι συρμοί που φθάνουν στο σταθμό (I,II).



Σχήμα 11: Διατάξεις συστήματος φωτεινής σηματοδότησης [Γιαννακός, 1999]

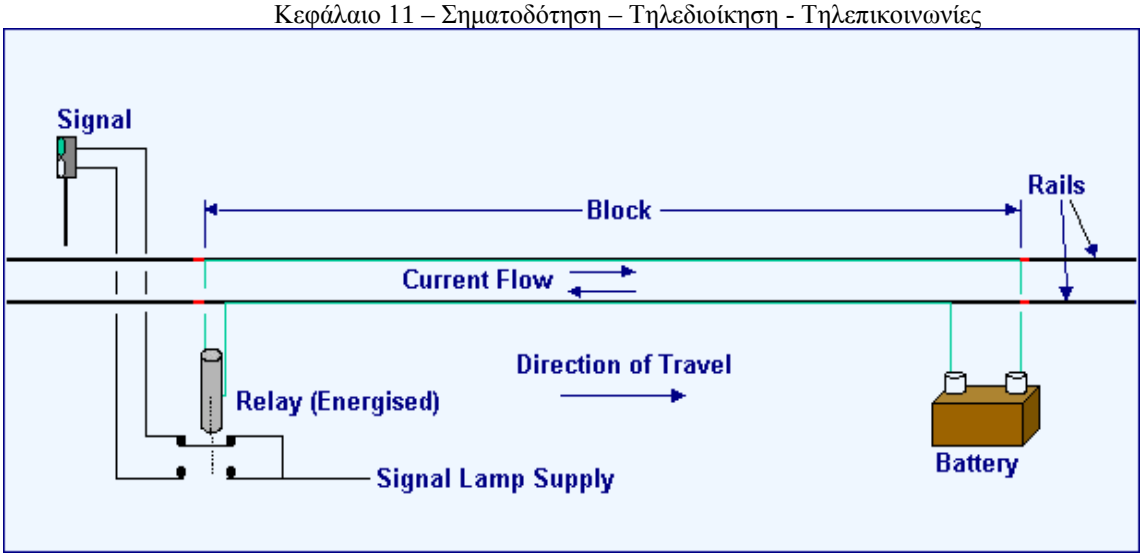
4.6.5. Εξοπλισμός ηλεκτρονόμου κυκλώματος γραμμής

Ενας ηλεκτρονόμος συντίθεται από τέσσερα τμήματα: τον κινητήρα (Σχήμα 12), τον εξοπλισμό, την έδραση και την καλύπτρα.



Σχήμα 12: Εξοπλισμός α: κινητήρα, β: κινητού τμήματος ηλεκτρονόμου [Γιαννακός, 1999]

Η παρουσία ενός συρμού σε ένα τμήμα αποκλεισμού (block) εντοπίζεται συνήθως από τα "κυκλώματα γραμμής". Οι περισσότερες κύριες ευρωπαϊκές σιδ/κές γραμμές με μέτριο έως και υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο είναι εξοπλισμένες με έγχρωμα φωτοσήματα που λειτουργούν αυτόματα ή ημιαυτόματα μέσω κυκλωμάτων γραμμής. Όταν το κύκλωμα γραμμής εντοπίζει έναν συρμό, το φωτόσημα έχει ένδειξη "ερυθρό". Αν δεν υπάρχει κανένας εντοπισμός συρμού το φωτόσημα έχει ένδειξη "πράσινο" (ή κίτρινο, σε περιοχή φωτοσημάτων πολλαπλών ενδείξεων)

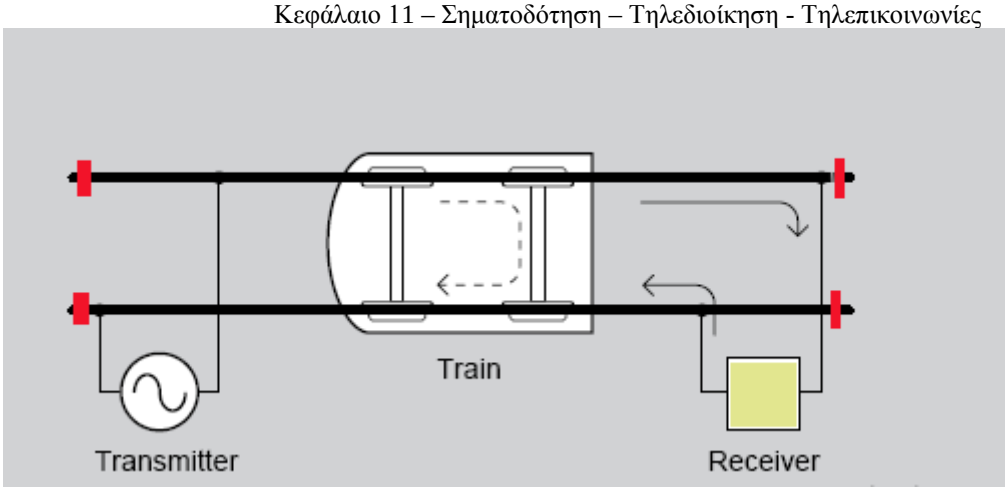


Σχήμα 13 : Σχηματικό διάγραμμα κυκλώματος γραμμής

Το παραπάνω Σχήμα 13 παρουσιάζει την εφαρμογή των κυκλωμάτων γραμμής σε ένα τμήμα αποκλεισμού ή block της γραμμής. Από μία μπαταρία εφαρμόζεται χαμηλή τάση σε μία από τις σιδηροτροχιές και επιστρέφει διαμέσου της άλλης σιδηροτροχιάς. Ένας ηλεκτρονόμος στην είσοδο του τμήματος της γραμμής εντοπίζει την τάση και ενεργοποιεί την σύνδεση με την πηγή τροφοδοσίας της πράσινης λυχνίας του φωτοσήματος.

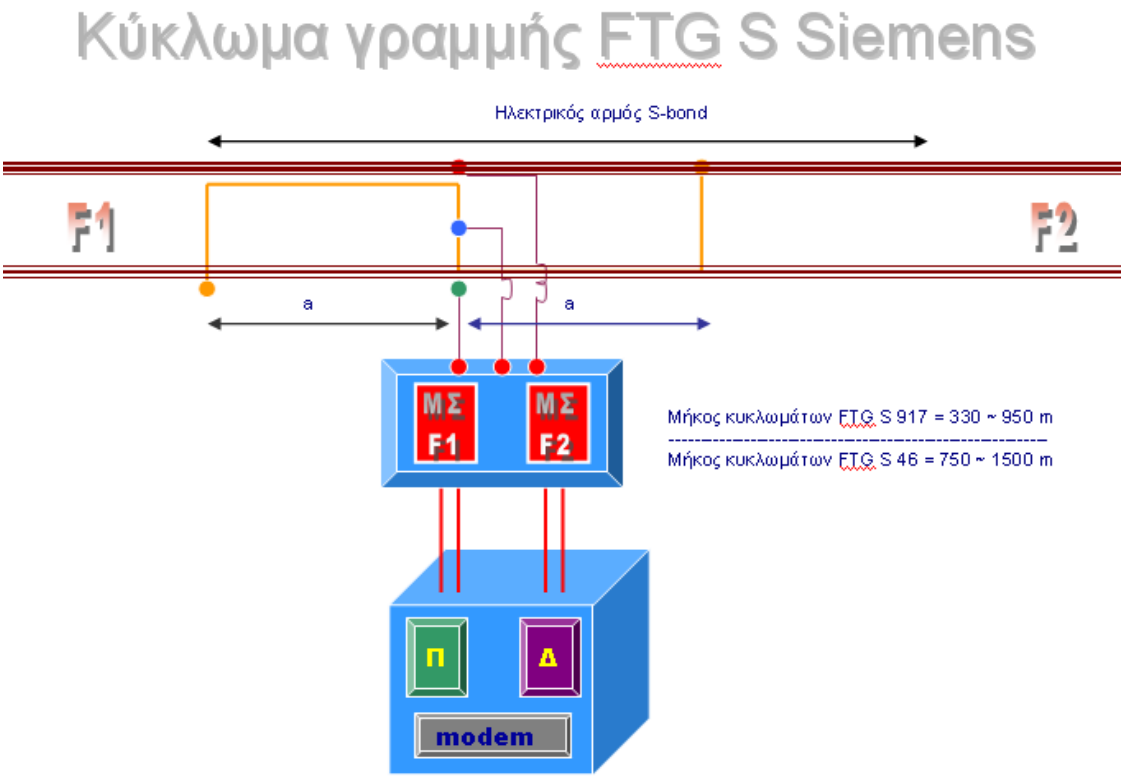
Στην περίπτωση που υπάρχει συρμός στο τμήμα αποκλεισμού (block), οι εμπρόσθιοι τροχοί δημιουργούν βραχυκύκλωμα, με αποτέλεσμα να απενεργοποιείται ο ηλεκτρονόμος ο οποίος μεταπίπτει σε αδρανειακή θέση και έτσι να έχουμε σύνδεση της παροχής με την "ερυθρά" λυχνία του φωτοσήματος. Το σύστημα είναι απολύτου ασφαλείας (fail-safe) ή ζωτικό γιατί η οποιαδήποτε διακοπή του ηλεκτρ. κυκλώματος προκαλεί μετάπτωση του φωτοσήματος σε ένδειξη κινδύνου (ερυθρό).

Το παραπάνω διάγραμμα απεικονίζει πολύ απλά τα κυκλώματα γραμμής. Στην πραγματικότητα είναι πιο σύνθετα. Ένα τμήμα αποκλεισμού (block) είναι συνήθως ηλεκτρικά ανεξάρτητο από το γειτονικό τμήμα, με την παρεμβολή μονωτικών αρμών στις σιδηροτροχιές. Εντούτοις πιο πρόσφατες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούν ηλεκτρονικές διατάξεις που επιτρέπουν την λειτουργία κυκλωμάτων γραμμής χωρίς μονωτικούς αρμούς (αλλά "ηλεκτρονικούς αρμούς"). Υπάρχουν κάποιες επίσης περιοχές που διαθέτουν πρόσθετα κυκλώματα που επιτρέπουν την διατήρηση της ερυθράς ένδειξης με χειροκίνητο χειρισμό από την τράπεζα σηματοδότησης ή από το κέντρο Τηλεδιοίκησης ακόμα και αν το τμήμα αποκλεισμού είναι ελεύθερο από συρμό. Αυτά είναι γνωστά ως "ημιαυτόματα" φωτοσήματα. Ακόμη πιο σύνθετες σηματοδοτήσεις απαιτούνται σε σιδ/κούς κόμβους. Στο σχήμα 14 που ακολουθεί δίδεται διαγραμματικά η αρχή λειτουργίας ενός «σύγχρονης τεχνολογίας» κυκλώματος γραμμής που χρησιμοποιεί πομπό και δέκτη κωδικοποιημένων σημάτων αντί για ηλεκτρονόμους.



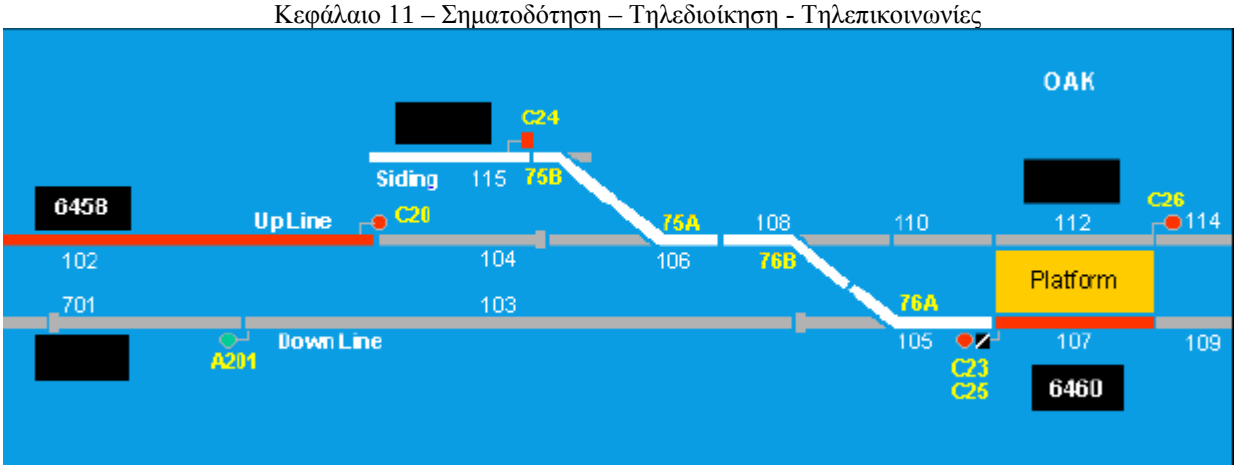
Σχήμα 14 : Αρχές λειτουργίας ενός κυκλώματος γραμμής.

Το τμήμα γραμμής είναι ηλεκτρικά μονωμένο από τα γειτονικά τμήματα, είτε μέσω μονωτικών αρμών είτε μέσω ηλεκτρικών αρμών (βλ. Σχήμα 15). Ο πομπός του κυκλώματος γραμμής στέλνει μέσω σιδηροτροχιών κωδικοποιημένα ηλεκτρικά σήματα τα οποία λαμβάνει ο δέκτης του κυκλώματος.



Σχήμα 15 : Ενδεικτική διάταξη κυκλώματος γραμμής τύπου FTGS.

Όταν οι τροχοί του τρένου πατήσουν στις σιδηροτροχιές τότε δημιουργείται βραχυκύκλωμα και το ηλεκτρικό σήμα που εκπέμπεται από τον πομπό δεν μπορεί να «φτάσει» στον δέκτη με αποτέλεσμα να φαίνεται στο Κέντρο Ελέγχου Κυκλοφορίας και συγκεκριμένα στο μιμικό διάγραμμα (βλ. Σχήμα 16) ότι το τμήμα γραμμής τελεί υπό κατάληψη.

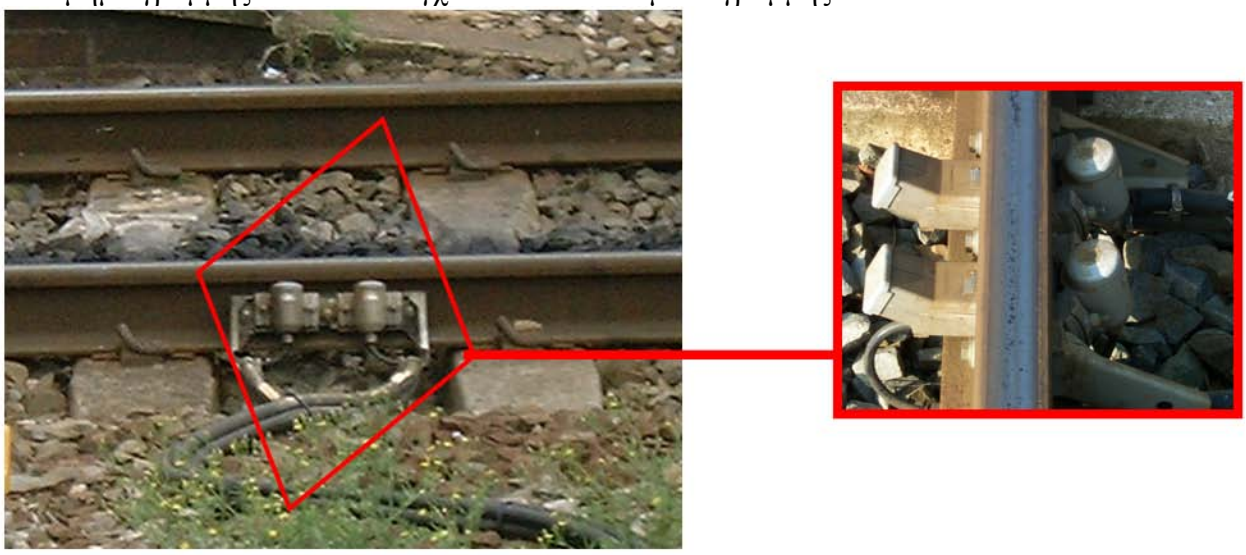


Σχήμα 16 : Ένδειξη κατάληψης σε μιμικό διάγραμμα.

Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνονται και οι αριθμήσεις των block που ελέγχονται από κυκλώματα γραμμής.

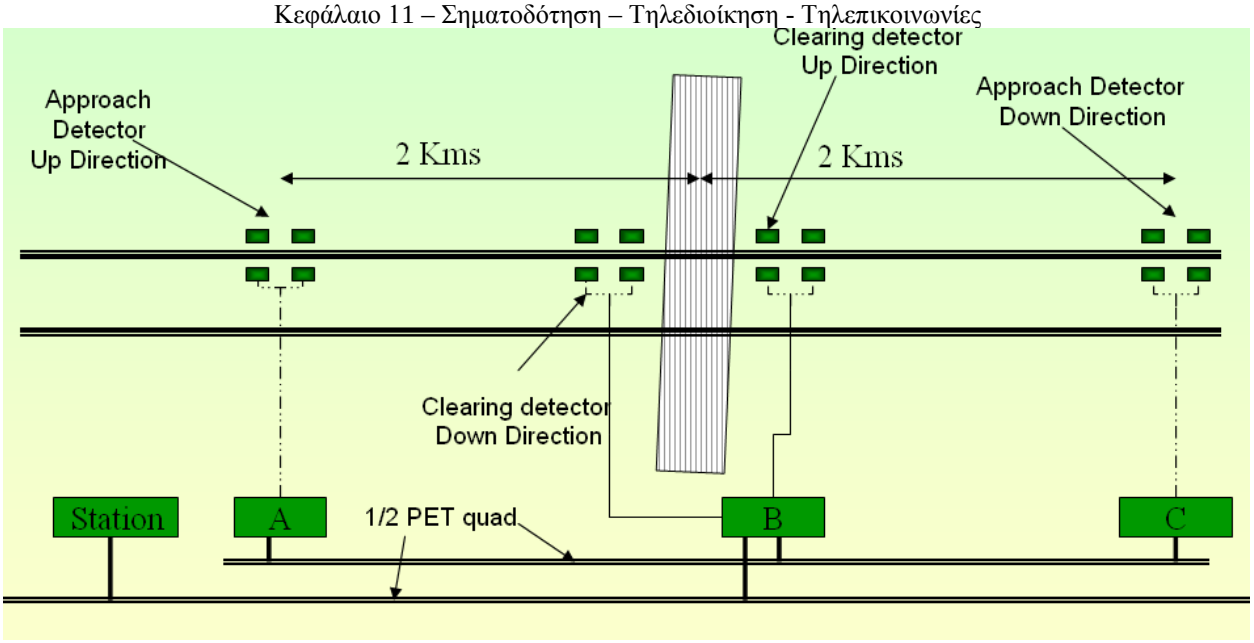
4.7. Έλεγχος κατάληψης γραμμής με μετρητές αξόνων

Μια άλλη τεχνολογία ανίχνευσης συρμού είναι αυτή των μετρητών αξόνων. Πρόκειται στην ουσία για μια συσκευή που τοποθετείται επί γραμμής και χρησιμοποιείται για την ανίχνευση του αριθμού των τροχών ενός συρμού (βλ. Σχήμα 17). Σε μια σηματοδότηση που χρησιμοποιεί κυκλώματα γραμμής είναι δυνατή η χρήση κλασσικού μετρητή αξόνων ο οποίος χρησιμοποιείται για την επαλήθευση του αριθμού των αξόνων ενός συρμού που καταλαμβάνει ένα τμήμα γραμμής το οποίο ελέγχεται από κυκλώματα γραμμής.



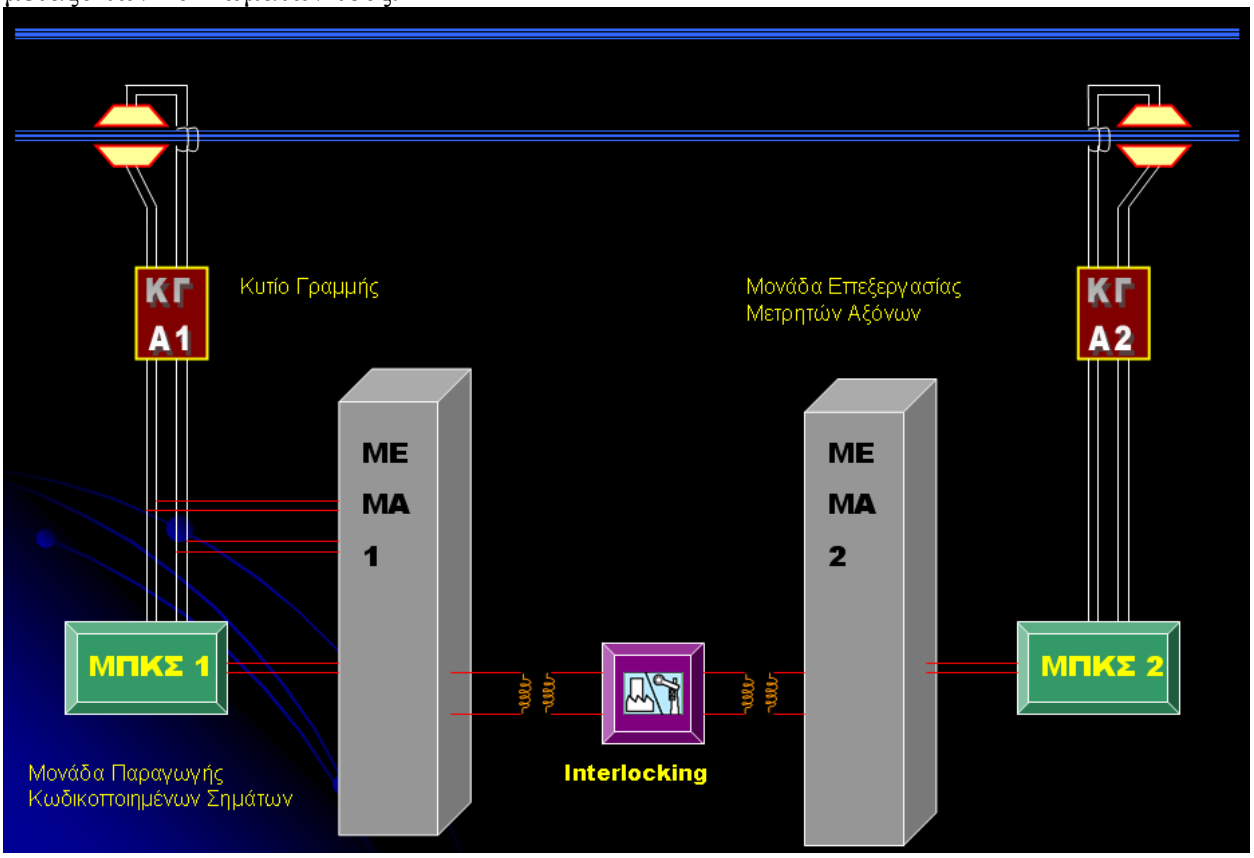
Σχήμα 17 : Μετρητής αξόνων επί γραμμής.

Για τον έλεγχο τμημάτων γραμμής χρησιμοποιούνται διατάξεις μετρητές αξόνων οι οποίες τοποθετούνται επί γραμμής σε κατάλληλες θέσεις (βλ. Σχήμα 18) και ελέγχουν την κατάληψη – απελευθέρωση των τμημάτων.



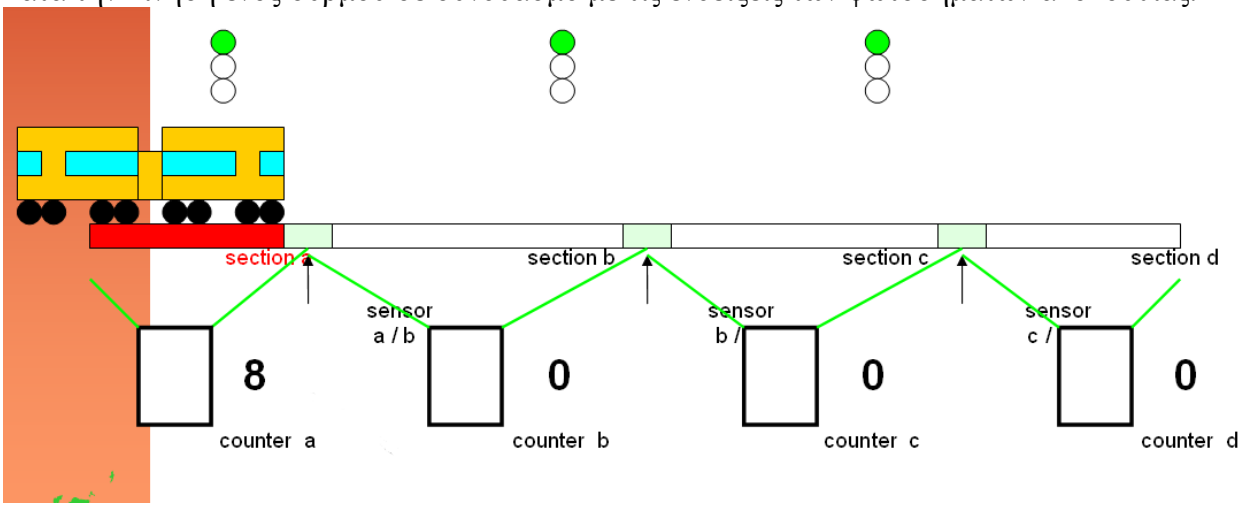
Σχήμα 18 : Έλεγχος μονής γραμμής με διατάξεις μετρητών αξόνων.

Οι συσκευές των μετρητών αξόνων τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να ελέγχονται οι θέσεις αποκλεισμού ανεξαρτήτως της κατεύθυνσης του συρμού. Στην ουσία πρόκειται για διατάξεις συσκευών και λογισμικού, που χρησιμοποιούν μονάδες παραγωγής κωδικοποιημένων σημάτων (βλ. Σχήμα 19) και περιλαμβάνουν ζεύγος συνδέσεων μεταξύ κυρίας και εξαρτημένης μονάδας (master/slave), σύνδεση με modem και χρήση μετασχηματιστών μεταλλικής απομόνωσης μεταξύ των κυκλωμάτων τους.

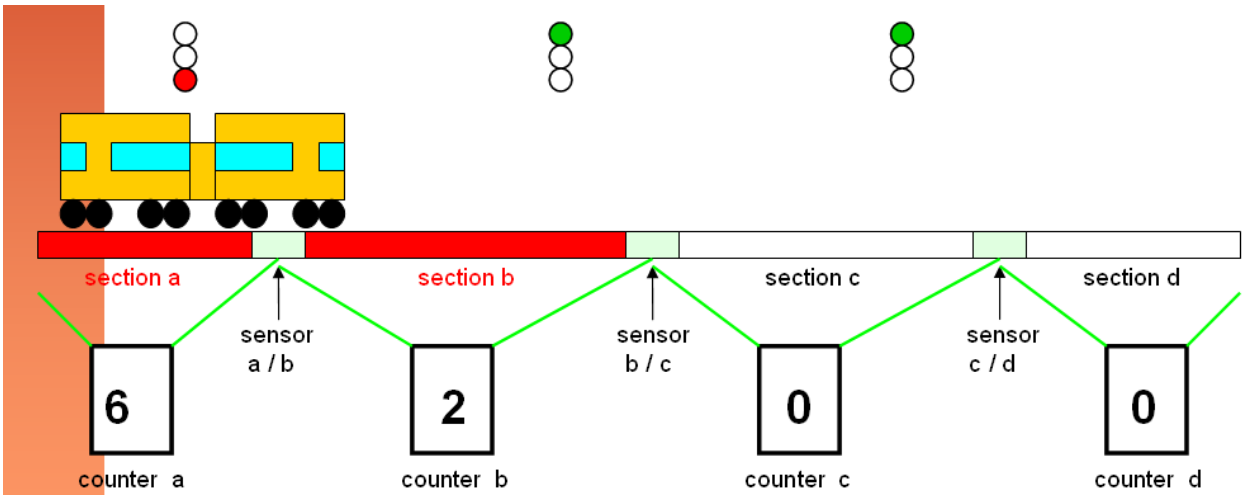


Σχήμα 19 : Λειτουργική διάταξη μετρητών αξόνων.

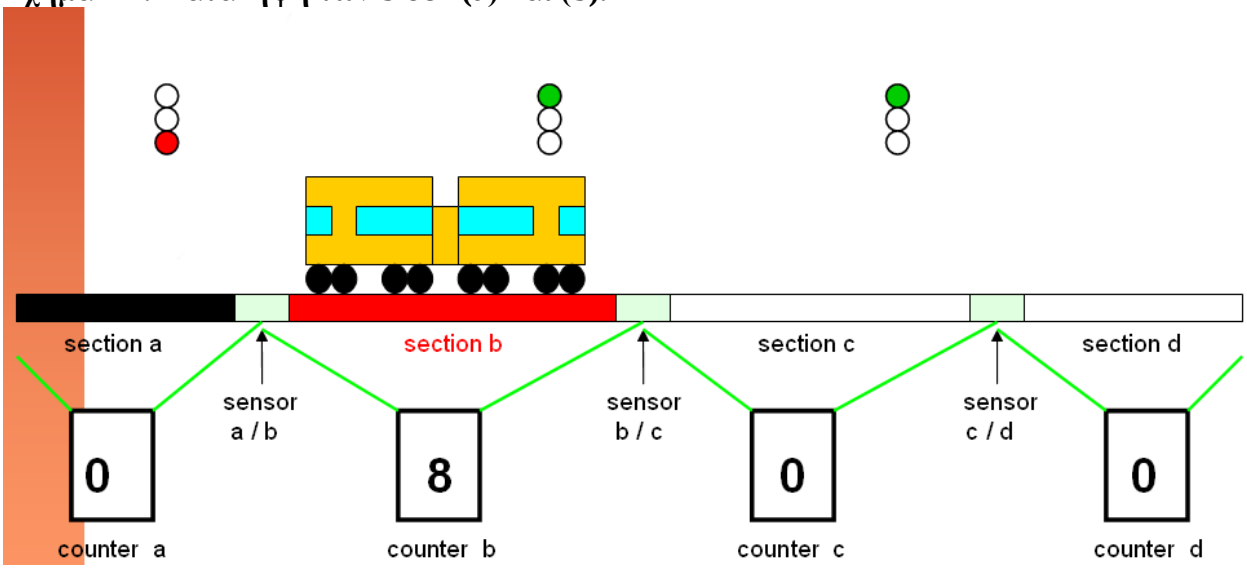
Στα Σχήματα 20 έως 26 που ακολουθούν παριστάνονται τα βήματα ελέγχου τμημάτων γραμμής κατά την κίνηση ενός συρμού σε συνδυασμό με τις ενδείξεις των φωτοσημάτων ακολουθίας.



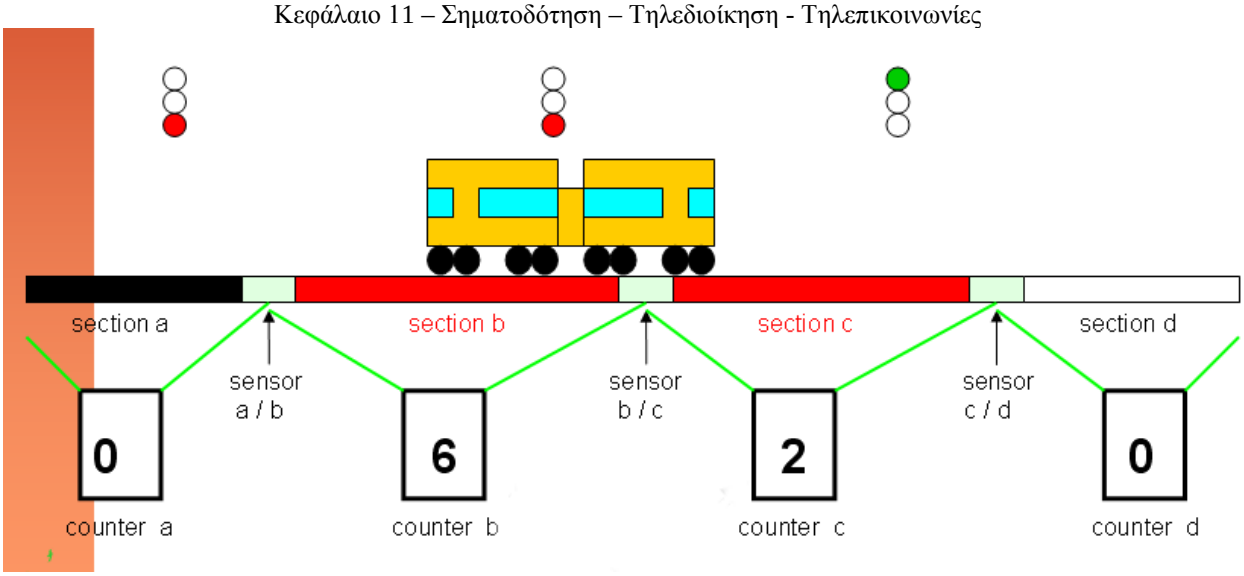
Σχήμα 20 : Κατάληψη του block (a).



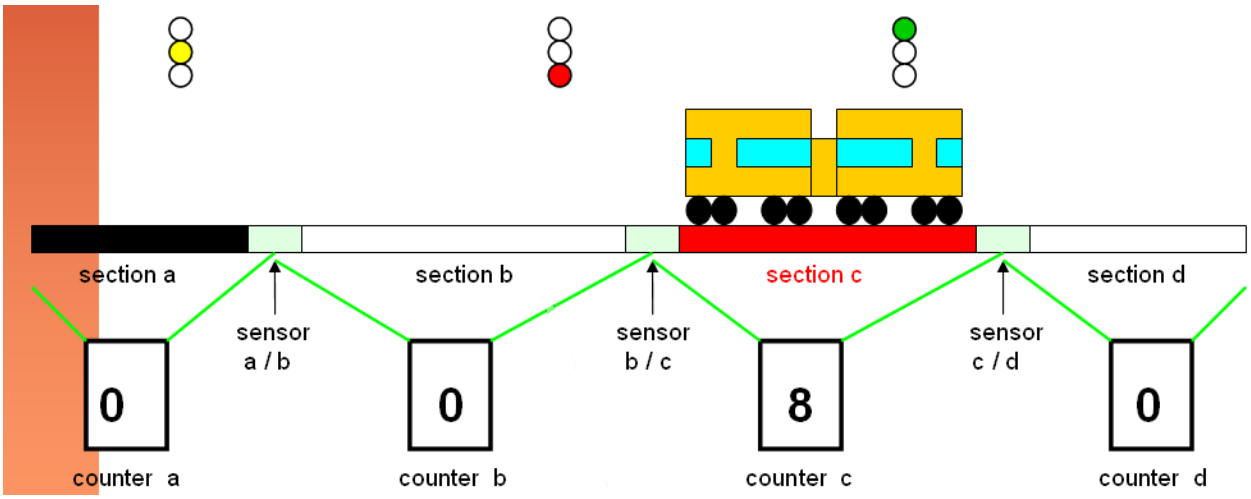
Σχήμα 21 : Κατάληψη των block (a) και (b).



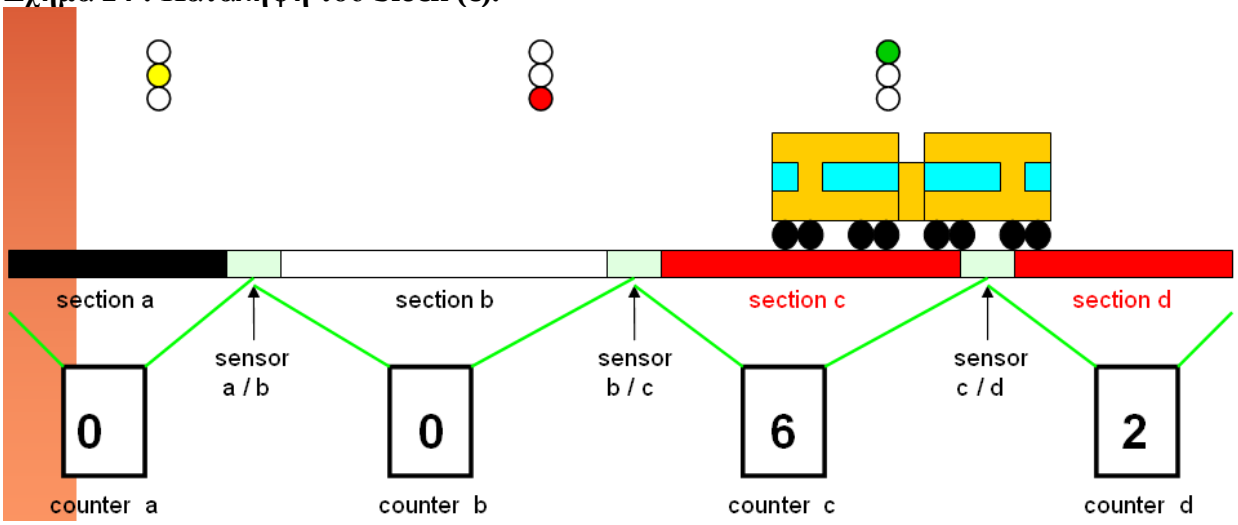
Σχήμα 22 : Κατάληψη του block (b) και απελευθέρωση του block (a).



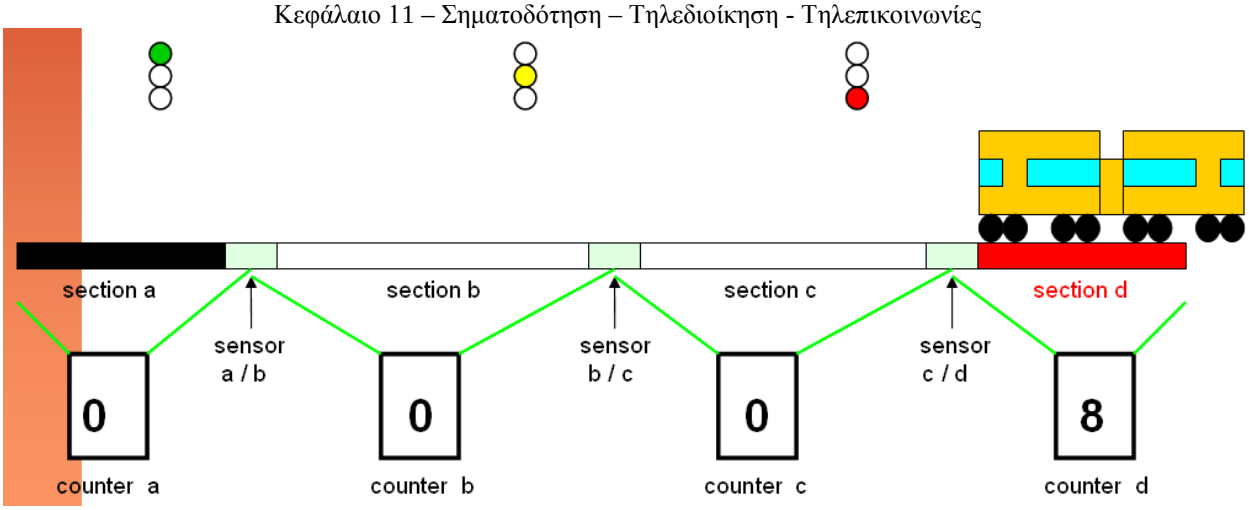
Σχήμα 23 : Κατάληψη των block (b) και (c).



Σχήμα 24 : Κατάληψη του block (c).



Σχήμα 25 : Κατάληψη των block (c) και (d), απελευθέρωση του τμήματος (b).



Σχήμα 26 : Κατάληψη του block (d), απελευθέρωση του τμήματος (c).

4.8. Σηματοδότηση Σιδ/κού Σταθμού

4.8.1. Φωτοσήματα

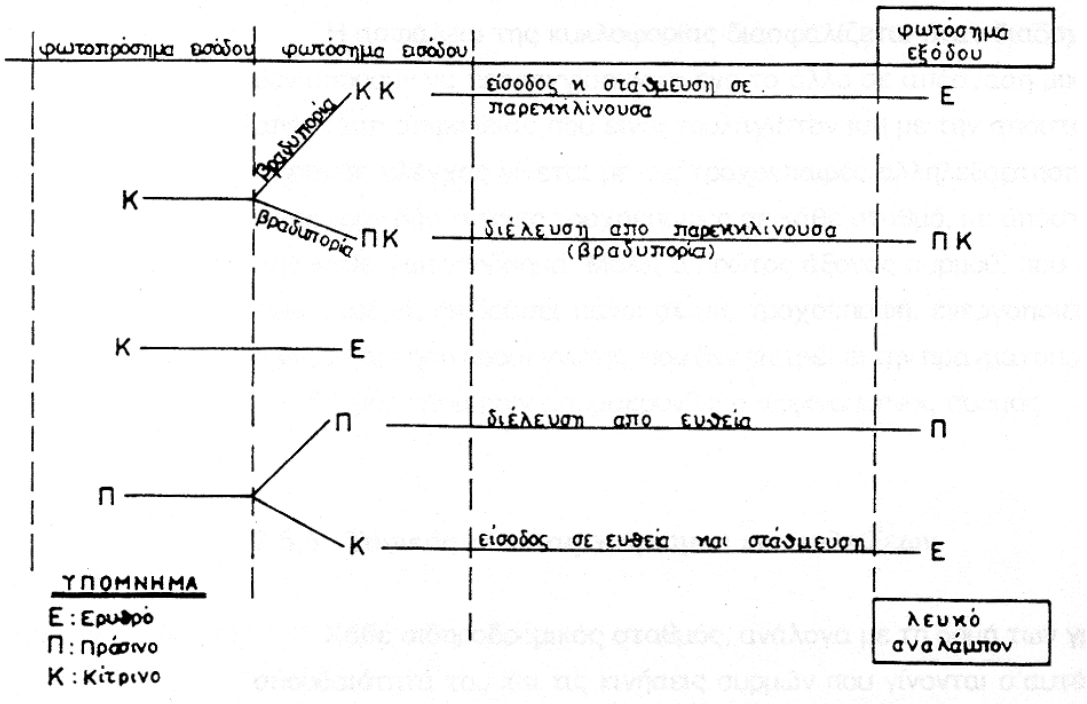
Ενα φωτόσημα αποτελείται από:

- Τον ιστό ή το ικρίωμα ανάρτησης.
- Τους φανούς.
- Την πινακίδα θέσης με τα αρχικά του σταθμού και τον ενδεικτικό αριθμό του φωτοσήματος.
- Την τηλεφωνική συσκευή και το φωτεινό Τ τηλεφωνικής κλήσης. Οι τηλεφωνικές συσκευές των φωτοσημάτων επιτρέπουν στο μηχανοδηγό να επικοινωνεί με το σταθμάρχη κίνησης ή τον κεντρικό χειριστή στην περίπτωση που ο σταθμός τηλεδιοικείται.

Τα φωτοσήματα τοποθετούνται στην είσοδο και έξοδο του σταθμού. Πριν από τα κύρια φωτοσήματα τοποθετούνται τα φωτοσήματα, που προειδοποιούν το μηχανοδηγό για επικείμενο κύριο φωτόσημα.

4.8.2. Διατάξεις ελέγχου αλλαγών γραμμής

Σε ένα σύστημα φωτεινής σηματοδότησης, οι χρησιμοποιούμενες αλλαγές είναι συνήθως ηλεκτροκίνητες και η θέση τους ελέγχεται αυτόματα. Είναι ωστόσο δυνατόν ορισμένες αλλαγές (συνήθως δευτερεύουσας σημασίας) να είναι χειροκίνητες, που όμως και αυτών η θέση ελέγχεται υποχρεωτικά με ηλεκτρικό τρόπο.



Σχήμα 27: Συσχέτιση ενδείξεων φωτοπροσήματος εισόδου-φωτοσήματος εισόδου-φωτοσήματος εξόδου. [Γιαννακός 1999]

4.8.3. Ανιχνευτές ακεραιότητας συρμού

Η είσοδος των πρώτων αξόνων ενός συρμού σε ένα κύκλωμα γραμμής δεν διασφαλίζει ότι εισήλθε ολόκληρος ο συρμός, τμήμα του οποίου πιθανόν να αποκόπηκε κατά την πορεία. Για αυτό και ελέγχεται η ακεραιότητα ενός συρμού με την εξής διαδικασία. Στην ουρά κάθε συρμού υπάρχει μόνιμος μαγνήτης. Σε κάθε είσοδο σταθμού, μετά το σήμα εισόδου, υπάρχει η λεγόμενη συσκευή ανίχνευσης ουράς. Πρόκειται για ηλεκτρομαγνητική συσκευή που βρίσκεται πάνω στη γραμμή και διεγείρεται μόλις διέλθει από πάνω της ο μόνιμος μαγνήτης της ουράς του συρμού. Με αυτό τον τρόπο ελέγχεται ότι ο συρμός εισήλθε ακέραιος.

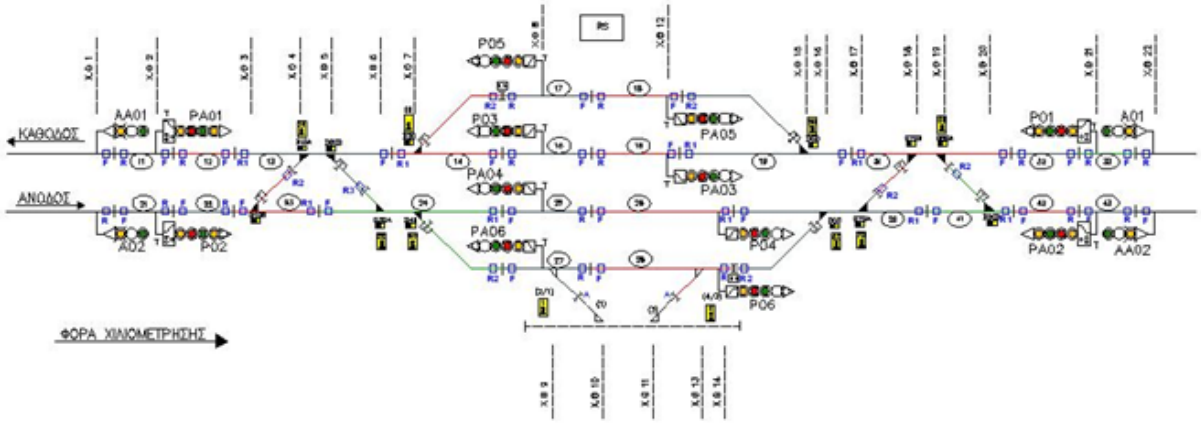
4.8.4. Τροχοεπαφές αλληλεξάρτησης προσέγγισης

Η ασφάλεια της κυκλοφορίας διασφαλίζεται όταν διαδοχικά δρομολόγια δεν μπορούν να προσεγγίσουν το ένα το άλλο σε απόσταση μικρότερη από μια απόσταση ασφαλείας η οποία είναι τουλάχιστο ίση με την απόσταση πέδησης. Ο σχετικός έλεγχος γίνεται με τις τροχοεπαφές αλληλεξάρτησης προσέγγισης. Υπάρχουν δύο τέτοιες τροχοεπαφές σε κάθε σταθμό, σε απόσταση 400 m πριν από κάθε φωτοπρόσημα. Μόλις ο πρώτος άξονας συρμού, που προσεγγίζει κάποιο σταθμό, επιδράσει πάνω σε μια τροχοεπαφή, ενεργοποιείται η λεγόμενη αλληλεξάρτηση προσέγγισης, που δεν επιτρέπει την πραγματοποίηση του επόμενου δρομολογίου πριν απομακρυνθεί ο αφικνούμενος συρμός.

4.8.5. Τοπικός πίνακας χειρισμού και ενδείξεων

Κάθε σιδηροδρομικός σταθμός, ανάλογα με τη δομή των γραμμών του, τη σπουδαιότητά του και τις κινήσεις συρμών που γίνονται σε αυτόν, διαθέτει τον κατάλληλο τοπικό πίνακα χειρισμού και ενδείξεων.
Στον τοπικό πίνακα απεικονίζονται με σαφή σχηματική μορφή η διάταξη των γραμμών και αλλαγών και με τις κατάλληλες φωτεινές ενδείξεις η κατάσταση των φωτοσημάτων και η κατάληψη ή μη γραμμών ή κυκλωμάτων γραμμής. Τέλος στον τοπικό πίνακα επισημαίνονται με φωτεινές ενδείξεις ενδεχόμενες βλάβες ή ανωμαλίες του συστήματος σηματοδότησης.
Οι διάφοροι χειρισμοί του τοπικού πίνακα γίνονται πατώντας συγκεκριμένα πλήκτρα, μέσω των οποίων ο σταθμάρχης προβαίνει στη χάραξη ενός δρομολογίου, στη χορήγηση γραμμής, στη δέσμευση φωτοσήματος εξόδου, κ.λπ. Στον τοπικό πίνακα υπάρχουν ορισμένες ενδείξεις οι οποίες υπό κανονικές συνθήκες είναι σφραγισμένες. Οταν όμως συμβεί κάποια βλάβη, με αποσφραγισμό των ενδείξεων αυτών είναι δυνατή η αποκατάσταση της κανονικότητας του συστήματος.

4.8.6. Σηματοδότηση Σταθμού



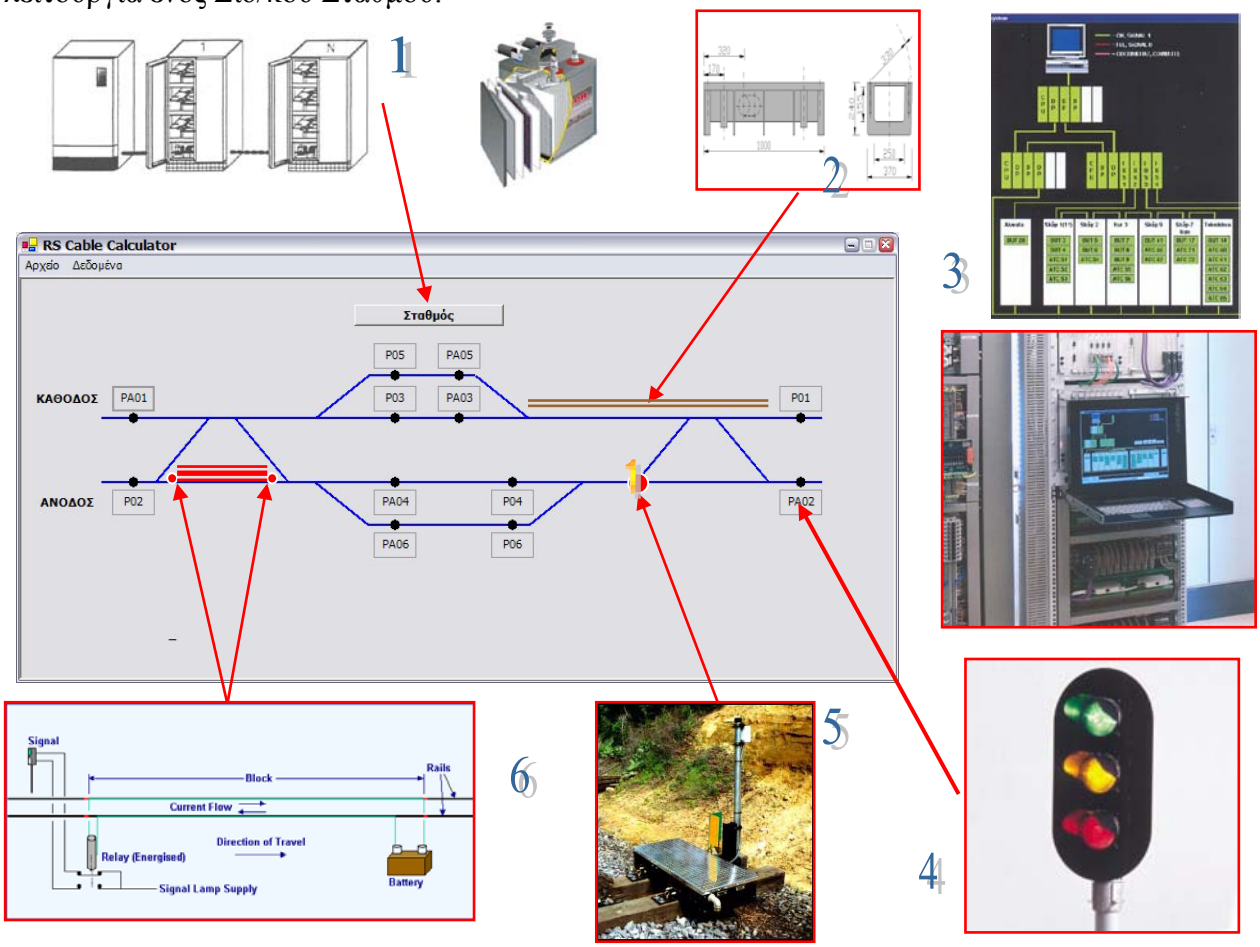
Σχήμα 28 : Τυπικό σχέδιο σηματοδότησης Σιδηροδρομικού Σταθμού.

(α) **(β)**

Σχήμα 29 : Μονωτικός αρμός (α) – εκτροχιαστής (β)

Στα Σχήματα 28 και 29 που ακολουθούν απεικονίζονται οι θέσεις των φωτοσημάτων και του εξοπλισμού γραμμής (κυκλώματα γραμμής, μονωτικοί αρμοί, χειριστήρια αλλαγών, επαγωγικοί σύνδεσμοι και εκτροχιαστές).

Στο Σχήμα 30 φαίνεται ενδεικτικά ο εξοπλισμός που απαιτείται για την σηματοτεχνική λειτουργία ενός Σιδ/κού Σταθμού.



Σχήμα 30 : Εξοπλισμός ενός Σιδηροδρομικού Σταθμού

(1) : Διατάξεις εφεδρικής τροφοδοσίας εντός του κτιρίου Σταθμού που απαρτίζονται από UPS, συσσωρευτές και Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος.
(2) : καλωδιοφορέας μέσω του οποίου οδεύουν τα καλώδια τροφοδοσίας των συσκευών γραμμής, τα καλώδια τηλεδιοίκησης - τηλεπικοινωνιών.
(3) : ερμάριο ελέγχου εντός του Κέντρου Ελέγχου Κυκλοφορίας
(4) : Φωτοσήματα
(5) : Χειριστήριο αλλαγής
(6) : Κυκλώματα γραμμής

5. Κλασσική Τηλεδιοίκηση

5.1. Αρχές λειτουργίας

Για τον καλύτερο συντονισμό και εποπτεία ενός μεγάλου τμήματος γραμμής ή πολλών διαδοχικών συρμών χρησιμοποιείται το σύστημα τηλεδιοίκησης που επιτρέπει τον κεντρικό έλεγχο της κυκλοφορίας. Ετσι λίγοι χειριστές είναι αρκετοί για να ρυθμίσουν και την πιο πυκνή κυκλοφορία στη διάρκεια του εικοσιτετραώρου.
Ολες οι πληροφορίες ενός τηλεδιοικούμενου σταθμού μεταφέρονται με κατάλληλες διατάξεις και απεικονίζονται στον κεντρικό πίνακα (Σχήμα 31.). Ετσι ο κεντρικός χειριστής έχει πλήρη εικόνα της κατάστασης όλων των σταθμών της περιοχής του καθώς και των γραμμών (θέσεις

συρμών, ενδείξεις φωτοσημάτων, κυκλώματα γραμμής που είναι κατειλημμένα, θέσεις αλλαγών κ.λπ). Η ενημέρωση του κεντρικού πίνακα γίνεται αυτόματα και ταχύτατα μέσω ειδικών κωδικοποιημένων σημάτων υψηλής αξιοπιστίας.
Ο κεντρικός χειριστής διαθέτει έναν πίνακα χειρισμού με διάφορα πλήκτρα και στέλνει, με τη βοήθεια κωδικοποιημένων σημάτων υψηλής αξιοπιστίας, τις απαραίτητες εντολές στους σταθμούς που εποπτεύει. Δηλαδή ο κεντρικός χειριστής χειρίζεται κάθε σταθμό σαν να ήταν ο ίδιος ο σταθμάρχης και σαν να βρισκόταν επιτόπου. Ο σταθμάρχης που παίρνει μια εντολή από τον κεντρικό χειριστή ελέγχει αν οι συνθήκες ασφαλείας του σταθμού και της γραμμής επιτρέπουν την υλοποίησή τους και κατόπιν την πραγματοποιεί.

5.2. Εξοπλισμός

Το **Κέντρο Ελέγχου Κυκλοφορίας (ή Τηλεδιοίκησης)** αποτελείται από:

- το σύνολο των χειριστηρίων οργάνων για τη διαβίβαση εντολών στις δορυφορικές θέσεις. Ως τέτοιες νοούνται οι σταθμοί, οι διακλαδώσεις, οι θέσεις αποκλεισμού, οι διαγώνιοι επικοινωνίας σε τμήματα διπλής γραμμής κ.λπ. Κάθε δορυφορική θέση, που είναι μη επανδρωμένη, διαθέτει ηλεκτρική εγκατάσταση ασφαλείας τηλεδιοικούμενου τύπου.
- το σύνολο των διατάξεων ελέγχου, που επιτρέπουν κάθε στιγμή τη διαπίστωση της κατάστασης της κυκλοφορίας και την επιβεβαίωση ότι οι εντολές που διαβιβάστηκαν έφθασαν πραγματικά στις θέσεις που απευθύνονταν. Η κύρια διάταξη ελέγχου είναι ο φωτεινός κεντρικός πίνακας τηλεδιοίκησης (Σχήμα 4.6.7.2.).

5.3. Τηλεδιοίκηση και ασφάλεια κυκλοφορίας

Θα πρέπει να επισημανθεί ότι οι διατάξεις τηλεχειρισμού και ελέγχου, που διαθέτει ο κεντρικός χειριστής, δεν αποτελούν εγκαταστάσεις ασφαλείας, αλλά απλό μέσο διαβίβασης εντολών και λήψης των αντίστοιχων ελέγχων. Η ασφάλεια της κυκλοφορίας σε κάθε περίπτωση κατοχυρώνεται:

- Στις δορυφορικές θέσεις από την τοπική εγκατάσταση ασφαλείας, που επιτρέπει το άνοιγμα των φωτοσημάτων μόνο εφόσον πληρούνται όλες οι απαραίτητες συνθήκες ασφαλείας.
- Στην ανοικτή γραμμή από το σύστημα αυτόματου αποκλεισμού, που ρυθμίζει τη διαδοχή των συρμών τόσο σε διπλή όσο και σε μονή γραμμή.

5.4. Διατάξεις ηλεκτρικής τροφοδοσίας

Η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία του συστήματος φωτεινής σηματοδότησης εξασφαλίζεται από το εθνικό δίκτυο διανομής και μέσω μετασχηματιστών, ανορθωτών και άλλων τροφοδοτικών διατάξεων κατανέμεται στις διάφορες καταναλώσεις ως εξής:

- Εναλλασσόμενο ρεύμα 150V, 83,3Hz: τροφοδοσία κυκλωμάτων γραμμής, φωτεινών Τ και αντιστάσεων θέρμανσης ηλεκτροκίνητων χειριστηρίων αλλαγών.
- Εναλλασσόμενο ρεύμα 130V, 83,3Hz: τοπική τροφοδοσία κυκλωμάτων γραμμής.
- Εναλλασσόμενο ρεύμα 24V, 83,3Hz: τροφοδοσία ενδείξεων τοπικών πινάκων και ηχητικών σημάτων.
- Εναλλασσόμενο ρεύμα 220V, 83,3Hz: τροφοδοσία συστήματος τηλεδιοίκησης.
- Συνεχές ρεύμα 144V: τροφοδοσία ηλεκτροκίνητων αλλαγών.
- Συνεχές ρεύμα 150-120V: τροφοδοσία φωτεινών ενδείξεων σηματοδοτών.

- Συνεχές ρεύμα 48V: τροφοδοσία κυκλωμάτων ελέγχου αλλαγών, κυκλωμάτων ελέγχου τροχοεπαφών προσέγγισης.
- Συνεχές ρεύμα 24V: τροφοδοσία κυκλωμάτων εντολής δρομολογίων και εσωτερικών κυκλωμάτων της αίθουσας ηλεκτρονόμων.

Σε περίπτωση διακοπής της τροφοδοσίας από το εθνικό δίκτυο διανομής, τίθεται αυτομάτως σε λειτουργία ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος σε κάθε σταθμό.
Τέλος σε περίπτωση προβλημάτων λειτουργίας του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους, η τροφοδοσία του συστήματος φωτεινής σηματοδότησης εξασφαλίζεται με αυτόματη μεταγωγή σε συστοιχία συσσωρευτών.

5.5. Διαδικασία κυκλοφορίας συρμών σε σύστημα φωτεινής σηματοδότησης

Με τη βοήθεια των κυκλωμάτων γραμμής είναι εύκολο να εντοπισθεί η παρουσία συρμού σε ένα οποιοδήποτε σημείο γραμμής. Ετσι πριν τη χάραξη δρομολογίου από έναν σταθμό στον επόμενο, το σύστημα φωτεινής σηματοδότησης ελέγχει αυτόματα με κατάλληλα ηλεκτρικά κωδικοποιημένα σήματα ότι η γραμμή μεταξύ των υπόψη σταθμών είναι και θα παραμείνει ελεύθερη από κάθε κυκλοφορία. Χαράσσεται κατόπιν το δρομολόγιο, με αποκλεισμό ταυτόχρονα της δυνατότητας να χαραχθεί άλλο δρομολόγιο μη συμβιβαστό.
Ο χειριστής του συστήματος φωτεινής σηματοδότησης κατοχυρώνει με αυτόματο ηλεκτρικό τρόπο τις απαραίτητες προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούνται για την ασφαλή κυκλοφορία ενός συρμού. Οι προϋποθέσεις αυτές καλούνται και αλληλεξαρτήσεις ασφαλείας και οι κυριότερες από αυτές είναι:

5.5.1. Αλληλεξάρτηση δρομολογίου

Κατά την υποδοχή (ή αναχώρηση) συρμού, στο δρομολόγιο εισόδου (ή εξόδου) δεσμεύονται οι αλλαγές στις θέσεις που ρυθμίσθηκαν από το δρομολόγιο και εμποδίζεται οποιαδήποτε τροποποίηση της θέσης τους πριν ολοκληρωθεί η προβλεφθείσα κίνηση του συρμού.

5.5.2. Αλληλεξάρτηση μονής γραμμής

Όταν στο μεταξύ σταθμών διάστημα εγκαθίσταται ένα μόνο κύκλωμα γραμμής, τότε η κυκλοφορία συρμού μεταξύ σταθμών συνεπάγεται αποκλεισμό κάθε δυνατότητας για κυκλοφορία άλλου συρμού.

5.5.3. Αλληλεξάρτηση προσέγγισης

Δεν επιτρέπεται σε συρμό να προσεγγίζει εκτελούμενο δρομολόγιο σε απόσταση μικρότερη από την απόσταση πέδησης. Η αλληλεξάρτηση προσέγγισης ενεργοποιείται:

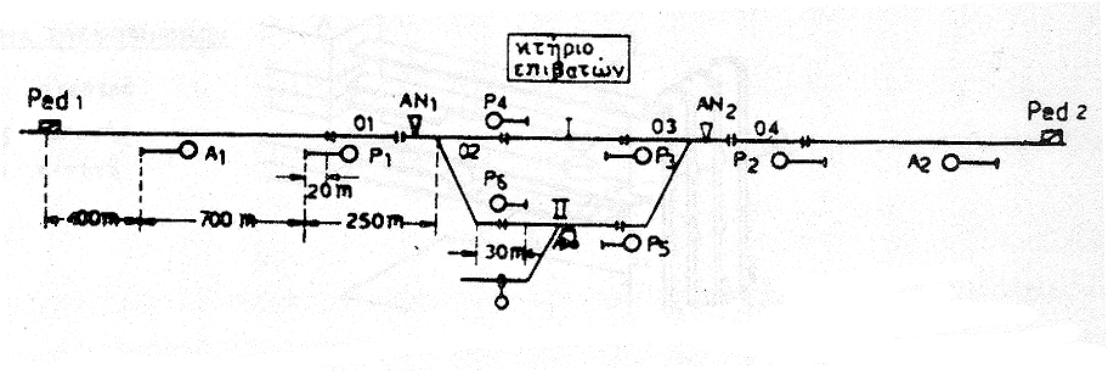
- Στα δρομολόγια άφιξης, μόλις ο συρμός επιδράσει στην τροχοεπαφή προσέγγισης (που βρίσκεται σε απόσταση 400 m από το φωτόσημο).
- Στα δρομολόγια αναχώρησης, με την παρουσία του συρμού στο κύκλωμα γραμμής στάθμευσης που προηγείται του φωτοσήματος εξόδου του δρομολογίου.

5.5.4. Αλληλεξάρτηση αντίθετων δρομολογίων

Δεν επιτρέπεται στην περιοχή των σταθμών η χάραξη δρομολογίων αντίθετης φοράς.

5.5.5. Αλληλεξάρτηση ελεύθερης διέλευσης

Σε διαδοχικά δρομολόγια άφιξης και αναχώρησης επιβάλλεται το δρομολόγιο άφιξης να προηγείται του δρομολογίου αναχώρησης.



Σχήμα 31: Τηλεδιοικούμενος σταθμός

Πίνακας 1: Συμβιβαστά και ασυμβίβαστα μεταξύ τους δρομολόγια.

	1-3	1-5	3-2	5-2	2-4	2-6	4-1	6-1
1-3		X		X	X	X	X	X
1-5	X		X		X	X	X	X
3-2	X	X		X	X	X		
5-2	X	X	X		X	X		
2-4	X	X	X	X		X		X
2-6	X	X	X	X	X		X	
4-1	X	X			X	X		X
6-1	X	X			X	X	X	

☐ *Δρομολόγια συμβιβαστά*

X *Δρομολόγια συμβίβαστα*

5.5.6. Αλληλεξάρτηση φωτοσημάτων

Για να διασφαλισθεί η αλληλουχία μεταξύ των διαφόρων ενδείξεων των φωτοσημάτων υπάρχουν οι παρακάτω εξαρτήσεις:

- Ανοιγμα φωτοσήματος μόνο μετά την ενεργοποίηση της αλληλεξάρτησης δρομολογίου.
- Αυτόματο κλείσιμο φωτοσήματος με την κατάληψη ενός δρομολογίου.
- Επιλογή κατά το άνοιγμα φωτοσήματος εκείνης της ένδειξης που αντιστοιχεί στη θέση των αλλαγών.
- Διαδοχή ενδείξεων των φωτοσημάτων σύμφωνα με τον Κανονισμό.
- Αυτόματη μετάπτωση ένδειξης που σβήνει (π.χ λόγω βλάβης) σε ένδειξη ανώτερου βαθμού ασφαλείας. Ετσι π.χ. σβήσιμο του κίτρινου σε φωτόσημα εισόδου προκαλεί

αυτόματο άναμμα του ερυθρού και ταυτόχρονα μετάπτωση του πράσινου φωτοπροσήματος σε κίτρινο.

5.5.7. Συμβιβαστά και ασυμβίβαστα δρομολόγια

Με βάση τα προηγούμενα χαράζονται για κάθε περίπτωση τα συμβιβαστά και ασυμβίβαστα μεταξύ τους δρομολόγια. Για τη διάταξη γραμμών του σχήματος 31 ο πίνακας 1 δίνει ποιά δρομολόγια είναι μεταξύ του συμβιβαστά και ασυμβίβαστα.

6. Το Ευρωπαϊκό Σύστημα Διαχείρισης της Σιδηροδρομικής Κυκλοφορίας (ERTMS[1])

6.1. Πλαίσιο και Αναγκαιότητα δημιουργίας

Όπως και στους άλλους τύπους μέσων μεταφοράς, η μέθοδος διαχείριση της κυκλοφορίας αποτελεί ένα θέμα αυξημένης σημαντικότητας και στο σιδηρόδρομο, ώστε να είναι δυνατή η παροχή φιλικών και κυρίως οικονομιών υπηρεσιών στους πελάτες – χρήστες του συστήματος. Οι σιδηρόδρομοι χρειάζεται να παρέχουν ταχύτητα και άνεση όχι μόνο για τους συρμούς μεγάλων ταχυτήτων, αλλά και για όλα τα τρένα της κύριας γραμμής καθώς και για λειτουργίες μεταφοράς φορτίων.

Καθώς τα τρένα οδηγούνται από τις σιδηροτροχιές και τις θέσεις αλλαγών στη γραμμή, ο μοναδικός τρόπος αποδοτικής και ασφαλούς αξιοποίησης του σιδηρόδρομου δικτύου είναι μέσω της χρήσης επαρκών μέσων σηματοδότησης, του ελέγχου του τρένου και της διατήρησης της επικοινωνίας με τους συρμούς. Στο παρελθόν, τα υποσυστήματα που εκτελούν τα παραπάνω αναπτύχθηκαν σε ένα εθνικό επίπεδο για κάθε χώρα, χωρίς κοινά λειτουργικά και τεχνικά πρότυπα. Ως αποτέλεσμα αυτού, η εναρμόνιση του συνόλου των Συστημάτων Ελέγχου - Εντολών εξελίχτηκε σε αντικείμενο υψηλής προτεραιότητας για την Ευρωπαϊκή Πολιτική Μεταφορών (European Transport Policy), ώστε να βελτιωθούν οι διασυνοριακές σιδηροδρομικές υπηρεσίες.

Σήμερα, συναντώνται στους Ευρωπαϊκούς Σιδηροδρόμους μέχρι και έξι διαφορετικά συστήματα Ηλεκτροκίνησης και περίπου είκοσι διαφορετικά Συστήματα Ελέγχου – Εντολών των συρμών. Το κάθε ένα από αυτά τα συστήματα είναι ιδιαίτερα δαπανηρό ως προς τη λειτουργία του και τη συντήρηση του και καταλαμβάνει χώρο επί των συρμών. Τα τρένα που διασχίζουν Ευρωπαϊκές χώρες θα πρέπει να αλλάζουν τα λειτουργικά τους πρότυπα κάθε φορά που βρίσκονται σε συνοριακά σημεία. Η προσθήκη του απαραίτητου εξοπλισμού πολλαπλών συστημάτων σε αυτούς τους συρμούς μπορεί να αυξήσει το κόστος τους μέχρι και 30%. Επιπλέον, όλες οι παραπάνω διαδικασίες προκαλούν καθυστερήσεις στις θέσει των συνόρων και άρα ελάττωση της συνολικής χωρητικότητας ενός σιδηροδρομικού δικτύου, αυξημένο κόστος λειτουργίας και συντήρησης και μη ομαλά και ομογενοποιημένα εφαρμοζόμενα πρότυπα ασφαλείας.

Την τελευταία δεκαετία, πολλοί βιομηχανικοί κολοσσοί και Ευρωπαϊκές κυβερνήσεις προσπάθησαν να επιτύχουν την επιθυμητή διαλειτουργικότητα στους σιδηροδρόμους, έτσι ώστε οι συρμοί να μπορούν να διασχίζουν τα σύνορα μεταξύ των χωρών χωρίς να σταματούν. Σήμερα, η κάθε χώρα έχει ακόμα τη δική της σιδηροδρομική «γλώσσα» για τη διαχείριση της κυκλοφορίας των τρένων στο δίκτυο της.

Στο μέλλον, η επιτυχία των Ευρωπαϊκών Σιδηροδρόμων θα εξαρτάται από τη δυνατότητα εμπορικής επιβίωσης στον ανταγωνισμό ανάμεσα σε άλλους χειριστές του σιδηροδρόμου. Για οικονομικούς λόγους, ο εκσυγχρονισμός και η επέκταση των υπαρχόντων συστημάτων, η κατασκευή νέων γραμμών για αυξημένη απόδοση ή η αντικατάσταση των συστημάτων παλιάς τεχνολογίας δεν θα πραγματοποιείται πλέον με τη χρήση ιδιωτικών και κατ' αποκλειστικότητα

[1] Αρχικά των λέξεων **E**uropean **R**ailway **T**raffic **M**anagement **S**ystem

συστημάτων. Για να αποκατασταθούν όλες οι ασυμβατότητες, αναπτύχθηκε το **Ευρωπαϊκό Σύστημα Διαχείρισης της Σιδηροδρομικής Κυκλοφορίας** (European Rail Traffic Management System), γνωστό και ως **ERTMS**. Στόχος αυτού του συστήματος είναι η εγκαθίδρυση ενός μοναδικού προτύπου σηματοδότησης που θα αποτελεί την ακρογωνιαίο λίθο για την επίτευξη της διαλειτουργικότητας του Διευρωπαϊκού Σιδηροδρομικού Δικτύου και που θα υιοθετηθεί επίσης από τον υπόλοιπο κόσμο.

6.2. Στάδια υλοποίησης του ERTMS

Χρονολογίες – Ορόσημα για τη Δημιουργία του ERTMS

1989

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή αποφασίζει να ερευνήσει και να αναλύσει τα προβλήματα που σχετίζονται με τον Σηματοτεχνικό Έλεγχο των σιδηροδρομικών Μεταφορών Ενδοχώρας στην Ευρωπαική Κοινότητα. Ο Υπουργός Μεταφορών της Ευρωπαϊκής Ένωσης ξεκινά μια έρευνα πάνω στα προβλήματα της Σηματοτεχνικής εξασφάλισης των συρμών.

1990

Το Ευρωπαικό Ινστιτούτο Έρευνας των Σιδηροδρόμων (European Railways Research Institute - ERRI) δημιουργεί μια ομάδα από ανώτερα σιδηροδρομικά στελέχη (A200) για να αναπτύξει τις προδιαγραφές του **Ευρωπαϊκού Συστήματος Ελέγχου Συρμών** (**ETCS** - European Train Control System), (βλέπε Σχήμα 1).

Ιούνιος 1991

Τα Βιομηχανικά Επιμελητήρια (Eurosig) και οι Σιδηροδρομικές Ενώσεις και Επιτροπές (UIC, ERRI, A200) συμφωνούν σε μια στενή συνεργασία με σκοπό να εξετάσουν τις προδιαγραφές απαιτήσεων ως τη βάση για τη βιομηχανική ανάπτυξη. Η Συμφωνία - πλαίσιο περιελάμβανε έναν καινούργιο εξοπλισμό επί του συρμού που βασίζεται σε μια ανοιχτή αρχιτεκτονική υπολογιστών (EUROCAB), ένα νέο ασυνεχές σύστημα για τη μετάδοση των δεδομένων (EUROBALISE) και ένα νέο συνεχές σύστημα μετάδοσης (EURORADIO).

1995

Το Τεχνικό Συμβούλιο Μηχανικών (Engineering Council), ορίζει στο 4ο Πρόγραμμα της Συμφωνίας - πλαίσιο, μια παγκόσμια στρατηγική για την περαιτέρω συγκρότηση της ανάπτυξης του ERTMS / EEIG (European Economic Interest Grouping) για τους Διαχειριστές εκμετάλλευσης των Σιδ/μων (DB AG, PRORAIL, RENFE, NETWORK RAIL, RFF, RFI). Η προετοιμασία της μελλοντικής εφαρμογής περιλαμβάνει τη φάση ανάπτυξης και τη φάση επικύρωσης. Η φάση της επικύρωσης θα περιελάμβανε δοκιμές πλήρους κλίμακας σε περιοχές στη Γερμανία, τη Γαλλία και την Ιταλία.

23 Ιουλίου 1996

Η Ευρωπαϊκή Ένωση εκδίδει την «Οδηγία σχετικά με τη διαλειτουργικότητα του διευρωπαϊκού σιδηροδρομικού συστήματος υψηλής ταχύτητας για τα Σιδηροδρομικά Δίκτυα - 96/48/ΕΚ» (Interoperability Directive of the trans-European high-speed rail system - 96/48/EC) και αποφασίζει τη δημιουργία μιας δομής για τον ορισμό των Τεχνικών Προδιαγραφών Διαλειτουργικότητας (TSI - Technical Specifications for Interoperability).

1998

Συγκρότηση της Βιομηχανικής Ομάδας UNISIG που αποτελείται από Ευρωπαϊκές Εταιρείες Σηματοδότησης (Alstom, Alcatel, Invensys, Ansaldo, Bombardier, Siemens) για την οριστικοποίηση των προδιαγραφών.

21 Μαρτίου 2001

Απόφαση της Επιτροπής σε ότι αφορά τις βασικές παραμέτρους του υποσυστήματος εντολών – ελέγχου και σηματοδότησης του Διευρωπαϊκού σιδηροδρομικού συστήματος υψηλών ταχυτήτων, οι οποίες αναφέρονται και ως ERTMS χαρακτηριστικά.

Φεβρουάριος 2002

Έγκριση της Προδιαγραφής Απαιτήσεων Συστήματος SRS 2.2.2 (System Requirement Specification), ως μια πρώτη αναφορά – παραπομπή για εμπορικά συμβόλαια. Πρόκειται να εισαχθεί στην TSI (Τεχνική Προδιαγραφή Διαλειτουργικότητας) μέσω της διαδικασίας «Change Control» (Έλεγχος αλλαγών) που διαχειρίζεται η Ευρωπαική Ένωση για τη Σιδηροδρομική Διαλειτουργικότητα (AEIF - European Association for Railway Interoperability[2]).

14 Ιουλίου 2004

Η Επιτροπή εγκρίνει τη νέα ρύθμιση του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου πάνω στη Διευρωπαϊκή Μεταφορά και τα δίκτυα ενέργειας που απευθύνει την παροχή της απαραίτητης χρηματοδότησης για την ανάπτυξη του ERTMS σε σημαντικές θέσεις.

23 Νοεμβρίου 2004

Συντάσσονται οι Τεχνικές Προδιαγραφές Διαλειτουργικότητας (TSI - Technical Specifications for Interoperability) για το συμβατικό σιδηροδρομικό σύστημα με βάση μια τετράπτυχης δομής προσέγγιση της ανάπτυξης του ERTMS.

17 Μαρτίου 2005

Υπογραφή MoU (Μνημόνιο Συμφωνίας - Memorandum of Understanding) μεταξύ της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και των Ευρωπαϊκών Ενώσεων Σιδηροδρόμων (European Railway Associations) που εγκαθιστά τις βασικές αρχές για τον ορισμό μιας ευρωπαϊκής στρατηγικής ανάπτυξης του ERTMS.

17 Ιανουαρίου 2006

Κοινή ανακοίνωση των Διαχειριστών Εκμετάλλευσης Σιδηροδρόμων & Διαχειριστών Υποδομής (Operators & Infrastructure Managers) που αναπαρίσταται από τη δέσμευση UIC / CER / EIM για την εισαγωγή του ERTMS.

28 Μαρτίου 2006

Η Εκτελεστική Επιτροπή της UIC υιοθετεί ένα ERTMS Πρόγραμμα Ενεργειών (Platform), υπό την προεδρία του Roland Heinisch (DB NETZ), ώστε να υποστηρίξει τη στρατηγική ενσωμάτωσης των GSM-R και ETCS συστημάτων. Το Πρόγραμμα Ενεργειών στοχεύει στην υλοποίηση ενός μοναδικού τόπου δημόσιας συζήτησης που θα φέρνει σε επαφή διευθυντές υψηλού επιπέδου που είναι άμεσα υπεύθυνοι για την εισαγωγή του ERTMS στις επιχειρήσεις τους.

[2] Ας σημειωθεί ότι η AEIF έχει αντικατασταθεί από το ERA (European Railway Agency).

6.3. Χαρακτηριστικά και Δυνατότητες του ERTMS

Το ERTMS (European Railway Traffic Management System) σύστημα αφορά δύο πολύ μεγάλης σημασίας λειτουργικούς τομείς:

- Τον Έλεγχο / Χειρισμό των συρμών ώστε να διασφαλίζεται η ασφαλής λειτουργία των τρένων στο δίκτυο.
- Τη διαχείριση της κυκλοφορίας ώστε να βελτιστοποιείται η χωρητικότητα χρησιμοποίησης της γραμμής ενός σιδηροδρόμου μέσω της εξελιγμένης διαχείρισης της κυκλοφορίας και της υποδομής.

Χαρακτηρίζεται από την επίτευξη της διαλειτουργικότητας, τη δυνατότητα εφαρμογής του σε υψηλές ταχύτητες μέχρι και τα 500 km/h, την παροχή Αυτόματης Προστασίας Συρμών (Automatic Train Protection - ATP) και την επίτευξη μικρότερων αποστάσεων μεταξύ δυο διαδοχικών αμαξοστοιχιών. Επίσης, συμβάλλει στη σημαντική μείωση του εξοπλισμού και επιτυγχάνει υψηλότερη λειτουργική απόδοση και χαμηλότερο κόστος.

Αποτελείται από δύο βασικά υποσυστήματα (βλέπε Πίνακα 2):

- Το **ETCS (European Train Control System)**. Πρόκειται για ένα σύστημα ελέγχου – χειρισμού συρμού που παρέχει ένα σταθερό σύστημα σηματοδότησης και ανοίγει το δρόμο στις συνοριακές μετακινήσεις των συμβατικών τρένων, των υψηλών ταχυτήτων αλλά και των φορτηγών - τρένων . Επιτυγχάνεται μεγαλύτερη διαθεσιμότητα και γνώση της κατάστασης των συρμών και άρα αύξηση της ταχύτητας των συρμών και μείωση της απόστασης μεταξύ δυο διαδοχικών αμαξοστοιχιών. Επιτρέπει την εξελιγμένη επίβλεψη του σιδηροδρομικού εξοπλισμού της γραμμής και του τροχαίου υλικού.
- Το **GSM-R (Global System for Mobile for Railways)**. Βασίζεται στο GSM πρότυπο, αλλά χρησιμοποιεί διαφορετικές συχνότητες για τις σιδηροδρομικές υπηρεσίες. Αποτελεί το ασύρματο σύστημα που χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή πληροφοριών (ήχου και δεδομένων) μεταξύ του παρακείμενου της γραμμής και του επί του συρμού εξοπλισμού.

Πίνακας 2: Τα Υποσυστήματα που υλοποιούν το ERTMS

Σηματοδότηση	Τηλεπικοινωνίες	Διαχείριση της Κυκλοφορίας
ETCS Νέο Σύστημα Ελέγχου – Εντολών	GSM–R Νέο Σύστημα ραδιοκάλυψης φωνής και δεδομένων	Europtirails

Ένα 3^{ο} επίπεδο, που σχετίζεται με την κύρια διαχείριση της κυκλοφορίας, είναι μέχρι σήμερα σε πειραματική φάση στο διάδρομο Βορρά – Νότου του Διευρωπαϊκού Δικτύου (Ρότερνταμ – Μιλάνο), στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού πιλοτικού έργου «Europtirail».

6.4. Αρχιτεκτονική Αναφοράς ERTMS/ETCS

Λόγω της φύσης των απαιτούμενων λειτουργιών του ERTMS/ETCS συστήματος, απαιτείται να υπάρχει εξοπλισμός τόσο στην παρακείμενη περιοχή των γραμμών όσο και επί των συρμών. Αυτό έχει ως συνέπεια τη δημιουργία δύο υποσυστημάτων, του επί του συρμού και του παρακείμενου της γραμμής. Το περιβάλλον του ERTMS/ETCS συστήματος αποτελείται από:

- Το συρμό (ο οποίος, έπειτα θα υπαχθεί στην προδιαγραφή διεπαφής του συρμού)
- Τον οδηγό οποίος, έπειτα θα υπαχθεί μέσω της προδιαγραφή διεπαφής του οδηγού)
- Άλλες διεπαφές επί του συρμού
- Εξωτερικά συστήματα παραπλεύρως της γραμμής (αλληλομανδαλώσεις, ασφάλεια συσκευής αλλαγής σιδηροδρομικής γραμμής, κέντρα ελέγχου, κλπ.).

Υποσύστημα Παρακείμενο της Γραμμής (Trackside subsystem)

Ανάλογα με το επίπεδο εφαρμογής το υποσύστημα αυτό μπορεί να αποτελείται από στοιχεία όπως (βλέπε Σχήμα 13):

- **Balise** (Ραδιοφάρος): Συσκευή μετάδοσης που μπορεί να στέλνει «τηλεγραφήματα» στο επί του συρμού υποσύστημα. Το balise βασίζεται στις ήδη υπάρχουσες προδιαγραφές του Eurobalise (Πρότυπα CENELEC) και παρέχει επικοινωνία «άνω – ζεύξης», δηλαδή δίνει τη δυνατότητα αποστολής μηνυμάτων από το παρακείμενο της γραμμής υποσύστημα στο υποσύστημα του συρμού. Τα μηνύματα μπορούν να είναι πάγια ή, όταν το balise είναι συνδεδεμένο με μια LEU, να μεταβάλλονται. Όταν ένας συρμός περνά πάνω από ένα Eurobalise, η κεραία του συρμού ενεργοποιεί το balise παράγοντας και μεταδίδοντας προς αυτό ένα σήμα χαμηλής ισχύος (πραγματοποιεί δηλαδή τηλετροφοδότηση σε συχνότητα 27,095MHz). Οι πληροφορίες μεταδίδονται από το balise προς τον επί του συρμού υπολογιστή μέσω μιας «γέφυρας» δεδομένων (στη συχνότητα των 4MHz και με ρυθμό μετάδοσης 0,5Mbits/s).
- **Ηλεκτρονική μονάδα παρακείμενη της γραμμής** (LEU - Lineside Electronic Unit): Πρόκειται για ηλεκτρονικές συσκευές που δημιουργούν «τηλεγραφήματα» που πρόκειται να αποσταλούν από balises, με βάση τις πληροφορίες που λαμβάνουν από εξωτερικά, παρακείμενα της γραμμής συστήματα.
- **Το ασύρματο δίκτυο επικοινωνιών** (GSM-R): Χρησιμοποιείται για την αμφίδρομη ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ των επί του συρμού υποσυστημάτων και των RBC ή των Μονάδων ενδιάμεσης – συμπληρωματικής ραδιοκάλυψης (radio infill units).
- **Radio Block Centre** (RBC): Πρόκειται για ένα σύστημα – βάση δεδομένων που βασίζεται στους υπολογιστές και επεξεργάζεται τα μηνύματα που πρόκειται να αποσταλούν στο συρμό με βάση τις πληροφορίες που λαμβάνει από τα εξωτερικά, παρακείμενα της γραμμής συστήματα (με τα οποία είναι και συνδεδεμένο) και με βάση τις πληροφορίες που ανταλλάσσει με τα επί του συρμού υποσυστήματα (συνεχής ενημέρωση). Ο βασικός στόχος αυτών των μηνυμάτων είναι η παροχή προτεραιοτήτων κίνησης ώστε να επιτευχθεί η ασφαλής μετακίνηση των συρμών στο δίκτυο. Οι απαιτήσεις διαλειτουργικότητας σχετίζονται κυρίως με την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ του RBC και του επί του συρμού υποσυστήματος.
- **Euroloop**: (Για γραμμές Επιπέδου 1, όπως αυτό θα διευκρινιστεί στη συνέχεια)Το Euroloop υποσύστημα παρέχει εκ των προτέρων πληροφορίες σηματοδότησης για το επόμενο κύριο σήμα που θα εμφανιστεί στην διεύθυνση μετακίνησης του συρμού.

Αποτελείται από μια επί του συρμού λειτουργική δυνατότητα και ένα ή περισσότερα μέρη παρακείμενα της γραμμής.

- **Μονάδα ενδιάμεσης ραδιοκάλυψης** (Radio infill unit): (Για γραμμές Επιπέδου 1) Παρέχει εκ των προτέρων πληροφορίες σηματοδότησης για το επόμενο κύριο σήμα που θα εμφανιστεί στην διεύθυνση μετακίνησης του συρμού. Αποτελείται από μια επί του συρμού λειτουργική δυνατότητα και ένα ή περισσότερα μέρη παρακείμενα της γραμμής.

6.5. Επίπεδα και Μεταβάσεις ERTMS/ETCS[3]

6.5.1. Γενικά

Τα διάφορα ERTMS/ETCS επίπεδα εφαρμογής (σε συντομία, απλά επίπεδα) αποτελούν τον τρόπο έκφρασης των πιθανών σχέσεων λειτουργίας μεταξύ γραμμής και συρμού. Ο ορισμός των επιπέδων σχετίζεται κυρίως με τον παρακείμενο της γραμμής εξοπλισμό που χρησιμοποιείται, τον τρόπο με τον οποίο φτάνουν οι πληροφορίες από τη γραμμή στις επί του συρμού μονάδες και με το ποιες λειτουργίες διεκπεραιώνονται στον παράπλευρο της γραμμής και στον επί του συρμού εξοπλισμό, αντιστοίχως.

Τα διαφορετικά επίπεδα έχουν επιλεγεί έτσι ώστε να επιτρέπουν σε κάθε ξεχωριστή σιδηροδρομική διεύθυνση να επιλέξει τις κατάλληλες ERTMS/ETCS εφαρμογές, σύμφωνα με τις στρατηγικές της, την υποδομή της παραπλεύρως της γραμμής και τη ζητούμενη απόδοση. Επιπλέον, τα διαφορετικά επίπεδα εφαρμογής επιτρέπουν τη διεπαφή ξεχωριστών συστημάτων σηματοδότησης και των συστημάτων ελέγχου των συρμών με το ERTMS/ETCS.

Για τη συνέπεια των ορισμών, ορίζεται και ένα επίπεδο «0» που χρησιμοποιείται για λειτουργία σε μη εξοπλισμένες γραμμές ή σε γραμμές που βρίσκονται σε περίοδο θέσης υπό λειτουργία.

<u>Ορισμοί</u>

Ένας συρμός που διαθέτει ERTMS/ETCS εξοπλισμό συνεργάζεται πάντα με τον παρακείμενο της γραμμής ERTMS/ETCS εξοπλισμό σε ένα ορισμένο ERTMS/ETCS επίπεδο.
Όλα τα περάσματα μεταξύ των επιπέδων πραγματοποιούνται μόνο σύμφωνα με πολύ καλά ορισμένους κανόνες. Ορίζονται τα ακόλουθα πιθανά επίπεδα εφαρμογής (Σχήμα 32) στα οποία μπορεί να λειτουργεί το ERTMS/ETCS:

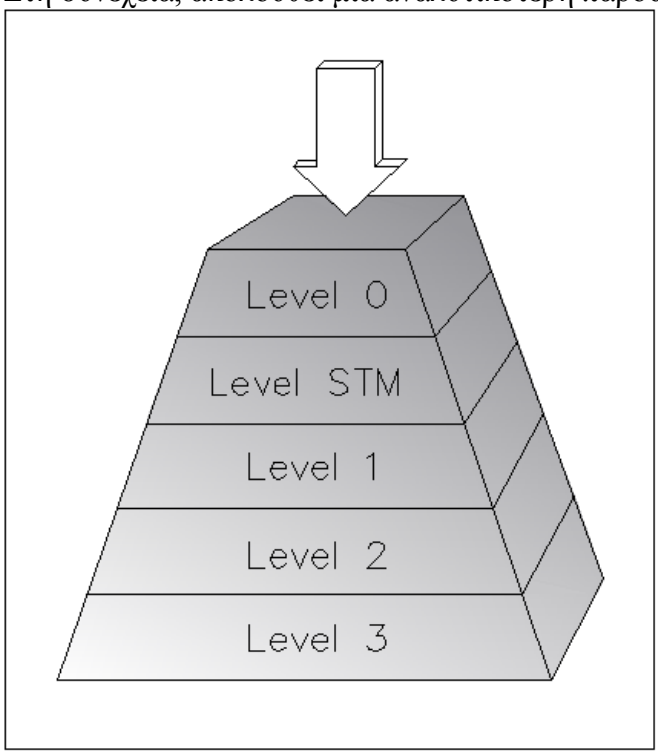
- ERTMS/ETCS **Επίπεδο 0** (συρμός εξοπλισμένος με ERTMS/ETCS που βρίσκεται σε γραμμή χωρίς ERTMS/ETCS ή σε εθνικό σύστημα ή σε περίοδο θέσης υπό λειτουργία του ERTMS/ETCS).
- ERTMS/ETCS **Επίπεδο STM** (συρμός εξοπλισμένος με ERTMS/ETCS που λειτουργεί σε γραμμή του εθνικού συστήματος με το οποίο επικοινωνεί μέσω ειδικής βαθμίδας μετάδοσης - STM).
- ERTMS/ETCS **Επίπεδο Εφαρμογής 1**, με ή χωρίς ενδιάμεση μετάδοση (συρμός εξοπλισμένος με ERTMS/ETCS που λειτουργεί σε γραμμή που έχει Eurobalises και προαιρετικά Euroloop ή Μονάδα ενδιάμεσης ραδιοκάλυψης).
- ERTMS/ETCS **Επίπεδο Εφαρμογής 2** (συρμός εξοπλισμένος με ERTMS/ETCS που λειτουργεί σε γραμμή ελεγχόμενη από RBC και που διαθέτει Eurobalises και Ευρωραδιοκάλυψη - Euroradio) με επαλήθευση της θέσης και της ακεραιότητας του συρμού από τον εξοπλισμό της γραμμής.

[3] Αρχικά των λέξεων **E**uropean **T**rain **C**ontrol **S**ystem

- ERTMS/ETCS **Επίπεδο Εφαρμογής 3** (παρόμοιο με το επίπεδο 2 αλλά με επίβλεψη της θέσης και της ακεραιότητας του συρμού που βασίζεται σε πληροφορίες που λαμβάνονται από το τρένο).

Είναι δυνατή η υπέρθεση αρκετών επιπέδων εφαρμογής εν παραλλήλω στην ίδια γραμμή, όπως για παράδειγμα, για να κινηθούν συρμοί στο επίπεδο 2, χωρίς συσκευή ακεραιότητας του συρμού, αλλά και παράλληλα συρμοί στο επίπεδο 3 που είναι εξοπλισμένοι με συσκευή ακεραιότητας συρμού. Γενικότερα, τα επίπεδα 1, 2 και 3 είναι προς τα κάτω συμβατά. Αυτό σημαίνει ότι ένας συρμός επιπέδου 3, μπορεί να λειτουργήσει στα επίπεδα 2 και 1, και ότι ένας συρμός του επιπέδου 2 μπορεί να λειτουργήσει και στο επίπεδο 1.

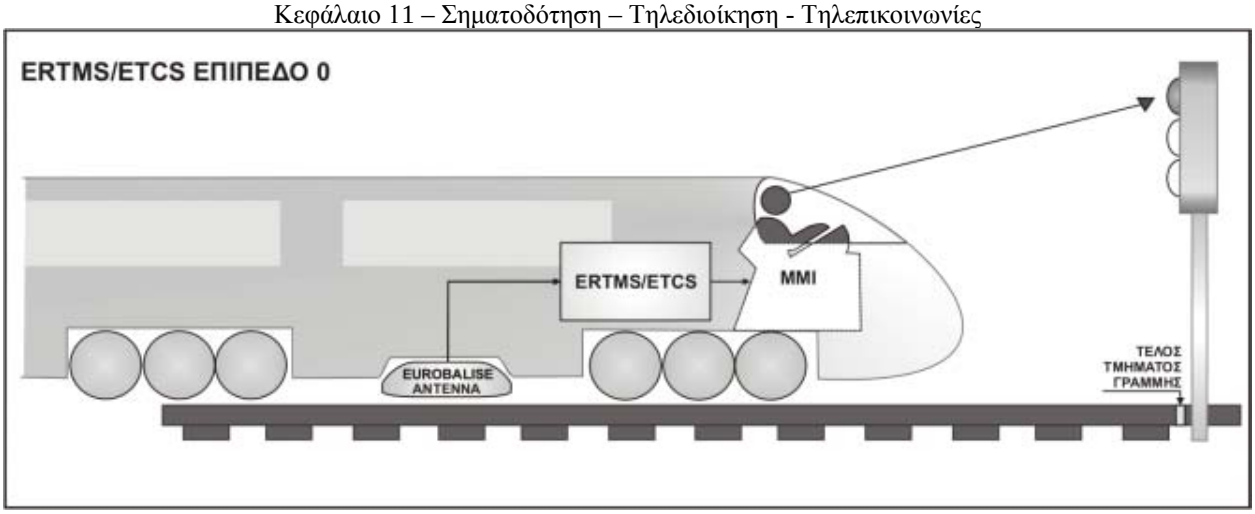
Στη συνέχεια, ακολουθεί μια αναλυτικότερη παρουσίαση των παραπάνω επιπέδων εφαρμογής.



Σχήμα 32 : Η πυραμίδα των επιπέδων εφαρμογής

6.5.2. ERTMS/ETCS Επίπεδο Εφαρμογής 0

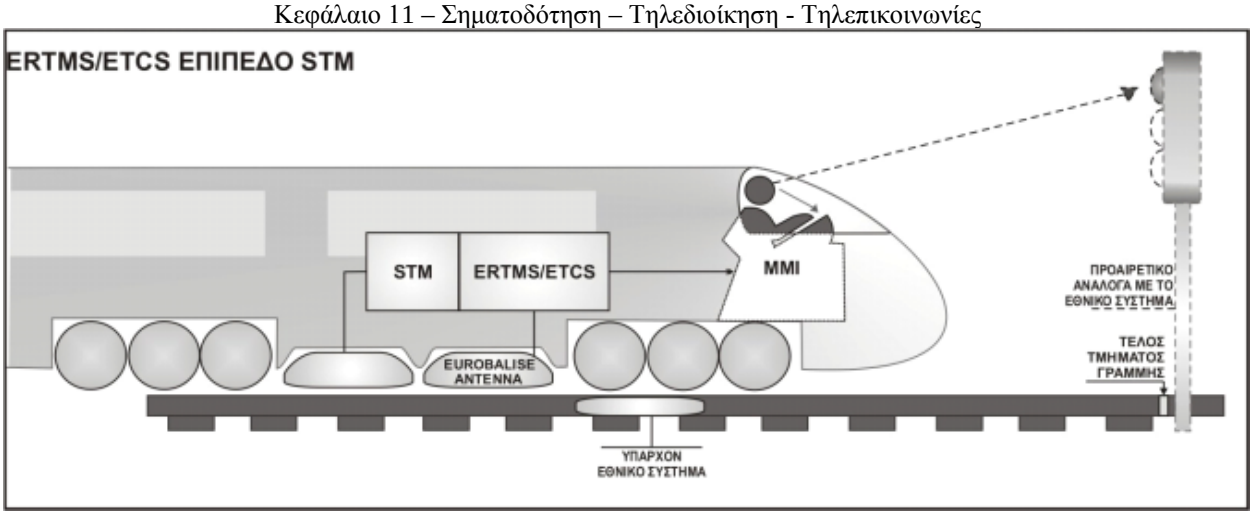
Το Επίπεδο 0 (Σχήμα 33) καλύπτει τη λειτουργία των συρμών που είναι εξοπλισμένοι με ETCS, αλλά σε γραμμές που δεν είναι εξοπλισμένες με ETCS, ή στο εθνικό δίκτυο, ή σε γραμμές που βρίσκονται σε περίοδο θέσης σε λειτουργία. Στο επίπεδο αυτό, χρησιμοποιούνται παρακείμενα της γραμμής οπτικά σήματα ή άλλα μέσα σηματοδότησης, εξωτερικά ως προς το ERTMS/ETCS, ώστε να δώσουν το δικαίωμα κίνησης στο οδηγό. Ο επίτρεπτος συρμός ERTMS/ETCS εξοπλισμός δεν παρέχει επίβλεψη παρά μόνο για τη μέγιστη ταχύτητα σχεδίασης του συρμού και τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα σε μη εξοπλισμένες περιοχές.
Η εποπτεία της ακεραιότητας και της ανίχνευσης του συρμού πραγματοποιείται από τον παρακείμενο της γραμμής εξοπλισμό του υποκείμενου συστήματος σηματοδότησης (αλληλομανδάλωση, κυκλώματα γραμμής κλπ.) και είναι έξω από τους στόχους του ERTMS/ETCS.



Σχήμα 33 : Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας του επιπέδου 0

6.5.3. ERTMS/ETCS Επίπεδο Εφαρμογής STM

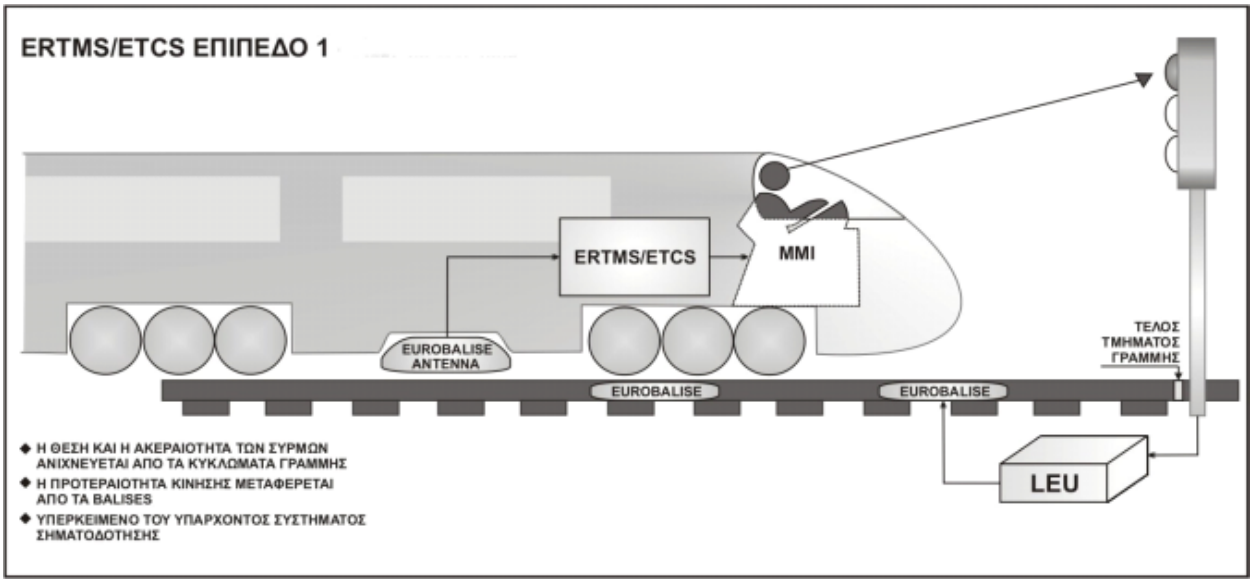
Το Επίπεδο STM (Σχήμα 34) χρησιμοποιείται για τη μετακίνηση ERTMS/ETCS εξοπλισμένων συρμών σε γραμμές που είναι εξοπλισμένες με εθνικά συστήματα ελέγχου συρμού και εποπτείας ταχύτητας.
Οι παραπλεύρως της γραμμής, παραγόμενες από το εθνικό σύστημα ελέγχου συρμού, πληροφορίες ελέγχου συρμού μεταδίδονται στο τρένο μέσω των καναλιών επικοινωνίας του υποκείμενου εθνικού συστήματος και μετατρέπονται επί του συρμού σε αναγνώσιμες για το ERTMS/ETCS πληροφορίες.
Η συσκευή που επιτρέπει στον επί του συρμού ERTMS/ETCS εξοπλισμό να χρησιμοποιήσει το σύστημα μετάδοσης του εθνικού συστήματος καλείται Ειδική Βαθμίδα Μετάδοσης (STM - specific transmission module). Το επιτεύξιμο επίπεδο εποπτείας είναι παρόμοιο με αυτό που παρέχεται από τα υποκείμενα εθνικά συστήματα. Η επίβλεψη της ανίχνευσης και της ακεραιότητας των συρμών πραγματοποιείται από εξοπλισμό εξωτερικό ως προς το ERTMS/ETCS.
Το Επίπεδο STM δεν χρησιμοποιεί ERTMS/ETCS μετάδοση μεταξύ γραμμής και συρμού πέραν των ανακοινώσεων / χειρισμών για μεταβάσεις επιπέδων και ειδικών εντολών που σχετίζονται με τη μετάδοση των balise. Συνεπώς, και πάλι τα Eurobalises πρέπει να «διαβάζονται».
Οι πληροφορίες που εμφανίζονται στον οδηγό εξαρτώνται από τη λειτουργικότητα του υποκείμενου εθνικού συστήματος. Το ενεργό STM επιδεικνύεται στον οδηγό ως μέρος της σχετικής πληροφορίας. Τα πλήρη δεδομένα του συρμού πρέπει να εισάγονται για να μην πρέπει να σταματήσει το τρένο στις θέσεις μετάβασης επιπέδων και για να υπάρχει εποπτεία της μέγιστης ταχύτητας του συρμού.



Σχήμα 34 : Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας του επιπέδου STM

6.5.4. ERTMS/ETCS Επίπεδο Εφαρμογής 1

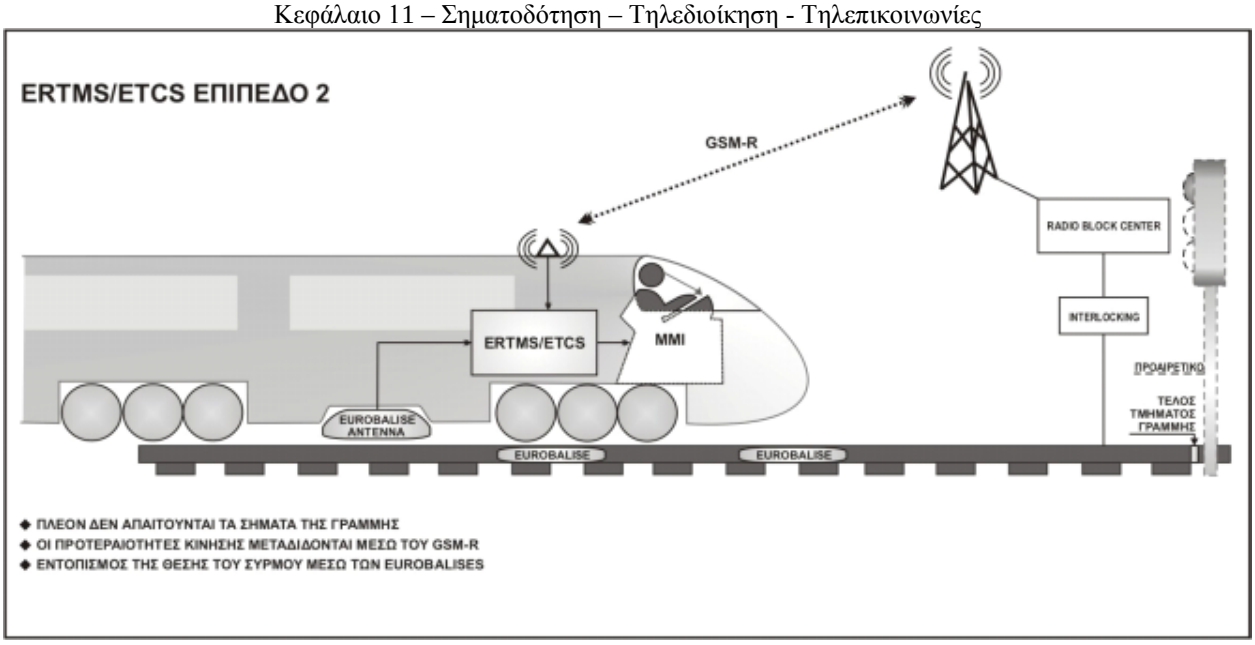
Το ERTMS/ETCS Επίπεδο1 (Σχήμα 35) είναι ένα σύστημα ελέγχου συρμού που βασίζεται στη στιγμιαία μετάδοση (spot transmission) και χρησιμοποιείται πάνω από το υποκείμενο σύστημα σηματοδότησης. Οι προτεραιότητες κίνησης παράγονται από τον παρακείμενο εξοπλισμό της γραμμής και μεταδίδονται προς το συρμό μέσω των Eurobalises.
Το ERTMS/ETCS Επίπεδο 1 παρέχει ένα συνεχές σύστημα εποπτείας της ταχύτητας, το οποίο προστατεύει επίσης ενάντια στην υπέρβαση των κανόνων προτεραιότητας.
Η επίβλεψη της ανίχνευσης και της ακεραιότητας του συρμού πραγματοποιείται από τον παρακείμενο της γραμμής εξοπλισμό του υποκείμενου συστήματος σηματοδότησης αλληλομανδάλωση, κυκλώματα γραμμής κλπ.) και δεν ανήκει στους στόχους του ERTMS/ETCS.
Το Επίπεδο 1 βασίζεται στα Eurobalises ως συσκευές στιγμιαίας (spot) μετάδοσης. Ο παρακείμενος της γραμμής εξοπλισμός δεν γνωρίζει το συρμό στον οποίο αποστέλλει τις πληροφορίες του.
Ένα balise μεταβαλλόμενων δεδομένων τοποθετείται σε κάθε φωτόσημο. Αυτό θα δείξει στο σύστημα επί του συρμού το αν η γραμμή είναι ελεύθερη (ώστε να μπορεί ο συρμός να συνεχίσει να κινείται στη μέγιστη ταχύτητα) ή όχι (οπότε ο συρμός θα πρέπει να ελαττώσει σταδιακά την ταχύτητα του μέχρι το επόμενο balise).
Αν στο Επίπεδο 1 ένα σήμα παραπλεύρως της γραμμής αλλάζει, ένας συρμός που πλησιάζει δεν μπορεί να λάβει αυτή την πληροφορία πριν να περάσει την ομάδα των Eurobalise σε αυτό το σήμα. Ο οδηγός άρα πρέπει να παρατηρεί τα σήματα παραπλεύρως της γραμμής για να γνωρίζει πότε να προχωρήσει. Πρέπει τότε να επιτραπεί στο συρμό να πλησιάσει στο σημείο στάσης κάτω από μια μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα απελευθέρωσης.



Σχήμα 35 : Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας του επιπέδου 1

6.5.5. ERTMS/ETCS Επίπεδο Εφαρμογής 2

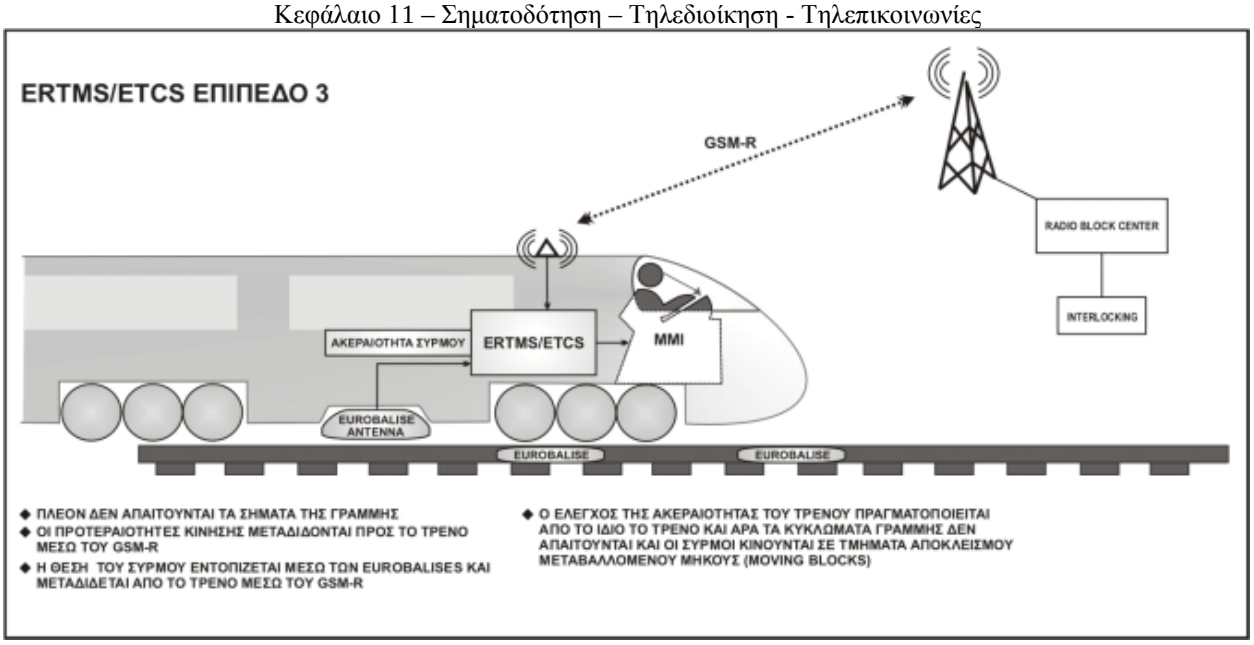
Το ERTMS/ETCS Επίπεδο 2 (Σχήμα 36) είναι ένα ασύρματο σύστημα ελέγχου του συρμού που χρησιμοποιείται πάνω από ένα υποκείμενο σύστημα σηματοδότησης. Οι προτεραιότητες κίνησης δημιουργούνται από τον παρακείμενο της γραμμής εξοπλισμό και μεταδίδονται προς το συρμό μέσω του συστήματος Ευρωραδιοκάλυψης (Euroradio).
Το Επίπεδο αυτό παρέχει ένα συνεχές σύστημα επίβλεψης ταχύτητας, το οποίο προστατεύει συγχρόνως ενάντια στην υπέρβαση των κανόνων προτεραιότητας.
Η επίβλεψη της ανίχνευσης και της ακεραιότητας του συρμού πραγματοποιείται από τον παρακείμενο της γραμμής εξοπλισμό του υποκείμενου συστήματος σηματοδότησης (αλληλομανδάλωση, κυκλώματα γραμμής κλπ.) και δεν ανήκει στους στόχους του ERTMS/ETCS.
Το Επίπεδο 2 βασίζεται στην Ευρωραδιοκάλυψη για την επικοινωνία μεταξύ συρμού και γραμμής και στα Eurobalises ως συσκευές στιγμιαίας (spot) μετάδοσης, κυρίως για την αναφορά θέσης.
Το παρακείμενο της γραμμής RBC που παρέχει τις πληροφορίες στους συρμούς αναγνωρίζει ξεχωριστά τον κάθε ERTMS/ETCS ελεγχόμενο συρμό από την ERTMS/ETCS ταυτότητα του προπορευόμενου του ERTMS/ETCS εξοπλισμού (που βρίσκεται στο πρώτο βαγόνι).
Ουσιαστικά, η θέση του συρμού καθορίζεται ακόμα από τα balises, αλλά ο οδηγός μπορεί να δεχτεί, οποιαδήποτε στιγμή, μια καινούργια οδηγία προτεραιότητας κίνησης από το Radio Block Centre μέσω του GSM-R συστήματος, αντί να πρέπει να σταματήσει και να περιμένει ώστε το επόμενο να δώσει μια καινούργια προτεραιότητα. Αυτό το πιο ευέλικτο σύστημα συμβάλλει στη βελτίωση της ευελιξίας του συστήματος.



Σχήμα 36 : Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας του επιπέδου 2

6.5.6. ERTMS/ETCS Επίπεδο Εφαρμογής 3

Το ERTMS/ETCS Επίπεδο 3 (Σχήμα 37) είναι ένα ασύρματο σύστημα ελέγχου του συρμού. Οι προτεραιότητες κίνησης δημιουργούνται από τον παρακείμενο της γραμμής εξοπλισμό και μεταδίδονται προς το συρμό μέσω του συστήματος Ευρωραδιοκάλυψης.
Το Επίπεδο αυτό παρέχει ένα συνεχές σύστημα επίβλεψης ταχύτητας, το οποίο προστατεύει συγχρόνως ενάντια στην υπέρβαση των κανόνων προτεραιότητας.
Η επίβλεψη της ανίχνευσης και της ακεραιότητας του συρμού πραγματοποιείται από το παρακείμενο της γραμμής Κέντρο Ραδιοεπικοινωνίας σε συνεργασία με το συρμό (ο οποίος στέλνει αναφορές της θέσης του και πληροφορίες ακεραιότητας του συρμού).
Το Επίπεδο 3 βασίζεται στην Ευρωραδιοκάλυψη για την επικοινωνία μεταξύ συρμού και γραμμής και στα Eurobalises ως συσκευές στιγμιαίας (spot) μετάδοσης, κυρίως για την αναφορά θέσης.
Το παρακείμενο της γραμμής RBC που παρέχει την πληροφορία προς τους συρμούς αναγνωρίζει ξεχωριστά τον κάθε συρμό από την ERTMS/ETCS ταυτότητα του προπορευόμενου επί του συρμού ERTMS/ETCS εξοπλισμού.
Ουσιαστικά, οι συρμοί είναι σε θέση να μεταδώσουν από μόνοι τους την ακριβή θέση τους. Αυτό κάνει δυνατή τη βελτιστοποίηση της χωρητικότητας των γραμμών και την περαιτέρω μείωση του εξοπλισμού παραπλεύρως της γραμμής. Το ETCS Επίπεδο 3 βρίσκεται ακόμα σε πειραματικό στάδιο, αλλά πρόκειται να φέρει πολύ μεγάλα και μακροπρόθεσμα πλεονεκτήματα σε ότι αφορά τις λειτουργικές δυνατότητες και τη συντήρηση των σιδηροδρομικών δικτύων.



Σχήμα 37 : Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας του επιπέδου 3

6.6. Το Παγκόσμιο σύστημα ραδιοκάλυψης για το σιδηρόδρομο (GSM-R)

6.6.1. Γενικά

Το 1993, η Διεθνής Ένωση Σιδηροδρόμων (UIC - Union Internationale des Chemins de fer) αποφάσισε τη δημιουργία ενός καινούργιου συστήματος σιδηροδρομικών επικοινωνιών. Το GSM-R (Global System for Mobile for Railways) είναι ένα αποτέλεσμα συνεργασίας περίπου 10 χρόνων μεταξύ των διαφόρων Ευρωπαϊκών Σιδηροδρομικών Εταιρειών, της βιομηχανίας σιδηροδρομικών επικοινωνιών και τον διαφορετικών οργανισμών προτυποποίησης (standardization bodies). Με στόχο την επίτευξη της διαλειτουργικότητας σε όλη την Ευρώπη με χρήση μιας μόνο πλατφόρμας επικοινωνίας, το Πρότυπο GSM-R συνδυάζει όλες τις λειτουργίες – κλειδιά και την εμπειρία του παρελθόντος που προκύπτει από τα 35 αναλογικά συστήματα που χρησιμοποιούνταν στο παρελθόν σε όλη την Ευρώπη. Το GSM-R παρέχει μια ασφαλή πλατφόρμα για φωνής και δεδομένων μεταξύ του λειτουργικού προσωπικού των σιδηροδρομικών εταιρειών όπως είναι οι οδηγοί, οι κλειδούχοι, οι σταθμάρχες, τα μέλη της ομάδας των ελιγμών, οι μηχανικοί συρμών και οι ρυθμιστές των σταθμών. Διαθέτει προχωρημένες υπηρεσίες όπως είναι οι ομαδικές κλήσεις, οι εκπομπές ήχου προς όλους τους χρήστες (voice broadcast), οι συνδέσεις εντοπισμού θέσης και οι κλήσεις με προαγορά (call pre-emption) σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, οι οποίες βελτιστοποιούν σημαντικά την επικοινωνία, τη συνεργασία και τη διαχείριση της ασφάλειας ανάμεσα στα μέλη του λειτουργικού προσωπικού.

Το GSM-R αποτελεί μέρος του προτύπου ERTMS και μεταφέρει τις πληροφορίες σηματοδότησης άμεσα στην επί του συρμού μονάδα σηματοδότησης, κάνοντας έτσι δυνατή τη χρησιμοποίηση μεγαλύτερων ταχυτήτων και την επίτευξη υψηλότερων ταχυτήτων, παράλληλα με ένα υψηλότερο επίπεδο ασφάλειας. Βασίζεται στο γνωστό πρότυπο κινητών επικοινωνιών GSM που επιτρέπει την ασύρματη επικοινωνία με τα δημόσια GSM δίκτυα. Χαρακτηρίζεται από μια πλούσια ομάδα υπηρεσιών που απευθύνονται στις συγκεκριμένες ανάγκες των χειριστών του σιδηροδρόμου.

Το GSM-R είναι μια επικυρωμένη τεχνολογία, που εφαρμόζεται σε 15 χώρες παγκοσμίως, αυτή τη στιγμή. Ενώ οι προδιαγραφές του GSM-R ολοκληρώθηκαν το 2000, έχει ήδη επιλεγεί από 35

χώρες σε όλο τον κόσμο, συμπεριλαμβανομένων και όλων των μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης και ενός όλο και αυξανόμενου αριθμού χωρών στην Ασία και τη βόρεια Αφρική. Αυτός ο αριθμός αυξάνεται κάθε μήνα, μετατρέποντας το GSM-R σε ένα από τα πιο γρήγορα διαδιδόμενα ασύρματα δίκτυα.

6.6.2. Διαδικασία Εφαρμογής (Implementation Progress)

Η βάση του GSM-R είναι τα δύο συστήματα EIRENE (European Integrated Railway Radio Enhanced Network) και MORANE (Mobile radio for Railways Networks in Europe), που έχουν ως στόχους:

- Την προδιαγραφή των λειτουργικών και τεχνικών πρόσθετων που θα επιτρέψουν στο GSM-R να αποτελέσει τη μελλοντική βάση των κινητών επικοινωνιών στο σιδηροδρομικό περιβάλλον.
- Την επικύρωση της εφαρμοσιμότητας αυτών των προδιαγραφών υπό πραγματικές συνθήκες σε τρεις δοκιμαστικές περιοχές, σε συνεργασία με έναν επιλεγμένο αριθμό εταιρειών της βιομηχανίας του GSM.

Αυτά τα δύο συστήματα έχουν χρηματοδοτηθεί από τη Διεθνή Ένωση Σιδηροδρόμων (International Union of Railways – UIC).

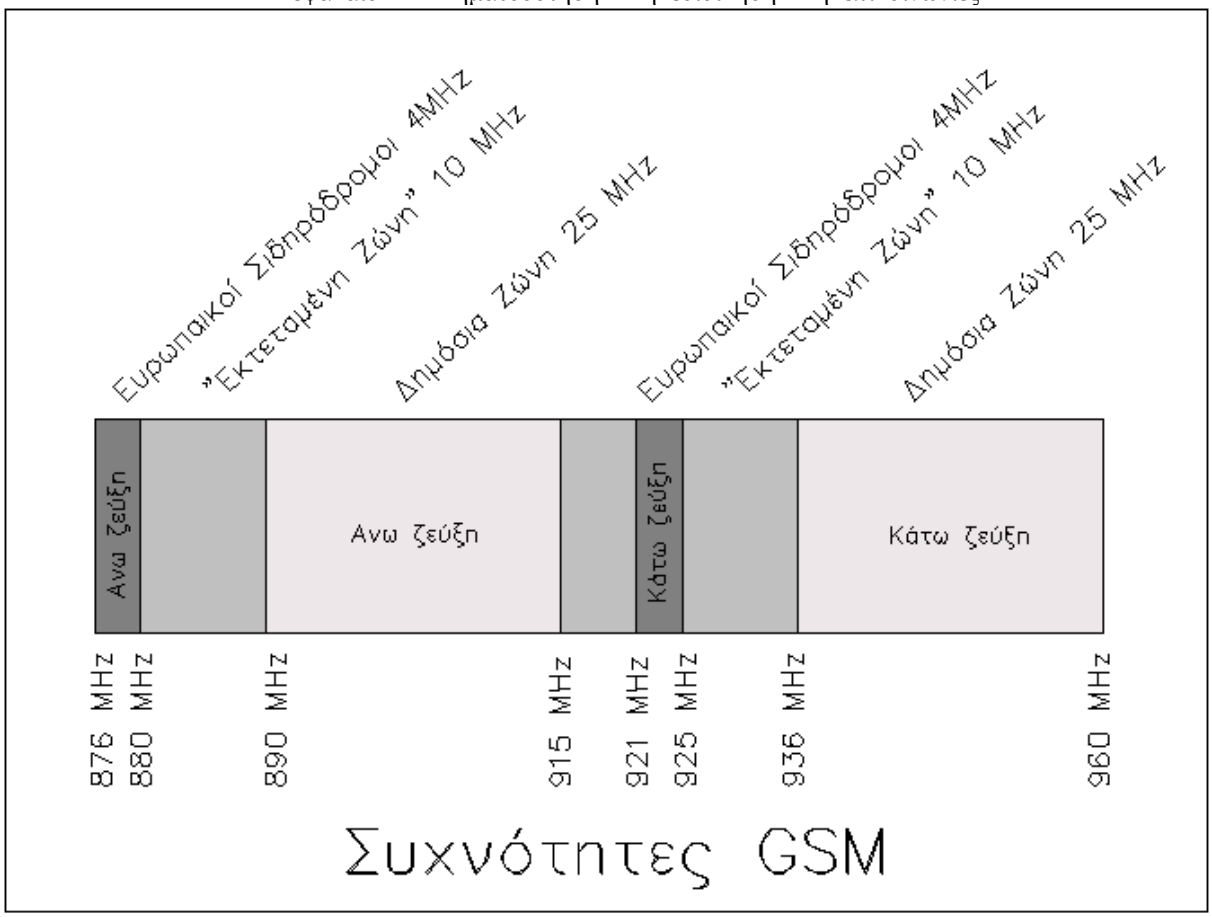
Ο στόχος του συστήματος MORANE ήταν η δημιουργία πρωτοτύπων ενός νέου ασύρματου συστήματος που τηρεί τις απαιτήσεις των σιδηροδρόμων.
Σκοπός ήταν η επίτευξη της διαλειτουργικότητας στα Ευρωπαϊκά Σιδηροδρομικά Δίκτυα, με την πραγματοποίηση της απαραίτητης ανάπτυξης, των ελέγχων και τελικά, της επικύρωσης.

Η πιο βασική πρόθεση του MORANE ήταν η ανάπτυξη του GSM-R συστήματος σύμφωνα με τις EIRENE προδιαγραφές και η επικύρωση του συστήματος αυτού στις περιοχές δοκιμής. Το MORANE ολοκληρώθηκε το Σεπτέμβριο του 2000 και πλέον η εφαρμογή του GSM-R είναι γεγονός σε έναν αριθμό Ευρωπαϊκών Χωρών. Τα θέματα τα οποία αφορούσε ήταν τα ακόλουθα:

- Η επικύρωση των διαφόρων συνθηκών μετάδοσης
- Η δυνατότητα πραγματοποίησης δοκιμών διαλειτουργικότητας εξοπλισμών
- Η δυνατότητα ελέγχου διαφορετικών συνθηκών Ηλεκτρομαγνητικής Συμβατότητας (Electromagnetic Compatibility – EMC), όπως είναι τα 15 kV ac, τα 25 kV ac και τα 3 kV dc.

Οι σιδηρόδρομοι δέσμευσαν εαυτούς για την υποστήριξη της εξέλιξης και της εφαρμογής του GSM-R ως μελλοντικού τους ασύρματου συστήματος με την υπογραφή δύο σημαντικών εγγράφων. Επιπλέον, δεσμεύτηκαν με την υποχρέωση να ξεκινήσουν την εφαρμογή του GSM-R το αργότερο το 2003. Αυτά τα δύο έγγραφα ήταν τα ακόλουθα:

- Το Μνημόνιο Συμφωνίας (the Memorandum of Understanding - MoU), που υπογράφηκε το Νοέμβριο του 1997 από 32 σιδηροδρόμους 24 Ευρωπαικών Χωρών.
- Η Συμφωνία Εφαρμογής (the Agreement on Implementation - AoI), που υπογράφηκε το 1999 από 18 σιδηροδρόμους.



Σχήμα 38 : Η κατανομή των GSM – R συχνοτήτων

6.6.3. Βασικές Υπηρεσίες και Τεχνικά Χαρακτηριστικά GMS-R

Το GSM-R παρέχει ένα εύρος ζώνης συχνοτήτων 4MHz για την άνω και την κάτω ζεύξη της ασύρματης επικοινωνίας στο σιδηροδρομικό δίκτυο (Σχήμα 38). Οι εφαρμογές που αναγνωρίζονται από τα σχέδια EIRENE/MORANE περιλαμβάνουν:

- Λειτουργική Επικοινωνία μεταξύ Μηχανοδηγού και Ρυθμιστή
- Αυτόματη Λειτουργία Συρμού (Automatic Train Operation)
- Ελιγμούς
- Απομακρυσμένο έλεγχο
- Εκπομπή προς περιοχή επείγουσας ανάγκης
- Επικοινωνίες υποστήριξης συρμού
- Τοπικές επικοινωνίες σε σταθμούς και αμαξοστάσια
- Υπηρεσίες επιβατών

Το GSM-R παρέχει επίσης τις ακόλουθες ειδικές σιδηροδρομικές υπηρεσίες:

- Advanced Speech Call Items (ASCI)
- Υπηρεσίες κλήσης επειγούσης ανάγκης, ομάδας ή και προς όλους τους χρήστες (broadcast). Αναβαθμισμένη προτεραιότητα κλήσεων πολλών επιπέδων προαγορά κλήσεων (eMLPP), ανάλογα με την προτεραιότητα που έχει παραχωρηθεί στο χρήστη.
- Λειτουργική Διευθυνσιοδότηση (Functional addressing). Επιτρέπει την κλήση ενός ενεργού χρήστη, όπως μπορεί να είναι η καμπίνα του μηχανοδηγού. Αυτός που καλεί

πρέπει μόνο να γνωρίζει τον αριθμό του τρένου, ενώ τα υπόλοιπα βήματα πραγματοποιούνται από το «έξυπνο» δίκτυο του GSM-R.

- Διευθυνσιοδότηση εξαρτώμενη από τη θέση. Δίνει τη δυνατότητα σε αυτόν που καλεί να βρει έναν υπηρεσιακό συνδρομητή σε μια δεδομένη θέση, πχ. τον υπεύθυνο Ρυθμιστή της γραμμής, καλώντας τον ίδιο αριθμό (για παράδειγμα, ένας μικρός κωδικός αριθμός, που είναι αποθηκευμένος στην καμπίνα). Ανάλογα με την κυψέλη στην οποία είναι βρίσκεται αυτός που ξεκινά την κλήση, η κλήση δρομολογείται σε ένα συγκεκριμένο, δοσμένο αριθμό σταθερής γραμμής. Για παράδειγμα, ένας μηχανοδηγός στην περιοχή Α βρίσκει αυτόματα τον υπεύθυνο επιβλέποντα πιέζοντας το κατάλληλο κουμπί στην καμπίνα. Περνώντας στην περιοχή Β, ο μηχανοδηγός πατώντας το αντίστοιχο κουμπί, συνδέεται με έναν διαφορετικό επιβλέποντα που είναι υπεύθυνος για τη νέα αυτή περιοχή.
- Μήτρα Πρόσβασης (Access matrix). Δυνατότητα για επιλογή αλλά και απαγόρευση διαφορετικών μονοπατιών επικοινωνίας. Για παράδειγμα, μόνο ο ρυθμιστής της κυκλοφορίας μπορεί να επικοινωνήσει με τον μηχανοδηγό ως κινητός συνδρομητής. Η κλήση των λειτουργικών αριθμών των συρμών είναι απαγορευμένη για άλλους συνδρομητές.
- Σιδηροδρομικές Επείγουσες κλήσεις (Railway emergency calls - REC). Επικοινωνία ειδικής προτεραιότητας σε μια επείγουσα περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αμπακούμκιν Κ., «Σιδηρόδρομοι», Εκδόσεις Συμμετρία. Αθήνα 1990.

Γιαννακός Κωνσταντίνος, "Η διαλειτουργικότητα στον σιδηρόδρομο: ένα μοντέλο ανάπτυξης για τη ΝΑ. Ευρώπη", Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ./ Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, 2000

Γιαννακός Κωνσταντίνος, «Διαχείριση Σιδηροδρομικής Υποδομής», Εργασία που υποβλήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού μαθήματος «Μελέτη και Διαχείριση Οδικών έργων και Συγκοινωνιακής Υποδομής», για απόκτηση Διδακτορικού Διπλώματος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Συγκοινωνιών και Οργάνωσης, Θεσσαλονίκη, 1999.

Προφυλλίδης Β., «Σιδηροδρομική», τόμος Ι, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Ξάνθης, Ξάνθη, 1994

Προφυλλίδης Β., «Σιδηροδρομική», τόμος ΙΙ, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Ξάνθης, Ξάνθη, 1997

ΟΣΕ/ΔΗΣΤΗΕ, Προγραμματισμός Συντήρησης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Συντήρηση Σηματοδότησης - Τηλεπικοινωνιών

Στη συνέχεια παρατίθενται πίνακες με τις προγραμματιζόμενες εργασίες συντήρησης σηματοδότησης – τηλεπικοινωνιών:

`

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Α/Α	Είδος εργασιών συντήρησης	Χρόνος	Εκτελεστής	Παρατηρήσεις
1	Εξαερισμός	1 εβδομάδα	Ομάδα συντήρησης	Αν δεν υπάρχει καθόλου εξαερισμός
		1 μήνα	Ομάδα συντήρησης	Αν υπάρχει φυσικός εξαερισμός
		Κατά την διάρκεια εξαερισμού	Ομάδα συντήρησης	Αν υπάρχει κατάλληλος ανεμιστήρας
2	Καθαρισμός χώρου	1-2 μήνες	Ομάδα συντήρησης	Αναλόγως των τοπικών συνθηκών
3	Χρωματισμός χώρου	2-3 χρόνια	Ομάδα συντήρησης	Αναλόγως των τοπικών συνθηκών
4	Αποκατάσταση βλαβών	Αμέσως μετά τον εντοπισμό των βλαβών	Ομάδα συντήρησης	Αναλόγως των τοπικών συνθηκών

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ PCM

	Εργασίες συντήρησης PCM	**Χρόνος**	**Εκτέλεση**	**Παρατηρήσεις**
1	2	3	4	5
1	*UK – TCK 30 G πολυπλέκτης*			
1.1	Εργασίες ελέγχου λειτουργίας Ελεγχος ενδείξεων συναγερμού Ελεγχος τηλεφ., τηλεγράφου και συνδέσεις μεταφοράς data	Κάθε μέρα	Διαρκής οπτικός έλεγχος	Οι πληροφορίες για βλάβες να δίδονται στο συνεργείο PCM
1.2	Γενικός έλεγχος λειτουργίας	6 μήνες	Ομάς PCM	
1.3	Καθαρισμός εξοπλισμού	6 μήνες	Ομάς PCM	
1.4	Μέτρηση και ρύθμιση τόνου τάσης της μονάδας Z -102- συχνότητα ρολογιού -εξασθένισης ομιλίας μεταξύ γειτονικών σταθμών με το UK- λειτουργία TRO-RON μεταξύ γειτονικών σταθμών UK. Ενδείξεις των συναγερμών	1 χρόνος	Ομάς PCM	
1.5	Επισκευή	Άμεσος με τον εντο-πισμό	Ομάς PCM	
2	*UL TCK 30 G*			
2.1	Εργασίες ελέγχου λειτουργίας Έλεγχος ενδείξεων συναγερμών ->>- της εφεδρικής γραμμής	Κάθε μέρα	Συνεχής έλεγχος οπτικός	
2.2	Γενικός έλεγχος λειτουργίας	6 μήνες	Ομάς PCM	
2.3	Καθαρισμός συσκευών	6 μήνες	Ομάς PCM	
2.4	Μετρήσεις για ρυθμίσεις για τάση – Z-11α-ρεύμα και τάση μονάδος Z-50b & Z-51α- μονάδα τηλεντοπισμού BTI 13 αυτόματη μεταβολή της εφεδρικής γραμμής σε γειτονικούς σταθμούς – συντήρηση συνδέσμων μεταξύ γειτονικών σταθμών UL και των κιβωτίων αναγεννητών SR – TCK 30G- ενδείξεις συναγερμών.	1 χρόνος		
2.5	Επισκευή ανωμαλιών	Αμέσως μετά τον εντο-πισμό		
3	*PCM κυτίο αναγεννητού*			
3.1	Καθαρισμός φρεατίου	6 μήνες	Ομάς PCM	
3.2	Ελεγχος πιέσεως εσωτερικού κιβωτίου και συμπλήρωσης OEAT	6 μήνες	Ομάς PCM	
3.3	Ελεγχος προστασίας PCM φρεατίου (ξεφλούδισμα χρώματος –σκουριά βιδών επίδραση χημικών ουσιών) και έλεγχος σφιξίματος βιδών Τελική αποκατάσταση	6 μήνες	Ομάς PCM	
3.4	Χρωματισμός κιβωτίου	5 χρόνια	Ομάς PCM	

3.5	Αλλαγή των εξαρτημάτων κιβωτίου και συντήρηση πρίζας	5 χρόνια	Ομάς PCM	

3.6	Αλλαγή ελαστικών παρεμβασμάτων	Σε περίπτω-ση ζημιάς και μετά από 10 ανοίγμα-τα του κιβωτίου	Ομάς PCM	
3.7	Αλλαγή συλίκας (υλικό απορρόφησης υγρασίας)	Μετά από κάθε άνοιγμα	Ομάς PCM	
3.8	Επισκευή ζημιών, αλλαγή αναγεννητή L-512, αλλαγή μονάδος L-711, αντικατάσταση του χαλασμένου	Αμέσως μετά την βλάβη		

ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΟΥ

14 Μαϊου 2012

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 14

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΔΡΑΣΕΩΝ ΕΠΙ ΤΗΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΩΣ ΦΟΡΤΙΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΔΡΑΣΕΩΝ ΕΠΙ ΤΗΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΩΣ ΦΟΡΤΙΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

1. ΦΟΡΤΙΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ

1.1. ΓΕΝΙΚΑ

Η σιδηροδρομική γραμμή πρέπει να εξασφαλίζει την κύλιση και να «οδηγεί» τα οχήματα με ασφάλεια και άνεση. Προς τούτο η επιδομή της (που στην κλασική της μορφή αποτελείται από τις σιδηροτροχιές, τους στρωτήρες με τους συνδέσμους τους και το σκύρο), αναλαμβάνει τις δυνάμεις που εμφανίζονται κατά την κυκλοφορία των συρμών και τις διανέμει προς την έδρασή της (υποδομή). Οι στρωτήρες αποτελούν ουσιώδες στοιχείο της επιδομής, ιδιαίτερα ως προς τη διανομή των φορτίων, ενώ παράλληλα εξασφαλίζουν τη σταθερότητα της γεωμετρικής απόστασης των σιδηροτροχιών. Ο σχεδιασμός τους πρέπει να ανταποκρίνεται με επάρκεια στο σημαντικό τους ρόλο.

Η χρησιμοποίηση στη σιδηροδρομική γραμμή, στρωτήρων από σκυρόδεμα, έφερε στην επιφάνεια την ανάγκη ακριβούς προσδιορισμού των δράσεων που καταπονούν το στρωτήρα.

Από τις αρχές του αιώνα μας μέχρι σήμερα έχουν εμφανισθεί διεθνώς διάφοροι τύποι στρωτήρων από σκυρόδεμα ολόσωμοι και διμερείς. Τούτο οφείλεται σε πολλούς παράγοντες, όπως στις ιδιαιτερότητες κάθε δικτύου, τις μεταβαλλόμενες συνθήκες κυκλοφορίας και γραμμής σε κάθε χώρα, στη συνέχιση της έρευνας επί του θέματος κ.λπ.. Η διεθνής βιβλιογραφία περιέχει αρκετούς τύπους διαφόρων ερευνητών για τον υπολογισμό των δράσεων επί των στρωτήρων.

Στην Ελλάδα μέχρι το 1999, οπότε άρχισε η στρώση της επιδομής Παλαιοφαρσάλου – Καλαμπάκας, χρησιμοποιούνταν μόνο διμερείς στρωτήρες από σκυρόδεμα, Γαλλικής τεχνολογίας τύπου Vagneux U2, U3 και U31, με συνδέσμους RN και Nabla. Στη γραμμή Παλαιοφαρσάλου – Καλαμπάκας, μεγίστης επιτρεπόμενης ταχύτητας εκμετάλλευσης 150 χλμ/ω, στρώνονται ολόσωμοι στρωτήρες από προεντεταμένο σκυρόδεμα Γερμανικής τεχνολογίας τύπου B70, με συνδέσμους Vossloh Skl-14. Έπειτα από την εμφάνιση ρηγματώσεων σε διμερείς στρωτήρες[1] στρωμένους στο Ελληνικό δίκτυο τύπου U3, σε ποσοστό 60% περίπου του συνολικού αριθμού τους, κατέστη αναγκαία η διερεύνηση του θέματος για την αναζήτηση των αιτίων που το προκάλεσαν, δεδομένου ότι η μέχρι εκείνη την εποχή διαθέσιμη σχετική βιβλιογραφία δεν έδιδε ικανοποιητική αιτιολόγηση του φαινομένου. Είναι αξιοσημείωτο ότι τα προηγμένα Ευρωπαϊκά δίκτυα από τα οποία

[1] Στοιχεία από καταγραφές που έγιναν στον ΟΣΕ, όπου και υλοποιήθηκε σχετικό με το θέμα ερευνητικό πρόγραμμα, παρατίθενται στα : Γιαννακός Κ, Βλασοπούλου Ι, – «Μελέτη για την καταπόνηση του έρματος και τη συμπεριφορά της επιδομής σε σχέση με το είδος των χρησιμοποιουμένων στρωτήρων», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1990, Γιαννακός Κ, Βλασοπούλου Ι, – «Μελέτη για το σύστημα «στρωτήρας - σκύρο», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1990, Γιαννακός Κ, Βλασοπούλου Ι, «Προβλήματα και Λύσεις για το σύστημα «στρωτήρας – σκύρο» στον ΟΣΕ», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1991, Γιαννακός Κ., Βλασοπούλου Ι., «Φόρτιση Στρωτήρων από Σκυρόδεμα και Εφαρμογή για Διμερείς Στρωτήρες», Τεχνικά Χρονικά, Επιστημονική Έκδοση Τ.Ε.Ε., Volume 14, 2/1994 αλλά και στο Γιαννακός Κ, Ιορδανίδης Π, Βλασοπούλου Ι, «Εκθεση Επιτροπής Εμπειρογνωμόνων του ΟΣΕ για την επίσκεψη τους στους SNCF από 15.5.1988 - 11.6.1988», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1988 όπου παρατίθεται και η αρχική εκτίμηση για 80% ρηγματωμένους στρωτήρες η οποία και αναθεωρήθηκε στη συνέχεια με την ολοκλήρωση των δειγματοληπτικών συστηματικών ελέγχων.

προέρχεται ο κύριος όγκος της βιβλιογραφίας δεν αντιμετωπίζουν συνθήκες παρόμοιες με τις υπάρχουσες στο Ελληνικό δίκτυο, όπου εμφανίζονται ορισμένες ιδιαιτερότητες. Για το σκοπό αυτό διεξήχθη έρευνα με αντικείμενο το σύστημα «στρωτήρας - σκύρο» για τις Ελληνικές συνθήκες (τροχαίο υλικό, ποιότητα σκύρου, επιφάνεια κύλισης, επίπεδο συντήρησης κ.λ.π). Η έρευνα διεξήχθη από τον ΟΣΕ (στην οποία συμμετείχε και ο συγγραφέας), σε συνεργασία με το τμήμα Ερευνών «Γραμμή» των Γαλλικών Σιδηροδρόμων (SNCF)[2] και με συμμετοχή του Ε.Μ.Π.[3], της Πολυτεχνικής Σχολής του Α.Π.Θ.[4] και του ΥΠΕΧΩΔΕ/ΚΕΔΕ όσον αφορά σε εξειδικευμένα θέματα - τομείς. Περιελάμβανε διερεύνηση των φαινομένων που παρουσιάσθηκαν επί γραμμής, εργαστηριακούς ελέγχους και πειράματα επί των επιμέρους υλικών, με σκοπό την αναζήτηση των αιτίων που προκάλεσαν τη συστηματική εμφάνιση ρηγματώσεων στους στρωτήρες.

Στο παρόν Κεφάλαιο παρουσιάζεται ένα μοντέλο υπολογισμού και διερευνώνται οι βασικές παράμετροι σχεδιασμού των στρωτήρων από σκυρόδεμα για τις δυσμενέστερες συνθήκες του Ελληνικού δικτύου, προτείνεται συγκεκριμένος τρόπος υπολογισμού της φόρτισης που αναλαμβάνει κάθε στρωτήρας και γίνεται εφαρμογή για διμερείς στρωτήρες[5]. Το πρώτο μέλημα του μηχανικού που ασχολείται με τη μελέτη μιάς κατασκευής, είναι, ο κατά το δυνατόν, ακριβέστερος προσδιορισμός των δράσεων που καταπονούν την κατασκευή.

Είναι γνωστό, ότι οι υπάρχουσες πληροφορίες, για κάθε παράγοντα που υπεισέρχεται στη μελέτη μιάς κατασκευής -όπως π.χ. οι δράσεις, η αντοχή των υλικών κ.λ.π. - στηρίζονται σε περιορισμένα δεδομένα. Έτσι η εκτίμηση της ασφάλειας κάθε κατασκευής εξαρτάται από τις αβεβαιότητες των διάφορων παραγόντων που υπεισέρχονται στη μελέτη και τη διαδικασία της ίδιας της κατασκευής του κάθε έργου. Η εκδήλωση της αστοχίας θα εξαρτηθεί από την πιθανότητα εμφάνισης των τιμών των διαφόρων παραγόντων αλλά και από την πιθανότητα συνδυασμού τους.

Ο προσδιορισμός των δράσεων επί των στρωτήρων στο παρόν γίνεται έπειτα από εκτίμηση των παραμέτρων και των συνθηκών του ελληνικού δικτύου βάσει της υπάρχουσας σχετικής διεθνούς βιβλιογραφίας, των ερευνητικών δεδομένων ξένων προηγμένων δικτύων και σε εφαρμογή της σύγχρονης θεωρητικής αντιμετώπισης του θέματος. Η διέλευση συρμών είναι τυχαίο δυναμικό φαινόμενο και ανάλογα με τη συχνότητα των δονήσεων υπάρχει η αντίστοιχη απόκριση της επιδομής. Το μέγεθος της

---

[2] Cooperation OSE/SNCF : 6/1988, «Comportement des traverses en relation avec les charges dynamigues», αλλά και Cooperation OSE/SNCF : 3/1989, «Programme d' essais realise au centre d' essais de la Direction de l' Equipement». Από πλευράς ΟΣΕ υπάρχουν: Γιαννακός Κ, Ιορδανίδης Π, Βλασοπούλου Ι, «Εκθεση Επιτροπής Εμπειρογνωμόνων του ΟΣΕ για την επίσκεψη τους στους SNCF από 15.5.1988 - 11.6.1988», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1988 και Γιαννακός Κ, Ιορδανίδης Π, Βλασοπούλου Ι, «Συνοπτική Έκθεση Επιτροπής για το θέμα των διμερών στρωτήρων μετά τη δεύτερη επίσκεψη στους SNCF το Μάρτη του 1989», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1989.

[3] Ε.Μ.Π/ Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος /20-10-1989, Εργαστηριακές δοκιμές και μετρήσεις σε στρωτήρες του ΟΣΕ (καθηγ. Θ.Π. Τάσιος, Κ. Τρέζος).

[4] Α.Π.Θ./Τομέας Γεωτεχνικής Μηχανικής, «Μηχανική Συμπεριφορά των Σκύρων ως Υλικού Κατασκευής έρματος Σιδηροδρομικής Γραμμής», Θεσσαλονίκη, Μάρτιος 1989.

[5] Υπάρχει και σχετική δημοσίευση για το θέμα στο Γιαννακός Κ., Βλασοπούλου Ι., «Φόρτιση Στρωτήρων από Σκυρόδεμα και Εφαρμογή για Διμερείς Στρωτήρες», Τεχνικά Χρονικά, Επιστημονική Εκδοση Τ.Ε.Ε., Volume 14, 2/1994 .

δυσμενέστερης φόρτισης, προσδιορίζεται βάσει των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από στοχαστική ανάλυση.

1.2. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΡΑΣΕΩΝ – ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

1.2.1. ΓΙΑΤΙ Η ΠΙΘΑΝΟΤΙΚΗ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ;

Ο «σχεδιασμός-μελέτη»μιας κατασκευής αποσκοπεί στο να καταδείξει ότι υπό ορισμένες παραδεκτές πιθανότητες η κατασκευή δε θα βρεθεί σε μια κατάσταση που έχουμε συμφωνήσει ότι θεωρείται απαράδεκτη, και που ονομάζεται οριακή κατάσταση. Στη γενική περίπτωση, μια τέτοια απαίτηση μπορεί να γραφεί :

$$S \leq R \qquad (1)$$

όπου : S είναι γενικά η «δράση» (δύναμη , τάση , παραμόρφωση κ.λ.π.) , και
R η «αντίσταση της κατασκευής σε μέγεθος αντίστοιχο με την δράση S.

Ο υπολογισμός των κατασκευών βασίζεται στην υπόθεση ότι είναι πλήρως γνωστές τόσο οι δράσεις όσο και οι ιδιότητες των υλικών . Όμως τα μεγέθη αυτά εξαρτώνται από ένα μεγάλο αριθμό παραμέτρων , οι οποίες ή δεν είναι γνωστές ή έχουν ένα τυχαίο χαρακτήρα . Πράγματι, οι περισσότερες δράσεις είναι τυχαίες μεταβλητές που μπορεί ακόμη να μεταβάλλονται και με το χρόνο. Επίσης οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών είναι από την φύση τους τυχαίες μεταβλητές. Τέλος, οι παραδοχές υπολογισμού αλλά και η διαδικασία κατασκευής αυξάνουν τις πηγές ανασφάλειας. Καθώς οι S και R δεν είναι φραγμένες (πάνω και κάτω αντίστοιχα), η σχέση (1) μπορεί να αντικατασταθεί με μια σχέση της μορφής :

$$\max S \leq \min R \qquad (2)$$

Αλλά ακόμη και αν ήταν δυνατό να βρεθούν πάνω και κάτω όρια για τις δράσεις και τις αντοχές, πάλι η σχέση (2) θα ήταν ανεφάρμοστη γιατί θα οδηγούσε σε κατασκευές πολύ μεγάλου κόστους.

Το να απαιτήσει λοιπόν κανείς να ισχύει η σχέση (1) με βεβαιότητα δεν έχει νόημα. Μπορεί ωστόσο να απαιτήσει η σχέση (1) να ικανοποιείται με μια πιθανότητα «πολύ κοντά» στη μονάδα.

Εισάγεται λοιπόν έτσι η έννοια της πιθανολογικής αντιμετωπίσεως της ασφάλειας των κατασκευών, και πρέπει να συμβιβαστεί κανείς με την ιδέα ότι απόλυτη ασφάλεια δεν υπάρχει και ότι εκείνο που επιδιώκεται είναι να κρατηθεί πάρα πολύ μικρή η πιθανότητα αστοχίας.

1.2.2. ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ

Αντιπροσωπευτική τιμή ενός μεγέθους είναι η τιμή με την οποία το μέγεθος αυτό εισάγεται στο σχεδιασμό π.χ. σκυρόδεμα κατηγορίας C20, χάλυβας κατηγορίας S400, κινητά φορτία δαπέδων 2 kN/m^2. Διακρίνονται κυρίως δύο τύποι χαρακτηριστικών τιμών, ανάλογα με τον τρόπο καθορισμού τους: η χαρακτηριστική τιμή και η ονομαστική τιμή.

α) *Χαρακτηριστική τιμή*[6] είναι εκείνη η αντιπροσωπευτική τιμή που προσδιορίζεται πιθανοτικά και στην οποία αντιστοιχεί μια προκαθορισμένη πιθανότητα υπερβάσεώς της (ή υποσκελίσεώς της) μέσα σ' ένα επίσης προκαθορισμένο χρονικό διάστημα.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για ορισμένες δράσεις καθορίζεται σε 5% η πιθανότητα υπερβάσεως της χαρακτηριστικής τιμής σε 50 χρόνια[7].

Γενικώς χαρακτηριστική τιμή S_k πιθανότητας p ενός μεγέθους S καλείται η τιμή εκείνη για την οποία ισχύει:

$$P(S>S_k) = p \qquad (3)$$

Ισχύει ότι:

$$S_k = S_m + k*\sigma_m \qquad (4)$$

Όπου: S_m η μέση τιμή του S
σ η τυπική απόκλιση του S
k αριθμητικός συντελεστής που εξαρτάται από τη συνάρτηση κατανομής της τυχαίας μεταβλητής S και από την πιθανότητα p (π.χ. για κανονική κατανομή και p=5% έχουμε k=1,64 ενώ για p=95% έχουμε k= -1,64).

Η (3) μπορεί να γραφτεί και ως:

$$S_k = (1 + k \cdot \frac{\sigma_s}{S_m}) \cdot S_m = (1 + k \cdot V_m) \cdot S_m \qquad (5)$$

Όπου V_m η μεταβλητότητα (variability) του μεγέθους S, αδιάστατος αριθμός που μετράει τη διασπορά γύρω από τη μέση τιμή (αναφέρεται ως παράδειγμα ότι η μεταβλητότητα για το χάλυβα οπλισμού είναι $0,04< V_s <0,08$, ενώ για το σκυρόδεμα $0,10< V_s <0,20$ κυρίως ανάλογα με την ποιότητα του εργοστασίου-εργοταξίου παραγωγής σκυροδέματος).

β) *Ονομαστική τιμή*[8] είναι εκείνη η αντιπροσωπευτική τιμή που προσδιορίζεται εμπειρικά ή καθορίζεται αυθαίρετα. Ουσιαστικά η ονομαστική τιμή αντιμετωπίζεται στη διαδικασία ελέγχου όπως και η χαρακτηριστική τιμή. Η έννοια της ονομαστικής τιμής εισάγεται απλά και μόνο για να φανεί ότι η τιμή αυτή δεν προέκυψε από πιθανοτικούς υπολογισμούς.

γ) *Άλλες αντιπροσωπευτικές τιμές*[9] όπως τιμές συνδυασμού, τιμές λειτουργίας κ.λπ., είναι παράγωγες της χαρακτηριστικής τιμής, η οποία είναι συνήθως και η βασική αντιπροσωπευτική τιμή. Ως παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί η τιμή λειτουργίας μεταβλητών δράσεων η οποία είναι η τιμή με την οποία οι δράσεις αυτές εισάγονται στους ελέγχους των οριακών καταστάσεων λειτουργικότητας.

---

[6] Τάσιος Θ., Μαθήματα Οπλισμένου Σκυροδέματος, Ε.Μ.Π., Αθήνα 1979, Κεφάλαιο «Πιθανοτική αντιμετώπιση της ασφάλειας και αρχές σχεδιασμού».
[7] Όπως παραπάνω
[8] Τάσιος Θ., Μαθήματα Οπλισμένου Σκυροδέματος, Ε.Μ.Π., Αθήνα 1979, Κεφάλαιο «Πιθανοτική αντιμετώπιση της ασφάλειας και αρχές σχεδιασμού».
[9] Όπως παραπάνω

1.2.3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Η επίλυση στατική και δυναμική γίνεται με τις δράσεις σχεδιασμού οι οποίες προκύπτουν πολλαπλασιάζοντας τις αντίστοιχες αντιπροσωπευτικές τιμές αυτών των δράσεων με κατάλληλους επιμέρους συντελεστές ασφαλείας.

Εκτελείται έλεγχος σε οριακή κατάσταση αστοχίας και οριακή κατάσταση λειτουργικότητας[10].

Για το σύνολο των μεταβλητών, η οριακή κατάσταση που εξετάζεται γράφεται[11]:

$$P(R<S)=\iint f_R(\xi)\cdot fs(u)\cdot d\xi\cdot du \qquad (6)$$

Όπου f_R, f_S είναι οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας των R και S. Η αντοχή σχεδιασμού f_d ενός υλικού ορίζεται από τη σχέση[12] :

$$f_d=\frac{f_k}{\gamma_m} \qquad (7)$$

Όπου f_k η χαρακτηριστική αντοχή του υλικού
γ_m επιμέρους συντελεστής ασφαλείας του υλικού

Οι τιμές αυτές των γ_m είναι ενδεικτικές του ελέγχου και της αυστηρότητας τήρησης των προδιαγραφών και της συνεπούς εφαρμογής των απαιτήσεων. Έτσι για το σκυρόδεμα κυμαίνεται περί το 1,5, με ελάχιστη τιμή το 1,4 για προκατασκευή και 1,6 όταν ο έλεγχος δεν επιτυγχάνεται[13].

Για την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας οι απαιτήσεις αποβλέπουν βασικά στον περιορισμό των ρηγματώσεων και των παραμορφώσεων στην κατάσταση λειτουργίας. Ανάλογα με την περίπτωση απαιτείται έλεγχος που να αποδείχνει[14] :

- Ότι οι τάσεις του σκυροδέματος ή τα ανοίγματα των ρωγμών δεν φθάνουν ορισμένες προκαθορισμένες τιμές
- Ότι οι παραμορφώσεις είναι μικρότερες από τις επιτρεπόμενες

2.- ΣΤΡΩΤΗΡΕΣ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

2.1. ΙΣΤΟΡΙΚΟ – ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω μέχρι το έτος 2000, βρίσκονταν σε εν εκμεταλλεύσει γραμμές του ΟΣΕ, μόνο διμερείς στρωτήρες από σκυρόδεμα. Ο διμερής στρωτήρας αποτελείται από δύο πολυεδρικά τεμάχια σκυροδέματος (ημιστρωτήρες), ένα κάτω από κάθε σιδηροτροχιά, που συνδέονται μεταξύ τους με μία χαλύβδινη ράβδο (συνδετήρια ράβδος), διατομής ανεστραμμένου Υ οι U2 και U3 και γωνιακής διατομής οι U31. Η μεταλλική ράβδος με αμελητέα, ως προς τα τεμάχια σκυροδέματος, ροπή αδρανείας, δεν

[10] Όπως παραπάνω
[11] Όπως παραπάνω
[12] Όπως παραπάνω
[13] Τάσιος Θ., Μαθήματα Οπλισμένου Σκυροδέματος, Ε.Μ.Π., Αθήνα 1979, Κεφάλαιο «Πιθανοτική αντιμετώπιση της ασφάλειας και αρχές σχεδιασμού».
[14] Όπως παραπάνω

αναλαμβάνει – πρακτικά – αρνητικές ροπές στο μέσον. Παρ' όλα αυτά, η ράβδος διατομής Υ, ανελάμβανε κάποια ροπή και για το λόγο αυτό την αντικατέστησαν με γωνιακή διατομή η οποία μάλιστα είναι τοποθετημένη λοξά ακριβώς για να μην μπορεί να δημιουργήσει συνθήκες έδρασης στο σκύρο. Οι ολόσωμοι στρωτήρες από προεντεταμένο σκυρόδεμα τύπου Β70 άρχισαν να κυκλοφορούνται το Μάρτιο του 2000 και δεν υπάρχει πρακτική εμπειρία στο ελληνικό δίκτυο.

Οι τρεις τύποι διμερών στρωτήρων οπλισμένου σκυροδέματος, τύπου Vagneux U2, U3 και U31, Γαλλικής τεχνολογίας, που χρησιμοποιούνται στο Ελληνικό δίκτυο είναι όμοιοι με αυτούς που χρησιμοποιούνται από τους Γαλλικούς Σιδηροδρόμους (SNCF) και βρίσκονται στρωμένοι σε εν λειτουργία γραμμές που κυκλοφορούνται με ταχύτητες 200 χλμ/ω και με ημερήσιο φόρτο κυκλοφορίας (tonnage) 50.000 t/ημέρα[15], ενώ στην Ελλάδα μέχρι τις αρχές του 2000, η μέγιστη ταχύτητα ήταν 120 χλμ/ω, τώρα είναι 140 χλμ/ω και ο ημερήσιος φόρτος κυκλοφορίας δεν ξεπερνά τις 10.000 t/ημέρα.

Από τους παραπάνω τύπους, ο τύπος U3 στο Ελληνικό δίκτυο εμφάνισε ρηγματώσεις, σε ποσοστό 60% περίπου (βλ. προηγούμενα), επί του συνολικού αριθμού των επί γραμμής στρωτήρων αυτού του τύπου, στη θέση κάτω από τη σιδηροτροχιά, που αρχίζουν από την επιφάνεια έδρασης του στρωτήρα και με κατεύθυνση προς τα άνω[16]. Ας σημειωθεί ότι ο ίδιος τύπος στους Γαλλικούς σιδηροδρόμους αν και χρησιμοποιείται και σε γραμμές με Vmax=200km/h και ημερήσιο φόρτο 50.000 t δεν εμφάνισε προβλήματα[17]. Είναι χαρακτηριστικό ότι η ομάδα μηχανικών του ΟΣΕ, που συμμετέχοντας στην έρευνα επισκέφθηκε το δίκτυο των SNCF, έκανε δοκιμαστικές τυχαίες εκσκαφές – ερευνητικές τομές και δεν διεπίστωσε πρόβλημα[18].

Ο στρωτήρας U3 έχει φορτίο λειτουργίας 125 kN έως 130 kN, φορτίο θραύσης 140kN έως 175kN και φορτίο καταστροφής του στρωτήρα 175 kN έως 200 kN[19]. Τα φορτία λειτουργίας και θραύσης ελέγχονται, σύμφωνα με τις προδιαγραφές των Γαλλικών σιδηροδρόμων, είτε πειραματικά στο εργαστήριο με δυναμική δοκιμή για εξαιρετικά φορτία, είτε επί γραμμής, από την παραμένουσα ρηγμάτωση σε αποφορτισμένο στρωτήρα (παραμένουσα ρωγμή (α) 0,05mm μέχρι 0,1mm για την κατάσταση λειτουργίας και (β) 0,5mm για την οριακή κατάσταση θραύσης αντίστοιχα[20]). Μέχρι σήμερα δεν έχει αναφερθεί, ότι ανευρέθη στο Ελληνικό δίκτυο, διμερής στρωτήρας από σκυρόδεμα που να

---

[15] Γιαννακός Κ, Ιορδανίδης Π, Βλασοπούλου Ι, «Εκθεση Επιτροπής Εμπειρογνωμόνων του ΟΣΕ για την επίσκεψη τους στους SNCF από 15.5.1988 - 11.6.1988», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1988, Παράρτημα VI, σελ., 1,4 και 5.

[16] Όπως παραπάνω σελ. 1,2

[17] Όπως παραπάνω , Παράρτημα VI, σελ. 4 και 5.

[18] Γιαννακός Κ, Ιορδανίδης Π, Βλασοπούλου Ι, «Εκθεση Επιτροπής Εμπειρογνωμόνων του ΟΣΕ για την επίσκεψη τους στους SNCF από 15.5.1988 - 11.6.1988», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1988, Παρ'αρτημα VI

[19] Prud'homme A., Erieau J., «Les nouvelles traverses en beton de la SNCF», RGCF - 2/1976, 102 - 117.

[20] S.N.C.F. – Direction de l' Equipement, "Specification Technique VRE 2321 80 – 06 (B) , pour la fourniture de traverses mixtes en beton arme" – Juin 1980, S.N.C.F. – Direction de l' Equipement, "Specification Technique VRE 2321 - 77 – 09 (A), Essais d' argement et definition des valeurs a utiliser pour les essais de charge lors de la reception des traverses mixtes en beton arme". S.N.C.F./Directionde l' Equipement, "Rapport de Mission effectuee aupres de CH (ΟΣΕ)", Cervi G., 1987.

έχει υπερβεί την οριακή κατάσταση θραύσης επί γραμμής[21]. Από πειραματικούς ελέγχους που έγιναν σε εργαστήρια των SNCF[22], διαπιστώθηκε ότι οι στρωτήρες τύπου U3 του ΟΣΕ εκπληρούν τις απαιτήσεις των 125 kN και 175kN για φορτίο λειτουργίας και φορτίο θραύσης αντίστοιχα[23], για τα οποία και είχαν σχεδιασθεί (βλ παρακάτω τα όρια των φορτίων στην περιγραφή των κλιμάκων R1, R2 και R3, της αντοχής των στρωτήρων). Έτσι η παρατηρηθείσα εκτεταμένη εμφάνιση ρηγματώσεων απετέλεσε διερευνητέο θέμα και μάλιστα αντικείμενο επιστημονικής ερεύνης.

Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθεί ότι η υπάρχουσα διεθνής βιβλιογραφία για τον υπολογισμό των δράσεων επί των στρωτήρων περιλαμβάνει διάφορες μεθόδους που προτείνουν αντίστοιχους τύπους. Από αυτούς, ευρύτερα χρησιμοποιούμενος είναι ο τύπος που δίδεται στη Γερμανική βιβλιογραφία[24]. Η φόρτιση που προκύπτει από την εφαρμογή του τύπου, με τις πιο ακραίες δυσμενείς συνθήκες που προβλέπει, δίδει τιμές φορτίων που δικαιολογούν σποραδική εμφάνιση ρηγματώσεων (της τάξεως 1-2%) *αλλά δεν δικαιολογούν καθόλου τη συστηματική εμφάνιση σε ποσοστό μάλιστα 60%.*

Η Γαλλική βιβλιογραφία περιέχει και τύπους υπολογισμού της φόρτισης του στρωτήρα[25]. Από την εφαρμογή τους προκύπτουν αποτελέσματα, για τις τιμές των φορτίων, παρόμοια με του τύπου της Γερμανικής βιβλιογραφίας.

Το παραπάνω γεγονός οδήγησε σε διεξοδικότερη διερεύνηση του θέματος της εκτεταμένης εμφάνισης ρηγματώσεων με στόχο την πρόταση συγκεκριμένου μαθηματικού τύπου υπολογισμού των δράσεων επί των στρωτήρων, που να ικανοποιεί τις πραγματικές συνθήκες που έχουν παρατηρηθεί στο Ελληνικό δίκτυο. Οι συνθήκες αυτές είναι μεγάλες μη ανηρτημένες μάζες, ασβεστολιθικό σκύρο – πολλές φορές - εκτός των προδιαγραφών των προηγμένων Ευρωπαϊκών δικτύων, μη εφαρμογή της μεθόδου της λείανσης της επιφάνειας κύλισης σιδηροτροχιών, τρόπος συντήρησης, μεγάλες επιπλατύνσεις τροχών κ.λ.π. Ο τύπος που τελικά προτάθηκε δίδει αποτελέσματα που ερμηνεύουν το παρατηρηθέν φαινόμενο συστηματικής εμφάνισης των ρηγματώσεων σε μεγάλο ποσοστό στρωτήρων[26].

---

[21] Γιαννακός Κ., Βλασοπούλου Ι., «Υπόμνημα – βάσει του 100724/20-5-93 εγγράφου – για το θέμα των στρωτήρων και του έρματος», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, 1993. Πρόσφατα ανευρέθησαν στρωτήρες U2 και U3 με θραύση της μεταλλικής ράβδου.

[22] Το Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος του ΕΜΠ (Καθηγητές Θ. Π. Τάσιος και Κ. Τρέζος), το 1989, εκτέλεσε στατικές δοκιμές που έδωσαν αποτελέσματα, για το όριο θραύσης της τάξης των 50 t για τους U2 και U3 και των 75 t για τους U31, ίδε Ε.Μ.Π/ Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος /20-10-1989, «Εργαστηριακές δοκιμές και μετρήσεις σε στρωτήρες του ΟΣΕ» αλλά και Γιαννακός Κ, Βλασοπούλου Ι, «Προβλήματα και Λύσεις για το σύστημα «στρωτήρας – σκύρο» στον ΟΣΕ», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1991.

[23] Cooperation OSE/SNCF : 6/1988, «Comportement des traverses en relation avec les charges dynamigues», αλλά και Cooperation OSE/SNCF : 3/1989, «Programme d' essais realise au centre d' essais de la Direction de l' Equipement» αλλά και Γιαννακός Κ, Ιορδανίδης Π, Βλασοπούλου Ι, «Εκθεση Επιτροπής Εμπειρογνωμόνων του ΟΣΕ για την επίσκεψη τους στους SNCF από 15.5.1988 - 11.6.1988», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1988 όπως και Γιαννακός Κ, Ιορδανίδης Π, Βλασοπούλου Ι, «Συνοπτική Έκθεση Επιτροπής για το θέμα των διμερών στρωτήρων μετά τη δεύτερη επίσκεψη στους SNCF το Μάρτη του 1989», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1989.

[24] Eisenmann J., Mattner L., "Auswirkung der Oberbaukonstruktion auf die Schotter und Untergrundbeanspruchung", Eisenbahningenieur 35, 3/1984

[25] Alias J., "La voie ferree", IIeme edition, Eyrolles, Paris, 1984, Chapitre II – La mecanique de la voie αλλά και Prud'homme A., Erieau J., «Les nouvelles traverses en beton de la SNCF», RGCF - 2/1976,.

[26] Γιαννακός Κ., Βλασοπούλου Ι., «Φόρτιση Στρωτήρων από Σκυρόδεμα και Εφαρμογή για Διμερείς Στρωτήρες», Τεχνικά Χρονικά, Επιστημονική Εκδοση Τ.Ε.Ε., Volume 14, 2/1994, παραγρ. 2.

2.2. ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΣΤΡΩΤΗΡΩΝ

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές των SNCF[27], οι δυναμικές δοκιμές για αποδοχή των στρωτήρων (βλ Σχήμα 1α), είναι σχεδιασμένες να ανταποκρίνονται στις τρεις κλίμακες φορτίων[28], οι οποίες έχουν καθορισθεί σε πειράματα υπό δυσμενείς συνθήκες έδρασης[29]:

1η κλίμακα ή κλίμακα R1:

Εμφάνιση των πρώτων αμυδρών ρηγματώσεων (ορατών με γυμνό οφθαλμό): αυτή η κλίμακα έχει γενικά μικρή σημασία, επειδή ποικίλει πολύ, ανάλογα με την αντοχή σε εφελκυσμό του σκυροδέματος (οι οπλισμοί δεν αναλαμβάνουν τάσεις σ' αυτό το στάδιο). Η αντοχή αυτού καθ' εαυτού του στρωτήρα επηρεάζεται πολύ λίγο από τις πρώτες αυτές ρηγματώσεις. Η κλίμακα φορτίου αυτή, για όλους τους τύπους διμερών στρωτήρων, βρίσκεται (Prud'homme et al., 1976) στα 110 kN ÷ 120 kN (~11 ÷ 12 t) και αντιστοιχεί σε δυσμενείς συνθήκες έδρασης του στρωτήρα.

2η κλίμακα ή κλίμακα R2:

Εμφανίζονται ρηγματώσεις παρατηρήσιμες δια γυμνού οφθαλμού, παραμένουσες μετά την αποφόρτιση με άνοιγμα 0,05 à 0,1 mm. Αυτές οι ρηγματώσεις δεν είναι απαγορευτικές για την λειτουργία της γραμμής (δηλ. παρά τις ρηγματώσεις εξασφαλίζονται οι συνθήκες στήριξης της σιδηροτροχιάς). Η κλίμακα αυτή βρίσκεται στα 160kN (στρωτήρες U20 των SNCF) και στα 200kN (στρωτήρες U30 - U31 - U41) και για τους στρωτήρες U2 και U3 μεταξύ 125 et 130 kN (Prud'homme et al., 1976).

3η κλίμακα ή κλίμακα R3:

Εμφανίζονται ρηγματώσεις παρατηρήσιμες δια γυμνού οφθαλμού, παραμένουσες μετά την αποφόρτιση με άνοιγμα μέχρι 0,5 mm. Η κλίμακα αυτή προηγείται της ολικής καταστροφής του στρωτήρα και βρίσκεται στα 260kN (στρωτήρας U31), 320 kN (στρωτήρας U41), 240kN (στρωτήρας U20) και για τους στρωτήρες U2 και U3 μεταξύ 140 και 175 kN (Prud'homme et al., 1976). Μετά τα 175 kN και μέχρι τα 200 kN επέρχεται η αστοχία του στρωτήρα (Prud'homme et al., 1976).

Κατά τη λειτουργία τους στη γραμμή, οι στρωτήρες πρέπει να μπορούν να φέρουν τις παρακάτω φορτίσεις:

- **Στην κλίμακα R1** τα φυσιολογικά φορτία εκμετάλλευσης, δηλαδή τα στατικά φορτία προσαυξημένα με τα δυναμικά φορτία χαμηλής συχνότητας (ο κάθε ημιστρωτήρας φέρει το μισό στατικό φορτίο του άξονα Qo/2, ένα φορτίο ΔQo που προέρχεται από ανεπάρκεια ή περίσσεια υπερύψωσης και ένα φορτίο ΔQs από τις ανηρτημένες μάζες των οχημάτων. Το ΔQs μεταβάλλεται γραμμικά με την ταχύτητα).
- **Στην κλίμακα R2** εξαιρετικές περιπτώσεις δυναμικών φορτίων, που είναι όμως συνηθισμένες στη γραμμή. Αυτές οι υπερφορτίσεις οφείλονται στις μη ανηρτημένες

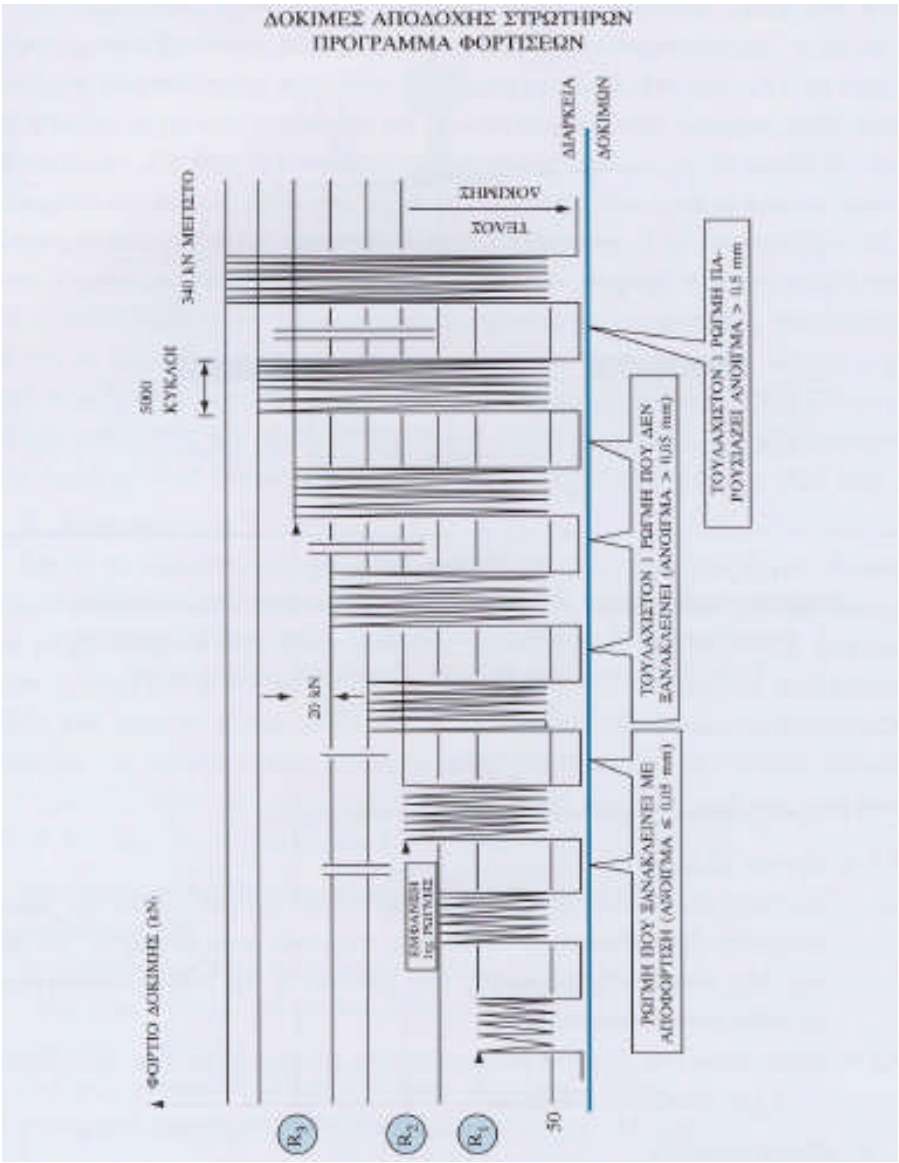
---

[27] S.N.C.F. – Direction de l' Equipement, "Specification Technique VRE 2321 - 77 – 09 (A), Essais d' argement et definition des valeurs a utiliser pour les essais de charge lors de la reception des traverses mixtes en beton arme".

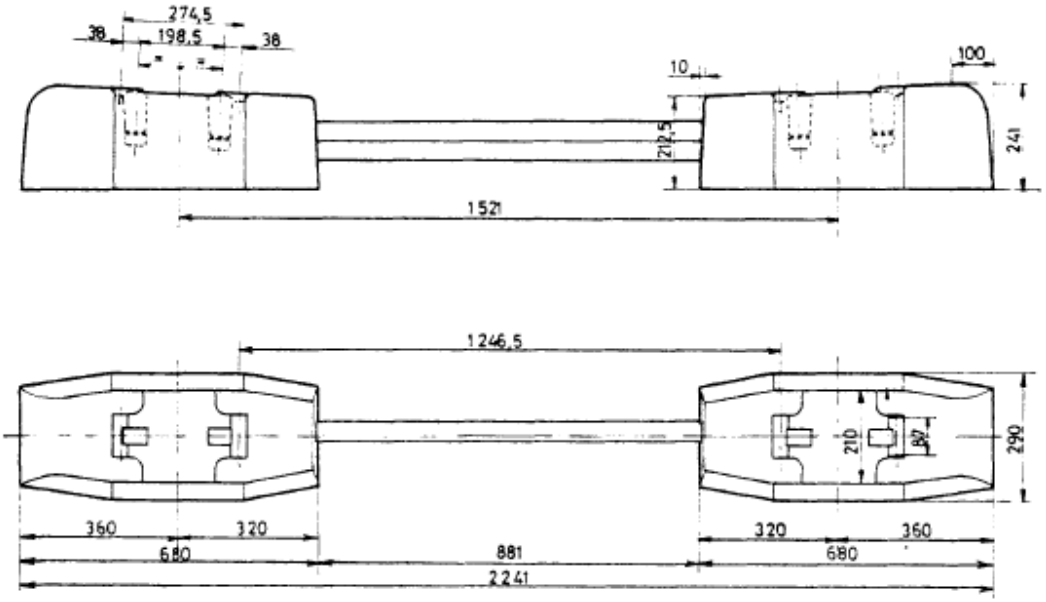
[28] Αντίστοιχες δοκιμές προτείνονται και από την ERRI/ORE, αλλά και στις υπό έκδοση Ευρωπαϊκές Προδιαγραφές

[29] Γιαννακός Κ, Ιορδανίδης Π, Βλασοπούλου Ι, «Εκθεση Επιτροπής Εμπειρογνωμόνων του ΟΣΕ για την επίσκεψη τους στους SNCF από 15.5.1988 - 11.6.1988», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1988, Παρ'αρτημα Ι και ΙΙΙ.

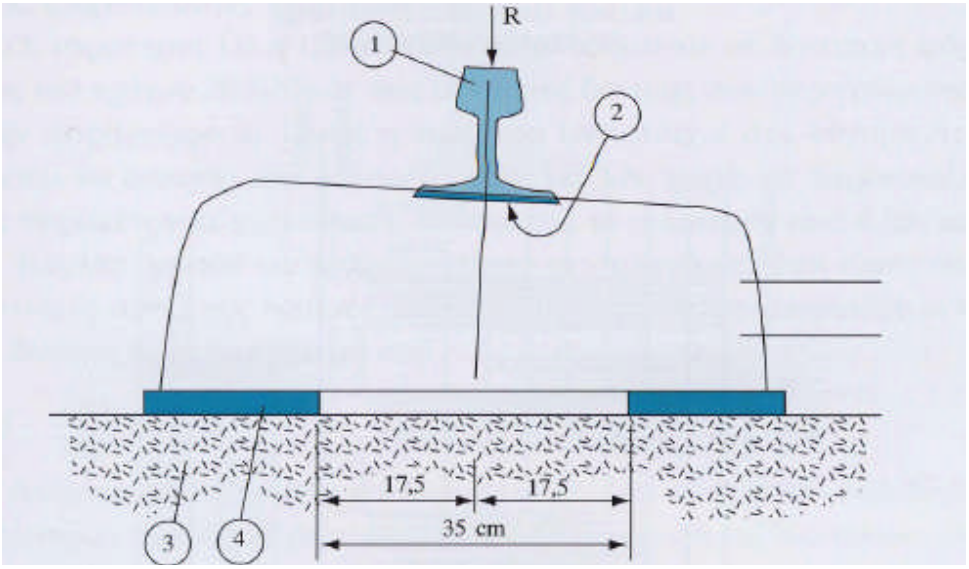
μάζες (Μ.Α.Μ.) – κύρια -, στα συνηθισμένα σφάλματα της επιφάνειας κύλισης της σιδηροτροχιάς όπως οι κακές συγκολλήσεις ή τα πατιναρίσματα κ.λπ., καθώς επίσης και στα συνηθισμένα σφάλματα των τροχών.



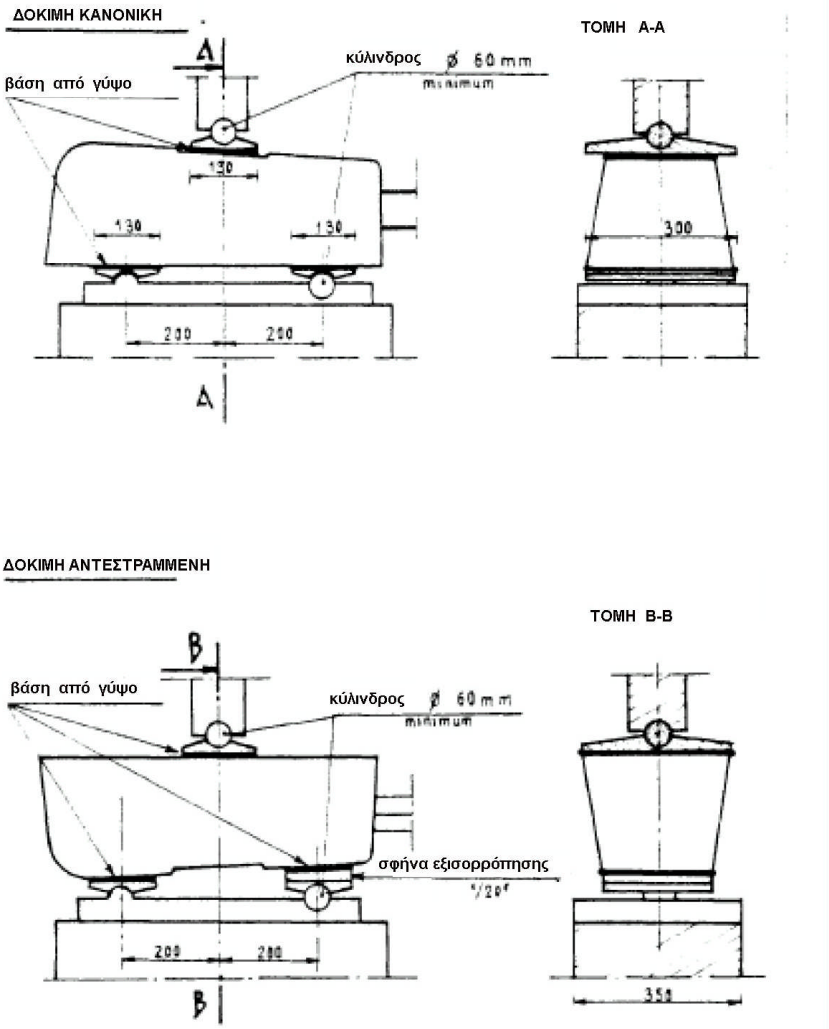
Σχήμα 1α: Διαδικασία δυναμικής φόρτισης στρωτήρων στο εργαστήριο για τον καθορισμό της αντοχής τους (Κλίμακες R1, R2, R3).



Σχήμα 1β: Διμερείς στρωτήρες από σκυρόδεμα τύπου Vagneux U2 ή/και U3, οκταγωνικής κάτοψης (Prud'homme et al., 1976)



Σχήμα 1γ: Διάταξη για δυναμική δοκιμή φόρτισης στρωτήρα στο εργαστήριο. 1. σιδηροτροχιά, 2. ελαστικό υπόθεμα, 3. βάση από σκυρόδεμα, 4. ελαστικό υπόθεμα σκληρό, R εξασκούμενη φόρτιση μέσω της σιδηροτροχιάς.(Γιαννακός 2002)



Σχήμα 1δ: Δοκιμή αποδοχής στρωτήρων (την εποχή που τοποθετήθηκαν οιστρωτήρες U2, U3 στο ελληνικό δίκτυο) όπως δίδεται στο [Prud'homme et al., 1976)

- **Στην κλίμακα R3** εξαιρετικές περιπτώσεις δυναμικών υπερφορτίσεων, όχι συνηθισμένες, όπως: αγκύρια ξεχασμένα στην επιφάνεια κύλισης της σιδηροτροχιάς, θραύση σιδηροτροχιάς, χάσματα στην επιφάνεια κύλισης από αποκόλληση τμήματος της κεφαλής σιδηροτροχιάς, επιπλατύνσεις των τροχών που ξεπερνούν τις παραδεκτές ανοχές κ.λπ..

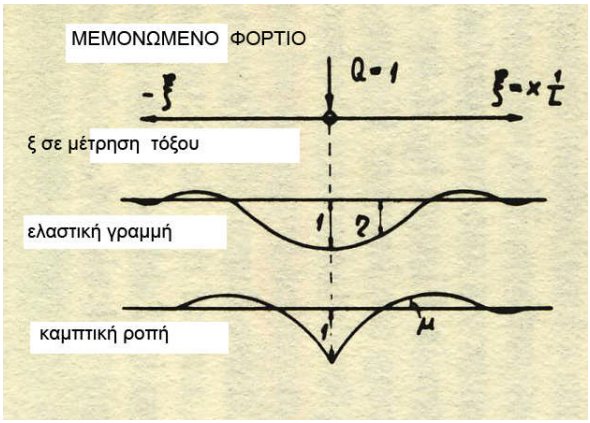
Σημείωση: *στα παραπάνω αλλά και στη συνέχεια όταν λέμε εξαιρετικές περιπτώσεις δυναμικών φορτίων συνηθισμένες στη γραμμή, εννοούμε φορτία που είναι πέραν των φυσιολογικών φορτίων λειτουργίας του συστήματος «τροχός-σιδηροτροχιά-στρωτήρας-έρμα-υποδομή» (δηλ. εξαιρετικές υπερφορτίσεις που όμως είναι συνηθισμένες σε συχνότητα εμφάνισης στη γραμμή).*

Στο σημείο αυτό είναι σκόπιμο να αναφερθεί ότι το σύστημα «τροχός-σιδηροτροχιά-στρωτήρας-έρμα-υποδομή» έχει ιδιοσυχνότητα 50-70Hz. Όταν έχουμε εξωτερική καταπόνηση χαμηλής συχνότητας η σιδηροτροχιά *«προλαβαίνει»* να παραμορφωθεί και να κατανείμει τα φορτία και στους γειτονικούς στρωτήρες. Αν όμως η εξωτερική καταπόνηση έχει συχνότητα μεγάλη (> 50Hz) η σιδηροτροχιά *«δεν προλαβαίνει»* να καμφθεί, δεν κατανέμει το φορτίο σε περισσότερους στρωτήρες και ο στρωτήρας που βρίσκεται ακριβώς κάτω από τον τροχό (φορτίο) καταπονείται κρουστικά (με σοκ), αναλαμβάνει μόνος του σχεδόν όλη τη δυναμική προσαύξηση του φορτίου και ρηγματώνεται ή σπάει[30].

2.3. ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΔΡΑΣΕΩΝ ΠΡΟΣ ΤΙΣ ΚΛΙΜΑΚΕΣ R_I

2.3.1.- ΕΙΔΗ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ ΓΙΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΣΗ ΤΩΝ ΚΛΙΜΑΚΩΝ

Για να αντιστοιχίσουμε τις κλίμακες Ri που προκύπτουν από τις δοκιμές αντοχής των στρωτήρων από σκυρόδεμα στο εργαστήριο –σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στους Κανονισμούς- με τις πραγματικές συνθήκες φόρτισης επί γραμμής, πρέπει να διακρίνουμε δύο είδη φόρτισης:



Σχήμα 2: Φορτίο επί γραμμής και η ελαστική γραμμή και η ροπή κάμψεως της σιδηροδρομικής γραμμής

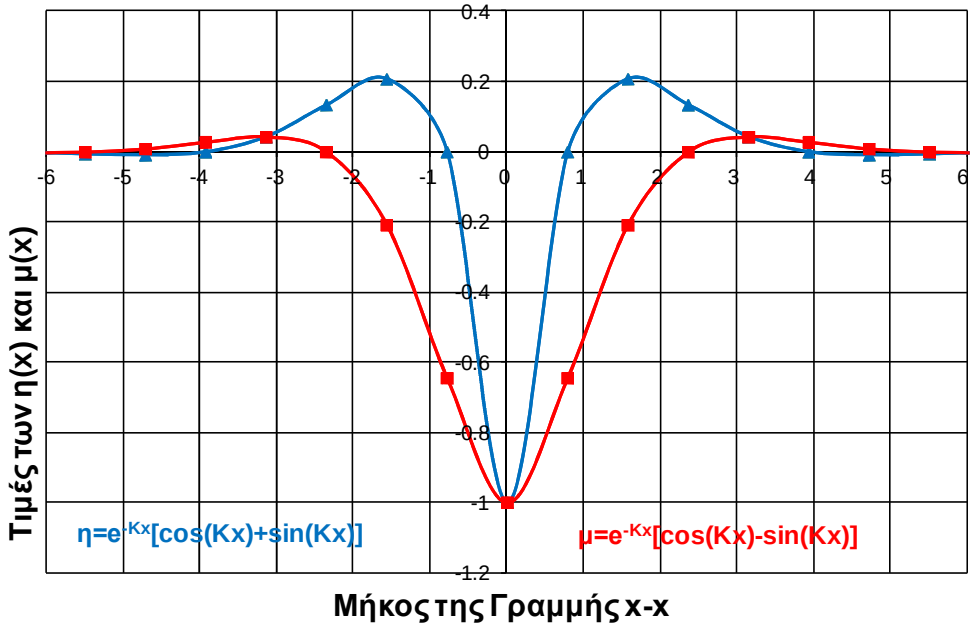
(α) τη φόρτιση –Συνολικό Φορτίο- που ασκείται από το σιδηροδρομικό όχημα ήτοι τελικά αναγόμενο σε Συνολικό Φορτίο ασκούμενο ως δράση από ένα άξονα/τροχό επί της εσχάρας της γραμμής, η οποία (εσχάρα) λειτουργώντας ως απειρομήκης δοκός επί ελαστικού εδάφους (Winkler, Odemark, Zimmermann), διανέμει το Συνολικό Φορτίο σε ένα μήκος αρκετών στρωτήρων. Αυτό το φορτίο δεν είναι φορτίο σχεδιασμού μιας γραμμής.

(β) την αντίδραση με την οποία αντιδρά κάθε στρωτήρας (μέγιστη τιμή αντίδρασης από το στρωτήρα που βρίσκεται ακριβώς κάτω από το φορτίο) και η οποία είναι η τιμή σχεδιασμού και διαστασιολόγησης της εσχάρας της γραμμής και των

[30] Γιαννακός Κ, Ιορδανίδης Π, Βλασοπούλου Ι, «Εκθεση Επιτροπής Εμπειρογνωμόνων του ΟΣΕ για την επίσκεψη τους στους SNCF από 15.5.1988 - 11.6.1988», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1988, Παρ'αρτημα Ι και ΙΙΙ.

επιμέρους στοιχείων που την απαρτίζουν (σιδηροτροχιές, στρωτήρες, σκύρο, υποδομή). Στο Σχήμα 2 φαίνεται το φορτίο Q επί γραμμής και η ελαστική γραμμή και η ροπή κάμψεως της σιδηροδρομικής γραμμής, ενώ στο Σχήμα 3 οι γραμμές επιρροής ροπής κάμψεως και βύθισης (παραμόρφωσης).στη σιδηροδρομική γραμμή λόγω φορτίου τροχού.

2.3.2.- ΣΕ ΧΑΜΗΛΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (ΣΤΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΗΜΙΣΤΑΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ)



Σχήμα 3: Γραμμές επιρροής στη γραμμή λόγω φορτίου τροχού: άνω Ροπής κάμψεως κάτω βύθισης (παραμόρφωσης).

Σε χαμηλή συχνότητα, η αντίδραση του στρωτήρα είναι ένα ποσοστό του φορτίου του τροχού, επειδή αυτό το φορτίο (με τη δυναμική προσαύξηση που αναλαμβάνει) κατανέμεται λόγω ελαστικής παραμόρφωσης (κάμψης) της γραμμής. Θεωρητικά, αυτή η διανομή μπορεί να υπολογισθεί από τον τύπο που δίδει η Γερμανική βιβλιογραφία[31].

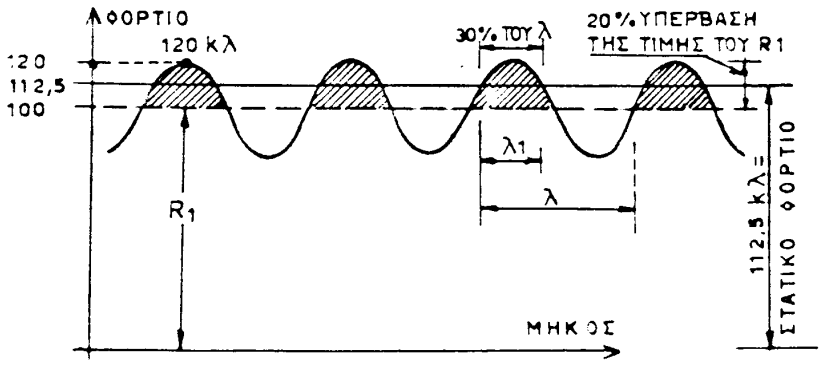
Φορτία χαμηλής συχνότητας:

Όπως αναφέρθηκε συνίστανται από:

- Το στατικό φορτίο του τροχού
- Προσαύξηση οφειλόμενη σε ανεπάρκεια της υπερύψωσης
- Δυναμική προσαύξηση οφειλόμενη στις ανηρτημένες μάζες

[31] Eisenmann J., Mattner L., "Auswirkung der Oberbaukonstruktion auf die Schotter und Untergrundbeanspruchung", Eisenbahningenieur 35, 3/1984.

Για λόγους ασφάλειας της κυκλοφορίας (εκτροχίαση), το σύνολο των προσαυξήσεων του στατικού φορτίου πρέπει να είναι μικρότερο από 100% σε σχέση με το στατικό φορτίο. Αν η προσαύξηση ξεπερνάει το 100%, τότε ο απέναντι τροχός του άξονα αποφορτίζεται πλήρως οπότε έχουμε εν δυνάμει εκτροχίαση. Γενικά συνιστάται να λαμβάνεται συντελεστής προσαύξησης 0,75, δηλ. συνολικά 1,75Qo στα 200km/h και 0,50 δηλ. 1,5Qo στα 140km/h. Όμως ο συντελεστής αυτός εξαρτάται από το τροχαίο υλικό και από την απόσβεση της δευτερεύουσας ανάρτησής του, όπως και από την ποιότητα της γεωμετρίας της γραμμής (μήκος κύματος σφαλμάτων περιλαμβανόμενο μεταξύ π.χ. 20m και 5m που καταγράφει το καταγραφικό όχημα σφαλμάτων γραμμής – Mauzin - των SNCF)[32]. Σε γραμμή με μορφή σφαλμάτων ημιτονοειδή θα έχουμε την εικόνα που δείχνει το σχήμα 4:



Σχήμα 4: Σφάλματα επιφάνειας κύλισης σιδηροτροχιάς μορφής ημιτονοειδούς, επιρροή στις δράσεις.

Μπορούμε να λάβουμε υπόψη μας ένα συμπληρωματικό συντελεστή ανισοκατανομής των φορτίων μεταξύ των στρωτήρων (συνθήκες στήριξης στο σκύρο), όμως ο συντελεστής αυτός συνδέεται με τον συντελεστή $\overline{A}_{στατ}$=R/Q. Ένας στρωτήρας που έχει κακή έδραση υποχωρεί περισσότερο, μπορούμε όμως να αρκεσθούμε στο να πάρουμε την μέση τιμή του $\overline{A}_{στατ}$.

Παράδειγμα: Qo = 12,5t = 125kN (25t/άξονα), ψ = 1,75 (200km/h)

$\overline{A}$= 0,55, R = 0,55 ∗ 125 ∗ 1,75 = 120 kN της τάξης μεγέθους της 1ης κλίμακας R1.

Στην πραγματικότητα, αν R1=100kN, μόνο το 10% των στρωτήρων δέχονται φορτίο που περιλαμβάνεται μεταξύ 100 και 120kN, επειδή το μέγιστο φορτίο που εκτιμάται κατ' αυτόν τον τρόπο, δεν εξασκείται παρά μόνο στο 30% μιας περιόδου ταλάντωσης και η πιθανότητα μιας μέγιστης υπερφόρτισης (φ = 1,75), σε μια καθορισμένη ζώνη γραμμής είναι <u>το πολύ</u> της τάξης του 30% επίσης.

Αναλυτικότερα:

[32] Γιαννακός Κ, Ιορδανίδης Π, Βλασοπούλου Ι, «Εκθεση Επιτροπής Εμπειρογνωμόνων του ΟΣΕ για την επίσκεψη τους στους SNCF από 15.5.1988 - 11.6.1988», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1988, Παράρτημα Ι και ΙΙΙ.

Η «ημιτονοειδής» επιφάνεια κύλισης (λόγω σφαλμάτων γεωμετρίας) επιβάλλει το όχημα σε εξαναγκασμένη ταλάντωση και έτσι υπάρχει διακύμανση στην τιμή του φορτίου λόγω ανηρτημένων μαζών. Το μήκος λ_1 στο οποίο έχουμε υπέρβαση του R1, είναι 30% του λ ήτοι τελικά το 30% του μήκους της γραμμής. Σε τιμή η υπέρβαση του R1 δεν ξεπερνά το 20%.

Η πιθανότητα να εμφανισθεί μια μέγιστη υπερφόρτιση με φ = 1,75 είναι 30%. Άρα ο μέγιστος αριθμός στρωτήρων στον οποίο αναμένεται να εμφανισθούν τριχοειδής αμυδρές ρηγματώσεις (λόγω υπέρβασης της κλίμακας R1) ανέρχεται σε:

*πιθανότητα 30% * μήκος 30% ≅ 10%*

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να δοθεί η «φιλοσοφία» του σκεπτικού με το οποίο τίθεται περιορισμός ώστε ο συντελεστής προσαύξησης να είναι μικρότερος του 0,75 για 200km/h:

Αν η δυναμική προσαύξηση του φορτίου ενός τροχού από τις διάφορες αιτίες (ανεπάρκεια υπερύψωσης, ανηρτημένες μάζες) ξεπεράσει το 100%, τότε ο απέναντι τροχός ανυψώνεται και βρισκόμαστε στο όριο της εκτροχίασης. Με συντελεστή προσαύξησης 75%, παραμένει στον απέναντι τροχό 25% του στατικού φορτίου που είναι ουσιαστικά το περιθώριο ασφαλείας έναντι εκτροχίασης.

Όπως προκύπτει από τη βιβλιογραφία, λόγω ανεπάρκειας υπερύψωσης προκύπτει προσαύξηση (βλ παρακάτω για την απόδειξη):

$$Q_{\alpha} = \frac{2 \cdot \alpha \cdot h_{KB}}{e^2} \cdot Q_{\tau\rho o\chi o\upsilon} \qquad (8)$$

Όπου: α ανεπάρκεια υπερύψωσης (180 mm στους SNCF και 105 στον ΟΣΕ).

h_{KB} ύψος του K.B. του οχήματος (= 1,5m στους SNCF).

e εύρος γραμμής ≅ 1,50m.

Άρα ΔQα/Q = 0,24 δηλ. τελικά ΔQα/Q = 0,20 ÷ 0,25

Το ποσοστό αυτό (24%) είναι αρκετό για ταχύτητα μέχρι 200km/h όμως είναι πολύ μεγάλο για ταχύτητες μεγαλύτερες.

Για το λόγο αυτό, οι SNCF, στο TGV, χαμήλωσαν το κέντρο βάρους των οχημάτων στο 1,00 ÷ 1,20m. Λόγω της κίνησης του αμαξώματος του οχήματος, η κατακόρυφη επιτάχυνση μετράται με επιταχυνσιογράφους που τοποθετούνται στο αμάξωμα και σπάνια το βρίσκουν 0,5g. Ήδη αν φθάσει το 0,5g, ο μηχανοδηγός διαμαρτύρεται γιατί αποκολλάται από το κάθισμα. Πρακτικά κατακόρυφη επιτάχυνση 0,5g συναντάμε (σπάνια βέβαια) στα εργοτάξια, ανακαινίσεις κλπ. Άλλωστε π.χ. σε βαγόνι εστιατόριο με 0,5g επιτάχυνση δεν μπορεί να φάει κανείς.

2.3.3.- ΣΕ ΥΨΗΛΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ)

Σε υψηλή συχνότητα (στην πράξη αφορά όλες τις περιπτώσεις όπου η φόρτιση έχει συχνότητα που ξεπερνά την ιδιοσυχνότητα της γραμμής, που είναι της τάξης 50÷70Hz), η διανομή του δυναμικού φορτίου του τροχού στους στρωτήρες μέσω της κάμψης της σιδηροτροχιάς είναι πολύ μειωμένη και το πιο σημαντικό μέρος της κρούσης (δυναμικής

προσαύξησης του φορτίου), αναλαμβάνεται από το στρωτήρα. Στο όριο, η δύναμη παραλαμβάνεται εξ ολοκλήρου από 1 στρωτήρα, με μόνη απόσβεση αυτή που κάνει το ελαστικό υπόθεμα και το σκύρο.

Φορτία υψηλής συχνότητας (~20 Hz ÷ 150Hz)

Είναι η δυναμική συνιστώσα της φόρτισης της γραμμής και οφείλονται στις μη ανηρτημένες μάζες. Ο υπολογισμός της δυναμικής συνιστώσας της φόρτισης και η κατανομή της αντίδρασης κατά μήκος της σιδηροτροχιάς υπολογίζονται με διάφορες μεθοδολογίες που θα αναλυθούν στη συνέχεια.

3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΔΡΑΣΕΩΝ ΕΠΙ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ

3.1.- ΓΕΝΙΚΑ

Η εκτίμηση της ασφάλειας κάθε κατασκευής εξαρτάται από τις αβεβαιότητες των διαφόρων παραγόντων που υπεισέρχονται στη μελέτη και τη διαδικασία της ίδιας της κατασκευής του κάθε έργου. Η εκδήλωση της αστοχίας θα εξαρτηθεί από την πιθανότητα εμφάνισης των τιμών των διαφόρων παραγόντων αλλά και από την πιθανότητα συνδυασμού τους. Η διέλευση συρμών είναι τυχαίο δυναμικό φαινόμενο και ανάλογα με τις συχνότητες των δράσεων που επιβάλλει, υπάρχει η αντίστοιχη απόκριση της επιδομής της γραμμής. Κατά τη στιγμή της διέλευσης ενός άξονα, από τη θέση ενός στρωτήρα, εξασκείται στο στρωτήρα ένα συνολικό τυχαία δυναμικό φορτίο. Η θεωρητική προσέγγιση για τον - κατά το δυνατό - ακριβέστερο προσδιορισμό της πιθανής τιμής του, επιβάλλει την ανάλυση του συνολικού φορτίου σε επιμέρους φορτίσεις - δράσεις που σε γενικές γραμμές μπορούν να αναλυθούν σε:

α.- Στατική φόρτιση

β.- Δυναμική φόρτιση

3.2.- ΣΤΑΤΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ

Στατική φόρτιση ενός στρωτήρα, με την κλασική έννοια, είναι το φορτίο που αναλαμβάνει ο στρωτήρας όταν ένας ακίνητος άξονας οχήματος βρίσκεται ακριβώς επί της θέσης του στρωτήρα.

Όμως και στις περιπτώσεις κινούμενων αξόνων με χαμηλές συχνότητες, ουσιαστικά έχουμε στατική φόρτιση. Η στατική φόρτιση αναλύεται περαιτέρω σε επιμέρους φορτίσεις.

3.2.1 ΣΤΑΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΟΦΕΙΛΟΜΕΝΟ ΣΤΟΝ ΤΡΟΧΟ

Η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη θεωρία (αναφέρεται διεθνώς ως θεωρία ή τύπος του Zimmermann) εξετάζει τη σιδηροδρομική γραμμή ως συνεχή απειρομήκη δοκό επί ελαστικού εδάφους, της οποίας η συμπεριφορά περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση (Γιαννακός, 2002):

$$\frac{d^4y}{dx^4} = -\frac{1}{E \cdot J} \cdot \frac{d^2M}{dx^2} \qquad (9)$$

όπου y είναι η βύθιση της γραμμής, M είναι η ροπή που καταπονεί τη γραμμή, J ροπή αδρανείας της σιδηροτροχιάς, και E το μέτρο ελαστικότητας της σιδηροτροχιάς.

Από αυτόν τον τύπο προκύπτει η αντίδραση (Reaction) του στρωτήρα:

$$R_{\sigma\tau\rho\omega\tau} = \frac{Q_{\tau\rho o\chi}}{2\sqrt{2}} \cdot \sqrt[4]{\frac{\ell^3 \cdot \rho}{E \cdot J}} \quad \Rightarrow \frac{R_{\sigma\tau\rho\omega\tau}}{Q_{\tau\rho o\chi}} = \overline{A} = \overline{A}_{\sigma\tau\alpha\tau} = \frac{1}{2\sqrt{2}} \cdot \sqrt[4]{\frac{\ell^3 \cdot \rho}{E \cdot J}} \qquad (10)$$

όπου $Q_{\tau\rho o\chi}$ το στατικό φορτίο του τροχού, ℓ η απόσταση μεταξύ των στρωτήρων, E and J το μέτρο ελαστικότητας και η ροπή αδρανείας της σιδηροτροχιάς, $R_{\sigma\tau\rho\omega\tau}$ η στατική αντίδραση/φόρτριση επί ενός στρωτήρα (και σε όλη την εσχάρα γραμμής), ρ «συντελεστής αντίδρασης του στρωτήρα» που καθορίζεται ως: ρ=R/y, και είναι ένας οιονεί συντελεστής ελαστικότητας (ή ακαμψίας) της γραμμής.

Στην πραγματικότητα η γραμμή είναι μια πολυστρωματική κατασκευή, συνίσταται από μια αλληλοδιαδοχή υλικών -κατά την κατακόρυφη έννοια- (σιδηροτροχιά, ελαστικό υπόθεμα συνδέσμου, στρωτήρα, σκύρο, υποδομή) που το καθένα παρουσιάζει μια χαρακτηριστική «ελατηριακή σταθερά» ρ_i. Έτσι για κάθε υλικό ισχύει

$$\rho_i = \frac{R}{y_i} \Rightarrow y_i = \frac{R}{\rho_i} \Rightarrow y_{o\lambda\iota\kappa o} = \sum_{i=1}^{\nu} y_i = \sum_{i=1}^{\nu} \frac{R}{\rho_i} = R \cdot \sum_{i=1}^{\nu} \frac{1}{\rho_i} \Rightarrow \frac{1}{\rho_{o\lambda\iota\kappa o}} = \sum_{i=1}^{\nu} \frac{1}{\rho_i} \qquad (11)$$

όπου ν είναι ο αριθμός των διαφόρων στρώσεων των υλικών που υπάρχουν κάτω από τη σιδηροτροχιά (συμπεριλαμβανομένης και αυτής) δηλαδή σιδηροτροχιά, ελαστικό υπόθεμα συνδέσμου, στρωτήρα, σκύρο και υποδομή.

Στην υπάρχουσα βιβλιογραφία δίδονται στοιχεία που έχουν προκύψει από έρευνα των γερμανικών σιδηροδρόμων (DB)[33] σχετικά με τις τιμές των συντελεστών ρ διαφόρων υλικών.

Πίνακας 1 : Τιμές του ρ (ή c) [βλ. Γιαννακός, 2002]

	σιδηροτροχιά		5 έως 10.000	t/mm
Υπόθεμα	Ξύλινο		30 έως 50	t/mm
	Καουτσούκ-Αυλακωτό ελαστικό		20	t/mm
Στρωτήρας από	Ξύλο οξιάς		60 έως 80	t/mm
	Σκυρόδεμα		1200 έως 1500	t/mm
	Μέταλλο		500 έως 1000	t/mm
	Σκύρο υπογομωμένο		10 έως 30	t/mm

Η ελαστικότητα του σκύρου εξαρτάται από τη φύση του, το πάχος του, την πλήρωση των κενών του και τη ρύπανση.

Προτείνεται η χρησιμοποίηση των ακόλουθων τιμών για τις ελληνικές συνθήκες[34]:

σιδηροτροχιά ρ = 75 X 10^3 kN/mm
στρωτήρας beton ρ = 13,5 X 10^3 kN/mm
σκύρο ρυπασμένο ~ 50cm ρ = 250 kN/mm
σκύρο ρυπασμένο ~ 30cm ρ = 380 kN/mm

[33] Ιδε σχετικά Prud' Homme A., "Sollicitations Statiques et Dynamiques dela Voie", SNCF/Direction des Installations Fixes, R 080-66-03, Juin 1969, σελ. 7, Alias J., "La Voie Ferree", IIeme edition, Eyrolles, Paris, 1984, Chapitre II – La mecanique de la voie, Alias J., "Le Rail", Eyrolles, Paris, 1987, σελ. 28.

[34] Γιαννακός Κ., Βλασοπούλου Ι., «Φόρτιση Στρωτήρων από Σκυρόδεμα και Εφαρμογή για Διμερείς Στρωτήρες», Τεχνικά Χρονικά, Επιστημονική Εκδοση Τ.Ε.Ε., Volume 14, 2/1994

Για τα ελαστικά υποθέματα υπολογίζεται το ρ από τις σχετικές καμπύλες απόκρισης των υποθεμάτων.

Πίνακας 2[35] : Τιμές του ρ ή c για διάφορες καταστάσεις του σκύρου και της υποδομής

Συντελεστής ρ σκύρου			**σκύρο έξι μήνες μετά τη στρώση**	**σκύρο παλαιό 2 χρόνια μετά τη στρώση**
Σκύρο με πάχος	17 cm	:	50 t/mm	-
	25 cm	:	40 t/mm	-
	30 cm	:	25 t/mm	38 t/mm
Κατάσταση σκύρου ή/και υποδομής				
σκύρο και έδαφος σε παγωμένα			8-10 t/mm	
υποδομή βραχώδης			3-8 t/mm	
υποδομή χαλικώδης			2-6 t/mm	
υποδομή αργιλώδης			1,5-2 t/mm	
υποδομή ιλυώδης			0,5-1,5 t/mm	

Σε τεχνικά έργα με σκύρο

12 t/mm	Επιδομή με ξύλινους στρωτήρες επί τεχνικού
15 t/mm	Επιδομή με στρωτήρες σκυροδέματος επί τεχνικού

Για κάθε υπόθεμα προτείνεται να υπολογίζονται δύο τιμές[36]:

α. η τιμή που προκύπτει από τη μέση καμπύλη και

β. η τιμή που προκύπτει από τη δυσμενέστερη καμπύλη.

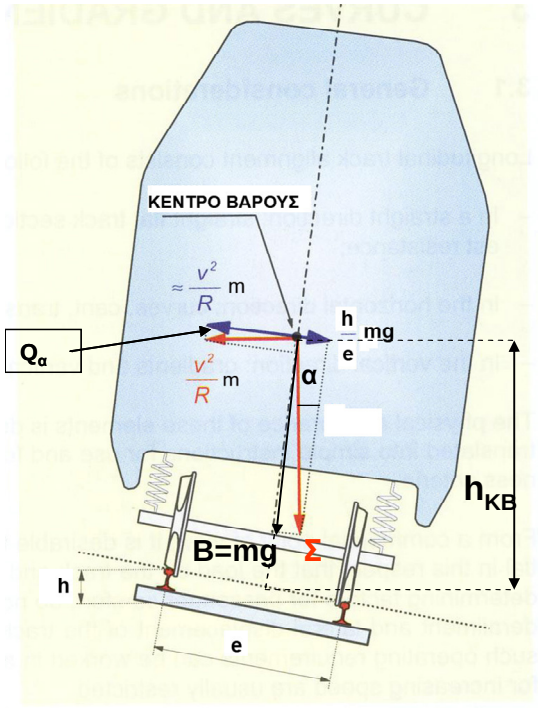
Από τη σχετική βιβλιογραφία[37] προκύπτει ότι για έδαφος και σκύρο παγωμένο, που μπορεί να θεωρηθεί ότι προσεγγίζει σημαντικά και από τη δυσμενέστερη πλευρά την κατασκευή πλήρους συμπύκνωσης (''ταράτσωμα''), έχουμε ρ=100kN/mm. Όπως προκύπτει από την εμπειρία που μέχρι σήμερα έχει αποκτήσει ο ΟΣΕ η δυσμενέστερη

[35] Ιδε σχετικά Prud' Homme A., "Sollicitations Statiques et Dynamiques dela Voie", SNCF/Direction des Installations Fixes, R 080-66-03, Juin 1969, σελ. 7, Alias J., "La Voie Ferree", IIeme edition, Eyrolles, Paris, 1984, Chapitre II – La mecanique de la voie, Alias J., "Le Rail", Eyrolles, Paris, 1987, σελ. 28.

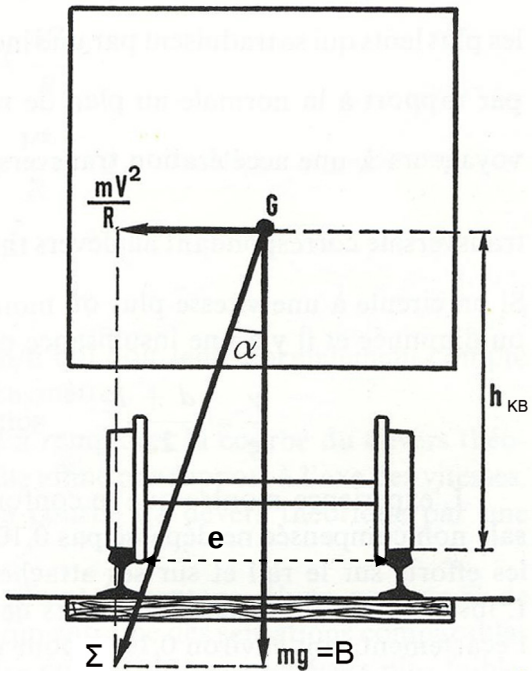
[36] Cooperation OSE/SNCF : 6/1988, «Comportement des traverses en relation avec les charges dynamigues», αλλά και Cooperation OSE/SNCF : 3/1989, «Programme d' essais realise au centre d' essais de la Direction de l' Equipement». Από πλευράς ΟΣΕ υπάρχουν: Γιαννακός Κ, Ιορδανίδης Π, Βλασοπούλου Ι, «Εκθεση Επιτροπής Εμπειρογνωμόνων του ΟΣΕ για την επίσκεψη τους στους SNCF από 15.5.1988 - 11.6.1988», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1988 και Γιαννακός Κ, Ιορδανίδης Π, Βλασοπούλου Ι, «Συνοπτική Εκθεση Επιτροπής για το θέμα των διμερών στρωτήρων μετά τη δεύτερη επίσκεψη στους SNCF το Μάρτη του 1989», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1989.

[37] Prud' Homme A., "Sollicitations Statiques et Dynamiques dela Voie", SNCF/Direction des Installations Fixes, R 080-66-03, Juin 1969, σελ. 7, Alias J., "La Voie Ferree", IIeme edition, Eyrolles, Paris, 1984, Chapitre II – La mecanique de la voie, Alias J., "Le Rail", Eyrolles, Paris, 1987, σελ. 28. Αλλά ίδε επίσης και Eisenmann J., Mattner L., "Auswirkung der Oberbaukonstruktion auf die Schotter und Untergrundbeanspruchung", Eisenbahningenieur 35, 3/1984

περίπτωση για τη φόρτιση του στρωτήρα σε έκχωμα - επίχωμα είναι η ανυποχώρητη έδραση που προκαλείται από την πλήρη συμπύκνωση και ρύπανση του σκύρου. Αυτό άλλωστε προκύπτει και από τον τύπο 3.2., όσο πιο μεγάλο το ρ, τόσο μεγαλύτερη η απώλεια της ελαστικότητας της επιδομής και κατά συνέπεια τόσο μεγαλύτερη η αντίδραση - φόρτιση του στρωτήρα.



Σχήμα 5α: Όχημα σε καμπύλη με υπερύψωση



Σχήμα 5β: Όχημα σε καμπύλη με μηδενική υπερύψωση

3.2.2.- ΦΟΡΤΙΣΗ ΟΦΕΙΛΟΜΕΝΗ ΣΕ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑ ΥΠΕΡΥΨΩΣΗΣ

Ένα όχημα «εγγράφεται» σε καμπύλη οδηγούμενο από τους όνυχες των τροχών. Η θεωρητική υπερύψωση είναι εκείνη που εξισορροπεί πλήρως τη φυγόκεντρο (βλ. Σχήμα 5α). Όμως επειδή σε κάθε καμπύλη κυκλοφορούν και ταχέως και βραδέως κινούμενα τρένα, η υπερύψωση h που δίδεται σε μια καμπύλη είναι μικρότερη από τη θεωρητική και υπάρχει και μια ανεπάρκεια υπερύψωσης α. Στο Σχήμα 5α όπου το όχημα κινείται με ταχύτητα V, σε καμπύλη ακτίνας R και υπερύψωση υ, η μη εξισορροπούμενη φυγόκεντρος επιτάχυνση είναι:

$$\gamma_{\mu\eta\text{-}\varepsilon\xi} = \frac{v^2}{R} - \frac{g \cdot \upsilon}{e}, \qquad h_{\theta\varepsilon\omega\rho} = \frac{e \cdot v^2}{g \cdot R} = \frac{11{,}8 \cdot V^2}{R}$$

Όπου: v ταχύτητα σε m/sec, V ταχύτητα σε km/h, R ακτίνα σε m, g η επιτάχυνση βαρύτητας 9,81 m/sec^2, υ υπερύψωση σε mm και e εύρος γραμμής 1500 mm.

Η ανεπάρκεια υπερύψωσης α είναι η διαφορά μεταξύ της θεωρητικής και της πραγματικής υπερύψωσης:

$$\alpha = \frac{e \cdot v^2}{g \cdot R} - \upsilon = 11{,}8 \cdot \frac{V_{max}^2}{R} - \upsilon$$

Η μη εξισορροπούμενη επιτάχυνση $\gamma_{μη-εξ}$ και η ανεπάρκεια υπερύψωσης α συνδέονται με τη σχέση:

$$\gamma_{\mu\eta-\varepsilon\xi} = \frac{g}{e} \cdot \alpha$$

Στο Σχήμα 5β φαίνεται όχημα κινούμενο σε καμπύλη ακτίνος R με μηδενική υπερύψωση. Στο όχημα ασκείται το βάρος Β, φυγόκεντρος δύναμη ίση με: $m\frac{V^2}{R}$, και συντίθενται οι δύο δυνάμεις στη συνισταμένη Σ, που είναι οιονεί φαινόμενο βάρος. Για να μην ασκεί το όχημα πλευρική δύναμη πρέπει να ανυψωθεί η εξωτερική σιδηροτροχιά της καμπύλης με μία «υπερύψωση» υ που δίδεται από τη σχέση:

$$\upsilon = e \cdot \tan\hat{\alpha} = \frac{e \cdot V^2}{g \cdot R}$$

Αν δεν εξισορροπείται πλήρως η πλευρική επιτάχυνση (φυγόκεντρος για ταχέως κινούμενα τρένα, κεντρομόλος για βραδέως κινούμενα τρένα) έχουμε είτε ανεπάρκεια υπερύψωσης **α**, είτε πλεόνασμα υπερύψωσης **π**, που μεταφράζονται σε κλίσεις είτε $\frac{\alpha \cdot g}{e}$, είτε $\frac{\pi \cdot g}{e}$. Αν γ_1 είναι η εγκάρσια επιτάχυνση που αντιστοιχεί στη θεωρητική υπερύψωση (για πλήρως εξισορροπούμενη επιτάχυνση) τότε ισχύει: $\frac{V^2}{g \cdot R} = \frac{\gamma_1}{g} = \frac{u}{e}$. Αν έχουμε ανεπάρκεια υπερύψωσης α, τότε: $\frac{\gamma}{g} = \frac{u + \alpha}{e} \Rightarrow \gamma = \gamma_1 + \frac{\alpha \cdot g}{e} = \gamma_1 + \gamma_{\mu\eta-\varepsilon\xi}$. Σε περίπτωση πλεονάσματος υπερύψωσης αντί α θέτουμε π.

Από το Σχήμα 5α αν φθάσουμε στο όριο (πριν την ανατροπή) το βάρος του οχήματος θα διέρχεται από τη σιδηροτροχιά στη «χαμηλότερη» θέση. Η γωνία α έχει σ' αυτήν την περίπτωση

$$\tan\alpha = \frac{\frac{e}{2}}{h_{KB}} = \frac{e}{2 \cdot h_{KB}} \Rightarrow \cot a = \frac{2 \cdot h_{KB}}{e}$$

Συνεπώς από το Σχήμα 5β η οριζόντια δύναμη λόγω ανεπάρκειας υπερύψωσης α δίδει μια πρόσθετη κατακόρυφη δύναμη κάθετη στο «κεκλιμένο» επίπεδο (λόγω υπερύψωσης) της γραμμής:

$$Q_\alpha = m \cdot \gamma_{\mu\eta-\varepsilon\xi} \cdot \cot\hat{\alpha} = m \cdot \left(\frac{g}{e} \cdot \alpha\right) \cdot \cot\hat{\alpha} = Q_{\tau\rho o\chi} \cdot \frac{\alpha}{e} \cdot \cot\hat{\alpha} = Q_{\tau\rho o\chi} \cdot \frac{\alpha}{e} \cdot \frac{2 \cdot h_{KB}}{e} \Rightarrow Q_\alpha = \frac{2 \cdot \alpha \cdot h_{KB}}{e^2} \cdot Q_{\tau\rho o\chi}$$

Το Qα είναι μια πρόσθετη φόρτιση στο στατικό φορτίο του τροχού που προκαλείται από τη φυγόκεντρο επιτάχυνση ενός οχήματος (την μη εξισορροπούμενη) η οποία ασκείται στους τροχούς ενός οχήματος που κινείται με ταχύτητα V σε καμπύλη με ανεπάρκεια υπερύψωσης. Δεν είναι όμως δυναμική φόρτιση και μπορεί να θεωρηθεί ως ημι-στατικό φορτίο. (Γιαννακός κ. Ά., 1988, 1990, 1994, Alias 1984). Άρα:

$$Q_{\alpha} = \frac{2 \cdot \alpha \cdot h_{KB}}{e^2} \cdot Q_{τροχου} \qquad (12)$$

Η εξίσωση (12) δίδει την προσαύξηση του στατικού φορτίου του τροχού της εξίσωσης (10) σε καμπύλες με ανεπάρκεια υπερύψωσης, όπου h_{KB} το ύψος του Κέντρου Βάρους του οχήματος από το επίπεδο της επιφάνειας κύλισης των σιδηροτροχιών, e το εύρος γραμμής, και $Q_{τροχου}$ το στατικό φορτίο του τροχού.

Η αντίδραση του στρωτήρα είναι: : $R_{\alpha} = \bar{A} \cdot Q_{\alpha}$ (13),

Και η συνολικόή στατική αντίδραση/δράση επί του στρωτήρα είναι: $R_{st} = R_{sl} + R_{\alpha}$ (14)

3.3 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ

3.3.1 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ – ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ/ΔΡΑΣΗ ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΤΡΩΤΗΡΑ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗ ΓΕΡΜΑΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Στη Γερμανική βιβλιογραφία η συνολική δρώσα φόρτιση (στατικό και δυναμικό φορτίο) $Q_{ολικο}$ επί της εσχάρας της γραμμής από ένα τροχό δίδεται από το γινόμενο του φορτίου τροχού επί ένα συνολικό συντελεστή. Η αντίδραση R που είναι η αντίδραση/δράση επί ενός στρωτήρα –επειδή το $Q_{ολικο}$ κατανέμεται σε πολλούς στρωτήρες- μπορεί να υπολογισθεί σύμφωνα με τα ααναφερόμενα στη Γερμανική βιβλιογραφία Πρέπει να τονισθεί ότι το συνολικό δρων φορτίο $Q_{ολικο}$ κατανέμεται σε περισσότερους του ενός στρωτήρα και δεν αποτελεί φορτίο διαστασιολόγησης και σχεδιασμού της γραμμής και των συσνιστώντων αυτήν στοιχείων.

$$Q_{ολικο} = Q_{τροχου} \cdot (1 + t \cdot \bar{s}) \qquad (15)$$

όπου: $Q_{τροχου}$ είναι το στατικό (ονομαστικό) φορτίο του τροχού,

$\bar{s} = 0{,}1 \cdot \varphi \div 0.3 \cdot \varphi$ εξαρτώμενο από τις συνθήκες της γραμμής, δηλαδή:

$\bar{s} = 0{,}1 \cdot \varphi$ για άριστες συνθήκες γραμμής,

$\bar{s} = 0{,}2 \cdot \varphi$ για καλές συνθήκες γραμμής,

$\bar{s} = 0{,}3 \cdot \varphi$ για κακές συνθήκες γραμμής.

Το φ ορίζεται ανάλογα με την ταχύτητα από τους τύπους:
για V < 60 km/h τότε φ = 1.
για 60 km/h < V< 200 km/h τότε $\varphi = 1 + \frac{V - 60}{140}$

Και *t* συντελεστής που εξαρτάται από τη στατιστική βεβαιότητα P(%) σύμφωνα με τον Πίνακα 3:

Πίνακας 3: *Τιμές του συντελεστή t σε συνάρτηση με την πιθανότητα υπέρβασης της τιμής του φορτίου*

P [%]	0	68.3	80.0	90.0	95.0	95.5	98.0	99.7
t	0	1	1.28	1.65	1.96	2.00	2.33	3.00

Η αντίδραση κάθε στρωτήρα υπολογίζεται από το ολικό φορτίο $Q_{ολικο}$ που δρα στην εσχάρα γραμμής. Για το λόγο αυτό γίνεται παραδοχή ότι αναπτύσσεται μια ομοιόμορφη γραμμική κατανομή του φορτίου ανά μέτρο (τρέχον) γραμμής. The reaction of each sleeper is calculated from the total load Q_{total} acting on the track. Η θεωρητική ανάλυση της ομοιόμορφης, γραμμικής αντίδρασης στη φόρτιση της γραμμής δίδει (Fastenrath 1981):

$$q = C \cdot y \qquad (16)$$

όπου q = τάση στην επιφάνεια μεταξύ στρωτήρα και κλίνης σκύρου, και
y = βύθιση (υποχώρηση) της γραμμής

Η τάση στην επιφάνεια μεταξύ στρωτήρα και κλίνης σκύρου ισούται με την αντίδραση R του στρωτήρα (δράση επί του στρωτήρα) διηρεμένης διά της φορτιζόμενης επιφάνειας F, η οποία είναι ίση με την απόσταση των στρωτήρων ℓ επί ένα "ιδεατό θεωρητικό πλάτος κατά μήκος έδρασης της γραμμής» b (διαφορετικό από το πραγματικό πλάτος του στρωτήρα), σύμφωνα με τη θεωρία του Zimmermann:

$$q = C \cdot y = \frac{R}{F} = \frac{R}{b \cdot \ell} \Rightarrow R = b \cdot \ell \cdot C \cdot y \qquad (17)$$

Αντικαθιστώντας το y:

$$R = b \cdot C \cdot \ell \cdot \frac{Q}{2 \cdot b \cdot C \cdot L} \cdot \eta$$

$$\text{όπου} \quad \eta = \frac{\cos\xi + \sin\xi}{e^{\xi}}, \qquad \eta_{max} = 1, \quad \text{και}$$

$$L = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E \cdot J}{b \cdot C}} \Rightarrow R = Q_{ολικο} \cdot \frac{\ell}{2 \cdot L} \cdot \eta \Rightarrow R_{max} = Q_{ολικο} \cdot \frac{\ell}{2 \cdot L} \qquad (18)$$

Συνεπώς:

$$q = \frac{R}{F}, \quad \rho = \frac{R}{y} \Rightarrow C = \frac{q}{y} = \frac{\rho}{F} \Rightarrow R_{max} = \frac{Q_{ολικο} \cdot \ell}{2} \cdot \left(\sqrt[4]{\frac{4 \cdot E \cdot J}{b \cdot \frac{\rho}{F}}} \right)^{-1} = \frac{Q_{ολικο} \cdot \ell}{2} \cdot \left(\sqrt[4]{\frac{4 \cdot E \cdot J}{\frac{b \cdot \rho}{b \cdot \ell}}} \right)^{-1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{R_{max}}{Q_{ολικο}} = \overline{A}_{στατ} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt[4]{\frac{\ell^4 \cdot \frac{\rho}{\ell}}{4 \cdot E \cdot J}} = \frac{1}{2\sqrt{2}} \cdot \sqrt[4]{\frac{\ell^3 \cdot \rho}{E \cdot J}} \qquad (19a)$$

Αυτό επαληθεύεται στην πράξη και από το γεγονός ότι ο υπολογισμός του ολόσωμου στρωτήρα από προεντεταμένο σκυρόδεμα Β70, λαμβάνει υπ' όψη του δρώσα δύναμη επί του στρωτήρα φορτίο 150 kN (Wutzler 1976), που είναι σημαντικά χαμηλότερο από το $Q_{ολικο}$. Αλλά και ο καθηγητής Eisenmann (βλ. Eisenmann (2004) δίδει ως "δύναμη αντίδρασης του στρωτήρα":

$$S = \frac{Q_{ολικο} \cdot \ell}{2 \cdot L} = R \qquad (19β)$$

εξίσωση που με απλές μαθηματικές πράξεις οδηγεί στο $\bar{A}_{στατ}$, ως ακολούθως (Γιαννακός, 2002):

$$L=\sqrt[4]{\frac{2\cdot E\cdot J}{b\cdot C}}=\sqrt[4]{\frac{2\cdot E\cdot J}{\frac{b\cdot\rho}{F}}}=\sqrt[4]{\frac{2\cdot E\cdot J}{b\cdot\rho}\cdot b\cdot\ell}=\sqrt[4]{\frac{4\cdot E\cdot J\cdot\ell}{\rho}} \Rightarrow R=\frac{Q_{ολικο}\cdot\ell}{2\cdot\sqrt[4]{\frac{4\cdot E\cdot J\cdot\ell}{\rho}}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R=\frac{Q_{ολικο}}{2}\cdot\sqrt{\frac{\rho\cdot\ell^4}{4\cdot E\cdot J\cdot\ell}}=Q_{ολικο}\cdot\frac{1}{2\sqrt{2}}\cdot\sqrt[4]{\frac{\rho\cdot\ell^3}{E\cdot J}}=\bar{A}_{στατ}\cdot Q_{ολικο}$$

και εκτελώντας τις πράξεις καταλήγουμε στον ακόλουθο τύπο:

$$\boxed{R_{\max}=\left(1+0.9\cdot\left(1+\frac{V-60}{140}\right)\right)\cdot\bar{A}_{στατικο}\cdot Q_{τροχου}} \qquad (19γ)$$

και για ταχύτητες μεγαλύτερες των 200 km/h στον τύπο (J. Eisenmann, 1993):

$$\boxed{R_{\max}=\left(1+0.9\cdot\left(1+\frac{V-60}{380}\right)\right)\cdot\bar{A}_{στατικο}\cdot Q_{τροχου}} \qquad (19δ)$$

που δίδει μικρότερη δράση και συνεπώς ίσως η εξίσωση (19γ) θα πρέπει να χρησιμοποιείται για τη διαστασιολόγηση των στρωτήρων και των λοιπων στοιχείων μιας γραμμής υψηλών ταχυτήτων.

Στους παραπάνω τύπους η πιθανότητα εμφάνισης καθορίζεται από το συντελεστή t στον πίνακα 3.

3.3.2 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ – ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ/ΔΡΑΣΗ ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΤΡΩΤΗΡΑ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗ ΓΑΛΛΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Όταν εξετάζουμε τα δυναμικά φαινόμενα βλέπουμε ότι η γραμμή λειτουργεί με ποιοτικά ανάλογο τρόπο προς την ανάρτηση του οχήματος που τρέχει πάνω της. Διακρίνεται με ευχέρεια το γεγονός ότι η δυναμική φόρτιση της γραμμής εξαρτάται, αφ' ενός μεν από τα μηχανικά χαρακτηριστικά (ακαμψίες, αποσβέσεις) του συστήματος «όχημα-γραμμή», αφ' ετέρου δε από τη διέγερση που προκαλεί η κίνηση του οχήματος επί της γραμμής.

Η απόκριση της γραμμής στην παραπάνω διέγερση έχει ως αποτέλεσμα την προσαύξηση των στατικών φορτίων που εξασκούνται στην επιδομή. Η δυναμική φόρτιση οφείλεται - κύρια- στην κίνηση και την επίδραση των μη ανηρτημένων μαζών των οχημάτων, οι οποίες διεγείρονται από τα σφάλματα της γεωμετρίας της γραμμής και, σε μικρότερο βαθμό, στην επίδραση των ανηρτημένων μαζών. Για να διατυπωθούν θεωρητικοί τύποι υπολογισμού της δυναμικής φόρτισης, πρέπει να ληφθεί υπόψη η στατιστική πιθανότητα υπέρβασης του υπολογιζόμενου φορτίου στις πραγματικές συνθήκες. Έτσι οι σχετικοί τύποι αφορούν την τυπική απόκλιση (διασπορά) του φορτίου, Η σχετική θεωρητική ανάλυση για την επίδραση των μη ανηρτημένων μαζών παρατίθεται για τους ενδιαφερομένους στο κεφάλαιο 5 του βιβλίου «Δράσεις στη Σιδηροδρομική Γραμμή», Γιαννακός 2002. .

Σύμφωνα με τη Γαλλική βιβλιογραφία (Alias 1984, 1987, Prud' home 1969, 1970, Prud' Homme A., Erieau J.,1976) το συνολικό φορτίο που καταπονεί την εσχάρα της γραμμής

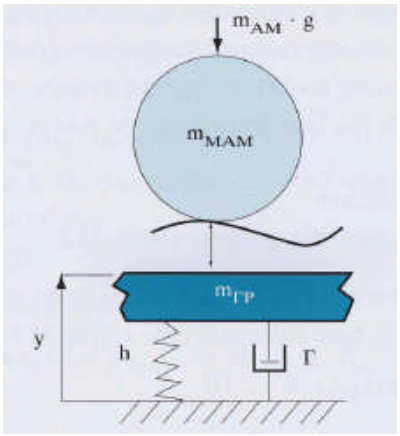
είναι το άθροισμα του στατικού φορτίου του τροχού, του ημιστατικού φορτίου λόγω ανεπάρκειας υπερύψωσης (όπως περιγράφεται παραπάνω) και του δυναμικού φορτίου που αποτελείται από δύο συνιστώσες, τη δυναμική συνιστώσα που οφείλεται στις Μη Ανηρτημένες Μάζες (ΜΑΜ) και τη δυναμική συνιστώσα που οφείλεται στις Ανηρτημένες Μάζες (ΑΜ).

3.3.2.1. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΠΡΟΣΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΛΟΓΩ ΜΗ ΑΝΗΡΤΗΜΕΝΩΝ ΜΑΖΩΝ (ΜΑΜ)

Η θεωρητική ανάλυση οδηγεί στην ακόλουθη εξίσωση για την τυπική απόκλιση της δυναμικής συνιστώσας του φορτίου που οφείλεται στις Μη Ανηρτημένες Μάζες (ΜΑΜ) (Alias 1984, Prud' home 1969 & 1970, βλ επίσης Giannakos et al., 2007):

$$\sigma(\Delta Q_{\text{ΜΑΜ}})=k_{\alpha}\cdot V\cdot\sqrt{m_{\text{ΜΑΜ}}\cdot h_{\text{ΓΡΑΜΜΗΣ}}}\quad [t]\quad (20)$$

όπου $\sigma(\Delta Q_{NSM})$ είναι η τυπική απόκλιση της δυναμικής συνιστώσας του φορτίου που οφείλεται στις Μη Ανηρτημένες Μάζες και συμμετέχει στην αύξηση του στατικού φορτίου τροχού όπως περιγράφεται παρακάτω, k συντελεστής εξαρτώμενος από την κατάσταση της επιφάνειας κύλισης σιδηροτροχιάς, V η ταχύτητα σε km/hr, $m_{\text{ΜΑΜ}}$ σε [t] η Μη Ανηρτημένη Μάζα και $h_{\text{ΓΡΑΜΜΗΣ}}$ η ελαστικότητα (ακαμψία) της γραμμής σε kN/mm.



Σχήμα 6: Τροχός επί σιδηροτροχιάς η οποία προσομοιώνεται με απειρομήκη δοκό επί ελαστικού εδάφους (Γιαννακός, 2002)

3.3.2.2. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΠΡΟΣΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΛΟΓΩ ΑΝΗΡΤΗΜΕΝΩΝ ΜΑΖΩΝ (ΑΜ)

Η τυπική απόκλιση της δυναμικής συνιστώσας του φορτίου που οφείλεται στις Ανηρτημένες Μάζες δίδεται από την εξίσωση (SNCF 1981, Prud' home 1969):

$$\sigma(\Delta Q_{\text{ΑΜ}})=\frac{V-40}{1000}\cdot N_L\cdot Q_{\text{τροχου}}\qquad (21)$$

όπου N_L είναι η μέση τυπική απόκλιση του κατά μήκος της γραμμής υψομετρικού σφάλματος.

Στο θεωρητικό μοντέλο για τις μη ανηρτημένες μάζες, εάν θεωρήσουμε το μοντέλο του «μονώροφου» οχήματος με ένα ελατήριο και έναν αποσβεστήρα σε παράλληλη διάταξη (Σχήμα 6), μπορούμε να προσομοιώσουμε την κίνηση των ανηρτημένων μαζών. Η διέγερση η εδώ δεν θα αναπαριστά τα σφάλματα της επιφάνειας κύλισης της σιδηροτροχιάς, αλλά την κίνηση του τροχού (βλ. Alias 1984, Prud' homme 1970).

3.3.2.3. ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ

Για την εκτίμηση του συνολικού δυναμικού φορτίου που προσαυξάνει το στατικό φορτίο του τροχού η τυπική απόκλιση της συνολικής δυναμικής συνιστώσας πρέπει να υπολογισθεί:

$$\left[\sigma\left(\Delta Q_{\delta\upsilon\nu\alpha\mu}\right)\right]=\sqrt{\sigma^2\left(\Delta Q_{\text{ΜΑΜ}}\right)+\sigma^2\left(\Delta Q_{\text{ΑΜ}}\right)} \qquad (22)$$

Για τη διαστασιολόγηση των στρωτήρων λαμβάνεται δύο (2) φορές η τυπική απόκλιση $\sigma(\Delta Q_{\delta\upsilon\nu\alpha\mu})$ [Alias 1984, Prud' home et al. 1976]:

$$Q_{\text{ολικο max}}=Q_{\text{τροχου}}\cdot\left(1+\frac{Q_{\alpha}}{Q_{\text{τροχου}}}+2\cdot\frac{\sqrt{\left[\sigma^2\left(\Delta Q_{\text{ΜΑΜ}}\right)\right]+\left[\sigma^2\left(\Delta Q_{\text{ΑΜ}}\right)\right]}}{Q_{\text{τροχου}}}\right) \qquad (23)$$

Αυτός ο τύπος (23) έχει εφαρμοσθεί από τη γαλλική εταιρεία που έχει την ευρεσιτεχνία των διμερών στρωτήρων που τοποθετήθηκαν στο ελληνικό δίκτυο.

3.3.2.4. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ – ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΣΤΡΩΤΗΡΑ – ΦΟΡΤΙΟ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

(α) Στη Γαλλική βιβλιογραφία δεν υπάρχει ξεκάθαρη αναφορά στην αντίδραση του στρωτήρα που προκύπτει από την κατανομή της συνολικής φόρτισης κατά μήκος της γραμμής πέρα από το συντελεστή $\overline{A}_{\text{στατ}}$. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι για να υπολογίσουμε την αντίδραση R_{max} του στρωτήρα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το συντελεστή $\overline{A}_{\text{στατ.}}$

$$R_{\text{ολικο}}=\overline{A}_{\text{στατ}}\cdot\left[Q_{\text{τροχου}}\cdot\left(1+\frac{Q_{\alpha}}{Q_{\text{τροχου}}}\right)+2\cdot\sqrt{\left[\sigma^2\left(\Delta Q_{\text{ΜΑΜ}}\right)\right]+\left[\sigma^2\left(\Delta Q_{\text{ΑΜ}}\right)\right]}\right] \qquad (24a)$$

(β) Σύμφωνα με το (RGCF, 1973), που έχει συνταχθε.ι από συντακτική επιτροπή υψηλόβαθμων στελεχών των Γαλλικών Σιδηροδρόμων (Boyaux, Daudema υπάρχει και ο ακόλουθος τρόπος υπολογισμού που έχει υποδειχθεί από την επιτροπή D71 της ORE (Office des Etudes et Researches) της UIC:

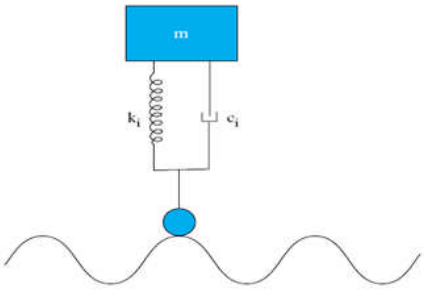
$$R_{\text{ολικο}}=Q_{\text{τροχου}}\cdot\varphi\cdot\overline{A}_{(\text{στατ})}\cdot X \qquad (24\beta)$$

όπου: $R_{\text{ολικο}}$ =η αντίδραση ενός στρωτήρα μετά την κατανομή της συνολικής φόρτισης

φ = συντελεστής δυναμικής προσαύξησης του (στατικού) φορτίου του τροχού λόγω υψομετρικών σφαλμάτων, που είναι 1,5 για V= 140 km/h και 1,75 για V= 200 km/h (για ενδιάμεσες ταχύτητες παρεμβολή προφανώς).

X= συντελεστής δυναμικής προσαύξησης της (στατικής) αντίδρασης του στρωτήρα λόγω σφαλμάτων έδρασης του στρωτήρα («χορός» στρωτήρων) ίσος με 1,35

$\bar{A}$ ο συντελεστής αντίδρασης του στρωτήρα ίσος με το πηλίκον $\frac{R}{Q_{τροχου}} = \bar{A}_{στατ}$ και το οποίο την εποχή που δημοσιεύτηκε το άρθρο (1973) πριν την ανάπτυξη των πολύ ελαστικών συνδέσμων προτεινόταν να λαμβάνεται ίσος με 0,50 – σήμερα θα πρέπει να λαμβάνεται ίσος με το $\bar{A}_{στατ}$.



Σχήμα 7: "Μονόρωφο" προσομοίωμα οχήματος επί γραμμής

(γ) Στο (Prud'homme & Erieau, 1976) δίδεται ο ακόλουθος τύπος:

$$R_{ολικο}=\left(Q_{τροχου}+Q_{α}+2\times\sqrt{\left[\sigma^2\left(\Delta Q_{ΜΑΜ}\right)\right]+\left[\sigma^2\left(\Delta Q_{ΑΜ}\right)\right]}\right)\cdot\bar{A}_{στατικο}\cdot 1{,}35 \qquad (24γ)$$

ο οποίος με τον (24β) δίδουν τα δυσμενέστερα αποτελέσματα κατά τη Γαλλική βιβλιογραφία για τη διαστασιολόγηση των στοιχείων της επιδομής και της υποδομής της γραμμής. Ο τύπος (24γ) δίδει 10% μεγαλύτερη αντίδραση R από τον (24β) για δυσμενείς συνθήκες ελαστικότητας της γραμμής (άκμπτη κατασκευή) και για k=12 δυσμενέστερο συντελεστή επιφάνειας κύλισης της σιδηροτροχιάς (Prud'homme & Erieau, 1976).

Μετά την εκτέλεση πράξεων καταλήγουμε στον ακόλουθο τύπο:

$$\boxed{R_{max}=1{,}35\cdot\bar{A}_{στατικο}\cdot\left(Q_{τροχου}+Q_{α}+2\cdot\sqrt{\left[\sigma^2\left(\Delta Q_{ΜΑΜ}\right)\right]+\left[\sigma^2\left(\Delta Q_{ΑΜ}\right)\right]}\right)} \qquad (24δ)$$

3.3.3 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ – ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ/ΔΡΑΣΗ ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΤΡΩΤΗΡΑ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Σύμφωνα με τον καθηγητή του Urbana – Illinois University Hay (Hay, 1982) η American Railway and Maintenance-of-Way Association (AREMA) σε εξέλιξη των τύπων του Talbot, δίδει ως φόρτιση της γραμμής:

$$Q_{ολικο}=Q_{τροχου}+0{,}001\cdot Q_{τροχου}\cdot V \qquad (25α)$$

όπου $Q_{τροχου}$ σε pounds και V σε mph
και την αντίδραση $R = Q_{ολικο}/2$ (25β)

Σύμφωνα με το Εγχειρίδιο της AREMA[38], (2005, p. 16-10-29) η καμπύλη επιρροής για τη βύθιση w (y στο παρόν) χρησιμοποιείται για να καθορίσει τη μεγαλύτερη τιμή της πίεσης p_{max} και τη μέγιστη δράση στη θέση έδρασης της σιδηροτροχιάς R_{max} σε κάθε στρωτήρα:

$$R_{\max} = p_{\max} \cdot \ell = k \cdot w_{\max} \cdot \ell = k \cdot \frac{\beta \cdot Q_{ολικο}}{2 \cdot k} \cdot \ell = \frac{\beta \cdot Q_{ολικο}}{2} \cdot \ell \qquad (25\text{-}1)$$

όπου p_{max} η πίεση στη θέση της σιδηροτροχιάς ανά μονάδα μήκους γραμμής [lb/in ή kN/mm], w_{max} η μέγιστη βύθιση, ℓ η απόσταση των στρωτήρων, k [lb/in^2 ή kN/mm^2] =ρ_{total}/ℓ, β δίδεται από:

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4 \cdot E \cdot \mathrm{I}}} = \sqrt[4]{\frac{\rho_{ολικο}}{4 \cdot E \cdot \mathrm{I} \cdot \ell}} = \mathrm{K} = \frac{1}{L} \qquad (25\text{-}2)$$

και η εξίσωση (25-1) μετασχηματίζεται:

$$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{\rho}{4E \cdot \mathrm{I} \cdot \ell}} \cdot \frac{Q_{ολικο} \cdot \ell}{2} = \frac{1}{2\sqrt{2}} \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho \cdot \ell^3}{E \cdot \mathrm{I}}} \cdot Q_{ολικο} = \bar{A}_{στατικο} \cdot Q_{ολικο} \qquad (25\text{-}3)$$

όπου το $Q_{ολικο}$ υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο (25-4) και $\bar{A}_{στατικο}$ από την εξίσωση (10) παραπάνω.

$$Q_{ολικο} = Q_{τροχού} \cdot (1+\theta), \qquad \theta = \frac{D_{33} \cdot V}{D_{τροχου} \cdot 100}, \qquad IF = (1+\theta) \qquad (25\text{-}4)$$

όπου: D_{33} σε ίντσες η διάμετρος ενός τροχού "αναφοράς" 33 ιντσών
$D_{τροχού}$ σε ίντσες η διάμετρος του τροχού του οχήματος που εξετάζουμε
V η ταχύτητα σε miles/hour
IF Συντελεστής "κρούσης"

Η γραμμή επιρροής της βύθισης w και της Δράσης/Αντίδρασης R σε κάθε στρωτήρα/ σημείο στήριξης της σιδηροτροχιάς επί της επιδομής της γραμμής δίδεται από την εξίσωση:

$$\eta(x) = e^{-\beta x} \cdot \left[\cos(\beta x) + \sin(\beta x)\right] = e^{-\mathrm{K}x} \cdot \left[\cos(\mathrm{K}x) + \sin(\mathrm{K}x)\right] \qquad (25\text{-}5)$$

Τελικά από την εξίσωση (25-1):

$$R = \frac{Q_{τροχου} \cdot \beta \cdot \ell}{2} \cdot \eta(x) \Rightarrow R_{\max} = \bar{A}_{στατικο} \cdot Q_{τροχου} \qquad (25\text{-}6)$$

και κάνοντας πράξεις τελικά:

$$\boxed{R_{\max} = \bar{A}_{στατικο} \cdot \left(1 + \frac{D_{33} \cdot V}{D_{τροχου} \cdot 100}\right) \cdot Q_{τροχου}} \qquad (25γ)$$

[38] American Railway and Maintenance-of-Way Association, AREMA Manual 2005.

3.3.4 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ – ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ/ΔΡΑΣΗ ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΤΡΩΤΗΡΑ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΤΑΣΗ ΤΟΥ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ (ΓΙΑΝΝΑΚΟΥ)

Επειδή ο ΟΣΕ δεν διαθέτει δεδομένα μετρήσεων επί του δικτύου του για τον υπολογισμό της $\sigma(\Delta R_{MAM})$, έγινε κοινή έρευνα του ΟΣΕ και των SNCF από ομάδα με συμμετοχή επιστημόνων μηχανικών και των δύο δικτύων (στην ομάδα συμμετείχε και ο συγγραφέας), που είχε ως αποτέλεσμα την προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων του γαλλικού σιδηροδρομικού δικτύου στο ελληνικό. Έτσι προτάθηκε από κοινού από ομάδα επιστημόνων του ΟΣΕ και των SNCF, να εφαρμόζεται ο συγκριτικός τύπος με βάση αναφοράς μια μετρηθείσα γραμμή των SNCF με: 200km/h, m_{MAM} = 1,7804 t και h = 75 kN/mm (Giannakos 2004, Giannakos et al., 2007).

3.3.4.1. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΠΡΟΣΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΛΟΓΩ ΜΗ ΑΝΗΡΤΗΜΕΝΩΝ ΜΑΖΩΝ (ΜΑΜ)

Στην πράξη για να υπολογισθεί το φορτίο αυτό, πρέπει να γίνει μέτρηση επιταχύνσεων του λιποκιβωτίου αξόνων ενός δεδομένου οχήματος και να υπολογισθεί η μέση τυπική απόκλιση (Giannakos 2004):

$$\sigma(\gamma) = k \cdot V \qquad (26a)$$

Στην πράξη για τον υπολογισμό της τυπικής απόκλισης των επιταχύνσεων εφαρμόζεται συνήθως ο εμπειρικός τύπος, για τον οποίο διατίθενται στοιχεία από μετρήσεις:

$$\sigma(\gamma) = \frac{k_1 \cdot V}{1000} \qquad (26b)$$

όπου ο συντελεστής k_1 για κάθε όχημα εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά κύλισης του ίδιου του οχήματος και κύρια, τη γεωμετρία της επιφάνειας κύλισης της σιδηροτροχιάς και V η ταχύτητα σε km/h.

Οι SNCF δίδουν τις ακόλουθες τιμές του πίνακα 4 για τον συντελεστή k_1 και για γραμμές καλές με ταχύτητα V: $120 < V \leq 200$. Για κακές γραμμές με $V < 120$ χλμ/ω η τιμή του k_1 μπορεί να φτάσει μέχρι και 25. Από το Νόμο της Φυσικής :

Δύναμη= Μάζα x επιτάχυνση:

$$\sigma(\Delta Q_{MAM}) = m_{MAM} \cdot \sigma(\gamma) = \frac{k_1 \cdot m_{MAM} \cdot V}{1000} \quad [t] \quad (27)$$

Επειδή ο ΟΣΕ δεν διαθέτει δεδομένα μετρήσεων επί του δικτύου του για τον υπολογισμό της $\sigma(\Delta R^{39}_{MAM})$, προτάθηκε από κοινού από ομάδα επιστημόνων του ΟΣΕ (στην οποία συμμετείχε και ο συγγραφέας) και των SNCF, να εφαρμόζεται ο συγκριτικός τύπος με βάση αναφοράς μια μετρηθείσα γραμμή των SNCF με: 200km/h, (ΜΓ + ΜΑΜ) = 1,7804t και $h_{ΓΡ}$ = 75 kN/mm. Δηλαδή:

$$\sigma(\Delta Q_{MAM}) = k'_{\alpha} \cdot \frac{V}{200} \cdot \sqrt{\frac{m}{1.7804}} \cdot \sqrt{\frac{h_{ΓΡ}}{75}} \qquad [t] \quad (28)$$

[39] R=Reaction/αντίδραση, Q= φορτίο

όπου m σε t, M.A.M. οχήματος και γραμμής) V ταχύτητα σε km/h, $h_{ΓΡ}$ δυναμική ακαμψία της γραμμής σε kN/mm για τη γραμμή που εξετάζεται. Η δυναμική ακαμψία $h_{ΓΡ}$ δίδεται από την εξίσωση (31) παρακάτω (Giannakos 2004, Jenkins et al. 1974):

Πίνακας 4 *Τιμές του k_1 για την τυπική απόκλιση των επιταχύνσεων κατά τους SNCF*

k_1	**Τροχισμένη επιφάνεια κύλισης σιδηροτροχιάς**	**Μη τροχισμένη επιφάνεια κύλισης σιδηροτροχιάς**
maximum	4,5 ÷ 6	12
minimum	3	6

Οι τύποι (20) και (27) δίδουν το ίδιο αποτέλεσμα. Συνεπώς εξισώνοντας τα δεύτερα μέλη τους και λύνοντας ως προς ka ευρίσκουμε:

$$k_\alpha = k_1 \cdot \frac{m_{ΜΑΜ}}{1000 \cdot \sqrt{m'_{ΜΑΜ} \cdot h_{ΓΡ}}} \qquad (29)$$

όπου στην τιμή της $m'_{ΜΑΜ}$ έχει συμπεριληφθεί και η ποσότητα μιας ισοδύναμης μάζας γρφαμμής 0,2804 t η οποία προκύπτει από τη συμμετοχή ενός τμήματος της επιδομής γραμμής στην κίνηση των μη Ανηρτημένων Μαζών του οχήματος (Giannakos 2001). Εφαρμόζοντας την (29) για τις παραπάνω διακυμάνσεις του k_1 οι ακόλουθες τιμές μπορούν να ληφθούν για το συντελεστή k_a.

Πίνακας 5: *Τιμές του k_α (βλ Γιαννακός κ. ά., 1994)*

	Μη τροχισμένη σιδηροτροχιά	**τροχισμένη σιδηροτροχιά**
Συντελεστής k_α	0.00779÷0.01558	0.00389÷0.00584

Τελικά η $h_{ΓΡΑΜΜΗΣ}$ υπολογίσθηκε και πειραματικά (Jenkins et al 1974) βάσει της ακόλουθης εξίσωσης:

$$h_{ΓΡΑΜΜΗΣ} = \frac{2 \cdot \rho}{f \cdot \ell} \qquad (30)$$

όπου:

$$f = \left[\frac{\rho}{4 \cdot E \cdot J \cdot \ell} \right]^{0.25} \quad και \quad h_{ΓΡΑΜΜΗΣ} = 2\sqrt{2} \cdot \sqrt[4]{E \cdot J \cdot \frac{\rho_{ολικο}}{\ell}} \qquad (31)$$

Αν θέσουμε $h_{ΓΡ}$ = 75 kN/mm και $m_{ΜΑΜ}$ = 1,5 t, $m'_{ΜΑΜ}$ = 1,7804 t ευρίσκουμε για k_1 από 3 έως 4,5 → ka από 3,89 x 10^{-4} έως 5,84 x 10^{-4}, k_1 από 6 έως 12 → k_a από 7,79 x 10^{-4} έως 15,58 x 10^{-4} (για σ(ΔQ) σε t).

Ο τύπος (20) περιέχει στη m_{MAM} και μια μάζα γραμμής που συμμετέχει στην κίνηση. Η μάζα αυτή έχει υπολογισθεί σε 0,2804 t[40]. Ο τύπος (27) που προκύπτει από την τυπική απόκλιση των επιταχύνσεων του κιβωτίου του άξονα του οχήματος δεν περιέχει μάζα γραμμής, αλλά μόνον m_{MAM} οχήματος για μετρηθείσα γραμμή αναφοράς των SNCF. Αντίστοιχα το k'_a=0,3·k1 αν εξισώσουμε (28) και (27):

$$k'_\alpha \cdot \frac{1}{200} = \frac{k_1 \cdot m_{NSM}}{1000} \Rightarrow k'_\alpha = \frac{200 \cdot 1.5}{1000} \cdot k_1 = 0.3 \cdot k_1 \qquad (32)$$

Επειδή στην Ελλάδα δεν διατίθενται δεδομένα μετρήσεων επί του σιδηροδρομικού δικτύου, για τον καθορισμό του $\sigma(\Delta R_{MAM})$ προτείνεται (Γιαννακός κ. ά., 1994)[41] να εφαρμόζεται ο συγκριτικός τύπος (28) που δίδει αποτέλεσμα σε [t]. Οι παραπάνω τιμές του k_α για την εξίσωση (28) ή, εναλλακτικά την εξίσωση (27) με τις τιμές του k'_α μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

Στη Γαλλική βιβλιογραφία (Alias, 1970) δίδεται μία τιμή για υπολογισμό του συντελεστή της επιφάνειας κύλισης σιδηροτροχιών A. Για να αντιστοιχίσουμε το A με το k_1 ακολουθούμε την ανάλυση του [J. Alias, 1970]. Εκεί δίνει $A=2\cdot10^{-6}$ για τον υπολογισμό της **σ(γ)** και στη συνέχεια κάνοντας πράξεις που επαληθεύουμε με τον ακόλουθο τύπο:

$$\sigma(\Delta Q) \approx \frac{0,45}{100} \cdot V \cdot \sqrt{m \cdot h_{ГР}}$$

Όπου V σε km/h, h σε t/mm, m σε t οπότε το σ(ΔQ) υπολογίζεται σε t.

Αν γίνουν ακριβώς οι πράξεις (για μια γραμμή "déjà ancienne" – ήδη παληά- όπως λέει, ο τύπος είναι:

$$\sigma(\Delta Q) \approx \frac{0,4444}{100} \cdot V \cdot \sqrt{m \cdot h_{ГР}}$$

Ο τύπος της «ελληνικής μεθόδου», είναι (βλ «Δράσεις στη Σιδηροδρομική Γραμμή», σελ. 249, τύπο (6.4.5):

$$\sigma(\Delta Q) \approx \frac{k'_\alpha}{200 \cdot \sqrt{1,7804 \cdot 7,5}} \cdot V \cdot \sqrt{m \cdot h_{ГР}}$$

Όπου V σε km/h, $h_{ГР}$ σε t/mm, m σε t οπότε το σ(ΔQ) υπολογίζεται σε t. Το $\mathbf{k'_\alpha = 0,3k_1}$ όπου k_1 κυμαίνεται από 3 έως 12, ανάλογα με την κατάσταση της επιφάνειας κύλισης της σιδηροτροχιάς..

[40] Prud' Homme A., "Sollicitation et stabilite de la voie aux grandes vitesses", Colloque ORE "Grandes Vitesses", Vienne 4/1971, Prud' Homme A. , Erieau J. : Les nouvelles traverses en beton de la SNCF, RGCF 2/1976, Γιαννακός Κ, Βλασοπούλου Ι, «Μελέτη για το σύστημα «στρωτήρας - σκύρο», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1990.

[41] Γιαννακός Κ., Βλασοπούλου Ι., «Φόρτιση Στρωτήρων από Σκυρόδεμα και Εφαρμογή για Διμερείς Στρωτήρες», Τεχνικά Χρονικά, Επιστημονική Εκδοση Τ.Ε.Ε., Volume 14, 2/1994

Παρατήρηση: Αν το h εκφρασθεί σε kN/mm τότε στον παρονομαστή και το 7,5 γίνεται 75. Δηλαδή:

$$\sigma(\Delta Q) \approx \frac{k'_\alpha}{200 \cdot \sqrt{1,7804 \cdot 7,5}} \cdot V \cdot \sqrt{m \cdot h_{\text{ΓΡ}}}$$

Αυτό σημαίνει:

$$k_1 = 12 \Rightarrow k'_\alpha = 3,6 \Rightarrow k_\alpha = \frac{k'_\alpha}{200 \cdot \sqrt{1,7804 \cdot 7,5}} = 4,925871526 \cdot 10^{-3} = \frac{0,49259}{100}$$

και

$$k_1 = 3 \Rightarrow k'_\alpha = 0,9 \Rightarrow k_\alpha = \frac{k'_\alpha}{200 \cdot \sqrt{1,7804 \cdot 7,5}} = 1,23 \cdot 10^{-3} = \frac{0,123}{100}$$

Αν χρησιμοποιήσουμε το συντελεστή $\mathbf{k_\alpha=0,004444}$ του Alias για το $\mathbf{A=2 \cdot 10^{-6}}$, τότε:

$$k_1 = \frac{k_\alpha \cdot 200 \cdot \sqrt{1,7804 \cdot 7,5}}{0,3} = 10,826$$

Η έρευνα που διεξήχθη από τον συγγραφέα στους ελληνικούς σιδηροδρόμους για καθορισμό των συντελεστών -ώστε να μην επιβάλλεται να εκτελεσθούν μετρήσεις για παραμετρική επίλυση των φορτίσεων κάθε γραμμής με γενικευμένη χρήση- οδήγησε τελικά στον ακόλουθο τύπο που δίδει την τυπική απόκλιση του μέρους της δυναμικής συνιστώσας του φορτίου που οφείλεται στις Μη Ανηρτημένες Μάζες:

$$\sigma\left(\Delta Q_{\text{ΜΑΜ}}\right) = \left(k_1 \cdot A\right) \cdot V \sqrt{m_{\text{ΜΑΜ}} \cdot h_{\text{ΓΡΑΜΜΗΣ}}} \qquad \text{σε [kN]} \qquad (32\alpha)$$

όπου : $\underline{\mathbf{m_{ΜΑΜ} = m_{ΟΧΗΜΑΤΟΣ} + m_{ΓΡΑΜΜΗΣ}}}$ δηλαδή στην κίνηση των Μη Ανηρτημένων Μαζών συμμετέχει και ένα τμήμα της επιδομής της Γραμμής με A= 1298,081 · 10^{-6} και k_1 κυμαινόμενο κατά τις τιμές του ακόλουθου πίνακα 6:

Πίνακας 5: *Τιμές του συντελεστή k_1*

	ΤΡΟΧΙΣΜΕΝΗ ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΑ			ΜΗ ΤΡΟΧΙΣΜΕΝΗ ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΑ		
	Καλή	Μέτρια	Στο όριο	Καλή	Μέτρια	Στο όριο
k_1=	3	4,5	6	6	9	12

V σε km/h, m σε τόννους [t], h σε kN/mm.

και αν αντικαταστήσουμε το γινόμενο ($k_1 \cdot A$) με ένα συντελεστή k_α: $k_\alpha = k_1 \cdot A$ τότε:

$$\sigma\left(\Delta Q_{\text{ΜΑΜ}}\right) = k_\alpha \cdot V \sqrt{(m_{\text{ΟΧΗΜΑΤΟΣ}} + m_{\text{ΓΡΑΜΜΗΣ}}) \cdot h_{\text{ΓΡΑΜΜΗΣ}}} \qquad \text{σε [kN]} \qquad (32\beta)$$

όπου:

V σε km/h, m σε τόννους [t], h σε kN/mm και οι τιμές του k_α από τον Πίνακα 6

Πίνακας 6: *Τιμές του συντελεστή* k_a

	ΤΡΟΧΙΣΜΕΝΗ ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΑ			ΜΗ ΤΡΟΧΙΣΜΕΝΗ ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΑ		
	Καλή	Μέτρια	Στο όριο	Καλή	Μέτρια	Στο όριο
k_α=	$38942{,}43\cdot10^{-7}$	$58413{,}65\cdot10^{-7}$	$77884{,}87\cdot10^{-7}$	$77884{,}87\cdot10^{-7}$	$116827{,}30\cdot10^{-7}$	$155769{,}73\cdot10^{-7}$

σε περίπτωση πολύ "κακής" γραμμής που κυκλοφορείται με μικρές ταχύτητες τότε ο συντελεστής k_1 έχει μετρηθεί και 25 οπότε ο συντελεστής k_α ισούται με $324520{,}28\cdot10^{-7}$.

Η μάζα γραμμής $m_{ΓΡΑΜΜΗΣ}$ που συμμετέχει στην κίνηση των Μη Αναρτημένων Μαζών δίδεται από τον τύπο, από μετρήσεις των Βρεττανικών Σιδηροδρόμων (BR) σύμφωνα με τους (Jenkins et al., 1974):

$$m_{ΓΡΑΜΜΗΣ} = \frac{3}{2}\cdot\frac{m_{μοναδιαία}}{K} = \frac{3}{2}\cdot m_{μοναδιαία}\cdot L$$

$$m_{μοναδιαία} = (\text{ΒΑΡΟΣ}_{σιδηροτροχιάς}) + \frac{(\text{ΒΑΡΟΣ}_{στρωτήρα})}{\frac{2}{\ell}} \qquad (32γ)$$

$$L = \frac{1}{K} = \sqrt[4]{\frac{4EJ\ell}{\rho_{ολικο}}}$$

τα βάρη σε τόννους [t]: της μεν σιδηροτροχιάς ανά μέτρο μήκους, για τους δε στρωτήρες, το βάρος του ενός στρωτήρα, η απόσταση στρωτήρων ℓ σε μέτρα [m], και τελικά η μάζα προκύπτει σε [t] και προστίθεται στη Μη Ανηρτημένη Μάζα του Οχήματος $m_{ΟΧΗΜΑΤΟΣ}$ που δίδεται από τον κατασκευαστή του τροχαίου υλικού.

3.3.4.2. ΦΟΡΤΙΟ ΟΦΕΙΛΟΜΕΝΟ ΣΤΙΣ ΑΝΗΡΤΗΜΕΝΕΣ ΜΑΖΕΣ (Α.Μ.)

Η τυπική απόκλιση της δυναμικής συνιστώσας του φορτίου που οφείλεται στις Ανηρτημένες Μάζες του Οχήματος δίδεται από τον τύπο[42]:

$$\sigma(\Delta Q_{AM}) = \frac{V-40}{1000}\cdot N_L\cdot Q_{τρ} \qquad (33) \quad \textbf{σε [kN]}$$

Στην ίδια[43] βιβλιογραφία δίδεται ότι N_L είναι η τυπική απόκλιση της κατά μήκος υψομετρικής κατάστασης (σφαλμάτων) της γραμμής που για τις γραμμές των SNCF είναι της τάξεως των 0,7 mm. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις των εμπειρογνωμόνων των γαλλικών και των ελληνικών σιδηροδρόμων κατά το ερευνητικό πρόγραμμα του 1988-1989 για το ελληνικό δίκτυο θα πρέπει να ληφθεί 1 mm[44].

[42] SNCF/Direction de l' Equipement, "Mecanique de la Voie", Octobre 1981, σελ. 31
[43] όπως παραπάνω
[44] Στο ίδιο παραπάνω αναφέρεται ότι υπάρχει βεβαιότητα ότι οι άξονες των 17 t σε ταχύτητες 300 χλμ/ω δεν εξασκούν δυνάμεις μεγαλύτερες από τα εμπορικά τρένα των 20 t ανά άξονα και ταχύτητας 100 χλμ/ω. Αναφέρεται ότι έχουν μετρηθεί δυνάμεις 120 kN ανά τροχό σε 300 χλμ/ω, 150 kN σε εμπορικά βαγόνια και 180 kN σε ελκτικές μονάδες που κυκλοφορούν με 200 χλμ/ω.

Στο θεωρητικό μοντέλο για τις μη ανηρτημένες μάζες, εάν θεωρήσουμε το μοντέλο του «μονορόφου» οχήματος με ένα ελατήριο και ένα αποσβεστήρα σε παράλληλη διάταξη, μπορούμε να προσομοιώσουμε την κίνηση των ανηρτημένων μαζών. Η διέγερση **η** εδώ δεν θα αναπαριστά τα σφάλματα της επιφάνειας κύλισης της σιδηροτροχιάς, αλλά την κίνηση του τροχού[45].

Η τυπική απόκλιση της Συνολικής Δυναμικής Συνιστώσας του Φορτίου είναι:

$$\sigma\left(\Delta Q_{δυναμικο}\right)=\sqrt{\sigma^2\left(\Delta Q_{MAM}\right)+\sigma^2\left(\Delta Q_{AM}\right)} \qquad (33α)$$

3.3.4.3. ΔΙΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ – ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΣΤΡΩΤΗΡΑ – ΦΟΡΤΙΟ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ (ΓΙΑΝΝΑΚΟΣ)

Στις υψηλές συχνότητες δεν αποκρίνεται η επιδομή, επειδή έχει χαμηλή ιδιοσυχνότητα, έτσι, προς την πλευρά της ασφάλειας, θεωρούμε ότι δεν διανέμεται η δυναμική συνιστώσα του φορτίου στους γειτονικούς στρωτήρες, σε αντίθεση με τη στατική και ημιστατική συνιστώσα του φορτίου που διανέμονται στους εκατέρωθεν στρωτήρες, με τον συντελεστή $\bar{A}_{δυναμικο}$ αντί για τον $\bar{A}_{στατικο}$ των υπολοίπων τριών μεθόδων.

Οι στρωτήρες πρέπει να σχεδιάζονται ώστε να καλύπτουν τις δυσμενέστερες περιπτώσεις συνδυασμού των διαφόρων παραμέτρων (πιθανότητα εμφάνισης P=99,7%) που περιλαμβάνουν φορτία εξαιρετικά μεν, αλλά συνηθισμένα (λόγω Μ.Α.Μ., σφαλμάτων συγκολλήσεων, σφαλμάτων τροχών κ.λ.π). Ως φορτίο λειτουργίας προτείνεται[46] να λαμβάνεται το στατικό φορτίο προσαυξημένο κατά την τριπλάσια τυπική απόκλιση της δυναμικής συνιστώσας του φορτίου (P=99,7%), ήτοι:

$$R_{λειτουργιας}=\bar{A}_{δυναμ}\cdot\left(Q_{τροχου}+Q_α\right)+\left(3\cdot\sqrt{\sigma^2\left(\Delta Q_{MAM}\right)+\sigma^2\left(\Delta Q_{AM}\right)}\right) \qquad (34)$$

Όπου το $\bar{A}_{δυναμ}$ υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση και αντι του $ρ_{ολικο}$ η δυναμική ακαμψία $h_{ΓΡΑΜΜΗΣ}$ (ή $ρ_{δυναμ}$) χρησιμοποιείται (Giannakos et al., 2007):

$$ρ_{δυναμ}=h_{ΓΡΑΜΜΗΣ}=2\sqrt{2}\cdot\sqrt[4]{E\cdot J\cdot\left(\frac{ρ_{ολικο}}{\ell}\right)^3} \qquad (35)\Rightarrow \qquad \bar{A}_{δυναμ}=\frac{1}{2\sqrt{2}}\cdot\sqrt[4]{\frac{\ell^3\cdot h_{ΓΡΑΜΜΗΣ}}{E\cdot J}} \qquad (36)$$

Στη γραμμή όμως παρουσιάζονται φορτία εξαιρετικά και ασυνήθη κατά τη διάρκεια ζωής ενός στρωτήρα (π.χ. αγκύρια συνδέσμων, σκύρα επί της σιδηροτροχιάς ή επιπλατύνσεις

---

[45] Αναλυτική θεωρητική προσέγγιση παρατίθεται στο Alias J., "La Voie Ferree", IIeme edition, Eyrolles, Paris, 1984, Chapitre II – La mecanique de la voie, σελ. 71-75

[46] Γιαννακός Κ., Βλασοπούλου Ι., «Φόρτιση Στρωτήρων από Σκυρόδεμα και Εφαρμογή για Διμερείς Στρωτήρες», Τεχνικά Χρονικά, Επιστημονική Εκδοση Τ.Ε.Ε., Volume 14, 2/1994, αλλά και Cooperation OSE/SNCF : 6/1988, «Comportement des traverses en relation avec les charges dynamigues», επίσης Cooperation OSE/SNCF : 3/1989, «Programme d' essais realise au centre d' essais de la Direction de l' Equipement». Από πλευράς ΟΣΕ επί πλέον υπάρχουν: Γιαννακός Κ, Ιορδανίδης Π, Βλασοπούλου Ι, «Εκθεση Επιτροπής Εμπειρογνωμόνων του ΟΣΕ για την επίσκεψη τους στους SNCF από 15.5.1988 - 11.6.1988», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1988 όπου και παρατίθεται μια αρχική ανάλυση για το θέμα όπως και Γιαννακός Κ, Ιορδανίδης Π, Βλασοπούλου Ι, «Συνοπτική Εκθεση Επιτροπής για το θέμα των διμερών στρωτήρων μετά τη δεύτερη επίσκεψη στους SNCF το Μάρτη του 1989», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1989. Ιδε σχετικά και Γιαννακός Κ., Βλασοπούλου Ι., " Προδιαγραφές Στρωτήρων από Σκυρόδεμα", ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής & Ε.Μ.Π., Αθήνα 1992.

τροχών που υπερβαίνουν τους κανονισμούς). Το οριακό φορτίο θραύσης του ημιστρωτήρα προτείνεται να λαμβάνεται ίσο με το στατικό φορτίο προσαυξημένο κατά την πενταπλάσια τυπική απόκλιση της δυναμικής φόρτισης[47] (P → 100%):

$$R_{\alpha\sigma\tau o\chi\acute{\iota}\alpha\varsigma}=\overline{A}_{\delta\upsilon\nu\alpha\mu}\cdot\left(Q_{\tau\rho o\chi o\upsilon}+Q_{\alpha}\right)+\left(5\cdot\sqrt{\sigma^2\left(\Delta Q_{M\Delta M}\right)+\sigma^2\left(\Delta Q_{\Delta M}\right)}\right) \quad (37)$$

Αν κάνουμε τις πράξεις καταλήγουμε:

$$R_{max}=\frac{1}{2\sqrt[8]{2}}\cdot\sqrt[16]{\left(\frac{\rho_{o\lambda\iota\kappa o}\cdot\ell^3}{E\cdot J}\right)^3}\cdot\left(Q_{\tau\rho o\chi o\upsilon}+Q_{\alpha}\right)+$$
$$+\left(3\cdot\sqrt{\left(k_{\alpha}\cdot V\cdot\sqrt{m_{M\Delta M}\cdot 2\sqrt{2}\cdot\sqrt[4]{E\cdot J\cdot\left(\frac{\rho_{o\lambda\iota\kappa o}}{\ell}\right)^3}}\right)^2+\left(\frac{V-40}{1000}\cdot N_L\cdot Q_{\tau\rho o\chi o\upsilon}\right)^2}\right) \quad (34\alpha)$$

ή

$$R_{max}=\frac{1}{2\sqrt[8]{2}}\cdot\sqrt[16]{\left(\frac{\rho_{o\lambda\iota\kappa o}\cdot\ell^3}{E\cdot J}\right)^3}\cdot\left(Q_{\tau\rho o\chi o\upsilon}+Q_{\alpha}\right)+$$
$$+\left(3\cdot\sqrt{\underbrace{\left(k_{\alpha}\cdot V\cdot\sqrt[8]{2^6\cdot\left(m_{O\Xi H\Lambda M\Lambda T}+m_{\Gamma P\Lambda M}\right)^4\cdot E\cdot J\cdot\left(\frac{\rho_{o\lambda\iota\kappa o}}{\ell}\right)^3}\right)^2}_{\sigma(\Delta Q_{M\Delta M})}+\underbrace{\left(\frac{V-40}{1000}\cdot N_L\cdot Q_{\tau\rho o\chi o\upsilon}\right)^2}_{\sigma(\Delta Q_{\Delta M})}}\right) \quad (34\beta)$$

το αποτέλεσμα σε κιλονιούτον [kN] και με πιθανότητα μη υπέρβασης (ή εμφάνισης) 99,7%.

4. ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΜΕΡΟΥΣ ΣΤΡΩΤΗΡΑ U3 – ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ (ΓΙΑΝΝΑΚΟΥ)

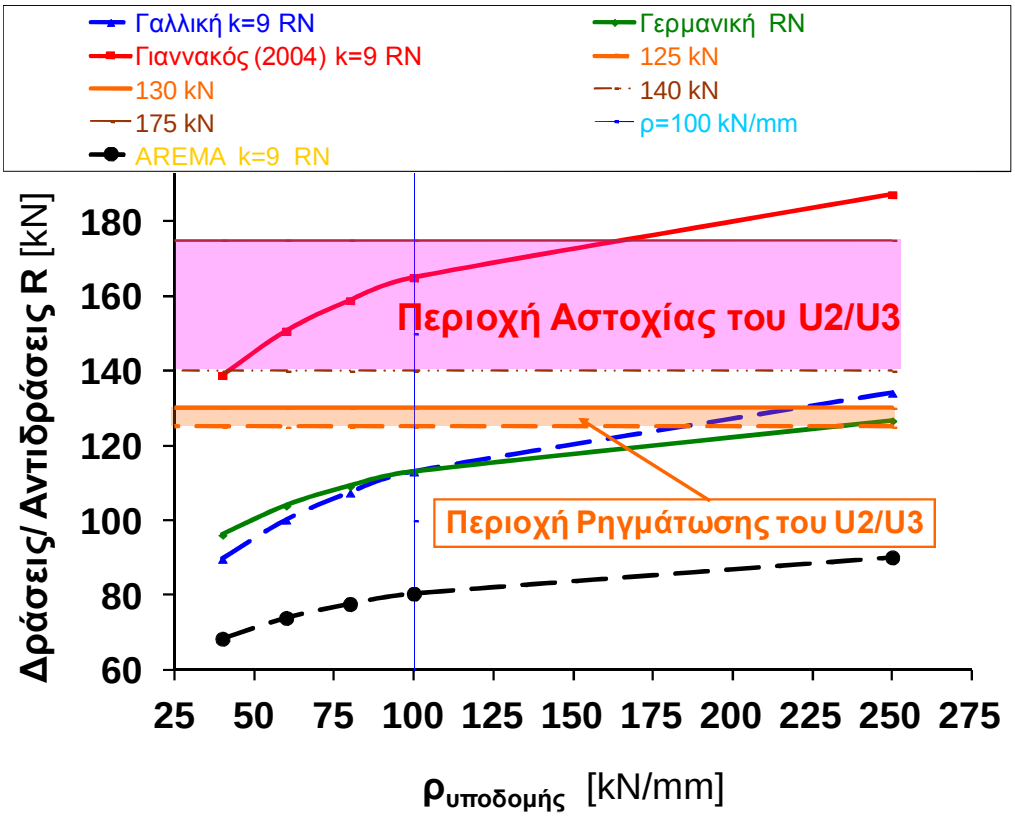
Οι συνθήκες του Ελληνικού δικτύου μεταξύ των δεκαετιών 1980 και 1990, συνίσταντο από πολύ συμπυκνωμένη, ρυπασμένη «κλίνη» σκύρου και ανυποχώρητη έδραση (ρ_i = 380

[47] Γιαννακός Κ., Βλασοπούλου Ι., «Φόρτιση Στρωτήρων από Σκυρόδεμα και Εφαρμογή για Διμερείς Στρωτήρες», Τεχνικά Χρονικά, Επιστημονική Εκδοση Τ.Ε.Ε., Volume 14, 2/1994, αλλά και Cooperation OSE/SNCF : 6/1988, «Comportement des traverses en relation avec les charges dynamigues», επίσης Cooperation OSE/SNCF : 3/1989, «Programme d' essais realise au centre d' essais de la Direction de l' Equipement». Από πλευράς ΟΣΕ επί πλέον υπάρχουν: Γιαννακός Κ, Ιορδανίδης Π, Βλασοπούλου Ι, «Εκθεση Επιτροπής Εμπειρογνωμόνων του ΟΣΕ για την επίσκεψη τους στους SNCF από 15.5.1988 - 11.6.1988», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1988 όπου και παρατίθεται μια αρχική ανάλυση για το θέμα όπως και Γιαννακός Κ, Ιορδανίδης Π, Βλασοπούλου Ι, «Συνοπτική Εκθεση Επιτροπής για το θέμα των διμερών στρωτήρων μετά τη δεύτερη επίσκεψη στους SNCF το Μάρτη του 1989», ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής, Αθήνα 1989. Ιδε σχετικά και Γιαννακός Κ., Βλασοπούλου Ι., " Προδιαγραφές Στρωτήρων από Σκυρόδεμα", ΟΣΕ/Διεύθυνση Γραμμής & Ε.Μ.Π., Αθήνα 1992.

kN/mm) και υποδομή που μπορεί να ταξινομηθεί σύμφωνα με τη διακύμανση του συντελεστού ρ_i για την υποδομή

- ρ_i = 40 kN/mm για ιλυώδη υποδομή έως τις πιο δυσμενείς συνθήκες:
- ρ_i = 100 kN/mm, τιμή η οποία αντιστοιχεί σε παγωμένη κλίνη σκύρου και υποδομή ή κατά προσέγγιση η ακαμψία της NBS1 των Γερμανικών σιδηροδρόμων (DB) η οποία είναι ≈107 kN/mm,
- ρ_i = 250 kN/mm για πολύ άκαμπτη (ανυποχώρητη) υποδομή όπως π.χ. σε βραχώδη πυθμένα σήραγγας ή σε γέφυρα από σκυρόδεμα με την κλίνη του σκύρου μικρού πάχους και εδραζόμενη απ' ευθείας στο κατάστρωμα της γέφυρας.

Οι υπόλοιπες παράμετροι της γραμμής που επιδρούν στις δράσεις επί των στρωτήρων (και κατά συνέπεια στην εσχάρα γραμμής) και πιθανότατα οδήγησαν στην εμφάνιση ρηγματώσεων στους διμερείς στρωτήρες από σκυρόδεμα στην Ελλάδα είναι μέγιστη ταχύτητα κυκλοφορίας στην εκμετάλλευση V = 120 km/h την οποία στην πράξη μονίμως την υπερέβαιναν για πάρα πολλά χρόνια μέχρι V = 140 km/h (αυτή η τιμή χρησιμοποιείται), MAM = 2.55 t (τριαξονικά φορεία των Ντηζελο-Ηλεκτραμαξών τύπου Electropoutere, στο ελληνικό δίκτυο), σιδηροτροχιά UIC54, 4,5mm ελαστικό υπόθεμα, και 105 mm ανεπάρκεια υπερύψωσης.



Σχήμα 8α: Σύγκριση αποτελεσμάτων μεθόδων υπολογισμού των δράσεων που περιλαμβάνονται στην (α) Γερμανική βιβλιογραφία και (β) στη Γαλλική βιβλιογραφία με την μέθοδο που αναπτύχθηκε στην Ελλάδα (Γιαννακός 2002, Giannakos et al., 2009), για το μέσης δυσκαμψίας σύνδεσμο RN.

Για να υπολογίσουμε τις πραγματικά δρώσες δυνάμεις στην επιδομή και στους στρωτήρες, εφαρμόζουμε τις παραπάνω εξισώσεις σε μία πολύ-στρωματική κατασκευή με πολύ-παραμετρική λειτουργία και ανάλυση και τον ακριβή προσδιορισμό του συντελεστή $\rho_{\text{υποθέματος}}$ της ακαμψίας (ελαστικότητας) του ελαστικού υποθέματος του συνδέσμου για κάθε συνδυασμό των υπόλοιπων παραμέτρων που υπολογίζεται με τη μέθοδο trial-and-error. Στην περίπτωση του υποθέματος 4,5 mm του συνδέσμου RN (ο οποίος εχρησιμοποιείτο την εποχή μέχρι την εμφάνιση των ρηγματώσεων) υπολογίζεται η ακαμψία (ελαστικότητα) του υποθέματος βάσει της καμπύλης φορτίου – απόκρισης (βλ. Παράρτημα Ι). Η πλέον δυσμενής καμπύλη χρησιμοποιείται η οποία περιγράφει και τη συμπεριφορά του υποθέματος κατά την προσέγγιση του φορτίου του τροχού αφού η δεύτερη καμπύλη περιγράφει την αποφόρτιση του υποθέματος κατά την απομάκρυνση του φορτίου. Όπως περιγράφεται προηγουμένως η ακαμψία (ελαστικότητα) της υποδομής κυμαίνεται μεταξύ 40 kN/mm για ιλυώδη υποδομή έως 250 kN/mm για πολύ άκαμπτη (ανυποχώρητη) υποδομή με μικρό πάχος κλίνης σκύρου. Κάθε φορά που η ακαμψία (ελαστικότητα) ρ_i ενός στρώματος αλλάζει στις παραπάνω εξισώσεις η «δρώσα» ακαμψία του ελαστικού υποθέματος επίσης αλλάζει.

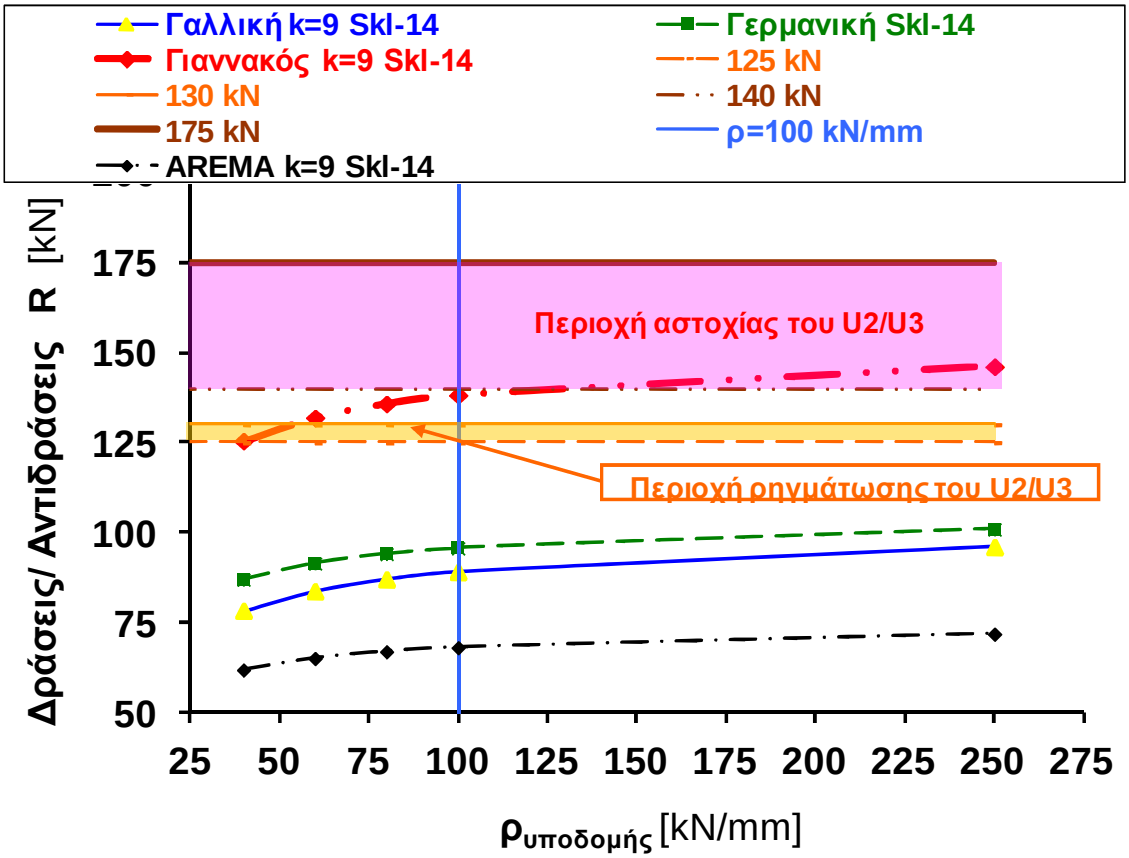
Έτσι η μέθοδος –που περιγράφεται στους Κανονισμούς- υπολογισμού της ακαμψίας του ελαστικού υποθέματος από δύο προκαθορισμένες τιμές φορτίου (π.χ. 18 και 70 kN), δεν περιγράφει την πραγματική κατάσταση όπου λαμβάνει χώρα μια εξισορρόπηση των διαφόρων «ελατηρίων» των στρωμάτων που αποτελούν τη γραμμή. Πρέπει να υπολγισθεί η κατάσταση «ισορροπίας» με τη μέθοδο trial-and-error για να ευρεθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η πραγματική ακαμψία (ελαστικότητα) του υποθέματος του υποθέματος για κάθε περίπτωση διαφορετικού συνδυασμού των υπολοίπων στρώσεων που αποτελούν τη γραμμή ως κατασκευή.

Εδώ ως παράδειγμα υπολογίσθηκε η ακαμψία (ελαστικότητα) του ελαστικού υποθέματος με τη μέθοδο trial-and-error και στη συνέχεια οι δρώσες δυνάμεις/αντιδράσεις-φορτία επί των διμερών στρωτήρων με συνδέσμους RN. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε για το σύνδεσμοW14 με αγκύριο Skl-14 και το "μαλακό" υπόθεμα Zw700. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών συγκρίνονται με την πραγματική κατάσταση επί γραμμής στο Ελληνικό σιδηροδρομικό δίκτυο, όπου οι διμερείς στρωτήρες απόσκυρόδεμα τύπου Vagneyx U2 και U3 παρουσίασαν εκτεταμένη ρηγμάτωση (σε περισσότερους από το 60% των επί της γραμμής στρωμένων στρωτήρων) έχοντας υπερβεί τα όρια των περιοχών R2 και R3. Η σύγκριση γίνεται για τους συνδέσμους W14 οι οποίοι δεν έχουν παρουσιάσει καμμία ρηγμάτωση μέχρι σήμερα. Συγκρίνονται οι 3 μέθοδοι: (α) η μέθοδος της Γαλλικής βιβλιογραφίας, (β) η μέθοδος της Γερμανικής βιβλιογραφίας και (γ) η μέθοδος του συγγραφέα (μέθοδος Γιαννακού), όπως περιγράφονται παραπάνω.

Στο Σχήμα 8, τα αποτελέσματα της εξίσωσης (34) παρουσιάζονται σε σχέση με την εξίσωση (19a) της Γερμανικής βιβλιογραφίας (Fastenrath 1981) και την εξίσωση (24γ) της Γαλλικής βιβλιογραφίας (Alias 1984, Prud' Homme et al 1976), σαν σύγκριση με τις δράσεις/φορτία που υπολογίζονται για κάθε περίπτωση ως φορτία λειτουργίας για τη διαστασιολόγηση της διατομής του ημι-στρωτήρα, για το σύνδεσμο RN.

Στο Σχήμα 8, τα αποτελέσματα των εξισώσεων και η μέθοδος υπολογισμού που δίδεται στη Γερμανική βιβλιογραφία παρουσιάζονται για την περίπτωση των δυσμενέστερων πιθανών τιμών α= 0.3 και t = 3 και για την αντίδραση του στρωτήρα με τη χρησιμοποίηση (επί το δυσμενέστερον) του $\bar{A}_{\delta\upsilon\nu\alpha\mu}$ *αντί του* $\bar{A}_{\sigma\tau\alpha\tau}$. Είναι προφανές ότι σε συνθήκες όπου ρ_i = 100 kN/mm, η εξίσωση δίδει αποτελέσματα περί το όριο των 125 kN συνεπώς

σποραδική ρηγμάτωση των στρωτήρων U2 και U3 αναμένεται (της τάξης του 1 με 2%). Είναι χαρακτηριστικό ότι η Γερμανική βιβλιογραφία (Fastenrath 1981) δίδει με λεπτομερή τρόπο της εξισώσεις και τον υπολογισμό για τον υπολογισμό του συνολικού φορτίου $Q_{ολικο}$, που καταπονεί την εσχάρα της γραμμής, και θεωρεί δεδομένη την κατανομή του σε αρκετούς (παρακείμενους) στρωτήρες.



Σχήμα 8β: Σύγκριση αποτελεσμάτων μεθόδων υπολογισμού των δράσεων που περιλαμβάνονται στην (α) Γερμανική βιβλιογραφία και (β) στη Γαλλική βιβλιογραφία με την μέθοδο που αναπτύχθηκε στην Ελλάδα (Γιαννακός 2002, Giannakos et al., 2009), για το μέσης δυσκαμψίας σύνδεσμο W14 (αγκύριο Skl-14 + υπόθεμα Zw700 Saargummi).

Τα αποτελάσματα των εξισώσεων και οι υπολογισμοί που δίδει η Γαλλική βιβλιογραφία (Alias 1984, Prud'homme et al., 1976) παρουσιάζονται με την παραδοχή ότι το στατικό φορτίο κατανέμεται σε παρακείμενους στρωτήρες, και για δύο τιμές του k_1: 9 και 12. Η τελευταία τιμή (k_1=12) είναι η δυσμενέστερη αποδεκτή τιμή –μετά την εμφάνιση της οποίας θα πρέπει να γίνει λείανση της επιφάνειας κύλισης των σιδηροτροχιών- και η κατάσταση αυτή ποτέ δεν εμφανίστηκε συστηματικά στο ελληνικό δίκτυο. Η εξίσωση όπως και η μέθοδος υπολογισμού για τιμές του ρ_i = 100 kN/mm και ακραίες τιμές του συντελεστή της επιφάνειας κύλισης της σιδηροτροχιάς k_1= 12 δίδει αποτελέσματα στο όριο των 125 kN, συνεπώς σποραδική ρηγμάτωση των στρωτήρων U2 και U3 αναμένεται (της τάξης του 1 με 2%). Για μια μέση –δυσμενή- κατάσταση της επιφάνειας κύλισης σιδηροτροχιάς, k_1= 9, η εξίσωση δίδει αποτελέσματα που δεν υποδηλώνουν εμφάνιση οιασδήποτε ρηγμάτωσης

Ένα ερώτημα τίθεται: Η περιγραφόμενη μέθοδος (Γιαννακού) φαίνεται να αποτελεί επέκταση και βαθμονόμηση της Γαλλίκής μεθόδου στην Ελλάδα και στο Ελληνικό Σιδηροδρομικό δίκτυο. Είναι πράγματι έτσι και μπορεί να εφαρμοσθεί μόνο στις ιδιαιτερότητες του ελληνικού δικτύου ή μπορεί να τύχει ευρείας χρήσης σε όλες τις περιπτώσεις;

Η πραγματικότητα είναι ότι:

1.- Υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο –διακριτά- διαφορετικών μεθόδων:

- για τη στατιστική βεβαιότητα που καλύπτει η κάθε μέθοδος –η Γαλλική μέθοδος χρησιμοποιεί 2 φορές την τυπική απόκλιση των δυναμικών φορτίων ενώ η ελληνική μέθοδος χρησιμοποιεί 3 φορές την τυπική απόκλιση των δυναμικών φορτίων και
- στον συντελεστή αντίδρασης του στρωτήρα $\overline{A}$ που χρησιμοποιείται για την κατανομή των αντιδράσεων προς την συνολική φόρτιση (στατική και δυναμική) της εσχάρας της γραμμής, η ελληνική μέθοδος (Γιαννακού) δεν διανέμει τη δυναμική συνιστώσα του συνολικού φορτίου την οποία «αναλαμβάνει» εξ ολοκλήρου ένας στρωτήρας, τη δε στατική και ημιστατική φόρτιση την κατανέμει με τον συντελεστή $\overline{A}_{δυναμ}$

και επιπλέον,

2.- πρέπει να υπογραμμισθεί ότι η έρευνα που διεξήχθη στο ελληνικό σιδηροδρομικό δίκτυον οδήγησε στη διατύπωση – πρόταση της ελληνικής μεθόδου και όχι στη βαθμονόμηση της γαλλικής. Η έρευνα αυτή διεξήχθη

- **σε γραμμές** πλήρως ανταποκρινόμενες στις Τεχνικές Προδιαγραφές Διαλειτουργικότητας (TSI's) όπως ισχύουν σε όλες τις χώρες-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης και
- **σε τροχαίο υλικό** σ.υμφωνο με τις προδιαγραφές της Διεθνούς Ένωσης Σιδηροδρόμων (U.I.C.) και τους κανονισμούς Διαλειτουργικότητας όπως ισχύουν σε όλες τις χώρες-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Έτσι η προταθείσα μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιείται σε όλα τα δίκτυα αφού ληφθούν υπ' όψη οι κατάλληλες τιμές των αντίστοιχων παραμέτρων.

3.- Σε πρόσφατη ειδική έκδοση **[βλ. fib**, 2006] της Διεθνούς Ομοσπονδίας Σκυροδέματος (**fib**[48]**)**, συνταχθείσα από το Task Group 6.5. της Επιτροπής 6 για την προκατασκευή, συνοψίζονται οι κύριες κατευθυντήριες οδηγίες για τα προκατασκευασμένα συστήματα γραμμής (στρωτήρες από σκυρόδεμα, σταθερή επιδομή, κ.λπ.). Ο συγγραφέας του παρόντος ορίσθηκε μέλος του παραπάνω task group, ως σιδηροδρομικός εμπειρογνώμονας για τις δράσεις στη σιδηροδρομική γραμμή και η μέθοδός του χρησιμοποιήθηκε ως βιβλιογραφική αναφορά.

5. ΦΟΡΤΙΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ (ΔΙΑΣΤΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ) ΣΤΡΩΤΗΡΩΝ

5.1 ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΤΩΝ ΠΟΛΥ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ

5.1.1 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕ ΔΙΜΕΡΕΙΣ ΣΤΡΩΤΗΡΕΣ U2 ΚΑΙ U3 ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ RN

Όπως έχει ήδη αναφερθεί προηγουμένως, πριν την εμφάνιση των πολύ «μαλακών» υποθεμάτων για τους συνδέσμους, το φορτίο λειτουργίας [που προκύπτει από την εξίσωση

[48] Federation Internationale du Beton - International Federation of Concrete

(34)] υπολογίζεται για τιμές του k=9 και 12, μέγιστη ταχύτητα V=140km/h, ανεπάρκεια υπερύψωσης 105 mm, και MAM=2,55 t. Αυτές οι τιμές αντιπροσωπεύουν τις πλέον δυσμενείς συνθήκες για το ελληνικό σιδηροδρομικό δίκτυο εκείνης της εποχής για σιδηροτροχιά UIC54 και 4.5 mm υπόθεμα του συνδέσμου RN (σύνδεσμος γαλλικής τεχνολογίας). Ο υπολογισμός του $\rho_{υποθέματος}$ έχει γίνει γραφικά από την καμπύλη φορτίου – απόκρισης του ελαστικού υποθέματος (βλ. Παράρτημα Ι), με τη μέθοδο trial-and-error. Η ακρίβεια της γραφικής μεθόδου είναι απόλυτα ικανοποιητική σε σύγκριση με το μέγεθος των δρωσών δυνάμεων επί γραμμής.

Αυτές οι τιμές λαμβάνονται για περιπτώσεις υποδομής όπου υπάρχουν γέφυρες σκυροδέματος ή βραχώδης υποδομή (π.χ. πυθμένες σηράγγων. Αυτές όμως είναι «σημειακές» περιπτώσεις για μια σιδηροδρομική γραμμή. Αν ληφθούν μέτρα αύξησης της συνολικής ελαστικότητας της γραμμής σε αυτές τις «σημειακές» θέσεις, τότε αντίστοιχα ένα φορτίο λειτουργίας $R_{λειτουργ} < 200$ kN μπορεί να ληφθεί (αντίστοιχα το ίδιο γίνεται και σε περίπτωση στρωτήρων που φέρουν συνδέσμους μεγάλης ελαστικότητας και λοιπές συνθήκες ίδιες με του ελληνικού δικτύου τη δεκαετία του 1980). Η κατάσταση στο ελληνικό δίκτυο εκείνη την εποχή μπορεί να προσομοιωθεί με $\rho_{υποδομής r}$= 100 kN/mm το μέγιστο. Για τις υποδομές που είναι είτε γέφυρες από σκυρόδεμα είτε βραχώδεις πυθμένες σηράγγων με μικρό πάχος «κλίνης» σκύρου η τιμή $\rho_{υποδομ}$= 250 kN/mm μπορεί να θεωρηθεί ότι τις προσομοιώνει.

5.2.- ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΜΕΓΑΛΗΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Η έρευνα ανά την υφήλιο οδήγησε στην παραγωγή μιας νέας «γενεάς» πολύ ελαστικών συνδέσμων όπως ο Γερμανικός σύνδεσμος W14, που μειώνουν τις δράσεις/αντιδράσεις επί των στρωτήρων και της γραμμής. Στο [Γιαννακός κ. ά., 2007] παρουσιάζεται η τιμή του φορτίου λειτουργίας για το σύνδεσμο W14 για τιμές k=9 και 12, μέγιστη ταχύτητα V=140 km/h, ανεπάρκεια υπερύψωσης 105 mm, MAM=2.55 t, και σιδηροτροχιά UIC54. Η σύγκριση των τιμών που «προκαλούν» οι δύο σύνδεσμοι W14 και RN δείχνει ότι η δράση επί του στρωτήρα και της γραμμής μειώνεται σημαντικά.

Στο [Γιαννακός κ. ά., 2007] δείχνεται ότι οι διμερείς στρωτήρες U2 και U3 δεν θα ρηγματωνόταν αν είχαν συνδυασθεί με ελαστικότερο σύνδεσμο W14 αντί του συνδέσμου RN (ή του παλαιότερης τεχνολογίας Skl-1 αγκυρίου με ακαμψία μεγαλύτερη του RN). Δεν θα είχαν ρηγματωθεί ακόμη και σε βραχώδεις πυθμένες σηράγγων ή/και γέφυρες σκυροδέματος με την εξαίρεση –στην τελευταία περίπτωση- σποραδικής ρηγμάτωσης αφού θα είαχμε Rmax. =130.3 kN≈125÷130 kN για $\rho_{υποδομ}$=250 kN/mm και Rmax = 123.9 kN<125÷130 kN για $\rho_{υποδομ}$ =100 kN/mm .

5. Βιβλιογραφία

Abakoumkin K., Trezos K., Loizos A., and Lymberis K. "Normal gauge line monoblock sleepers made of pre-stressed concrete" NTUA/ Sector of Transport & Communication Infrastructure, Athens 1992-1993.

Alias J., "La voie ferree", IIeme edition, Eyrolles, Paris, 1984

Alias J., « La Voie », RGCF, 1970

Cooperation OSE/SNCF: 6/1988, "Comportment des traverses en relation avecles charges dynamiques"

Cooperation OSE/SNCF: 3/1989, "Programme d' essays realise au centre d' essais de la Direction de l' Equipement"

Eisenmann J., 2004, Die Schiene als Tragbalken, Eisenbahningenieur 5/2004

Eisenmann J., Mattner L., "Auswirkung der Oberbaukonstruktion auf die Schotter und Untergrundbeanspruchung", Eisenbahningenieur 35, 3/1984

Eisenmann J., "Quallitat des Oberbauzustandes" Eisenbahninge-nieur, 3/1980.

Eisenmann J., Mattner L., "Auswirkung der Oberbaukonstruktion aufdie Schotter – und untergrundbeanspruchung", der Eisenbanhningernieur 3/1984.

EN 13230-2, "Railway applications - Track – Concrete sleepers and bearers - Part 2: Prestressed monoblock sleepers", March 2003/ (DIN)

Fastenrath Fritz, "Railroad Track - Theory and Practice", Frederic Ungar Pub.Co., New York, 1981, part 2, "The Rail as support and Roadway, theoretical principles and practical examples", by J. Eisenmann

Federal Railroad Administration, "Investigation of the Effects of Tie Pad Stiffness on the Impact Loading of Concrete ties in the Northeast Corridor", U.S.A., Department of Transportation, April 1983.

Federation Internationale de la Precontrainte (F.I.P.), Concrete railway sleepers, London 1987.

Giannakos K., 2012, "*Modern Railway Infrastructure: Resilient Fastenings improves Track's Life-cycle*", TRA2012, Athens, Greece, April 23-26, proceedings.

Giannakos K., Loizos A., 2009 a, "Evaluation of actions on concrete sleepers as design loads– Influence of fastenings", International Journal of Pavement Engineering (IJPE), 2009, DOI: 10.1080/10298430903402161.

Γιαννακός Κ., «Επιλεγμένα Θέματα Σιδηροδρομικής», Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Βόλος 2008.

Giannakos K., Loizos A., "Loads on railway superstructure - Influence of high-resilient fastenings on sleepers loading", Advanced Characterization of Pavement and Soil Eng. Materials,Athens, Greece, 20 – 22 June 2007, proceedings page 1363,

Giannakos K., Tsoukantas S., "Ballasted and Unballasted Tracks – Need for Fastenings with Soft Pads", International Railway Symposium, Ankara - Turkey, 14-16 December 2006

Giannakos K., "Actions on Railway Track", Papazissis publications, Athens, 2004

Γιαννακός Κ., «Δράσεις στη Σιδηροδρομική Γραμμή», Εκδ. Παπαζήση, Αθήνα, 2002

Giannakos K., « Theoretical Calculation of the track mass participating in the motion of non-suspended masses of vehicles and comparison to measurement", Technical Chronicles, Scientific Edition of Technical Chamber of Greece, 3/ 2001

Giannakos K., Vlassopoulou I., "Problems and Solutions for the system «sleeper-ballast» at the OSE", OSE/Track Directorate, Athens 1991.

Giannakos K., Iordanidis P., Vlassopoulou I., "Summary Report of the Committee for the issue of twin-block sleepers after the second visit to SNCF in March 1989", OSE/Track Directorate, Athens 1989.

Giannakos K., Vlassopoulou I., "Memorandum — based on Doc. 100724/20-5-93- on the issue of sleepers and ballast", OSE/Track Directorate, 1993.

Giannakos K., Iordanidis P., Vlassopoulou I., "OSE Committee of Experts Report on their visit to SNCF from 15.5.1988/11.6.1988" OSE/Track Directorate, Athens1988

Giannakos K., Vlassopoulou I., "Load of Concrete Sleepers and Application for Twin-Block Sleepers" Technical Chronicles, Scientific Journal of TCG, Volume14, 2/1994

Giannakos K., Vlassopoulou I., "Study on the «sleeper-ballast» system", OSE/Track Directorate, Athens 1990.

Giannakos K., Vlasopoulou I., 'Research for the determination of the type of sleeper to be adopted by OSE – ComparativePresentation of the Various Types of Sleepers' – Research Evaluation by professor K.Reissberger, OSE/Track Directorate, Athens 1992.

Jenkins H., Stephenson J.E., Clayton G.A., Morland G.W., Lyon D.,"Incidences des parameters caracteristiques de la voi et des vehicules sur les efforts dynamiques qui se developpent entre rail et roue", Rail International 10/1974, 682-702.

Norme Francaise NF F 51-101/Decembre 1989 "Installations Fixes Ferroviaires – Traverses et supports pour appareils de voie, en beton"

NTUA/Reinforced Concrete Laboratory/20-10-1989, "Laboratory tests and measurements in OSE sleepers"

Prud' homme A., Erieau, J., "Les nouvelles traverses en beton de la SNCF", RGCF-2.1976.

Prud' Homme A., "Sollicitations et stabilite de la voie aux grandes vitesses" Colloque ORE "Grandes Vitesses" Vienne 4/1971

Prud' homme A., «La Voie», RGCF, Janvier 1970.

Prud' Homme A.,»Sollicitation Statiques et Dynamiques de la Voie», SNCF/Direction des InstallationsFixes, R 080-66-03, Juin 1969.

Prud' Homme A., Erieau J., "Les nouvelles traverses en beton de la SNCF" RGCF - 2/1976,

R.G.C.F. (Revue Generale des Chemins de Fer), Comite de redaction, "Sollicitations de la Voie, du Ballast et de la Plate-forme", Mai 1973

Riessberger K. Univ. Prof. fur Eisebahn und Verkehrswesen GRAZ, Letter of 11.5.1989, for research programme of OSE

SNCF – Direction de l' Equipement, "Specification Technique VRE 2321 80 – 06 (B), pour la fourniture de traverses mixtes en beton arme", Juin 1980

SNCF/Direction de l' Equipement, "Rapport de Mission effectuee aupres de CH (OSE) ", Cervi G., 1987.

SNCF/Direction de l' Equipement, "Mechanique de la Voie". Octobre 1981, p.31.

Tasios Th. P., Trezos K. "Laboratory tests and measurements on OSE sleepers" National Technical University of Athens (NTUA)/Reinforced Concrete Laboratory /Athens 20-10-1989

THOSTI-BBRV, Prestressed Concrete Sleepers 1983

Tsotsos I. "Mechanical Performance of the ballast as a construction material of the Railway track", AUTh/Geotechnical Engineering Department, Thessaloniki, March, 1989

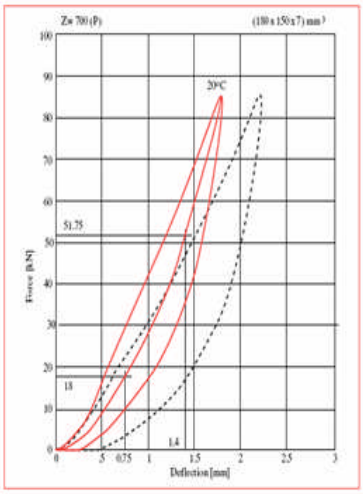
Tsoukantas S., Giannakos K., Kritharis A., Topintzis T., «Examination of some factors that affect the actions in concrete sleepers», T.E.E. – Greek Department of Concrete, Rethymnon, 25-27 October 1999, Proceedings Volume I, page 247-259.

Union International des Chemins de Fer (U.I.C.) fiche UIC (Code) 864-5/01-01-86 "Specification technique pour la fourniture de semelles a poser sous rails " 4e edition.

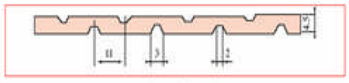
Union International des Chemins de Fer (U.I.C.) fiche UIC (Code) 719R/1-1-1994 «Earthworks and track-bed layers for railway lines».

Wutzler Horst, "More than 36 Million Dywidag Prestressed Concrete Sleepers Used in International Railway Traffic", Munich, January 1976.

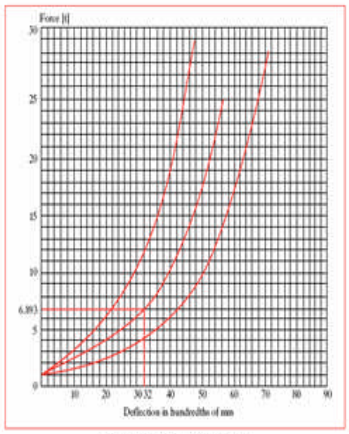
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι



Load-deflection diagram of elastic pad Zw 700 (P) for 20°C



4.5 mm elastic pad



Deformations in hundredths of mm of the 4.5mm elastic pad (RN fastening)