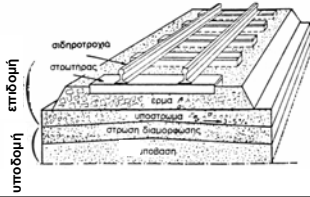


4.3 Η Υποδομή της Γραμμής

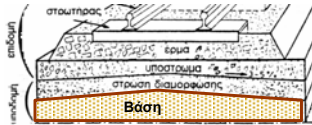
Η κατασκευή που βρίσκεται κάτω από την επιδομή, ονομάζεται υποδομή ή υπόβαση και αποτελείται από την στρώση διαμόρφωσης και την κυρίως υποδομή ή υπόβαση ή έδαφος θεμελίωσης.



4.4 Η Επιδομή της Γραμμής

- Οι σιδηροτροχιές, οι στρωτήρες με τους συνδέσμους τους και το έρμα, αποτελούν την επιδομή γραμμής κατά την κλασική ή συμβατική έννοια.
- Οι σιδηροτροχιές υποστηρίζουν και κατευθύνουν τους τροχούς συρμού.
- Οι **στρωτήρες** (με τους συνδέσμους τους) **διανέμουν τα φορτία** που δέχονται από τις σιδηροτροχιές, τις οποίες **διατηρούν σε σταθερή απόσταση**.
- Το **έρμα**, που συνήθως αποτελείται από θραυστά αδρανή και κατ' εξαίρεση μόνο από χαλίκια, πρέπει να **εξασφαλίζει απόσβεση κατά το μεγαλύτερο μέρος των δονήσεων του συρμού, ικανοποιητική διανομή των φορτίων και γρήγορη αποστράγγιση των ομβρίων υδάτων**.

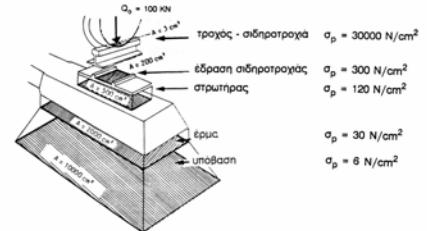
4.3.1 Βάση



Στην βάση (ή πλατφόρμα ή έδαφος θεμελίωσης) καταλήγουν τα φορτία κυκλοφορίας.

Αποτελείται από θραυστό ή φυσικό εδαφικό υλικό το οποίο υπόκειται σε ειδική κατεργασία (συμπύκνωση, στερεοποίηση, τοποθέτηση γεωύφασμάτων), προκειμένου να αποκτήσει την απαιτούμενη μηχανική αντοχή.

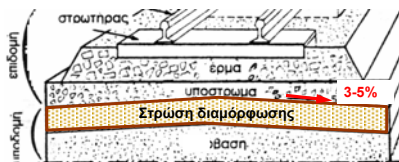
- Η αλληλοδιαδοχή των διαφόρων στρώσεων του συστήματος επιδομή-υποδομή χαρακτηρίζεται από **διαρκώς αυξανόμενο εμβαδόν έδρασης κάθε στρώσης** και σημαντική μείωση της αναπτυσσόμενης τάσης.
- Έτσι μεταξύ του σημείου που ασκείται το φορτίο τροχού και της υποδομής, η αναπτυσσόμενη τάση μειώνεται 1.000-5.000 φορές.



4.4.1 Το εύρος γραμμής

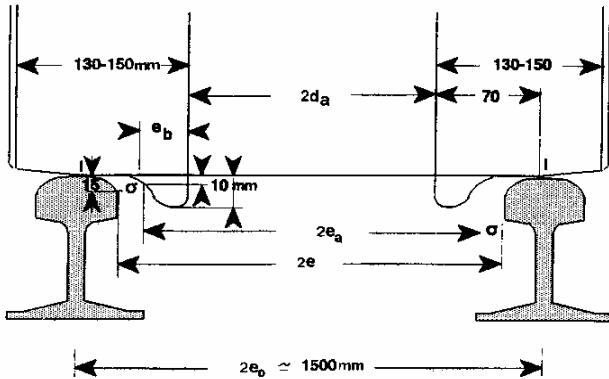
Ορισμός

- Εύρος σιδηροδρομικής γραμμής (2ε) καλείται η απόσταση μεταξύ των εσωτερικών παρείων των κεφαλών των δύο σιδηροτροχιών.
- Η απόσταση αυτή μετριέται σε μία στάθμη 14-16 mm κάτω από το επίπεδο κύλισης.
- Το εύρος των σιδηροδρομικών γραμμών δεν είναι το ίδιο σε όλες τις χώρες και σε μερικές μάλιστα διαφέρει από περιοχή σε περιοχή.



4.3.2 Στρώση Διαμόρφωσης

Τοποθετείται μεταξύ βάσης και έρματος κυρίως στην περίπτωση που η ποιότητα του εδάφους θεμελίωσης δεν είναι καλή. Η στρώση διαμόρφωσης πρέπει να έχει βαθμό συμπύκνωσης μεγαλύτερο από ότι η βάση. Το πάχος της στρώσης διαμόρφωσης καθορίζεται σε συναρτήση με την ποιότητα της βάσης, και συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 20 – 35 cm.



Σιδηροδρομικοί τροχοί επί σιδηροτροχιών. Γεωμετρικά και κατασκευαστικά μεγέθη

Πλεονεκτήματα κανονικού εύρους:

- Βελτιώνει την ευστάθεια των οχημάτων στις ευθυγραμμίες και κατά συνέπεια επιτρέπει την ανάπτυξη υψηλότερων ταχυτήτων.
- Επιτρέπει καλύτερη εγγραφή των φορέων στις καμπύλες.
- Επιτρέπει την κατασκευή πλατύτερων οχημάτων και επομένως παρέχει τη δυνατότητα μεταφοράς μεγαλύτερων φορτίων αλλά και αντεότερης διαρρύθμισης των εσωτερικών χώρων.

Μειονεκτήματα κανονικού εύρους:

- Αυξάνει σημαντικά το κόστος κατασκευής της γραμμής.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η κατασκευή μιας μετρικής γραμμής εκτιμάται ότι είναι κατά 30% οικονομικότερη από την κατασκευή μιας γραμμής κανονικού εύρους.

Κανονικές γραμμές ή γραμμές κανονικού εύρους.

Στην κατηγορία αυτή συναντάμε δύο εύρη:

- Το εύρος των **1.435 mm** (4 πόδια και 4 ίντσες), που καθιερώθηκε από τον Stephenson (1781-1848), ο οποίος κατασκεύασε την πρώτη ατμάμαξα. Επειδή την εποχή εκείνη οι περισσότερες χώρες προμηθεύονταν τις ατμομηχανές από την Αγγλία, επεκράτησε από τότε, στα περισσότερα κράτη, η απόσταση αυτή. Σήμερα περίπου το 62% του συνολικού μήκους των σιδηροδρομικών γραμμών σε όλο τον κόσμο έχει το εύρος αυτό.
- Το εύρος των **1.448 mm**, που χρησιμοποιείται στη Β. Αμερική.

Ενοποίηση εύρους:

- Οι σημερινές τάσεις στον τομέα των σιδηροδρομικών μεταφορών αποβλέπουν:
 - στην αύξηση των εμπορικών ταχυτήτων των συρμών,
 - στην μαζικοποίηση των μεταφορών και κυρίως
 - στην ελευθεροποίηση των σιδηροδρομικών μετακινήσεων και κατά συνέπεια στην ενοποίηση των δικτύων των γειτονικών κρατών.
- Υπό τις συνθήκες αυτές, το κανονικό εύρος γραμμής (1.435 mm), ως το πλέον διαδεδομένο αλλά και ως συγκριτικά μεγάλο, υπερτερεί και φαίνεται ότι θα καθιερωθεί μελλοντικά στα περισσότερα κράτη
- Ήδη χώρες με διαφορετικά εύρη γραμμής (Ισπανία, Ελλάδα, Ταϊλάνδη, κλπ.) έχουν αρχίσει ή σχεδιάζουν την αντικατάσταση των γραμμών τους με γραμμές κανονικού εύρους.
- Ανεξάρτητα με την κατηγορία της γραμμής, η απόσταση μεταξύ των σιδηροτροχιών παραμένει σταθερή σε όλο το μήκος του δικτύου εκτός από τα καμπύλα τμήματα της οριζοντιογραφίας με μικρές ακτίνες καμπυλότητας ($R_c < 400-600 \text{ m}$), όπου το εύρος της γραμμής αυξάνει μέχρι και 35 mm (διαπλάτυνση).

Ευρείες γραμμές ή γραμμές μεγάλου εύρους.

Στην κατηγορία αυτή συναντούμε 5 διαφορετικά εύρη: 1.524, 1.600, 1.665, 1.667 και 1.676 mm.

Μετρικές γραμμές ή γραμμές μετρικού εύρους.

Στην κατηγορία αυτή συναντούμε 2 διαφορετικά εύρη: 1.000 και 1.067 mm.

Στενές γραμμές ή γραμμές στενού εύρους.

Στην κατηγορία αυτή συναντούμε εύρη από 600 μέχρι 900 mm.

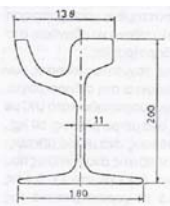
Οι γραμμές αυτές χρησιμοποιούνται για την εξυπηρέτηση βιομηχανιών και εργοστασίων.

4.4.2 Σιδηροτροχιές

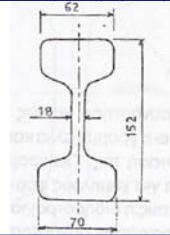
4.4.2.1 Η Διατομή της Σιδηροτροχιάς

- Η σιδηροτροχιά στηρίζει και **καθοδηγεί τους τροχούς** του σιδηροδρομικού οχήματος. Η διατομή της εξελίχθηκε από την εμφάνιση του σιδηροδρόμου.

- Από τις πρώτες διατομές που κατασκευάστηκαν και που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα είναι η σιδηροτροχιά **με λαιμό**. Οι σιδηροτροχίες με λαιμό χρησιμοποιούνται όπου η **στάθμη της σιδηροτροχιάς είναι στο ίδιο επίπεδο** με την στάθμη της οδού



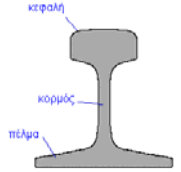
- Η σιδηροτροχιά **διπλής κεφαλής** χρησιμοποιήθηκε με την προοπτική όταν φθαρεί το πάνω τμήμα της **να αντιστραφεί** που κατά τις προβλέψεις δεν θα είχε φθαρεί. Η πρόβλεψη αυτή όμως διαψεύστηκε, με αποτέλεσμα η διατομή αυτή να μην χρησιμοποιείται πλέον



4.4.2.1.α. Η κεφαλή της Σιδηροτροχιάς

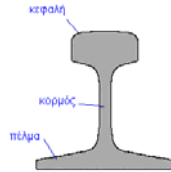
Η κεφαλή της σιδηροτροχιάς χαρακτηρίζεται από

- το πλάτος,
- το ύψος,
- την καμπυλότητα της επιφάνειας κύλισης και
- την κλίση των πλευρικών της επιφανειών.



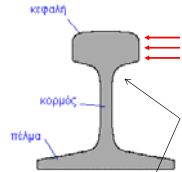
Η διατομή τύπου Vignole

- Ο τύπος που επεκράτησε και χρησιμοποιείται σήμερα είναι η διατομή με πέλμα, γνωστή ως τύπου Vignole.
- Αποτελείται από την κεφαλή, τον κορμό και το πέλμα
- Χαρακτηριστικά μεγέθη της σιδηροτροχιάς είναι**
 - Το βάρος της **m** ανά μέτρο μήκους
 - Η ροπή αδράνειας της διατομής **I**
- Σταθερή επιδίωξη ήταν η αύξηση του **m** να οδηγεί σε ποσοστιαία μεγαλύτερη αύξηση του **I**, έτσι ώστε το ηηλικό **I/m** να αυξάνει γρηγορότερα από το **m**.
- Αυτό οδήγησε σε συνεχή αύξηση του ύψους της διατομής.



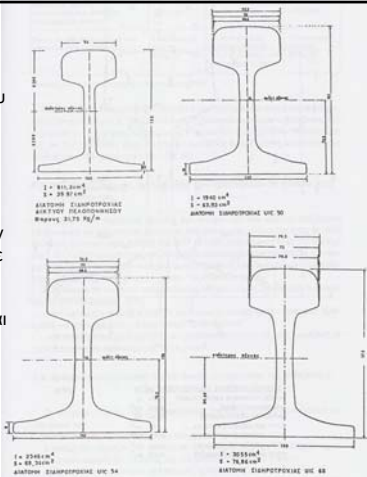
(i) Το **πλάτος** της κεφαλής της σιδηροτροχιάς πρέπει:

- Να είναι επαρκές για να δημιουργεί μια κατάσταση πλευρικού εγκιβωτισμού της ζώνης όπου δημιουργούνται **τάσεις οφειλόμενες στην επαφή τροχού-σιδηροτροχιάς** 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.



- Η αύξηση της τιμής του φορτίου ανά άξονα και της ταχύτητας, οδήγησε σε αύξηση των καταπονήσεων στη σιδηροτροχιά

- Οι διατομές των σιδηροτροχιών έχουν τυποποιηθεί κατά UIC με κυριότερους τύπους την **UIC50** (δηλ. με βάρος 50 χλγ/μ.μ.), **UIC54** (βάρους 54 χλγ/μ.μ.), και **UIC60** (βάρους 60 χλγ/μ.μ.)

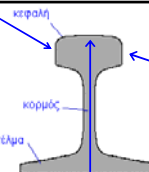


(ii) Το **ύψος** της κεφαλής της σιδηροτροχιάς παρέχει ένα επαρκές περιθώριο για την κατακόρυφη γραμμή.

Το ύψος που έχει συνήθως υιοθετηθεί (50 mm) ανταποκρίνεται στην αναγκαιότητα για μια εξισορρόπηση των μαζών της κεφαλής και του πέλματος της σιδηροτροχιάς, ώστε να μειωθούν οι παραμορφώσεις (οι οποίες οφείλονται σε ετερογενή ψύξη που ακολουθεί την εξέλαση) και κατά συνέπεια οι παραμένουσες τάσεις.

(iii) Η μορφή της **καμπυλότητας** της επιφάνειας κύλισης είναι ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό, γιατί επιδρά στη διανομή των τάσεων όχι μόνο στην **επαφή τροχού-σιδηροτροχιάς** αλλά επίσης και στη συνολική διατομή της σιδηροτροχιάς λόγω της εκκεντρότητας του σημείου εφαρμογής του φορτίου.

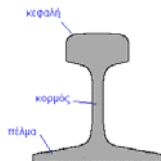
(iv) Η **κλίση** των πλευρικών επιφανειών πρέπει να είναι τέτοια ώστε να **μην εφάπτεται στον όνυχά του τροχού** η εσωτερική επιφάνεια της κεφαλής, όταν ο τροχός κινείται σε ευθυγράμμια.



4.4.2.1.β. Το Πέλμα της σιδηροτροχιάς

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

- (i) Το **πλάτος** του πέλματος καθορίζει την **ακαμψία** της σιδηροτροχιάς στο οριζόντιο επίπεδο και την αντίστασή της σε ανατροπή.
Ένα μεγάλο πλάτος καταπονεί λιγότερο το στρωτήρα με μείωση της πίεσης ανά μονάδα επιφάνειας.

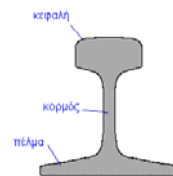


Όμως ένα υπερβολικό πλάτος δημιουργεί προβλήματα στην εξέλαση και, αυξάνοντας την εγκάρσια ροπή αδρανείας, αυξάνει τη δυσκολία για τοποθέτηση σε καμπύλες με πολύ μικρή ακτίνα.

- (ii) 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 καθορίζεται σχετικά και από λόγους αντιμετώπισης της διάβρωσης (σιδηροτροχιές για υπόγεια μετρό).

- (iii) Η **κλίση** της επιφάνειας επαφής με τον αμφοδέτη είναι σημαντική για την ευστάθεια των αρμών.



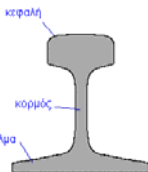
Αν είναι έντονη η κλίση, αποφεύγεται η φθορά του αμφοδέτη με μια σχετικά μικρή μετατόπισή του (βύθιση), αλλά οι δυνάμεις που τείνουν να χαλαρώσουν την αμφίδεση είναι σημαντικές και οι τάσεις στα βλήτρα της αμφίδεσης αυξημένες.

Αντίθετα μια μικρή κλίση καταπονεί λιγότερο τα βλήτρα αλλά μειώνει τη δυνατότητα αποφυγής της φθοράς και περιπλέκει το πρόβλημα συναρμογής στον κορμό.

4.4.2.1.γ. Κορμός και επιφάνεια επαφής με αμφοδέτη

Αυτά χαρακτηρίζονται από:

- (i) το πάχος του κορμού,
- (ii) τον τύπο συναρμογής με την κεφαλή και πέλμα και
- (iii) την κλίση της επιφάνειας επαφής με τον αμφοδέτη.



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

4.4.2.2 Επιλογή Διατομής Σιδηροτροχιάς

- Η επιλογή της διατομής της σιδηροτροχιάς είναι συνάρτηση κυρίως του φόρτου

Ημερήσιος φόρτος κυκλοφορίας (σε τόνους)	< 25.000 t	25.000 – 35.000 t	> 35.000 t
Βάρος m ανά μέτρο μήκους που πρέπει να έχει η σιδηροτροχιά	50kg/m	- για ξύλινους στρωτήρες 50kg/m - γι στρωτ. από σκυρόδεμα 60 kg/m	60kg/m

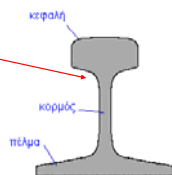
- Για γραμμές κανονικού εύρους έχει επικρατήσει να χρησιμοποιούνται για
 - **Χαμηλούς φόρτους η σιδηροτροχιά UIC50**
 - **Για μέσους και υψηλούς φόρτους οι σιδηροτροχιές UIC60**

- (ii) Οι **συναρμογές** είναι ένα ευαίσθητο σημείο.

Στα αμερικανικά δίκτυα όπου κυκλοφορούν φορτία των 30 και 35 t ανά άξονα παρατηρήθηκαν πολυάριθμες ρηγματώσεις σε αυτήν την περιοχή.

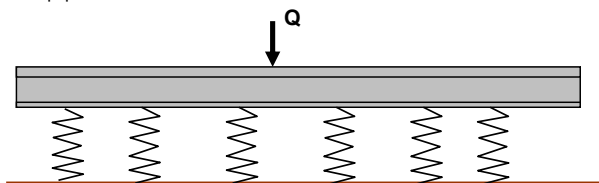
Η αιτία βρέθηκε, με φωτοελαστικότητα, στη συγκέντρωση τάσεων, που ευνοείται από την έκκεντρη φόρτιση της κεφαλής.

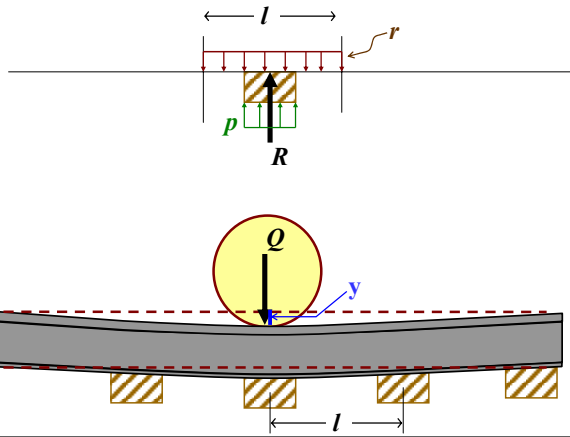
Αν όμως αυξηθεί η ακτίνα της καμπύλης συναρμογής για να μειωθεί η συγκέντρωση των τάσεων, θα μειωθεί σημαντικά το πλάτος της επιφάνειας επαφής με τον αμφοδέτη.



4.4.3 Η Καταπόνηση της Επιδομής από τις κατακόρυφες δυνάμεις

- Παραδοχή: η σιδηροτροχιά έχει άπειρο μήκος δηλ. εξομοιώνεται με συνεχή δοκό που εδράζεται σε οριζόντιο ελαστικό υπόστρωμα
- Γίνεται μια προσεγγιστική ελαστική ανάλυση των κατακόρυφων δυνάμεων με βάση την θεωρεία του Zimmermann
- Το φορτίο του τροχού **Q** εξομοιώνεται με ένα συγκεκριμένο στατικό φορτίο **Q**.





- Η σιδηροδρομική γραμμή αποτελείται από πολλά υλικά που κάθε ένα έχει την δική του ελαστικότητα, και για το οποίο ο συντελεστής αντίδρασης ορίζεται σαν:

$$\rho_n = R/y_n$$

όπου y_n η κατακόρυφη βύθιση του υλικού n .

$$\sum y_n = y \Rightarrow \sum \frac{R}{\rho_n} = \frac{R}{\rho} \Rightarrow \frac{1}{\rho} = \sum \frac{1}{\rho_n}$$

4.4.3.1 Οι παράμετροι της σιδηροδρομικής γραμμής

- Η μηχανική συμπεριφορά της σιδηροδρομικής γραμμής εξαρτάται από ένα αριθμό παραμέτρων

1. Ο δείκτης της σιδ. γραμμής $\kappa = r/y$

όπου r : το φορτίο του τροχού διανεμημένο ομοιόμορφα στην σιδηροτροχιά
 y : αντίστοιχη κατακόρυφη βύθιση της σιδηροτροχιάς από το φορτίο r

2. Ο συντελεστής αντίδρασης του στρωτήρα $\rho = R/y$

όπου R : η κατακόρυφη αντίδραση ενός στρωτήρα ανά σειρά σιδηροδρομικής γραμμής
 επειδή $R=r.l$

l : το μήκος της σιδηροτροχιάς μεταξύ δύο στρωτήρων

$$\Rightarrow \rho = \kappa.l$$

(Προσεγγιστική σχέση – δεν λαμβάνει υπόψη τις επιδράσεις γειτονικών στρωτήρων)

Χαρακτηριστικές τιμές του συντελεστή αντίδρασης ρ	
Συνιστώσα επιδομής	ρ (t/mm)
Σιδηροτροχιά	5000 – 10000
Στρωτήρας ξύλινος	50 – 90
Στρωτήρας από σκυρόδεμα	1200 – 1500
Έρμα	10 – 30
Υποδομή ελώδης	0,6 – 1,5
Υποδομή αργιλώδης	1,6 – 2,0
Υποδομή βραχώδης (χαλικώδης)	2 – 6
Υποδομή από παγετό	8 - 10

Στα τεχνικά έργα, $\rho = 12 - 15$ t/mm

3. Ο συντελεστής έρματος $C = \rho/s$

όπου s το εμβαδόν έδρασης του στρωτήρα

C είναι το μέγεθος που περιγράφει τη συμπεριφορά παραμόρφωσης του έρματος και του υπεδάφους

αντικαθιστώντας την σχέση του συντελεστή αντίδρασης στρωτήρα $\rho = R/y$

$$C = \frac{R/y}{s} = \frac{R}{y.s} = \frac{R}{s} \cdot \frac{1}{y} = \frac{\rho}{y}$$

όπου p η πίεση του στρωτήρα επί του έρματος

4.4.3.2. Πάχος έρματος

- Επειδή η έδραση στο έδαφος έχει συνήθως το μικρότερο συντελεστή ρ , γι αυτό το λόγο και η εξασκουμένη πίεση επί της έδρασης προκαλεί τις καθιζήσεις. Η πίεση αυτή είναι μικρότερη όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος του έρματος και του υποστρώματος.
- Η αύξηση του πάχους του έρματος έχει ευνοϊκή επίδραση όχι μόνο στην αύξηση της ελαστικότητας της επιδομής αλλά και στην μείωση της αναπτυσσόμενης τάσης στην υποδομή.

Εάν

h είναι το πάχος του έρματος

ρ_o είναι ο συντελεστής αντίδρασης της επιδομής για $h = 0$

$$\lambda = \frac{\text{Τάση στην επιφάνεια της υποδομής}}{\text{τάση υπό τον στρωτήρα}}$$

Οι επιπτώσεις της αύξησης του πάχους του έρματος μπορούν να υπολογισθούν προσεγγιστικά με εφαρμογή της ανάλυσης του Boussinesq

Επιρροή της τιμής του πάχους του έρματος στην μείωση της τάσης στην υποδομή						
h(cm)	0	15	20	30	40	50
λ	1	0,70	0,50	0,35	0,25	0,20
ρ / ρ_o	1	1,4	2,00	2,85	4,00	5,00

4.4.3.3.α Οι μέγιστες τιμές χαρακτηριστικών μεγεθών σιδηροτροχιών

$$M_{\max} = \frac{Q}{2\sqrt{2}} \cdot \sqrt[4]{\frac{E \cdot I \cdot l}{\rho}}$$

Μέγιστη καμπτική ροπή

$$y_{\max} = \frac{Q}{2\sqrt{2}} \cdot \sqrt[4]{\frac{l^3}{E \cdot I \cdot \rho^3}}$$

Μέγιστη βύθιση

$$R_{\max} = \frac{Q}{2\sqrt{2}} \cdot \sqrt[4]{\frac{l^3 \cdot \rho}{E \cdot I}}$$

Μέγιστη αντίδραση στρωτήρα

4.4.3.3. Ελαστική Παραμόρφωση Σιδηροτροχιών

- Τα φορτία θεωρούνται στατικά και όχι δυναμικά.
- Θεωρούμε σιδηροτροχιά απείρου μήκους
- Θεωρούμε ότι η δοκός στηρίζεται σε ελαστική βάση, δηλ. ότι η βάση αποτελεί ένα ελαστικό ημικόχωρο. Έτσι θεωρείται ότι:
 - υπάρχει αναλογία τάσεων και παραμορφώσεων σε όλο τον ημικόχωρο
 - το μέτρο ελαστικότητας είναι παντού το ίδιο
 - οι ιδιότητες του υλικού βάσης είναι οι ίδιες σε κάθε κατεύθυνση

$$M_{\max} = \frac{Q}{2\sqrt{2}} \cdot \sqrt[4]{\frac{E \cdot I \cdot l}{\rho}}$$

Όταν ρ αυξάνεται



M, y μειώνονται

R αυξάνεται

$$y_{\max} = \frac{Q}{2\sqrt{2}} \cdot \sqrt[4]{\frac{l^3}{E \cdot I \cdot \rho^3}}$$

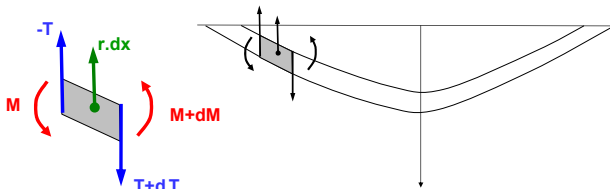
Το y μειώνεται σχετικά πλιό γρήγορα από ότι το M



$$R_{\max} = \frac{Q}{2\sqrt{2}} \cdot \sqrt[4]{\frac{l^3 \cdot \rho}{E \cdot I}}$$

Ένας καλός συντελεστής αντίδρασης στρωτήρα ρ , είναι πολύ πιο σημαντικός για την διατήρηση της οριζοντιώσεως της γραμμής παρά για την επιπόνηση των σιδηροτροχιών.

Ελαστική παραμόρφωση σιδηροτροχιών



- M : η καμπτική ροπή
- T : η τένουσα δύναμη
- E : το μέτρο ελαστικότητας σιδηροτροχιών
- I : η ροπή αδράνειας σιδηροτροχιών

Η ισορροπία του στοιχείου dx δίνει:

$$\left. \begin{aligned} dM &= T \cdot dx \\ dT &= r \cdot dx \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{d^2 M}{dx^2}$$

Η εξίσωση της ελαστικής γραμμής είναι:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = - \frac{M}{E \cdot I}$$

$$M_{\max} = \frac{Q}{2\sqrt{2}} \cdot \sqrt[4]{\frac{E \cdot I \cdot l}{\rho}}$$

Όταν l (απόσταση στρωτήρων) αυξάνεται



M, y, R αυξάνονται

$$y_{\max} = \frac{Q}{2\sqrt{2}} \cdot \sqrt[4]{\frac{l^3}{E \cdot I \cdot \rho^3}}$$

Τα y και R αυξάνονται σχετικά πλιό γρήγορα από ότι το M



$$R_{\max} = \frac{Q}{2\sqrt{2}} \cdot \sqrt[4]{\frac{l^3 \cdot \rho}{E \cdot I}}$$

Η πύκνωση των στρωτήρων (δηλ. μείωση του l) είναι πολύ πιο σημαντική για την διατήρηση της οριζοντιώσεως της γραμμής παρά για την επιπόνηση των σιδηροτροχιών.

Διατήρηση της οριζοντιώσεως της γραμμής επιτυγχάνεται

- είτε με βελτίωση του συντελεστή αντίδρασης ρ εντός των ορίων που επιτρέπει το έδαφος έδρασης
- είτε με αύξηση της πυκνότητας των στρωτήρων (αριθμός στρωτήρων ανά χλμ)

Συνήθως αυξάνεται η πυκνότητα των στρωτήρων καθώς αποτελεί πίο αποτελεσματική μέθοδο σε εδάφη κακής ποιότητας

Παράδειγμα υπολογισμού χαρακτηριστικών μεγεθών της σιδηροδρομικής γραμμής

Για μία σιδηροδρομική γραμμή που καταπονείται στατικά

Δίνονται:

α) Χαρακτηριστικά σιδηροτροχιάς

- Σιδηροτροχιά UIC 50 (βάρος 50,18 kp/m)
- $E = 2.1 \times 10^6$ kp/cm²
- $I = 1940$ cm⁴ - Ροπή αντίστασης $I/v = 257$ cm³

β) Χαρακτηριστικά της επιδομής

- Συντελεστής αντίδρασης στρωτήρα $\rho =$ 576 kp/mm
- Συντελεστής έρματος $C =$ 3 kp/cm³

γ) Χαρακτηριστικά φορτίου

- Το μέγιστο φορτίο είναι το βάρος της μηχανής κατανεμημένο σε 4 άξονες = 88 Mp
- Η μέγιστη υποχώρηση είναι $y_{\max} =$ 0,4 cm

Η τάση κάμψης της σιδηροτροχιάς

$$M_{\max} = \frac{Q}{2\sqrt{2}} \sqrt[4]{\frac{E \cdot I \cdot I}{\rho}}$$

$$y_{\max} = \frac{Q}{2\sqrt{2}} \sqrt[4]{\frac{I^3}{E \cdot I \cdot \rho^3}}$$

$$R_{\max} = \frac{Q}{2\sqrt{2}} \sqrt[4]{\frac{I^3 \cdot \rho}{E \cdot I}}$$

Όταν η ακαμψία $E \cdot I$ της σιδηροτροχιάς αυξάνεται, δηλ. όταν αυξάνεται το βάρος της σιδηροτροχιάς,

το M αυξάνει

τα y και R ελαττώνονται

Ζητούνται:

- 1) Η Απόσταση των στρωτήρων
- 2) Ο δείκτης k της σιδηροδρομικής γραμμής
- 3) η μέγιστη κατακόρυφη αντίδραση R_{\max} ενός στρωτήρα ανά σειρά σιδηροδρομικής γραμμής
- 4) η μέγιστη κατακόρυφη καμπτική ροπή M_{\max} της σιδηροτροχιάς
- 5) η μέγιστη καμπτική τάση σ_{\max} της σιδηροτροχιάς

Η τάση κάμψης της σιδηροτροχιάς προκύπτει με εφαρμογή της σχέσης

$$\sigma = M \frac{V}{I}$$


όπου

V : η μέγιστη απόσταση από το κέντρο βάρους της σιδηροτροχιάς (δηλ. της ακρότατης ίνας της διατομής)

$$\Rightarrow \sigma_{\max} = \frac{Q \cdot V}{2\sqrt{2}} \sqrt[4]{\frac{E \cdot I}{I^3 \cdot \rho}}$$

I / V : η ροπή αντίστασης

Αύξηση της ροπής αδράνειας I της σιδηροτροχιάς επηρεάζει τις τάσεις στην σιδηροτροχιά πολύ περισσότερο από ότι την οριζοντίωση της γραμμής

 Για αυτό και η αύξηση της τιμής του φορτίου ανά άξονα τα τελευταία χρόνια οδήγησε και σε σημαντική αύξηση της διατομής της σιδηροτροχιάς.

Λύση:

Υπολογίζεται το φορτίο ανά τροχό του σιδηροδρομικού οχήματος. Το όχημα έχει 4 άξονες επομένως το φορτίο ανά τροχό είναι:

$$Q = \frac{88}{4 \times 2} = 11 \text{ Mp}$$

Εφαρμόζουμε τους τύπους υπολογισμού των χαρακτηριστικών μεγεθών, κάνοντας τις απαραίτητες μετατροπές μονάδων.

$$\Rightarrow \rho = 5760 \text{ kp/cm}, \quad Q = 11000 \text{ kp}$$

1) Η απόσταση των στρωτήρων l υπολογίζεται από την σχέση υπολογισμού της μέγιστης βύθισης y_{\max} :

$$y_{\max} = \frac{Q}{2\sqrt{2}} \sqrt[4]{\frac{I^3}{E \cdot I \cdot \rho^3}} \Rightarrow l = \rho \cdot \sqrt[3]{\frac{64 \cdot y_{\max}^4 \cdot E \cdot I}{Q^4}}$$

$$\Rightarrow l = 44,33 \text{ cm}$$

2) ο δείκτης k υπολογίζεται από την σχέση

$$\rho = k \cdot l \Rightarrow k = \frac{\rho}{l} \quad \Rightarrow \rho = 129,93$$

3) Η μέγιστη κατακόρυφη αντίδραση του στρωτήρα

$$R_{\max} = \frac{Q}{2\sqrt{2}} \cdot \sqrt[4]{\frac{l^3 \cdot \rho}{E \cdot I}} \quad \Rightarrow R_{\max} = 2304$$

4) Η μέγιστη καμπτική ροπή:

$$M_{\max} = \frac{Q}{2\sqrt{2}} \cdot \sqrt[4]{\frac{E \cdot I \cdot l}{\rho}} \quad \Rightarrow M_{\max} = 291022 \text{ kp.cm}$$

- Η αμφίδεση πρέπει να ικανοποιεί τις παρακάτω συνθήκες
 - Να **εμποδίζει τις κατακόρυφες και πλευρικές κινήσεις** των άκρων της σιδηροτροχιάς, αφήνοντας ελεύθερη την διαστολή τους
 - Να συνδέει τις σιδηροτροχιές κατά τρόπο ώστε να συμπεριφέρονται σαν συνεχής **δοκός ευθυγραμμισμένη και στο ίδιο επίπεδο**
 - Η **αντίσταση στην παραμόρφωση να είναι όσο το δυνατό ίδια** με αυτή των σιδηροτροχιών που συνδέει
- Στις κανονικού εύρους γραμμές του ελληνικού δικτύου οι σιδηροτροχιές των 18 μ συγκολλούνται ανά δύο ή τρεις και οι αμφίδεση γίνεται ανά 36 ή 54 μ.

5) Η μέγιστη καμπτική τάση:

$$\sigma = M \frac{v}{I} \Rightarrow \sigma_{\max} = \frac{Q \cdot v}{2\sqrt{2}} \cdot \sqrt[4]{\frac{E I}{I^3 \cdot \rho}}$$

$$\sigma = M \frac{v}{I} \Rightarrow \sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{I/v} = \frac{219022}{257}$$

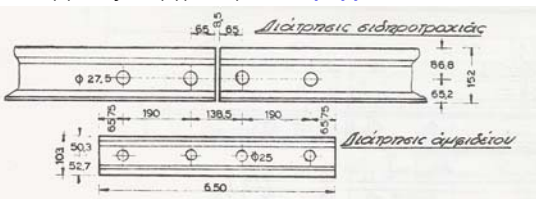
4.4.5 Συνεχώς Συγκολλημένες Σιδηροτροχιές (Σ.Σ.Σ.)

Γενικά

- 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.**
- Ακριβώς επειδή το κεντρικό τμήμα των Σ.Σ.Σ. πρέπει να έχει πλήρως **παρεμποδισόμενη παραμόρφωση**, αναπτύχθηκαν οι Σ.Σ.Σ. με την εμφάνιση των **διπλά ελαστικών συνδέσμων**, που εξασφαλίζουν μια σύσφιξη επαρκή και σταθερή στο χρόνο.

4.4.4 Αμφιδέτες

- Η στρώση των σιδηροτροχιών γίνονται αφήνοντας αρμούς ανάμεσα σε διαδοχικές σιδηροτροχιές. Οι αρμοί αυτοί αναλαμβάνουν την μεταβολή του μήκους λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών
- Για να λειτουργεί η σιδηροτροχιά σαν **συνεχής δοκός** χρειάζεται να τοποθετηθούν εκατέρωθεν του αρμού και σε επαφή με τις σιδηροτροχιές δύο ειδικά τεμάχια που ονομάζονται αμφιδέτες. Οι αμφιδέτες σύσφιγγονται με **ειδικά βλήτρα**



- Η Σ.Σ.Σ. δεν υφίσταται καμία μεταβολή μήκους. Αυτό εξασφαλίζεται από :
 - τις **δυνάμεις τριβής Στρωτήρα – Έρματος** που προκύπτουν από τον **εγκιβωτισμό του στρωτήρα** εντός του έρματος
 - τις **δυνάμεις τριβής Σιδηροτροχιάς – Στρωτήρα** που μπορούν να διασφαλισθούν μόνο εφόσον υπάρχει μόνιμη και αλληλέγγυα σύνδεση σιδηροτροχιάς – στρωτήρα, που εξασφαλίζεται με τους διπλά ελαστικούς συνδέσμους

- Τα σιδηροδρομικά 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.
 - Λόγω **κρουστικών φαινομένων στους αρμούς**, δημιουργείται φθορά των τροχών, με αποτέλεσμα αύξηση των δαπανών συντήρησης τους.
- Με τις Σ.Σ.Σ., επειδή δεν μεσολαβεί καμία ασυνέχεια, όλα τα προβλήματα που δημιουργούνται από τους αρμούς καταργούνται.

$$\Rightarrow \text{η συνεπαγόμενη μεταβολή μήκους} \quad \Delta L^F = \frac{F \cdot L}{E \cdot S}$$

⇒ Επομένως από την επαλληλία των δύο προηγούμενων καταστάσεων η συνολική διαφορά μήκους είναι:

$$\Delta L^* = \Delta L^{\Delta\theta} - \Delta L^F = a \cdot L \cdot \Delta\theta - \frac{F \cdot L}{E \cdot S}$$

⇒ Για να εξασφαλισθεί μηδενική μεταβολή μήκους θα πρέπει:

$$a \cdot L \cdot \Delta\theta - \frac{F \cdot L}{E \cdot S} = 0 \quad \Rightarrow \quad F = a \cdot E \cdot S \cdot \Delta\theta$$

4.4.5.1 Διαστολή και μηχανική συμπεριφορά των Σ.Σ.Σ.

Παραδοχή:

- Τα υλικά έχουν ελαστική συμπεριφορά
- Η αντίσταση του έρματος είναι ομοιόμορφη και σταθερή



- Η μεταβολή μήκους της $\Delta L^{\Delta\theta}$ της σιδηροτροχιάς μήκους L , λόγω διαφοράς θερμοκρασίας $\Delta\theta$ είναι:

$$\Delta L^{\Delta\theta} = a \cdot L \cdot \Delta\theta$$

Όπου a ο συντελεστής θερμικής διαστολής του χάλυβα

⇒ η δύναμη $F = a \cdot E \cdot S \cdot \Delta\theta$ είναι ανεξάρτητη από το μήκος της σιδηροτροχιάς και ανάλογη με το εμβαδόν διατομής



Η αναπτυσσόμενη τάση εξαρτάται από τον τύπο της σιδηροτροχιάς



- Στην μεταβολή του μήκους λόγω $\Delta\theta$, αντιτίθεται το έρμα με μια δύναμη F . Από τον νόμο του Hook

$$F = \frac{\Delta L^F}{L} \cdot E \cdot S$$

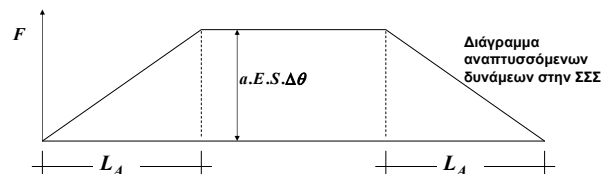
Όπου

E το μέτρο ελαστικότητας της σιδηροτροχιάς

S το εμβαδόν της διατομής της σιδηροτροχιάς

4.4.5.2 Διανομή δυνάμεων στη Σ.Σ.Σ.

- Οι δυνάμεις που προκαλούνται στην ΣΣΣ λόγω θερμικών μεταβολών μεταβιβάζονται μέσω των συνδέσμων και των στρωτήρων στο έρμα.
- Η αντίσταση του έρματος, r , είναι 0,5 – 1,0 t/m
- Η **αντίσταση είναι μηδενική στο άκρο της ΣΣΣ, και αυξανόμενη αθροιστικά σε ένα μήκος L_A** δημιουργεί μια δύναμη ίση με F



$$\Rightarrow r \cdot L_A = F = a \cdot E \cdot S \cdot \Delta\theta \quad \Rightarrow \quad L_A = \frac{a \cdot E \cdot S \cdot \Delta\theta}{r}$$

- Το μήκος L_A αναφέρεται σαν το μήκος εκτόνωσης.
- Πέρα από το μήκος αυτό η δύναμη λόγω αντίστασης του έρματος εξισορροπεί πλήρως την δύναμη που αναπτύσσεται λόγω θερμικών μεταβολών.
↓
πέρα από το μήκος L_A δεν έχουμε μετακίνηση σημείων στην ΣΣΣ.
- με εφαρμογή της εξίσωσης υπολογισμού του μήκους εκτόνωσης L_A προκύπτει ότι το μήκος αυτό μπορεί να φθάσει οριακά στην τιμή των 150μ.
- Επομένως αφού το μήκος της ΣΣΣ δεν μπορεί να είναι μικρότερο από $2 \cdot L_A$ προκύπτει ότι το ελάχιστο μήκος της ΣΣΣ είναι 300μ.

4.4.5.3 Διαστολή των Σ.Σ.Σ.

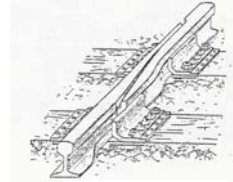
Για να εξισορροπηθούν πλήρως οι αναπτυσσόμενες τάσεις, λόγω θερμοκρασιακής μεταβολής από τη δύναμη τριβής στρωτήρα - έρματος, απαιτείται μήκος ή ζώνης εκτόνωσης.

Μετά το μήκος αυτό δεν έχουμε μετακίνηση.

Το μέγιστο μήκος της ζώνης εκτόνωσης φθάνει τα 150 m.

Σύμφωνα με τον ορισμό των Σ.Σ.Σ., το μικρότερο μήκος τους είναι $2 \times 150 = 300$ m.

Για την εκτόνωση των Σ.Σ.Σ. υπάρχουν σε κάθε άκρο τμημάτων γραμμής στρωμένων με Σ.Σ.Σ. **συσκευές διαστολής** (Σ.Δ.).



Αρμός διαστολής

4.4.5.3. Υπολογισμός μεταβολής μήκους στην ζώνη εκτόνωσης

- Η ΣΣΣ υφίσταται μεταβολή μήκους λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών μόνο στο μήκος L_A . Πέρα από αυτό το μήκος κάθε σημείο της ΣΣΣ παραμένει αμετακίνητο.
- Η μεταβολή μήκους της ζώνης εκτόνωσης λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών είναι:

$$\Delta L_A^{\Delta\theta} = a \cdot L_A \cdot \Delta\theta = a \cdot \frac{a \cdot E \cdot S \cdot \Delta\theta}{r} \cdot \Delta\theta = \frac{a^2 \cdot E \cdot S \cdot \Delta\theta^2}{r}$$

- Η μεταβολή μήκους λόγω αντίστασης έρματος.
Η αντίσταση έρματος είναι 0 στο άκρο της ΣΣΣ και r στο σημείο L_A .
Επομένως η συνισταμένη δύναμη είναι $(r \cdot L_A)/2$ και η μεταβολή μήκους

Hook :

$$F = \frac{\Delta L^r}{L} \cdot E \cdot S \Rightarrow \Delta L^r = \frac{F \cdot L}{E \cdot S} = \frac{r \cdot L_A}{2} \cdot \frac{L_A}{E \cdot S} = \frac{r}{2 \cdot E \cdot S} \cdot L_A^2$$

4.4.5.5 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 επιτυγχάνεται η Σ.Σ.Σ. όσο γίνεται λιγότερο.
- Ως τέτοιες ενδιάμεσες θερμοκρασίες θεωρούνται για τις ελληνικές συνθήκες αυτές που περιλαμβάνονται στο εύρος 23 -35° 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° C, με δημιουργία συνθηκών ελεύθερης διαστολής (ή συστολής).

$$\left. \begin{aligned} \Delta L_A^r &= \frac{r}{2 \cdot E \cdot S} \cdot L_A^2 \\ L_A &= \frac{a \cdot E \cdot S \cdot \Delta\theta}{r} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \Delta L^r = \frac{a^2 \cdot E \cdot S \cdot \Delta\theta^2}{2 \cdot r}$$

Η αντίσταση έρματος είναι 0 στο άκρο της ΣΣΣ και r στο σημείο L_A .
Επομένως η συνισταμένη δύναμη είναι $(r \cdot L_A)/2$ και η μεταβολή μήκους

$$\Rightarrow \Delta L^* = \Delta L_A^{\Delta\theta} - \Delta L_A^r = \frac{a^2 \cdot E \cdot S \cdot \Delta\theta^2}{r} - \frac{a^2 \cdot E \cdot S \cdot \Delta\theta^2}{2 \cdot r} = \frac{a^2 \cdot E \cdot S \cdot \Delta\theta^2}{2 \cdot r}$$

- 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 300 m και μέχρι 1200 m.
- Η μεθοδολογία που εφαρμόζεται ακολουθεί τα παρακάτω στάδια

- Εφόσον η ΣΣΣ έχει μήκος > 1200 μ., η απελευθέρωση γίνεται κατά τμήματα. Κόβουμε την σιδηροτροχιά στο άκρο κάθε τμήματος, το οποίο εκτρέπουμε ώστε να μπορεί η σιδηροτροχιά να κινηθεί ελεύθερα
- Χαλαρώνουμε την σύσφιξη των συνδέσμων
- Τοποθετούμε την σιδηροτροχιά πάνω στα κύλιτρα (κομμάτια οπλισμού Φ20 που τοποθετούνται ανά 8-10 στρωτήρες) για να μειωθούν όσο το δυνατό οι τριβές
- Περαιτέρω μείωση των τριβών επιτυγχάνεται με εγκάρσιες κρούσεις της σιδηροτροχιάς με ξύλινες ή πλαστικές βαριές
- Αν η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη των 23°C θερμαίνουμε τη σιδηροτροχιά στην ιδανική θερμοκρασία των 28-30°C που είναι επιθυμητή για την μικρότερη επιπόνηση στις ακραίες θερμοκρασίες. Αν η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από 23°C δεν θερμαίνουμε την σιδηροτρ.
- Αφαιρούμε τα κύλιτρα και συσφίγγουμε τους συνδέσμους
- Η απελευθέρωση τάσεων πρέπει να γίνεται και στις δύο τροχιοσειρές.

4.4.6.1 Τύποι στρωτήρων

α. Ξύλινοι Στρωτήρες

Το ξύλο επιβλήθηκε γρήγορα ως το πιο κατάλληλο υλικό 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 υσκατάστατά του.

β. Μεταλλικοί Στρωτήρες

Ετσι το 1880 στη Γερμανία γεννήθηκε ο **μεταλλικός** στρωτήρας και αποτέλεσε μια διέξοδο για τη σιδηροβιομηχανία στο τέλος του περασμένου αιώνα.

4.4.5.6 Πλεονεκτήματα της Σ.Σ.Σ.

- Υψηλότερο επίπεδο άνεσης
- Πολύ πιο αργή εξέλιξη των σφαλμάτων γραμμής
- Πολύ μικρότερη κόπωση του υλικού επιδομής
- Πολύ μικρότερη επιπόνηση των τροχών και του τροχαίου υλικού γενικότερα

Η χρησιμοποίηση των ΣΣΣ στα δυτικοευρωπαϊκά δίκτυα τα τελευταία 30 χρόνια είχε σαν συνέπεια την μείωση του κόστους συντήρησης κατά 30% περίπου.

γ. Στρωτήρες από Σκυρόδεμα

Πιο πρόσφατα στη Γαλλία αλλά και σε άλλες χώρες της Ευρώπης εμφανίστηκαν και διαδόθηκαν οι στρωτήρες από **σκυρόδεμα** (οπλισμένο ή προεντεταμένο).

Αυτή τη στιγμή ο στρωτήρας από σκυρόδεμα αποτελεί την καλύτερη τεχνικά και οικονομικά λύση.



Τυπική διάταξη ολόσωμων στρωτήρων από σκυρόδεμα



Διμερής στρωτήρας από σκυρόδεμα

4.4.6 Στρωτήρες

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:

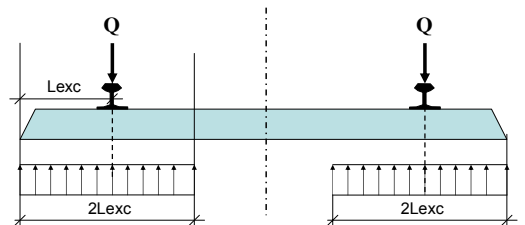
- Μεταβίβαση φορτίων από τη σιδηροτροχιά στο σκύρο.
- Διατήρηση του εύρους της γραμμής.
- Διατήρηση της επίκλισης της σιδηροτροχιάς στο 1:20.

Μηχανικά οι στρωτήρες καταπονούνται από το φορτίο που τους μεταβιβάζουν οι σιδηροτροχιάς. Το φορτίο αυτό είναι γενικά έκκεντρο λόγω:

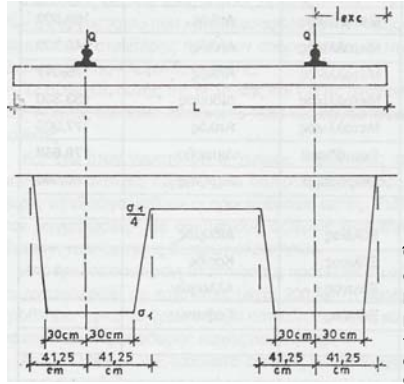
- των πλευρικών δυνάμεων που εξασκούνται από τα οχήματα που κινούνται στη γραμμή και
- της αντίδρασης του σκύρου, που εξαρτάται πολύ από τις συνθήκες έδρασης των στρωτήρων.

4.4.6.2. Αναπτυσσόμενες τάσεις στο στρωτήρα

- Οι ροπές κάμψης που αναπτύσσονται στον στρωτήρα μπορούν να αναλυθούν θεωρώντας τις ακόλουθες απλοποιητικές παραδοχές:
 - Ο στρωτήρας θεωρείται σαν **αμφιπροέχουσα δοκός**
 - Το φορτίο του τροχού θεωρείται συγκεντρωμένο
 - Η αντίδραση του έρματος θεωρείται ότι ασκείται ομοιόμορφα σε μήκος $2L_{exc}$ κάτω από την σιδηροτροχιά



Αναπτυσσόμενες τάσεις στο στρωτήρα



από μετρήσεις τάσεων επιτόπου προέκυψε η διανομή των τάσεων που παρουσιάζεται στο σχήμα, με μέγιστη τάση

$$\sigma_1 = \frac{P}{\alpha \cdot \left(\frac{L}{2} + \frac{3Lexc}{2} \right)}$$

Όπου

α : το πλάτος του στρωτήρα
 L: το μήκος του στρωτήρα
 Lexc: η απόσταση μεταξύ του πέρατος του στρωτήρα και του σημείου εφαρμογής του φορτίου
 P = 2Q

4.4.6.3.β. Στρωτήρες από Σκυρόδεμα

- Χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά μετά το 1920, αλλά παρουσίασαν στο ξεκίνημα τους σοβαρές αδυναμίες:
 - Τάση προς ψαθυρή θραύση υπό την επήρεια των δυναμικών φορτίων
 - Πολύ μικρή αντίσταση σε κόπωση που μεταφράζεται στο κεντρικό τμήμα του σε υψηλές εφελκυστικές τάσεις που αν ξεπεράσουν τις αντοχές σε εφελκυσμό οδηγούν σε ολίσθηση των οπλισμών

Για να αντιμετωπισθούν αυτές οι αδυναμίες

- Η σιδηροτροχιά δεν εδράζεται απ' ευθείας επί του στρωτήρα αλλά **παρεμβάλλεται ειδικό ελαστικό υπόθεμα καουτσούκ** που αμβλύνει τον κρουστικό χαρακτήρα των φορτίων. Το ελαστικό υπόθεμα απαιτεί την ύπαρξη ελαστικών συνδέσμων
- Οι χρησιμοποιούμενοι οπλισμοί έχουν την ίδια διάρκεια ζωής με το σκυρόδεμα

4.4.6.3 Εκλογή τύπου στρωτήρα – χαρακτηριστικά – πλεονεκτήματα

Η εκλογή του τύπου του στρωτήρα είναι πρόβλημα οικονομικό, που μπορεί να επιλυθεί με συνεκτίμηση των εξής παραμέτρων:

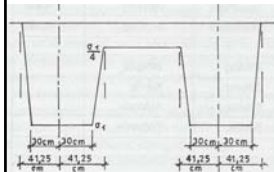
- Κόστος αγοράς στρωτήρα των συνδέσεων του και των ειδικών μονωτικών στοιχείων που απαιτούνται.
- Διάρκεια ζωής.
- Τιμή αντικατάστασης.
- Έξοδα συντήρησης αναθεωρημένα για όλη τη διάρκεια ζωής του.

Από αυτή την άποψη στην Ελλάδα, οι ξύλινοι στρωτήρες, όταν έχουν προσήλωση K είναι ακριβότεροι από τους στρωτήρες οπλισμένου σκυροδέματος περίπου κατά 100%.

Οι στρωτήρες που χρησιμοποιούνται σήμερα σε νέες χαράξεις ή σε ανακαινίσεις είναι συνήθως από σκυρόδεμα. Σε αρκετές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και ξύλινοι στρωτήρες. Οι μεταλλικοί στρωτήρες δεν χρησιμοποιούνται πλέον.

Τύποι Στρωτήρων από Σκυρόδεμα

- Έχουν αναπτυχθεί δύο τύποι στρωτήρων από σκυρόδεμα
 - Ο **διμερής στρωτήρας** που αποτελείται από δύο τραπεζοειδή τμήματα από οπλισμένο σκυρόδεμα που συνδέονται μεταξύ τους με συνδετήρια ράβδο
 - Ο **ολόσωμος στρωτήρας** από προεντεταμένο σκυρόδεμα
- Επειδή στο κεντρικό τμήμα οι αναπτυσσόμενες διαμητικές τάσεις είναι μικρές στο τμήμα αυτό μπορεί να γίνει μείωση του υλικού του στρωτήρα. Γι αυτό τον λόγο:
 - Στον διμερή στρωτήρα το κεντρικό τμήμα αντικατάστηκε το υλικό από την συνδετήρια ράβδο (που χρησιμεύει για την διατήρηση του εύρους της γραμμής)
 - Στο προεντεταμένο στρωτήρα μειώνεται η διατομή στο κεντρικό τμήμα.



Ξύλινοι στρωτήρες

- Προκαλούν **καλύτερη κατανομή των φορτίων** σε σύγκριση με άλλους τύπους στρωτήρων και επομένως η χρησιμοποίησή τους ενδείκνυται σε περιπτώσεις γραμμών που εδράζονται σε **έδαφος μέτριας ή κακής ποιότητας**, για το οποίο η χρησιμοποίηση στρωτήρων από σκυρόδεμα θα απαιτούσε συγκριτικά μεγαλύτερο πάχος έρματος.
- Λόγω του **υψηλού κόστους** και μικρής διάρκειας ζωής χρησιμοποιούνται μόνο εφόσον η **χρήση στρωτήρων από σκυρόδεμα αντενδείκνυται**
- Κατασκευάζονται κυρίως από τροπική ξυλεία υψηλών μηχανικών αντοχών που υπόκειται σε **ειδική κατεργασία εμποτισμού** σε ειδικά υγρά για την αύξηση διάρκειας ζωής.
- Για να αποφευχθεί η ολίσθηση του ξύλινου στρωτήρα επί του έρματος ή η απόσχιση τμήματος του **είναι απαραίτητος ο εγκιβωτισμός των ινών του ξύλου μέσα στο έρμα**

Διμερής στρωτήρας από οπλισμένο σκυρόδεμα

- Υπάρχουν διάφοροι τύποι που διαφέρουν ως προς τις διαστάσεις/ διατομές των επιμέρους τμημάτων, ανάλογα με τις απαιτήσεις της γραμμής
- Ο διμερής στρωτήρας που χρησιμοποιείται από τον ΟΣΕ προέκυψε από τον τύπο U31 των Γαλλικών σιδηροδρόμων που χρησιμοποιείται σε γραμμές κατηγορίας UIC 3,4,5.
 - Έχει βάρος 180 χλγ., ποιότητα σκυροδέματος B450 και χάλυβα St III..
 - Επιτρέπει μέγιστες ταχύτητες 200 χλμ/ώρα.
- Ο διμερής στρωτήρας απαιτεί πάχος και μηχανικές αντοχές έρματος μεγαλύτερες σε σχέση με τον ξύλινο. Επομένως ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στην περίπτωση που ο διμερής εδράζεται σε υποδομή κακής ποιότητας, οπότε το πάχος του έρματος πρέπει να ενισχύεται περισσότερο
- Για γραμμές κατηγορίας UIC 1,2,3 και ταχύτητες > 200 χλμ/ώρα χρησιμοποιείται τύπος μεγαλύτερων διαστάσεων. Ο τύπος αυτός είναι ο U41.



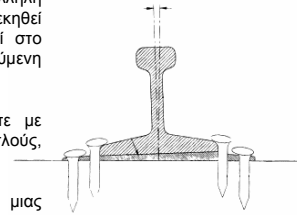
Διμερής στρωτήρας από σκυρόδεμα

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του διμερή στρωτήρα σε σχέση με τον ξύλινο

- Πλεονεκτήματα
 - Λόγω του μεγάλου βάρους του, εξασφαλίζει στη γραμμή ικανοποιητική εγκάρσια αντίσταση και δυνατότητα ανάπτυξης υψηλών ταχυτήτων.
 - Διατηρεί ικανοποιητικά το εύρος γραμμής.
 - Έχει μεγάλη διάρκεια ζωής.
 - Κατασκευάζεται στην Ελλάδα και είναι 30% οικονομικότερος από τον ξύλινο στρωτήρα.
- Μειονεκτήματα
 - Η συμπεριφορά του διμερή είναι λιγότερο ικανοποιητική όταν δεν τοποθετείται έρμα κατάλληλο πάχους και μηχανικών χαρακτηριστικών.
 - Η διανομή φορτίων και η ευκαμψία είναι λιγότερο ικανοποιητικές.
 - Απαιτεί ελαστικούς συνδέσμους.
 - Λόγω του μεγάλου βάρους δημιουργούνται δυσκολίες στον χειρισμό του.
 - Απαιτεί ειδικά εξαρτήματα που εξασφαλίζουν την απαραίτητη μόνωση για την λειτουργία της φωτεινής σηματοδότησης.

4.4.7.1 Σύνδεσμοι για ξύλινους στρωτήρες

- Η σύνδεση της σιδηροτροχιάς με τους ξύλινους στρωτήρες γίνεται είτε με πλάκες έδρασης είτε χωρίς.
- Χωρίς πλάκες έδρασης τοποθετείται η σιδηροτροχιά απ' ευθείας στην κατάλληλη θέση του στρωτήρα, η οποία έχει πελεκηθεί σ' εκείνο το σημείο ώστε να δοθεί στο πέλμα της σιδηροτροχιάς η απαιτούμενη επίκλιση.
- Στη συνέχεια, είτε με τριφώνια είτε με ελατρωτούς ήλους, απλούς ή διπλούς, στερεώνεται η σιδηροτροχιά.
- Η στερέωση έγκειται στην εξάσκηση μιας δύναμης πίεσης στο πέλμα της σιδηροτροχιάς που την καθλώνει στο στρωτήρα.



Ολόσωμος Στρωτήρας από προεντεταμένο Σκυρόδεμα

- Ο ολόσωμος στρωτήρας έχει γεωμετρικά χαρακτηριστικά αντίστοιχα με τον ξύλινο στρωτήρα και μηχανικές αντοχές αντίστοιχες με τον διμερή.
- Υπάρχει ποικιλία των γεωμετρικών χαρακτηριστικών, όλοι όμως χαρακτηρίζονται από μείωση της διατομής στην κεντρική περιοχή
- Ο ολόσωμος στρωτήρας επιτρέπει καλύτερη αντίσταση στις εναλλασσόμενες δυνάμεις αφού το σκυρόδεμα εργάζεται πάντοτε σε θλίψη
- Έχει μικρότερο ύψος από τον διμερή αφού οι οπλισμοί δεν είναι απαραίτητο να τοποθετούνται όσο το δυνατό πιο μακριά από τον ουδέτερο άξονα της διατομής
- Απαιτεί λιγότερη ποσότητα χάλυβα (7 χλγ) σε σχέση με τον διμερή (21 χλγ)
- Έχει μικρότερο βάρος (140 χλγ) γεγονός που οδηγεί σε μικρότερη εγκάρσια αντίσταση

Σύνδεσμοι τύπου K

- Καλύτερος τύπος συνδέσμου είναι αυτός με πλάκα έδρασης (τύπος σύνδεσης K), που εφαρμόζεται επίσης και στα άλλα είδη στρωτήρων.
- Περιλαμβάνει πλάκα έδρασης από ελατό χάλυβα, που στηρίζεται στους ξύλινους στρωτήρες με τριφώνια.
- Σε ειδική υποδοχή της πλάκας τοποθετείται το πέλμα της σιδηροτροχιάς, η οποία στερεώνεται με αγκύριο K και βλήτρα (μπουλόνια) K με διπλό ελατρωτό δακτύλιο.
- Μειονέκτημα της σύνδεσης K είναι το κόστος. Είναι τουλάχιστον 100% ακριβότερη από τα άλλα συστήματα σύνδεσης.

4.4.7. Σύνδεσμοι

Εισαγωγή

Σύνδεσμοι αποκαλούνται όλα εκείνα τα υλικά, που έχουν σαν λειτουργία τους τη σύνδεση της σιδηροτροχιάς με τον στρωτήρα.

4.4.7.2 Σύνδεσμοι για μεταλλικούς στρωτήρες

- Στους μεταλλικούς στρωτήρες η σιδηροτροχιά στερεώνεται με ειδικά αγκύρια, που στηρίζονται σε τρύπα του στρωτήρα και εξασκούν πίεση στο πέλμα της σιδηροτροχιάς μέσω βλήτρων με δακτύλιο Grover.
- Μεταξύ πέλματος σιδηροτροχιάς και μεταλλικού στρωτήρα παρεμβάλλεται ξύλινο ή ελαστικό υπόθεμα.
- Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή και η στρώση Συνεχώς Συγκολλημένης Σιδηροτροχιάς πάνω σε μεταλλικούς στρωτήρες.

4.4.7.3 Σύνδεσμοι για στρωτήρες από σκυρόδεμα

- Για τους στρωτήρες από σκυρόδεμα χρησιμοποιούνται ελαστικοί σύνδεσμοι.
- Οι ελαστικοί σύνδεσμοι αποτελούν διπλά ελαστικό μέσο μεταξύ σιδηροτροχιάς και στρωτήρα, δηλαδή εμφανίζουν ελαστική αντίσταση στις σχετικές κινήσεις στην κατακόρυφη έννοια, την ίδια και προς τα πάνω και προς τα κάτω.
- Για να 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).

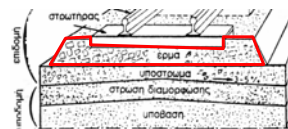
4.4.7. Έρμα (ή σκύρο)

Είναι η στρώση της επιδομής που βρίσκεται κάτω από του στρωτήρες και αποτελείται συνήθως από θραυστά σκύρα και κατ' εξαίρεση από αμμοχάλικο, φερτές ύλες και σκωρία υψικαμίνου. Το έρμα καταλαμβάνει και το διάστημα μεταξύ των στρωτήρων καθώς ένα τμήμα πέραν των κεφαλών των στρωτήρων.

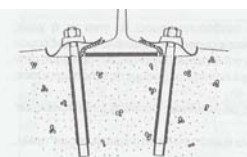
4.4.7.1 Ο ρόλος του έρματος

Ο ρόλος του έρματος είναι πολλαπλός:

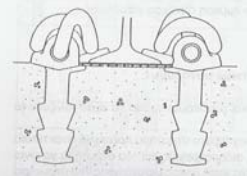
- Διανέμει και μεταδίδει τα φορτία κυκλοφορίας στο έδαφος.
- Εξασφαλίζει την αποστράγγιση των νερών της βροχής και προστατεύει τη γραμμή στην περίπτωση παγετών.
- Βοηθά στην απόσβεση των κρούσεων και στη σταθεροποίηση της γραμμής.
- Αντιστέκεται στην μετατόπιση της γραμμής (εγκάρσια και κατά μήκος)



- Σε αντίθετη περίπτωση η παρεμποδιζόμενη διαστολή μεταφράζεται σε θέρμανση που είναι ιδιαίτερα δυσμενής για την καλή διατήρηση του καουτσούκ.
- Για το λόγο αυτό τα ελαστικά υποθέματα που χρησιμοποιούνται μεταξύ πέλματος και στρωτήρα έχουν «κανάλια».
- Το «παίξιμο» σιδηροτροχιάς - στρωτήρα ή στρωτήρα - σκύρου αποσταθεροποιεί τη γραμμή και εξασκεί κρούσεις σε κάθε πέρασμα τροχού.
- Επιπλέον, οι ταλαντώσεις της σιδηροτροχιάς, που οφείλονται στην κύλιση, τείνουν να οδηγήσουν σε όδευση τη σιδηροτροχιά σε περίπτωση μη ελαστικών συνδέσμων και επιφέρουν γρήγορη αποδιοργάνωση της επιφάνειας στήριξης του στρωτήρα.



Σχ. 6.18. Ελαστικός σύνδεσμος κοιλωτής μορφής



Σχ. 6.19. Ελαστικός σύνδεσμος ελατρωτής μορφής

4.4.7.2 Χαρακτηριστικά του έρματος

- Τα σκύρα θα πρέπει να είναι κυβικής μορφής, πολυεδρικά και γωνιώδη
- Στους ελληνικούς σιδηρόδρομους χρησιμοποιείται έρμα διαβάθμισης 25 – 63 mm. Σκύρα μεγαλύτερα από 63 mm γίνονται αποδεκτά σε ποσοστό 3% και μικρότερα από 25 mm σε ποσοστό 2%.
- Το έρμα πρέπει να έχει ικανοποιητική σκληρότητα, διότι σε αντίθετη περίπτωση αποσθλώνεται. Η σκληρότητα του έρματος διαπιστώνεται με βάση τις εργαστηριακές δοκιμές Deval και Los Angeles

Σύνδεσμοι για στρωτήρες από σκυρόδεμα

- Επιπλέον, οι ταλαντώσεις της σιδηροτροχιάς, που οφείλονται στην κύλιση, τείνουν να οδηγήσουν σε όδευση τη σιδηροτροχιά σε περίπτωση μη ελαστικών συνδέσμων και επιφέρουν γρήγορη αποδιοργάνωση της επιφάνειας στήριξης του στρωτήρα.
- Μόνο ένας ισχυρός διπλά ελαστικός σύνδεσμος μπορεί να διατηρήσει τη σιδηροτροχιά, το ελαστικό υπόθεμα και το στρωτήρα σταθερά συνδεδεμένους (σε επαφή), μέσω συνεχούς δύναμης πίεσης.
- Επιπλέον, τα χαρακτηριστικά του ελαστικού συνδέσμου πρέπει να είναι ακριβώς προσαρμοσμένα προς τα χαρακτηριστικά του υποθέματος, ώστε να επιτρέπει στο υπόθεμα η μέγιστη αποτελεσματικότητα στο ρόλο του σαν αποσβεστήρας
- Στο σύνολο των διπλών ελαστικών συνδέσμων που χρησιμοποιεί ο ΟΣΕ, η σιδηροτροχιά συγκρατείται σταθερά μεταξύ του ελαστικού υποθέματος από κάτω και δύο χαλύβδινων αγκυριών που λειτουργούν σαν ελατήρια προς τα επάνω



4.4.7.3 Διαστασιολόγηση Έρματος

Το πάχος της στρώσης του έρματος επηρεάζεται από τις διάφορες παραμέτρους της επιδομής, δηλ

- τον φόρτο γραμμής
- το υλικό και το μήκος στρωτήρα
- την τιμή φορτίου ανά άξονα
- τον όγκο των εργασιών συντήρησης

Το πάχος της έδρασης e (e= έρμα + υπόστρωμα) υπολογίζεται από την σχέση (που αποτελεί και κανονισμό της UIC)

$$e(m) = N(m) - a(m) + g(m) - c(m) + d(m)$$

Με τιμές για κάθε μια από τις παραμέτρους που υπολογίζονται από του ακόλουθους πίνακες

Παράμετρος N	Ποιότητα εδάφους βάσης υποδομής	Στρώση διαμόρφωσης		N (m)
		Ποιότητα	Πάχος η_1 (m)	
S_1	S_1	S_1	—	0,70
		S_2	0,55	0,55
		S_3	0,40	0,55
		S_3	0,60	0,45
S_2	S_2	S_2	—	0,55
		S_3	0,40	0,45
		S_3	—	—
S_3	S_3	S_3	—	0,45
		S_3	—	—
R (βράχος)	R	—	—	0,40

Παράμετρος a (m)
 $a(m) = 0$ για γραμμές ομάδων UIC 1 και 2 και ταχ. συμρμύ > 200 km/h, 0,05 για γραμμές ομάδας UIC 3
 0,10 για γραμμές ομάδων UIC 4, 5, 6 καθώς και ομάδων 7, 8, 9 - « επιβατική κυκλοφορία
 0,15 για γραμμές ομάδων UIC 7, 8, 9 με επιβατική κυκλοφορία.

Παράμετρος c (m)
 $c(m) = 0$ για ξυλινών στρωτήρες (μήκους $L = 2,60$ m)
 $\frac{2,5 \cdot L}{2}$ για στρωτήρες από σκυρόδεμα (L(m) το μήκος του στρωτήρα).

Παράμετρος c (m)
 $c(m) = 0$ για μέσο όγκο εργασιών συντήρησης γραμμής
 0,10 για υψηλό όγκο εργασιών συντήρησης γραμμής.

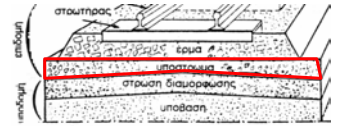
Παράμετρος d (m)
 $d(m) = 0$ για φορτία ανά άξονα < 20 t
 0,05 για φορτία ανά άξονα = 22,5 t
 0,12 για φορτία ανά άξονα = 25 t

4.4.8 Υπόστρωμα

Είναι μια στρώση αμμοχάλικου που τοποθετείται κάτω από την στρώση του έρματος και εξασφαλίζει :

- την προστασία της πάνω επιφάνειας της υποδομής από την διείσδυση των σκύρων του έρματος
- την περαιτέρω διανομή των τάσεων
- την περαιτέρω αποστράγγιση των όμβριων

και έχει εγκάρσια κλίση ίση με αυτή της πάνω επιφάνειας της υποδομής για την σωστή απορροή των νερών.



4.4.7.4 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διατομής του έρματος και εγκάρσια αντίσταση γραμμής

Η εγκάρσια αντίσταση της γραμμής πρέπει να εξισορροπεί τις εγκάρσιες δυνάμεις που προκαλούνται από την κίνηση των συρμών. Υπέρβαση της εγκάρσιας αντίστασης της γραμμής μπορεί να προκαλέσει εκτροπή της γραμμής με ενδεχόμενο τον εκτροχιασμό.

Η εγκάρσια αντίσταση της γραμμής οφείλεται

α) στις δυνάμεις τριβής στην κάτω επιφάνεια του στρωτήρα που είναι ανάλογες με το βάρος του στρωτήρα

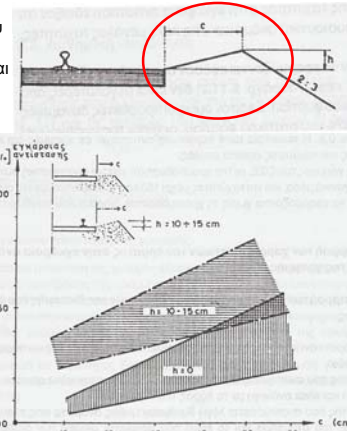
β) στις δυνάμεις τριβής ανάμεσα στις πλευρικές επιφάνειες του στρωτήρα και το έρμα που βρίσκεται μεταξύ των διαδοχικών στρωτήρων. Οι δυνάμεις αυτές εξαρτώνται από τον βαθμό πληρότητας με έρμα στο μεσοδιάστημα μεταξύ στρωτήρων καθώς και από τον βαθμό συμπίκνωσης του έρματος, και αντιπροσωπεύουν το

40% - 50% της συνολικής αντίστασης στην περίπτωση των ξυλινών στρωτήρων
 15 - 25% στην περίπτωση των διμερών από σπλισμένο σκυρόδεμα
 30% στην περίπτωση των ολόσωμων στρωτήρων από προεντεταμένο σκυρόδεμα

γ) στις δυνάμεις τριβής που αναπτύσσονται στις δύο κεφαλές του στρωτήρα και εξαρτάται από το πλάτος κατάληψης c με έρμα, όσο και από την υπερέκταση h του έρματος στα όρια του πλάτους κατάληψης.

Το ποσοστό αύξησης της εγκάρσιας αντίστασης σαν συνάρτηση α) της μεταβολής του πλάτους κατάληψης c πέρα από το άκρο του στρωτήρα και β) της υπερέκτασης h της διατομής του έρματος απεικονίζεται στο διάγραμμα.

Προκύπτει ότι ενίσχυση της διατομής του έρματος με παράλληλη υπερέκταση συνεπάγεται μεγαλύτερη αύξηση της εγκάρσιας αντίστασης από αυτή που αυτή που προκύπτει από την χρησιμοποίηση μεγαλύτερου πλάτους κατάληψης.



4.4.9 Περιτύπωμα γραμμής

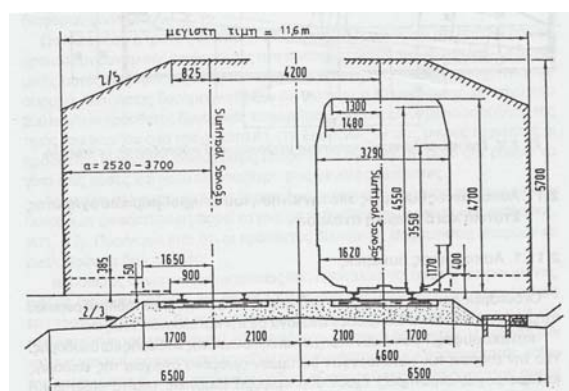
Το περιτύπωμα της γραμμής ορίζεται σαν το μέγιστο περίγραμμα το οποίο πρέπει να είναι ελεύθερο γύρω από το τροχαίο υλικό. Το περιτύπωμα διακρίνεται σε:

- Στατικό περιτύπωμα, που είναι το μέγιστο περιτύπωμα που πρέπει να είναι ελεύθερο όταν ο συρμός βρίσκεται σε στάση.
- Δυναμικό περιτύπωμα, που είναι το μέγιστο περιτύπωμα που πρέπει να είναι ελεύθερο όταν ο συρμός βρίσκεται σε κίνηση.

Το περιτύπωμα εξαρτάται από:

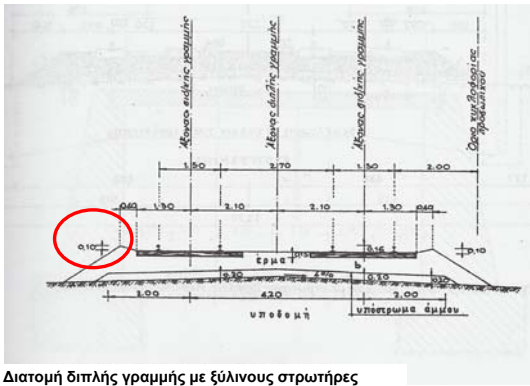
- Το πλάτος του τροχαίου υλικού
- Την απόσταση μεταξύ των δυο γραμμών.

Η Διεθνής Ένωση Σιδηροδρόμων έχει προδιαγράψει τις διαστάσεις των περιτυπωμάτων. Η απόσταση μεταξύ των αξόνων δύο γραμμών μπορεί να ποικίλει μεταξύ 3,57 και 3,67 ανάλογα με την μέγιστη ταχύτητα κίνησης. Στο ΟΣΕ η απόσταση αυτή έχει ορισθεί στα 4,20 μ.

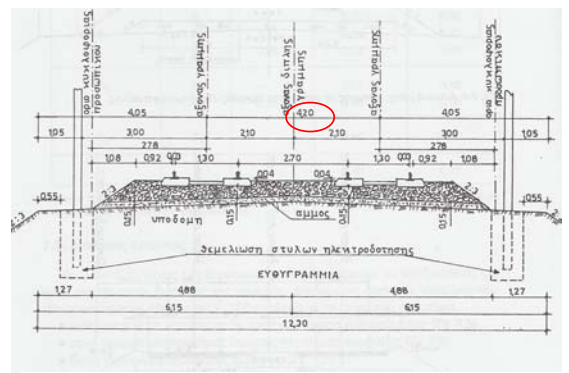


Περιτύπωμα για συρμούς υψηλών ταχυτήτων

Τυπικές διατομές



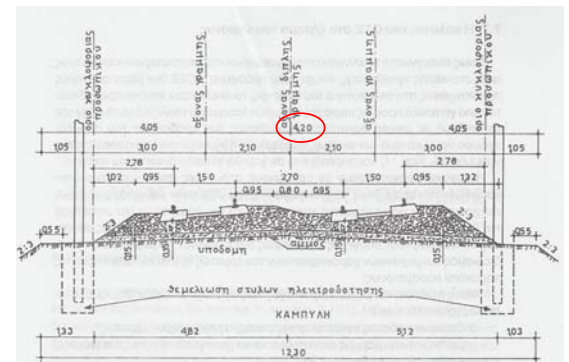
Διατομή διπλής γραμμής με ξύλινους στρωτήρες



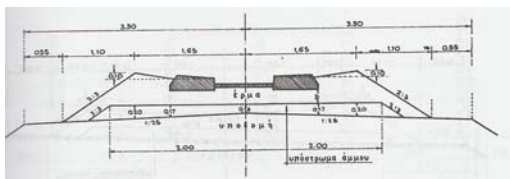
Διατομή διπλής γραμμής με διμερείς στρωτήρες - ευθυγραμμία



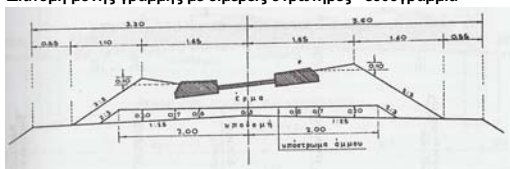
Διατομή μονής γραμμής με μεταλλικούς στρωτήρες



Διατομή διπλής γραμμής με διμερείς στρωτήρες - καμπύλη



Διατομή μονής γραμμής με διμερείς στρωτήρες - ευθυγραμμία

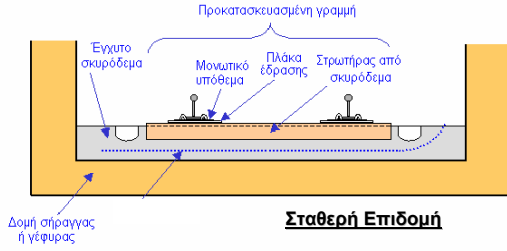


Διατομή μονής γραμμής με διμερείς στρωτήρες - καμπύλη

4.4.10. Γραμμές πάνω σε έρμα ή πλάκα σκυροδέματος (άκαμπτη έδραση ή σταθερή επιδομή)

- Η συνήθης περίπτωση είναι η γραμμή να εδράζεται πάνω σε έρμα, οπότε έχουμε την περίπτωση εύκαμπτης έδρασης της γραμμής.
- Είναι δυνατόν όμως η γραμμή να εδράζεται πάνω σε πλάκα σκυροδέματος, οπότε έχουμε την περίπτωση άκαμπτης έδρασης, ή σταθερής επιδομής.
- Διακρίνονται δύο μορφές άκαμπτης έδρασης
 - έδραση της σιδηροτροχιάς στην πλάκα σκυροδέματος με την παρεμβολή στρωτήρων
 - Έδραση της σιδηροτροχιάς απευθείας στην πλάκα σκυροδέματος

- Η πλάκα σκυροδέματος μπορεί να είναι:
 - από οπλισμένο σκυρόδεμα, περίπτωση για την οποία εμφανίζονται συχνά ρηγματώσεις
 - Από προεντεταμένο σκυρόδεμα, που εμφανίζει καλύτερη μηχανική συμπεριφορά και διανομή φορτίων
- Σε περίπτωση καθιζήσεων η αποκατάσταση της γεωμετρίας της γραμμής δεν είναι δυνατή. Επομένως η άκαμπτη έδραση δεν ενδείκνυται στην περίπτωση υποδομής μέσης ή κακής ποιότητας.



Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της άκαμπτης έδρασης

- Το βασικό πλεονέκτημα της άκαμπτης έδρασης είναι ότι εξασφαλίζει ικανοποιητική εγκάρσια αντίσταση, γεγονός που επιτρέπει πολύ μεγάλες ταχύτητες
- Το κόστος συντήρησης είναι σχεδόν μηδενικό αλλά το κόστος κατασκευής πολύ υψηλό που την καθιστά απαγορευτική για τις περισσότερες εφαρμογές
- Η χρήση της άκαμπτης έδρασης σε σήραγγες οδηγεί σε μείωση της διατομής της σήραγγας και συνεπώς μείωση του κόστους, πρέπει όμως να αποφεύγεται στην περίπτωση μέσης και κακής ποιότητας υποδομής.
- Δεν πρέπει να αγνοείται και το πρόβλημα των θορύβων που είναι πολύ εντονότεροι στην έδραση πάνω σε σταθερή επιδομή από ότι στην έδραση πάνω σε στρώμα έρματος.
- Στην περίπτωση πάντως που χρησιμοποιηθεί σταθερή επιδομή, θα πρέπει να αντιμετωπισθεί η απότομη μεταβολή της ακαμψίας της γραμμής, που γίνεται αισθητή στον επιβάτη με τίναγμα, τοποθετώντας στην είσοδο και έξοδο από την περιοχή της σταθερής επιδομής ελαστικά υποθέματα κατάλληλου πάχους και χαρακτηριστικών ελαστικότητας.