

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα καταρχήν να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλλαν με οποιοδήποτε τρόπο στην επιτυχή εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Θα πρέπει να ευχαριστήσω θερμά τον επίκουρο καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Λυμπέρη για την επίβλεψη αυτής της διπλωματικής εργασίας. Ήταν πάντα διαθέσιμος να μου προσφέρει τις γνώσεις και την εμπειρία του για τη βαθύτερη κατανόηση των θεμάτων που αφορούν την κατασκευή της σιδηροδρομικής γραμμής με έρμα.

Στη συνέχεια, ευχαριστώ ιδιαίτερα τον κ. Γιάννη Δημητρίου (Υπεύθυνος Έργων ΤΡΑΙΝΟΣΕ). Ήταν πάντα διαθέσιμος να ασχοληθεί με οποιαδήποτε απορία μου τόσο σε πρακτικά θέματα κατασκευής σιδηροδρομικής γραμμής, όσο και σε θέματα νομοθεσίας-κανονισμών. Επίσης ευχαριστώ θερμά την κ. Αναστασία Ασημακοπούλου που με καθοδήγησε στο πολύ ενδιαφέρον θέμα της Διαλειτουργικότητας, στο οποίο και ειδικεύεται.

Ιδιαίτερη μνεία πρέπει να γίνει στον πατέρα μου κ. Ηλία Πουγκακιώτη και στον θείο μου κ. Αλέξανδρο Μπουρίκα, για την πολύτιμη βοήθεια που μου πρόσφεραν στην κατασκευή του προπλάσματος που συνοδεύει αυτή την διπλωματική εργασία. Ήταν πάντα διαθέσιμοι να μου προσφέρουν κάθε βοήθεια και την εμπειρία τους πάνω στην κατασκευή της σιδηροδρομικής γραμμής.

Σε αυτό το σημείο θέλω να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου, των οποίων η πίστη στις δυνατότητές μου αποτέλεσε αρωγό σε όλους τους στόχους και τα όνειρά μου, και οι οποίοι με ανέθρεψαν σε ένα ειδυλλιακό περιβάλλον χωρίς καμία στέρηση. Την παρούσα εργασία αφιερώνω στους γονείς μου Ηλία και Βασιλική και στους αδελφούς μου Μάριο και Βαλεντίνο.

Ιφιγένεια Η. Πουγκακιώτη

Αθήνα, Οκτώβριος 2013

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο **“Κατασκευή Σιδηροδρομικής Γραμμής: προδιαγραφές-στάδια εργασιών-ειδικές περιπτώσεις-πρόπλασμα”** εκπονήθηκε από την Πουγκακιώτη Ιφιγένεια, φοιτήτρια του 9^{ου} εξαμήνου του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. υπό την επίβλεψη του επίκουρου καθηγητή Λυμπέρη Κωνσταντίνου και ολοκληρώθηκε τον Οκτώβριο του 2013.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να βοηθήσει τους φοιτητές της σχολής μας και κυρίως τους Συγκοινωνιολόγους Μηχανικούς, να κατανοήσουν κάθε βήμα που ακολουθείται για την κατασκευή της σιδηροδρομικής γραμμής με έρμα καθώς επίσης και να αναφερθούν κάποια ειδικά θέματα. Οι δύο κύριες συνιστώσες της σιδηροδρομικής γραμμής είναι η υποδομή και η επιδομή (στη βιβλιογραφία κάποιες φορές αναφέρεται και ένα ενδιάμεσο στρώμα μεταξύ υποδομής και επιδομής, το οποίο στην παρούσα εργασία αποτελεί το ανώτερο στρώμα της υποδομής). Στο κύριο μέρος της εργασίας αυτής περιγράφονται τα μέρη από τα οποία αποτελείται η υποδομή (κατασκευή επιχωμάτων, στρώση διαμόρφωσης, αποστραγγιστικά έργα, γεωύφασμα). Παρουσιάζονται οι εργασίες που απαιτούνται για την κατασκευή της επιδομής. Επιπροσθέτως αναφέρονται τα διάφορα μηχανήματα και εργαλεία και περιγράφεται η χρήση τους σε κάθε εργασία. Τέλος γίνεται ειδική μνεία στα εξής θέματα: καθιζήσεις στη φάση λειτουργίας της κατασκευής, σκοπός των συνδέσμων, διαλειτουργικότητα, έρμα σε γέφυρα από σιδηροπαγές σκυρόδεμα.

ABSTRACT

This bachelor thesis titled **“Construction of Railway: specifications-process of building-special cases-model”**, was prepared by the student Pougakioti Ifigenia in the 9th semester of Civil Engineering School at the National Technical University in Athens (NTUA). It was completed in October 2013 under the supervision of the assistant professor Limperis Kostantinos.

The manuscript aims to help transportation engineer students understand the construction process of railway tracks with ballast. The main components of railway tracks are infrastructure and superstructure (in the literature sometimes referred to as an extra layer between infrastructure and superstructure, which in this bachelor thesis is the upper layer of infrastructure). The components of infrastructure are analyzed (backfilling, formation layer, drainage, protective layer, geotextile) and the process of building superstructure is presented. The basic components of the superstructure are sleepers, rails, fastenings and ballast. The equipment of construction are described in every stage. In addition, some special topics are investigated including: settlings in the operational phase of railway, the aim of fastenings, interoperability, ballast on concrete bridge.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
ABSTRACT.....	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	4
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	10
ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ.....	11
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ.....	12
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
1.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	12
1.2. ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΥΠΟΔΟΜΗ.....	16
1.1. ΣΤΡΩΣΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ.....	17
1.2. ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΗ ΣΤΡΩΣΗ.....	20
1.3. ΓΕΩΥΦΑΣΜΑ.....	23
1.4. ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΑ.....	27
1.4.1. Ανοιχτές τάφροι.....	28
1.4.2. Υπόγειες αποστραγγιστικές τάφροι.....	29
1.4.3. Παράπλευροι και κάθετοι, ως προς τη γραμμή, αποστραγγιστικοί τάφροι.....	30
1.4.4. Αποστράγγιση επιχωμάτων.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΕΠΙΔΟΜΗ.....	32
2.1. ΥΛΙΚΑ ΕΠΙΔΟΜΗΣ.....	39
2.2. ΣΤΡΩΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ.....	47
2.2.1. Μεταφορά και διασπορά σιδηροτροχιών.....	47
2.2.2. Διάστρωση πρώτης στρώσης σκύρων (προσκυρόστρωση).....	49
2.2.3. Μεταφορά και διασπορά στρωτήρων.....	50
2.2.4. Μηχανήματα γραμμής.....	53
2.2.5. Συναρμολόγηση γραμμής.....	55
2.3. ΣΚΥΡΟΣΤΡΩΣΗ.....	66
2.4. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ.....	67
2.5. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΑΝΤΙΤΡΟΧΙΩΝ.....	59
2.6. ΑΠΕΛΕΥΘΕΡΩΣΗ ΤΑΣΕΩΝ.....	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΕΙΔΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΣΤΗ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ.....	63
3.1. ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ ΣΤΗ ΦΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ.....	63

3.2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ	64
3.3. ΔΙΑΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ	65
3.3.1. Το υποσύστημα υποδομή.....	66
3.4. ΕΡΜΑ ΣΕ ΓΕΦΥΡΑ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.....	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΠΡΟΠΛΑΣΜΑ.....	73
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	89
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	90

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Τροχοί με όνυχες.....	13
Εικόνα 1.2: Δίολκος.....	14
Εικόνα 1.3: Ατμομηχανή.....	14
Εικόνα 1.4: Λογότυπα ΟΣΕ.....	15
Εικόνα 1.5: Στρώσεις επιδομής και υποδομής και κατανομή τάσεων.....	16
Εικόνα 1.6: Μέτρο παραμορφωσιμότητας στρώσεων υποδομής.....	18
Εικόνα 1.7: Συσκευή δοκιμής Los Angeles.....	20
Εικόνα 1.8: Συσκευή δοκιμής Proctor.....	24
Εικόνα 1.9: Συσκευή δοκιμής CBR.....	24
Εικόνα 1.10: Υφασμένο γεωύφασμα.....	25
Εικόνα 1.11: Μη-υφασμένο γεωύφασμα.....	25
Εικόνα 1.12: Ροή του νερού στην επιδομή και επιδομή με τη χρήση γεωυφάσματος.....	28
Εικόνα 1.13: Στρώση γεωυφάσματος.....	29
Εικόνα 1.14: Γεώπλεγμα.....	29
Εικόνα 1.15: Τρόποι ροής του νερού στην οδό μεταφοράς.....	30
Εικόνα 1.16: Ανοιχτή τάφρος αποστράγγισης.....	31
Εικόνα 1.17: Αύλακας αποστράγγισης.....	32
Εικόνα 1.18: Ανοιχτή τάφρος επενδυμένη με σκυρόδεμα.....	32
Εικόνα 1.19: Ανοιχτή τάφρος χωρίς επένδυση.....	32
Εικόνα 1.20: Παράπλευροι και κάθετοι αποστραγγιστικοί αγωγοί.....	34
Εικόνα 2.1: Κλασσική διατομή γραμμής.....	36
Εικόνα 2.2: Τομή σιδηροτροχιάς (flat bottom).....	45
Εικόνα 2.3: Στρωτήρες σκυροδέματος.....	46
Εικόνα 2.4: Ήλοι και ελικοτά.....	47
Εικόνα 2.5: Σύνδεσμος στρωτήρα από σκυρόδεμα με σιδηροτροχιά.....	47
Εικόνα 2.6: Αμφιδέτης 4 οπών.....	47
Εικόνα 2.7: Αντιερπυστικά.....	48
Εικόνα 2.8: Έρμα.....	48

Εικόνα 2.9: Συσκευή δοκιμής Deval.....	52
Εικόνα 2.10: Πλατφόρμα με σιδηροτροχιές	54
Εικόνα 2.11: Αρπάγη.....	54
Εικόνα 2.12: Φόρτωση σιδηροτροχιών με οδικό γερανό.....	55
Εικόνα 2.13: Προσκυρόστρωση.....	56
Εικόνα 2.14: Φίνισερ.....	56
Εικόνα 2.15: Πυλώνας που αφήνει ένα παρά έναν στρωτήρα.....	57
Εικόνα 2.16: Μετατροπή του συστήματος στρώσεων σε έναν ισοδύναμο ημίχωρο σύμφωνα με τον Odemark.....	60
Εικόνα 2.17: Μπουρέζα.....	61
Εικόνα 2.18: Μπούρο.....	61
Εικόνα 2.19: Ρεγκαλέζα.....	62
Εικόνα 2.20: Σταμπιλιζάτορας.....	62
Εικόνα 2.21: Σκυροβάγονα.....	63
Εικόνα 2.22: Φρίντερ.....	64
Εικόνα 2.23: Τοποθέτηση ρίγας.....	67
Εικόνα 2.24: Εκκίνηση συγκόλλησης με σπέρτο πυριτίου-μαγνησίου.....	67
Εικόνα 2.25: Αφαίρεση καλουπιών.....	67
Εικόνα 2.26: Τρόχισμα σιδηροτροχιάς.....	67
Εικόνα 2.27: Αντιτροχιές.....	68
Εικόνα 2.28: Στρέβλωση εσχάρας.....	69
Εικόνα 3.1: Δυνάμεις στη σιδηροτροχιά λόγω κινητού φορτίου.....	75
Εικόνα 3.2: Ελαστικός σύνδεσμος.....	75
Εικόνα 3.3: Διαδικασία πιστοποίησης για νέο υποσύστημα.....	80
Εικόνα 3.4: Διατομή γέφυρας από σκυρόδεμα με έρμα.....	82
Εικόνα 3.5: Κλίσεις και απορροή υδάτων σε γέφυρα.....	83
Εικόνα 4.1: Διατομή επιχώματος.....	85
Εικόνα 4.2: Υλικά προπλάσματος.....	85
Εικόνα 4.3: Εκσκαφή φυτικών γαιών και κατασκευή επιχώματος σε στρώσεις.....	86

Εικόνα 4.4: Αναβίβαση σιδηροτροχιών με φρίντερ.....	86
Εικόνα 4.5: Στάδια κατασκευής 1-8.....	87
Εικόνα 4.6: Στάδια κατασκευής 8-11.....	87

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1: Χάρτης πλαστιμότητας του Casagrande.....	20
Σχήμα 1.2: Μέτρο ελαστικότητας και δείκτης CBR για διάφορες κατηγορίες εδάφους.....	21
Σχήμα 1.3: Επιτρεπόμενη κοκκομετρική σύνθεση για προστατευτική στρώση.....	22
Σχήμα 1.4: Διάγραμμα τάσης-διείσδυσης.....	24
Σχήμα 1.5: Χαρακτηριστικά πλαστιμότητας αργίλων, στην περίπτωση έντονης διείσδυσης λεπτόκοκκου υλικού σε επάλληλες στρώσεις χαλικιού.....	27
Σχήμα 1.6: Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων για την εκτίμηση των αποτελεσμάτων από τη χρήση γεωυφάσματος στην μηχανική αντοχή της στρώσης διαμόρφωσης.....	28
Σχήμα 2.1: Ολικές τάσεις στο σύστημα εφαρμογής.....	42
Σχήμα 2.2: Διορθωτικός συντελεστής k_s	43
Σχήμα 2.3: Τιμές επιρροής τάσης i για ομοιόμορφη κυκλική φόρτιση.....	44
Σχήμα 2.4: Επιτρεπόμενη περιοχή κοσκίνων προμήθειας έρματος 22,4/63mm.....	49
Σχήμα 2.5: Κατανομή κατακορύφων τάσεων σε συνάρτηση με το βάθος.....	59
Σχήμα 2.6: Επιρροή των γειτονικών στρωτήρων στις κατακόρυφες τάσεις σ_z	60

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

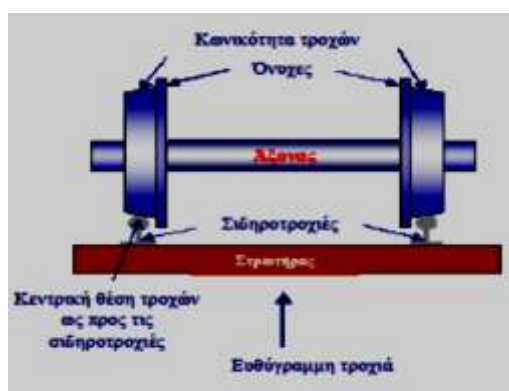
Πίνακας 1.1: Επιτρεπόμενες τάσεις προστατευτικής στρώσης και υπόβασης σε σχέση με το μέτρο ελαστικότητας, τον δείκτη αντίδρασης εδάφους και το πλήθος των φορτίσεων.....	18
Πίνακας 1.2: Απαιτούμενο πάχος προστατευτικής στρώσης ανάλογα με την ποιότητα της στρώσηςδιαμόρφωσης.....	22
Πίνακας 1.3: Πίνακας συσχέτισης CBR με δείκτη αντίδρασης εδάφους C.....	25
Πίνακας 1.4: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά τάφρων και αυλάκων.....	31
Πίνακας 2.1: Δείκτης αντίδρασης εδάφους σε σχέση με το υπέδαφος.....	39
Πίνακας 2.2: Διερχόμενο ποσοστό σκύρων σε συνάρτηση με το μέγεθος των οπών.....	49
Πίνακας 2.3: Διάκενο κατά την τοποθέτηση.....	65
Πίνακας 3.1: Υποσυστήματα σιδηροδρομικού δικτύου.....	77
Πίνακας 3.2: Κωδικοποίηση ΤΠΔ υποδομής.....	78
Πίνακας 4.1: Χρήση μοντέλων μηχανημάτων στις εργασίες κατασκευής.....	88

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

Π.Ε.ΤΕ.Π.	Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές
L.A.	συντελεστής Los Angeles
UIC	Union Internationale des Chemins de fer (International Union of Railways)
CBR	Californication Bearing Ratio
E_v	Μέτρο παραμορφωσιμότητας
ΤΠΔ	Τεχνική Προδιαγραφή Διαλειτουργικότητας
CE	Conformité Européenne (Ευρωπαϊκή Πιστοποίηση)
ΕΔΕ	Ενδιάμεσες Δηλώσεις Επαλήθευσης
Κ.Ο.	Κοινοποιημένος Οργανισμός
ΣΔ	Συσκευές διαστολής

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σιδηρόδρομος αποτελεί μέσο χερσαίων μεταφορών, όπου οχήματα με τροχούς που έχουν όνυχες (Εικ.1.1) κινούνται πάνω σε δύο σιδηροτροχιές, είτε αυτοκινούμενα είτε ελκόμενα από κινητήρια μονάδα. Η λειτουργία του σιδηροδρόμου βασίζεται στην αρχή ότι οι χαλύβδινοι τροχοί κινούμενοι επί σιδηροτροχιών έχουν πολύ μικρή τριβή κύλισης, έτσι απαιτείται σχετικά μικρή κινητήρια δύναμη για να μεταφέρουν ένα βαρύ φορτίο. Το χαρακτηριστικό αυτό της ελεύθερης κύλισης παρέχει στους σιδηροδρόμους σχέση ισχύος περίπου ενός ίππου ανά μικτό ελκόμενο τόνο. Τα αντίστοιχα οδικά μέσα μεταφοράς φορτίων απαιτούν ισχύ 10 περίπου ίππων ανά μικτό ελκόμενο τόνο. Ο σιδηρόδρομος παρέχει επίσης, σε σχέση με τα αντίστοιχα οδικά μέσα, πλεονέκτημα 10 προς 1 όσον αφορά την οικονομία καυσίμων και την παραγωγικότητα της εργασίας [15].



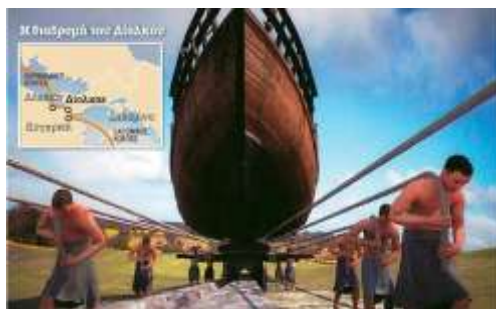
Εικόνα 1.1: Τροχοί με όνυχες

1.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Ακολουθεί μια σύντομη ιστορική αναδρομή για το πώς ξεκίνησε και πως εξελίχθηκε ο σιδηρόδρομος, μέχρι να πάρει τη σημερινή του μορφή. Η πρώτη μορφή σιδηροδρόμου ήταν η Δίολκος (Εικ.1.2), που είχε μήκος 6km και μετέφερε τα πλοία από τον Κορινθιακό στο Σαρωνικό κόλπο και αντίστροφα τον 6^ο αιώνα π.Χ. Τα φορτηγά που ωθούνταν από σκλάβους κινούνταν σε αυλάκια μέσα σε μια διαδρομή ασβεστολίθων. Η δίολκος λειτούργησε για πάνω από 1300 χρόνια, μέχρι το 900. Τα πρώτα βαγόνια με έλξη από άμαξες εμφανίστηκαν πρώτα στην Ελλάδα, τη Μάλτα και τη ρωμαϊκή αυτοκρατορία. Στην Ευρώπη το 1550 άρχισαν να λειτουργούν με ξύλινες τροχιές. Ένας εκ των πρώτων σιδηροδρόμων ήταν στην Αλσατία του Leberthal [15]. Ο χρόνος γέννησης του σιδηροδρόμου δεν είναι δυνατό να καθοριστεί ακριβώς, γιατί η ιστορία αρχίζει με την εφαρμογή της σιδηροτροχιάς και συνεχίζει μέχρι την ατμομηχανή με την οποία και ταυτίζεται.

Από την απαρχή της χρήσης των σιδηροδρόμων, υιοθετήθηκαν οχήματα με τροχούς που είχαν όνυχες είτε στην εσωτερική τους πλευρά είτε στην εξωτερική, για να συγκρατούν το όχημα επί της γραμμής. Ο

πρώτος σιδηρόδρομος είχε έλξη από ατμάμαξα (Εικ.1.3) της οποίας η εμφάνιση σημειώνεται το 1804 στην Ουαλία και η λειτουργία της στηρίζεται στη μετατροπή του έργου της σταθερής ατμομηχανής του Watt σε μηχανική έλξη. Το 19^ο αιώνα δύο Άγγλοι κατάφεραν να κατασκευάσουν ατμομηχανή που κινείται σε σιδηροτροχιές. Όμως μετά τη λήξη του Β' Παγκοσμίου Πολέμου οι ατμάμαξες άρχισαν σιγά-σιγά να αντικαθίσταται από μηχανές έλξης ντίζελ, κυρίως για λόγους οικονομίας. Τη δεκαετία του '70, με την πρώτη κρίση του πετρελαίου εντάθηκαν οι προσπάθειες για την ηλεκτροκίνηση των συρμών, κάτι που πλέον έχει επικρατήσει στο μεγαλύτερο τμήμα των σιδηροδρομικών δικτύων.



Εικόνα 1.2: Δίοικος



Εικόνα 1.3: Ατμομηχανή

Οι πρώτες σιδηροδρομικές γραμμές στην ιστορία του ελληνικού κράτους, με σκοπό τη μεταφορά αγαθών και επιβατών, στρώθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 1850. Ήταν μια περίοδος με έντονη αναταραχή σε πολιτικό, εθνικό, κοινωνικό και βιομηχανικό επίπεδο. Στον Χαρίλαο Τρικούπη οφείλεται το όραμα και η προσπάθεια να αποκτήσει η χώρα ένα πλήρες σιδηροδρομικό δίκτυο. Η αρχική πρόταση για κατασκευή σιδηροδρομικής γραμμής στην Ελλάδα έγινε από τον Γάλλο Φραγκίσκο Φεράλδη στις αρχές του 1835 και αφορούσε τη σύνδεση της Αθήνας με τον Πειραιά, ωστόσο πέρασαν αρκετά χρόνια ώσπου να ξεκινήσει το έργο. Το 1855 η κυβέρνηση του Αλέξανδρου Μαυροκορδάτου εισήγαγε στη βουλή το νομοσχέδιο για την κατασκευή της συγκεκριμένης σιδηροδρομικής γραμμής και μετά από 14 χρόνια δόθηκαν σε λειτουργία 8,5 km γραμμής που είχαν αφετηρία το Θησείο.

Η κυβέρνηση Βενιζέλου ίδρυσε το 1920 την εταιρεία «Σιδηρόδρομοι του Ελληνικού Κράτους» (ΣΕΚ) για την διαχείριση όλων των ελληνικών σιδηροδρόμων. Το 1971 ο ΣΕΚ δίνει τη θέση του στον ΟΣΕ (

Οργανισμός Σιδηροδρόμων Ελλάδος) (Εικ.1.4).



Εικόνα 1.4: Λογότυπα ΟΣΕ

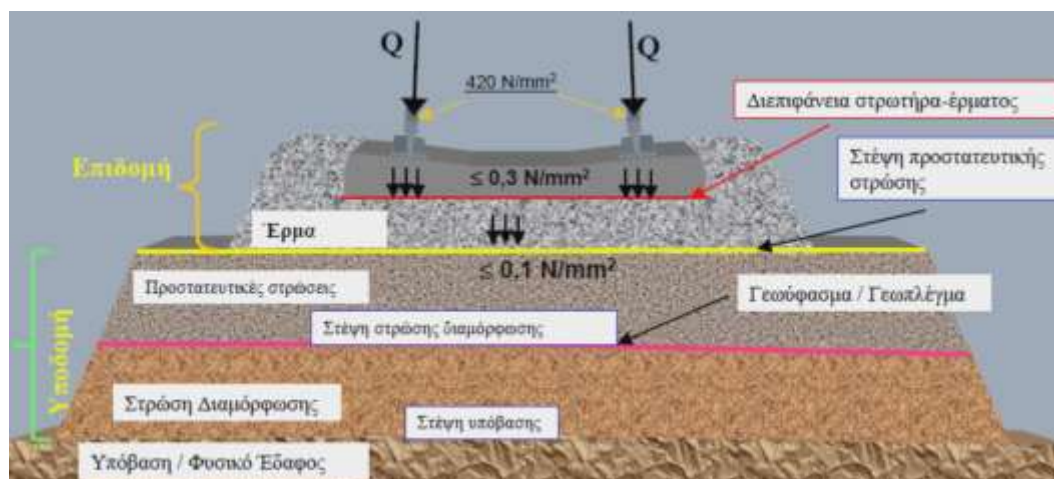
1.2. ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι να προσδιορίσει όλες τις απαραίτητες εργασίες και μελέτες που γίνονται για να κατασκευαστεί μια σύγχρονη σιδηροδρομική γραμμή, τόσο από την πλευρά του μελετητή μηχανικού όσο και από την πλευρά του επιβλέποντα μηχανικού σε ένα έργο.

Η σιδηροδρομική γραμμή αποτελείται από δύο συνιστώσες, την υποδομή και την επιδομή. Η υποδομή απαρτίζεται από δύο στρώσεις, τη στρώση διαμόρφωσης (κάποιες φορές αναφέρονται και ως επιχώματα, είναι εδαφικό υλικό συγκεκριμένης κοκκομετρικής διαβάθμισης το οποίο συμπυκνώνεται) και την προστατευτική στρώση (είναι κυρίως θραυστό υλικό, συγκεκριμένης κοκκομετρικής διαβάθμισης και συμπύκνωσης, που σκοπό έχει να δημιουργήσει μια λεία επιφάνεια πάνω στην οποία θα κατασκευαστεί η επιδομή). Μεταξύ των δύο αυτών στρώσεων συνήθως τοποθετείται γεωύφασμα για να αποφευχθεί η ανάμειξη των υλικών από τα οποία αποτελούνται.

Στο κεφάλαιο της υποδομής περιγράφονται τα αποστραγγιστικά έργα που απαιτούνται για την ομαλή λειτουργία της σιδηροδρομικής γραμμής. Η επιδομή αποτελείται από το έρμα, τους στρωτήρες, τις σιδηροτροχιές και τους συνδέσμους. Κάθε στρώση σκοπό έχει να μειώσει σταδιακά και να μεταφέρει όσο πιο ομαλά γίνεται τις τάσεις από το κινούμενο όχημα στο έδαφος (Εικ.1.5). Κατά καιρούς έχουν προκύψει διάφορα θέματα όσον αφορά την κατασκευή της σιδηροδρομικής γραμμής, στην εργασία αυτή θα εξηγηθούν κάποια από αυτά :

- Καθιζήσεις στη φάση λειτουργίας της κατασκευής.
- Σκοπός των συνδέσμων.
- Διαλειτουργικότητα.
- Έρμα σε γέφυρα από σιδηροπαγές σκυρόδεμα .



Εικόνα 1.5: Στρώσεις υποδομής και επιδομής και κατανομή τάσεων[6]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΥΠΟΔΟΜΗ

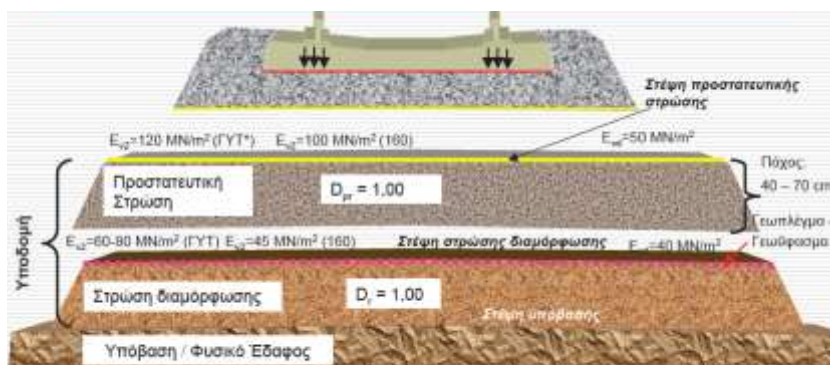
Η υποδομή αποτελεί την εξίσωση μεταξύ της κατά μήκος κλίσης του φυσικού εδάφους και της κατά μήκος κλίσης της σιδηροδρομικής γραμμής. Μπορεί να αποτελείται από γεωτεχνικά έργα, όπως επιχώματα, καθώς και από έργα υποστήριξης για την εξασφάλιση ασφαλούς λειτουργίας, όπως αποστραγγιστικά έργα και τοίχοι αντιστήριξης [6]. Η υποδομή βρίσκεται ακριβώς κάτω από την επιδομή και είναι το έδαφος ή υλικό επίχωσης κατάλληλα μορφοποιημένο και συμπυκνωμένο.

Η ανώτερη στρώση της υποδομής αναφέρεται ως προστατευτική στρώση, η οποία συμπυκνώνεται σε μεγαλύτερο βαθμό συμπύκνωσης και ενίοτε κατασκευάζεται με υλικό ανώτερης κατηγορίας από το υπόλοιπο υλικό της υποδομής. Ο σκοπός της στρώσης αυτής είναι η αύξηση της φέρουσας ικανότητας της υποδομής.

Τα τμήματα των επιχωμάτων είναι σύμφωνα με τον πίνακα στο κεφάλαιο 1.4 της Π.Ε.Τ.Ε.Π.02-07-01-00 (κατασκευή επιχωμάτων, σελ.7). Υλικά που χρησιμοποιούμε για επιχώματα σιδηροδρομικών έργων στις παραγράφους 2.4 και 2.5 της Π.Ε.Τ.Ε.Π.02-07-01-00. Κατασκευή σύμφωνα με παράγραφο 3 Π.Ε.Τ.Ε.Π.02-07-01-00.

Η κατασκευή της υποδομής ξεκινά με την εκσκαφή του φυσικού εδάφους και την προσωρινή απομάκρυνση των φυτικών γαιών. Τα προϊόντα εκσκαφής δεν απορρίπτονται, αλλά όσα από αυτά απαιτούνται χρησιμοποιούνται για την επένδυση των πρανών των τελικών επιχωμάτων. Αφού γίνουν οι κατάλληλες εκσκαφές για τα έργα αποστράγγισης, στη συνέχεια κατασκευάζεται η στρώση διαμόρφωσης υποδομής και το υπόστρωμα επιδομής (προστατευτική στρώση). Επίσης τοποθετείται και γεωύφασμα στο ενδιάμεσο των δύο στρώσεων. Σκοπός των διαφόρων στρώσεων είναι να κατασκευαστεί η σιδηροδρομική οδός με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να ανταποκριθεί στα φορτία κυκλοφορίας με τον καλύτερο δυνατό τρόπο από άποψη αντοχής, ελαστικότητας και παραμορφώσεων (Εικ.1.6). Οι παράμετροι της υποδομής για το σκοπό αυτό είναι :

1. Στρώση διαμόρφωσης.
2. Προστατευτική στρώση.
3. Γεωύφασμα/Γεώπλεγμα.
4. Αποστραγγιστικά έργα



Εικόνα 1.6: Μέτρο παραμορφωσιμότητας στις στρώσεις της υποδομής

Το μέτρο παραμορφωσιμότητας της υπόβασης (έδαφος) λαμβάνει τιμές από $10\text{-}100\text{N/mm}^2$, ενώ η προστατευτική στρώση λαμβάνει την τιμή 150N/mm^2 . Στον πίνακα 1.1 αναγράφονται οι επιτρεπόμενες τιμές τάσεων για 10^6 και 10^7 φορτίσεις (η διέλευση ενός φορείου θεωρείται ως μία φόρτιση) [2].

Πίνακας 1.1: Επιτρεπόμενες τάσεις προστατευτικής στρώσης και υπόβασης σε σχέση με το μέτρο ελαστικότητας, τον δείκτη αντίδρασης εδάφους και το πλήθος των φορτίσεων [2].

Υπόβαση	$E_{v2}=E_{dyn,u}$ (N/mm^2)	C (N/mm^3)	επ σ_z [N/mm^2] $n=10^6$	επ σ_z [N/mm^2] $n=10^7$
πολύ μαλακή	10	0,03	0,012	0,010
	20	0,04	0,023	0,020
μεσαία	50	0,07	0,058	0,051
ανθεκτική	80	0,09	0,092	0,081
	100	0,11	0,115	0,102

1.1. ΣΤΡΩΣΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Η στρώση διαμόρφωσης είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη διασφάλιση της ποιότητας της γραμμής. Αρκετά από τα προβλήματα που εμφανίζονται στη γραμμή οφείλονται στην υποδομή και όχι τόσο στην επιδομή.

Η στρώση διαμόρφωσης, λοιπόν, πρέπει να ικανοποιεί τις παρακάτω λειτουργίες:

- την αύξηση της φέρουσας ικανότητας της υποδομής,
- την υποστήριξη του φορτίου των συρμών,
- την ελαχιστοποίηση του μελλοντικού κόστους συντήρησης.

Οι παραπάνω λειτουργίες μπορούν να επιτευχθούν με:

- τον περιορισμό των υποχωρήσεων στο έδαφος και στα επιχώματα,
- την ομοιογένεια των χαρακτηριστικών της στρώσης διαμόρφωσης,
- τη διασφάλιση της διάρκειας ζωής του έργου.

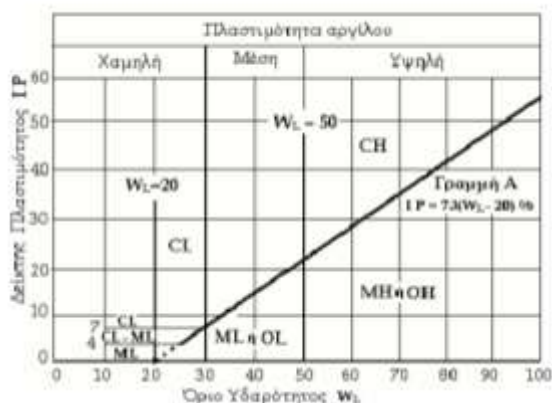
Με βάση την κατάταξη της UIC, η συμπεριφορά της στρώσης διαμόρφωσης πρέπει να ταξινομηθεί σύμφωνα με τα ακόλουθα [1]:

- Χαμηλή παραμόρφωση, καλή ανθεκτικότητα στις φορτίσεις. Ορίζεται ως **S₃**.
- Μέτρια παραμόρφωση, ανθεκτικότητα στις φορτίσεις. Ορίζεται ως **S₂**.
- Μεγάλη παραμόρφωση, μη ικανοποιητική υποστήριξη των φορτίων. Ορίζεται ως **S₁**.
- Εκτεταμένη παραμόρφωση, κακή αντοχή στις φορτίσεις. Ορίζεται ως **S₀**.

Στις παραπάνω κατηγορίες πρέπει να προστεθεί και η περίπτωση όπου η στρώση διαμόρφωσης αποτελείται από βράχο εξαιρετικής αντοχής. Η ποιότητα μιας τέτοιας στρώσης διαμόρφωσης ορίζεται ως **R**.

Τα κριτήρια για την ταξινόμηση στις παραπάνω κατηγορίες είναι τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του υλικού και οι υδρογεωλογικές συνθήκες. Ως εκ τούτου, στηριζόμενοι στα πρότυπα UIC, η ταξινόμηση των εδαφών φαίνεται στον πίνακα 2-3 κατηγορίες και υποκατηγορίες γαιωδών εδαφικών υλικών στην Π.Ε.Τ.Ε.Π. 02-07-01-00. Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται σε αυτή την κατάταξη περιλαμβάνουν το ποσοστό λεπτόκοκκου υλικού, τον δείκτη πλαστικότητας (**PI**) και το συντελεστή Los Angeles.

Ο δείκτης πλαστικότητας [14] ($PI = LL - PL$) ορίζεται ως η περιοχή ανάμεσα στο όριο υδαρότητας και το όριο πλαστικότητας, όπου το υλικό είναι εύπλαστο. Το όριο υδαρότητας (**LL**) ορίζεται ως η περιεκτικότητα σε νερό, όταν το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην υδαρή κατάσταση. Το όριο πλαστικότητας (**PL**) αντιστοιχεί στο χαμηλότερο ποσοστό υγρασίας στο οποίο το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην ημιστερεή κατάσταση και μπορεί να κυλινδρωθεί σε ραβδίσκο διαμέτρου 3 mm χωρίς να θραύεται. Το όριο υδαρότητας (**LL**) και το όριο πλαστικότητας (**PL**) ονομάζονται όρια Atterberg [14] (Σχ.1.1).



CL Άργιλοι χαμηλής πλαστικότητας
ML Ιλεις χαμηλής πλαστικότητας
OL Οργανικές ιλεις και οργανικές άργιλοι χαμηλής πλαστικότητας
CH Άργιλοι υψηλής πλαστικότητας
MH Ιλεις υψηλής πλαστικότητας
OH Οργανικές ιλεις και οργανικές άργιλοι υψηλής πλαστικότητας

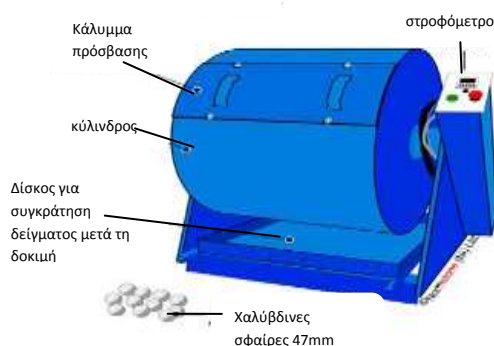
Σχήμα 1.1: Χάρτης πλαστικότητας του Casagrande

Ο συντελεστής Los Angeles, [13] δείχνει την αντοχή σε θρυμματισμό του υλικού. Κατά τη δοκιμή δείγμα υλικού τοποθετείται μέσα σε κύλινδρο (Εικ.1.7) μαζί με μεταλλικές σφαίρες και ο κύλινδρος περιστρέφεται. Στο εσωτερικό του κυλίνδρου βρίσκεται και ένα πτερύγιο το οποίο περιστρέφεται. Στο τέλος της δοκιμής το δείγμα συγκεντρώνεται, πλένεται και κοσκινίζεται σε κόσκινο συγκεκριμένης διαμέτρου. Το κλάσμα που παραμένει στο κόσκινο ξηραίνεται και ζυγίζεται. Έτσι προσδιορίζεται ο συντελεστής Los Angeles από τον τύπο (1.1):

$$LA = \frac{M - m}{100} [\%] \quad (1.1)$$

όπου M η ποσότητα του αρχικού δείγματος

m είναι η ποσότητα του συγκρατούμενου υλικού



Εικόνα 1.7: Συσκευή δοκιμής Los Angeles

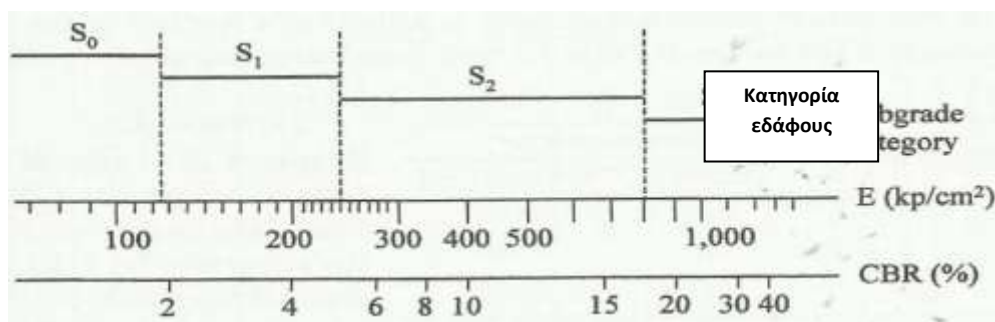
Εδάφη κατηγορίας S_0 είναι ανίκανα να στηρίξουν τη γραμμή κατάλληλα, για τους ακόλουθους λόγους:

- παραμορφώνονται σε μεγάλο βαθμό,
- είναι ανομοιογενή, τα χαρακτηριστικά τους αλλάζουν με το χρόνο,
- επιτρέπουν τη διείδυση του έρματος στη στρώση διαμόρφωσης.

Τέτοια υλικά πρέπει να αποφεύγονται όταν είναι δυνατόν.

Για να μπορέσει η στρώση διαμόρφωσης να ανταποκριθεί κατάλληλα στις φορτίσεις πρέπει να έχει τις απαιτούμενες μηχανικές ιδιότητες. Βασιζόμενοι σε μία σειρά από δοκιμές που διεξήχθησαν από το ERRI (European Rail Research Institute), τα όρια μέσα στα οποία κυμαίνεται το μέτρο ελαστικότητας καθορίζεται από την παραπάνω κατηγοριοποίηση της UIC, όπως αναφέρθηκε στην αρχή του υποκεφαλαίου.

Για πετρώματα, το μέτρο ελαστικότητας ποικίλλει ανάλογα με τη φύση του υλικού το πετρώματος και είναι της τάξης του 2943 MPa [1]. Επίσης απαιτείται ο προσδιορισμός της φέρουσας ικανότητας της στρώσης διαμόρφωσης. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται οι τιμές του δείκτη CBR ανάλογα με την κατηγορία εδάφους (Σχ.1.2).



Σχήμα 1.2: Μέτρο ελαστικότητας και δείκτης CBR για διάφορες κατηγορίες εδάφους [1]

1.2. ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΗ ΣΤΡΩΣΗ

Αν η κατηγορία της στρώσης διαμόρφωσης είναι S_1 ή S_2 , συνίσταται να τοποθετείται μια στρώση επιπλέον αποτελούμενη από υλικό ανώτερης ποιότητας. Αυτή η στρώση ονομάζεται προστατευτική στρώση.

Η προστατευτική στρώση σκοπό έχει:

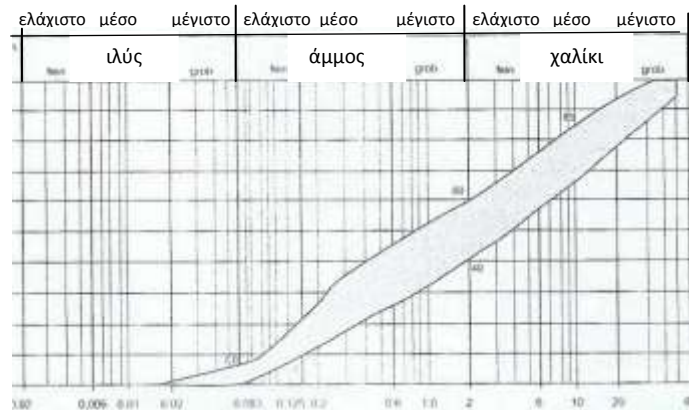
- να παραλάβει μέρος της φόρτισης, για να προστατευθεί το υπέδαφος από υψηλές τάσεις,
- να προστατεύει το έδαφος από παγετό και επιφανειακά ύδατα,
- να χρησιμοποιείται ως φίλτρο και διαχωριστικό μεταξύ του έρματος και της υποδομής, για να αποφευχθεί η ανάμειξή τους και η μεταφορά λεπτόκοκκου υλικού μέσα στο έρμα.

Η στρώση αυτή πρέπει να έχει υψηλότερο συντελεστή συμπίκνωσης από τη στρώση διαμόρφωσης. Είναι σύνηθες για τη στρώση αυτή ο συντελεστής σύμφωνα με τη δοκιμή Proctor να είναι 100%, ενώ αυτή η τιμή συχνά βρίσκεται στο 95% για τις στρώσεις διαμόρφωσης [1] (όταν πρόκειται για επιχώματα).

Χρησιμοποιείται λεπτόκοκκο υλικό για τη στρώση αυτή, με διάμετρο κόκκου από 0,02 mm έως 20 mm και το πάχος της εξαρτάται από την ποιότητα της στρώσης διαμόρφωσης [1]. Ο παρακάτω πίνακας 1.2 δίνει ημιεμπειρικές τιμές.

Πίνακας 1.2: Απαιτούμενο πάχος προστατευτικής στρώσης ανάλογα με την ποιότητα της στρώσης διαμόρφωσης [1]

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΣΤΡΩΣΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ	ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΗ ΣΤΡΩΣΗ	
	ΠΟΙΟΤΗΤΑ	ΠΑΧΟΣ (cm)
S1	S2	30÷55
	S3	20÷40
S2	S3	20÷30



Σχήμα 1.3: Επιτρεπόμενη κοκκομετρική σύνθεση για προστατευτική στρώση

Η χρήση της προστατευτικής στρώσης οδηγεί σε σημαντική βελτίωση της συμπεριφοράς της υποδομής όταν:

❶ διευκολύνεται η συνέχεια της ελαστικότητας από τη στρώση έρματος στο υπέδαφος ❷ δυσχεραίνεται έως αποκλείεται η αμοιβαία διείσδυση υλικού μεταξύ της στρώσης έρματος και αυτής [6].

Η προστατευτική στρώση οφείλει να είναι σε μεγάλο βαθμό μη υδατοπερατή, ούτως ώστε τα όμβρια ύδατα να απορρέουν επί της στέψης της. Επίσης πρέπει να έχει ελάχιστο πάχος 20 cm όταν στρώνεται πάνω από γεωφύλαγμα και αν το πάχος της είναι πάνω από 30 cm πρέπει να στρώνεται και να συμπυκνώνεται σε δύο επίπεδα [6]. Για τους λόγους που προαναφέρθηκαν οφείλουν να ισχύουν οι παρακάτω απαιτήσεις για την κοκκοσύνθεση του υλικού της στρώσης αυτής:

- 1) πρέπει να αντιστοιχεί στους κανόνες φιλτραρίσματος κατά Terzaghi (χονδρόκοκκο υλικό $d_{15} \leq 4 \cdot d_{85}$ γειτονικού λεπτόκοκκου υλικού)
- 2) πρέπει να αντιστοιχεί στο κριτήριο παγετού κατά Casagrande (υλικό ασφαλές έναντι παγετού όταν για ομοιομορφία κόκκου $U > 15$ ο κόκκος μεγέθους έως 0,02 mm έχει παρουσία $< 3\%$ και για $U < 5$ ο κόκκος μεγέθους έως 0,02 mm έχει παρουσία $< 10\%$).

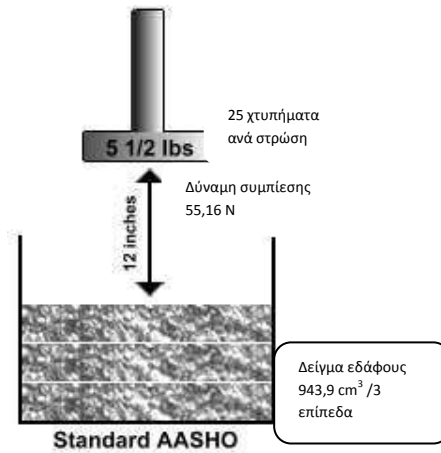
Οι συνθήκες αυτές μπορούν να επιτευχθούν μόνο από υλικό ορισμένης κοκκομετρικής σύνθεσης, κατά κανόνα χρησιμοποιείται σύνθεση 0-50 mm (DB) ή 0-32 mm (ÖBB) [6].

Για την επίτευξη καλής συμπύκνωσης η περιεκτικότητα σε νερό πρέπει να είναι 4% - 7,5%, η ακριβής τιμή για το ποσοστό αυτό υπολογίζεται από τη δοκιμή Proctor [6]. Μέσω της δοκιμής αυτής διαπιστώνεται η σχέση μεταξύ της περιεκτικότητας σε νερό και του βάρους ξηρού δοκιμίου εδαφικού υλικού, υπό σταθερές συνθήκες συμπύκνωσης. Έτσι ορίζεται ο βαθμός συμπύκνωσης (1.2) :

$$D_{pr} = \frac{\rho_d}{\rho_{pr}} \quad (1.2)$$

όπου: ρ_d η πυκνότητα εν ξηρώ

ρ_{pr} η μέγιστη πυκνότητα εν ξηρώ



Εικόνα 1.8: Συσκευή δοκιμής Proctor

Η φέρουσα ικανότητα της στρώσης αυτής εκτιμάται με τη δοκιμή στατική φόρτιση πλάκας και τη μέθοδο CBR (Εικ.1.9). Από την πρώτη δοκιμή προκύπτει το μέτρο παραμορφωσιμότητας E_v από τον τύπο (1.3)

$$E_v = \frac{0,75 \cdot d \cdot \Delta \sigma \cdot 1000}{\Delta s} \quad [\text{MN/m}^2] \quad (1.3)$$

d = ακτίνα της πλάκας φόρτισης

$\Delta \sigma$ = διαφορά κανονικής τάσης κάτω από την πλάκα $[\text{MN/m}^2]$

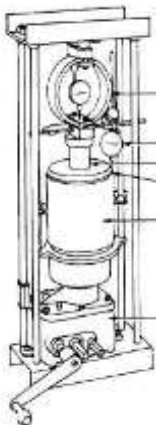
Δs = διαφορά καθίζησης (mm)

Ενώ από τη δεύτερη μέθοδο προκύπτει ο δείκτης CBR από τον τύπο (1.4):

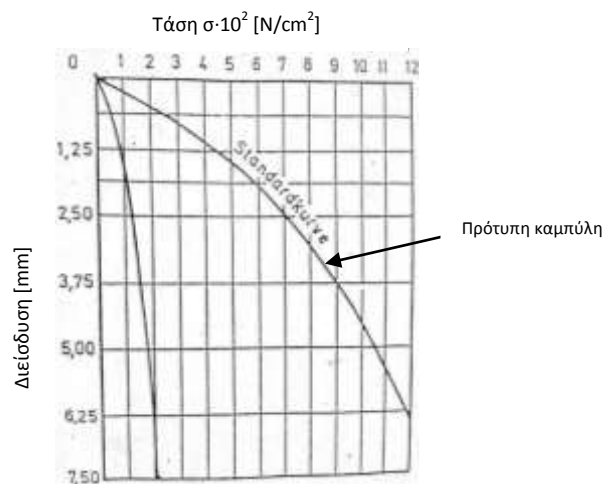
$$CBR = \frac{p}{p_s} 100\% \quad (1.4)$$

όπου p πίεση στο δοκίμιο,

p_s πίεση στο τυπικό υλικό.



Εικόνα 1.9: Συσκευή δοκιμής CBR



Σχήμα 1.4: Διάγραμμα τάσης-διδείδουσης

Πίνακας 1.3: Πίνακας συσχέτισης CBR με δείκτη αντίδρασης εδάφους C

Υπέδαφος	CBR[%]	C[N/cm ³]
Πολύ μαλακό	3	28
Μαλακό	5	42
Μεσαίο	10	55
Ανθεκτικό	20	69
Πολύ ανθεκτικό	50	138

1.3. ΓΕΩΥΦΑΣΜΑ

Η υποδομή μέτριας, χαμηλής ή πολύ χαμηλής ποιότητας μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση γεωυφάσματος. Το γεωύφασμα είναι διαπερατή γεωμεμβράνη που αποτελείται από συνθετικό πολυπροπυλένιο ή ίνες πολυεστέρα. Υπάρχουν δύο τύποι γεωυφάσματος [1]:

1) υφασμένα γεωυφάσματα (Εικ.1.10), που αποτελούνται από δύο κάθετες στρώσης ύφανσης και είναι έντονα ανισότροπα,

2) μη-υφασμένα γεωυφάσματα (Εικ.1.11) με ισότροπη συμπεριφορά, στα οποία οι ίνες είναι τυχαίες.

Το γεωύφασμα πρέπει να πληροί τις παρακάτω προδιαγραφές:

- Μάζα/μονάδα επιφάνειας $\geq 250 \text{ g/m}^2$
- Αντοχή σε θλίψη $\geq 2500 \text{ N}$
- Υδατοπερατότητα με κατακόρυφο φορτίο $20 \text{ kPa} \geq 5 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$
- Υδατοπερατότητα με οριζόντιο φορτίο $20 \text{ kPa} \geq 5 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$
- Αποτελεσματικό πλάτος ανοίγματος $0,06\text{-}0,2 \text{ mm}$
- Πάχος για φορτίο $20 \text{ kPa} \geq 15 \cdot$ αποτελεσματικό πλάτος ανοίγματος



Εικόνα 1.10: Υφασμένο γεωύφασμα

Εικόνα 1.11: Μη-υφασμένο γεωύφασμα

Το γεωύφασμα, όπως και κάθε στοιχείο της σιδηροδρομικής δομής, σκοπό έχει την μεταβίβαση και την κατανομή του φορτίου των συρμών. Οι εμφανιζόμενες τάσεις πρέπει να αναλαμβάνονται από τη δεδομένη αντοχή των επιμέρους στοιχείων. Η παραμορφωσιμότητα του φέροντος συστήματος δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει τις επιτρεπόμενες οριακές τιμές. Η αναγκαία φέρουσα ικανότητα του

συστήματος στρώσεων σκύρου-προστατευτικής στρώσης, στέψης επιχώματος-εδάφους, αποτελείται από τις επιμέρους φέρουσες ικανότητες των στρώσεων. Όσο μικρότερη είναι η φέρουσα ικανότητα του εδάφους, τόσο μεγαλύτερη πρέπει να είναι η φέρουσα ικανότητα των στρώσεων. Κριτήριο για αυτό είναι οι μηχανικές ιδιότητες του υλικού κατασκευής, εκπεφρασμένο με το μέτρο ελαστικότητας και το πάχος της στρώσης [20].

Η φέρουσα ικανότητα της στρώσης του έρματος λαμβάνεται ως σταθερή, με την προϋπόθεση ότι το έρμα έχει κοκκοσύνθεση, πάχος στρώσης και βαθμό καθαρότητας σύμφωνα με τις προδιαγραφές. Επομένως ως μεταβλητό και επηρεαζόμενο μέγεθος παραμένει το ειδικό μέτρο παραμορφωσιμότητας του υλικού και της προστατευτικής στρώσης καθώς και το πάχος της στρώσης.

Νέα στοιχεία τα οποία συμπεριλαμβάνονται στο σύστημα στρώσεων πρέπει να προσαρμόζονται στην αρχή δράσης αυτών. Πρέπει να συνεισφέρουν στην απομείωση των τάσεων καθώς και να συνεισφέρουν ή να βελτιώνουν τις ιδιότητες αντοχής των χρησιμοποιούμενων υλικών.

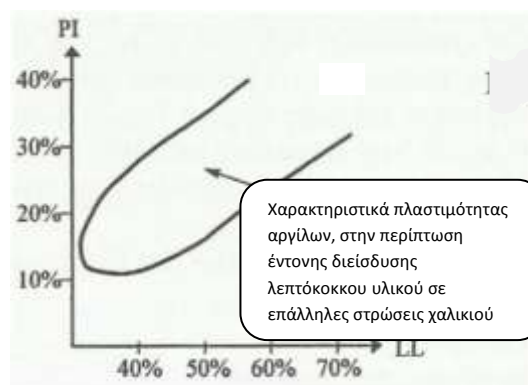
Συνοψίζοντας, τα γεωυφάσματα δέχονται μεγάλη παραμόρφωση και χρησιμοποιούνται:

- για να διαχωρίσουν δύο διαδοχικές στρώσεις κοκκώδους υλικού,
- για να ενισχύσουν μία στρώση εδάφους με ανεπαρκή μηχανική αντοχή,
- σαν φίλτρα,
- για αποστράγγιση.

Το γεωύφασμα χρησιμοποιείται εκτεταμένα στα σιδηροδρομικά έργα. Τοποθετείται κάτω από τη στρώση διαμόρφωσης και ο σκοπός τους είναι:

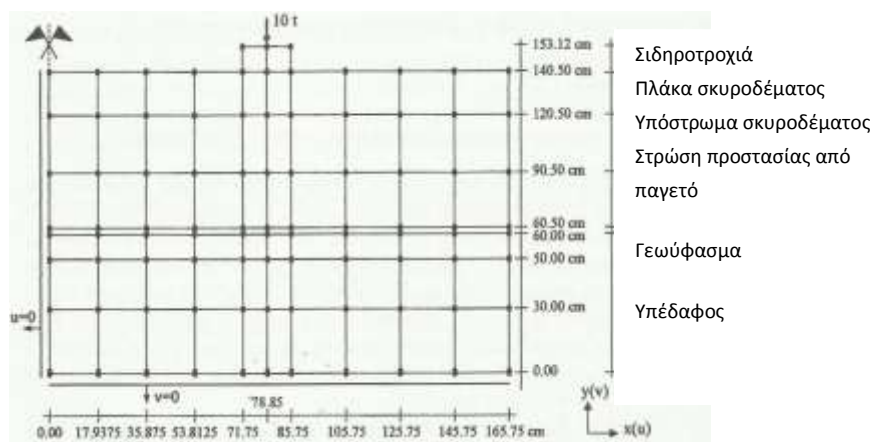
- Να διευκολύνει την ορθή τοποθέτηση της εσχάρας στην υποδομή. Το γεωύφασμα τοποθετείται στην κορυφή της στρώσης διαμόρφωσης για να αποτρέψει την εισχώρηση λεπτόκοκκου υλικού μέσα στην προστατευτική στρώση.

Επίσης προσαρμόζεται στην εγκάρσια κλίση (3÷5%) της στέψης της στρώσης διαμόρφωσης. Το ακόλουθο σχήμα (Σχ.1.5), απεικονίζει τα χαρακτηριστικά της πλαστιμότητας ορισμένων αργίλων, στην περίπτωση έντονης διείσδυσης λεπτόκοκκου υλικού σε επάλληλες στρώσεις χαλικιού [1].



Σχήμα 1.5: Χαρακτηριστικά πλαστιμότητας αργίλων, στην περίπτωση έντονης διείσδυσης λεπτόκοκκου υλικού σε επάλληλες στρώσεις χαλικιού.

- ii. Να αυξήσει την μηχανική αντοχή της επιδομής. Ωστόσο η χρήση γεωυφάσματος, δεν συνεπάγεται τη μείωση του πάχους της στρώσης του έρματος και της προστατευτικής στρώσης, επειδή κάτι τέτοιο θα οδηγούσε σε αυξημένες καταπονήσεις της στρώσης διαμόρφωσης. Το γεωύφασμα δεν μπορεί να αντικαταστήσει το έρμα και την προστατευτική στρώση στην διανομή των κατακόρυφων τάσεων. Το αποτέλεσμα της ενίσχυσης με γεωύφασμα μπορεί να καθοριστεί με αριθμητικές μεθόδους, όπως με την ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων. Το σχήμα (Σχ.1.6) που ακολουθεί απεικονίζει το πλέγμα της ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων για την εκτίμηση των αποτελεσμάτων από τη χρήση γεωυφάσματος, στην μηχανική αντοχή της στρώσης διαμόρφωσης [1].



Σχήμα 1.6: Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων για την εκτίμηση των αποτελεσμάτων από τη χρήση γεωυφάσματος στην μηχανική αντοχή της στρώσης διαμόρφωσης

- iii. Η λειτουργία τους ως φίλτρα (Εικ.1.12). Σε αυτή την περίπτωση ο τύπος του γεωυφάσματος εξαρτάται από τους παρακάτω τύπους:

a) για μη συνεκτικά εδάφη:

$$k_g \geq (t_g \cdot k_s) / (5 \cdot d_{50}) \quad (1.5)$$

b) για συνεκτικά εδάφη:

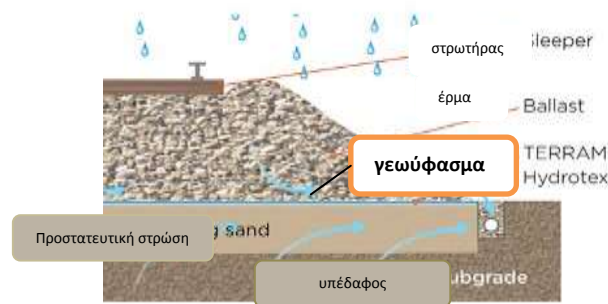
$$k_g > 100 \cdot k_s \quad (1.6)$$

όπου k_g : απαιτούμενη διαπερατότητα του γεωυφάσματος (cm/sec)

t_g : πάχος γεωυφάσματος (mm)

k_s : διαπερατότητα του εδάφους (cm/sec)

d_{50} : η διάμετρος του κόσκινου (mm) από όπου διέρχεται το 50% του υλικού



Εικόνα 1.12: Ροή του νερού στην επιδομή και επιδομή με τη χρήση γεωυφάσματος

Το γεωύφασμα μπορεί επίσης να προστατεύσει τη στρώση διαμόρφωσης από τον παγετό. Πριν χρησιμοποιηθεί, πρέπει να εξακριβωθεί ότι το συγκεκριμένο γεωύφασμα πληροί την απαιτούμενη μηχανική αντοχή: αντοχή θραύσης, επιμήκυνση κατά τη θραύση, αντοχή σε διάτρηση, αντοχή σε θλίψη, υδατοπερατότητα, περατότητα από λεπτόκοκκο υλικό, κ.α.

Η χρήση του γεωυφάσματος κατά μήκος της υποδομής συνήθως καλύπτει όλους τους παραπάνω ρόλους. Ωστόσο, το γεωύφασμα είθισται να χρησιμοποιείται για να διαχωρίζει το υλικό της στρώσης διαμόρφωσης από το υλικό της προστατευτικής στρώσης.

Από τότε που χρησιμοποιείται το γεωύφασμα, η δαπάνη της συντήρησης έχει μειωθεί αρκετά. Έτσι το κόστος χρήσης του γεωυφάσματος αποσβένεται σε σύντομο χρονικό διάστημα.



Εικόνα 1.13: Στρώση γεωυφάσματος

Μία υποκατηγορία γεωυφάσματος είναι το γεώπλεγμα, το οποίο χρησιμοποιείται και για την ενίσχυση της υποδομής, δηλαδή του ασύνδετου υλικού όπως είναι η άμμος και το έδαφος. Μέσω της χρήσης του γεωπλέγματος τα στατικά φορτία διανέμονται σε μεγάλη έκταση στο έδαφος, στόχος είναι να αυξηθεί η φέρουσα ικανότητα της υποδομής και να μειωθούν οι καθιζήσεις. Παρέχει επίσης εφελκυστική αντοχή στις στρώσεις της υποδομής και αποφεύγονται οι σημειακές φορτίσεις του υπεδάφους.



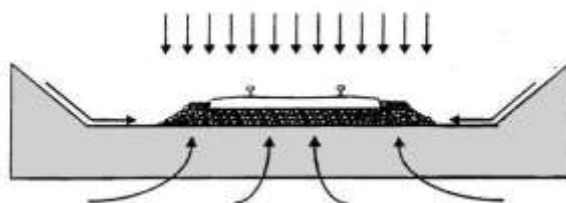
Εικόνα 1.14: Γεώπλεγμα

1.4. ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΑ

Τα μέτρα για την αποστράγγιση της σιδηροδρομικής γραμμής πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να μην επιφέρουν μεγάλες αλλαγές στους υδατικούς πόρους του περιβάλλοντος αλλά και να προστατεύουν την κατασκευή από αστοχίες.

Το νερό στην περίπτωση της γραμμής με έρμα, μπορεί να εισχωρήσει στην οδό μεταφοράς με τρεις διαφορετικούς τρόπους (Εικ.1.15):

- i. Κατακόρυφα, αυτό συμβαίνει όταν βρέχει ή χιονίζει (επιφανειακή διείσδυση).
- ii. Εγκάρσια, από τα πρηνή του έρματος και του υποστρώματος του έρματος. Τα νερά ρέουν παραπλεύρως και καταλήγουν στη γραμμή (μόνο στα ορύγματα).
- iii. Από κάτω προς τα πάνω, πρόκειται για υπόγεια νερά και συμβαίνει όταν είμαστε σε όρυγμα και η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα είναι πάνω από τη στάθμη του ορύγματος.



Εικόνα 1.15: Τρόποι ροής του νερού στην οδό μεταφοράς

Από τους τρόπους ροής νερού που αναφέρθηκαν, ο μόνος που δεν μπορεί να αποφευχθεί είναι ο πρώτος (κατακόρυφα), οι άλλοι αντιμετωπίζονται με κατάλληλες μελέτες και έργα.

Στην περίπτωση λοιπόν της βροχής, που το νερό εισέρχεται κατακόρυφα στο έρμα, πρέπει να εξέλθει διαποτίζοντας όσο το δυνατό λιγότερο την υποδομή. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει να έχουμε εγκάρσια ροή προς τα έξω μέσω του έρματος και ελάχιστη μέσω του υποστρώματος του έρματος. Το 80% του νερού πρέπει να εξέρχεται στη διεπιφάνεια έρματος-υποστρώματος έρματος και μόλις το 20% στη διεπιφάνεια υποστρώματος έρματος-υποδομής. Με σκοπό να πετύχουμε το παραπάνω πρέπει να υπάρχει:

- i. Μειωμένη υδατοπερατότητα των στρώσεων από το έρμα προς την υποδομή.
- ii. Εγκάρσια διαμόρφωση του στρώματος της άνω επιφάνειας του υποστρώματος του έρματος και της υποδομής με κλίση 3-5%.
- iii. Οδός εξόδου του νερού από της υποδομή.

Ως συστήματα αποστράγγισης, λοιπόν, θεωρούμε τα τεχνικά έργα και τα υλικά, που σε συνδυασμό με την απομάκρυνση του νερού από τη γραμμή, συμβάλλουν στην απομάκρυνση του νερού από το σώμα της σιδηροδρομικής γραμμής.

Η κατασκευή έργων αποστράγγισης απαιτεί την αφαίρεση της βλάστησης παραπλεύρως της γραμμής και την απομάκρυνση παλαιών αντικειμένων, όπως σιδηροτροχιές, άχρηστα σκύρα, συνδέσμους κλπ. Επίσης

πολύ σημαντικός είναι ο καθαρισμός των σημείων εκτόνωσης του συστήματος και ο καθορισμός του τύπου του αποστραγγιστικού έργου και των γεωμετρικών του χαρακτηριστικών.

Για να είναι αποτελεσματικά τα συστήματα αποστράγγισης πρέπει να γίνουν μελέτες και έρευνες σχετικά με τις κλιματολογικές, γεωλογικές και υδρολογικές συνθήκες της περιοχής. Πρέπει να έχουμε πληροφορίες σχετικά με το έδαφος (στρώσεις, υδατοπερατότητα, κ.α.), την ύπαρξη υδροφόρου ορίζοντα και τα χαρακτηριστικά αυτού (μέγιστη ετήσια στάθμη, διακυμάνσεις στάθμης) [12].

Τα τεχνικά έργα αποστράγγισης διακρίνονται σε 4 μεγάλες κατηγορίες:

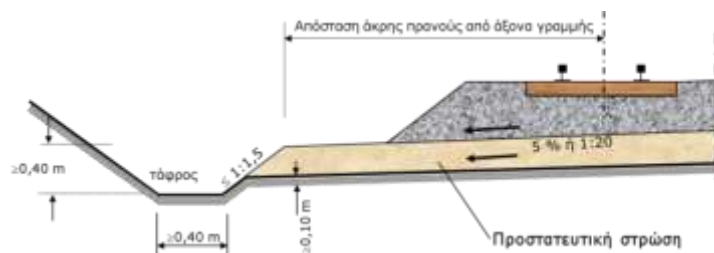
- 1) Ανοιχτές τάφρους,
- 2) Υπόγειες αποστραγγιστικές τάφρους,
- 3) Παράπλευροι και κάθετοι, ως προς τη γραμμή, αποστραγγιστικούς αγωγούς,
- 4) Αποστράγγιση επιχωμάτων

1.4.1. Ανοιχτές τάφροι

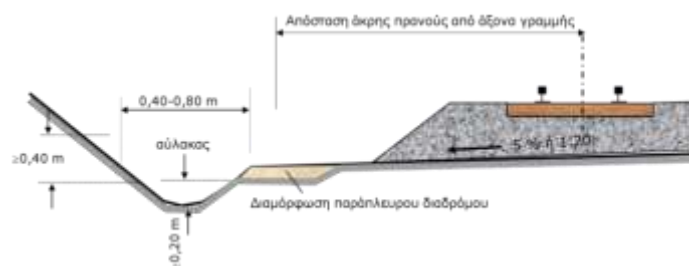
Οι ανοιχτές τάφροι κατασκευάζονται παραπλεύρως της γραμμής σε όλο το μήκος της. Συλλέγουν το νερό στην επιφάνεια της υπόβασης του έρματος και το μεταφέρουν σε μεγάλες αποστάσεις. Για το λόγο αυτό έχουν έντονη κατά μήκος κλίση, για να αποφευχθεί η συσσώρευση φερτών υλών χωρίς όμως να διαβρώνεται η τάφρος. Η κατά μήκος κλίση άκτιστων τάφρων, οφείλει να είναι τουλάχιστον 0,3% με μέγιστη τιμή 3% (Εικ.1.18) [12]. Σε μεγαλύτερες κλίσεις απαιτείται επένδυση με προκατασκευασμένα στοιχεία σκυροδέματος σε στρώση αμμοχάλικου (Εικ.1.19). Ακολουθεί ο πίνακας 1.4 με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ανοιχτών τάφρων.

Πίνακας 1.4: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά τάφρων και αυλάκων [6]

	Πλάτος [m]	Βάθος κάτω από τη στέψη εδάφους [m]	Κλίσεις πρανούς
Τάφρος	0,40	0,40	1:1,5*/1:1,8**
Αυλάκι	0,40-1,60	0,20	1:1,5*/1:1,8**
(*) για ψιλόκοκκο υλικό (**) για ελαφρώς υλώδη εδάφη			



Εικόνα 1.16: Ανοιχτή τάφρος αποστράγγισης [6]



Εικόνα 1.17: Αύλακας αποστράγγισης [6]

Τα πλεονεκτήματά τους είναι το χαμηλό κόστος κατασκευής τους, η διαχείριση μεγάλων ροών, η παράταση της διάρκειας του κύκλου καθαρισμού του έρματος επιτρέποντας την ελεύθερη ροή από το έρμα και τέλος είναι κατάλληλες για την απομάκρυνση των όμβριων και εγκάρσιων υδάτων από τα πρανή και το υπόστρωμα του έρματος.

Τα μειονεκτήματά τους είναι, ότι η γεωμετρία τους περιορίζεται από τη γεωμετρία της γραμμής και την τοπογραφία του περιβάλλοντος εδάφους και δεν είναι αποτελεσματικές για την απομάκρυνση του νερού από την υποδομή, διότι δεν έχουν αρκετό βάθος ή δεν διαθέτουν ικανοποιητική κλίση.

Ο καθαρισμός των ανοιχτών τάφρων περιλαμβάνει την απομάκρυνση μεγάλων πετρών, ξύλων ή σίδερων και οποιανδήποτε άλλων υλικών που παρεμποδίζουν τη σωστή λειτουργία τους.



Εικόνα 1.18: Ανοιχτή τάφος επενδυμένη με σκυρόδεμα



Εικόνα 1.19: Ανοιχτή τάφος χωρίς επένδυση

1.4.2. Υπόγειες αποστραγγιστικές τάφροι

Οι υπόγειες αποστραγγιστικές τάφροι επηρεάζονται ελάχιστα από την τοπογραφία της γραμμής. Μπορούν να τοποθετηθούν κάτω από τεχνικά έργα όπως είναι οι σταθμοί, οι ισόπεδες διαβάσεις και κάτω από τη διεπιφάνεια έδραση-υποδομή ως σύστημα παράπλευρων και κάθετων τάφρων.

Για την καλή λειτουργία των υπόγειων τάφρων πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο υλικό πλήρωσης (φίλτρο). Το υλικό αυτό πρέπει να είναι κοκκώδες, ικανό να συλλέξει το νερό από τον περιβάλλον έδαφος και να το διαβιβάσει κατά μήκος της τάφρου χωρίς να παρασύρει εδαφικούς κόκκους σε περιπτώσεις

υψηλών ταχυτήτων ροής [12]. Για το λόγο αυτό πρέπει να πληρούνται οι παρακάτω απαιτήσεις για την κοκκομετρική διαβάθμιση του υλικού πλήρωσης-φίλτρου:

- d_{15} (υλικού φίλτρου) $\leq 5d_{85}$ (φυσικού εδάφους): για λόγους αποφυγής παράσυρσης και εισόδου στο φίλτρο-φραγμός φίλτρου.
- d_{50} (υλικού φίλτρου) $\leq 25d_{50}$ (φυσικού εδάφους): για λόγους αποφυγής παράσυρσης και εισόδου στο φίλτρο-φραγμός φίλτρου.
- d_{85} (υλικού φίλτρου) $\leq 5d_{85}$ (φυσικού εδάφους): για λόγους υδατοπερατότητας.

Σημειώνεται ότι d_{15} , d_{50} και d_{85} το διαμέτρημα των κόσκινων από τα οποία διέρχεται υλικό σε ποσοστό αντίστοιχα 15%, 50% και 85% .

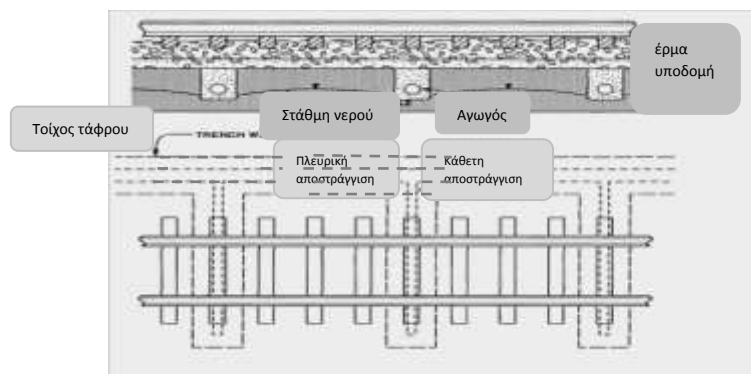
Στην περίπτωση χονδρόκοκκου υλικού για τη βελτίωση της αποστραγγιστικής ικανότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί γεωύφασμα. Το γεωύφασμα πρέπει να ικανοποιεί την παρακάτω απαίτηση:

- μέγεθος πόρων γεωυφάσματος $\leq d_{85}$ (προστατευόμενου εδάφους)

1.4.3. Παράπλευροι και κάθετοι, ως προς τη γραμμή, αποστραγγιστικοί τάφροι

Οι πλευρικοί αγωγοί τοποθετούνται στη μία πλευρά ή εκατέρωθεν της γραμμής, παράλληλα με τη σιδηροδρομική γραμμή μέχρι να φτάσουν σε μία εκβολή. Αυτή η κατηγορία αποστραγγιστικών έργων είναι η πιο συνήθης στο σιδηρόδρομο. Μπορούν να σχεδιαστούν για να απομακρύνουν τα όμβρια ύδατα και γενικά τα επιφανειακά νερά καθώς και το νερό από τη διεπιφάνεια υπόστρωμα έρματος-υποδομή και να παρεμποδίζουν τη διήθηση νερού από το έρμα. Προϋπόθεση για την τοποθέτησή τους είναι ο υδροφόρος ορίζοντας να βρίσκεται 1,5m κάτω από την ΑΚΣ ή τουλάχιστο 0,5m κάτω από τη στέψη του υπεδάφους.

Οι κάθετοι αγωγοί παρέχουν μια ενδιάμεση έξοδο για το σύστημα των πλευρικών αγωγών. Αυτό συμβαίνει για δύο λόγους, είτε για να περιοριστεί το μήκος των παράπλευρων αγωγών, είτε για να ικανοποιηθούν περιορισμοί κλίσεων. Αυτοί οι αγωγοί είναι κάθετοι στους παράπλευρους και παρέχουν συντομότερη διαδρομή προς μια φυσική λεκάνη απορροής.



Εικόνα 1.20: Παράπλευροι και κάθετοι αποστραγγιστικοί αγωγοί

 Η κατασκευή των τάφρων γίνεται σύμφωνα με την Π.Ε.Τ.Ε.Π. 08-01-01-00.

1.4.4. Αποστράγγιση επιχώματων

Στην περίπτωση των σιδηροδρομικών έργων, σε αντίθεση με τα οδικά έργα, δεν κατασκευάζεται επιφανειακό σύστημα αποχέτευσης των όμβριων υδάτων αλλά το ρόλο αυτό τον έχει το πρανές του επιχώματος. Τα εισερχόμενα όμβρια ύδατα στην επιφάνεια του επιχώματος εκτονώνονται στο φρύδι του πρανούς (φρύδι πρανούς είναι το ανώτερο σημείο του πρανούς). Προϋπόθεση για να συμβεί αυτό είναι η μικρή απόσταση του πόδα του έρματος (σημείο τομής της βάσης του έρματος με την υπόβαση) από το φρύδι του πρανούς και η κλίση του πρανούς του επιχώματος θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζει την ασφαλή μεταφορά του νερού.

Με τον παραπάνω τρόπο ικανοποιείται η απαίτηση για εξασφάλιση της αποστράγγισης της υποδομής. Εντούτοις, απαιτείται η προστασία από διάβρωση του ώμου του επιχώματος. Είναι φανερό ότι κατά την μελέτη χάραξης ενός σιδηροδρομικού έργου επιλέγεται η έδραση της επιδομής σε επίχωμα, διότι δεν χρειάζονται επιπλέον κατασκευές για την αποστράγγιση του σώματος της επιδομής. Τέλος, η απορροή των αποστραγγιζόμενου νερού προς τους τελικούς αποδέκτες επιτυγχάνεται με δίκτυα ανοιχτών τάφρων στον πόδα του επιχώματος.

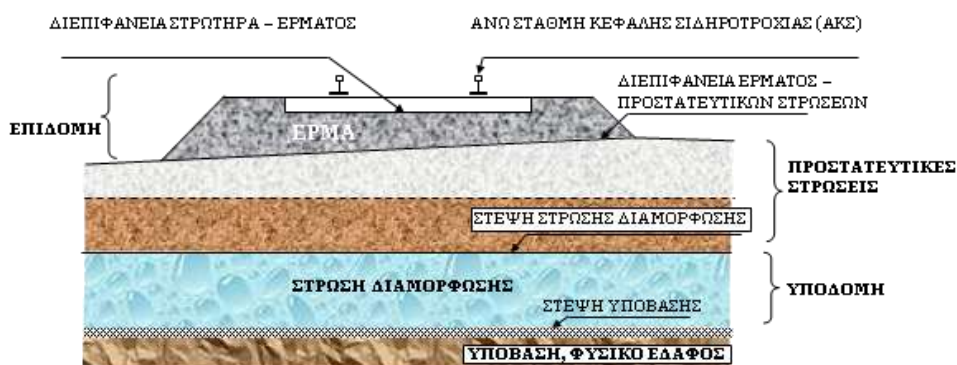
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΕΠΙΔΟΜΗ

Η γραμμή αποτελείται από μία σειρά στοιχείων και υλικών διαφορετικών ελαστικοτήτων , που μεταφέρουν τα στατικά και δυναμικά φορτία της κυκλοφορίας στο έδαφος θεμελίωσης. Για να εξασφαλισθεί η κύλιση και η οδήγηση των οχημάτων με ασφάλεια και άνεση πρέπει να υλοποιηθεί μια κατασκευή, που να μεταβιβάζει χωρίς παραμένονσα παραμόρφωση τις δυνάμεις που δημιουργούνται κατά την κυκλοφορία των συρμών.

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

Η κλασική μορφή της επιδομής γραμμής αποτελείται από :

- Δύο σιδηροτροχιές.
- Στρωτήρες, στους οποίους είναι στερεωμένες οι σιδηροτροχιές μέσω των συνδέσμων.
- Σκύρο, στο οποίο εδράζονται οι στρωτήρες.
- Μικρό υλικό.



Εικόνα 2.1: Κλασική διατομή γραμμής

Τα επιμέρους στάδια που ακολουθούνται για την κατασκευή της επιδομής είναι τα εξής :

- Μεταφορά και διανομή σιδηροτροχιών.
- Διάστρωση της πρώτης στρώσης σκύρων (προσκυρόστρωση).
- Μεταφορά και διανομή στρωτήρων.
- Συναρμολόγηση-στρώση γραμμής.
- Απελευθέρωση τάσεων.

Πρέπει να επισημανθεί ότι πριν ξεκινήσουν οι εργασίες της επιδομής, θεωρείται ότι έχουν ολοκληρωθεί οι παρακάτω εργασίες:

- Έχει διαμορφωθεί η στέψη της προστατευτικής στρώσης (αν υφίσταται τέτοια) ή της υποδομής.
- Έχει υλοποιηθεί η χάραξη του άξονα της σιδηροδρομικής γραμμής (χάραξη πολυγωνικής) στο

έδαφος με την τοποθέτηση πασσάλων στις θέσεις συγκεκριμένων διατομών.

- Έγινε προσωρινή εξασφάλιση του άξονα σε κατάλληλες θέσεις εκτός ζώνης εργασιών.
- Έγινε χωροστάθμιση του άξονα ως προς την υπόστρωση (υποδομή ή προστατευτικές στρώσεις).

Τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή της επιδομής είναι τα εξής:

- Σιδηροτροχιές.
- Στρωτήρες.
- Μικρό υλικό (σύνδεσμοι, αμφιδέτες κτλ.).
- Έρμα.

ΦΟΡΤΙΣΗ ΣΤΗΝ ΥΠΟΔΟΜΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΠΙΔΟΜΗ

Το φέρον σύστημα για την παραλαβή και μεταβίβαση των κατακόρυφων δυνάμεων στην υποδομή και το υπέδαφος αποτελείται από

α) την στρώση έρματος (ή φέρουσα πλάκα στη σταθερή επιδομή),

β) την άνω προστατευτική στρώση.

Στην άνω επιφάνεια αυτών των στρώσεων δρα η πίεση P από το κάτω μέρος των στρωτήρων, η οποία υπολογίζεται με το μέγιστο στατικό φορτίο (φορτίο τροχοφόρου άξονα) **225kN** [21]. Το φορτίο αυτό επιβαρύνεται με προσαυξήσεις κατά την κίνηση των συρμών επί καμπύλης τροχιάς. Για τον υπολογισμό της P (πίεση στην κάτω επιφάνεια του στρωτήρα) λαμβάνεται το φορτίο Q , ως μισό αξονικό φορτίο. Η δρώσα δύναμη Q [kN] προκύπτει ως στατικό φορτίο $Q_{\text{στατ}}$ με προσαύξηση στην καμπύλη 10-20%, ανάλογα με την μετατόπιση της δύναμης Q κατά την κίνηση του οχήματος στην καμπύλη σε συνάρτηση με την υπερύψωση, την ακτίνα καμπυλότητας, την ταχύτητα και το ύψος του κέντρου βάρους του οχήματος. Για τις νέες γραμμές και τις ανακαινιζόμενες γραμμές λαμβάνεται δρώσα δύναμη τροχού (2.1).

$$Q = 1,2 * Q_{\text{στατ}} \quad (2.1)$$

Η επιρροή από την κατάσταση της επιδομής (φθορά, σύσφιξη συνδέσμων, γεωμετρία) και την ταχύτητα, εκφράζεται με το συντελεστή s (2.2).

$$s = \rho * \phi \quad (2.2)$$

Ο συντελεστής κατάστασης γραμμής ρ εξαρτάται από την κατάσταση της επιδομής και την γεωμετρία της γραμμής και κυμαίνεται :

- $\rho = 0,1$ (πολύ καλή κατάσταση)
- $\rho = 0,2$ (καλή κατάσταση)
- $\rho = 0,3$ (μέτρια κατάσταση).

Ενώ ο συντελεστής ταχύτητας ϕ λαμβάνει τιμές ανάλογα με την ταχύτητα V :

- 1 για $V < 60$ km/h
- $\phi = 1 + [(V - 60)/140]$ για $60 < V < 200$ km/h
- 2 για $V = 200$ km/h

Ως εκ τούτου, ο συντελεστής ρ , και κατά συνέπεια η δυναμική φόρτιση της γραμμής, αυξάνεται με την επιδείνωση της κατάστασης της γραμμής. Ο παράγοντας της ταχύτητας ϕ , εξαρτάται από την ταχύτητα του συρμού και αυξάνεται με την αύξηση της ταχύτητας του συρμού άρα αυξάνεται και η επιδείνωση της κατάστασης της γραμμής. Η προσαυξημένη δρώσα δύναμη του τροχού Q , λαμβανομένων υπόψη των δυναμικών επιρροών από τη γενική κατάσταση της γραμμής (φθορές, γεωμετρία) και την ταχύτητα, μπορεί να φθάσει την τιμή $\max Q = Q_{\text{στατ}} (1 + 3 \cdot 5)$ [kN] λεγόμενη και ημιστατική [21]. Η $\max Q$ μπορεί να ξεπεράσει και το 200% της $Q_{\text{στατ}}$.

Όπως προκύπτει από τα προαναφερθέντα, η επιδομή δέχεται μια ελαστική υποχώρηση υπό τη δράση της δύναμης τροχού. Η υποχώρηση αυτή σε σχέση με την ακαμψία των σιδηροτροχιών και την ελαστικότητα του φέροντος συστήματος, επιφέρει μια κατανομή των δυνάμεων του τροχού σε μεγαλύτερο μήκος (γραμμή κάμψης) και ως εκ τούτου δρα σε περισσότερους στρωτήρες. Η συμπεριφορά παραμόρφωσης του φέροντος συστήματος περιγράφεται με τον Δείκτη Αντίδρασης Εδάφους (ΔΑΕ) C , ο οποίος απεικονίζει τη σχέση μεταξύ της πίεσης p [N/mm²] του στρωτήρα προς την ελαστική υποχώρηση του στρωτήρα y σε mm. Με την παραδοχή πλήρους ελαστικής βύθισης ισχύει ο νόμος του Hook (2.3):

$$C = p/y \quad [\text{N/mm}^3] \quad (2.3)$$

Ο δείκτης αντίδρασης εδάφους είναι μια αναλογική σταθερά, η οποία δίνει με πόσα N/cm² επιτυγχάνεται βύθιση του στρωτήρα κατά 1cm.

Σε σχέση με την ποιότητα της σκυρόστρωσης της υποδομής και του υπεδάφους, δίνονται στον πίνακα 2.1 κατευθυντήριες τιμές για τον ΔΑΕ C . Όταν η υποδομή και το υπέδαφος είναι πολύ καλής ποιότητας (δηλαδή C περίπου 0,35 N/mm³), τότε η υποχώρηση είναι ελάχιστη και η αντίδραση του στρωτήρα S ή η πίεση στο έρμα p είναι υψηλές.

Αντίθετα όταν η ποιότητα είναι κακή (δηλαδή C περίπου 0,05 N/mm³) η υποχώρηση είναι μεγάλη και η αντίδραση στρωτήρα ή η πίεση στο έρμα ελάχιστη [21]. Στην περίπτωση αυτή η μεγάλη ελαστική υποχώρηση επιφέρει ανάλογη γραμμή κάμψης με ενδεχόμενο αποτέλεσμα την υπέρβαση της τάσης στο πέλμα της σιδηροτροχιάς.

Πίνακας 2.1: Δείκτης αντίδρασης εδάφους σε σχέση με το υπέδαφος [2]

Δείκτης αντίδρασης εδάφους (μέσες τιμές) $C [N/mm^3]$	Υπέδαφος
0,02	Πολύ κακό υπέδαφος
0,05	Κακό υπέδαφος
0,10-0,20	Καλό υπέδαφος
0,30-0,60	Άκαμπτο υπέδαφος

Η πίεση p στην κάτω επιφάνεια του στρωτήρα μπορεί να υπολογισθεί με τη μέθοδο της δοκού μεγάλου μήκους επί ελαστικών στηρίξεων. Η μέθοδος αυτή υποθέτει συνεχή ελαστική στήριξη της σιδηροτροχιάς, όπου η υποχωρητικότητα/ελαστικότητα εκφράζεται με τον ΔΑΕ C και η γραμμή με εγκάρσιους στρωτήρες μετατρέπεται σε μια κατά μήκος συνεχή δοκό με την ίδια ενεργό επιφάνεια έδρασης. Το πλάτος του ιδανικού κατά μήκος φορέα b προκύπτει ως [21]:

$$b = \frac{F}{2 \cdot a} \quad [\text{cm ή mm}] \quad (2.4)$$

όπου $F/2$ η μισή ενεργός επιφάνεια του στρωτήρα
 a η απόσταση μεταξύ των στρωτήρων [cm ή mm]

Ως εκ τούτου υπολογίζεται το ελαστικό μήκος του κατά μήκος φορέα ως

$$L = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E \cdot I}{b \cdot C}} \quad (2.5)$$

όπου E μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα [N/mm^2]
 I ροπή αδράνειας της σιδηροτροχιάς [cm^4 ή mm^4]
 C ΔΑΕ [N/mm^3]
 b πλάτος ιδανικού κατά μήκος φορέα [mm]

Η επιρροή από τους γειτονικούς τροχοφόρους άξονες, εκτιμάται με τη βοήθεια των συντελεστών επιρροής n (ο συντελεστής επιρροής προκύπτει από πίνακες συναρτήσεων του $\xi = x/L$, όπου x η απόσταση από τη θέση επιβολής του φορτίου). Ο συντελεστής επιρροής n εξαρτάται από την απόσταση των γειτονικών τροχοφόρων αξόνων ως προς τον αναφερόμενο τροχοφόρο άξονα και από το ελαστικό μήκος L . Προκύπτουν οι σχέσεις:

➤ για την ελαστική υποχώρηση (βύθιση)

$$y = \frac{Q \cdot n}{2 \cdot b \cdot C \cdot L} \quad [\text{mm}] \quad (2.6)$$

- για την πίεση p στην κάτω επιφάνεια του στρωτήρα

$$p = \frac{Q \cdot n}{2 \cdot b \cdot L} \quad [\text{mm}] \quad (2.7)$$

- για την αντίδραση του στρωτήρα (δύναμη στήριξης)

$$S = b \cdot C \cdot a \cdot \gamma \quad [\text{N}] \quad (2.8)$$

Ενώ το ελαστικό μήκος L και η υποχώρηση γ αυξάνουν με αντίστοιχη μείωση του ΔΑΕ C , όπου η σιδηροτροχιά καταπονείται περισσότερο, η αντίστοιχη αντίδραση S και η πίεση p μειώνονται. Για μεγαλύτερες τιμές του ΔΑΕ ($C \geq 250 \text{ N/cm}^3$), η πίεση στην κάτω επιφάνεια του στρωτήρα αυξάνεται περαιτέρω που συνεπάγεται αυξημένη καταπόνηση του σκύρου με συνέπεια τον θρυμματισμό των κόκκων του. Η υποδομή είναι ελάχιστα ελαστική.

Η υψηλή καταπόνηση του έρματος μπορεί να αντιμετωπισθεί με ελαστικά στοιχεία στην επιδομή, όπως ελαστικά επιθέματα, ελαστική σόλα στον στρωτήρα και υποερμάτιους τάπητες, που ανάλογα με τον συντελεστή ελατηρίωσής τους, αυξάνουν το ελαστικό μήκος L και την υποχώρηση γ . Ο συντελεστής ελατηρίου c περιγράφει την ελαστική παραμόρφωση της σιδηροτροχιάς και υπολογίζεται από την υποχώρηση γ [mm] υπό την δύναμη στήριξης S [kN] στη θέση στήριξης της σιδηροτροχιάς.

$$c = \frac{S}{\gamma} \quad [\text{kN/mm}] \quad (2.9)$$

Ο συνολικός συντελεστής ελατηρίου για δύο ελαστικά στοιχεία, προκύπτει ως :

$$c_{res} = \frac{c_1 \cdot c_2}{c_1 + c_2} \quad [\text{kN/mm}] \quad (2.10)$$

Ο συντελεστής ΔΑΕ C με τον συντελεστή ελατηρίου c δίνεται ως:

$$C = \frac{p}{\gamma} = \frac{2 \cdot S}{F \cdot \gamma} = \frac{2 \cdot c}{F} \quad [\text{N/mm}^3] \quad \text{ή} \quad (2.11)$$

$$c = \frac{C \cdot F}{2} \quad [\text{N/mm}^3] \quad (2.12)$$

Για μια υποδομή ανελαστική, όπως γέφυρες, σταθερή επιδομή και σταθεροποιημένες στρώσεις, η ελαστικότητα της γραμμής εξασφαλίζεται συγκεκριμένα με την τοποθέτηση ελαστικών στοιχείων στην επιδομή. Έτσι, το φέρον σύστημα μπορεί να εξιδανικευθεί ως προς την ελαστικότητά του, στοχεύοντας στην ομοιόμορφη ακαμψία C_G κατά μήκος της γραμμής, η οποία προκύπτει ως:

$$C_G = \frac{Q}{\gamma} = 2 \cdot b \cdot l \cdot C \quad [\text{kN/mm}] \quad (2.13)$$

όπου $Q \Rightarrow Q_{\max}$

Ακαμψία γραμμής μεταξύ 80 kN/mm και 120 kN/mm θεωρείται ιδανική. Για σημαντικά μικρότερες ακαμψίες, συνιστώνται μέτρα αναπροσαρμογής της φέρουσας ικανότητας των τεχνικών έργων, ενώ για πολύ μεγάλες ακαμψίες συνιστώνται ελαστικά στοιχεία στην επιδομή.

➤ Υπολογισμός κατακορύφων τάσεων στην υποδομή.

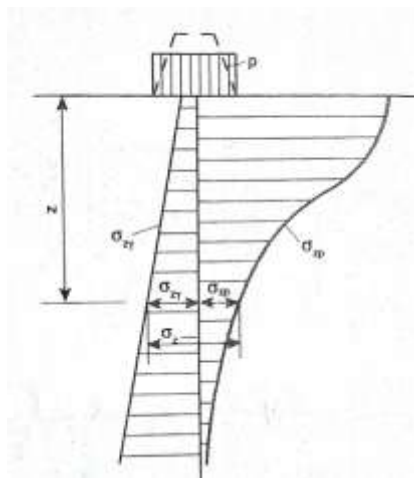
Κρίσιμα μεγέθη για την κατακόρυφη τάση σ_z στην υποδομή είναι:

- η πίεση p στην κάτω επιφάνεια του στρωτήρα λόγω κινητού φορτίου,
- το ίδιο βάρος της επιδομής και των στρώσεων του φέροντος συστήματος.

Η κατακόρυφη τάση προκύπτει ως

$$\sigma_z = \sigma_{zp} + \sigma_{zy} \quad (2.14)$$

Οι κατακόρυφες τάσεις σ_{zp} από την πίεση p , απομειώνονται γρήγορα με την αύξηση του βάθους. Οι τάσεις αυτές υπολογίζονται με τη θεωρία του τροποποιημένου ελαστικού-ισότροπου ημιχώρου. Κατά τον υπολογισμό αυτόν το φέρον σύστημα από περισσότερες στρώσεις, αντικαθίσταται με έναν ημιχώρο με ίδιες ιδιότητες (Σχ.2.1) [20].

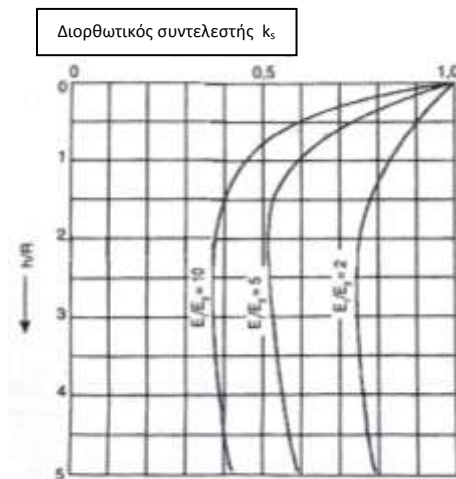


Σχήμα 2.1: Ολικές τάσεις στο σύστημα εφαρμογής

Οι κατακόρυφες τάσεις σ_{zy} που προέρχονται από το ίδιο βάρος, αυξάνονται όσο αυξάνεται το βάθος. Συνήθως οι τάσεις αυτές δεν είναι σημαντικές για την θεώρηση των ελαστικών παραμορφώσεων. Παραμορφώσεις στην υποδομή προκαλούνται ως επί το πλείστον από τις κατακόρυφες τάσεις σ_{zp} .

Κατά τον υπολογισμό των κατακορύφων τάσεων σ_{zp} , ανάγεται το φέρον σύστημα σε ένα σύστημα δύο ή περισσότερων στρώσεων. Τα συστήματα αυτά μπορούν να υπολογισθούν με διάφορες μεθόδους. Κατά τον υπολογισμό αυτό μια σταθερή στρώση (στρώση έρματος και προστασίας) υποβαστάζεται από μια σχετικά μαλακή στρώση (υπεδάφους). Η διάστρωση λαμβάνεται υπόψη με έναν διορθωτικό συντελεστή, ο οποίος υπολογίζεται ως

$$k_s = 1 - (1 - \overline{k_s}) \left(\frac{z}{h} \right)^2 \quad (2.15)$$



Σχήμα 2.2: Διορθωτικός συντελεστής k_s

Η εξίσωση αυτή περιλαμβάνει έναν παράγοντα k_s , ο οποίος ισχύει για τα όρια της διάστρωσης μεταξύ σταθερής και μαλακής στρώσης καθώς και για κάθε βάθος της μαλακής στρώσης. Για την εκτίμηση του διορθωτικού συντελεστή k_s , από το σχήμα 2.2 γίνεται η υπόθεση ότι το ιδιόμετρο παραμόρφωσης E_1 του σκύρου είναι περίπου ίσο με αυτό της προστατευτικής στρώσης και έτσι οι δύο στρώσεις μπορεί να αποτελέσουν τη σταθερή στρώση. Από πολυπληθείς έρευνες αποδείχθηκε ότι το μέγεθος και η μορφή της τάσης υπό την ορθογώνια επιφάνεια στήριξης του στρωτήρα, περίπου ταυτίζονται με αυτήν υπό μια κυκλική φόρτιση ίδιας επιφάνειας. Ως εκ τούτου μπορεί η ορθογώνια επιφάνεια να μετατραπεί σε μια κυκλική ακτίνα R ως

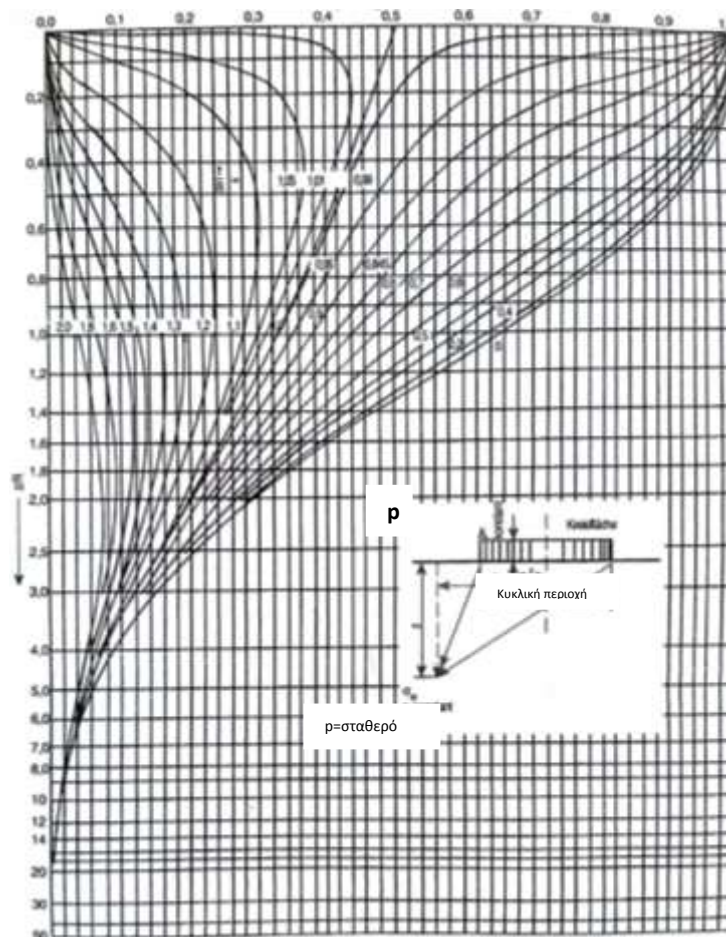
$$R = \sqrt[2]{\frac{F_{ev}}{2\pi}} \quad (2.16)$$

Εξ αυτού η κατακόρυφη τάση σε βάθος z υπό την πίεση p υπολογίζεται ως

$$\sigma_{zv} = p \cdot i \cdot k_s \quad (2.17)$$

όπου i τιμή επιρροής τάσης

Η τιμή επιρροής τάσης i λαμβάνεται από διάφορα νομογράμματα, ανάλογα με τη μορφή της επιφάνειας φόρτισης [20]. Για μία ομοιόμορφη κυκλική φόρτιση ακτίνας R το i λαμβάνεται από το ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 2.3: Τιμές επιρροής τάσης i για ομοιόμορφη κυκλική φόρτιση

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΕΠΙΔΟΜΗΣ

Η κατασκευή της επιδομής ξεκινάει με τη μεταφορά και διασπορά των υλικών σε όλο το μήκος της προβλεπόμενης προς στρώση γραμμής. Η διασπορά των σιδηροτροχιών (και η συγκόλληση τους σε 150-180m) προηγείται πάντα της διασποράς των στρωτήρων, διότι σε διαφορετική περίπτωση οι στρωτήρες επί εδάφους θα εμπόδιζαν τη μετακίνηση του γερανού. Επόμενο στάδιο είναι η προσκυρόστρωση, όπου εκεί πάνω τοποθετούνται σε απόσταση 60cm (με απόκλιση 2cm) οι στρωτήρες.

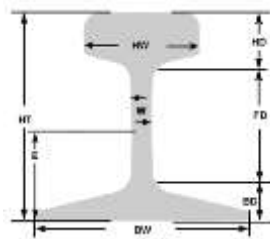
Ακολουθώς γωνιάζονται οι στρωτήρες, γίνεται αναβίβαση των σιδηροτροχιών πάνω στους στρωτήρες και σφίγγονται οι σύνδεσμοι. Ακολουθεί η φάση σκυρόστρωσης και αφού ολοκληρωθεί, συγκολλούνται οι σιδηροτροχιές για να επιτευχθεί η Συνεχώς Συγκολλημένη Σιδηροτροχιά (ΣΣΣ) [3]. Τελευταία εργασία πριν την παράδοση της γραμμής, είναι η απελευθέρωση τάσεων.

2.1. ΥΛΙΚΑ ΕΠΙΔΟΜΗΣ

❖ Σιδηροτροχιά

Το σχήμα της σιδηροτροχιάς που χρησιμοποιείται στα σιδηροδρομικά έργα είναι τυποποιημένης μορφής με επίπεδη βάση (Εικ.2.2) (flat bottom), η οποία κάποιες φορές αναφέρεται και ως Vignole

rail προς τιμήν του εφευρέτη της.



Εικόνα 2.2: Τομή σιδηροτροχιάς (flat bottom)

Η κεφαλή της σιδηροτροχιάς αποτελείται από μια σχεδόν επίπεδη κορυφή, με καμπύλες στα εξωτερικά της άκρα. Ένα από τα χαρακτηριστικά καταλληλότητας κεφαλής σιδηροτροχιάς και τροχού είναι όταν ο άξονας του τροχού συμπίπτει με το διαμήκη άξονα της σιδηροτροχιάς, η οποία είναι τοποθετημένη με κλίση 1 προς 20 ως προς την κατακόρυφο. Το πέλμα της σιδηροτροχιάς πρέπει να έχει ικανό εύρος για να προσφέρει σταθερότητα έναντι στροφής. Υπενθυμίζεται πως οι δυνάμεις πέδησης που ασκούνται στο τροχαίο υλικό δημιουργούν στρέψη και πλευρικές δυνάμεις, οι οποίες πρέπει να εξισορροπηθούν από τη σιδηροτροχιά και να μεταφερθούν μέσω των συνδέσμων στους στρωτήρες.

Ο σκοπός της σιδηροτροχιάς είναι να παραλαμβάνει το φορτίο των τροχών και να το μεταβιβάζει στους στρωτήρες. Επίσης, καθοδηγεί τους τροχούς και τους προσφέρει μια επίπεδη επιφάνεια κύλισης.

Οι απαιτήσεις στη σιδηροτροχιά είναι οι ακόλουθες [20]:

- ικανοποιητικό πλάτος επιφάνειας κύλισης και μέσω της διαμόρφωσης της να μειώνει κατά το δυνατό τις πιέσεις,
- ποσότητα υλικού τέτοια ώστε να εξασφαλίζεται μεγάλη διάρκεια ζωής της (λόγω φθορών η επιφάνεια κύλισης αλλοιώνεται),
- πλάτος πέλματος που να εξασφαλίζει σταθερή έδραση και μικρή πίεση στο στρωτήρα,
- το κέντρο βάρους της –στο μισό ύψος της επιφάνειας διατομής της,
- στρογγυλεμένες τις γωνιακές της θέσεις για την ευχερέστερη κατανομή των τάσεων στη διατομή της σιδηροτροχιάς.

❖ Στρωτήρες

Οι διαστάσεις των συνήθων στρωτήρων είναι 2515 mm μήκος, 264 mm πλάτος (Εικ.2.3). Το ύψος κυμαίνεται από 203 mm από την έδραση της σιδηροτροχιάς έως 165 mm από το κέντρο βάρους. Αυτοί οι στρωτήρες είναι κατάλληλοι για δυναμική φόρτιση 235 kN/m^2 στην επιφάνεια έδρασης της σιδηροτροχιάς.

Ο σκοπός των στρωτήρων είναι [2]:

- να εδράζονται οι σιδηροτροχιές και να διατηρούν σταθερή την μεταξύ τους απόσταση,
- να διανέμουν τις τάσεις στο έρμα,
- να αποσβένουν τις ταλαντώσεις των σιδηροτροχιών,
- να μειώνουν το θόρυβο.

Το κύριο μειονέκτημα των στρωτήρων από σκυροδέμα είναι το μεγάλο βάρος τους.



Εικόνα 2.3: Στρωτήρες σκυροδέματος

❖ Μικρό υλικό

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν [2]:

- οι σύνδεσμοι, ήλοι, ελικωτά (συνδέουν τη σιδηροτροχιά με το στρωτήρα),
- οι αμφιδέτες (συνδέουν σιδηροτροχιές μεταξύ τους),
- αντιερπυστικά ή αντιοδευτικά πτερύγια εγκάρσιας αντίστασης,

Οι συνδέσεις στρωτήρα-σιδηροτροχιάς πρέπει να επιδεικνύουν ελαστικότητα, προκειμένου να διατηρείται για μεγάλο χρονικό διάστημα η δύναμη σύσφιξής τους. Αυτή λοιπόν η ελαστικότητα εξασφαλίζεται είτε μέσω του ίδιου του συνδέσμου (Εικ.2.5), είτε μέσω ελατηριωτών δακτυλίων (Εικ.2.4). Όλα τα ελαστικά στοιχεία σύνδεσης χαρακτηρίζονται από την καμπύλη απόκρισής τους.



Εικόνα 2.4: Ήλοι και ελικωτά



Εικόνα 2.5: Σύνδεσμος στρωτήρα από σκυρόδεμα με σιδηροτροχιά

Οι συνδέσεις μεταξύ σιδηροτροχιών είναι οι αμφιδέτες (Εικ.2.6), οι οποίοι είναι ελάσματα με 4 ή 6 οπές και τοποθετούνται στον κορμό της σιδηροτροχιάς και από τις δύο πλευρές. Δένονται με βλήτρα (μπουλόνια) εγκάρσια της σιδηροτροχιάς και συγκρατούν τα δύο άκρα των σιδηροτροχιών. Οι διάμετρος των οπών είναι διαφορετική στις σιδηροτροχιές, για να διευκολύνουν τις αυξομειώσεις του μήκους τους λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών.



Εικόνα 2.6: Αμφιδέτης

Τα αντιερπυστικά (Εικ.2.7) τοποθετούνται στο πέλμα της σιδηροτροχιάς σε επαφή με την πλάγια πλευρά του στρωτήρα, με σκοπό να εμποδίζουν τις κατά μήκος μετακινήσεις της σιδηροτροχιάς. Τα πτερύγια τοποθετούνται εγκάρσια του στρωτήρα, προκειμένου να αυξηθεί η εγκάρσια αντίσταση της εσχάρας.



Εικόνα 2.7: Αντιερπυστικά

❖ Έρμα

Οι πρώτοι μηχανικοί του σιδηροδρόμου δεν είχαν αντιληφθεί τη μεγάλη σημασία του έρματος για τη γραμμή, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούν οποιοδήποτε υλικό κάτω από τους στρωτήρες. Τα υλικά που

χρησιμοποιούσαν ήταν φθηνά και μπορούσαν εύκολα να βρεθούν στην περιοχή κοντά στο έργο, τέτοια υλικά ήταν η τέφρα, η παιπάλη και η άμμος. Η εμπειρία έδειξε ότι το έρμα καλής ποιότητας, από σκύρα (Εικ.2.8), ήταν απαραίτητο για να επιτευχθεί επαρκής θεμελίωση των στρωτήρων και ικανοποιητική αποστράγγιση της γραμμής. Το απαιτούμενο πάχος της στρώσης έρματος ποικίλει και είναι ανάλογο της μέγιστης ταχύτητας κυκλοφορίας, του μέγιστου φορτίου ανά άξονα και του συνολικού ετήσιου μεικτού φορτίου.



Εικόνα 2.8: Έρμα

Ο σκοπός του έρματος είναι [2]:

- η ομοιόμορφη κατανομή των τάσεων από τους στρωτήρες στην υποδομή,
- η αποστράγγιση της γραμμής,
- η ελαστική συμπεριφορά, συμβάλλει στην απόσβεση των δονήσεων των συρμών,
- η σταθερότητα της γεωμετρίας της γραμμής, εξασφάλιση επαρκούς αντίστασης στους στρωτήρες έναντι μετακινήσεων (εγκάρσιων και κατά μήκων).

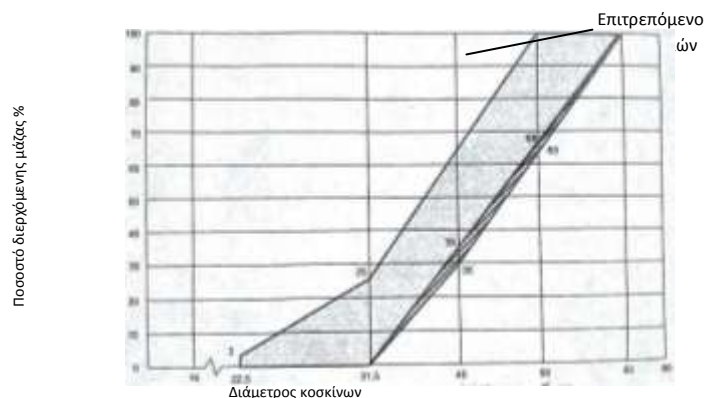
Το υλικό που ενδείκνυται για υλικό στρώσης είναι το χαλίκι. Είναι θραυστό, διαβαθμισμένο, φυσικό πέτρωμα. Κατάλληλα πετρώματα είναι τα μαγματικά όπως: βασάλτης, διαβάσης, γρανίτης, γραουβάκης, συηνίτης, δολομίτης, διορίτης, πυριτόλιθος, ασβεστόλιθος.

➤ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

- 1) **Κοκκομετρία:**{16} Η κοκκομετρική διαβάθμιση του έρματος προσδιορίζεται σύμφωνα με την προδιαγραφή Ε18.07.10 παράγραφος 2.2.1. Για την εξέταση του δείγματος χρησιμοποιούνται κόσκινα ελέγχου διάτρητης πλάκας τετράγωνης οπής 63-50-40-31,5-22,4 mm.

Πίνακας 2.2 : Διερχόμενο ποσοστό σκύρων σε συνάρτηση με το μέγεθος των οπών [8]

Μέγεθος των οπών των κοσκίνων (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
31,5 έως 50	≥50



Σχήμα 2.4: Επιτρεπόμενη περιοχή προμήθειας έρματος [22,4/63mm]

2) Λεπτόκοκκο αδρανές [16] :

- Λεπτά σωματίδια, για κάθε είδος γραμμών και σιδηροδρομικής εκμετάλλευσης απαιτείται στον τόπο της παραγωγής το ποσοστό του συνολικού βάρους του δείγματος που διέρχεται από το κόσκινο 0,50 mm να είναι $< 0,6\%$. Για παραλαβή στο έργο ή στην αποθήκη το ποσοστό αυτό θα είναι $< 1,0\%$ (η δοκιμή γίνεται σύμφωνα με την προδιαγραφή Ε18.07.10. παράγραφος 2.2.2.).
- Παιπάλη, στον τόπο παραγωγής το ποσοστό του συνολικού βάρους του δείγματος που διέρχεται από το κόσκινο 0,063mm πρέπει να είναι $< 0,5\%$. Για παραλαβή στο έργο ή στην αποθήκη το ποσοστό αυτό είναι $< 1,0\%$ (η δοκιμή γίνεται σύμφωνα με την προδιαγραφή Ε18.07.10. παράγραφος 2.2.2.).
- Σχήμα κόκκων, για τον προσδιορισμό του σχήματος των κόκκων γίνονται οι δοκιμές του δείκτη σχήματος, του δείκτη πλακοειδούς και του μήκους κόκκων (σύμφωνα με την προδιαγραφή Ε18.07.10. παράγραφος 2.2.3.).

➤ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ [16]

Το πέτρωμα από το οποίο εξορύσσονται τα σκύρα γραμμής, πρέπει να είναι ομοιογενές. Το σχήμα των κόκκων των σκύρων πρέπει να είναι κυβικής μορφής, πολυεδρικό και γωνιώδες. Για κάθε είδος γραμμών και συνθηκών σιδηροδρομικής εκμετάλλευσης, το ποσοστό των λίθων με μήκος που να υπερβαίνει τα

100mm πρέπει να είναι <6%.

➤ ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ [16]

- 1) **Πετρογραφική ανάλυση**, τα σκύρα πρέπει να είναι απαλλαγμένα από ασθενείς και/ή απορροφητικούς κόκκους που μπορεί να είναι ευπαθείς σε φθορά λόγω ψύξης-απόψυξης (παράγραφος 2.1.1. της Τεχνικής Προδιαγραφής Ε.18.07.10.).
- 2) **Πυκνότητα** (παράγραφος 2.1.2. της Τεχνικής Προδιαγραφής Ε.18.07.10.).
- 3) **Δοκιμή απορρόφησης ύδατος**, το σκύρο πρέπει να είναι ανθεκτικό στις καιρικές συνθήκες και η υδατοαπορρόφηση δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0,5%κ.β. (παράγραφος 2.1.4. της Τεχνικής Προδιαγραφής Ε.18.07.10.).
- 4) **Αντοχή στη δράση θεικού μαγνησίου** (παράγραφος 2.1.4. της Τεχνικής Προδιαγραφής Ε.18.07.10.).
- 5) **Αντίσταση σε ψύξη και απόψυξη** (παράγραφος 2.1.5. της Τεχνικής Προδιαγραφής Ε.18.07.10.).
- 6) **Αντοχή στη μεταβολή Sonnenbrand**, κατά τον έλεγχο πετρώματος βασάλτη ως προς την αποσάθρωση τύπου Sonnenbrand δεν πρέπει να εμφανίζονται ακτινοειδής ανοιχτόχρωμες κηλίδες από τις οποίες εκκρίνονται τριχοειδής ρωγμές (παράγραφος 2.1.6. της Τεχνικής Προδιαγραφής Ε.18.07.10.).
- 7) **Ηλεκτρική αγωγιμότητα** (παράγραφος 2.1.7. της Τεχνικής Προδιαγραφής Ε.18.07.10.).

➤ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΟΥ [16]

Για την καταλληλότητα του υλικού συνεκτιμώνται και οι μηχανικές του ιδιότητες που είναι η αντοχή σε θρυμματισμό (συντελεστής Los Angeles, LA_{RD}) και η αντοχή σε φθορά (συντελεστής Micro Deval, MDE_{RD}). Οι δοκιμές εκτελούνται σύμφωνα με την προδιαγραφή Ε18.07.10.

Δοκιμή Los Angeles

Κατά τη δοκιμή, υλικό έρματος εισάγεται σε κυλινδρικό περιστρεφόμενο κάδο. Μαζί με το δείγμα εισάγονται στον κάδο σφαίρες ορισμένης διαμέτρου και μάζας ανάλογα με τη διαβάθμιση του υλικού. Με την περιστροφή του κάδου, τα αδρανή υποβάλλονται σε δράσεις τριβής που αναπτύσσεται είτε μεταξύ των ίδιων των κόκκων, είτε μεταξύ των κόκκων και των σφαιρών είτε μεταξύ των κόκκων και των τοιχωμάτων του κάδου.

Καθώς η στροφή προχωρεί, το εσωτερικό πτερύγιο του κάδου ανασηκώνει το μίγμα αδρανούς και σφαιρών για λίγο και μετά το απορρίπτει υποβάλλοντας το υλικό του έρματος σε δράσεις κρούσεις. Αυτές αναπτύσσονται είτε με την πρόσκρουση των κόκκων στο τοίχωμα του κάδου είτε με την πρόσκρουση των σφαιρών στους κόκκους του αδρανούς.

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται διαδοχικά μέχρι την ολοκλήρωση 500 στροφών. Το δείγμα

απομακρύνεται από τον κάδο, κοσκινίζεται, πλένεται σε ορισμένο κόσκινο και ξηραίνεται μέχρι σταθερής μάζας. Γίνεται μέτρηση της ποσότητας του υλικού διαμέτρου $< 1,6 \text{ mm}$.

Ο συντελεστής Los Angeles εκφράζει την αντίσταση σε θρυμματισμό εξαιτίας των κρούσεων και δίνεται από τη σχέση (2.18):

$$\text{Συντελεστής Los Angeles} = m/M \quad (2.18)$$

όπου m η μάζα του υλικού $< 1,6 \text{ mm}$

M η αρχική μάζα του υλικού

Δοκιμή Deval

Η δοκιμή Deval γίνεται με παρόμοιο τρόπο με τη δοκιμή Los Angeles, προσδιορίζεται η αντοχή σε τριβή και κρούση. Η διαφορά σε αυτή τη δοκιμή είναι ότι μπορεί να γίνει και με την παρουσία νερού, μιας και στις φυσικές δράσεις τριβής σχεδόν πάντα συνυπάρχει φυσική υγρασία [13].

Αφού απομακρυνθεί το μείγμα από τη συσκευή Deval (Εικ.2.9) που γίνεται η δοκιμή, μετράται η ποσότητα των κόκκων $< 1,6 \text{ mm}$ που παράγονται από την αμοιβαία τριβή και τις μέτριες κρούσεις των κόκκων του δείγματος 7 kg .



Εικόνα 2.9: Συσκευή δοκιμής Deval

Η αντίσταση του υλικού σε φθορά εκφράζεται με το συντελεστή Deval που δίνεται από τη σχέση:

$$(2.19)$$

$$\text{Συντελεστής Deval} = 2800/m \text{ gr των κόκκων } < 1,6 \text{ mm που δημιουργούνται μέσα στη μηχανή Deval.}$$

- δοκιμή στεγνή: συντελεστής DEVAL DS
- δοκιμή υγρή: συντελεστής DEVAL DH

➤ ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Το έρμα δεν πρέπει να περιέχει επικίνδυνες ουσίες σύμφωνα με την παράγραφο 2.1.9. της προδιαγραφής Ε18.07.10.

2.2. ΣΤΡΩΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ

Στην εργασία της στρώσης γραμμής θεωρούμε ότι όλα τα υλικά διατίθενται επί τόπου του έργου. Οι επιμέρους εργασίες είναι:

- Μεταφορά και διασπορά σιδηροτροχιών.
- Προσκυρόστρωση.
- Μεταφορά και διασπορά στρωτήρων.
- Συναρμολόγηση γραμμής.

✚ Σύμφωνα με Π.Ε.Τ.Ε.Π. 07-03-01-20 παράγραφος 3.3. Στρώση γραμμής.

2.2.1. Μεταφορά και διασπορά σιδηροτροχιών

Το στάδιο αυτό αφορά στην μεταφορά των σιδηροτροχιών ,με μήκη (μη συγκολλημένα) 36,0 m ή 18,0 m, από τον χώρο αποθήκευσης σε όλο το μήκος της προβλεπόμενης προς στρώση γραμμής. Η μεταφορά γίνεται με πλατφόρμες (Εικ.2.10) και η διασπορά με οδικό γερανό [5].

Ο γερανός τοποθετείται δίπλα από την πλατφόρμα που πρόκειται να εκφορτώσει, λαμβάνει με την αρπάγη (Εικ.2.11) μια σιδηροτροχιά και την εναποθέτει έτσι, ώστε να μην εμποδίζει την εκφόρτωση των στρωτήρων και εκτός της επιφάνειας της υποδομής. Πριν προχωρήσει ο γερανός εκφορτώνει και εναποθέτει απέναντι από την πρώτη και μια δεύτερη σιδηροτροχιά.



Εικόνα 2.10: Πλατφόρμα με σιδηροτροχιές



Εικόνα 2.11: Αρπάγη

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί κατά τη φόρτωση και εκφόρτωση των σιδηροτροχιών (Εικ.2.12) λόγω του μεγάλου μήκους κάθε σιδηροτροχιάς για την αποφυγή φθορών και παραμορφώσεων των σιδηροτροχιών [2]. Ειδικότερα :

- Δεν πρέπει να παρουσιάζουν μεγάλα βέλη κάμψης ως προς τον κατακόρυφο και διαμήκη άξονα της διατομής της σιδηροτροχιάς.
- Πρέπει να αποφεύγονται οι βίαιες προσκρούσεις μεταξύ τους και επί του εδάφους.
- Πρέπει να τηρηθούν οι οδηγίες του τρόπου φόρτωσης που υπάρχουν για μεταφορά μακρών σιδηροτροχιών.
- Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να επιδειχθεί κατά την εκφόρτωση για αποφυγή καταστροφής της υποδομής.



Εικόνα 2.12: Φόρτωση σιδηροτροχιών με οδικό γερανό

Μετά τη μεταφορά των σιδηροτροχιών και την τοποθέτηση ανά ζεύγος εκατέρωθεν της υποδομής ακολουθεί έλεγχος της υποδομής για τυχόν φθορές από την κυκλοφορία της ειδικής πλατφόρμας μεταφοράς των μακρών σιδηροτροχιών ή λόγω της εκφόρτωσης των σιδηροτροχιών.

Κατά τη διαδικασία φόρτωσης των σιδηροτροχιών μήκους 36m, η διάταξη των αναρτήσεων πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μην δημιουργείται μεγάλο βέλος κάμψης [2].

Οι σιδηροτροχιές σε αυτό το στάδιο πρέπει να συγκολληθούν (με αλουμινοθερμική συγκόλληση) σε μήκη 150m ή 180m.

- Σύμφωνα με Τεχνικές Προδιαγραφές Προμήθειας Σιδηροτροχιών στο κεφάλαιο 5.2. Φορτοεκφόρτωση, μεταφορά και αποθήκευση σιδηροτροχιών.

✚ Επίσης για την αποδοχή των σιδηροτροχιών ως υλικό πρέπει να ισχύουν τα χαρακτηριστικά που αναφέρονται στις παραγράφους 3.2. Μηχανικά χαρακτηριστικά σιδηροτροχιάς και 4. Διασφάλιση ποιότητας , Τεχνικές Προδιαγραφές Προμήθειας Σιδηροτροχιών.

2.2.2. Διάστρωση πρώτης στρώσης σκύρων (προσκυρόστρωση)

Η προσκυρόστρωση της γραμμής συνίσταται στη διάστρωση κατάλληλης ποσότητας σκύρων επί του καταστρώματος της υποδομής, προτού τοποθετηθούν οι στρωτήρες της επιδομής (Εικ.2.13). Αφού πρώτα ελεγχθεί το σώμα της υποδομής καθώς επίσης και όλες οι τοπογραφικές εργασίες, πραγματοποιείται η διάστρωση της πρώτης στρώσης σκύρων. Το έρμα θα μεταφερθεί από το χώρο αποθήκευσης επί τόπου του έργου με φορτηγά περισσότερα των δύο αξόνων, προκειμένου να μειωθεί η επιβάρυνση της υποδομής και να αποφευχθούν οι φθορές της [10].

Τα έμφορτα φορτηγά ξεφορτώνουν σε ειδικούς κάδους του μηχανήματος φίνισερ (Εικ.2.14) το οποίο κάνει την πρώτη διάστρωση των σκύρων σε πλάτος 5m ανά γραμμή και πάχος το πολύ 15cm συμπιεσμένο στο ψηλότερο σημείο της υποδομής [2]. Η ταχύτητα του μηχανήματος διάστρωσης θα ρυθμίζεται, ώστε η στρώση να είναι ενιαία, επίπεδη και χωρίς κενά. Στη συνέχεια θα γίνεται ελαφρά δόνηση με δονητικές πλάκες . Το τελικό αποτέλεσμα πρέπει να είναι μια ενιαία και επίπεδη επιφάνεια για την υποδοχή των στρωτήρων.



Εικόνα 2.13: Προσκυρόστρωση



Εικόνα 2.14: Φίνισερ

✚ Σύμφωνα με τις Π.Ε.Τ.Ε.Π. 07-03-01-20 παράγραφο 3.2. Προσκυρόστρωση γραμμής

✚ Η προδιαγραφές για το έρμα σύμφωνα με Ε 18.07.10 στις παραγράφους 2. Απαιτήσεις πετρώματος και 3. Διασφάλιση ποιότητας.

2.2.3. Μεταφορά και διασπορά στρωτήρων

Οι στρωτήρες μεταφέρονται επιτόπου του έργου με ειδικά οχήματα πλατφόρμες. Μαζί με τους στρωτήρες μεταφέρονται και οι σύνδεσμοι. Οι σύνδεσμοι συνδέουν την σιδηροτροχιά με τον στρωτήρα μέσω πλάκας έδρασης. Ο τρόπος φόρτωσης και τοποθέτησης των στρωτήρων στα βαγόνια ή άλλο μεταφορικό μέσο καθώς και οι αποστάσεις μεταξύ τους, η στήριξή τους και ο αριθμός των σειρών που φορτώνονται, γίνεται με βάση τη μέθοδο που προτείνεται.

Η στρώση των στρωτήρων πραγματοποιείται με τη βοήθεια ειδικού πυλώνα (Εικ.2.15) που κινείται σε σιδηροτροχιές πρόχειρα τοποθετημένες εκατέρωθεν της διατομής της επιδομής, και οι οποίες αργότερα θα αναβιβαστούν στους στρωτήρες και θα αποτελέσουν τις τελικές σιδηροτροχιές της διατομής.

Ο πυλώνας φέρει οριζόντια διαμήκη δοκό, στην οποία προσαρμόζονται οι στρωτήρες ανά αποστάσεις 30 cm (εφόσον είναι επιθυμητή η τελική απόσταση 60 cm μεταξύ των στρωτήρων). Η προσαρμογή γίνεται με τη βοήθεια των συνδέσμων, οι οποίοι είναι ήδη προσαρμοσμένοι στους στρωτήρες από πριν [10]. Κατά την εναπόθεση απελευθερώνονται οι εναλλάξ στρωτήρες, οπότε με δύο διαδοχικές στάσεις του πυλώνα τοποθετούνται όλοι οι στρωτήρες σε απόσταση 60 cm.

Ακολουθεί χειροκίνητη αναμόχλευση με ράβδο του έρματος κάτω από κάθε στρωτήρα, για την οριζοντίωσή του. Σημειώνεται ότι εναλλακτικά του πυλώνα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και αρπάγη για τη στρώση των στρωτήρων. Οι αποστάσεις μεταξύ τους είναι 60cm με απόκλιση $\pm 2\text{cm}$ και απόκλιση από τον άξονα της γραμμής του στρωτήρα $\pm 3\text{cm}$.



Εικόνα 2.15: Πυλώνας (εναποθέτει ένα παρά έναν στρωτήρα)

Σε δεύτερη φάση πρέπει να ευθυγραμμιστούν οι στρωτήρες. Αυτό επιτυγχάνεται με τοποθέτηση του πρώτου και του τελευταίου στρωτήρα μιας 18m σχάρας αξονικά. Στα βλήτρα των ακραίων αυτών

στρωτήρων τεντώνεται ράμμα, έτσι οι υπόλοιποι στρωτήρες ευθυγραμμίζονται με βάση το ράμμα αυτό.

Κατακόρυφη πίεση κάτω από στρωτήρα

Η συνήθης μέθοδο υπολογισμού των κατακορύφων θλιπτικών τάσεων σ_z , ανάγεται στον Boussinesq με τη δράση μιας δύναμης στον ελαστικό ημιχώρο. Με τη βοήθεια της θεωρίας της ελαστικότητας, ο Boussinesq συνέταξε σχέσεις υπολογισμού των τάσεων σ_z , σ_x , τα και μετατοπίσεων σε κάθε σημείο του άξονα επιβολής φορτίου του ημιχώρου.

Η τάση σ_x μηδενίζεται σε βάθος μόλις 20-25 cm [20]. Η διατμητική τάση έχει τη μεγαλύτερη τιμή της περίπου στη μέση της στρώσης του έρματος και απομειώνεται γρήγορα με αυξανόμενο το βάθος σε τιμές που δεν επηρεάζουν σημαντικά τις υπόλοιπες στρώσεις και την υπόβαση. Συνεπώς η τάση που μας απασχολεί είναι μόνο η σ_z .

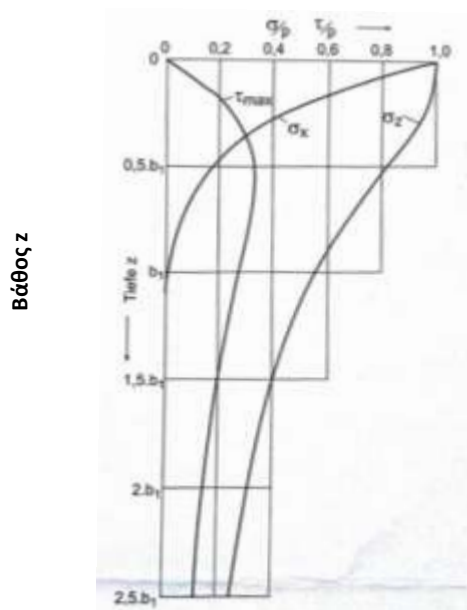
➤ Περίπτωση χωρίς ενδιάμεσες στρώσεις:

Με την υπόθεση του φορτίου λωρίδας και δεδομένη πίεση έρματος, η κατακόρυφη τάση σ_z μπορεί να υπολογιστεί ως

$$\sigma_z = \frac{z^3}{\sqrt{r^2 + z^2}^3} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (2.20)$$

όπου r ακτίνα της πλάκας στην δοκιμή πλάκας φόρτισης [mm]

z βάθος στον κατακόρυφο άξονα κάτω από τον στρωτήρα



Σχήμα 2.5: Κατανομή κατακορύφων τάσεων σε συνάρτηση με το βάθος

Επειδή η ενεργός επιφάνεια F_1 του στρωτήρα δεν είναι κυκλική, μπορεί να ληφθεί ακτίνα r που να

προκύπτει από την ισοδυναμία της F_1 με κυκλική επιφάνεια. Έτσι η ακτίνα r προκύπτει ως

$$r = \sqrt{\frac{F_1}{2\pi}} \quad [\text{mm}] \quad (2.21)$$

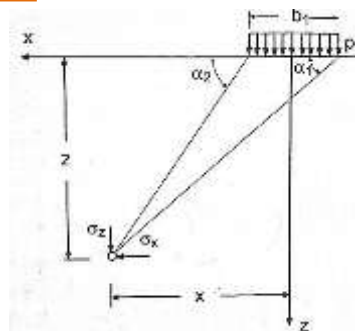
➤ *Περίπτωση με ενδιάμεσες στρώσεις:*

Δεδομένα για την περίπτωση αυτή αποτελούν η πίεση έρματος, το μέτρο ελαστικότητας των ενδιάμεσων στρώσεων καθώς και της υπόβασης [20]. Η τάση σ_z μπορεί να υπολογιστεί ως

$$\sigma_z = \frac{2 \cdot p \left(\arctan \frac{b_1}{2z} \right) + \frac{2b_1 z}{b_1^2 + 4z^2}}{\pi} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (2.22)$$

Με αυξανόμενο βάθος z , πρέπει να ληφθεί υπόψη και η επιρροή της σ_z στον άξονα της φόρτισης από τους γειτονικούς στρωτήρες. Η επί πλέον σ_z^* η οποία και προστίθεται στην σ_z υπολογίζεται ως

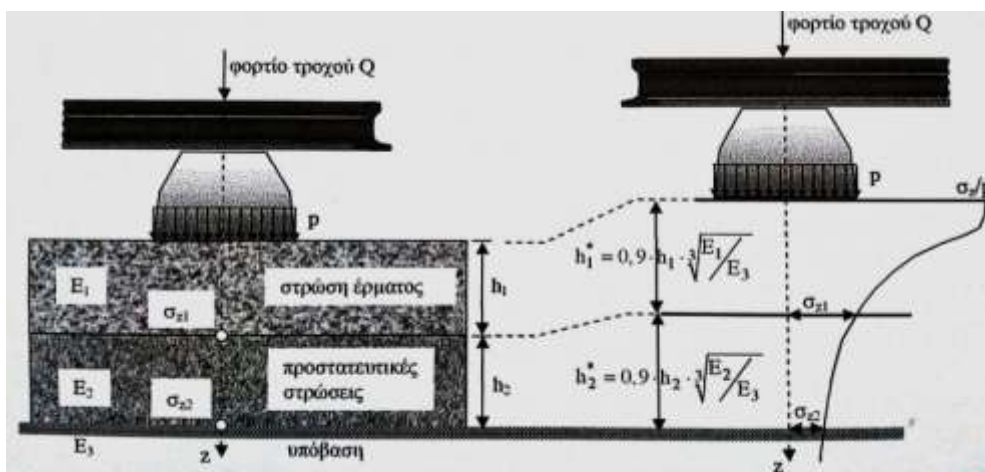
$$\sigma_z^* = -\frac{p}{\pi} \left(\alpha_2 - \alpha_1 - \frac{\sin 2\alpha_2 - \sin 2\alpha_1}{2} \right) \quad [\text{N/mm}^2] \quad (2.23)$$



Σχήμα 2.6: Επιρροή των γειτονικών στρωτήρων στις κατακόρυφες τάσεις σ_z

Για να είναι δυνατή η εφαρμογή των σχέσεων Boussinesq πρέπει το σύνολο των στρώσεων να μετατραπεί σε έναν ισοδύναμο ημιχώρο, σε ότι αφορά στη φέρουσα ικανότητα του. Αυτό σημαίνει ότι το πάχος h_i μιας στρώσης μεταβάλλεται ως προς τη σχέση του μέτρου E_i ως προς το μέτρο του υπεδάφους E_u κατά τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε από κατακόρυφη φόρτιση να υφίσταται την ίδια κάμψη όπως και η υπόβαση. Προς τούτο εφαρμόζεται η προσεγγιστική μέθοδος Odemark. Για τις στρώσεις i ή $i+1$ ισχύει γενικότερα (Εικ.2.16).

$$h_{i,j+1} = 0,9 h_{i,j+1} \sqrt{\frac{E_{i,j+1}}{E_u}} \quad [\text{mm}] \quad (2.24)$$



Εικόνα 2.16: Μετατροπή του συστήματος στρώσεων σε έναν ισοδύναμο ημίχωρο (Odemark)

2.2.4. Μηχάνηματα γραμμής

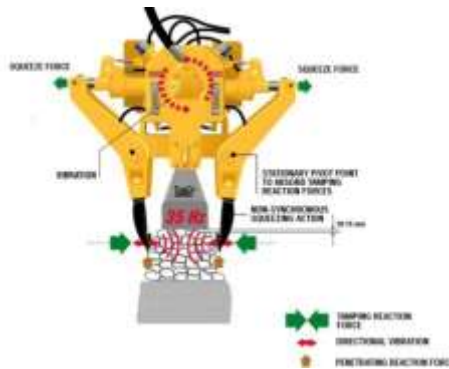
Τα μηχανήματα γραμμής που θα χρησιμοποιηθούν είναι τα εξής :

- Μηχάνημα υπογόμεωσης στρωτήρων, υψομετρικής και οριζοντιογραφικής τακτοποίησης της γραμμής (μπουρέζα) (Εικ.2.17) βαρέως τύπου, κατά το δυνατόν νέας τεχνολογίας με γόμωση ανά δύο στρωτήρες. Τα μπουρά πρέπει να λειτουργούν με συχνότητα 35 Hz, με πλάτος ταλάντωσης 4-5 mm (Εικ.2.18).

Το βάθος συμπίεσης θα είναι σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή (λαμβάνεται υπόψη ο τύπος σιδηροτροχιάς και στρωτήρα), όπως και για τη δύναμη συμπίεσης ο τύπος των σκύρων. Η φθορά των μπουρών θα ελέγχεται και πρέπει να βρίσκονται εντός των ανοχών που δίνει ο κατασκευαστής. Η μπουρέζα πρέπει να είναι εφοδιασμένη με ηλεκτρονικό σύστημα αυτόματου υπολογισμού, τροφοδοσίας διορθωτικών τιμών και καταγραφικού των σφαλμάτων της γραμμής.



Εικόνα 2.17: Μπουρέζα



Εικόνα 2.18: Μπούρο

- Μηχάνημα διαμόρφωσης έρματος (ρεγκαλέζα) (Εικ.2.19) με διάφορα εξαρτήματα (σκούπες κλπ.) για την απομάκρυνση των σκύρων από τη σιδηροτροχιά και τους συνδέσμους, ελευθέρωση του πάνω μέρους του στρωτήρα από σκύρα και μόρφωση της διατομής σύμφωνα με την τυπική διατομή. Μπορεί να είναι εφοδιασμένο και με αποθήκη σκύρων για διανομή σε θέσεις όπου είναι ελλειμματική η διατομή.



Εικόνα 2.19: Ρεγκαλέζα

- Μηχάνημα δυναμικής σταθεροποίησης έρματος (σταμπιλιζάτορας) (Εικ.2.20), ο οποίος πρέπει να διαθέτει δύο μηχανικά εξαρτήματα για συχνότητα $0 \div 45$ Hz ρυθμιζόμενη, συνολική δύναμη κρούσης $0 \div 320$ kN, κάθετη φόρτιση 240kN ρυθμιζόμενη. Πρέπει επίσης να είναι εφοδιασμένο με εγκατάσταση ελέγχου και μέτρησης που να δείχνει τη βύθιση της γραμμής.



Εικόνα 2.20: Σταμπιλιζάτορας

- Ειδικά βαγόνια για τη μεταφορά των σκύρων (σκυροβάγωνα) (Εικ.2.21) με αυτόματο σύστημα ροής των σκύρων ελκόμενα από κατάλληλη δηζελάμαξα (Δ/Η) ή μηχανήμα τύπου UNIMOG.



Εικόνα 2.21: Σκυροβάγωνα

- Όλοι οι τύποι των σιδηροδρομικών μηχανημάτων που θα χρησιμοποιηθούν κατά την κατασκευή του έργου δεν πρέπει να είναι πεπαλαιωμένοι (μέχρι δεκαετία) και οι προσφερόμενοι τύποι πρέπει να έχουν χρησιμοποιηθεί σε σιδηροδρομικά δίκτυα και σε γραμμές εν εκμεταλλεύσει με ταχύτητες κυκλοφορίας τουλάχιστον 160 Km/h. Σε περίπτωση που είναι παλαιότερα θα πρέπει η ανακατασκευή ή γενική επισκευή να έχει γίνει κατά την τελευταία τριετία και να συνοδεύονται από βεβαίωση της εταιρείας κατασκευής του μηχανήματος.

2.2.5. Συναρμολόγηση γραμμής

2.2.5.1. Γώνιασμα στρωτήρων

Το γώνιασμα των στρωτήρων γίνεται μετρώντας με μετροταινία ή το δίμετρο αποστάσεις των 60cm που αντιστοιχούν στις θέσεις των στρωτήρων [10]. Οι θέσεις αυτές σημειώνονται με κιμωλία στην κεφαλή της μιας σιδηροτροχιάς και μεταφέρονται κατόπιν στην απέναντι σιδηροτροχιά με τη βοήθεια της γωνιάς. Ακρίβεια στην απόσταση των 60cm δεν απαιτείται στη φάση αυτή , διότι δεν γίνεται η τελική σύσφιξη. Τέλος κάνουμε σύσφιξη συνδέσμων.

- ❖ Σιδηροτροχιές 90m: Οι στρωτήρες τοποθετούνται σύμφωνα με τις θέσεις που έχουν σημειωθεί με κιμωλία στις σιδηροτροχιές. Κατά αυτόν τον τρόπο είναι κάθετα στον άξονα της γραμμής.
- ❖ Σιδηροτροχιές 18m: Οι στρωτήρες γωνιάζονται πρόχειρα όπως περιγράφηκε παραπάνω και επιμένουμε στην καθετότητα ως προς τον άξονα και όχι τόσο στην μεταξύ τους απόσταση, διότι η τελική σύσφιξη γίνεται μετά τη συγκόλληση.

2.2.5.2. Αναβίβαση σιδηροτροχιών στους στρωτήρες

Η αναβίβαση των σιδηροτροχιών επάνω στους στρωτήρες γίνεται με μικρό γερανό για σιδηροτροχιές 18m ή με πυλωνάκια για σιδηροτροχιές 90m. Η αναβίβαση των σιδηροτροχιών επάνω στους στρωτήρες πραγματοποιείται με τη βοήθεια του μηχανήματος Φρίντερ (Εικ.2.22). Όπως και ο πυλώνας, έτσι και το Φρίντερ κινείται επάνω στις πρόχειρα τοποθετημένες σιδηροτροχιές, τις οποίες και τοποθετεί επάνω στους στρωτήρες.

Για να συμβεί αυτό, αφού το μηχάνημα φτάσει στο επιθυμητό σημείο, κλειδώνει τις σιδηροτροχιές και εξέρχονται από τη βάση του δύο πρόσθετα στηρίγματα, που το ανυψώνουν μαζί με αυτές. Στηριζόμενο επάνω στα πρόσθετα στηρίγματα, το Φρίντερ πλέον μπορεί να χειριστεί ελεύθερα τις σιδηροτροχιές και να τις τοποθετήσει επάνω στους στρωτήρες [5].



Εικόνα 2.22: Φρίντερ

- ❖ Σιδηροτροχιές 90m: Κατά την τοποθέτηση αφήνουμε αρμό μεταξύ των σιδηροτροχιών που πρόκειται να κολληθούν. Ο αρμός πρέπει να έχει το πλάτος που απαιτεί ο κανονισμός. Κατά την τοποθέτηση των σιδηροτροχιών κρατάμε στην ήδη τοποθετηθείσα σιδηροτροχιά μια λάμα αναλόγου πάχους, ώστε ακουμπώντας τη νέα σιδηροτροχιά να έχουμε τον επιθυμητό αρμό.
- ❖ Σιδηροτροχιές 18m: Τοποθετούνται οι σιδηροτροχιές χωρίς αρμό.

Οι σιδηροτροχιές θα τοποθετούνται με διάκενο μεταξύ τους τόσο όσο απαιτείται για τη συγκόλλησή τους και για την απελευθέρωση των τάσεων (Πίν.2.3).

Πίνακας 2.3: Διάκενο κατά την τοποθέτηση [7]

Μήκος σιδ/χιάς (m)	Θερμοκρασία τοποθέτησης Ττοπ			
	10 οC	20 οC	25 οC	>25 οC
30	8	4	2	0
60	15	10	2	0
100	18	12	8	0
120	20	15	10	0
150	25	17	10	0
180	30	20	10	0
240	30	20	10	0
360	30	20	10	0

2.2.5.3. Σύσφιξη συνδέσμων

Ο τρόπος σύσφιξης δεν είναι ο ίδιος για όλους τους τύπους των συνδέσμων. Στη συνέχεια θα αναφερθεί ο σύνδεσμος RN που χρησιμοποιεί ο Ο.Σ.Ε.

Εφ' όσον η απελευθέρωση τάσεων των ΣΣΣ δεν γίνεται αμέσως μετά από τη στρώση γραμμής, αλλά μετά τη σταθεροποίησή της, η σύσφιξη σε αυτό το σημείο δεν είναι η τελική. Στην πρώτη φάση σύσφιξης, λοιπόν, απαιτείται τόση σύσφιξη του ελατηριωτού συνδέσμου, ώστε να επιτυγχάνεται μόνον η πρώτη επαφή συνδέσμου επάνω στην σιδηροτροχιά αφήνοντας για τη δεύτερη επαφή διάκενο 0,5 έως 1,5 mm [5].

 Οι σύνδεσμοι θα πρέπει να πληρούν τις προδιαγραφές που αναφέρονται στην Π.Ε.Τ.Ε.Π. 07-08-03-10 παράγραφος 2. Κριτήρια αποδοχής ενσωματούμενων υλικών.

2.3. ΣΚΥΡΟΣΤΡΩΣΗ

Για να επιτευχθεί η σκυρόστρωση πρέπει να γίνει προσωρινή αμφίδεση της γραμμής με αμφιδέτες και ειδικούς σφιγκτήρες, που θα επιτρέπουν στα μηχανήματα γραμμής να εργάζονται ελεύθερα. Οι αμφιδέτες χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των σιδηροτροχιών μεταξύ τους.

Στη δεύτερη φάση της σκυρόστρωσης χρησιμοποιούνται κατάλληλα βαγόνια με δοχεία αδρανών (σκυροβάγωνα) με ρυθμιζόμενες θυρίδες ροής σκύρων στο κέντρο της γραμμής και πλευρικά (αριστερά, δεξιά της γραμμής). Τα νέου τύπου σχετικά βαγόνια παρέχουν τη δυνατότητα έγχυσης των σκύρων με κατάλληλους οδηγούς, ώστε να προκύπτει και η επιθυμητή διατομή. Με παλιότερου τύπου βαγόνια, μετά την έγχυση απαιτείται η διαμόρφωση την ανώμαλης διατομής στην επιθυμητή μορφή. Η εν λόγω τακτοποίηση της διατομής πραγματοποιείται με τη διέλευση ρεγκαλέζας, μηχανήματος που διαθέτει πλευρικά πτερύγια για το σκοπό αυτό. Το συμπιεσμένο πάχος θα είναι 8 cm από την προηγούμενη στρώση σκύρων.

Η διάστρωση γίνεται με την «αμαξοστοιχία έργων» και στη συνέχεια γίνεται η υψομετρική και οριζοντιογραφική τακτοποίηση της γραμμής και υπογόμωση του έρματος, με το μηχάνημα τακτοποίησης της γραμμής (μπουρέζα) σύμφωνα με τα στοιχεία που θα δίνονται από το υπεύθυνο και έμπειρο τοπογραφικό συνεργείο από τα στοιχεία των μόνιμων πασσάλων του άξονα της γραμμής. Στην μπουρέζα θα πρέπει να λειτουργεί και η πλευρική συμπίεση στις κεφαλές των στρωτήρων. Αξίζει να σημειωθεί ότι η μέγιστη επιτρεπόμενη απόκλιση από τη θεωρητική χάραξη των σιδηροτροχιών σιδηροδρομικών έργων

είναι $\pm 1 \text{ mm}$ [10].

Μετά τη μπουρέζα ακολουθεί η διαδικασία σταθεροποίησης της γραμμής, με τη βοήθεια σταμπιλιζάτορα. Για τη σταθεροποίηση μίας σιδηροδρομικής γραμμής απαιτείται η διέλευση 100.000 t από αυτήν, ήτοι αντίστοιχος αριθμός συρμών σε βραδυπορία κατά το πρώτο διάστημα μετά την παράδοση της γραμμής. Αντίθετα, η διέλευση σταμπιλιζάτορα καθιστά πλήρως αξιοποιήσιμη τη γραμμή από την πρώτη στιγμή, με ό,τι αυτό συνεπάγεται στην εκμετάλλευση της υποδομής. Σήμερα η σταθεροποίηση με σταμπιλιζάτορα κρίνεται απολύτως απαραίτητη [5].

✚ Σύμφωνα με τις Π.Ε.Τ.Ε.Π. 07-03-01-50, παράγραφος 3.3. Υπογόμευση γραμμής και Π.Ε.Τ.Ε.Π. 07-03-01-20 παράγραφος 3.6. Σκυρόστρωση.

2.4. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ

Ο επικρατέστερος τύπος συγκόλλησης που πραγματοποιείται στο εργοτάξιο είναι η αλουμινοθερμική. Η διαδικασία της συγκόλλησης ξεκινά με το λύσιμο των συνδέσμων, συνήθως σε 5 στρωτήρες εκατέρωθεν του σημείου συγκόλλησης, ανασκλώνονται οι σιδηροτροχιές και τοποθετείται η ρίγα για να ευθυγραμμιστούν οι δύο σιδηροτροχιές (Εικ.2.23). Οι προς συγκόλληση παρειές πρέπει να απέχουν περί τα 25 mm μεταξύ τους. Η περιοχή συγκόλλησης εσωκλείεται σε ειδικές πυρίμαχες θήκες και προθερμαίνεται με φλόγιστρο επί 4 min. Στη συνέχεια εγχύεται στη θήκη μίγμα σιδήρου - αργιλίου και η συγκόλληση εκκινείται με σπέρτο πυριτίου-μαγνησίου (Εικ.2.24). Αφαιρούμε τα καλούπια (Εικ.2.25), κόβουμε με την πρέσα τα υπολείμματα της συγκόλλησης και τέλος τροχίζουμε με ειδικό τροχό λείανσης (Εικ.2.26).

Όλα τα υλικά που χρησιμοποιούνται για μία συγκόλληση είναι αναλώσιμα (χρησιμοποιούνται μία φορά).



Εικόνα 2.23: Τοποθέτηση ρίγας



Εικόνα 2.24: Εκκίνηση συγκόλλησης με σπέρτο πυριτίου-μαγνησίου



Εικόνα 2.25: Αφαίρεση καλούπιών



Εικόνα 2.26: Τρόχισμα σιδηροτροχιάς

Η μέθοδος της αλουμινοθερμικής συγκόλλησης βασίζεται στη χημική αντίδραση (ισχυρά εξωθερμική) της αναγωγής των οξειδίων του σιδήρου σε οξείδια του αργιλίου:



✚ Σύμφωνα με Π.Ε.Τ.Ε.Π. 07-07-01-10 κεφάλαιο 3. Μέθοδος εκτέλεσης εργασιών.

2.5. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΑΝΤΙΤΡΟΧΙΩΝ

Πρόκειται για επιπρόσθετες σιδηροτροχιές στο εσωτερικό των σιδηροτροχιών (Εικ.2.27). Τοποθετούνται όπου απαιτείται, πλησίον της σιδηροτροχιάς που βρίσκεται προς την αντίθετη πλευρά από αυτήν που υπόκειται σε κίνδυνο λόγω εκτροχιασμού [2]. Σκοπός της αντιτροχιάς (κόντρα ράγιο) είναι να συγκρατήσει τον τροχό κάποιου άξονα, ώστε να διατηρήσει το εκτροχιασμένο τρένο στην πορεία του κατά μήκος της γραμμής και να μειώσει τον κίνδυνο πρόσκρουσης σε κατασκευές, όπως υποστυλώματα άνω διαβάσεων, εισόδους σηράγγων, γέφυρες κλπ.



Εικόνα 2.27: Αντιτροχιές

Οι σιδηροτροχιές της αντιτροχιάς είναι όμοιου τύπου με τις σιδηροτροχιές της γραμμής οι δε στρωτήρες είναι παρομοίου τύπου, αλλά με ειδικές υποδοχές για τις αντιτροχιές, είτε πρόκειται για μονή αντιτροχιά είτε για διπλή αντιτροχιά.

2.6. ΑΠΕΛΕΥΘΕΡΩΣΗ ΤΑΣΕΩΝ

Η απελευθέρωση τάσεων (ΑΤ) των ΣΣΣ είναι μια εργασία που αποσκοπεί στο μηδενισμό όλων των εσωτερικών τάσεων των σιδηροτροχιών, με τη δημιουργία συνθηκών ελεύθερης διαστολής. Πρόκειται για την πιο σημαντική εργασία, διότι αν δεν εκτελεστεί σωστά οι τάσεις διαστολής θα προκαλέσουν στρέβλωση της εσχάρας (Εικ.2.28), ενώ οι τάσεις συστολής θα αβύση της σιδηροτροχιάς.

Η απελευθέρωση τάσεων πραγματοποιείται ταυτόχρονα και στις δύο σιδηροτροχιές είτε σε ολόκληρο το μήκος των ΣΣΣ μεταξύ δύο συσκευών διαστολής, είτε σε τμήματα αυτού, με ενδεχόμενη κοπή και στη

συνέχεια εκτροπή τουλάχιστον του ενός άκρου του επεξεργασμένου μήκους.



Εικόνα 2.28: Στρέβλωση εσχάρας

Η θερμοκρασία τελικής σύσφιξης των συνδέσμων ($T_{\tau\varsigma}$) στις ΣΣΣ εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Για κάθε περιοχή ορίζεται ένα διάστημα θερμοκρασίας εντός του οποίου γίνεται η τελική σύσφιξη των συνδέσμων, θεωρώντας στη θερμοκρασία αυτή τις σιδηροτροχιές απελευθερωμένες από τάσεις.

Όταν η γραμμή τοποθετείται σε θερμοκρασίες εκτός των ορίων του διαστήματος $T_{\tau\varsigma}$ πραγματοποιείται η λεγόμενη “απελευθέρωση τάσεων” των σιδηροτροχιών προκειμένου να αποφευχθούν τιμές θλιπτικών ή εφελκυστικών τάσεων μεγαλύτερες των ανώτατων προβλεπομένων.

Οι διαδικασία απελευθέρωσης τάσεων περιλαμβάνει τις εξής εργασίες, οι οποίες παρουσιάζονται αναλυτικότερα στη συνέχεια [2]:

- Λύσιμο των συνδέσμων.
- Χαλάρωση της σιδηροτροχιάς.
- Μέτρηση της θερμοκρασίας εκκίνησης (A_T , T_a).
- Επιλογή της θερμοκρασίας σύσφιξης των συνδέσμων.
- Τεχνητή επιμήκυνση της σιδηροτροχιάς όταν $T_a < T_{\tau\varsigma}$.

ΛΥΣΙΜΟ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ

Προκειμένου να διευκολυνθεί η μεταβολή μήκους των σιδηροτροχιών, πρέπει να λυθούν οι σύνδεσμοι και οι αμφιδέτες εφόσον, υπάρχουν καθώς και να απομακρυνθούν ενδεχομένως ευρισκόμενα αντιερπυστικά. Χαλαρώνονται όλοι οι σύνδεσμοι ξεκινώντας από το μέσο του προς απελευθέρωση τμήματος και πηγαίνοντας προς τα άκρα. Οι μηχανές κοχλίωσης απομακρύνονται από τα άκρα του προς απελευθέρωση τμήματος.

ΧΑΛΑΡΩΣΗ ΤΗΣ ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΑΣ

Για την επιτυχία της ελεύθερης διαστολής θα πρέπει, μετά τη χαλάρωση των συνδέσμων, να μειωθούν όλες οι υπάρχουσες τριβές μεταξύ σιδηροτροχιών και στρωτήρων καθώς και οι τριβές των συσκευών διαστολής ($\Sigma\Delta$). Για να επιτευχθεί αυτό λιπαίνουμε τις πλάκες έδρασης των $\Sigma\Delta$ και τοποθετούνται κύλινδρα από σκυρόδεμα κάτω από την έδραση της σιδηροτροχιάς, ανά 8-10 στρωτήρες. Προκειμένου να

διευκολυνθεί η μεταβολή μήκους και να μηδενιστούν οι τριβές, οι σιδηροτροχιές χτυπιούνται με συνθετικές σφύρες ή με ειδικές συσκευές. Η χρήση σιδερένιας σφύρας δεν επιτρέπεται. Κανένα μικρό υλικό δεν πρέπει να εμποδίζει τη σιδηροτροχιά κατά τη μετακίνησή της. Κατά τη χαλάρωση της η σιδηροτροχιά οφείλει να έρθει στο μήκος, το οποίο αντιστοιχεί στην επικρατούσα για εκείνη τη στιγμή θερμοκρασία (T_a).

ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ

Μετά τη χαλάρωση της σιδηροτροχιάς μετριέται η θερμοκρασία της T_a με ειδικό θερμόμετρο, το οποίο τοποθετείται στη σκιερή πλευρά του κορμού της.

ΕΠΙΛΟΓΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΥΣΦΙΞΗΣ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ

Ως θερμοκρασία σύσφιξης των συνδέσμων των σιδηροτροχιών, ιδίως σε καμπύλες με ακτίνα $R > 1000$ m, συνίσταται η τιμή $T_{\text{το}} = T_N + 3$ [$^{\circ}\text{C}$] προκειμένου να ελαχιστοποιούνται οι επικείμενες θλιπτικές τάσεις. Στην Ελλάδα η τελική σύσφιξη των συνδέσμων πρέπει να γίνεται σε θερμοκρασία σιδηροτροχιάς $23^{\circ}\text{--}35^{\circ}\text{C}$.

ΤΕΧΝΗΤΗ ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΑΣ

Εάν δεν είναι δυνατή η επίτευξη της θερμοκρασίας σιδηροτροχιάς $23^{\circ}\text{--}35^{\circ}\text{C}$, τότε υπάρχουν δύο μέθοδοι απελευθέρωσης τάσεων:

- 1) Με εφελκυσμό των σιδηροτροχιών, υδραυλικούς εντατήρες.
- 2) Με θέρμανση των σιδηροτροχιών, ειδικές συσκευές θερμάνσεως (δεν συνίσταται σε μεγάλη μήκη προς απελευθέρωση).

Η αναγκαία μεταβολή μήκους Δl των σιδηροτροχιών, υπολογίζεται με βάση τη διαφορά Δt μεταξύ της θερμοκρασίας τελικής σύσφιξης των συνδέσμων $T_{\text{το}}$.

Το υπολογισθέν Δl σημαδεύεται σε σημεία ελέγχου μετά τη χαλάρωση σιδηροτροχιών. Η απόσταση των σημείων ελέγχου δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει τα 60m. Σε κάθε σημείο ελέγχου σημαδεύεται το αντιστοιχούν επί μέρους Δl_i .

Κατά τη μεταβολή μήκους, οι σιδηροτροχιές αποκτούν το μήκος που οφείλουν να έχουν στη θερμοκρασία A_T . Οι σιδηροτροχιές χτυπιούνται με συνθετικές σφύρες ή με ειδικές συσκευές, όπως και κατά τη χαλάρωση. Η μεταβολή μήκους πρέπει να ελέγχεται συνεχώς στα σημεία ελέγχου.

Οι σιδηροτροχιές συσφίγγονται τελικά μόλις ολοκληρωθεί η υπολογισθείσα μεταβολή μήκους. Η σύσφιξη των μέσων πρέπει να γίνει άμεσα προκειμένου να μην υπάρξει υπαναχώρηση του επιτευχθέντος μήκους.

❖ Περίπτωση που $T_a > T_{\text{το}}$.

Στην περίπτωση που η θερμοκρασία εκκίνησης A_T είναι μεγαλύτερη της θερμοκρασίας σύσφιξης των συνδέσμων οι εργασίες A_T αρχίζουν όταν η θερμοκρασία πέσει στα επίπεδα $T_{\text{το}}$. Τότε οι σιδηροτροχιές συστέλλονται και όσο το εργοτάξιο προχωράει τόσο μεγαλώνει το κενό που δημιουργείται μεταξύ του απελευθερωθέντος τμήματος και του επόμενου τεμαχίου.

Όταν το κενό ξεπεράσει συνήθως τα 9,0 m στις κύριες γραμμές, τότε τοποθετείται ένα τμήμα

σιδηροτροχιάς αντίστοιχου μήκους, το οποίο συγκολλάται και στις δύο άκρες.

Προκειμένου να επιτυγχάνεται το κατάλληλο διάκενο για τη συγκόλληση δύο συνεχόμενων τεμαχίων, τραβιέται πάντα το επόμενο με ειδική πιάστρα, η οποία προσαρμόζεται σε οικοδομικό μηχάνημα (π.χ. εκσκαφέα).

ΤΕΛΙΚΗ ΣΥΣΦΙΞΗ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ

Απομακρύνονται τα κύλιστα, αν υπάρχουν, και γίνεται αποκονίαση στη θέση των συνδέσμων. Συσφίγγονται οι σύνδεσμοι στη θερμοκρασία σύσφιξης. Με την επίτευξη του επί μέρους Δs στις θέσεις ελέγχου, γίνεται άμεσα σύσφιξη συνδέσμων.

ΤΕΛΙΚΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ

Η τελική συγκόλληση είναι συγκόλληση σύνδεσης, η οποία στο τέλος της διαδικασίας ΑΤ συνδέει μια συσφιγμένη σιδηροτροχιά με μία άλλη. Η τελική συγκόλληση πρέπει να γίνεται αμέσως μετά την τελική σύσφιξη των σιδηροτροχιών.

 Σύμφωνα με την Π.Ε.Τ.Ε.Π. 07-03-03-50/ 07-03-03-52/ 07-03-03-54

ΤΕΛΙΚΗ ΣΥΣΦΙΞΗ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ

Αφού ολοκληρωθεί η ΑΤ, γίνεται η οριστική σύσφιξη των συνδέσμων με ειδικό μηχάνημα κοχλιώσεως με μετρητή συσφίξεως ως εξής :

- Με ειδικό φίλερ (σφήνα) μετράται το διάκενο το οποίο σημειώνεται με κιμωλία στο πέλμα της σιδηροτροχιάς στρογγυλοποιημένο κατά 2/10 mm.
- Μεταφέρεται το μέγεθος του διακενου στον μετρητή του μηχανήματος κοχλιώσεως.
- Συσφίγγεται το βλήτρο ή το τυρφώνι μέχρι να δείξει ο μετρητής του μηχανήματος κοχλιώσεως μηδέν.
- Η σύσφιξη θεωρείται κανονική όταν το διάκενο μετά την οριστική σύσφιξη είναι ίσο με 0,2 mm έως 0,3 mm.

 Σύμφωνα με Π.Ε.Τ.Ε.Π. 07-08-03-10

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΕΙΔΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΗ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε ειδικά θέματα που αφορούν τόσο στη λειτουργία όσο και στην κατασκευή της Σιδηροδρομικής Γραμμής. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται:

- Καθιζήσεις στη φάση λειτουργίας της σιδηροδρομικής γραμμής.
- Σκοπός των συνδέσμων.
- Διαλειτουργικότητα.
- Έρμα σε γέφυρα από σιδηροπαγές σκυρόδεμα.

3.1. ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ ΣΤΗ ΦΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ

Κατά τη μελέτη για τη διαστασιολόγηση αλλά και την επιλογή των επιμέρους υλικών μίας σιδηροδρομικής γραμμής, τα “τρωτά” σημεία είναι το έρμα και η υποδομή. Είναι τα στοιχεία της γραμμής που εκδηλώνουν τις παραμένουσες παραμορφώσεις.

Η κυκλοφορία οχήματος επί της γραμμής με μία ταχύτητα V δημιουργεί κατακόρυφες επιταχύνσεις, οι οποίες σε συνδυασμό με τη μάζα του οχήματος και τις ταλαντώσεις της μάζας της ίδιας της γραμμής, προκαλούν δυναμικές καταπονήσεις στη γραμμή. Οι δυναμικές αυτές καταπονήσεις μαζί με τα στατικά φορτία του οχήματος επιφέρουν συνεχείς υποχωρήσεις της γραμμής, οι οποίες με την πάροδο του χρόνου αφήνουν παραμορφώσεις στη γραμμή σε αντίθεση με τις ελαστικές υποχωρήσεις, τις οφειλόμενες στην κίνηση του οχήματος, οι οποίες και επανέρχονται.

Επειδή κατά μήκος της γραμμής οι αντιδράσεις ως προς τις παραμορφώσεις διαφοροποιούνται, οι παραμένουσες στη γραμμή παραμορφώσεις είναι ανομοιόμορφες και αποτελούν την κύρια αιτία δημιουργίας υψομετρικών σφαλμάτων στη γραμμή, με άλλα λόγια συμβάλλουν στη χειροτέρευση της γεωμετρίας της γραμμής. Όσο μικρότερες είναι οι παραμορφώσεις αυτές και όσο πιο αργά εξελίσσονται στο χρόνο, τόσο καλύτερης ποιότητας είναι η γραμμή.

Οι κατακόρυφες δυναμικές επιπονήσεις προκαλούνται από τις εναλλαγές επαφής τροχού και σιδηροτροχιάς λόγω φθοράς του υλικού, οφιοειδούς κινήσεως του οχήματος κ.τ.λ. και είναι ιδιαίτερα δυσμενείς για τα ασταθή τμήματα της γραμμής όπως θέσεις αρμών, θέσεις αλλαγών καθώς και για τα ελατήρια των οχημάτων.

Οφείλουμε λοιπόν να μειώσουμε την εξέλιξη των καθιζήσεων. Για δεδομένη ποιότητα σκύρου, όσον αφορά το μέρος των παραμορφώσεων που οφείλεται στο έρμα, απαιτείται σωστή χρήση των μηχανημάτων γραμμής (ρεγκαλέζα, μπουρέζα, σταμπιλιζάτορας). Επίσης για τις στρώσεις που βρίσκονται κάτω από το έρμα πρέπει να είναι από θραυστό υλικό στην άνω στρώση και συμπύκνωση κατά Proctor

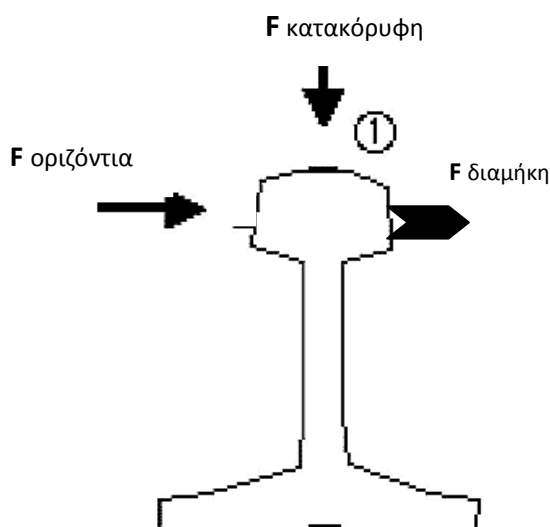
100% [4].

Σημαντικό ρόλο στην καταπόνηση του σκύρου παίζει και η επαφή του με τους στρωτήρες. Γενικά θεωρούμε ομοιόμορφη κατανομή τάσεων κάτω από το στρωτήρα δηλαδή χρησιμοποιούμε μια μέση τιμή πίεσης, στην πραγματικότητα όμως ο στρωτήρας στηρίζεται σε σημεία (τα σημεία επαφής με τους κόκκους του σκύρου). Στη σιδηροδρομική γραμμή δεν υπάρχει ομοιόμορφη έδραση στρωτήρα, ούτε ομοιόμορφη συμπίκνωση έρματος και εδάφους και εμφανίζονται ατέλειες στην επιφάνεια κύλισης της σιδηροτροχιάς, ατέλειες στους τροχούς κ.λπ. Καθοριστική για τη διαστασιολόγηση της επιδομής δεν είναι η μέση τιμή πίεσης, αλλά η μέγιστη τιμή.

3.2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ

Η σιδηροδρομική γραμμή δέχεται κατακόρυφες δυνάμεις λόγω του φορτίου του οχήματος, οριζόντιες δυνάμεις κυρίως στα καμπύλα τμήματά της και διαμήκεις δυνάμεις λόγω της πέδησης (Εικ.3.1). Οι σύνδεσμοι λόγω της παρουσίας αυτών των δυνάμεων σκοπό έχουν να [4]:

1. εξασφαλίζουν μια επαρκή σύσφιγξη-τριβή μεταξύ σιδηροτροχιάς και στρωτήρα,
2. εξασφαλίζουν το εύρος των σιδηροτροχιών,
3. εμποδίζουν τη στρεπτική παραμόρφωση των σιδηροτροχιών.



Εικόνα 3.1: Δυνάμεις στη σιδηροτροχιά λόγω κινητού φορτίου

Οι κατακόρυφες δυνάμεις που δρουν στη σιδηροτροχιά έχουν φορά τόσο προς τα επάνω όσο και προς τα κάτω. Οι δυνάμεις που κατευθύνονται προς τα κάτω αλλάζουν φορά μόλις ο τροχός περάσει από τη θέση που βρίσκεται ο στρωτήρας. Οι δυνάμεις που κινούνται προς τα πάνω δημιουργούνται από την κύμανση της σιδηροτροχιάς που προπορεύεται και ακολουθεί τον τροχό. Όταν ένα όχημα κινείται επί της σιδηροτροχιάς, η σιδηροτροχιά υφίσταται μια συνεχή κρουστική διαδικασία ανύψωσης και πίεσης προς

τα κάτω [4].

Για να ανταποκριθεί σε αυτές τις καταπονήσεις κάθε σύνδεσμος πρέπει να διαθέτει ελαστικότητα, η οποία να παραμένει ανεπηρέαστη και μετά από αρκετούς κύκλους φορτίσεων. Για το λόγο αυτό σύνδεσμοι άκαμπτοι είναι ακατάλληλοι, καθώς και σύνδεσμοι με καρφιά διότι οι κατακόρυφες δυνάμεις προς τα επάνω θα βγάλουν τα καρφιά αυτά από το στρωτήρα μετά από κάποιες φορτίσεις.



Εικόνα 3.2: Ελαστικός σύνδεσμος

Η σύσφιξη της σιδηροτροχιάς στο στρωτήρα πρέπει να είναι επαρκής για να αποτρέπει την όδευση της σιδηροτροχιάς σε υψηλές θερμοκρασίες, δηλαδή λόγω θερμοκρασιακής διαστολής. Αν δεν υπάρχει επαρκής σύσφιξη οδηγούμαστε σε στρέβλωση. Αντίθετα σε χαμηλές θερμοκρασίες η επαρκής σύσφιξη αποτρέπει τη δημιουργία μεγάλων κενών σε περίπτωση θραύσης της σιδηροτροχιάς λόγω θερμοκρασιακής συστολής.

Στο παρελθόν η διατήρηση του εύρους θεωρούνταν ο κύριος ρόλος του συνδέσμου. Η ακρίβεια του εύρους θεωρείται σημαντική προαπαιτούμενη συνθήκη για την αδιατάρακτη κύλιση των τροχών (ημιτονοειδής κύλιση) ακόμη και σε ευθεία. Εάν εμποδίζεται η ημιτονοειδής κύλιση, μπορεί να συμβεί ασταθής κύλιση αυξάνοντας έτσι τις οριζόντιες δυνάμεις που δρουν στη γραμμή.

Κατά πόσο η γραμμή είναι ασφαλής έναντι στρέβλωσης εξαρτάται και από τη στρεπτική αντοχή των συνδέσμων. Μόνο με επαρκή στρεπτική αντοχή μπορούμε να έχουμε υψηλή ακαμψία εσχάρας. Η ακαμψία της εσχάρας είναι κριτήριο για την ασφάλεια έναντι στρέβλωσης της γραμμής.

3.3. ΔΙΑΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ

Σχεδόν όλες οι σιδηροδρομικές γραμμές έχουν σχεδιασθεί ακολουθώντας εθνικά πρότυπα. Υπάρχουν σημαντικές διαφορές από ένα σιδηροδρομικό δίκτυο σε άλλο σχετικά με το εύρος, την ηλεκτροκίνηση και τη σήμανση. Οι διεθνείς σιδηροδρομικές υπηρεσίες απαιτούν αλλαγές των μηχανών στα σύνορα και σε κάποιες περιπτώσεις μεταφόρτωση του φορτίου και μεταφορά των επιβατών από το ένα τρένο στο άλλο. Αυτή η κατάσταση δημιουργεί καθυστερήσεις, υποβαθμίζει την ποιότητα της μεταφοράς, αυξάνει το κόστος και δεν είναι αποδεκτή [17].

Η διαλειτουργικότητα μπορεί να οριστεί ως η ικανότητα του σιδηροδρομικού δικτύου να επιτρέπει την ασφαλή και συνεχή λειτουργία των συρμών. Η διαλειτουργικότητα μπορεί να αναφέρεται είτε στα κατασκευαστικά είτε στα λειτουργικά χαρακτηριστικά (Πίν.3.1)

Πίνακας 3.1: Υποσυστήματα σιδηροδρομικού συστήματος [17]

Τομέας	Υποσύστημα
Δομικής φύσεως	- Υποδομή, - Ενέργεια, - Έλεγχος-χειρισμός και σηματοδότηση, - Τροχαίο υλικό
Λειτουργικής φύσεως	- Διεξαγωγή και διαχείριση της κυκλοφορίας, - Συντήρηση, - Εφαρμογές τηλεπληροφορικής (επιβατικές και εμπορευματικές μεταφορές)

Για τα υποσυστήματα δομικής φύσεως απαιτείται η πιστοποίηση¹ αυτών (Δήλωση “CE”) και η θέση σε χρήση².

3.3.1. Το υποσύστημα υποδομή

Τα στοιχεία διαλειτουργικότητας για το υποσύστημα υποδομή είναι [18]:

- διάταξη γραμμής (κατασκευαστικό εύρος τροχιάς, ελάχιστη καμπυλότητα, μέγιστες κλίσεις, κ.α.),
- παράμετροι της γραμμής (κλίση, ονομαστικό εύρος τροχιάς, κλίση σιδηροτροχιάς, κ.α.),
- χαρακτηριστικά όρια της γραμμής (όριο για την υπερύψωση, μέσο εύρος τροχιάς, κ.α.),
- αλλαγές τροχιάς και διασταυρώσεις (γεωμετρία σχεδιασμού αλλαγών, μέγιστο μήκος αμβλείας διασταύρωσης χωρίς καθοδήγηση, κ.α.),
- αντοχή σιδηροτροχιών στις επιβαλλόμενες φορτίσεις (αντοχή στις κατακόρυφες φορτίσεις, αντοχή στις διαμήκεις φορτίσεις κ.α.),
- αντοχή της κατασκευής στα φορτία κυκλοφορίας (αντοχή νέων γεφυρών στις φορτίσεις κ.α.),
- αποβάθρες (χρησιμοποιούμενο μήκος, ύψος, κ.α.),
- υγιεινή, ασφάλεια και περιβάλλον (επίδραση πλευρικών ανέμων, μέγιστη διακύμανση της πίεσης στα τούνελ),
- πρόβλεψη για τη λειτουργία (δείκτες θέσης),
- μόνιμη εγκατάσταση για την τρέχουσα εξυπηρέτηση τρένων (ανεφοδιασμό καυσίμων, τουαλέτες, ανεφοδιασμό νερού, κ.α.),

Οι τεχνικές προδιαγραφές διαλειτουργικότητας (ΤΠΔ) θέτουν:

- τους όρους που πρέπει να πληρούν τα στοιχεία διαλειτουργικότητας,

¹ αφορά την αξιολόγηση συμμόρφωσης ή/και καταλληλότητας για χρήση.

² το σύνολο των εργασιών με τις οποίες ένα υποσύστημα ή ένα όχημα τίθεται στην επιχειρησιακή κατάσταση την προβλεπόμενη από κατασκευής.

- τη διαδικασία που πρέπει να τηρείται για την πιστοποίηση της συμμόρφωσης προς αυτές [19].

Το υποσύστημα υποδομή θα πρέπει να είναι σύμφωνο προς τις ΤΠΔ που ισχύουν τη στιγμή της:

- θέσης χρήσης,
- ανακαίνισης³ ή
- αναβάθμισης⁴.

Πίνακας 3.2: Κωδικοποίηση ΤΠΔ υποδομής [17]

Κωδικός	ΤΠΔ	Σιδηροδρομικό σύστημα	Ημερομηνία δημ/σης	Ισχύς αρχικής ΤΠΔ από
			Ισχύς από	
1	2	3	4	5
E 02.02.10	Υποδομή Infrastructure (INS)	Υψ. Ταχ.	19.3.08	30.11.02
			01.07.08	

3.3.1.1. Πιστοποίηση

Για να συντάξει τη δήλωση πιστότητας “CE” ή καταλληλότητας χρήσης ενός στοιχείου διαλειτουργικότητας (declaration of verification), ο κατασκευαστής ή ο εγκατεστημένος στην κοινότητα αντιπρόσωπός του εφαρμόζει τις διατάξεις που προβλέπονται στις σχετικές ΤΠΔ.

Η αξιολόγηση της πιστότητας ή της καταλληλότητας χρήσης ενός στοιχείου διαλειτουργικότητας πραγματοποιείται από τον κοινοποιημένο οργανισμό στον οποίο έχει υποβάλλει σχετική αίτηση ο κατασκευαστής ή ο αντιπρόσωπός του ο εγκατεστημένος στην κοινότητα, διαφορετικά οι υποχρεώσεις αυτές βαρύνουν κάθε άλλον που τοποθετεί το στοιχείο διαλειτουργικότητας στην αγορά. Τις ίδιες υποχρεώσεις υπέχει και εκείνος που συναρμολογεί στοιχεία διαλειτουργικότητας ή μέρος των στοιχείων διαλειτουργικότητας διαφόρων προελεύσεων ή κατασκευάζει τα στοιχεία διαλειτουργικότητας για ίδια χρήση.

Το υποσύστημα υποδομή πρέπει να υπόκειται σε διαδικασία επαλήθευσης, η οποία επιτρέπει στις αρμόδιες αρχές, που εγκρίνουν τη θέση σε χρήση, να βεβαιώνεται ότι, στο στάδιο του σχεδιασμού, της κατασκευής και της θέσης σε χρήση, το αποτέλεσμα είναι σύμφωνο προς τις ισχύουσες κανονιστικές, τεχνικές και λειτουργικές διατάξεις [19].

Η επαλήθευση “CE” είναι η διαδικασία με την οποία ένας κοινοποιημένος οργανισμός⁵ επαληθεύει και πιστοποιεί ότι το υποσύστημα είναι [17]:

³ σοβαρές εργασίες υποκατάστασης ενός υποσυστήματος ή τμήματος ενός υποσυστήματος, οι οποίες δεν τροποποιούν τις συνολικές επιδόσεις του υποσυστήματος.

⁴ σοβαρές εργασίες μετατροπής ενός υποσυστήματος ή τμήματος ενός υποσυστήματος, οι οποίες βελτιώνουν τις συνολικές επιδόσεις του υποσυστήματος.

⁵ ο οργανισμός που είναι επιφορτισμένος με την αξιολόγηση της πιστότητας ή της καταλληλότητας χρήσης των στοιχείων διαλειτουργικότητας ή τη διεξαγωγή της διαδικασίας επαλήθευσης CE των υποσυστημάτων.

- σύμφωνο προς τις διατάξεις της οδηγίας,
- σύμφωνο προς άλλες κανονιστικές διατάξεις, οι οποίες εφαρμόζονται σύμφωνα με τη συνθήκη και μπορεί να τεθεί σε χρήση.

❖ Τεχνικός φάκελος

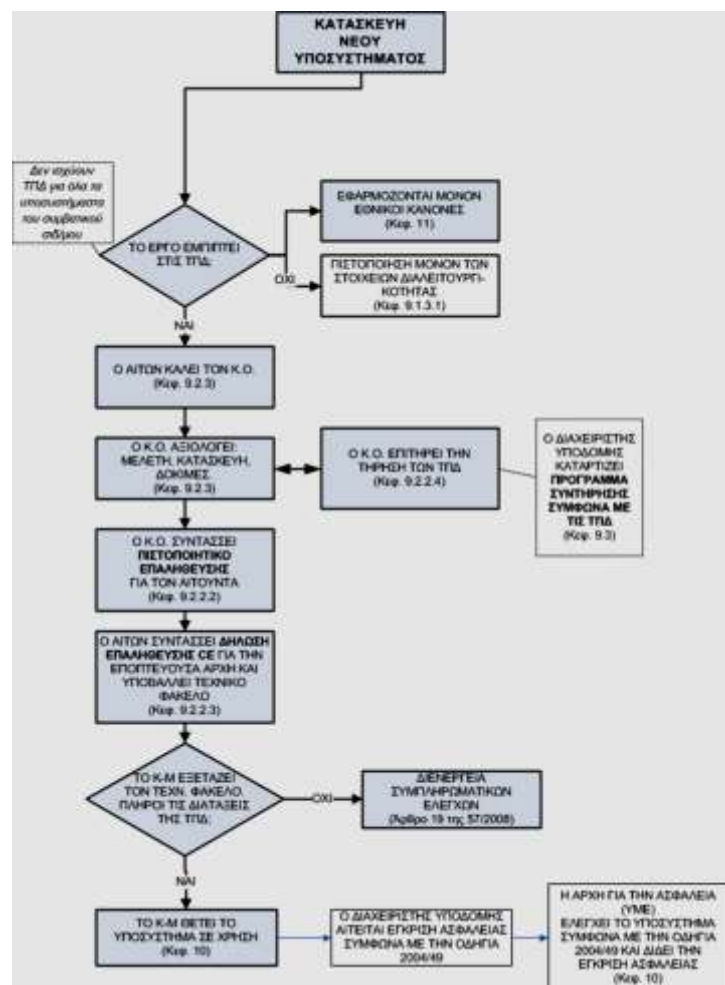
Ο τεχνικός φάκελος ο οποίος συνοδεύει τη δήλωση επαλήθευσης πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα βασικά:

- σχέδια των τεχνικών έργων, πρακτικά παραλαβής των έργων εκσκαφής και του σπλισμού, εκθέσεις δοκιμών και ελέγχου για το σκυρόδεμα, κ.λ.π.,
- κατάλογο των στοιχείων διαλειτουργικότητας που είναι ενσωματωμένα στο υποσύστημα υποδομής,
- αντίγραφα των δηλώσεων πιστότητας “CE” ή καταλληλότητας χρήσης.

❖ Επιτήρηση

Σκοπός της επιτήρησης CE είναι να εξασφαλιστεί ότι, κατά τη διάρκεια της κατασκευής του υποσυστήματος, τηρήθηκαν οι υποχρεώσεις που απορρέουν από τον τεχνικό φάκελο. Δύο βασικές υποχρεώσεις της επιτήρησης είναι οι ακόλουθες:

- Ο κοινοποιημένος οργανισμός είναι επιφορτισμένος με την επαλήθευση της εκτέλεσης πρέπει να έχει συνεχώς πρόσβαση στα εργοτάξια, εργοστάσια, στους χώρους αποθήκευσης και, εάν συντρέχει λόγος, προκατασκευής, στις εγκαταστάσεις δοκιμών και εν γένει σε όλους τους χώρους στους οποίους μπορεί να κρίνει αναγκαία την πρόσβασή του για την εκτέλεση της αποστολής του.
- Ο αιτών οφείλει να του παραδίδει ή να φροντίζει να του παραδίδονται



Εικόνα 3.3.: Διαδικασία πιστοποίησης για νέο υποσύστημα

όλα τα αναγκαία για το σκοπό αυτό έγγραφα, και ιδίως τα σχέδια εκτέλεσης και ο τεχνικός φάκελος που αφορούν στο υποσύστημα.

3.3.1.2. Ασφάλεια

Στο πλαίσιο της δημιουργίας μια ενιαίας αγοράς υπηρεσιών σιδηροδρομικών μεταφορών, χρειάστηκε να θεσπιστεί ένα κοινό ρυθμιστικό πλαίσιο για την ασφάλεια των σιδηροδρόμων. Κάθε κράτος καταρτίζεται από τα δικά του πρότυπα και κανόνες ασφαλείας, που βασίζονται στις τεχνικές και λειτουργικές έννοιες εθνικού επιπέδου. Οι διαφορές ως προς τις αρχές, την προσέγγιση και τη νοοτροπία δυσχεραίνουν την άρση των τεχνικών φραγμών και την καθιέρωση διεθνών μεταφορικών δραστηριοτήτων.

Η οργανισμοί που εμπλέκονται με την ασφάλεια είναι [19]:

- Εθνική αρχή ασφαλείας
- ERA (European Railway Agency)
- Διαχειριστής υποδομής (ΟΣΕ)
- Σιδηροδρομική επιχείρηση (ΤΡΑΙΝΟΣΕ)

Η υποχρέωση για τη σιδηροδρομική επιχείρηση (ΤΡΑΙΝΟΣΕ) προκειμένου να αποκτήσει πρόσβαση στη σιδηροδρομική υποδομή είναι να έχει λάβει πιστοποιητικό ασφαλείας. Ο διαχειριστής υποδομής (ΟΣΕ) έχει καίρια ευθύνη για τον ασφαλή σχεδιασμό, συντήρηση και λειτουργία του οικείου σιδηροδρομικού δικτύου. Για να έχει το δικαίωμα ο διαχειριστής υποδομής να διαχειρίζεται και να εκμεταλλεύεται την εθνική σιδηροδρομική υποδομή, οφείλει να λαμβάνει έγκριση ασφαλείας από την Αρχή.

Η έγκριση ασφαλείας περιλαμβάνει έγκριση, η οποία επιβεβαιώνει [19]:

- την αποδοχή του συστήματος διαχείρισης της ασφάλειας του διαχειριστή της υποδομής,
- την αποδοχή των μέτρων που έχει λάβει ο διαχειριστής υποδομής προκειμένου να τηρούνται συγκεκριμένες προδιαγραφές, απαραίτητες για τον ασφαλή σχεδιασμό, συντήρηση και λειτουργία της σιδηροδρομικής υποδομής, συμπεριλαμβανομένης, εφόσον παρίσταται ανάγκη, της συντήρησης και λειτουργίας του συστήματος ελέγχου κυκλοφορίας και σηματοδότησης.

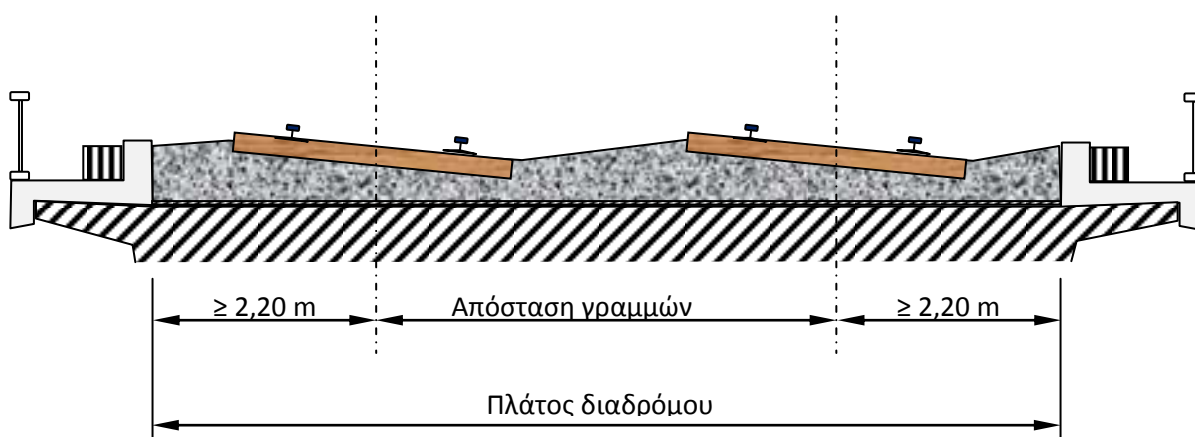
Για την εκπλήρωση των υποχρεώσεων εφαρμόζεται ένα Σύστημα Διαχείρισης Ασφάλειας-ΣΔΑ (Safety Management System). Το σύστημα αυτό πρέπει να εξασφαλίζει τον έλεγχο όλων των κινδύνων, συμπεριλαμβανομένης της παροχής συντήρησης και της χρησιμοποίησης εργολάβων και τους κινδύνους που προκύπτουν από δραστηριότητες τρίτων.

3.4. ΕΡΜΑ ΣΕ ΓΕΦΥΡΑ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Κατασκευαστική αρχή της σταθερής επιδομής τύπου Rhoda/Spugeberg

Μια προκατασκευασμένη σιδηροδρομική εσχάρα αποτελούμενη από σιδηροτροχιές, στρωτήρες με προεντεταμένο σκυρόδεμα και οπλισμό, σκυροδοτείται επί μίας ήδη έτοιμης πλάκας από οπλισμένο σκυρόδεμα μορφής σκάφης, με τη βοήθεια ελικοειδών στηρίξεων [22]. Η κατανομή του κινητού φορτίου (από τους συρμούς) προς επίτευξη της αναγκαίας κάμψης της σιδηροτροχιάς, ολοκληρώνεται μέσω ελαστικής στήριξης (ελαστικοί σύνδεσμοι) των σιδηροτροχιών.

Τα πλευρικά στοιχεία της σκαφοειδούς κατασκευής, χρησιμεύουν για τη στήριξη των ελικοπτών, των καλουπιών για το μπετόν πλήρωσης και ως επιφάνεια κύλισης για τα μηχανήματα σκυροδέτησης (Εικ.3.4). Μεταξύ της εσχάρας και της φέρουσας πλάκας τοποθετείται μια Folie ή γίνεται ψεκασμός με διαχωριστικό μέσο, ώστε να είναι εύκολη η ανύψωση της εσχάρας σε περίπτωση επισκευής ή ανακαίνισης.



Εικόνα 3.4: Διατομή γέφυρας από σκυρόδεμα με έρμα

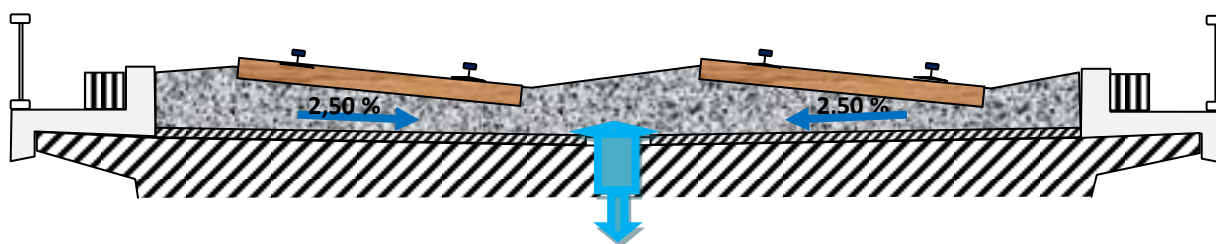
Η ανωδομή γεφυρών είναι το φέρον στοιχείο, το οποίο δέχεται άμεσα τα φορτία από την κυκλοφορία συρμών [22]. Πρέπει να προσφέρει όλες τις αναγκαίες λειτουργικές συνιστώσες, ώστε να εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη σιδηροδρομική λειτουργία στην γέφυρα, ήτοι:

- i. την επιδομή με έρμα ή σταθερή επιδομή,
- ii. τις εγκαταστάσεις ηλεκτροκίνησης,
- iii. τις εγκαταστάσεις σηματοδότησης,
- iv. παράπλευρους διαδρόμους ή/και ηχοπετάσματα.

Συνήθης τύπος της ανωδομής είναι η γέφυρα με δάπεδο (κατάστρωμα). Το δάπεδο είναι το επίπεδο λειτουργίας της ανωδομής, επί του οποίου πρέπει να είναι διατεταγμένες όλες οι αναγκαίες λειτουργικές συνιστώσες, που απαιτούνται για τη σιδηροδρομική λειτουργία. Επίσης πρέπει να εξασφαλίζει το περιτύπωμα ανοικτής γραμμής.

Στον τύπο αυτό γέφυρας, ο κύριος φορέας καθώς και άλλα φέροντα κατασκευαστικά στοιχεία βρίσκονται

κάτω από το επίπεδο του διαδρόμου και δεν εξέρχουν υπεράνω του επιπέδου λειτουργίας. Στην κατηγορία αυτή γεφυρών, δεν ανήκουν αυτές με φορέα "δικτύωμα".



Εικόνα 3.5: Κλίσεις και απορροή υδάτων σε γέφυρα

Πλεονεκτήματα των γεφυρών με δάπεδο [22]:

- όλα τα φέροντα στοιχεία είναι προστατευμένα στην περίπτωση εκτροχιασμού συρμού,
- όλα τα φέροντα στοιχεία βρίσκονται κάτω από την προστατευτική στρώση και δεν επηρεάζονται από τα μηχανήματα επιδομής, ούτε από τα επιφανειακά ύδατα,
- η γεωμετρία της επιδομής παραμένει η ίδια όπως στην ανοικτή γραμμή, με αποτέλεσμα να μην επηρεάζονται η ταχύτητα και η άνεση του ταξιδιού, αφετέρου η επιδομή δέχεται τα ίδια μηχανήματα συντήρησης, εξασφαλίζοντας έτσι μια οικονομική συντήρηση της γραμμής και στη γέφυρα,
- για τις συχνότερες περιπτώσεις εκτροχιασμού, παρέχει τη δυνατότητα προστασίας των οχημάτων από κατακρημνισμό, όταν το δάπεδο (κατάστρωμα) κατασκευαστεί επαρκώς φαρδύ και υπολογιστεί με πρόσθετα φορτία εκτροχιασμού.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΑΝΩΔΟΜΗΣ

➤ *Ο διάδρομος κύλισης των συρμών*

Στον διάδρομο κύλισης των συρμών ανήκει η επιδομή ενδεχομένως και με υποερμάτιο τάπητα. Η επιδομή αποτελείται είτε από σκυρογραμμή, είτε από σταθερή επιδομή η οποία προτιμάται σε γραμμή υψηλών ταχυτήτων (ΓΥΤ). Το ύψος του διαδρόμου κύλισης αποτελεί σημαντικό στοιχείο του ύψους της ανωδομής.

➤ *Οι στρώσεις προστασίας*

Κάτω από τον διάδρομο κύλισης τοποθετούνται μια στρώση μηχανικής προστασίας και μια στρώση στεγάνωσης. Η στρώση μηχανικής προστασίας προστατεύει την άνω περιοχή του φορέα από βλάβες που μπορεί να προξενήσουν μηχανήματα και τα εργαλεία συντήρησης της γραμμής, ενώ η στεγανωτική στρώση προστατεύει από τη διείσδυση του νερού στα φέροντα στοιχεία.

➤ *Το κατάστρωμα*

Το κατάστρωμα επί του οποίου εδράζεται ο διάδρομος κύλισης, δέχεται άμεσα τα φορτία από την κυκλοφορία των συρμών καθώς και τα φορτία από το ίδιο βάρος του διαδρόμου κύλισης και τα

μεταβιβάζει στον κύριο φορέα της γέφυρας.

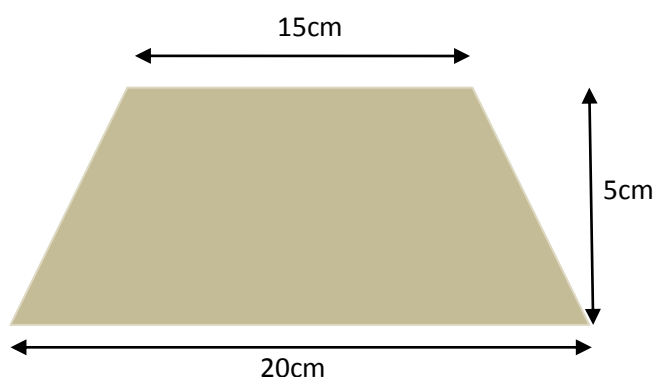
➤ *Ο κύριος φορέας*

Ο κύριος φορέας, ο οποίος παραλαμβάνει τα φορτία από το κατάστρωμα και τα μεταβιβάζει στους πυλώνες. Το ύψος της υπερκατασκευής (ανωδομής) μετράται από την άνω κεφαλή σιδηροτροχιάς (ΑΚΣ) από την κάτω πλευρά του κυρίως φορέα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΠΡΟΠΛΑΣΜΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία συνοδεύεται από το πρόπλασμα κατασκευής σιδηροδρομικής γραμμής με έρμα, το οποίο έχει κλίμακα 1:85 και βρίσκεται στο Εργαστήριο Σιδηροδρομικής, του Τμήματος Συγκοινωνιακής Υποδομής και Μεταφορών, της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών.

Αρχικά δημιουργήθηκε μια βάση από ξύλο, πάνω στην οποία προσομοιώθηκε η μορφή του επιχώματος με τη βοήθεια διογκωμένης πολυστερίνης (felizol) (Εικ.4.1). Στη συνέχεια επενδύθηκε το felizol με γυψόγαζα, με σκοπό να κολληθούν επί αυτού χαλίκια.



Εικόνα 4.1: Διατομή επιχώματος

Για το επίχωμα χρησιμοποιήθηκε υλικό, το οποίο αποτελείται από ψιλή άμμο και από μικρά χαλίκια. Η προστατευτική στρώση κατασκευάσθηκε, επίσης, από ψιλή άμμο. Η στρώση έρματος κατασκευάσθηκε από ρυζάκι (οικοδομικό υλικό, πολύ ψιλό, λευκό ιριδίζον). Η σιδηροδρομική εσχάρα διαθέτει πλαστικούς στρωτήρες ως απομίμηση ξύλινων και μεταλλικές σιδηροτροχιές (Εικ.4.2).



Εικόνα 4.2: Υλικά προπλάσματος

Τα στάδια των εργασιών που αναπαρίστανται στο πρόπλασμα είναι:

1. Εκσκαφή φυτικών γαιών (Εικ.4.3).
2. Κατασκευή επιχώματος σε στρώσεις (Εικ.4.3).
3. Τοποθέτηση γεφυφάσματος (ταμπέλα με τις προϋποθέσεις).
4. Κατασκευή προστατευτικής στρώσης και συμπύκνωσή της.
5. Εκφόρτωση σιδηροτροχιών.
6. Προσκυρόστρωση.
7. Εκφόρτωση στρωτήρων με πυλώνα (εικόνα από πυλώνα).
8. Αναβίβαση σιδηροτροχιών με φρίντερ (φρίντερ σε εικόνα) (Εικ.4.4).
9. Σκυρόστρωση.
10. Συγκολλήσεις (εικόνες με τα διαδοχικά στάδια).
11. Απελευθέρωση τάσεων (εικόνα από υδραυλικό εντατήρα) (Εικ. 4.5).



Εικόνα 4.3: Εκσκαφή φυτικών γαιών και κατασκευή επιχώματος σε στρώσεις



Εικόνα 4.4: Αναβίβαση σιδηροτροχιών με φρίντερ



Εικόνα 4.5: Στάδια κατασκευής 1-8



Εικόνα 4.6: Στάδια κατασκευής 8-11

Τα μοντέλα των μηχανημάτων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα ακόλουθα:

- Εκσκαφέας.
- Διαμορφωτής γαιών (γκρέιντερ).
- Φορητό.
- Οδοστρωτήρας.
- Δονητής συμπύκνωσης.
- Σκυροβάγονα.
- Μηχανή έλξης.
- Μηχάνημα οριζοντιογραφικής και υψομετρικής τακτοποίησης της γραμμής.
- Μηχάνημα διαμόρφωσης έρματος.
- Μηχάνημα σταθεροποίησης έρματος.

Οι εργασίες στις οποίες χρησιμοποιείται καθένα από τα παραπάνω μοντέλα μηχανημάτων φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίν. 4.1).

Πίνακας 4.1: Χρήση μοντέλων μηχανημάτων στις εργασίες κατασκευής

		ΜΗΧΑΝΗΜΑ												
		Εκσκαφέας	Διαμορφωτής γαιών	Φορητό	Οδοστρωτήρας	Δομητής συμπίκνωσης	Πυλώνας	Φρίντερ	Σκυροβάγωνα	Μηχανή έλξης	Μηχάνημα οριζοντιογραφικής και υψομετρικής τακτοποίησης της γραμμής	Μηχάνημα διαμόρφωσης έρματος	Μηχάνημα σταθεροποίησης έρματος	Υδραυλικός εντατήρας
ΕΡΓΑΣΙΑ	Εκσκαφή φυτικών γαιών	+	+											
	Κατασκευή επιχώματος σε στρώσεις	+		+	+									
	Κατασκευή&συμπύκνωση προστατευτικής στρώσης				+	+								
	Εκφόρτωση σιδηροτροχιών	+		+										
	Εκφόρτωση στρωτήρων με πυλώνα						+							
	Αναβίβαση σιδηροτροχιών με φρίντερ							+						
	Σκυρόστρωση								+	+	+	+	+	
	Απελευθέρωση τάσεων													+

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολήθηκε με το θέμα της κατασκευής σιδηροδρομικής γραμμής με έρμα, πιο συγκεκριμένα:

- Προδιαγραφές.
- Στάδια εργασιών.
- Ειδικές περιπτώσεις.
- Πρόπλασμα.

Όσον αφορά στις ειδικές περιπτώσεις, μια ενδιαφέρουσα έρευνα θα μπορούσε να είναι το θέμα της διαλειτουργικότητας και το κατά πόσον έχει εφαρμογή στο ελληνικό σιδηροδρομικό δίκτυο. Πρόκειται για μια νέα έννοια που στη χώρα μας βρίσκεται σε αρχικά στάδια.

Ερευνητικό ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης και η κατασκευή σιδηροδρομικής γραμμής με σταθερή επιδομή, δηλαδή οι προδιαγραφές, τα στάδια εργασιών και το πρόπλασμα αυτής.

Τέλος, θα μπορούσε να υλοποιηθεί ένα λογισμικό πρόγραμμα υπολογισμού του απαιτούμενου χρόνου ολοκλήρωσης ενός σιδηροδρομικού έργου, καθώς και του μέσου κόστους κατασκευής του. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για τον υπολογισμό του χρόνου υλοποίησης μια εισαγόμενη παράμετρος θα μπορούσε να είναι ο τύπος και το πλήθος των μηχανημάτων. Αντίστοιχα, το μέσο κόστος θα προέκυπτε από τα τεχνικά χαρακτηριστικά και την ποιότητα των υλικών κατασκευής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] V.A. Profilidis, *Railway Management and Engineering (Third Edition)*, Burlington: Ashgate, 2006.
- [2] Κ. Λυμπέρης (επίκουρος καθηγητής Ε.Μ.Π.), *Σιδηροδρομική Θεωρία και Εφαρμογές (Τόμος Ι και Τόμος ΙΙ)*, Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία, 2009.
- [3] Κ. Τζανακάκης, *Μέθοδοι Εργασίας Στρώσης-Ανακαίνισης Γραμμής*, Αθήνα: Σημειώσεις, 2004.
- [4] Γ. Εμμ. Ταλαμπέκος, *Ειδικά Θέματα Σιδηροδρομικής Γραμμής*, Αθήνα: Σημειώσεις, 2001.
- [5] Γ. Εμμ. Ταλαμπέκος, *Στρώση Γραμμών με Συνεχώς Συγκολλημένες Σιδηροτροχιές*, Αθήνα: Σημειώσεις, 2003.
- [6] Κ. Λυμπέρης, *Σιδηροδρομική Τεχνική*, Αθήνα: Ε.Μ.Π., 2013.
- [7] Κ. Τζανακάκης, *Εργοτάξια επιδομής: Οργάνωση εργοταξίων, Τρόπος εκτέλεσης εργασιών επιδομής*, Αθήνα: Σημειώσεις 1990.
- [8] *Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές Π.Ε.Τ.Ε.Π.*, Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., 2006.
- [9] *Τεχνικές Προδιαγραφές Διαλειτουργικότητας (TSI)*, Υπουργείο Υποδομών Μεταφορών και Δικτύων, 2009.
- [10] Δ. Τσανακτσίδης, *Σύνοψη Επίσκεψης σε Εργοτάξια Σιδηροδρομικής Υποδομής*, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2004.
- [11] Διεύθυνση Σιδηροδρομικών Συστημάτων, *Κανονιστικά κείμενα Επιδομής (Π.Ε.Τ.Ε.Π.)*, 2004.
- [12] Αθ. Κουτσούλας, *Η αποστράγγιση των υποδομών των μεταφορικών συστημάτων-σιδηροδρομικές γραμμές-διάδρομοι προσγείωσης/απογείωσης αεροσκαφών*, Μεταπτυχιακή Εργασία, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 19σελ., 2012.
- [13] Pavetest, Εργαστηριακές δοκιμές δομικών υλικών.
- [14] Β.Χρησταράς, *Όρια Atterberg*, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ, 2002.
- [15] *Σιδηρόδρομοι*, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων ΕΜΠ.
- [16] *Διασφάλιση ποιότητας σκύρων γραμμής*, Γενική Διεύθυνση Υποδομής, 2010.
- [17] Κ. Τζανακάκης, *Διαλειτουργικότητα-Οδηγός εφαρμογής*, Ε.ΔΙ.Σ.Υ, 2008.
- [18] *Interoperability Unit-Union Rail System, Subsystem Infrastructure, TSI Infrastructure*, EUROPEAN RAILWAY AGENCY, 2012.
- [19] Κ. Τζανακάκης, Διευθυντής Γραμμής, *Παρουσιάσεις για τη Διαλειτουργικότητα-Ασφάλεια*, 2012.
- [20] Tezlaff, Marz 1991 (3), *Der eisenbahn ingenieur*, σελ.102-106
- [21] Klous Lieberenz-Claus Göbel, *Handbuch Erdbauwerke (der bahnen)*, Tezlaff-Hestra GmbH and Co.KG, 2004.
- [22] Rolf H.Pfeifer/ Tristan M.Mölter, *Handbuch Eisenbahnbrücken*, DW Media Group GmbH Hamburg ,2008.

Διαδικτυακοί τόποι

- [1] <http://www.ggde.gr>
- [2] <http://www.yme.gr>

- [3] <http://www.tsanak.gr>
- [4] <http://www.inforail-ose.gr>
- [5] <http://invenio.lib.auth.gr>
- [6] <http://pavetest.gr>
- [7] <http://www.geo.auth.gr>
- [8] <http://portal.survey.ntua.gr>
- [9] <http://www.inforail-ose.gr>