



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕΣΩ
ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΒΥΘΙΣΗΣ ΤΗΣ ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΑΣ ΣΕ ΝΕΟ ΤΜΗΜΑ
ΓΡΑΜΜΗΣ ΤΟΥ Ο.Σ.Ε. ΣΤΟ Σ.Σ.ΛΙΑΝΟΚΛΑΔΙΟΥ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΑΛΕΙΑ Σ. ΚΑΡΑΒΑΚΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:
ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΜΠΑΛΛΗΣ

Αθήνα, Ιούλιος 2017

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός του Δείκτη Αντίδρασης Εδάφους μέσω μετρήσεων βύθισης της σιδηροτροχιάς. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού επιλέχθηκε η διεξαγωγή μετρήσεων βύθισης μέσω ειδικού εξοπλισμού σε νέο τμήμα γραμμής του Ο.Σ.Ε. και συγκεκριμένα στο Σιδηροδρομικό Σταθμό Λιανοκλαδίου που ανήκει στο τμήμα Τιθορέας –Δομοκού. Ο υπολογισμός του Δείκτη Αντίδρασης Εδάφους έγινε σύμφωνα με τη θεωρία του Zimmermann και αποτέλεσε βασική παράμετρο για τον υπολογισμό των κατακόρυφων τάσεων κάτω από το στρωτήρα. Σύμφωνα με τη θεωρία του Odemark υπολογίστηκαν οι κατακόρυφες τάσεις κάτω από την υπό εξέταση διατομή και οι τιμές που προέκυψαν συγκρίθηκαν με τα επιτρεπόμενα όρια προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την καταπόνηση της επιδομής και την πιθανότητα αστοχίας του εδάφους.

Διευκρινίζεται ότι η παρούσα εργασία, λόγω μικρού αριθμού μετρήσεων και συνεπαγόμενης στατιστικής αβεβαιότητας, δεν μπορεί επ' ουδενί να εξάγει αντιπροσωπευτικά συμπεράσματα σχετικά με την κατάσταση της γραμμής του Ο.Σ.Ε., αλλά αποτελεί μια πρώτη προσέγγιση του αντικειμένου.

Λέξεις κλειδιά: δείκτης αντίδρασης εδάφους, έρμα, βύθιση, σιδηροτροχιά, κατακόρυφες τάσεις, επιτρεπόμενα όρια, ελαστικότητα

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to determine the Ground Reaction Index by means of rail immersion measurements. To achieve this goal it was chosen to perform immersion measurements through special equipment on a new line section of the OSE's railway, specifically at the Lianokladi Railway Station that belongs to the Tithorea-Domokos line. The calculation of the Ground Reaction Index was done according to Zimmermann's theory and was a basic parameter for the calculation of the vertical stresses below the sleeper. According to Odemark's theory, the vertical stresses under the cross-section were calculated and the resulting values were compared to the allowed limits in order to draw conclusions about the stress of the substructure and the probability of soil failure.

It is clarified that the present work, due to a small number of measurements and resulting statistical uncertainty, can not in any case draw out representative conclusions about the status of the OSE's line, but it can be considered as a first approach to the subject.

Key words: ground reaction index, ballast, immersion, rail, vertical stresses, allowed limits, elasticity

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	5
2 ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΤΗΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ	6
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
2.2 ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗ ΥΠΟΔΟΜΗ.....	7
2.2.1 ΣΤΡΩΣΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ.....	9
2.2.2 ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΗ ΣΤΡΩΣΗ.....	11
2.2.3 ΓΕΩΥΦΑΣΜΑ.....	14
2.2.4 ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΑ.....	17
2.3 ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗ ΕΠΙΔΟΜΗ.....	18
2.3.1 ΥΛΙΚΑ ΕΠΙΔΟΜΗΣ.....	19
3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΔΟΜΗΣ	32
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	32
3.2 ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΔΟΜΗ.....	33
3.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ.....	35
3.4 Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	40
3.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ C.....	41
3.6 Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΣΤΡΩΤΗΡΑ.....	42
3.7 Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ ΟΔΕΜΑΡΚ.....	49
3.7.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΣΕΩΝ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΟΛΛΩΝ ΣΤΡΩΣΕΩΝ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ.....	52
3.7.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΓΕΙΤΟΝΙΚΩΝ ΣΤΡΩΤΗΡΩΝ ΣΤΙΣ ΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	54
3.7.3 ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ.....	56
3.8 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΕΛΕΥΣΗ ΣΥΡΜΟΥ ΣΕ ΕΠΙΔΟΜΗ, ΥΠΟΔΟΜΗ ΚΑΙ ΥΠΕΔΑΦΟΣ.....	57
3.8.1 ΜΕΓΕΘΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ ΣΥΡΜΟ.....	57
3.8.2 ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΕΛΕΥΣΗ ΣΥΡΜΩΝ..	62
3.8.3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ.....	63
3.9 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΒΥΘΙΣΕΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΜΙΚΡΩΝ ΚΑΙ ΜΕΓΑΛΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΔΙΕΛΕΥΣΗΣ ΣΥΡΜΩΝ.....	64
4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΟ ΟΡΓΑΝΟ PCD-300Α ΣΤΟ Σ.Σ.ΛΙΑΝΟΚΛΑΔΙΟΥ	65
4.1 ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	65
4.2 ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	68
4.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΟΡΓΑΝΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ PCD-300Α ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ	

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ PCD-30Α.....	70
4.4 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΟΡΓΑΝΟΥ ΣΤΟ Σ.Σ.ΛΙΑΝΟΚΛΑΔΙΟΥ.....	74
4.5 ΟΙ ΣΥΡΜΟΙ ΤΟΥ ΥΠΕΡΑΣΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΘΗΝΑ-ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ.....	78
4.5.1 ΦΟΡΤΙΟ ΤΡΟΧΟΥ.....	88
4.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	89
4.6.1 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	89
4.6.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ Σ.Σ. ΛΙΑΝΟΚΛΑΔΙΟΥ.....	89
4.6.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	91
4.6.4 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	102
5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ.....	108
5.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	108
5.2 ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΒΥΘΙΣΗ.....	113
5.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ.....	116
5.3.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΣΕΩΝ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΥΠΟ ΕΞΕΤΑΣΗ ΔΙΑΤΟΜΗ.....	120
5.3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΓΕΙΤΟΝΙΚΩΝ ΣΤΡΩΤΗΡΩΝ ΣΤΙΣ ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΥΠΟ ΕΞΕΤΑΣΗ ΔΙΑΤΟΜΗ.....	123
5.3.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΑΣΕΩΝ.....	130
6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	134
7 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ.....	136
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	137
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	143
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ.....	149
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	216
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	217

1

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την κατάσταση τμήματος σιδηροδρομικής γραμμής μέσω διερεύνησης του Δείκτη Αντίδρασης Εδάφους. Η εκτίμηση του Δείκτη Αντίδρασης Εδάφους επιλέχθηκε να γίνει μέσω μετρήσεων βύθισης της σιδηροτροχιάς με τη χρήση ειδικού εξοπλισμού του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Η μέτρηση των βυθίσεων της σιδηροτροχιάς αποφασίστηκε να γίνει σε νέο τμήμα γραμμής του Ο.Σ.Ε. στο Σιδηροδρομικό Σταθμό Λιανοκλαδίου, λόγω του ότι η πρόσβαση στο συγκεκριμένο σημείο ήταν ευκολότερη σε σχέση με άλλα νεοκατασκευασθέντα τμήματα. Ταυτόχρονα, η γραμμή στην οποία έγιναν οι μετρήσεις ήταν, το διάστημα που διεξήχθησαν οι μετρήσεις, σε διπλή κυκλοφορία. Έτσι, η δυνατότητα καταγραφής αποτελεσμάτων από διελεύσεις συρμών και προς Αθήνα και προς Θεσσαλονίκη συνετέλεσε στην λήψη περισσότερων αποτελεσμάτων καταγραφής σε μικρότερο χρονικό διάστημα.

Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζονται όλο το απαραίτητο θεωρητικό υπόβαθρο, η διαδικασία διεξαγωγής των μετρήσεων και όλες οι ενδιάμεσες ενέργειες, η επεξεργασία και ανάλυση των αποτελεσμάτων καταγραφής και τέλος τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν για τη συγκεκριμένη θέση της σιδηροδρομικής γραμμής.

2

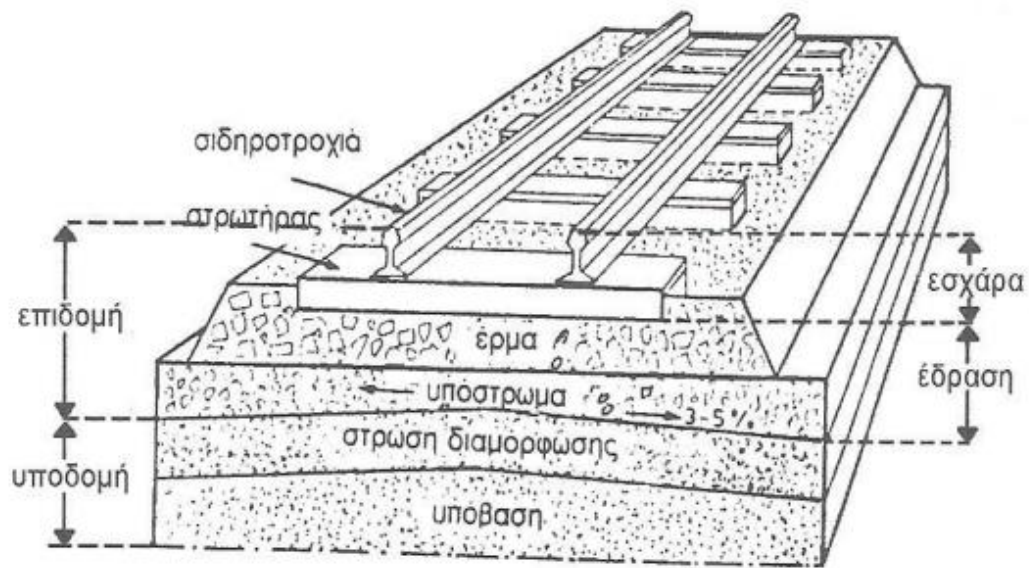
ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΤΗΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σιδηροδρομική γραμμή είναι μια αλληλοδιαδοχή καθ' ύψος διάφορων υλικών ή στρώσεων υλικών, που καθορίζουν την τελική της θέση και τις ιδιότητες, με τις οποίες «αντιδρά» στη «δράση» που δημιουργείται από την κίνηση ενός σιδηροδρομικού οχήματος.

Τα υλικά ή οι στρώσεις που απαρτίζουν τη σιδηροδρομική γραμμή μπορούν να προσομοιωθούν από ένα συνδυασμό “ελατηρίων”, που λειτουργούν σαν αποσβεστήρες κατά την κίνηση των συρμών. Η σιδηροδρομική γραμμή περιλαμβάνει δύο επί μέρους υποσυστήματα:

- α)** Την υποδομή (προστατευτική στρώση, στρώση διαμόρφωσης, βάση ή υπόβαση) και
- β)** Την επιδομή (σιδηροτροχιές, στρωτήρες, σύνδεσμοι, έρμα ή σταθερή επιδομή και μικρό υλικό)



Εικόνα 2.1: Τυπική διατομή σιδηροδρομικής γραμμής

2.2 ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗ ΥΠΟΔΟΜΗ

Η υποδομή της γραμμής είναι το στρώμα του εδάφους πάνω στο οποίο κατασκευάζεται η επιδομή της γραμμής και περιλαμβάνει συνήθως δύο στρώσεις:

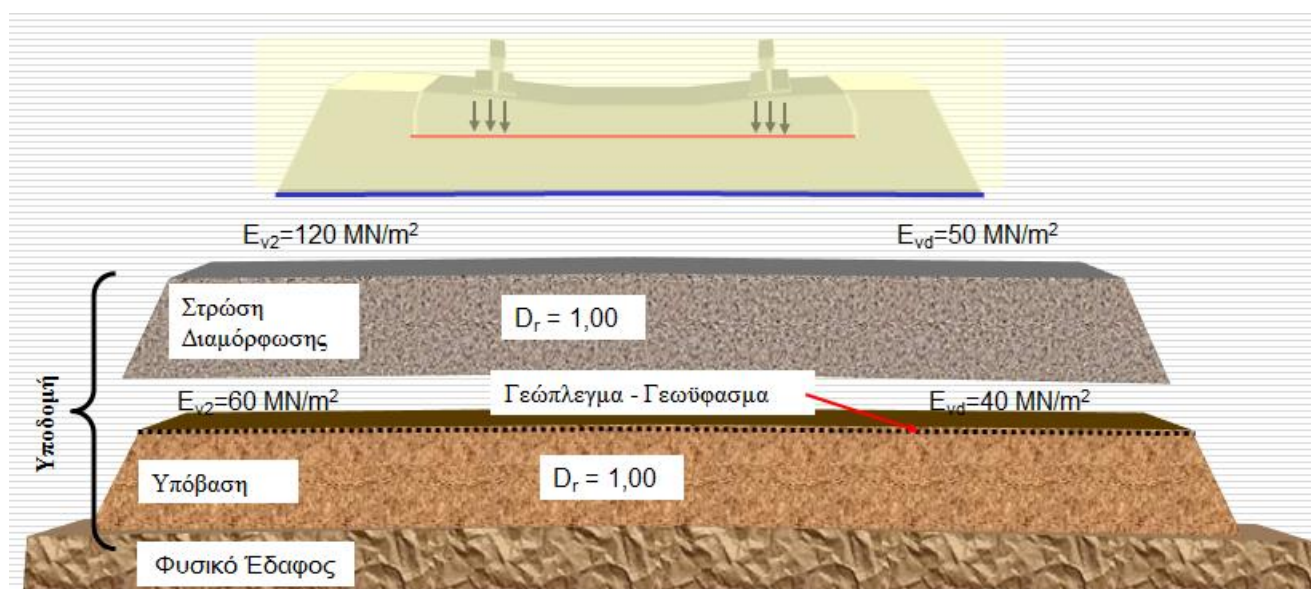
- Τη στρώση διαμόρφωσης, ως ανώτερη στρώση, που τοποθετείται εφόσον το εδαφικό υλικό δεν είναι καλής ποιότητας.
- Την υπόβαση ή έδαφος θεμελίωσης ως κατώτερη στρώση, στην οποία καταλήγουν τα φορτία κυκλοφορίας.

Σε περιπτώσεις που είναι επιθυμητή η περαιτέρω αύξηση της φέρουσας ικανότητας της υποδομής προστίθεται και η προστατευτική στρώση. Αποτελεί την ανώτερη στρώση της υποδομής, η οποία συμπυκνώνεται σε μεγαλύτερο βαθμό συμπίκνωσης από τις υπόλοιπες και ενίοτε κατασκευάζεται με υλικό ανώτερης κατηγορίας από το υπόλοιπο υλικό της υποδομής.

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 γεώφασμα 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 (Εικόνα 2.2) Οι παράμετροι της υποδομής για το σκοπό αυτό είναι :

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



Εικόνα 2.2: Μέτρο παραμορφωσιμότητας E_{v2} στις στρώσεις της υποδομής

Το μέτρο παραμορφωσιμότητας της υπόβασης (φυσικό έδαφος) λαμβάνει τιμές από $10-100 \text{ N/mm}^2$, ενώ η προστατευτική στρώση λαμβάνει την τιμή 150 N/mm^2 . Στον Πίνακα 2.1 αναγράφονται οι επιτρεπόμενες τιμές τάσεων για 10^6 και 10^7 φορτίσεις (η διέλευση ενός άξονα θεωρείται ως μία φόρτιση).

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

Πίνακας 2.1: Επιτρεπόμενες τάσεις προστατευτικής στρώσης και υπόβασης σε σχέση με το μέτρο ελαστικότητας, τον δείκτη αντίδρασης εδάφους και το πλήθος των φορτίσεων

2.2.1 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 συμβάλλει στην αύξηση της φέρουσας ικανότητας της υποδομής, την υποστήριξη του φορτίου των συρμών και 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 και τη διασφάλιση της διάρκειας ζωής του έργου.

Η συμπεριφορά της στρώσης διαμόρφωσης ταξινομείται σύμφωνα με την παραμοσφοσιμότητα του υλικού και την αντοχή του στις φορτίσεις σύμφωνα με τα ακόλουθα:

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

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. Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν το ποσοστό λεπτόκοκκου υλικού, τον δείκτη πλαστικότητας (PI) και το συντελεστή Los Angeles.

Εδάφη κατηγορίας SO είναι ανίκανα να στηρίξουν τη γραμμή κατάλληλα λόγω του ότι παραμορφώνονται σε μεγάλο βαθμό, είναι ανομοιογενή, τα χαρακτηριστικά τους αλλάζουν με το χρόνο και επιτρέπουν τη διείσδυση 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. Για πετρώματα το μέτρο ελαστικότητας ποικίλλει ανάλογα με τη φύση του υλικού του πετρώματος.

Προκειμένου να γίνει η προαναφερθείσα κατάταξη του υλικού απαιτείται, επιπλέον, ο προσδιορισμός της φέρουσας ικανότητας της στρώσης διαμόρφωσης. Η φέρουσα ικανότητα του υλικού μπορεί να προσδιοριστεί μέσω της Δοκιμής του Καλιφορνιακού Λόγου Φέρουσας Ικανότητας (CBR - California Bearing Ratio test).

Δοκιμή του Καλιφορνιακού Λόγου Φέρουσας Ικανότητας (CBR - California Bearing Ratio test).

Ο λόγος CBR είναι ένα μέγεθος που προτάθηκε από τον Τομέα Αυτοκινητοδρόμων της Καλιφόρνια το 1928, ώστε να είναι δυνατή η εκτίμηση της ικανότητας των εδαφών ως υλικά έδρασης έργων οδοποιίας. Η μέθοδος υπολογισμού εύκαμπτων οδοστρωμάτων με την χρήση του CBR μάλιστα, υιοθετήθηκε κατά τον Β΄ παγκόσμιο πόλεμο από τον αμερικάνικο στρατό, για την μελέτη - κατασκευή διαδρόμων απογείωσης - προσγείωσης αεροσκαφών.

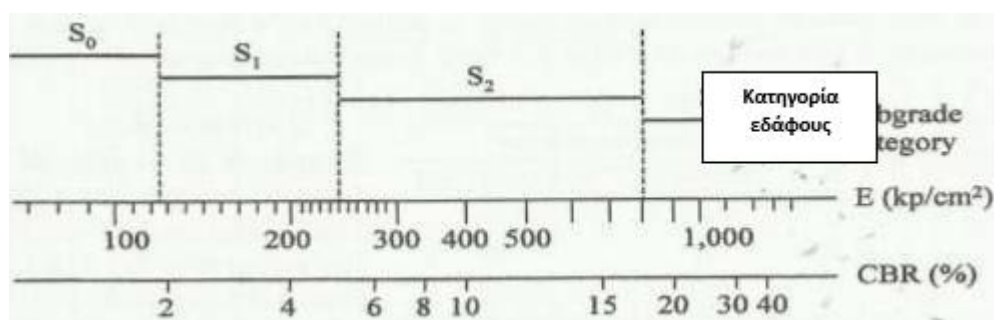
Η δοκιμή CBR, εκτιμά την διατμητική αντοχή ενός εδάφους υπό ελεγχόμενες συνθήκες υγρασίας - πυκνότητας. Από την εκτέλεση της δοκιμής προκύπτει ο λόγος φέρουσας ικανότητας. Ο λόγος είναι χαρακτηριστικός για τις συνθήκες που επικρατούσαν κατά την δοκιμή, δηλαδή για την συγκεκριμένη υγρασία και πυκνότητα. Ο αριθμός CBR υπολογίζεται από τον λόγο της πίεσης (τάσης) που απαιτείται ώστε να προκληθεί ένα συγκεκριμένο βάθος διείσδυσης (βάθος αναφοράς) του εμβόλου της δοκιμής, σε ένα συμπυκνωμένο δείγμα εδάφους, σε ορισμένη πυκνότητα και υγρασία, προς την πίεση αναφοράς η οποία είναι η

απαιτούμενη πίεση ώστε να προκληθεί αυτό το βάθος σε δείγμα σπασμένης πέτρας. Το βάθος αναφοράς είναι 2.54 mm (1/10") και η πίεση αναφοράς (για το δείγμα της σπασμένης πέτρας) είναι 6.9 MPa.

Ο λόγος CBR ορίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\text{CBR} = (\text{πίεση δοκιμής}) / (\text{πίεση αναφοράς}) * 100 (\%)$$

Στην Εικόνα 2.3 απεικονίζονται οι τιμές του δείκτη CBR ανάλογα με την κατηγορία εδάφους .



Εικόνα 2.3: Μέτρο ελαστικότητας και δείκτης CBR για διάφορες κατηγορίες εδάφους

2.2.2 ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΗ ΣΤΡΩΣΗ

Αν η κατηγορία της στρώσης διαμόρφωσης είναι S1 ή S2, προτείνεται 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 και να προστατεύει το έδαφος από παγετό και επιφανειακά ύδατα. Ταυτόχρονα, όμως, χρησιμεύει 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 συμπύκνωσης 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 (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 . Ο Πίνακας 2.1 δίνει ημιεμπειρικές τιμές.

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

Πίνακας 2.2: Απαιτούμενο πάχος προστατευτικής στρώσης ανάλογα με την ποιότητα της στρώσης διαμόρφωσης

Η χρήση της προστατευτικής στρώσης οδηγεί σε σημαντική βελτίωση της συμπεριφοράς της υποδομής όταν διευκολύνεται η συνέχεια της ελαστικότητας από τη στρώση έρματος στο υπέδαφος και ταυτόχρονα δυσχεραίνεται έως αποκλείεται η αμοιβαία διείσδυση υλικού μεταξύ της στρώσης έρματος και αυτής.

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 γεώφασμα. Εάν το πάχος της είναι πάνω από 30 cm πρέπει να στρώνεται και να συμπυκνώνεται σε δύο επίπεδα.

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).

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. 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 ως ο λόγος της πυκνότητας εν ξηρώ (ρ_d) προς τη μέγιστη πυκνότητα εν ξηρώ (ρ_{pr})

Η φέρουσα ικανότητα της στρώσης αυτής εκτιμάται με τη δοκιμή στατική φόρτιση πλάκας και τη μέθοδο CBR. Από την πρώτη δοκιμή προκύπτει το μέτρο παραμορφωσιμότητας E_v , ενώ από τη δεύτερη μέθοδο προκύπτει ο δείκτης CBR, ο οποίος έχει αναλυθεί προηγουμένως.

Στον Πίνακα 2.3 φαίνεται η συσχέτιση μεταξύ δείκτη CBR και 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

Πίνακας 2.3: Πίνακας συσχέτισης CBR με δείκτη αντίδρασης εδάφους C

2.2.3 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) υφασμένα γεωυφάσματα (Εικόνα 2.4), που αποτελούνται από δύο κάθετες στρώσης ύφανσης και είναι έντονα ανισότροπα,
- 2) μη-υφασμένα γεωυφάσματα (Εικόνα 2.5) 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 2.4: Υφασμένο γεωύφασμα



Εικόνα 2.5: Μη-Υφασμένο γεωύφασμα

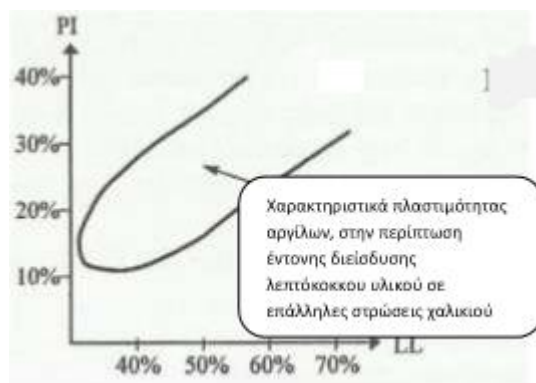
Το γεωύφασμα, όπως και κάθε στοιχείο της σιδηροδρομικής δομής, σκοπό έχει την μεταβίβαση και την κατανομή του φορτίου των συρμών. Οι εμφανιζόμενες τάσεις πρέπει να αναλαμβάνονται από τη δεδομένη αντοχή των επιμέρους στοιχείων. Η παραμορφωσιμότητα του φέροντος συστήματος δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει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

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 γεωφάσματα δέχονται μεγάλη παραμόρφωση και χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό δύο διαδοχικών στρώσεων κοκκώδους υλικού, για την ενίσχυση μίας στρώσης εδάφους με ανεπαρκή μηχανική αντοχή, για αποστράγγιση και ως φίλτρα.

Στα σιδηροδρομικά έργα τα γεωφάσματα χρησιμοποιούνται εκτεταμένα . Τοποθετούνται κάτω από τη στρώση διαμόρφωσης και διευκολύνουν την ορθή τοποθέτηση της εσχάρας στην υποδομή. Το γεωφάσμα 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. ακόλουθο σχήμα (Εικόνα 2.6), απεικονίζει τα χαρακτηριστικά της πλαστιμότητας ορισμένων αργίλων, στην περίπτωση έντονης διείδυσης λεπτόκοκκου υλικού σε επάλληλες στρώσεις χαλικιού



Εικόνα 2.6: Χαρακτηριστικά πλαστιμότητας αργίλων στην περίπτωση έντονης διείδυσης λεπτόκοκκου υλικού σε επάλληλες στρώσεις χαλικιού

Με την τοποθέτηση γεωφάσματος αυξάνεται η μηχανική αντοχή της επιδομής. Ωστόσο η χρήση γεωφάσματος, 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 γεωφάσμα δεν μπορεί να αντικαταστήσει το έρμα και την προστατευτική στρώση στην διανομή των κατακόρυφων τάσεων.

Η λειτουργία του γεωφάσματος ως φίλτρου και η επιλογή του κατάλληλου τύπου εξαρτάται αρχικά από το αν το έδαφος είναι συνεκτικό ή μη. Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης διαπερατότητας του γεωφάσματος πρέπει να είναι γνωστά το πάχος γεωφάσματος (t_g), η διαπερατότητα του εδάφους (k_s) και η διάμετρος του κόσκινου (mm) από όπου διέρχεται το 50% του υλικού (d_{50}).

Σημαντική είναι επίσης και η συμβολή του γεωφάσματος στην προστασία της στρώσης διαμόρφωσης από τον παγετό. Πριν χρησιμοποιηθεί, πρέπει να εξακριβωθεί ότι το συγκεκριμένο γεωφάσμα 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 γεωφάσματος κατά μήκος της υποδομής συνήθως καλύπτει όλους τους παραπάνω ρόλους. Ωστόσο, το γεωφάσμα είθισται να χρησιμοποιείται για να διαχωρίζει το υλικό της στρώσης διαμόρφωσης από το υλικό της προστατευτικής στρώσης.

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

Μία υποκατηγορία γεωφάσματος είναι το γεώπλεγμα (Εικόνα 2.7), 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.

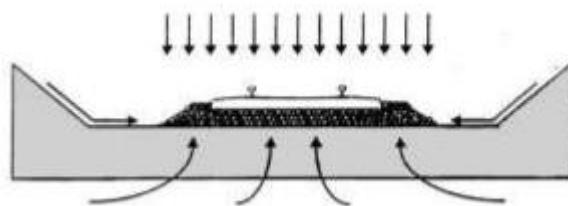


Εικόνα 2.7: Γεώπλεγμα

2.2.4 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 είτε κατακόρυφα, αυτό συμβαίνει όταν βρέχει ή χιονίζει (επιφανειακή διείσδυση), είτε εγκάρσια, από τα πρηνή του έρματος και του υποστρώματος του έρματος, είτε από τα κάτω προς τα πάνω, πρόκειται για υπόγεια νερά και συμβαίνει σε όρυγμα όταν η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα είναι πάνω από τη στάθμη του ορύγματος. Οι γραμμές ροής φαίνονται στην Εικόνα 2.8



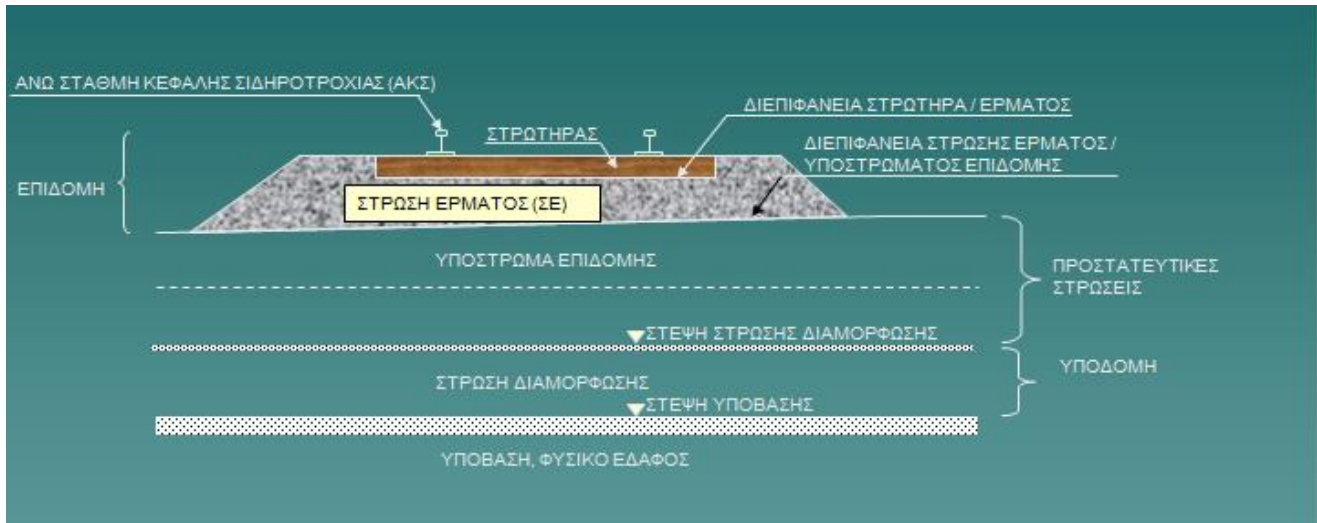
Εικόνα 2.8 :Τρόποι ροής του νερού στην οδό μεταφοράς

2.3 ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗ ΕΠΙΔΟΜΗ

Η γραμμή αποτελείται από μία σειρά στοιχείων και υλικών διαφορετικών ελαστικότητων , 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 παραμένουσα παραμόρφωση τις δυνάμεις που δημιουργούνται κατά την κυκλοφορία των συρμών. Ταυτόχρονα , πρέπει να εξασφαλίζει τη γρήγορη απομάκρυνση των νερών της βροχής και να αμβλύνει τις δυσμενείς επιπτώσεις σε περίπτωση παγετού.

Η κατασκευή αυτή ονομάζεται επιδομή της γραμμής, παραλαμβάνει το στατικό και 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. Υπάρχουν δύο είδη επιδομής , η κλασική επιδομή με έρμα(σκυρογραμμή) και η σταθερή επιδομή με κλίνη σκυροδέματος.

Στην παρούσα έργαση μελετάται η συμπεριφορά της κλασικής επιδομής με έρμα, η οποία αποτελείται από τα χαρακτηριστικά υλικά της γραμμής (σιδηροτροχιές, στρωτήρες, συνδέσμους) και την κλίνη έρματος.



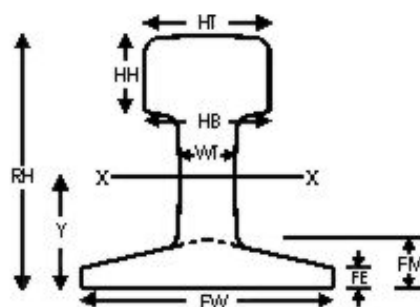
Εικόνα 2.9: Τυπική διατομή σιδηροδρομικής γραμμής (Ο.Σ.Ε)

2.3.1 ΥΛΙΚΑ ΕΠΙΔΟΜΗΣ

α) Σιδηροτροχιές

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.

Το σχήμα της σιδηροτροχιάς που χρησιμοποιείται στα σιδηροδρομικά έργα είναι τυποποιημένης μορφής με επίπεδη βάση (Εικόνα 2.10) (flat bottom), η οποία κάποιες φορές αναφέρεται και ως Vignol rail.



Εικόνα 2.10: Τομή σιδηροτροχιάς (flat bottom)

Η κεφαλή της σιδηροτροχιάς αποτελείται από καμπύλη κορυφή, με καμπύλες στα εξωτερικά της άκρα. Μία από τις ενδείξεις καταλληλότητας κεφαλής σιδηροτροχιάς και τροχού είναι όταν η κλίση της σιδηροτροχιάς ως προς την κατακόρυφο (1 προς 20, 1 προς 40, κ.α.) πλησιάζει την κλίση της κωνικότητας του επισώτρου. Το πέλμα της σιδηροτροχιάς πρέπει να έχει ικανό εύρος για να προσφέρει σταθερότητα έναντι ανατροπής. Υπενθυμίζεται πως οι δυνάμεις πέδησης που ασκούνται από το τροχαίο υλικό δημιουργούν κατά μήκος δυνάμεις, οι οποίες πρέπει να παραληφθούν από τη σιδηροτροχιά και να μεταφερθούν μέσω των συνδέσμων στους στρωτήρες.

β) Στρωτήρες

Είναι διαδοκίδες τοποθετημένες εγκάρσια ως προς τον άξονα της γραμμής, με σκοπό να εδράζονται σε αυτές οι σιδηροτροχιές, να διατηρούν την απόσταση μεταξύ των σιδηροτροχιών σταθερή, να διανέμουν τις τάσεις στο έρμα, να μειώνουν τις ταλαντώσεις των σιδηροτροχιών και τέλος να μειώνουν την ηχορύπανση.

Το πρώτο υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή στρωτήρων ήταν το ξύλο, όμως η σπανιότητα και η ευπάθειά του οδήγησαν γύρω στο 1880 στην εμφάνιση των μεταλλικών στρωτήρων, που χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αργότερα και με την βελτίωση της τεχνολογίας του σκυροδέματος χρησιμοποιήθηκαν στρωτήρες από σκυρόδεμα που διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: τους διμερείς στρωτήρες από οπλισμένο σκυρόδεμα και τους ολόσωμους στρωτήρες από προεντεταμένο σκυρόδεμα.

Οι στρωτήρες που τοποθετούνται σήμερα σε νέες χαράξεις ή σε ανακαινίσεις υπαρχουσών είναι στο μεγαλύτερο ποσοστό από σκυρόδεμα. Σε αρκετές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και οι ξύλινοι στρωτήρες. Οι μεταλλικοί στρωτήρες δεν χρησιμοποιούνται πλέον.

Ξύλινοι στρωτήρες

Οι ξύλινοι στρωτήρες πλεονεκτούν έναντι των στρωτήρων σκυροδέματος λόγω του μικρότερου βάρους τους που έχει ως συνέπεια την ευχερέστερη φόρτωση, εκφόρτωση και αντικατάστασή τους. Ταυτόχρονα, υπάρχει η δυνατότητα ευκολότερης επιτόπου επεξεργασίας και σύνδεσης των πλακών έδρασης ή των σιδηροτροχιών. Είναι ανθεκτικοί σε καταπονήσεις κατά την κυκλοφορία των συρμών και στις χημικές επιδράσεις του αέρα, ενώ παράλληλα υπάρχει η δυνατότητα

επαναχρησιμοποίησης ή καύσης τους. Σημαντικό πλεονέκτημα των ξύλινων στρωτήρων είναι το γεγονός ότι έχουν μεγαλύτερη ελαστικότητα, ή οποία όμως δεν αποδεικνύεται πειραματικά και αποδίδεται στην αίσθηση του χαμηλότερου θορύβου έναντι των άλλων στρωτήρων.

Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι έχουν μικρή ενεργό διάρκεια ζωής, δηλαδή 20-25 έτη σε κύριες γραμμές και συνολικά 30-40 έτη, και προσβάλλονται από φυτικούς και ζωικούς επιβλαβείς οργανισμούς (π.χ. τερμίτες) και από τη φωτιά. Λόγω της σήψης και της μηχανικής φθοράς που υφίστανται μεταβάλλεται το πλάτος της γραμμής βαθμιαία. Επίσης είναι ακριβότεροι λόγω περιορισμένης υλοτομίας και αναγκαιότητας εισαγωγής τους από την Αφρική.



Εικόνα2.11: Ξύλινοι στρωτήρες

Στρωτήρες σκυροδέματος

Οι στρωτήρες σκυροδέματος, λόγω μεγαλύτερου βάρους, συνεισφέρουν στη σταθερότητα της επιδομής και στην εξασφάλιση της γραμμής έναντι οριζόντιας μετακίνησής της. Μέσω κατάλληλων διαμορφώσεων επιτυγχάνεται καλό επίπεδο μόνωσης της γραμμής, ενώ το σκυρόδεμα σαν υλικό κατασκευής των στρωτήρων δεν

κινδυνεύει από ενδεχόμενη προσβολή από φυτικούς και ζωικούς επιβλαβείς οργανισμούς, ούτε από φωτιά. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των στρωτήρων σκυροδέματος είναι η μεγάλη διάρκεια ζωής τους , της τάξεως των 40 ετών χωρίς αντικατάσταση, και η οικονομική τιμή τους. Αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής τους χωρίς οικολογική επιβάρυνση .



Εικόνα 2.12: Ολόσωμοι στρωτήρες από σκυρόδεμα

Μερικά από τα μειονεκτήματα των στρωτήρων από σκυρόδεμα είναι ότι λόγω του μεγάλου βάρους τους είναι δαπανηρότεροι στη μετακίνηση και αντικατάστασή τους, όπως επίσης στην περίπτωση που απαιτούνται σε ειδικά μήκη, δηλαδή για αλλαγές τροχιάς. Η ευαισθησία τους σε ασυνήθιστες καταπονήσεις κατά την κυκλοφορία ,όπως είναι οι εκτροχιάσεις , και κατά την φόρτωση και εκφόρτωση τους, καθώς επίσης και η ανάγκη για αποκλεισμό του τμήματος της γραμμής κατά τη μηχανική μέθοδο τοποθέτησής τους είναι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη κατά την φάση της κατασκευής.



Εικόνα 2.13 : Διμερείς στρωτήρες από σκυρόδεμα στο Αττικό Μετρό

Μεταλλικοί στρωτήρες

Οι μεταλλικοί στρωτήρες υπερτερούν έναντι των υπόλοιπων τύπων στρωτήρα ως προς την ευκολία κατασκευής στρωτήρων ειδικού μήκους για τις αλλαγές, αφού διαμορφώνονται εύκολα με κατάλληλα έλαστρα και πρέσες, ταυτόχρονα παρέχουν τη δυνατότητα επεξεργασίας τους με συγκόλληση. Οι στρωτήρες αυτού του τύπου σημειώνουν μεγάλη ενεργό διάρκεια ζωής αφού αντέχουν ακόμα και σε μεγάλες καταπονήσεις και δεν προσβάλλονται από φυτικούς και ζωικούς επιβλαβείς οργανισμούς, αλλά ούτε και από φωτιά.

Το γεγονός ότι έχουν μικρό βάρος, παρά το ότι συνεπάγεται οικονομία κατά τη μεταφορά, αποτελεί σημαντικό μειονέκτημα ως προς την σταθερότητα της γραμμής. Η ευαισθησία τους σε χημικές επιδράσεις από τον αέρα, ιδίως κοντά σε βιομηχανικές περιοχές, καθώς και η δαπανηρή μόνωση και συντήρηση της σιδηροτροχιάς είναι λόγοι για τους οποίους αποφεύγεται η επιλογή μεταλλικών στρωτήρων σήμερα.



Εικόνα 2.14: Μεταλλικός στρωτήρας

γ) Μικρό Υλικό

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν :

- οι σύνδεσμοι, ήλοι, ελικωτά για τη σύνδεση σιδηροτροχιάς- στρωτήρα
- οι αμφιδέτες για τη σύνδεση μεταξύ σιδηροτροχιών
- αντιερπυστικά ή αντιοδευτικά πτερύγια εγκάρσιας αντίστασης

Οι συνδέσεις στρωτήρα-σιδηροτροχιάς πρέπει να επιδεικνύουν ελαστικότητα και να εξασφαλίζουν τη σιδηροτροχιά έναντι στροφής και ερπυσμού ως προς το στρωτήρα. Κατά κανόνα η εξασφάλιση έναντι στροφής εξασφαλίζει και το μη ερπυσμό της σιδηροτροχιάς. Η απαίτηση αυτή ικανοποιείται μόνο όταν το μέσο σύνδεσης πιέζει το πέλμα της σιδηροτροχιάς επί του στρωτήρα με δύναμη τουλάχιστον 10 kN. Επειδή τα μέσα σύνδεσης είναι δύο σε κάθε σιδηροτροχιά, σημαίνει 20 kN. Η ελαστικότητα στις συνδέσεις απαιτείται προκειμένου να διατηρείται για μεγάλο χρονικό διάστημα η δύναμη σύσφιξής τους. Αυτή λοιπόν η ελαστικότητα εξασφαλίζεται είτε μέσω του ίδιου του συνδέσμου, όπως για παράδειγμα μέσω του συνδέσμου Skl (Εικόνα 2.15), είτε μέσω ελατηριωτών δακτυλίων (Εικόνα 2.16). Όλα τα ελαστικά στοιχεία σύνδεσης χαρακτηρίζονται από την καμπύλη απόκρισής τους.

Η σύσφιξη των μέσων γίνεται με δυναμόκλειδο με ροπή 200-250 Nm. Πρέπει πάντα να ακολουθούνται οι οδηγίες του κατασκευαστή.



Εικόνα 2.15: Σύνδεσμος στρωτήρα από σκυρόδεμα με σιδηροτροχιά



Εικόνα 2.16: Ήλοι και ελικωτά

Οι συνδέσεις μεταξύ σιδηροτροχιών είναι οι αμφιδέτες (Εικόνα 2.17) , οι οποίοι είναι ελάσματα με 4 ή 6 σπές 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 σπών είναι διαφορετική στις σιδηροτροχιές, για να διευκολύνουν τις αυξομειώσεις του μήκους τους λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών.



Εικόνα 2.17: Αμφιδέτης

Τα αντιερπυστικά (Εικόνα 2.18) 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 2.18: Αντιερπυστικά

δ) Αδρανή υλικά ως έρμα

Ο βασικός ρόλος του έρματος στο σιδηρόδρομο είναι να κατανέμει ομοιόμορφα την πίεση των στρωτήρων, από τα δυναμικά φορτία της κυκλοφορίας των συρμών, στην υποδομή. Χάρη στην ελαστική συμπεριφορά του έρματος επιτυγχάνεται η απορρόφηση ενέργειας από την κίνηση των συρμών και από την επιβολή κρουστικών φορτίων στους στρωτήρες. Ταυτόχρονα η χρήση αδρανών υλικών συμβάλλει στην ελεύθερη αποστράγγιση της γραμμής και στην εξασφάλιση στους στρωτήρες επαρκούς αντίστασης έναντι εγκάρσιας και κατά μήκος μετακίνησης.

Η επιλογή των αδρανών υλικών ως έρμα σιδηροδρομικών γραμμών εξαρτάται από το σκοπό για τον οποίο κατασκευάζεται η σιδηροδρομική γραμμή. Έτσι, οι απαιτήσεις για την καταλληλότητα των αδρανών υλικών διαφοροποιούνται ανάλογα με το αν οι σιδηροδρομικές γραμμές προορίζονται για τρένα υψηλών ταχυτήτων ή για τρένα συνήθων ταχυτήτων.

Όσον αφορά το έρμα σιδηροδρομικών γραμμών υψηλών ταχυτήτων, φυσικό επακόλουθο είναι να έχει υψηλότερες γεωτεχνικές απαιτήσεις στα αποτελέσματα των δοκιμών (σε σχέση με τα αδρανή συνηθισμένων ταχυτήτων), λόγω των πιο απότομων φορτίσεων που έχουν ως αποτέλεσμα πιο έντονες καταπονήσεις και τριβές μεταξύ τους. Πιο αναλυτικά, πρέπει να παρουσιάζουν τα πιο κάτω χαρακτηριστικά:

- Αντοχή στις κρουστικές καταπονήσεις και στην υφιστάμενη μεταξύ τους φθορά, κατά τη διέλευση των συρμών
- Ανθεκτικότητα στη διάβρωση και εξαλλοίωση, από τις επιθετικές ουσίες της ατμόσφαιρας (CO₂, SO₂ κ.α.)
- Ανοιχτόχρωμη εμφάνιση, όχι τόσο για αισθητικούς λόγους, όσο για να απορροφούν λιγότερο την ηλιακή ενέργεια

Επομένως, σε έρμα σιδηροδρομικών γραμμών υψηλών ταχυτήτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν κυρίως Μαγματικά πετρώματα (πλουτώνια και ηφαιστειακά) (βασάλτης, διαβάσης, γρανίτης, γραουβάκης, συηνίτης, δολομίτης, διορίτης, πυριτόλιθος, ασβεστόλιθος), πλην των ηφαιστειακών Ελαφρόπετρας(Κίσηρης) και Ποζολάνης, όπως επίσης και μερικά σκληρά- ανθεκτικά σε τριβές και καταπονήσεις μεταμορφωμένα πετρώματα, όπως γνευσίοι, αμφιβολίτες, χαλαζίτες. Τα Ιζηματογενή πετρώματα συνήθως απορρίπτονται γι' αυτή τη χρήση.

Όσον αφορά το έρμα σιδηροδρομικών γραμμών συνηθισμένων ταχυτήτων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλα τα παραπάνω πετρώματα, αλλά ακόμη και κάποια σκληρά Ασβεστολιθικά και Δολομιτικά πετρώματα .

Το έρμα της σιδηροδρομικής γραμμής διακρίνεται σε τρεις βασικές κατηγορίες ανάλογα με την προέλευση των αδρανών υλικών, σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο:

i. Φυσικό έρμα γραμμής (natural railway ballast) : αδρανή έρματος που προέρχονται από ορυκτές πηγές και τα οποία έχουν υποστεί μόνο μηχανική κατεργασία. Πρόκειται για πετρώματα που προέρχονται κυρίως από μαγματικά και μεταμορφωμένα, καθώς και κάποια ιζηματογενή, όπως ασβεστόλιθοι και δολομίτες.

ii. Τεχνητό έρμα γραμμής (manufactured railway ballast) : αδρανή ορυκτής αρχικής προέλευσης ,τα οποία έχουν προκύψει από βιομηχανική επεξεργασία συμπεριλαμβανομένης της θερμικής ή αλλής μετατροπής.

iii. Ανακυκλώμενο έρμα γραμμής (recycled railway ballast) : τα υλικά που χρησιμοποιούνται, είναι υλικά επαναχρησιμοποιημένα από προηγούμενες κατασκευές σιδηροδρομικού έρματος και εφόσον πληρούν τις πιο πάνω γεωμετρικές, φυσικές,μηχανικές και άλλες ιδιότητες, καθίσταται δυνατή η επαναχρησιμοποίηση τους.

Και οι τρεις πιο πάνω κατηγορίες, είναι προσαρμοσμένες και εναρμονισμένες στον Ευρωπαϊκό κανονισμό περί αδρανών υλικών για έρμα σιδηροδρομικών γραμμών (EN 13450)

Η κατηγορία που αφορά τη συγκεκριμένη εργασία, είναι η κατηγορία φυσικού έρματος γραμμής. Πρόκειται για υλικά που είναι βραχώδη-φυσικά και τα οποία προέρχονται συνήθως από πετρώματα Μαγματικά, Μεταμορφωμένα ή Ιζηματογενή και η απόληψη τους γίνεται από υγιείς βραχώμαζες σε λατομεία. Το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί, θα πρέπει να είναι κατάλληλα διαβαθμισμένο τόσο ως προς το μέγεθος όσο και ως προς την μορφή των κόκκων και να έχει σημαντική αντοχή σε κρούση και τριβή, λόγω των μεγάλων και απότομων φορτίων που θα επιδρούν πάνω του. Σημειώνεται ότι με την πάροδο του χρόνου επέρχεται θρυμματισμός λόγω καταπονήσεων και εργασιών υπογόμεωσης.

Οι εργαστηριακές απαιτήσεις που πρέπει να πληρούν τα υλικά που προορίζονται για έρμα σιδηροδρομικών γραμμών παρουσιάζουν σε κάποιο βαθμό διαφορές μεταξύ ορισμένων χωρών εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Στον Ελλαδικό χώρο, όπως έχει προαναφερθεί, το έρμα χωρίζεται σε δύο κατηγορίες. Πρώτον, σε έρμα σιδηροδρομικών γραμμών συνηθισμένων ταχύτητων και δεύτερον σε έρμα σιδηροδρομικών γραμμών υψηλών ταχυτήτων. Οι πιο σημαντικές εργαστηριακές δοκιμές που είναι απαραίτητες και στις δύο ομάδες είναι η **Κοκκομετρική Ανάλυση**, ο **Δείκτης Πλακοειδούς** και οι **Δοκιμές Los Angeles** και **micro-Deval** σε συνάρτηση με τις οποίες προσδιορίζεται ο συντελεστής σκληρότητας.

Κοκκομετρική ανάλυση (κοκκομετρική διαβάθμιση) EN933-1, EN933-2

Είναι η αριθμητική και ποσοστιαία κατανομή των κόκκων του δείγματος σε κοκκομετρικά όρια, μέσω κοσκίνων διαφόρων διαμετρήματος οπών. Η κοκκομετρική ανάλυση, για να θεωρείται έγκυρη, επιβάλλεται το υλικό που εξετάζεται, να προέρχεται από την ίδια γεωλογική πηγή, δηλαδή δειγματοληψία από μια συγκεκριμένη θέση. Έτσι, μπορεί να υπολογιστούν οι διάφορες κλάσεις κόκκων που συμμετέχουν, καθώς και το κυρίαρχο κοκκομετρικό όριο-μέγεθος του δείγματος. Τα κόσκινα που χρησιμοποιούνται, έχουν διαμετρήματα οπών τα παρακάτω, 63mm, 50mm, 40mm, 31.5mm, 22.4mm και συνολική διάμετρο κόσκινου 300mm. Επίσης είναι κατασκευασμένα από υλικό INOX σύμφωνα με της Ευρωπαϊκές προδιαγραφές EN. Έτσι με τα πιο πάνω κοκκομετρικά κόσκινα, υπολογίζεται λ.χ. το ποσοστό του δείγματος που διέρχεται από το κόσκινο 63mm και συγκρατείται στο 50mm, το ποσοστό που διέρχεται από το 50mm και συγκρατείται στο 40mm κ.α. Αυτός ο λόγος ονομάζεται d_i/D_i (mm). Όσο αφορά συγκεκριμένα, για χρήσεις

αδρανών υλικών σε έρμα σιδηροδρομικών γραμμών, το προβλεπόμενο με βάση τους Ευρωπαϊκούς κανονισμούς EN 13450, κοκκομετρικό όριο είναι για διάμετρο (D) 50mm και για διάμετρο (d) 31.5mm. Στην συνέχεια, αφού εξαχθούν τα αποτελέσματα από την κοκκομετρική ανάλυση, βάση των EN κανονισμών EN933-1, προκύπτει η καμπύλη κοκκομετρικής ανάλυσης και διαβάθμισης του υλικού, όπου ουσιαστικά τα αποτελέσματα της κοκκομετρίας απεικονίζονται σε διάγραμμα συχνοτήτων.

Η εκτέλεση της δοκιμής θα πρέπει να ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές EN932-2, EN932-5, EN933-2, EN1097-6 και όσο αφορά τον εξοπλισμό, δηλαδή της προδιαγραφές που απαιτούνται για τα κόσκινα ISO 3310-1 και ISO 3310-2.

Δείκτης Πλακοειδούς (flakiness index) EN933-3

Ουσιαστικά με τον προσδιορισμό του Δείκτη Πλακοειδούς, γίνεται εκτίμηση του ποσοστού των πεπλατυσμένων και επιμηκών κόκκων που υπάρχουν στο δείγμα. Ο προσδιορισμός του δείκτη γίνεται μέσω ειδικών πλακοειδών κοσκίνων (παράλληλες σχισμές με πλάτος όσο το μισό της μεγαλύτερης διαμέτρου ($D_i/2$)) και είναι η αναλογία των κόκκων που διέρχονται από τα ειδικά πλακοειδή κόσκινα, προς τη συνολική μάζα του δείγματος. Τα ειδικά κόσκινα έχουν διαμετρήματα αντίστοιχα με τις διάφορες κλάσεις που προκύπτουν από την κοκκομετρική ανάλυση του υλικού. Η δοκιμή θα πρέπει να ανταποκρίνεται στις EN προδιαγραφές και συγκεκριμένα στις EN932-2, EN932-5, EN933-1 και EN933-2. Ιδανικό υλικό για αξιοποίηση ως αδρανές είναι το υλικό που έχει χαμηλό δείκτη πλακοειδούς.

Συγκεκριμένα ζυγίζεται το συνολικό βάρος του δείγματος όπου ονομάζεται M_0 . Στη συνέχεια γίνεται απόρριψη όλων των κόκκων που (α) συγκρατούνται στο κόσκινο no.80 και όλων των κόκκων που (β) διέρχονται από το κόσκινο no.20.

Έπειτα ξαναζυγίζεται το δείγμα, χωρίς τους απορριφθέντες κόκκους (α) και (β), προχωρώντας στη εκτέλεση της δοκιμής όπως αναφέρεται πιο πάνω.

Τα αποτελέσματα της δοκιμής έχουν ως εξής:

- Ο κάθε επιμέρους δείκτης πλακοειδούς, υπολογίζεται βάσει της σχέσης $Fli = (m_i/R_i) * 100$. Όπου m_i είναι η μάζα του επιμέρους ποσοστού που διήλθε από το πλακοειδή κόσκινο και R_i είναι το βάρος του υλικού που συγκρατήθηκε στο αντίστοιχο κανονικό κόσκινο (d_i/D_i).
- Ο συνολικός δείκτης πλακοειδούς, υπολογίζεται μέσω της σχέσης $FL = (M_2/M_1) * 100$, όπου M_1 είναι το άθροισμα των επιμέρους βαρών των κοσκίων d_i/D_i και M_2 είναι το άθροισμα των βαρών που πέρασαν από τα επιμέρους πλακοειδή κόσκινα.

- Αν το άθροισμα του υλικού Ri και του υλικού που απορρίφθηκε ,είναι μεγαλύτερο από το 1% της αρχικής μάζας του υλικού, η δοκιμή πρέπει να επαναληφθεί χρησιμοποιώντας άλλο δείγμα

Σημειώνεται ότι για το έρμα σιδηροδρομικών γραμμών υψηλών ταχυτήτων πρέπει ο Δείκτης Πλακοειδούς I_F να έχει τιμή μικρότερη από 15

Δοκιμή Los Angeles (Los Angeles Abrasion Value, LAAV) EN1097-2

Η πιο πάνω δοκιμή (LAAV), θεωρείται η πλέον κατάλληλη για την απεικόνιση της αντοχής του υλικού σε μηχανική φθορά (wear) και κρούση(impact). Η ονομασία της προσηλθε από την συγκεκριμένη πόλη που δημιουργήθηκε και δοκιμάστηκε η συσκευή.

Η δοκιμή αυτή απευθύνεται στα χονδρόκοκκα κλάσματα του υλικού. Ουσιαστικά το υλικό, εισέρχεται σε ένα τύμπανο(κύλινδρο μεγάλου διαμετρήματος), μαζί με μεταλλικά μεγάλα-βαριά σφαιρίδια. Το τύμπανο κλείνει και περιστρέφεται με συγκεκριμένη ταχύτητα και χρόνο σε (n) στροφές, οπότε το υλικό συγκρούεται μεταξύ του, με τα σφαιρίδια και με τα τοιχώματα του τυμπάνου. Έτσι ,προκύπτει ένας συντελεστής που περιγράφει την αντοχή του υλικού που δοκιμάστηκε σε τριβή και κρούση.

Συμπερασματικά ο συντελεστής LAAV, είναι αντιστρόφως ανάλογος της αντοχής του υλικού, καθώς όσο μικρότερος είναι, συνεπάγεται και μικρότερες απώλειες από την τριβή και κρούση ,άρα μεγαλύτερη φυσική/μηχανική αντοχή. Ο συντελεστής προκύπτει με το τέλος της δοκιμής, αφού το υλικό κοσκινιστεί από κόσκινο με διαμέτρημα σπών 1.6mm και μετρηθεί το υλικό που συγκρατήθηκε. Τέλος η δοκιμή γίνεται βάσει του Ευρωπαϊκού κανονισμού του 1998 EN1097-2 και πρέπει η προβλεπόμενη διαδικασία που θα τηρηθεί, να υπάγεται στους κανονισμούς EN932-1,EN932-2,EN932-5,EN933-1,EN933-2 και EN1097-6.

Για το έρμα σιδηροδρομικών γραμμών υψηλών ταχυτήτων πρέπει ο δείκτης Los Angeles LAAV να είναι μικρότερος από 14, ενώ στο έρμα γραμμών συνηθισμένων ταχυτήτων πρέπει να είναι μικρότερος από ή ίσος με 24.

Δοκιμή micro-Deval (EN 1097-1)

Είναι η δοκιμή όπου υπολογίζεται σε ξηρές, είτε σε υγρές συνθήκες, η αντοχή και η φθορά που θα υποστεί το εξεταζόμενο πέτρωμα-δειγμα σε αμοιβαία τριβή και μέτριες κρούσεις των κόκκων του. Η συγκεκριμένη δοκιμή απευθύνεται κυρίως σε δείγματα που προορίζονται κυρίως για αδρανή υλικά σε έρμα σιδηροδρομικών γραμμών. Πρόκειται για δοκίμιο με βάση τους κανονισμούς (ΕΛΟΤ EN13450),όπου το

δοκίμιο περιστρέφεται με προκαθορισμένη συγκεκριμένη ταχύτητα και σε καθορισμένες στροφές. Η ταχύτητα περιστροφής του δοκιμίου, επιλέγεται και μετριέται σε r/min (στροφές/ λεπτό). Το αποτέλεσμα μετά την διάρκεια περιστροφής του δοκιμίου, είναι οι κόκκοι μετά την τριβή και την μεταξύ τους κρούση, να παρουσιάσουν φθορά(ελάττωση του διαμετρήματος των κόκκων) ,η οποία υπολογίζεται με την ποσότητα(βάρος-ποσοστό του δοκιμίου) των κόκκων που πρόεκυψαν μετά την δοκιμή με διάμετρο κάτω από 1.6mm.Ο υπολογισμός γίνεται από το ποσοστό που συγκρατείται από το κόσκινο 1,6mm. Με βάση το ποσοστό του συγκρατούμενου υλικού σε διαμέτρηση κόκκων 1.6mm ,προκύπτει (αντίστοιχο εκατοστιαίο) ο δείκτης micro – deval (MDERB).

Εκτός των προαναφερθέντων εργαστηριακών απαιτήσεων, τα αδρανή υλικά για να θεωρηθούν κατάλληλα για την συγκεκριμένη χρήση πρέπει να τηρούν ορισμένες επιπλέον προϋποθέσεις και συνθήκες, οι οποίες συντελούν στην ικανοποίηση των εργαστηριακών δοκιμών.

Αρχικά η προέλευση του υλικού πρέπει να είναι από μια γεωλογική πηγή και ολόκληρο το δείγμα να είναι το ίδιο υλικό, χωρίς καθόλου προσμίξεις. Έτσι ,επιτυγχάνεται η ομοιογένεια του υλικού σε όλες της πτυχές που μπορούν να περιγράψουν τα αδρανή υλικά. (σύσταση, ιδιότητες, αντοχή, αποσάθρωση κ.α.).

Τα υλικά-κόκκοι που κατά την εξόρυξη, έχει διαπιστωθεί ότι δεν είναι υγιή ή ότι δεν έχουν την καθαρότητα που επικρατεί γενικά στην υπόλοιπη βραχώμαζα, πρέπει να απορρίπτονται .Οι κόκκοι που θα συμπεριληφθούν στο συνολικό υλικό και θα χρησιμοποιηθούν, θα πρέπει να είναι υγιείς, καθαροί, σκληροί-ανθεκτικοί σε αντοχή σε κρούση και τριβή, ούτως ώστε και οι προαναφερθέντες εργαστηριακοί δείκτες που θα προκύψουν, να είναι σύμφωνοι με τους κανονισμούς περί αδρανών υλικών για έρμα σιδηροδρομικών γραμμών.

Τα περιφερειακά τμήματα της βραχώμαζας στα οποία σημειώνονται επαφές με άλλου τύπου –μη υγιών τμημάτων άλλων βραχώμαζων ή γενικά υλικά με άλλες προσμίξεις ,θα πρέπει να απορρίπτονται, όπως επίσης και υλικά που βρίσκονται στα επιφανειακά τμήματα της βραχώμαζας που γίνεται η εξόρυξη , δηλαδή στο μέτωπο της βραχομάζας , καθώς το τμήμα αυτό της βραχώμαζας είναι το πλέον εκτεθειμένο σε συνθήκες βροχοπτώσεων και άλλων παραγόντων που προκαλούν φυσική ή μηχανική φθορά –αποσάθρωση, διάβρωση, εξαλλοίωση, οξείδωση στο πέτρωμα. Τέλος , η άμμος και τα λοιπά γεώδη υλικά που προκύπτουν από την εξόρυξη πρέπει να μην συμπεριλαμβάνονται στο υλικό που θα χρησιμοποιηθεί.

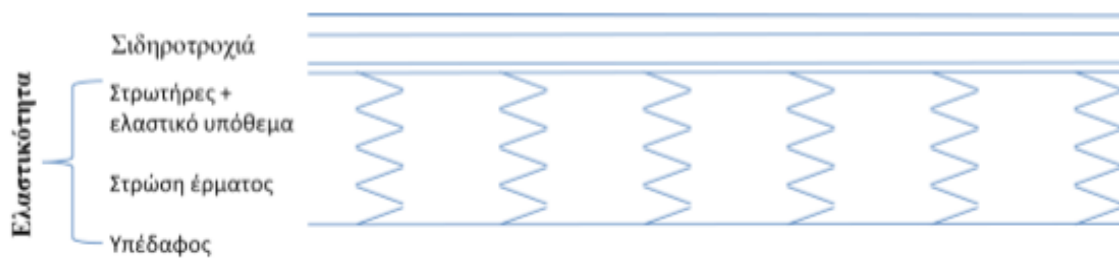
3

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΔΟΜΗΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Λόγω των περίπλοκων συνθηκών, οι οποίες προκαλούνται από την ελαστική έδραση της γραμμής και από την άμεση επίδραση του τροχαίου υλικού, ο υπολογισμός της επιδομής χαρακτηρίζεται από ορισμένες ιδιαιτερότητες.

- ❖ Η μάζα του φορτίου είναι σε σχέση με τη φέρουσα μάζα πάρα πολύ μεγάλη.
- ❖ Λόγω ατελειών στη γεωμετρία της γραμμής καθώς και στους άξονες των οχημάτων, η διασπορά των δυναμικών δυνάμεων είναι πολύ μεγάλη. Ως εκ τούτου η δράση των δυνάμεων εκτιμάται δύσκολα.
- ❖ Η στρώση έρματος καθώς και το υπέδαφος, τα οποία λαμβάνονται υπόψη για την εκτίμηση των ελαστικών εδράσεων, μεταβάλλουν τις τιμές τους σε σχετικά σύντομα τμήματα. Συνέπεια τούτου είναι να λαμβάνονται μέσες τιμές των παραμέτρων που τα χαρακτηρίζουν.
- ❖ Η πολυπλοκότητα του δύσκολου υπολογισμού της επιδομής ως φορέα επί άπειρων ελαστικών στηρίξεων αυξάνεται με τη συμπεριφορά των στρωτήρων, οι οποίοι μπορεί να περιστραφούν εντός του έρματος υπό την επίδραση δυνάμεων και να μετατοπιστούν οριζόντια μετά από υπερνίκηση των εγκάρσιων αντιστάσεων.
- ❖ Η σιδηροτροχιά είναι επίπεδο κύλισης και συγχρόνως φορέας, γεγονός που σημαίνει ότι, εκτός της εξασφάλισης μιας άψογης από γεωμετρικής πλευράς επιφάνειας κύλισης, αναλαμβάνει και τη συνολική καθοδήγηση των οχημάτων.



Σχήμα 3.1 : Ελαστική έδραση της γραμμής στο κατακόρυφο επίπεδο

3.2 ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΔΟΜΗ

Οι δυνάμεις που ασκούνται στην επιδομή και οι παράγοντες που επηρεάζουν την κατανομή τους είναι οι εξής:

ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ

α) Από το όχημα

- Φορτίο ανα άξονα
- Απόσταση αξόνων
- Ανάρτηση
- Ταχύτητα
- Διάμετρος τροχού
- Επιφάνεια επισώτρου (κατάσταση)
- Δυνάμεις κατά την επιτάχυνση και την επιβράδυνση

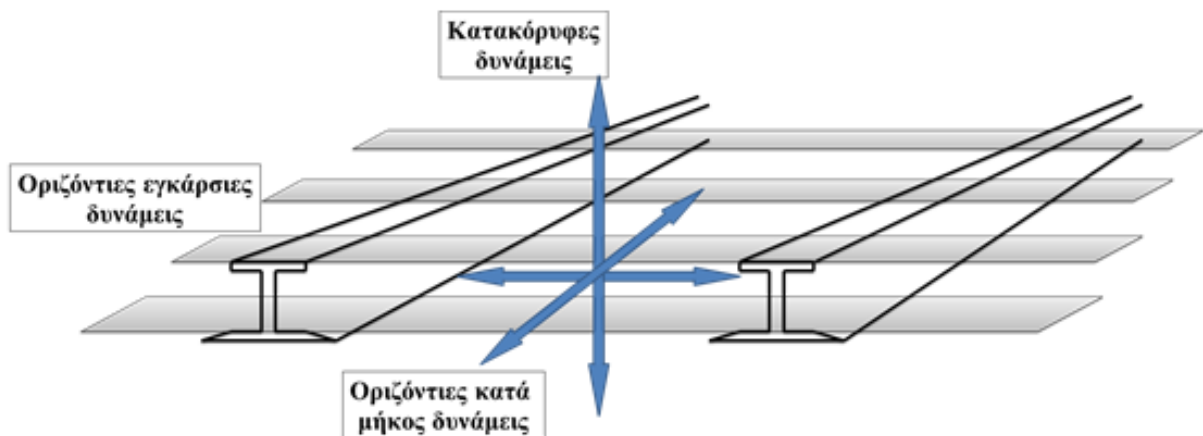
β) Από τη γραμμή

- Ροπή αδράνειας σιδηροτροχιάς
- Τύπος σύνδεσης σιδηροτροχιάς
- Απόσταση μεταξύ στρωτήρων
- Έρμα
- Υποδομή
- Ακτίνα οριζοντιγραφικής καμπύλης
- Υπερύψωση
- Αρμοί
- Αποκλίσεις από τη γεωμετρία στρώσης

ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ

Προέρχονται από τις θερμοκρασιακές μεταβολές

Όλες οι δυνάμεις που δρουν στην επιδομή και προκαλούνται είτε από θερμοκρασιακές μεταβολές είτε από ίδιες τάσεις στη σιδηροτροχιά κατατάσσονται σε τρεις κατευθύνσεις σε σχέση με τη δράση τους όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.2.



Εικόνα 3.2: Δυνάμεις στην επιδομή

ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ

Οι κατακόρυφες δυνάμεις μεταδίδονται επί της σιδηροτροχιάς με τη μορφή των δυνάμεων τροχού Q , είναι εξωτερικές δυνάμεις και υπολογίζονται με επαρκή ακρίβεια από τη συνολική μάζα του οχήματος.

ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ

Οι κατά μήκος δυνάμεις προέρχονται από:

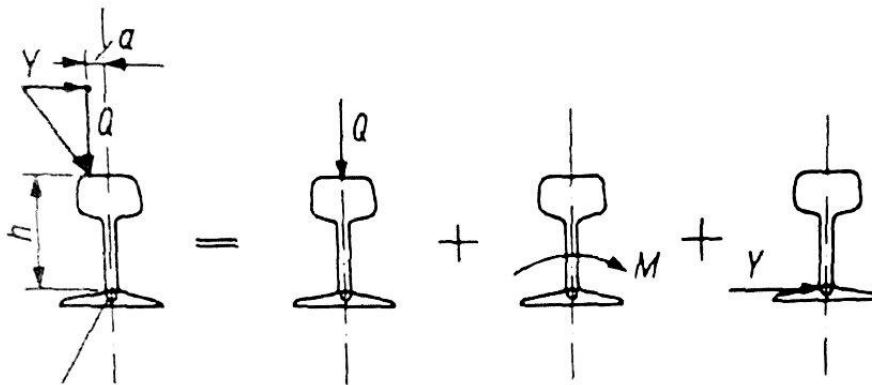
- Εμποδιζόμενη μεταβολή του μήκους της σιδηροτροχιάς που προέρχεται από θερμοκρασιακές μεταβολές (εσωτερικές δυνάμεις)
- Επιτάχυνση ή πέδηση του συρμού (εξωτερικές δυνάμεις)
- Ίδιες τάσεις της σιδηροτροχιάς ή τάσεις στις θέσεις συγκολλήσεων (εσωτερικές δυνάμεις)

- Όδευση σιδηροτροχιών (εσωτερικές δυνάμεις)

Το μεγαλύτερο ποσοστό των δυνάμεων αυτών προέρχεται από θερμοκρασιακές μεταβολές.

ΕΓΚΑΡΣΙΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ

Η κύλιση των οχημάτων προκαλεί δυνάμεις καθοδήγησης (εξωτερικές δυνάμεις), οι οποίες δρουν επί των σιδηροτροχιών οριζόντια και κάθετα στον άξονα της γραμμής. Μια δύναμη που δρα πλάγια στην κεφαλή της σιδηροτροχιάς αναλύεται σε κατακόρυφη δύναμη Q , σε ροπή στρέψης M και σε δύναμη καθοδήγησης Y (Εικόνα 3.3).



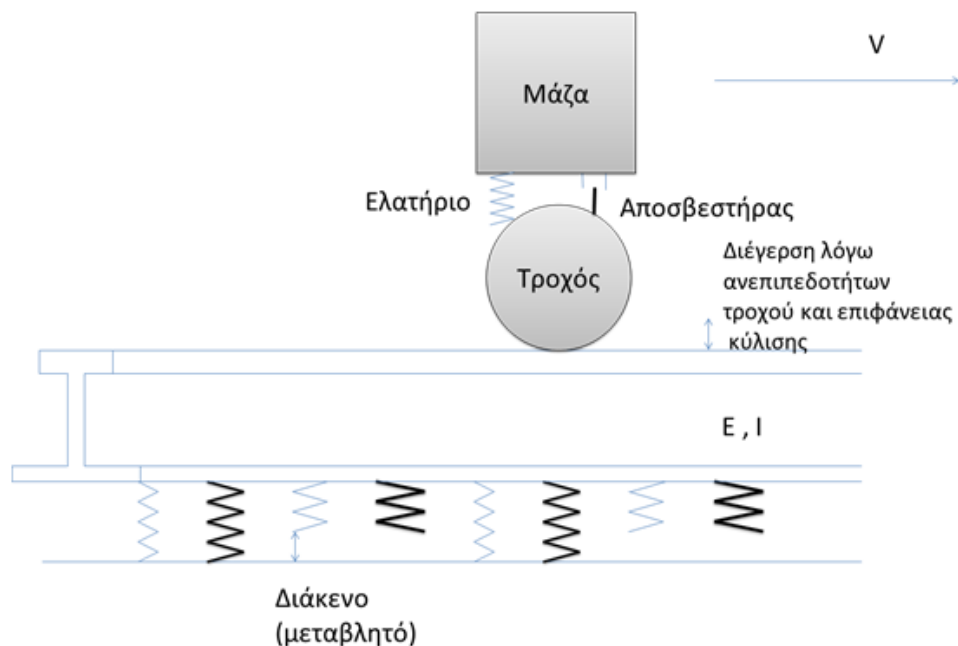
Εικόνα 3.3: Ανάλυση πλάγιας δύναμης στην κεφαλή της σιδηροτροχιάς.

3.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Όπως προαναφέρθηκε, η επιδομή αποτελεί ένα περίπλοκο σύστημα περισσότερων στρώσεων με τρεις κύριες συνιστώσες. Αυτές είναι η σιδηροτροχιά, ο στρωτήρας και τέλος η στρώση του έρματος, στην περίπτωση της κλασικής επιδομής με έρμα, την οποία εξετάζουμε στην παρούσα εργασία.

Είναι φανερό ότι η ανάπτυξη ενός ρεαλιστικού μαθηματικού μοντέλου, το οποίο να περιλαμβάνει όλες τις παραμέτρους των στρώσεων αυτών, καθώς και αυτές των οχημάτων και του υπεδάφους είναι αδύνατη. Ως εκ τούτου, οι συνήθεις σήμερα υπολογισμοί της επιδομής αποτελούν προσεγγιστικές λύσεις, με τις οποίες διερευνώνται οι διάφορες επιδράσεις. Αυτοί οι προσεγγιστικοί υπολογισμοί, όμως, δείχνουν μια πάρα πολύ καλή συμφωνία με τις τιμές που μετρήθηκαν στην πράξη, παρ' όλες τις απλοποιήσεις που λαμβάνονται στους υπολογισμούς.

Το πραγματικό στατικό σύστημα της επιδομής, λαμβανομένης υπόψη της διέγερσης από το όχημα φαίνεται στην Εικόνα 3.4



Εικόνα3.4: Μοντέλο υπολογισμού επιδομής- Πραγματική κατάσταση

V ταχύτητα οχήματος

m μάζα οχήματος

E μέτρο ελαστικότητας της σιδηροτροχιάς (σταθερό) → μέτρο αντίστασης ενός στερεού στη μεταβολή του μήκους του

I ροπή αδράνειας της σιδηροτροχιάς (σταθερή)

c, k χαρακτηριστικές ελατηρίου (μεταβλητές)

b πλάτος του ιδανικού διαμήκους στρωτήρα

Μπορεί να ειπωθεί ότι: « στην κλασική επιδομή η σιδηροτροχιά αντιμετωπίζεται ως μια συνεχής δοκός, η οποία εδράζεται επί ελαστικών στηρίξεων. »

Ανάλογα με την ποιότητα της στρώσης του έρματος και του υπεδάφους, καθώς και την ταχύτητα, η επιμέρους ελαστική παραμόρφωση κατανέμεται διαφορετικά. Σε υψηλές ταχύτητες αναλαμβάνει το έρμα περισσότερο από το 70% της ελαστικής παραμόρφωσης. Η παραμόρφωση εξαρτάται από την κατάσταση του έρματος και τις

εδαφικές συνθήκες. Με την πάροδο του χρόνου μπορεί να σχηματισθούν κάτω από μεμονωμένους στρωτήρες κενά (μέχρι 2 mm), έτσι ώστε η έδρασή τους στις θέσεις αυτές να είναι ανύπαρκτη με συνέπεια τη μεγαλύτερη βύθιση του στρωτήρα κατά τη διέλευση φορτίου.

Η φέρουσα ικανότητα της επιδομής εξαρτάται από την επιτρεπόμενη καταπόνηση κάθε στοιχείου και τον τρόπο μετάδοσης της δύναμης από το ένα στο άλλο.

Λαμβάνονται υπόψη τα εξής:

- Η φέρουσα ικανότητα των σιδηροτροχιών σε σχέση με την κατακόρυφη και οριζόντια φόρτιση
- Η καταπόνηση της σιδηροτροχιάς στη θέση επαφής του τροχού
- Η μετάδοση των οριζοντίων δυνάμεων καθοδήγησης
- Η μετάδοση των οριζοντίων κατά μήκος δυνάμεων
- Η κατανομή της πίεσης μεταξύ σιδηροτροχιών, στρωτήρων, στρώσης έρματος και υπεδάφους.

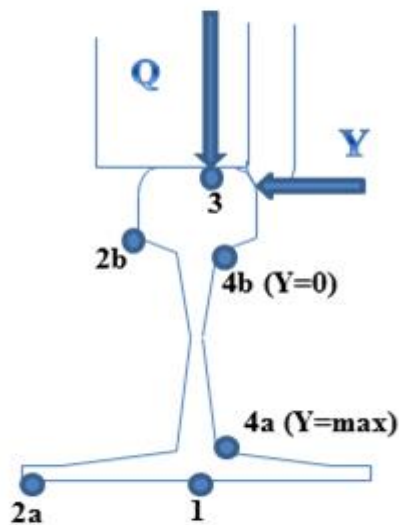
Η σιδηροτροχιά ως φορέας υπόκειται καταρχήν στην καμπτική καταπόνηση από κατακόρυφο φορτίο. Στις τάσεις που προκύπτουν από αυτή την κατά μήκος κάμψη προστίθενται οι εξής:

- Επιπλέον τάσεις από έκκεντρες κατακόρυφες δυνάμεις και οριζόντιες δυνάμεις καθοδήγησης
- Τάσεις στη θέση εφαρμογής της δύναμης
- Τάσεις από θερμοκρασιακές μεταβολές και ίδιες τάσεις

Κατά μήκος η σιδηροτροχιά λειτουργεί ως δοκός απείρου μήκους. Το μέγεθος της καμπτικής καταπόνησης για δεδομένη φόρτιση εξαρτάται από:

- Τη διατομή της σιδηροτροχιάς
- Την ελαστικότητα των συνδέσμων
- Την επιφάνεια έδρασης των στρωτήρων στο έρμα
- Την υποχωρητικότητα της στρώσης του έρματος
- Την υποχωρητικότητα του υπεδάφους

Στην παρακάτω απεικόνιση (Εικόνα 3.5) φαίνονται οι θέσεις μεγάλης καταπόνησης της σιδηροτροχιάς.



Εικόνα 3.5: Θέσεις καταπόνησης της σιδηροτροχιάς

Σημείο 1: Στο μέσο της σιδηροτροχιάς εμφανίζονται:

- Εφελκυστικές καμπτικές τάσεις κατά μήκος της σιδηροτροχιάς συνέπεια της δύναμης τροχού Q
- Τάσεις από τη θερμοκρασιακές μεταβολές
- Ίδιες τάσεις

Σημείο 2α+2β: Στην κεφαλή και στην άκρη του πέλματος της σιδηροτροχιάς εμφανίζονται:

- Εφελκυστικές καμπτικές τάσεις συνέπεια της δύναμης τροχού Q και της δύναμης καθοδήγησης Y
- Τάσεις από τη θερμοκρασιακές μεταβολές
- Τάσεις καμπύλωσης στα καμπύλα τμήματα

Σημείο 3: πλησίον της θέσης επαφής τροχού – σιδηροτροχιάς (σημείο τομής των Q και Y) εμφανίζονται:

- Διατμητικές τάσεις συνέπεια συγκεντρωτικής δράσης δυνάμεων
- Τάσεις από τη θερμοκρασιακές μεταβολές
- Ίδιες τάσεις

Σημείο 4α+4β: στις θέσεις μετάβασης από την κεφαλή της σιδηροτροχιάς στον κορμό και στο πέλμα εμφανίζονται:

- Καμπτικές τάσεις στον κορμό εγκάρσια στη σιδηροτροχιά συνέπεια των έκκεντρων φορτίων Q και Y

3.4 Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

Η σημαντικότερη και πιο συνοπτική μέθοδος για τον υπολογισμό της κατακόρυφης καταπόνησης στο μέσο του πέλματος της σιδηροτροχιάς είναι του **Zimmermann**. Βασίζεται στη μέθοδο του δείκτη αντίδρασης εδάφους από την Εδαφομηχανική, αντικαθιστώντας τη ελαστική σημειακή στήριξη της σιδηροτροχιάς από μια συνεχή ελαστική στήριξη. Αυτό σημαίνει τη μετατροπή των εγκάρσιων στρωτήρων σε ένα υποθετικό «διαμήκη στρωτήρα» με την παραδοχή της ελαστικής έδρασης της εσχάρας. Αυτή η παραδοχή ισχύει υπό προϋποθέσεις, διότι οι στρωτήρες δεν εδράζονται πλήρως στο έρμα και η σχέση έρματος – υπεδάφους χαρακτηρίζεται από προοδευτική καμπύλη. Ως εκ τούτου, ο υπολογισμός δίνει μόνο μέσες τιμές. Οι μέγιστες τιμές στην πράξη μπορούν να εκτιμηθούν μέσω μιας επί τόπου υπολογισμένης σταθεράς, του δείκτη αντίδρασης εδάφους C.

Με τη σταθερά αυτή περιγράφεται η υποχωρητικότητα όλων των στρώσεων κάτω από τους στρωτήρες. Είναι μια αναλογική σταθερά, η οποία δείχνει **με πόσα N/cm² επιτυγχάνεται βύθιση (κατακόρυφη υποχώρηση) του στρωτήρα κατά 1 cm** ή με πόσα N/cm² η στρώση έρματος και το υπέδαφος συμπιέζονται κατά 10 mm. Με την παραδοχή της πλήρους ελαστικής βύθισης **ισχύει ο νόμος του Hooke**:

$$y = \frac{p}{C} \text{ ή } C = \frac{p}{y} \quad (3.1)$$

y: η βύθιση του στρωτήρα στο έρμα [mm]

p: η πίεση στην επιφάνεια μεταξύ επιφάνειας έδρασης στρωτήρα και έρματος [N/mm²]

C: ο δείκτης αντίδρασης εδάφους [N/mm³]

Αποφασιστικός παράγοντας για τη βύθιση των στρωτήρων είναι η πίεση στην επιφάνεια μεταξύ στρωτήρα και έρματος. Μέσω της αύξησης των επί μέρους επιφανειών έδρασης αμβλύνεται προς το έδαφος η αρχική μεγάλη πίεση στην επιφάνεια επαφής τροχού – σιδηροτροχιάς.

Για συνήθη επιδομή με έρμα δρα επί της άνω επιφάνειας του στρωτήρα μόνο το 30%-40% της δύναμης Q του τροχού (μικρή έως πολύ καλή φέρουσα ικανότητα του εδάφους αντίστοιχα). Συνεπώς, λόγω της ικανότητας της σιδηροτροχιάς να κατανέμει

το φορτίο επί αυτής, η οποία ικανότητα ενεργοποιείται μέσω της ελαστικότητας της στρώσης έρματος και του υπεδάφους, μειώνεται η δύναμη Q του τροχού κατά 60%-70%. Συνήθως για τον υπολογισμό των τάσεων στις επιμέρους επιφάνειες χρησιμοποιείται το 50% του στατικού φορτίου του τροχού, εκτός από την επιφάνεια της κεφαλής της σιδηροτροχιάς.

Πολλές φορές χρησιμοποιείται ο όρος «συντελεστής βύθισης στρωτήρα D» που σημαίνει τη δύναμη με την οποία επιτυγχάνεται βύθιση 1 cm ανά έδραση στρωτήρα.

$$D = C * F_s \text{ [N/mm]} \quad (3.2)$$

F_s : η ενεργός επιφάνεια μετάδοσης πίεσης από το στρωτήρα [mm^2]

Οι τιμές του C εξαρτώνται γενικά από την ποιότητα του υπεδάφους, το είδος του στρωτήρα καθώς και από την εποχή του έτους. Στους παρακάτω πίνακες δίνονται ενδεικτικά τιμές του C ανάλογα με το υπέδαφος και το είδος του στρωτήρα.

Δείκτης αντίδρασης εδάφους (μέσες τιμές)	Υπέδαφος
$C = 0.02 \text{ N/mm}^3$	Πολύ κακό υπέδαφος
$C = 0.05 \text{ N/mm}^3$	Κακό υπέδαφος
$C = 0.10-0.20 \text{ N/mm}^3$	Καλό υπέδαφος
$C = 0.30-0.60 \text{ N/mm}^3$	Άκαμπτο υπέδαφος

Πίνακας 3.1: Δείκτης αντίδρασης εδάφους ανάλογα με την ποιότητα του υπεδάφους.

Δείκτης αντίδρασης εδάφους (min - max)	Είδος στρωτήρα
Καλοκαίρι $C = 0.26-0.48 \text{ N/mm}^3$ Χειμώνας $C = 0.66-1.50 \text{ N/mm}^3$	Στρωτήρες από σπλισμένο σκυρόδεμα
Καλοκαίρι $C = 0.07-0.17 \text{ N/mm}^3$ Χειμώνας $C = 0.19- 0.36 \text{ N/mm}^3$	Ξύλινοι στρωτήρες

Πίνακα3.2: Δείκτης αντίδρασης εδάφους ανάλογα με το είδος του στρωτήρα.

3.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ C

Ο δείκτης αντίδρασης εδάφους C μπορεί να υπολογισθεί:

1. Με βάση τη μέση τιμή της επί τόπου υπολογισθείσας τάσης σ_M στο μέσο του πέλματος της σιδηροτροχιάς :

$$C = \frac{4 \cdot E \cdot I}{b} \cdot \left[\frac{Q}{4 \cdot \sigma_M \cdot W_u} \right]^4 \quad [N/mm^3] \quad (3.3)$$

Όπου

E : μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα $2,1 \cdot 10^5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$

b : πλάτος του ιδανικού κατά μήκος φορέα [mm]

I : ροπή αδράνειας της σιδηροτροχιάς [mm⁴]

Q : φορτίο τροχού [N]

σ_M : μέση τάση στο μέσο του πέλματος της σιδηροτροχιάς [N/mm²]

W_u : ροπή αντίστασης στο πέλμα της σιδηροτροχιάς [mm³]

2. Με βάση τη μέση τιμή της επί τόπου μετρηθείσας βύθισης y_M της σιδηροτροχιάς υπό το φορτίο Q σε γραμμή υπό λειτουργία (ακριβέστερη μέθοδος από την 1)

$$C = \frac{1}{4 \cdot b} \cdot \frac{Q}{y_M} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{E \cdot I} \cdot \frac{Q}{y_M}} \quad [\text{N/mm}^3] \quad (3.4)$$

3. Με βάση τη φόρτιση S του στρωτήρα και την αντίστοιχη βύθιση y , όπου ως τιμή εκκίνησης φορτίου είναι το μισό φορτίο του άξονα, λόγω της ιδιότητας της σιδηροτροχιάς να κατανέμει το φορτίο στους γειτονικούς στρωτήρες. Για να είναι οι μετρήσεις στατικά ασφαλείς, πρέπει να γίνουν σε 10-12 αντιπροσωπευτικές θέσεις στο υπό διερεύνηση τμήμα της γραμμής:

$$C = \frac{p}{y} = \frac{S_s}{a \cdot b \cdot y} \quad [\text{N/mm}^3] \quad (3.5)$$

Όπου:

S_s : η αντίδραση του στρωτήρα [N]

a : η απόσταση μεταξύ των στρωτήρων [mm]

4. Με βάση τη μέση απόσταση A_M δύο κάμψεων μεταξύ των σημείων ανύψωσης που περιλαμβάνουν 8-12 στρωτήρες:

$$C \approx 2000 \cdot \frac{E \cdot I}{b \cdot A^4} \quad [\text{N/mm}^3] \quad (3.6)$$

Όπου :

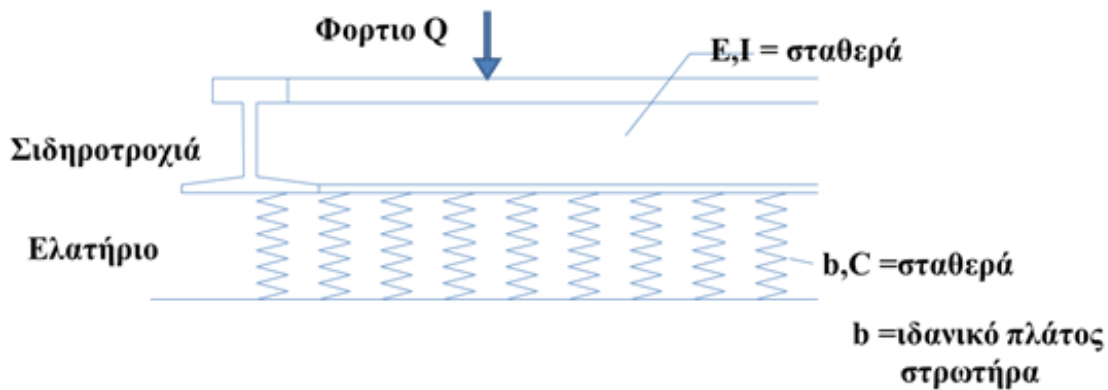
E : είναι το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα $2,1 \cdot 10^5$ [N/mm²]

B : το πλάτος του ιδανικού κατά μήκος φορέα [mm]

I : η ροπή αδράνειας της σιδηροτροχιάς [mm⁴]

3.6 Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΣΤΡΩΤΗΡΑ

Η μέθοδος του Zimmermann βασίζεται σε ένα απλοποιημένο μοντέλο επιδομής όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.6.



Εικόνα 3.6: Απλοποιημένο μοντέλο υπολογισμού της επιδομής.

Ο Zimmermann βασίστηκε στην έρευνα του Winkler από την οποία προέκυψε το προσομοίωμα ιδεώδους εδάφους Winkler. Αποτελεί το απλούστερο θεωρητικό προσομοίωμα, κατά το οποίο το έδαφος υποτίθεται ότι αποτελείται από πλήθος ανεξάρτητων ελατηρίων. Η καθίζηση s της ελεύθερης επιφάνειας του εδάφους φορτιζομένης σε τμήμα της από ομοιομόρφως κατανεμημένη φόρτιση q , δίδεται από τη σχέση:

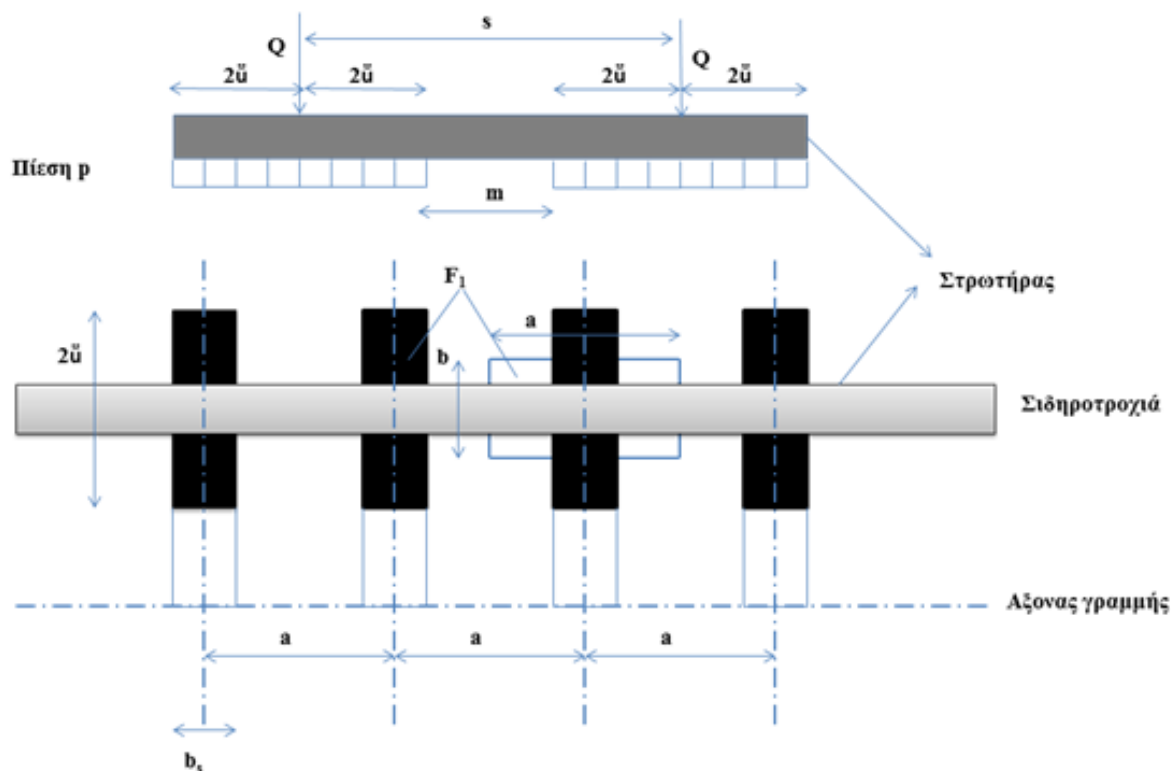
$$s = \frac{q}{c} \quad (3.7)$$

Όπου C ο δείκτης εδάφους.

Ο Zimmermann, βασιζόμενος στην παραπάνω θεωρία και χρησιμοποιώντας τη διαφορική εξίσωση της ελαστικής γραμμής κάμψης, ανέπτυξε μια εξίσωση υπολογισμού της κατακόρυφης καταπόνησης στη μέση του πέλματος της σιδηροτροχιάς υπό κατακόρυφο φορτίο Q . Συγχρόνως με την εισαγωγή του δείκτη εδάφους C , γίνεται μετατροπή της επιδομής με εγκάρσιους στρωτήρες σε υποθετική επιδομή με κατά μήκος στρωτήρες, με την προϋπόθεση ότι η ενεργός επιφάνεια μετάδοσης της πίεσης από το στρωτήρα στο έρμα παραμένει η ίδια. Η βασική ιδέα είναι η εξής:

Επειδή η κάμψη της σιδηροτροχιάς μεταξύ 2 στρωτήρων, σε σχέση με τη συνολική βύθιση εξαιτίας της υποχώρησης της στρώσης του έρματος, είναι ελάχιστη, μπορεί η εγκάρσια στήριξη της να αντικατασταθεί με μια κατά μήκος υποθετική στήριξη.

Επίσης, γίνεται η παραδοχή ότι ο εγκάρσιος στρωτήρας κατανέμει την πίεση ομοιόμορφα σε μήκος $2\bar{u}$ και την μεταβιβάζει στο έρμα. Αντικαθιστώντας τον εγκάρσιο στρωτήρα πλάτους b_s με ένα τεμάχιο στρωτήρα μήκους όσο η απόσταση μεταξύ των στρωτήρων a και περιστρέφοντάς το στην κατεύθυνση του άξονα της γραμμής, δημιουργείται μια συνεχής κατά μήκος έδραση της σιδηροτροχιάς (Εικόνα 3.7)



Εικόνα 3.7: Μετατροπή της επιδομής με εγκάρσιους στρωτήρες σε επιδομή με υποθετικά κατά μήκος στρωτήρες.

Όπου :

s : Απόσταση μεταξύ των μέσων στην κεφαλή των σιδηροτροχιών (κανονικό εύρος 1500 mm)

Q : Φορτίο τροχού (= μισό φορτίο άξονα) [N]

a : Απόσταση μεταξύ των στρωτήρων [mm]

l : Μήκος στρωτήρα [mm]

b_s : Πλάτος του στρωτήρα [mm]

b : Πλάτος του ιδανικού στρωτήρα [mm]

m : Μεσαίο τμήμα στρωτήρα ελεύθερο έδρασης [mm] (δεν υπογομόνεται)

\ddot{u} : Απόσταση άξονα σιδηροτροχιάς μέχρι την άκρη (μέτωπο) του στρωτήρα [mm]

$2\ddot{u}$: Ενεργό μήκος κάτω επιφάνειας ημιστρωτήρα [mm]

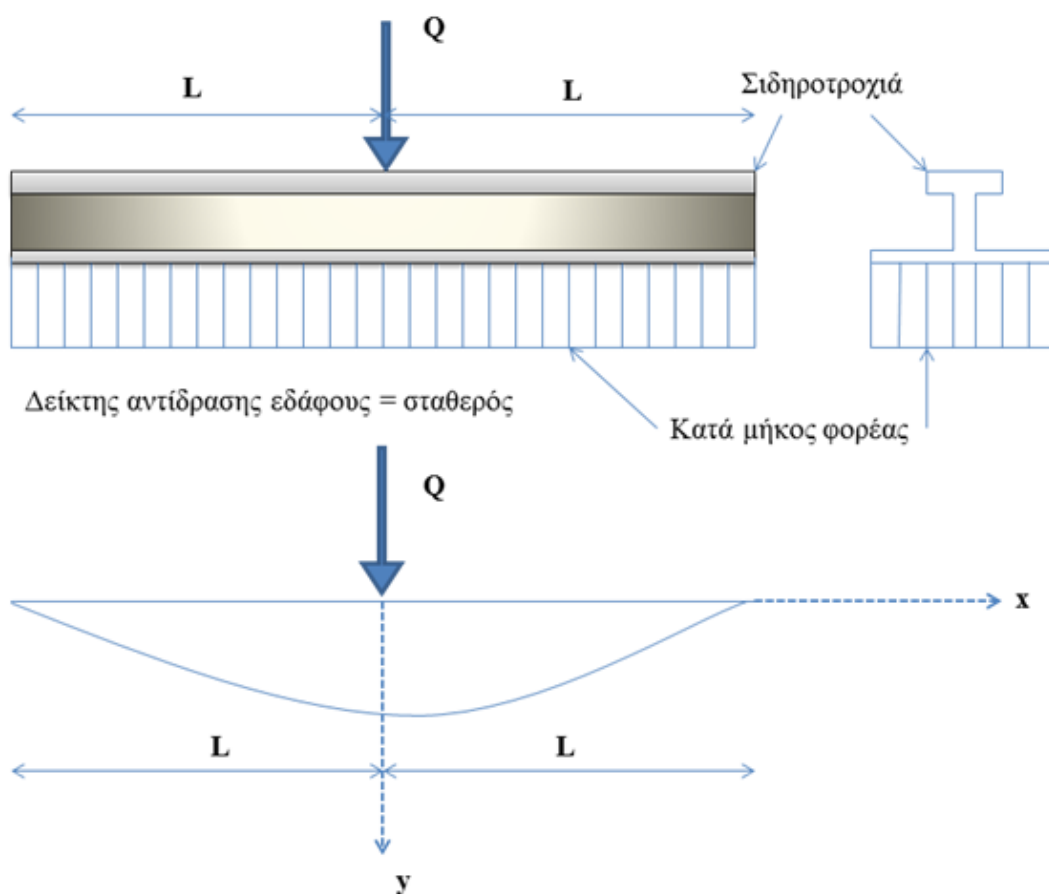
p : Πίεση μεταξύ εσχάρας (κάτω επιφάνεια στρωτήρα) και έρματος [N/mm²]

$F_1 = 2 * \ddot{u} * b_s$: Ενεργός επιφάνεια στρωτήρα ανά σιδηροτροχιά [mm²]

Από τα στατικά μεγέθη στον υπό φορτίο φορέα και από τη διαφορική εξίσωση της ελαστικής γραμμής προκύπτει το ελαστικό μήκος του κατά μήκος φορέα:

$$L = \sqrt[4]{\frac{4 * E * I}{b * C}} \quad (3.8)$$

Το ελαστικό μήκος L εξαρτάται από τη διατομή της σιδηροτροχιάς, την ενεργό επιφάνεια έδρασης του στρωτήρα, την απόσταση μεταξύ των στρωτήρων και το δείκτη αντίδρασης εδάφους. Πρόκειται για το μήκος έδρασης μιας άκαμπτης σιδηροτροχιάς, επί του οποίου δρα ομοιόμορφα η υποθετική πίεση p δεξιά και αριστερά του φορτίου Q , και μάλιστα έτσι ώστε σε αυτήν την απλή στήριξη να προκύπτουν ίδιες καταπονήσεις όπως και στη στήριξη των εγκάρσιων στρωτήρων.



Εικόνα 3.8: Σχηματική απεικόνιση του ελαστικού μήκους L

Καθοριστικός στη θεωρία του κατά μήκος στρωτήρα είναι ο παράγοντας ξ ο οποίος υπολογίζεται ως εξής:

$$\xi = \frac{x}{L} \quad (3.9)$$

Όπου : x είναι η απόσταση από τη διερευνούμενη περιοχή [mm]

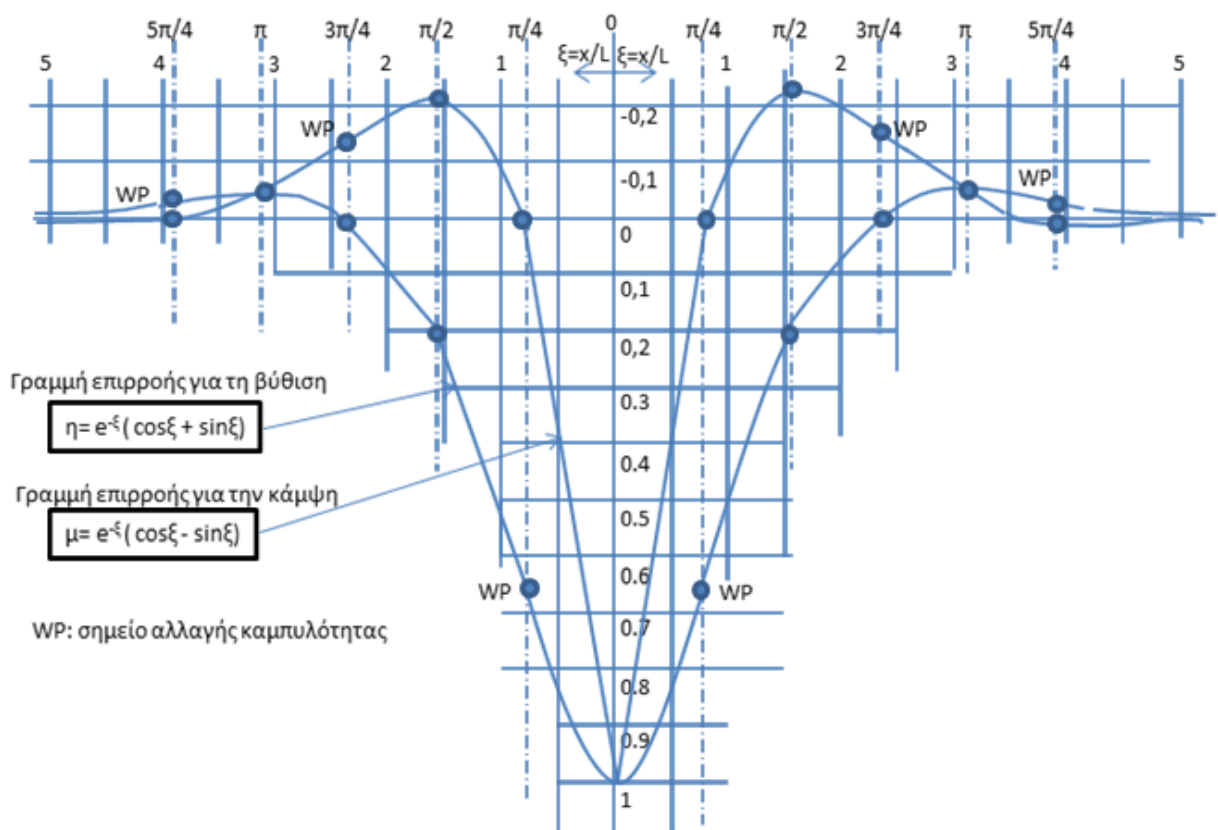
Ο παράγοντας ξ υπεισέρχεται στον υπολογισμό των συντελεστών η και μ . Οι τιμές η χαρακτηρίζουν την επιρροή στην κάμψη της γραμμής σε δεδομένη απόσταση από την διερευνούμενη διατομή, ενώ οι τιμές μ ανάλογα την καμπτική ροπή. Προς ευχερέστερη χρήση οι τιμές η και μ απεικονίζονται σε γραμμές επιρροής ως συνάρτηση $f(x)$ αντίστοιχα των εξισώσεων (3.10) και (3.11) που αναγράφονται

παρακάτω . Στην Εικόνα 3.9 απεικονίζονται οι γραμμές επιρροής για τη βύθιση και την κάμψη, ενώ στον Πίνακα 3.3 αναγράφονται αναλυτικά οι τιμές των μεγεθών η και μ σε απόσταση x από τη θέση επιβολής φορτίου.

Οι παράγοντες η και μ υπολογίζονται συναρτήσει του ξ ως εξής:

$$\eta = e^{-\xi} (\cos \xi + \sin \xi) \quad (3.10)$$

$$\mu = e^{-\xi} (\cos \xi - \sin \xi) \quad (3.11)$$



Εικόνα 3.9: Γραμμές επιρροής για τη βύθιση και την κάμψη

ξ	η	μ	ξ	η	μ
0,0	1,0000	1,0000	3,6	-0,03659	-0,01241
0,1	0,9907	0,8100	3,7	-0,03407	-0,00787
0,2	0,9651	0,6398	3,8	-0,03138	-0,00401
0,3	0,9267	0,4888	3,9	-0,02862	-0,00077
0,4	0,8784	0,3564	4,0	-0,02583	0,00189
0,5	0,8231	0,2415	4,1	-0,02309	0,00403
0,6	0,7628	0,1431	4,2	-0,02042	0,00572
0,7	0,6997	0,0599	4,3	-0,01787	0,00699
0,8	0,6354	-0,0093	4,4	-0,01546	0,00791
0,9	0,5712	-0,0657	4,5	-0,01320	0,00852
1,0	0,5083	-0,1108	4,6	-0,01112	0,00886
1,1	0,4476	-0,1457	4,7	-0,00921	0,00898
1,2	0,3899	-0,1716	4,8	-0,00748	0,00892
1,3	0,3355	-0,1897	4,9	-0,00593	0,00870
1,4	0,2849	-0,2011	5,0	-0,00455	0,00837
1,5	0,2384	-0,2068	5,1	-0,00334	0,00795
1,6	0,1959	-0,2077	5,2	-0,00229	0,00746
1,7	0,1576	-0,2047	5,3	-0,00139	0,00692
1,8	0,1234	-0,1985	5,4	-0,00062	0,00636
1,9	0,0932	-0,1899	5,5	0,00001	0,00578
2,0	0,0667	-0,1794	5,6	0,00053	0,00520
2,1	0,0439	-0,1675	5,7	0,00095	0,00464
2,2	0,0244	-0,1548	5,8	0,00127	0,00409
2,3	0,0080	-0,1416	5,9	0,00152	0,00356
2,4	-0,0056	-0,1282	6,0	0,00169	0,00307
2,5	-0,0166	-0,1149	6,1	0,00180	0,00261
2,6	-0,0254	-0,1019	6,2	0,00185	0,00219
2,7	-0,0320	-0,0895	6,3	0,00187	0,00181
2,8	-0,0369	-0,0777	6,4	0,00184	0,00146
2,9	-0,0403	-0,0666	6,5	0,00179	0,00114
3,0	-0,0423	-0,0563	6,6	0,00172	0,00087
3,1	-0,04314	-0,04688	6,7	0,00162	0,00063
3,2	-0,04307	-0,03831	6,8	0,00152	0,00042
3,3	-0,04224	-0,03060	6,9	0,00141	0,00024
3,4	-0,04079	-0,02374	7,0	0,00129	0,00009
3,5	-0,03887	-0,01769			

Πίνακας 3.3: Τιμές η και μ σε απόσταση x από τη θέση επιβολής φορτίου

Οι εξισώσεις υπολογισμού των μεγεθών διαμορφώνονται ως εξής:

Για τη γραμμή κάμψης:

$$y = \frac{q}{2 \cdot b \cdot c \cdot L} \cdot \eta \quad (3.12)$$

Για την καμπτική ροπή:

$$M = \frac{q \cdot L}{4} \cdot \mu \quad (3.13)$$

Για την πίεση στην επιφάνεια μεταξύ στρωτήρα και έρματος:

$$p = \frac{q}{2 \cdot b \cdot L} \cdot \eta \quad (3.14)$$

Οι εξισώσεις αυτές για y , M και p εκφράζουν τις επιδράσεις που δημιουργούνται από μοναδιαίες δυνάμεις σε απόσταση $x = \xi \cdot L$ από τα σημεία δράσης τους.

3.7 Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ ODEMARK

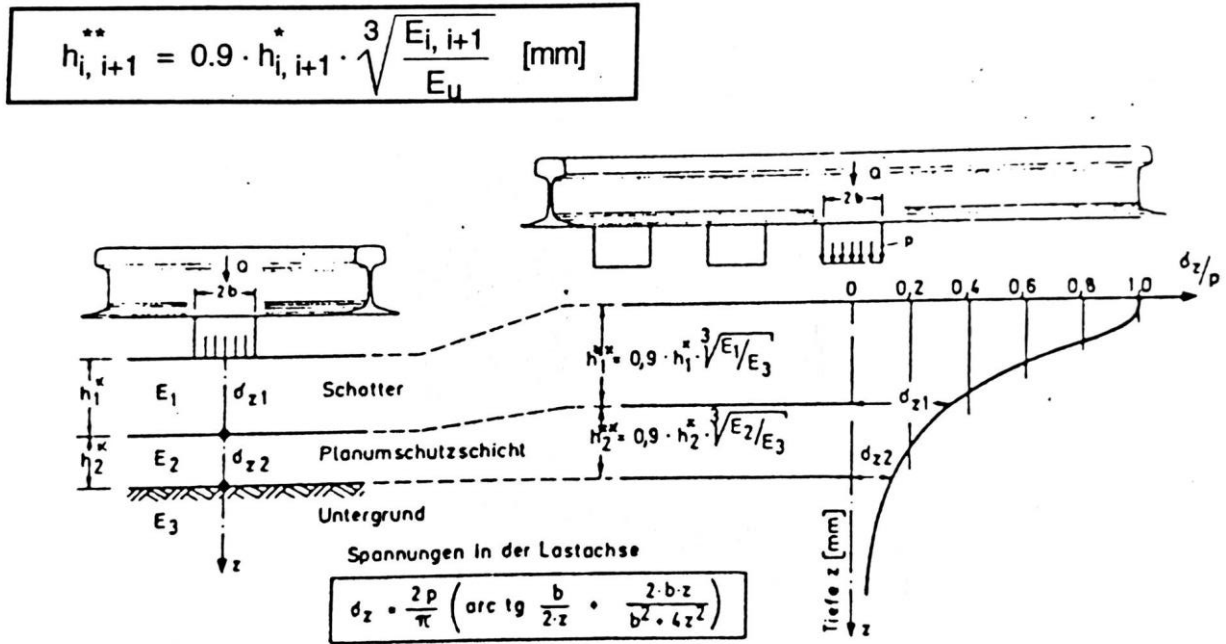
Ο υπολογισμός των απαιτήσεων του υπεδάφους για συστήματα με πολλές στρώσεις ακολουθεί τη θεωρία του Odemark. Η μέθοδος Odemark αποτελεί ένα υπολογιστικά αποδοτικό αλλά προσεγγιστικό τρόπο προσδιορισμού τάσεων, παραμορφώσεων και μετατοπίσεων συστήματος ελαστικών στρώσεων λόγω στατικού διανεμημένου φορτίου που δρα σε κυκλική επιφάνεια.

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην υπόθεση ότι οι τάσεις και παραμορφώσεις κάτω από μία στρώση εξαρτώνται μόνο από τη δυσκαμψία αυτής της στρώσης. Εάν το πάχος και τα μηχανικά χαρακτηριστικά (μέτρο ελαστικότητας E και λόγος Poisson ν) αυτής της στρώσης μεταβληθούν, αλλά η δυσκαμψία της παραμένει αμετάβλητη, τότε οι αναπτυσσόμενες τάσεις και παραμορφώσεις κάτω από αυτή τη στρώση θα παραμείνουν επίσης σχετικά αμετάβλητες.

Η δυσκαμψία μιας στρώσης, σύμφωνα με την καμπτική θεωρία λεπτών πλακών σε κάμψη, είναι ανάλογη προς την καμπτική δυσκαμψία

$$h^3 E / (1 - \nu^2)$$

όπου h είναι το πάχος της στρώσης.



Εικόνα 3.10: Μετασχηματισμός συστήματος ελαστικών στρώσεων κατά Odemark

Έτσι ο μετασχηματισμός που περιγράφεται στην Εικόνα 3.10 δεν αναμένεται να επηρεάσει τις αναπτυσσόμενες τάσεις της υποκείμενης στρώσης υπό την προϋπόθεση ότι

$$\frac{h1^3 \cdot E1}{1 - \nu1^2} = \frac{he^3 \cdot E2}{1 - \nu2^2} \quad (3.15)$$

Απ' όπου μπορεί να υπολογιστεί το ισοδύναμο πάχος:

$$he = h1 \sqrt[3]{\frac{E1}{E2} \cdot \frac{1 - \nu2^2}{1 - \nu1^2}} \quad (3.16)$$

Η στρώση πάχους h_1 με μηχανικά χαρακτηριστικά E_1, ν_1 αντικαθίσταται με “ισοδύναμη” στρώση με E_2, ν_2 πάχους h_e έτσι ώστε οι δυσκαμψίες της στρώσης 1 και 2 να είναι ίσες.

Επομένως, η θεωρία ισοδυναμίας του Odemark συνίσταται στην ιδεατή μετατροπή δύο ελαστικών στρώσεων με μηχανικές ιδιότητες E και ν σε μία ισοδύναμη ελαστική στρώση με τα μηχανικά χαρακτηριστικά της υποκείμενης. Έτσι, δημιουργείται μία ελαστική, ισότροπη και ομογενής στρώση. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση περισσότερων των δύο στρώσεων. Βασική προϋπόθεση είναι η μετατροπή να γίνεται πάντοτε συναρτήσει της τελευταίας στρώσης (υπέδαφος). Με αυτή τη μέθοδο είναι δυνατός ο υπολογισμός των αναπτυσσόμενων τάσεων και παραμορφώσεων με τη χρήση των βασικών εξισώσεων του Boussinesq.

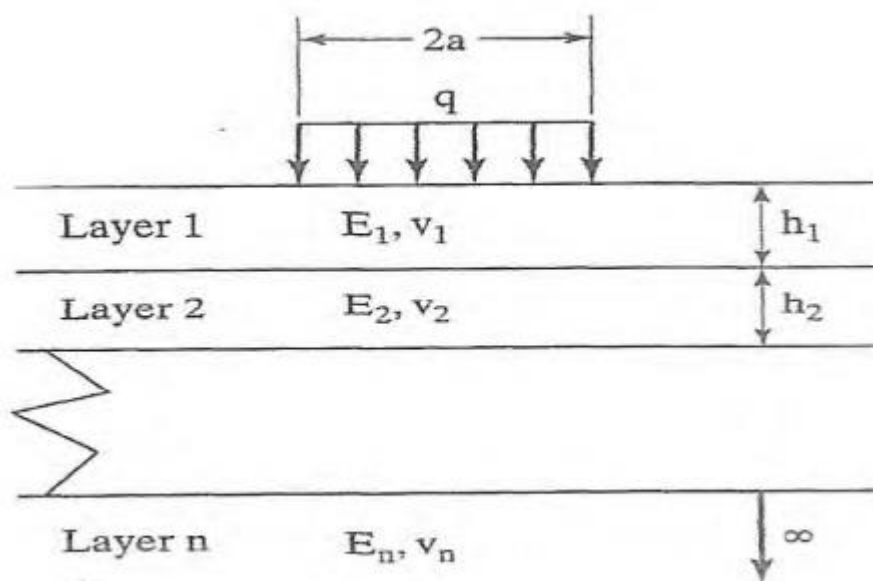
Η ακρίβεια της μεθόδου Odemark μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση ενός διορθωτικού συντελεστή f , ο οποίος πολλαπλασιάζει το δεξί μέλος της εξίσωσης (3.16). Η τιμή του διορθωτικού συντελεστή f για σύστημα δύο στρώσεων είναι 0,9, ενώ για σύστημα πολλαπλών στρώσεων λαμβάνεται ίση με 0,8 με εξαίρεση την πρώτη διαχωριστική επιφάνεια όπου η τιμή του διορθωτικού συντελεστή είναι ίση με 1.0. Τέλος, επειδή ο λόγος του Poisson ν κυμαίνεται μεταξύ 0.30 και 0.45 και στην πράξη σπάνια προσδιορίζεται με κάποιο βαθμό ακρίβειας, συνίσταται ο λόγος αυτός να λαμβάνεται ο ίδιος σε όλες τις στρώσεις. Στην περίπτωση αυτή ο λόγος $(1-\nu^2) / (1-\nu_1^2)$ στο δεξιό μέλος της σχέσης (3.16) είναι ίσος με τη μονάδα και αν ληφθεί υπόψη και ο διορθωτικός συντελεστής f η σχέση αυτή λαμβάνει τη μορφή:

$$h_e = f \cdot h_1 \cdot \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_2}} \quad (3.17)$$

Έτσι για ένα σύστημα πολλών στρώσεων, όπως αυτό της Εικόνας 3.11, το ισοδύναμο πάχος των άνω $n-1$ στρώσεων ως προς το μέτρο ελαστικότητας της στρώσης n υπολογίζεται από τον τύπο:

$$h_{e,n} = f \sum_{i=1}^n h_i \sqrt[3]{\frac{E_i}{E_n}} \quad (3.18)$$

Στρώσεις κάτω από τη στρώση n υποτίθενται ότι έχουν ως μέτρο ελαστικότητας E_n στο μετασχηματισμένο σύστημα της Εικόνας 3.10.



Εικόνα 3.11: Σύστημα n στρώσεων υπό διανεμημένο στατικό φορτίο σε κυκλική επιφάνεια (από Huang, 2004)

Για συμβατική επιδομή έρματος μπορεί να γίνει η επίλυση των παραπάνω υπολογισμών ξεκινώντας από τις παρακάτω τιμές για τα μέτρα ελαστικότητας των στρώσεων σύμφωνα με το Πολυτεχνείο της Ζυρίχης:

$$E_1 = E_{\text{έρματος}} = 150 \text{ N/mm}^2$$

$$E_2 = E_{\text{υποδομής}} = 100\text{-}300 \text{ N/mm}^2$$

$$E_u = E_{\text{υπεδάφους}} = 50 \text{ N/mm}^2$$

Γενικά η μέθοδος δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα για τις κατακόρυφες τάσεις αλλά όχι τόσο καλά αποτελέσματα για τις οριζόντιες τάσεις.

3.7.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΣΕΩΝ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΟΛΛΩΝ ΣΤΡΩΣΕΩΝ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Οι τάσεις (κατακόρυφες, οριζόντιες και διατμητικές) κάτω από το στρωτήρα υπολογίζονται ως εξής:

$$\sigma_z = -\frac{2 \cdot p}{\pi} \cdot \left[\arctan\left(\frac{bs}{2 \cdot z'}\right) + \frac{2 \cdot bs \cdot z'}{bs^2 + 4 \cdot z'^2} \right] \quad [\text{N/mm}^2] \quad (3.19)$$

$$\sigma_x = -\frac{2 \cdot p}{\pi} \cdot \left[\arctan\left(\frac{bs}{2 \cdot z'}\right) - \frac{2 \cdot bs \cdot z'}{bs^2 + 4 \cdot z'^2} \right] \quad [\text{N/mm}^2] \quad (3.20)$$

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_z - \sigma_x}{2} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (3.21)$$

όπου :

σ_z : κατακόρυφη τάση [N/mm²]

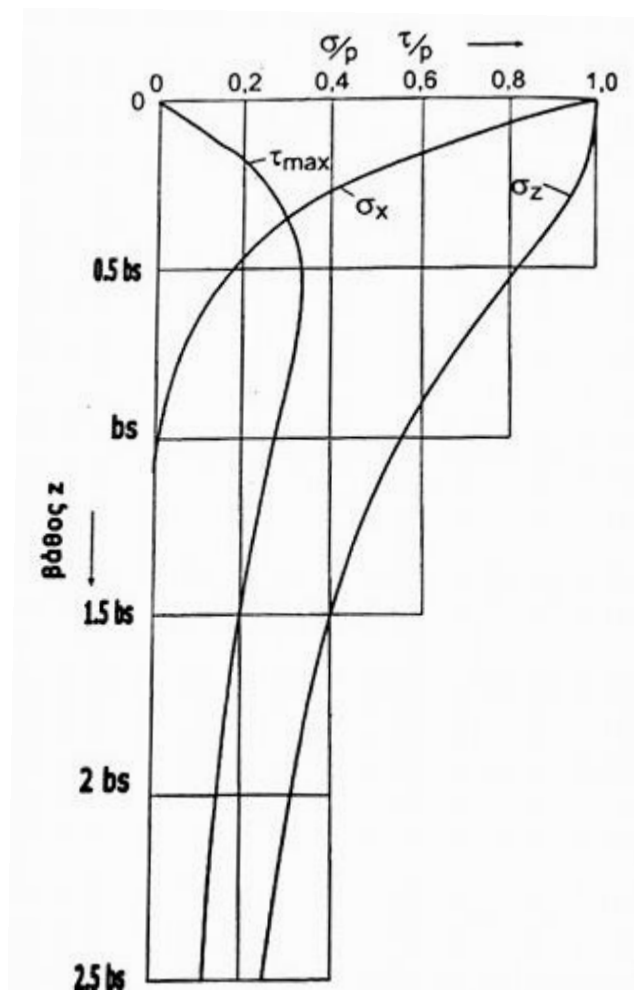
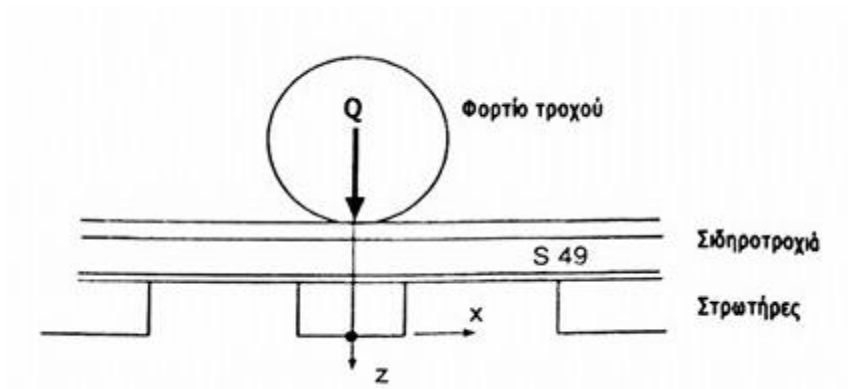
σ_x : οριζόντια τάση [N/mm²]

τ_{\max} : διατμητική τάση [N/mm²]

p : πίεση έρματος κάτω από το στρωτήρα [N/mm²]

bs : πλάτος στρωτήρα [mm]

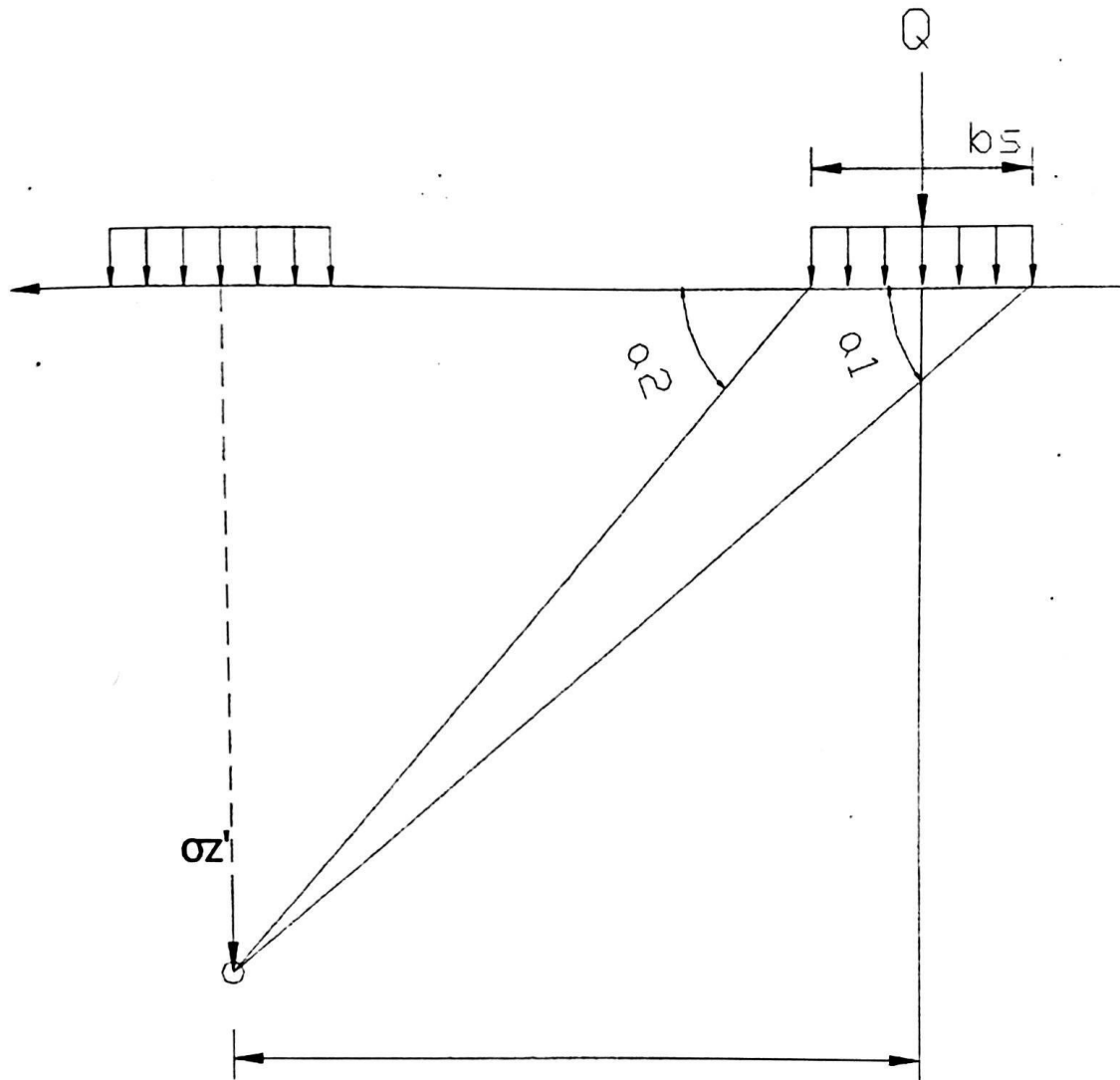
z' : ισοδύναμο βάθος κάτω από τον στρωτήρα σε [mm]



Εικόνα 3.12: Διάγραμμα κατακόρυφων, οριζόντιων και διατμητικών τάσεων σε σχέση με την πίεση κάτω από το στρωτήρα

3.7.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΓΕΙΤΟΝΙΚΩΝ ΣΤΡΩΤΗΡΩΝ ΣΤΙΣ ΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Η συμβολή των γειτονικών στρωτήρων στις τάσεις του εδάφους μπορεί να υπολογιστεί από τις ακόλουθες σχέσεις σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 3.13 : Επίδραση των γειτονικών στρωτήρων στις τάσεις κάτω από τον υπό εξέταση στρωτήρα

$$\sigma_z' = \frac{p}{\pi} \cdot \left[\alpha_2' - \alpha_1' - \frac{\sin(2 \cdot a_2) - \sin(2 \cdot a_1)}{2} \right] \quad [\text{N/mm}^2] \quad (3.22)$$

$$\sigma_x' = \frac{p}{\pi} \cdot \left[\alpha_2' - \alpha_1' + \frac{\sin(2 \cdot a_2) - \sin(2 \cdot a_1)}{2} \right] \quad [\text{N/mm}^2] \quad (3.23)$$

όπου

σ_x' , σ_z' : οι επιπρόσθετες τάσεις σε βάθος z κάτω από τον υπό εξέταση στρωτήρα
[N/mm²]

α_1, α_2 : οι γωνίες όπως φαίνονται στο παραπάνω σχήμα [°]

3.7.3 ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

Η επιτρεπόμενη καταπόνηση των στρώσεων κάτω από το έρμα και της υπόβασης μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση:

$$\sigma_{z,επιτρ} = \frac{0,006 \cdot E_{δυν,υ}}{1+0.7 \cdot \log n} \quad [N/mm^2] \quad (3.24)$$

όπου:

$E_{δυν,υ}$: δυναμικό μέτρο ελαστικότητας των προστατευτικών στρώσεων, υποδομής και εδάφους. Υπολογίζεται στην ασφαλή πλευρά, όταν χρησιμοποιηθεί το μέτρο παραμορφωσιμότητας E_{v2} από τη δοκιμή φορτίου πλάκας. Σε αντίθεση με το έρμα , όπου το E_{v2} με τη βοήθεια ενός παράγοντα μετατρέπεται σε $E_{δυν,υ}$, ισχύει για το $E_{δυν,υ}$ εδάφους :

$$E_{δυν,υ} \approx E_{v2} = 10 \text{ εως } 100 \text{ N/mm}^2$$

n : πλήθος φορτίσεων κατά την κρίσιμη περίοδο

Τα αποτελέσματα των παραπάνω υπολογισμών συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα

Διαβάθμιση εδάφους	E_{v2} [N/mm ²]	C [N/mm ³]	$\sigma_{z,επιτρ}$ n=10 ⁶	$\sigma_{z,επιτρ}$ n=10 ⁷
Πολύ μαλακό	10	0,03	0,012	0,010
	20	0,04	0,023	0,020
Μεσαίο	50	0,07	0,058	0,051
Καλό	80	0,09	0,092	0,081
	100	0,11	0,115	0,102

Πίνακας 3.4: Επιτρεπόμενες τάσεις στο έδαφος

3.8 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΕΛΕΥΣΗ ΣΥΡΜΟΥ ΣΕ ΕΠΙΔΟΜΗ, ΥΠΟΔΟΜΗ ΚΑΙ ΥΠΕΔΑΦΟΣ

Από τις έρευνες που έχουν διεξαχθεί την τελευταία δεκαετία κρίνεται απαραίτητη η προσεκτικότερη σχεδίαση, κατασκευή και συντήρηση των σιδηροδρομικών γραμμών με έμφαση στη δυναμική του εδάφους και της κυκλοφορίας των συρμών. Θεωρητικά μοντέλα μπορούν να αποσαφηνίσουν κύριους παράγοντες επίδρασης, ενώ καθιστούν δυνατές τις βελτιώσεις σε φτωχά διατηρημένες σιδηροδρομικές γραμμές.

Με αυξανόμενη κόπωση γραμμής, η οποία σχετίζεται με υψηλές ταχύτητες συρμών, αξονικά φορτία και μάζα οχημάτων, είναι σε πολλά τμήματα ορατές αρκετές φθορές στις γραμμές. Διαρροή του έρματος, λάθη υπερύψωσης και στρέψεις οδηγούν σε σημαντικό κόστος συντήρησης ή στην παρουσία τμημάτων που πρέπει να διατρέχονται με χαμηλή ταχύτητα. Η εμπειρία που υπάρχει μέχρι στιγμής με τις ταχύτητες τρένων κάτω από 160 km/h δεν επαρκεί για την πλήρη εξήγηση των φαινομένων αυτών και τη λήψη μέτρων μεγάλης διάρκειας που να οδηγούν σε μια σταθερή κατάσταση τη σιδηροδρομική γραμμή.

Παρά το γεγονός ότι σε ορισμένες ευνοϊκές περιπτώσεις ή σε ταχύτητες μικρότερες από 100 km/h δε δημιουργούνται σημαντικά λάθη στην επιδομή και την υποδομή, δεν είναι δυνατόν να λαμβάνεται πλέον υπόψη μόνο η στατική επίδραση του φορτίου. Κάτω από τον περιστρεφόμενο τροχό δημιουργούνται ταλαντώσεις, οι οποίες σε συνδυασμό με το στατικό φορτίο συντελούν σε μεγάλο βαθμό στην εμφάνιση λαθών στη θέση της γραμμής.

Αναγνωρίζεται ότι πρόκειται για ένα περίπλοκο φαινόμενο. Μέσω της ανάπτυξης κατάλληλων μοντέλων πρέπει να φαίνεται καθαρά η παρουσία τέτοιων φαινομένων σε ταχέως κινούμενα τρένα. Οι προϋποθέσεις για αυτό είναι η πολύ καλή παρατήρηση, μέτρηση, ανάλυση και επεξήγηση των μεγεθών που επιδρούν στην επιδομή, υποδομή και στο υπέδαφος ώστε να μπορούν να εκφραστούν ποσοτικά και να συμβάλλουν στην εξαγωγή συμπερασμάτων.

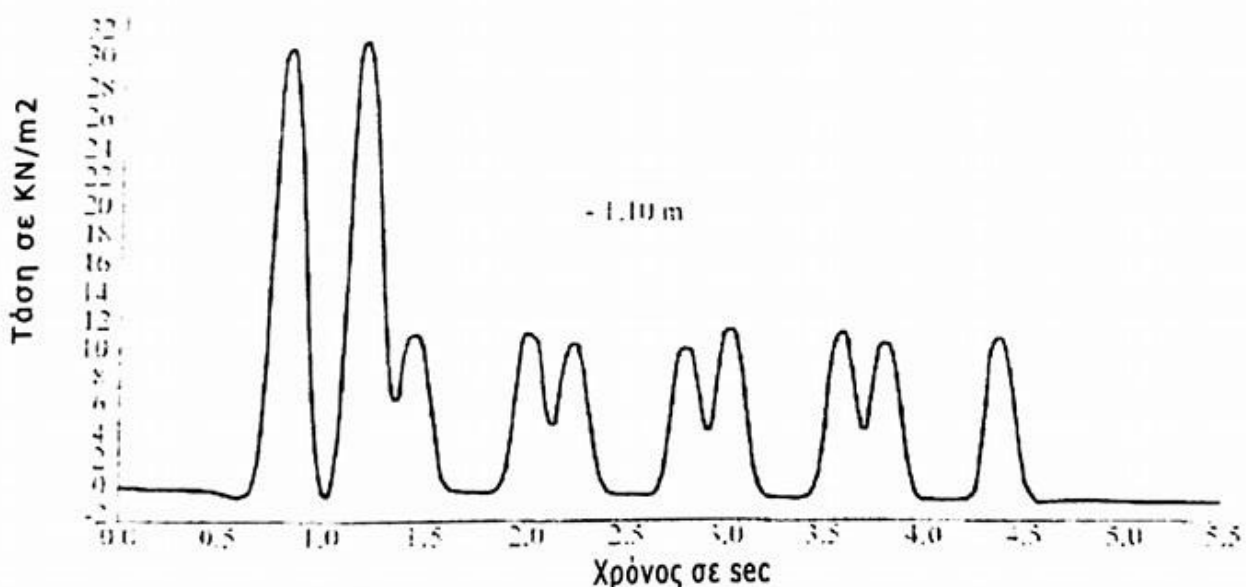
3.8.1 ΜΕΓΕΘΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ ΣΥΡΜΟ

Με την ανάπτυξη συρμών υψηλών ταχυτήτων από τους γερμανικούς σιδηροδρόμους διεξήχθησαν μετρήσεις δύναμης ταλάντωσης και τάσης πέλματος της σιδηροτροχιάς.

Ωστόσο δεν υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα σχετικά με το μέγεθος των καθιζήσεων από τη διέλευση των συρμών ή το πλήθος αυτών δεν ήταν ικανοποιητικό.

Από την αρχή της δεκαετίας του '90, με εντολή των γερμανικών σιδηροδρόμων, διεξήχθησαν στη Δρέσδη, με τη βοήθεια διάφορων ινστιτούτων, πλήθος μετρήσεων ταλάντωσης, τάσεων και βύθισης σε διάφορες σιδηροδρομικές γραμμές.

Όλη η σύλληψη της ιδέας ξεκίνησε από τη μέτρηση σε συγκεκριμένες θέσης της γραμμής, κατά τη διέλευση των συρμών, των δυνάμεων ταλάντωσης και της μέσης τάσης του πέλματος της σιδηροτροχιάς, ξεκινώντας από το πέλμα μέχρι μεγαλύτερα βάθη. Τα καταγραφικά για να δέχονται τη πίεση του πέλματος ρυθμίστηκαν έτσι ώστε οι επιπλέον τάσεις να εξομαλυνθούν. Για την κατώτερη στρώση η οποία συνήθως είναι ελεύθερη υπογείου ύδατος και όχι κορεσμένη οι τάσεις αυτές είναι ενεργές τάσεις. Το Διάγραμμα 3.1 δείχνει ένα παράδειγμα καταγραφής τέτοιων τάσεων σε μια επιπλοκή ολίσθησης κατά τη διέλευση συρμού. Για το μέγεθος των ολικών τάσεων κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα ή σε κορεσμένα εδάφη υπάρχουν μόνο λίγες τιμές μετρήσεων.



Διάγραμμα 3.1: Διάγραμμα τάσεων στον άξονα του φορτίου σε συνάρτηση με το χρόνο

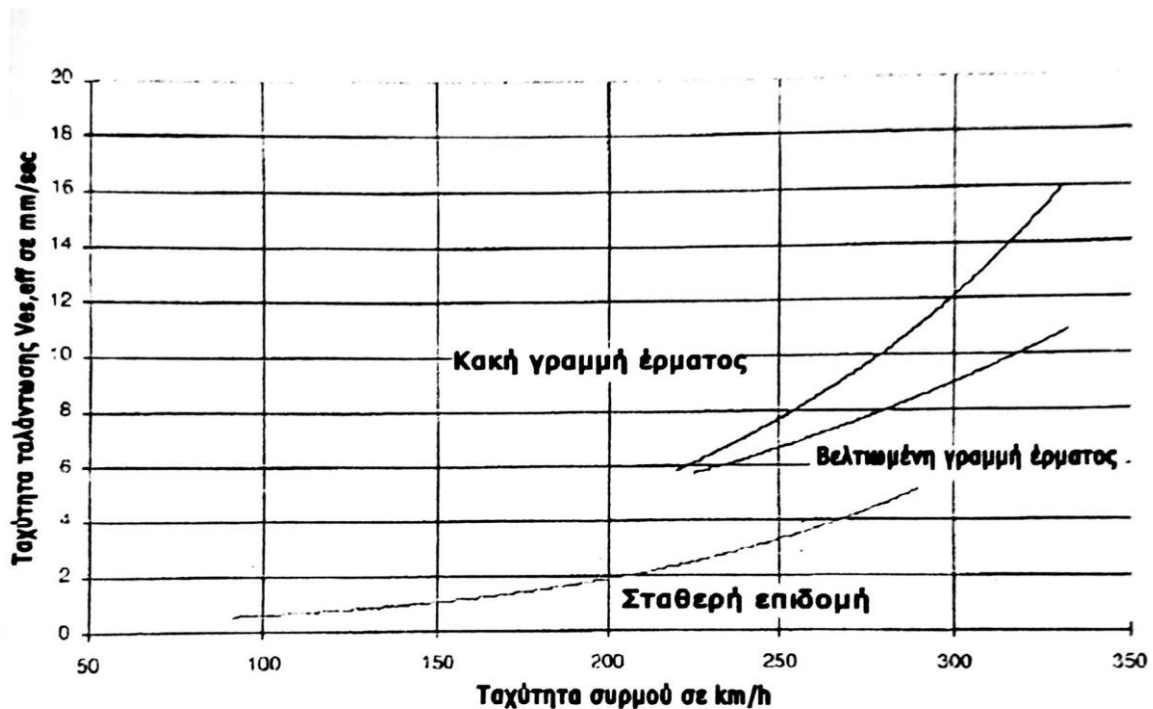
Η μέτρηση των αναπτυσσόμενων πιέσεων έρματος δεν έχει , κατά ορισμένους, πετύχει ακόμα. Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι γνωστές οι εμφανιζόμενες τάσεις πάνω ακριβώς από το έρμα αλλά και στα κενά που δημιουργούνται μεταξύ των κόκκων του έρματος. Μέσες πιέσεις έρματος καθορίζονται μόνο υπολογιστικά από το αξονικό φορτίο και από την ενεργό επιφάνεια του στρωτήρα.

Αν παρατηρήσει κανείς τις μετρημένες ενεργές επιφάνειες του στρωτήρα στο Πολυτεχνείου του Γκρατζ , οι οποίες γίνονται ορατές μετά τις πρώτες ρωγμές στις γωνίες των στοιχείων του έρματος που βρίσκονται στη γειτονιά του στρωτήρα, θα διαπιστώσει ότι βρίσκονται πολύ κάτω από το 10% της υπολογισθείσας ενεργής επιφάνειας. Έτσι γίνεται αντιληπτό ότι οι αρχικές τάσεις στις γωνίες των λίθων του έρματος είναι εκθετικά μεγαλύτερες από τις μέσες πιέσεις έρματος.

Σε συνεργασία με το κέντρο ερευνών των γερμανικών σιδηροδρόμων στο Μίντεν προέκυψαν τιμές μετρήσεων των δυναμικών αξονικών φορτίων έτσι ώστε να μπορεί να υπολογιστεί ο συντελεστής δυναμικού φορτίου ή δυναμικός συντελεστής.

$$k_{dyn} = \frac{\text{Δυναμικό Φορτίο}}{\text{Στατικό Φορτίο}}$$

Η ταχύτητα ταλάντωσης αποτέλεσε το μέτρο της δύναμης ταλάντωσης και αναλύθηκε στους άξονες x,y,z έτσι ώστε η προκύπτουσα ταχύτητα ταλάντωσης V_{res} να μπορεί να υπολογιστεί. Στις μέγιστες τιμές υπολογίζεται πως για ένα χρονικό περιθώριο των 0,125 δευτερολέπτων περίπου παράγεται η πραγματική τιμή της ταχύτητας ταλάντωσης V_{res} . Σε όλες τις μετρήσεις διαπιστώθηκε ότι η δύναμη της ταλάντωσης εξαρτάται από την ταχύτητα του συρμού. Ενώ μέχρι το 1998 θεωρείτο ότι υπάρχει μια σχεδόν γραμμική σχέση ανάμεσα στην ταχύτητα του συρμού και τη δύναμη της ταλάντωσης , οι μετρήσεις που έλαβαν χώρα κατά τα επόμενα δύο έτη δείχνουν ότι σε υψηλότερες ταχύτητες συρμών , τόσο σε κλασική επιδομή με έρμα όσο και σε σταθερή επιδομή , συναντάται μια υπεργραμμική θεώρηση της δύναμης ταλάντωσης. Προφανώς, σε αυτά τα επίπεδα ταχυτήτων επιδρούν πιά έντονα οι ενδεχόμενες ατέλειες από ότι σε χαμηλότερες ταχύτητες. Η σταθερή επιδομή παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι το επίπεδο της δύναμης ταλάντωσης είναι χαμηλότερο από αυτό της κλασικής επιδομής με έρμα και οι ατέλειες συναντώνται σε περιορισμένη έκταση. Στο Διάγραμμα 3.2 που ακολουθεί φαίνεται η υπεργραμμική αύξηση της ταχύτητας ταλάντωσης για κλασική επιδομή με έρμα και σταθερή επιδομή.



Διάγραμμα 3.2: Ταχύτητα ταλάντωσης σε συνάρτηση με την ταχύτητα του συρμού σε κλασική επιδομή με έρμα(κακή και βελτιωμένη γραμμή) και σε σταθερή επιδομή

Μέσω των προαναφερθέντων μετρήσεων τάσεων και βυθίσεων σε διαφορετικά βάθη και στη σιδηροτροχιά παρατηρείται η μείωση των τάσεων και των δυνάμεων ταλάντωσης με την απομάκρυνση από το σημείο δράσης. Ενώ κατά τη μείωση των τάσεων κυριαρχεί η ζώνη εξάπλωσης, κατά τη μείωση των τάσεων ένα ποσοστό μετατρέπεται σε θερμότητα. Από πολυάριθμες μετρήσεις προκύπτει για τη δύναμη ταλάντωσης η ακόλουθη εμπειρική σχέση:

$$V_{res,z} = V_{res,anf} \cdot e^{\frac{1}{q} \cdot z} \quad [\text{m/sec}] \quad (3.25)$$

Όπου

$V_{res,anf}$: η ταχύτητα ταλάντωσης σε βάθος $z=0$

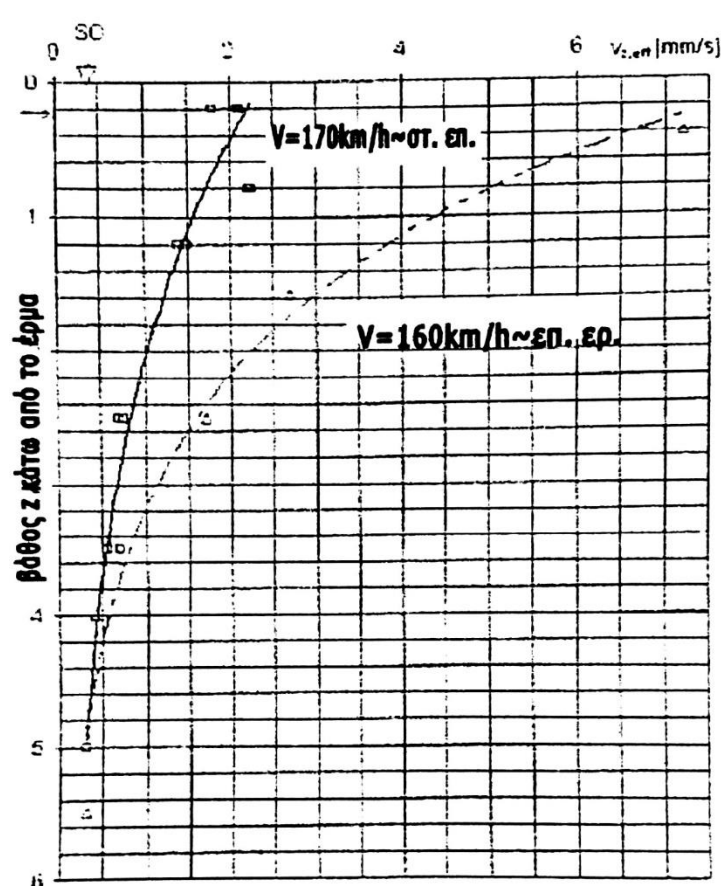
q : ο συντελεστής απόσβεσης , ο οποίος για συνήθη υποδομή και υπέδαφος βρίσκεται ανάλογα με το μέγεθος της επιφάνειας δράσης (στρωτήρα ή σταθερής επιδομής) να κυμαίνεται μεταξύ 2 έως 5.

Δυστυχώς για σταθερή επιδομή υπάρχουν μόνο λίγες μετρήσεις , ειδικά σε βάθος, για κυκλοφορίες υψηλών ταχυτήτων. Στο Διάγραμμα 3.3 φαίνονται τα διαγράμματα της ταχύτητας ταλάντωσης συναρτήσει του βάθους z κάτω από το έρμα για κλασική

επιδομή με έρμα και για σταθερή επιδομή σε ταχύτητες κυκλοφορίας κοντά στα 160 km/h.

Οι υψηλότερες ταχύτητες ταλάντωσης συναντώνται γενικά κάτω από μεγαλύτερα αξονικά φορτία. Για να είναι δυνατό να κριθεί αν πραγματικά υπάρχει ομογενής διαδρομή συρμών, υπολογίστηκαν για μεμονωμένη διέλευση αξόνων ή φορείων τέτοιες ταχύτητες στη μέγιστη τιμή της ταχύτητας ταλάντωσης ενός συρμού. Θεωρήθηκε ότι κατά 80% η διαδρομή του συρμού μπορεί να χαρακτηριστεί ως ομογενής.

Από όλες τις μετρήσεις και τις αναλύσεις αυτών μπόρεσαν να αναχθούν τα μεγέθη καταπόνησης σε σχέση με την ταχύτητα του τρένου, το είδος του συρμού, το είδος επιδομής, την ελεύθερη διαδρομή και τις θέσεις ενόχλησης, τη συμπεριφορά της υποδομής και του υπεδάφους για την τρέχουσα σχεδίαση που γίνεται. Όλα επιλέχθησαν υπέρ της ασφαλείας.



Διάγραμμα 3.3: Σύγκριση ταλάντωσης ανάμεσα σε κλασική επιδομή με έρμα και σταθερή επιδομή για ταχύτητες συρμών 160 km/h και 170 km/h αντίστοιχα.

3.8.2 ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΕΛΕΥΣΗ ΣΥΡΜΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο δεν εξετάζονται λεπτομερώς αλλαγές της σιδηροτροχιάς και των ελαστικών υποθεμάτων. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι με αλλαγές στα στοιχεία δρομολογίων οι τιμές των μεγεθών επίδρασης για τα ακόλουθα στοιχεία είναι δυνατόν να επηρεαστούν αναλόγως. Με την προϋπόθεση ότι η σιδηροτροχιά και τα ελαστικά υποθέματα για ένα παρατηρηθέν χρονικό διάστημα μένουν αναλλοίωτα , διαπιστώνονται μέσω ερευνών , παρατηρήσεων , επί τόπου μετρήσεων και υπολογιστικών δοκιμών τα ακόλουθα αξιοσημείωτα φαινόμενα:

- Τα αρχικώς περιορισμένα κενά του έρματος κάτω από το στρωτήρα δυναμώνουν φανερά με την αυξανόμενη δυναμική καταπόνηση , εξελίσσονται σε ένα χτύπημα του στρωτήρα και οδηγούν σε πολλαπλή καταστροφή του έρματος.
- Υπό σταθερή πίεση έρματος αυξάνονται οι βυθίσεις της στρώσης έρματος με την αύξηση της δύναμης της ταλάντωσης. Παρατηρείται πύκνωση των κραδασμών με την αύξηση της δύναμης ταλάντωσης και τελικά επιβράδυνση των βυθίσεων.
- Όσο αυξάνονται τα επίπεδα σκουριάς στη σιδηροτροχιά τόσο μεγαλύτερες είναι οι βυθίσεις του έρματος σε επαναλαμβανόμενες διελεύσεις συρμών.
- Μείωση της δύναμης ταλάντωσης στην άνω επιφάνεια του στρωτήρα ή του έρματος συνεπάγεται μείωση του μεγέθους των βυθίσεων στο έρμα.
- Σε στρώσεις από καλά διαβαθμισμένο υλικό , όπως είναι η στρώση έναντι παγετού, το μέγεθος των βυθίσεων είναι αρκετά μικρότερο.
- Σε σταθερή επιδομή οι βυθίσεις είναι μικρότερες από αυτές της κλασικής επιδομής έρματος υπό τις ίδιες συνθήκες κυκλοφορίας.
- Οι μεγάλες δυνάμεις ταλάντωσης οδηγούν , ειδικά σε μη συνεκτικά υλικά, σε κρίσιμες και κοντά στη διαρροή καταστάσεις. Στην περίπτωση επιδομής έρματος η δυνατότητα καταπόνησης μειώνεται αισθητά , ενώ οι παραμορφώσεις αυξάνονται.
- Κατά τη διέλευση συρμού από σταθερή επιδομή δημιουργούνται στις στρώσεις δράσεις άνισης κατανομής για μικρό χρονικό διάστημα με υψηλές τιμές μέγιστης καταπόνησης.

3.8.3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ

Οι έως τώρα έρευνες σχετικά με τη βελτίωση των σιδηροδρομικών γραμμών από τις οποίες διέρχονται συρμοί υψηλών ταχυτήτων , μεγάλων αξονικών φορτίων και φορτίων καταπόνησης , έχουν δείξει ότι η ποιότητα του σχεδιασμού και της λειτουργίας πρέπει να αυξηθεί σε σχέση με τα έως τώρα δεδομένα και να γίνει πιο προσιτή οικονομικά.

Είναι δυνατό να διαπιστωθεί ότι η καταπόνηση από την κυκλοφορία έχει σχέση με την επιδομή έρματος μόνο μέχρι περιορισμένα βάρη (μερικά μέτρα). Ωστόσο η συχνή επανάληψη και εναλλαγή των φορτίων και των υψηλών κραδασμών μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγές της θέσης της γραμμής. Έτσι για μιά μακράς διάρκειας και ικανή λειτουργία γραμμής κυκλοφορίας απαιτείται μία διαρκής δυναμική σταθερότητα των στρώσεων. Αυτό σημαίνει ότι οι στρώσεις πρέπει να καταπονούνται λιγότερο από τη δυναμική επίδραση του φορτίου, πράγμα που μπορεί να επιτευχθεί με την καταλληλότερη επιλογή ελαστικών υποθεμάτων ή στρωτήρων.

Η ποιότητα της επιδομής έρματος αυξάνεται με τις εξής ενέργειες:

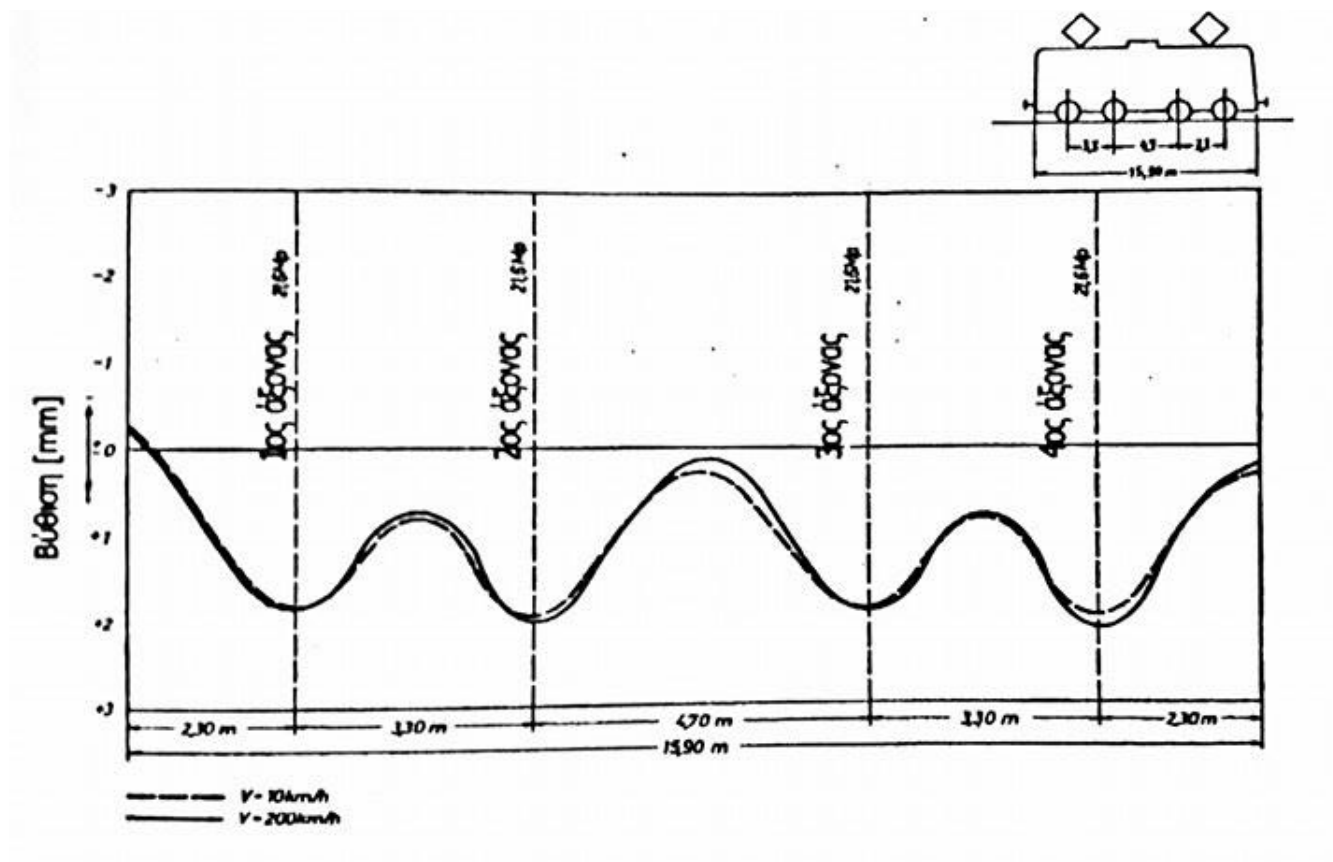
- Με τη μείωση των κενών του έρματος σε μέγεθος και αριθμό κάτω από τους στρωτήρες
- Με επαρκές μπουράρισμα (υπογόμωση) , μέσω του οποίου μειώνονται οι βυθίσεις λόγω κραδασμών.
- Επιλογή μείγματος αδρανών με κατάλληλη διαβάθμιση

Το έρμα πρέπει να έχει κατάλληλη αντοχή και ποιότητα έτσι ώστε να αποφεύγονται περαιτέρω θρυμματισμοί και αποφλοιώσεις. Η δυναμική καταπόνηση του έρματος αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την εκτίμηση του κόστους συντήρησης της γραμμής.

Στη σταθερή επιδομή η δυναμική καταπόνηση στις σχετικές ζώνες είναι καθαρά μικρότερη από ότι στην κλασική επιδομή με έρμα των φορτίων κυκλοφορίας στις ασύνδετες στρώσεις. Έρχεται ,λοιπόν, στο προσκήνιο η διαστασιολόγηση των συνδεδεμένων στρώσεων, της διαρκούς συνδέσεως όλων των στοιχείων και η περαιτέρω ομογενής δημιουργία των ανώτερων στρώσεων. Οι ρωγμές πρέπει να είναι μικρές και οι θέσεις στροβιλισμών πρέπει να αποφεύγονται.

3.9 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΒΥΘΙΣΕΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΜΙΚΡΩΝ ΚΑΙ ΜΕΓΑΛΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΔΙΕΛΕΥΣΗΣ ΣΥΡΜΩΝ

Μετρήσεις βυθίσεων που έγιναν σε γραμμή ατμοκίνητων συρμών E-10 των γερμανικών σιδηροδρόμων έδειξαν πως υπάρχει αμελητέα διαφορά ανάμεσα στις βυθίσεις που προκαλούνται από τη διέλευση συρμού με ταχύτητα 10km/h και σε αυτές που προκύπτουν από τη διέλευση συρμού με 200km/h όπως φαίνεται και στο διάγραμμα που ακολουθεί.



Διάγραμμα3.4: Σύγκριση βυθίσεων για μικρές και μεγάλες ταχύτητες διέλευσης

Η παρατήρηση αυτή αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον διότι με τη μέτρηση των βυθίσεων σε πολύ χαμηλές ταχύτητες διέλευσης υπάρχει η δυνατότητα εξαγωγής σημαντικών συμπερασμάτων για τμήματα γραμμής με μεγάλες ταχύτητες διέλευσης. Με αυτόν τον τρόπο εξετάζεται η συμπεριφορά της γραμμής αλλά και οι κίνδυνοι που εμφανίζονται από μια ατέλεια της γραμμής, οι οποίοι σε μεγάλες ταχύτητες έχουν πολύ πιο σοβαρές συνέπειες.

4

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΟ ΟΡΓΑΝΟ PCD-300Α ΣΤΟ Σ.Σ. ΛΙΑΝΟΚΛΑΔΙΟΥ

4.1 ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

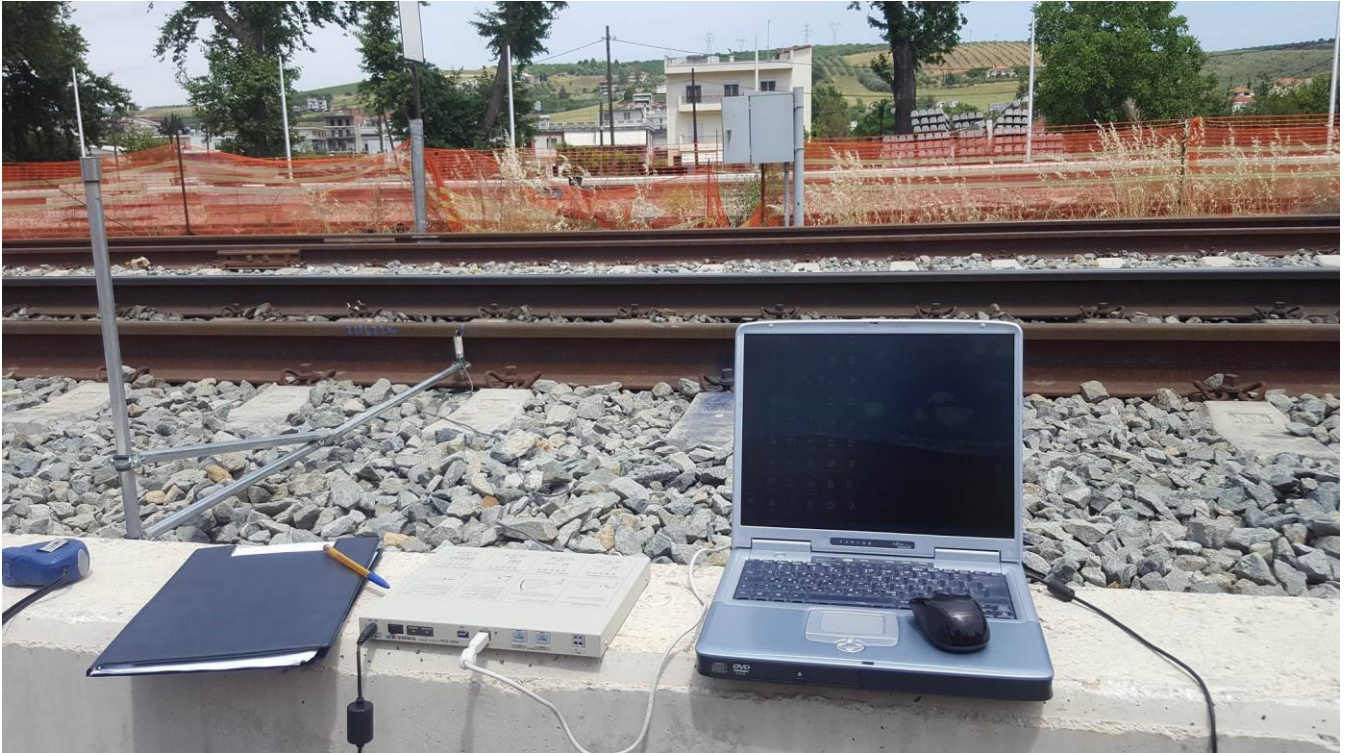
Σκοπός των μετρήσεων με το όργανο PCD-300A ήταν η καταγραφή των βυθίσεων και των ανυψώσεων της σιδηροτροχιάς κατά τις διαδοχικές διελεύσεις συρμών από την Εμπορική Γραμμή ΣΓ5 του Σιδηροδρομικού Σταθμού Λιανοκλαδίου. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο χαρακτηρισμός της γραμμής ως εμπορικής στην χρονική περίοδο των μετρήσεων δεν ανταποκρίνεται στη λειτουργία της, με την έννοια του ότι πλην των εμπορικών συρμών, λόγω έργων, διέρχονται από τη γραμμή και επιβατικοί συρμοί από την Αθήνα προς τη Θεσσαλονίκη και αντιστρόφως. Η εξεταζόμενη γραμμή ανήκει στο έργο « ΥΠΟΛΟΙΠΟΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΑΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΟΜΗΣ, ΤΩΝ Η/Μ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ, ΤΗΣ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗΣ, ΤΩΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗΣ ΤΗΣ ΝΕΑΣ ΔΙΠΛΗΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΤΙΘΟΡΕΑ-ΔΟΜΟΚΟΣ» (Α.Δ. 635) της ΕΡΓΑ Ο.Σ.Ε. Α.Ε. .

Οι πρώτες δοκιμαστικές μετρήσεις έγιναν την 11^η Μαΐου 2017 σε απόσταση 120 μέτρων από τις αποβάθρες του Σ.Σ. Λιανοκλαδίου. Συγκεκριμένα το όργανο PCD-300A τοποθετήθηκε στη χιλιομετρική θέση 218+429.00 σύμφωνα με το τοπογραφικό συνεργείο που συμμετείχε στη διαδικασία των μετρήσεων προκειμένου να ληφθούν πληροφορίες από τη γεωτεχνική μελέτη για την εξεταζόμενη διατομή(Εικόνα4.1).



Εικόνα 4.1: Μέλος τοπογραφικού συνεργείου για την εύρεση της χιλιομετρικής θέσης της διατομής των μετρήσεων

Το σημείο αυτό παρουσίαζε το πλεονέκτημα της άνεσης χώρου τόσο για την εγκατάσταση των οργάνων όσο και για την ασφαλή παραμονή μας κατά τη διάρκεια των μετρήσεων (Εικόνα4.2). Επίσης, είχε τη δυνατότητα παροχής ρεύματος λόγω της μικρής του απόστασης από το μηχανοστάσιο της περιοχής. Κατά τη διάρκεια των δοκιμαστικών αυτών μετρήσεων έγινε ο έλεγχος σωστής λειτουργίας του μηχανήματος, καθώς και ο προσδιορισμός ορισμένων παραμέτρων που εισάγονται ως δεδομένα στο λογισμικό PCD-30A.



Εικόνα 4.2: Δοκιμαστικές μετρήσεις στο Σ.Σ. Λιανοκλαδίου

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι δοκιμαστικές μετρήσεις τις 11^{ης} Μαΐου συνετέλεσαν στον εντοπισμό ορισμένων ελαττωμάτων ως προς την σταθερότητα του οργάνου. Συγκεκριμένα από την πρώτη έως την πέμπτη δοκιμή η βελόνα του μηκυνσιομέτρου είχε μετακινηθεί από το αρχικό σημείο στο οποίο είχε συμπιεσθεί γεγονός που δήλωνε την αστάθεια του οργάνου και επομένως την εσφαλμένη καταγραφή των αποτελεσμάτων.

Οι τελικές μετρήσεις έγιναν στον ίδιο σιδηροδρομικό σταθμό κατά την 9^η Ιουνίου 2017 σε απόσταση 100 μετρων από το σημείο των δοκιμαστικών μετρήσεων, δηλαδή στη χιλιομετρική θέση 218+530.00. Είναι προφανές, ότι λόγω της μικρής απόστασης από τη διατομή όπου έγιναν οι δοκιμαστικές μετρήσεις, η διατομή στην οποία έγιναν οι τελικές μετρήσεις την 9^η Ιουνίου του 2017, παρουσίαζε κι αυτή τα πλεονεκτήματα της άνεσης χώρου και της παροχής ρεύματος (Εικόνα 4.3)



Εικόνα 4.3: Τελικές μετρήσεις στο Σ.Σ. Λιανοκλαδίου

4.2 ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ ΛΙΑΝΟΚΛΑΔΙΟΥ

Οι δοκιμαστικές και οι τελικές μετρήσεις, όπως προαναφέρθηκε, έγιναν στο Σιδηροδρομικό Σταθμό Λιανοκλαδίου στις 11 Μαΐου και 9 Ιουνίου του 2017 αντίστοιχα. Κατά την εγκατάσταση του μηκυσιομέτρου καθώς και κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ακολουθήθηκαν κάποιες διαδικασίες για την ασφάλεια όσων συνετέλεσαν στη διαδικασία των μετρήσεων. Κατόπιν συνεννόησης του υπεύθυνου Μηχανικού της Γραμμής Θεόδωρου Τζαβαλά με τον προϊστάμενο του τμήματος της γραμμής του Ο.Σ.Ε. Αλέξανδρο Μπουρίκα, μας δόθηκε η άδεια για την εγκατάσταση του οργάνου και για την παραμονή μας στο χώρο με τη συνοδεία και καθοδήγηση από εξουσιοδοτημένο στέλεχος του Ο.Σ.Ε.. Πρέπει να τονιστεί στο σημείο αυτό η ιδιαίτερη σημασία της παρουσίας του στελέχους του Ο.Σ.Ε. λόγω της συνεχούς επικοινωνίας αυτού με το κέντρο ελέγχου.

Για την αποφυγή σοβαρού ατυχήματος η εγκατάσταση του οργάνου στη γραμμή κυκλοφορίας ήταν απαραίτητο να γίνει πριν την έναρξη κυκλοφορίας των οχημάτων. Έτσι, σε συμφωνία με το στέλεχος του Ο.Σ.Ε φθάσαμε στον υπό εξέταση χώρο στις 07:10 π.μ. και η εγκατάσταση του οργάνου είχε ολοκληρωθεί μέχρι τις 07:40 δηλαδή μισή ώρα πριν από το προγραμματισμένο πρώτο δρομολόγιο με κατεύθυνση την Αθήνα .

Όπως προαναφέρθηκε, κατά τη διάρκεια προσέλευσης, εγκατάστασης του οργάνου και παραμονής μας στο χώρο των μετρήσεων ήταν παρόντα τα εξουσιοδοτημένα στελέχη του Ο.Σ.Ε προκειμένου να υπάρχει συνεχής επικοινωνία με το κέντρο ελέγχου και τους μηχανοδηγούς, καθώς ήμαστε ορατοί από τους οδηγούς των συρμών γεγονός που θα μπορούσε να δημιουργήσει πρόβλημα στην ομαλή διεξαγωγή των δρομολογίων.



Εικόνα 4.4: Τοποθέτηση μηχανομετρητή

4.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΟΡΓΑΝΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ PCD-300A ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ PCD-30A

Το όργανο μέτρησης PCD-300A αποτελείται από:

- Το μηκυσιόμετρο – βελόνα (Εικόνα 4.5)
- Τον επεξεργαστή που συνδέεται με τον υπολογιστή (Εικόνα 4.6)
- Το καλώδιο σύνδεσης του επεξεργαστή με τον υπολογιστή
- Το μετασχηματιστή



Εικόνα 4.5: Μηκυσιόμετρο - Βελόνα



Εικόνα 4.6: Επεξεργαστής PCD-300A σε σύνδεση με υπολογιστή

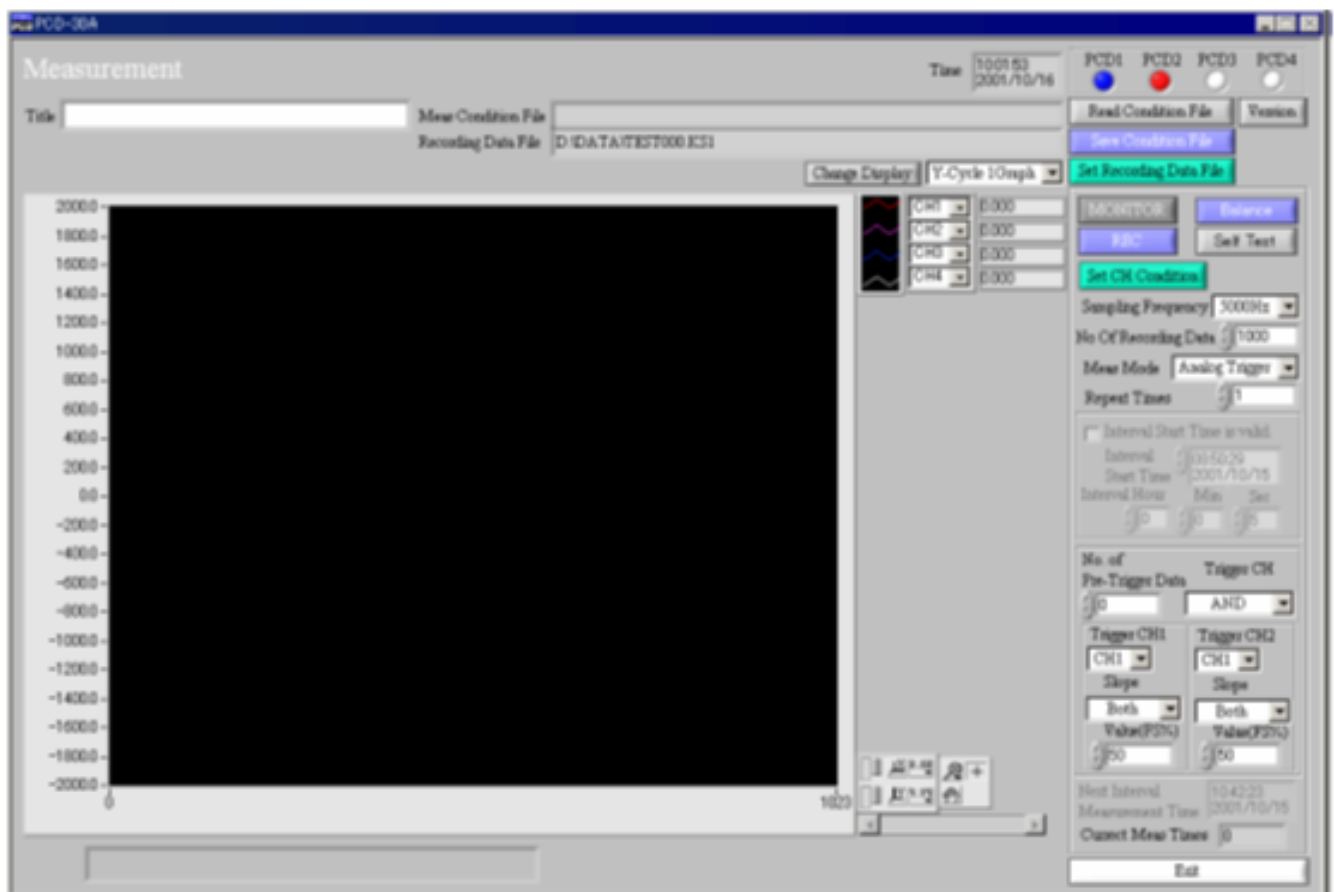
Η εγκατάσταση του οργάνου PCD-300A στη σιδηροδρομική γραμμή, η σύνδεση αυτού με τον υπολογιστή και η εγκατάσταση του προγράμματος PCD-30A, στο οποίο γίνεται η καταγραφή των μετρήσεων, λόγω της πολυπλοκότητας τους και της αναγκαιότητας για προσδιορισμό ορισμένων παραμέτρων, απαιτήσαν ώρες προετοιμασίας πριν την πρόσβαση στην περιοχή των μετρήσεων.

Αρχικά ο επεξεργαστής του οργάνου PCD-300A, λόγω της παλαιότητας της κατασκευής του και επομένως λόγω της αδυναμίας του να «συνεργαστεί» με τελευταίας τεχνολογίας φορητούς υπολογιστές, δημιούργησε την ανάγκη εύρεσης παλαιού υπολογιστή με λογισμικό Windows XP προκειμένου να υπάρχει συμφωνία μεταξύ των δύο ηλεκτρονικών συσκευών.

Μετά την εύρεση κατάλληλου φορητού υπολογιστή, έγινε εγκατάσταση σε αυτόν του προγράμματος PCD-30A. Το πρόγραμμα PCD-30A μας επιτρέπει να βλέπουμε σε διαγραμματική μορφή τις βυθίσεις και τις ανυψώσεις που καταγράφονται από το μηκυνσιόμετρο κατά τη διέλευση των συρμών και ταυτόχρονα παρέχει τη δυνατότητα καταγραφής των τιμών αυτών σε αρχεία μορφής KS1, τα οποία με κατάλληλη μετατροπή αναγνωρίζονται από το πρόγραμμα EXCEL.

Για την αξιοπιστία των μετρήσεων χρειάζεται ο προσδιορισμός των παραμέτρων του προγράμματος PCD-30A σε προηγούμενο στάδιο από αυτό των επι τόπου μετρήσεων. Ορίζονται, έτσι, οι σταθερές που καθορίζουν τη χρονική διάρκεια των μετρήσεων, τις μονάδες μέτρησης και τη μορφή των διαγραμμάτων. Στην Εικόνα 4.7 φαίνεται η αρχική οθόνη του προγράμματος PCD-30A.

Οι πρώτες ενέργειες που πρέπει να γίνουν είναι ο καθορισμός της συχνότητας, «Sampling Frequency», καθώς και του αριθμού των δεδομένων που καταγράφονται από τη μέτρηση, «No Of Recording Data». Στις μετρήσεις που κάναμε η συχνότητα ορίστηκε στα 100Hz ενώ ο αριθμός των δεδομένων καταγραφής στα 10000 (Εικόνα 4.8). Στη συνέχεια γίνεται επιλογή του τύπου γραφήματος που θέλουμε να εμφανίζεται στην οθόνη κατά τη διάρκεια των μετρήσεων (Y-Cycle 1Graph). Με την επιλογή «Set CH Condition» της αρχικής οθόνης εμφανίζεται το παράθυρο επιλογής της Εικόνας 4.8. Εκεί ορίζεται η τιμή του εύρους, «Range» (10000 μm/m) καθώς και η μονάδα, «Unit» (mm).

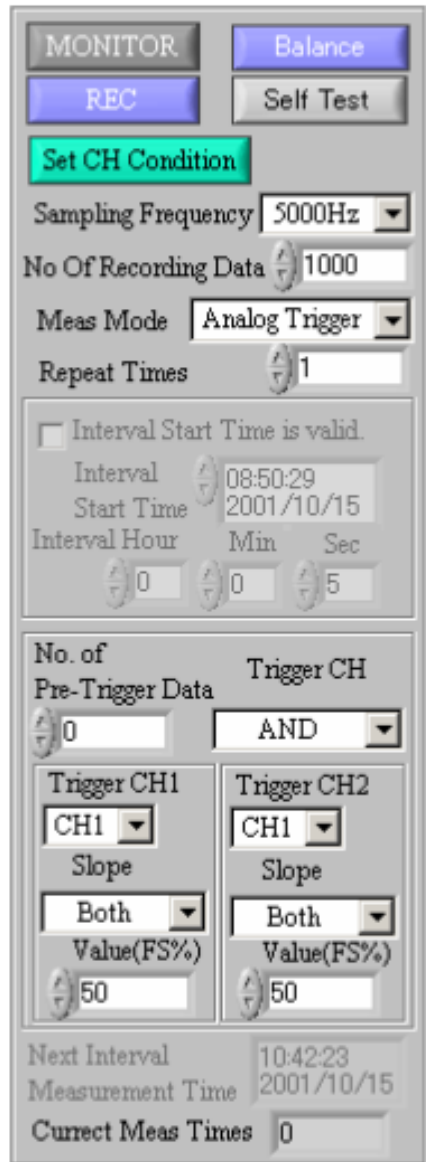


Εικόνα 4.7: Αρχική οθόνη προγράμματος PCD-30A



Εικόνα 4.8: Παράθυρο επιλογής «Set CH Condition»

Πριν ξεκινήσουν οι μετρήσεις το μηχάνημα είναι απαραίτητο να παραμείνει ανοιχτό για μισή ώρα. Για να ξεκινήσει η προβολή των δεδομένων στην οθόνη του υπολογιστή επιλέγεται η εντολή «MONITOR», ενώ για να ξεκινήσει η καταγραφή των δεδομένων επιλέγεται η εντολή «REC». Τα δεδομένα των μετρήσεων αποθηκεύονται στον φάκελο που έχουμε ορίσει από την επιλογή «Set Recording Data File». Οι επιλογές αυτές εμφανίζονται στο δεξί τμήμα της αρχικής οθόνης του προγράμματος PCD-30A. (Εικόνα 4.9)



Εικόνα4.9: Δεξί τμήμα της αρχικής οθόνης του PCD-300A

4.4 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΟΡΓΑΝΟΥ ΣΤΟ Σ.Σ. ΛΑΝΟΚΛΑΔΙΟΥ

Η μέτρηση της βύθισης και της ανύψωσης της σιδηροτροχιάς έγινε με τη βοήθεια του οργάνου PCD-300A που έχει περιγραφεί στην προηγούμενη παράγραφο. Με τη βοήθεια εργατών της τεχνικής εταιρείας που έχει αναλάβει τα έργα της ανακαίνισης της γραμμής, στην οποία τοποθετήθηκε το όργανό μας, έγινε δυνατή η παροχή ρεύματος από το μηχανοστάσιο της περιοχής το οποίο βρισκόταν σε απόσταση 50 μέτρων από το σημείο τοποθέτησης του οργάνου. Επειδή ανάμεσα στην υπο εξέταση γραμμή και το μηχανοστάσιο παρεμβλλόταν κι άλλη γραμμή σε λειτουργία έπρεπε

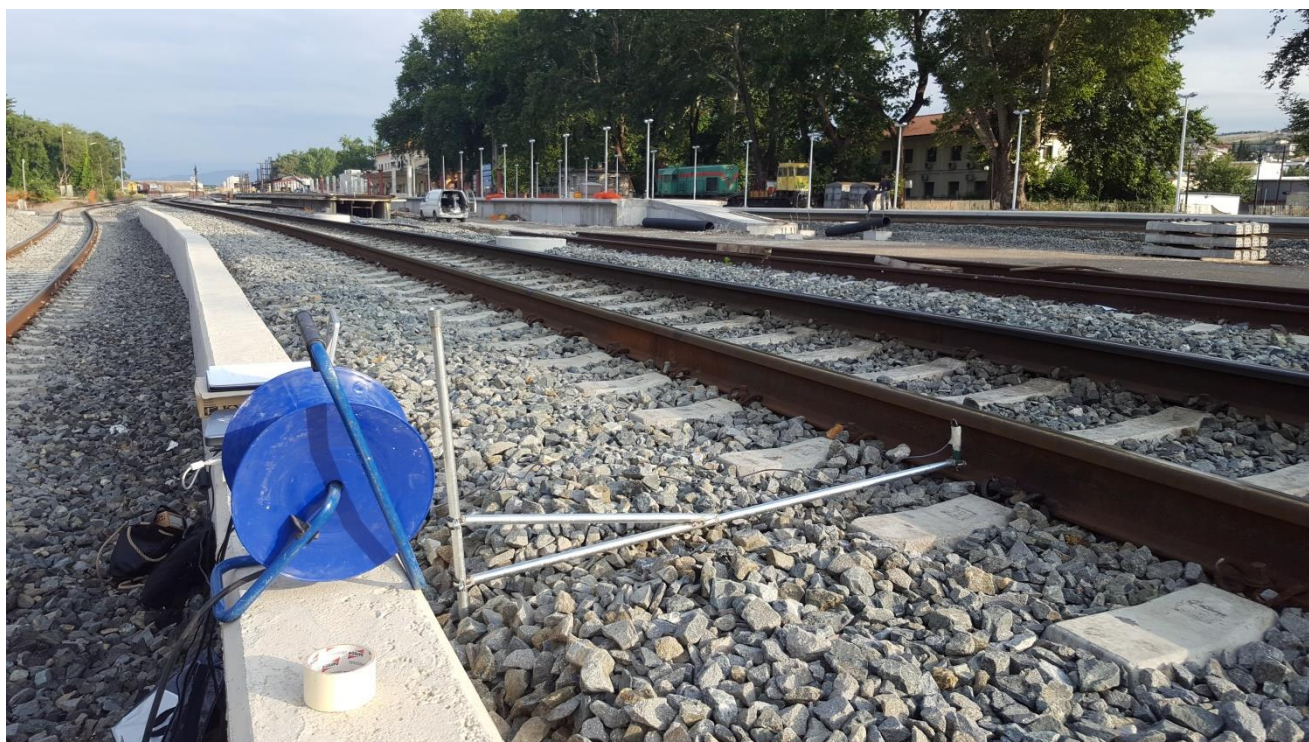
το καλώδιο του ρεύματος να περάσει κάτω από τις σιδηροτροχιές προκειμένου να μην καταστραφεί από ενδεχόμενη διέλευση συρμού (Εικόνα 4.10).



Εικόνα 4.10: Διαδικασία απόκτησης πρόσβασης στην πηγή ηλεκτρικού ρεύματος

Ο εργάτης που ήταν παρών , με την καθοδήγηση του μηχανικού της σιδηροδρομικής γραμμής Θεόδωρου Τζαβαλά , βοήθησε στην εγκατάσταση της βάσης του μηκυσιομέτρου. Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθεί ότι προκειμένου να συγκρατηθεί σταθερό το μηκυσιομέτρο αποφασίστηκε η κατασκευή ενός προβόλου αποτελούμενου από ένα οριζόντιο και ένα κατακόρυφο μέλος , συγκολλημένα μεταξύ τους. Το μηκυσιομέτρο συνδέθηκε με το οριζόντιο μέλος με σφικτήρες διπλής υποδοχής. Η κατασκευή αυτή υπέστη βελτιώσεις στο χρονικό διάστημα μεταξύ των δοκιμαστικών και των τελικών μετρήσεων, καθώς , όπως προαναφέρθηκε, παρατηρήθηκε μετακίνηση της θέσης αναφοράς της βελόνας κατά τις διαδοχικές διελεύσεις των συρμών την 11^η Μαΐου. Έτσι, αυξήθηκε το μήκος του κατακόρυφου μέλους προκειμένου να σταθεροποιηθεί («αγκυρωθει») σε μεγαλύτερο βάθος και κατά συνέπεια σε καλύτερης ποιότητας έδαφος. Με αυτές τις

βελτιώσεις κατέστη δυνατή η σταθεροποίηση της βάσης του μηκυσιομέτρου και κατά συνέπεια η συγκράτηση της βελόνας συμπιεσμένης στην αρχική θέση αναφοράς κατά τη διάρκεια των τελικών μετρήσεων της 9^{ης} Ιουνίου. Στην Εικόνα 4.11 φαίνεται η βάση του μηκυσιομέτρου τοποθετημένη κατά τις τελικές μετρήσεις.



Εικόνα 4.11: Βάση μηκυσιομέτρου – Τελική διάταξη

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.12 το μηκυσιόμετρο είναι τοποθετημένο στην άνω πλευρά του πέλματος της σιδηροτροχιάς και συγκεκριμένα ανάμεσα στους δύο στρωτήρες προκειμένου να καταγραφεί η βύθιση και η ανύψωση της σιδηροτροχιάς κατά τη διέλευση των συρμών. Από τις δοκιμαστικές μετρήσεις της 11^{ης} Μαΐου διαπιστώθηκε ότι δεν υπάρχει κίνδυνος επαφής του συρμού με το μηκυσιόμετρο και επομένως η διάταξη αυτή θεωρήθηκε κατάλληλη.



Εικόνα4.12: Τοποθέτηση μηκυσιομέτρου (Τελικές Μετρήσεις στο Σ.Σ. Λιανοκλαδίου)

Η βελόνα του μηκυσιομέτρου, όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, τοποθετήθηκε συμπιεσμένη προκειμένου να μπορεί να καταγράψει τόσο τις ανυψώσεις όσο και τις βυθίσεις της σιδηροτροχιάς. Η μέγιστη βύθιση που μπορεί να καταγράψει το μηκυσιομέτρο αυτού του τύπου είναι 30mm, τιμή η οποία είναι αρκετά μεγαλύτερη από τις αναμενόμενες τιμές βύθισης ή ανύψωσης της σιδηροτροχιάς κατά τη διέλευση των συρμών. Έτσι, η βελόνα τοποθετήθηκε συμπιεσμένη προσεγγιστικά κατά το μισό μήκος της. Σημειώνεται ότι η αρχική τιμή της καταγραφής αποτελεί την τιμή αναφοράς, η οποία κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων αφαιρείται για να προκύψουν οι απόλυτες τιμές βύθισης και ανύψωσης.

4.5 ΟΙ ΣΥΡΜΟΙ ΤΟΥ ΥΠΕΡΑΣΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΘΗΝΑ-ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

Από το υπεραστικό δίκτυο Αθήνα – Θεσσαλονίκη διέρχονται κυρίως δύο τύποι επιβατικών συρμών. Οι Συρμοί τύπου Intercity με Δηζελοηλεκτράμαξες κατασκευής ADTRANZ Σειράς 220 και επιβατάμαξες τύπου ADmz και Bmz και οι Πεντάδυμοι Συρμοί Υψηλών Ταχυτήτων κατασκευής I.C. Σειράς 520 Τύπου INTERCITY.

- Συρμοί τύπου Intercity με Δηζελοηλεκτράμαξες κατασκευής ADTRANZ Σειράς 220 και επιβατάμαξες τύπου ADmz και Bmz

Δηζελοηλεκτράμαξες κατασκευής ADTRANZ Σειράς 220 (έλκον όχημα)



Κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά

Εύρος γραμμής	1435 mm
Διάταξη αξόνων	Βό Βό
Μήκος αμαξώματος μεταξύ προσκρουστήρων	19400 mm

Πλάτος αμαξώματος	2950 mm
Απόσταση ομφαλών φορείων	11400 mm
Απόσταση αξόνων φορείου	2650 mm
Συνολικό βάρος (με 2/3 εφόδια)	80 t (+/- 2 %)
Βάρος κατ' άξονα	20 t (+/- 2%)
Περιτύπωμα : κατα UIC 505-1	
Μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα	160 km/h
Δεξαμενή καυσίμου	3500 lit
Ισχύς συνεχούς λειτουργίας καθενός εκ των δύο Δ/Κ της Δ/Η	1050 KW
Μέγιστη δύναμη ηλεκτροδυναμικής πέδης	160 KN

Ο σχεδιασμός των Δ/Η ανταποκρίνεται στις κάτωθι απαιτήσεις έλξεως:

-Για επιβατικούς συρμούς ρυμουλκούμενου βάρους 250t με ταχύτητα 160 Km/h σε κλίση μέχρι 3%.

-Για επιβατικούς συρμούς ρυμουλκούμενου βάρους 340t με ταχύτητα 60 Km/h σε κλίση 21%

-Για εμπορικούς συρμούς ρυμουλκούμενου βάρους 800t με ταχύτητα 25 Km/h με κλίση 21%

Δυνατότητα εκκίνησης εμπορικού συρμού αποτελούμενου από κενές Φ/Α βάρους 800 t επί ανωφέρειας 21% και σε καμπύλη 300m.

Γενικά κατασκευαστικά στοιχεία

Οι Δ/Η σειράς 471 είναι κατάλληλες για την έλξη τόσο επιβατικών όσο και εμπορικών αμαξοστοιχιών , και είναι ικανές για την ανάπτυξη ταχυτήτων μέχρι 160 Km/h . Είναι μονάδες κλειστού τύπου με δύο θαλάμους μηχανοδότησης, ένα σε κάθε μετώπη. Είναι εξοπλισμένες με δύο ζεύγη Δηζελογεννητήρα – ηλεκτρογεννήτριας.

Κατασκευαστής των Δ/Η αυτών είναι η Γερμανική Εταιρεία ADTRANZ , από την οποία της προμηθεύτηκε ο ΟΣΕ με τις Συμβάσεις 5711/95 και 5711A/96. Ο συνολικός αριθμός των Δ/Η είναι 26, οι δε αριθμοί σειράς αυτών : 220 001 έως 220 026.

Επιβατάμαξα τύπου ADmz κατασκευής σύμφωνα με UIC 567-2 (ελκόμενο όχημα)



Επιβατάμαξα Α΄ θέσεως κλιματιζόμενη με 4 διαμέρισμα , παιδική χαρά, σκευοφόρο, γραφείο προϊσταμένου αμαξοστοιχίας, με διαμέρισμα ΑΜΕΑ καθώς και τουαλέτα κενού (WC-Vacuum) για ΑΜΕΑ

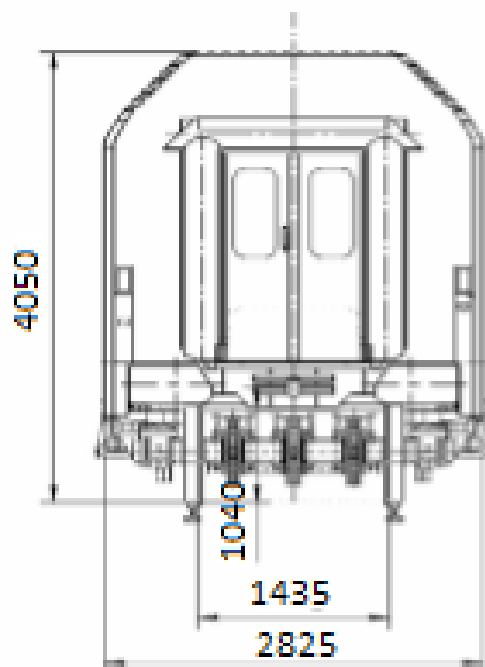
Κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά

Εύρος γραμμής	1435 mm
Περιτύπωμα οχήματος μέχρι διάμετρο τροχών 860 mm σύμφωνα προς: UIC 505-1	
Μέγιστη ταχύτητα	200 Km/h
Μήκος οχήματος μεταξύ προσκρουστήρων	26400 mm
Μήκος μεταξύ των πείρων (ομφαλών) των φορείων	19000 mm
Μέγιστο ύψος οχήματος από κεφαλή σιδηροτροχιάς	4050 mm
Πλάτος οχήματος	2825 mm
Ύψος δαπέδου από κεφαλή σιδηροτροχιάς	1250 mm
Απόβαρο οχήματος	περίπου 50 ton
Ελάχιστες ακτίνες καμπυλών εγγραφής:	
α) Επί κύριας γραμμής σε κανονική πορεία	150 m
β) Μεμονωμένο κενό όχημα κατά την εκτέλεση ελιγμών	80 m
Τύπος φορείου	SGP –SF –300
Απόσταση μεταξύ αξόνων φορείου (διαξόνιο)	2500 mm

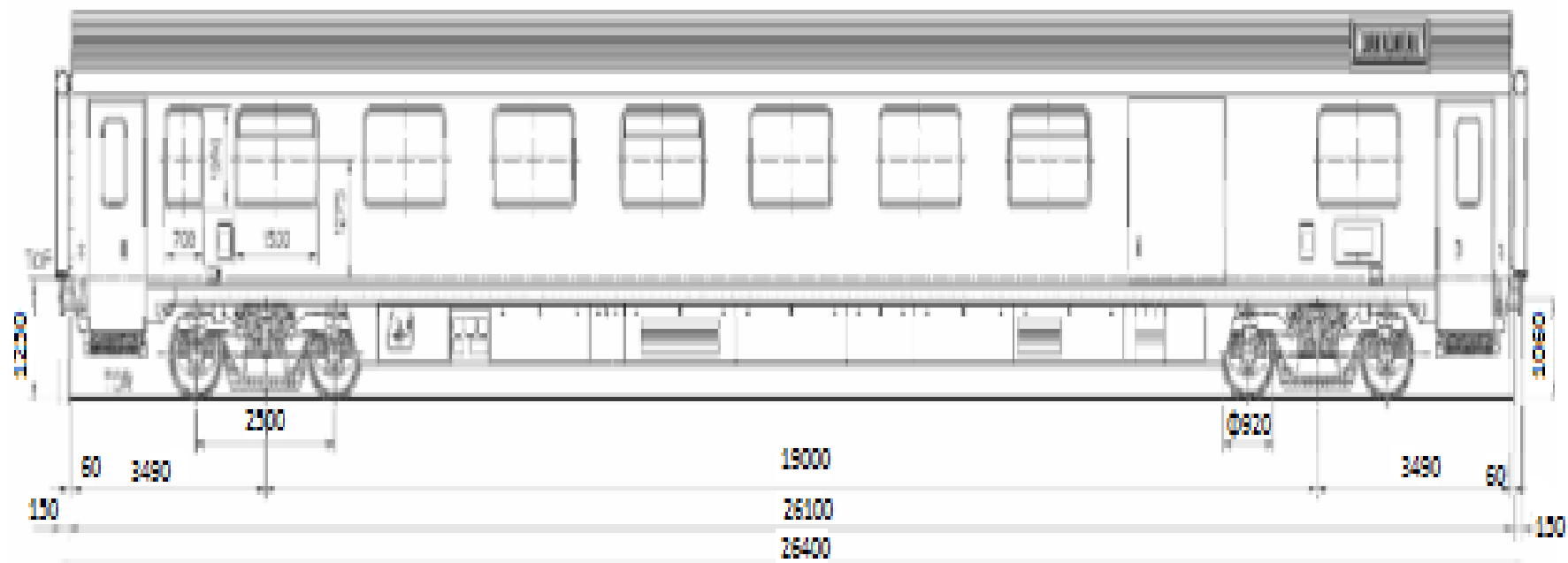
Μέγιστο μήκος φορείου	3420 mm
Μήκος πλαισίου φορείου	3170 mm
Μέγιστο πλάτος φορείου	2830 mm
Διάμετρος τροχών στον κύκλο κυλίσεως	
- με καινούργιους τροχούς	920 mm
- με φθαρμένους τροχούς (τελευταίο όριο)	860 mm
Μέγιστο βάρος κατ' άξονα	16 ton
Φορτίο επιβατών	4 ton
Φορτίο αποσκευών σκευοφόρου	1,9 ton
Μέγιστο συνολικό βάρος σε τάξη πορείας	56 ton

Γενικά

Η Ε/Α Admz είναι σύγχρονης τεχνολογίας και ανταποκρίνεται σε ότι αφορά τα βασικά χαρακτηριστικά της γνωρίσματα και τις διαστάσεις στον τύπο οχημάτων Z1 κατά UIC 567-2. Έχει ενισχυμένο αμάξωμα με διατάξεις στεγανότητας που εξασφαλίζει αντοχή του οχήματος σε καταπονήσεις υπερπίεσης 6.000 Pa και την αποφυγή εισόδου ενοχλητικών διακυμάνσεων πιέσεως στον χώρο των επιβατών κατά την διασταύρωση αμαξοστοιχιών σε σήραγγες με ταχύτητα 200 Km/h.



Εικόνα 4.13: Πρόσωση επιβατάμαξας ADmz



Εικόνα 4.14: Πλάγια όψη επιβατάμαξας

Επιβατάμαξα τύπου Bmz κατασκευής σύμφωνα με UIC 567-2 (ελκόμενο όχημα)



Επιβατάμαξα Β΄ θέσεως κλιματιζόμενη με 11 διαμερίσματα (66 θέσεις) και δύο (2) τουαλέτες κενού (WC-Vacuum) ανά μία (1) σε κάθε άκρο του οχήματος καθώς και ένα καλωπηστήριο στο ένα άκρο

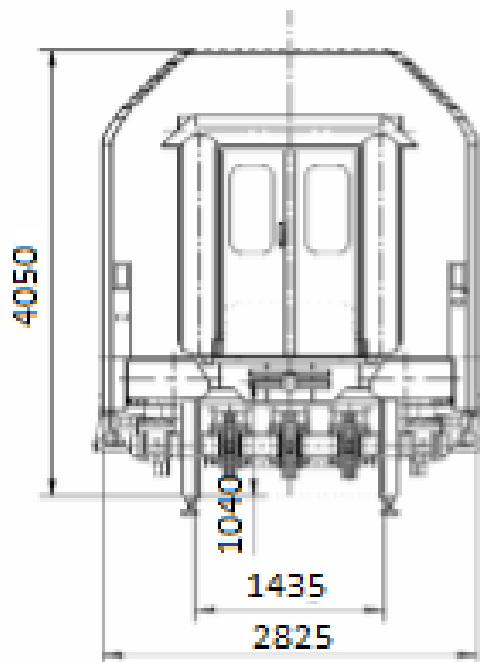
Κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά

Εύρος γραμμής	1435 mm
Περιτύπωμα οχήματος μέχρι διάμετρο τροχών 860 mm σύμφωνα προς: UIC 505-1	
Μέγιστη ταχύτητα	200 Km/h
Μήκος οχήματος μεταξύ προσκρουστήρων	26400 mm
Μήκος μεταξύ των πείρων (ομφαλών) των φορείων	19000 mm
Μέγιστο ύψος οχήματος από κεφαλή σιδηροτροχιάς	4050 mm
Πλάτος οχήματος	2825 mm
Ύψος δαπέδου από κεφαλή σιδηροτροχιάς	1250 mm
Απόβαρο οχήματος	περίπου 52,3 ton
Ελάχιστες ακτίνες καμπυλών εγγραφής:	
α) Επί κύριας γραμμής σε κανονική πορεία	150 m
β) Μεμονωμένο κενό όχημα κατά την εκτέλεση ελιγμών	80 m
Τύπος φορείου	SGP –SF –300

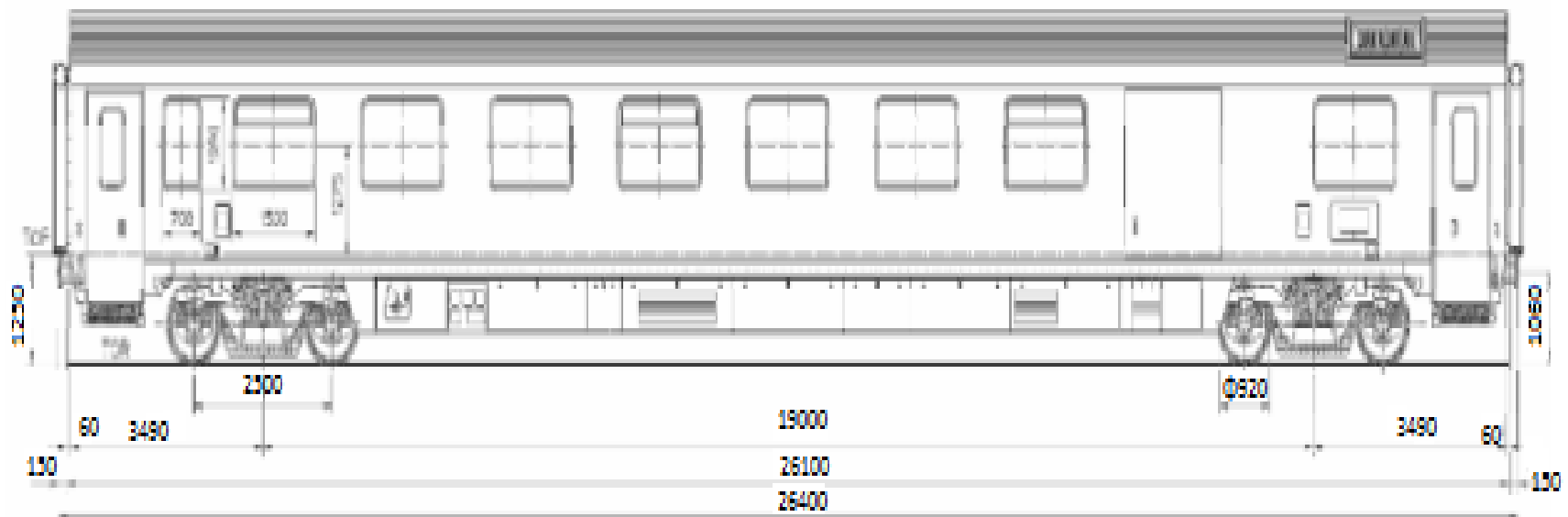
Απόσταση μεταξύ αξόνων φορείου (διαξόνιο)	2500 mm
Μέγιστο μήκος φορείου	3420 mm
Μήκος πλαισίου φορείου	3170 mm
Μέγιστο πλάτος φορείου	2830 mm
Διάμετρος τροχών στον κύκλο κυλίσεως	
- με καινούργιους τροχούς	920 mm
- με φθαρμένους τροχούς (τελευταίο όριο)	860 mm
Μέγιστο βάρος κατ' άξονα	16 ton
Φορτίο επιβατών	5 ton
Μέγιστο συνολικό βάρος σε τάξη πορείας	57,3 ton

Γενικά

Η Ε/Α Βmz είναι σύγχρονης τεχνολογίας και ανταποκρίνεται σε ότι αφορά τα βασικά χαρακτηριστικά της γνωρίσματα και τις διαστάσεις στον τύπο οχημάτων Z1 κατά UIC 567-2 , πίνακας 1. Έχει ενισχυμένο αμάξωμα με διατάξεις στεγανότητας που εξασφαλίζει αντοχή του οχήματος σε καταπονήσεις υπερπίεσης 6.000 Pa και την αποφυγή εισόδου ενοχλητικών διακυμάνσεων πίεσεως στον χώρο των επιβατών κατά την διασταύρωση αμαξοστοιχιών σε σήραγγες με ταχύτητα 200 Km/h



Εικόνα 4.15: Πρόσοψη επιβατάμαξας Βmz



Εικόνα 4.16: Πλάγια όψη επιβατάμαξας Bmz

- **Πεντάδυμοι Συρμοί Υψηλών Ταχυτήτων κατασκευής I.C. Σειράς 520 Τύπου INTERCITY.**



Κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά

Εύρος γραμμής		1435 mm
Ακολουθία αξόνων	$B' B' + 2' 2' + 2' 2' + 2' 2' + B' B'$	
Μήκος συρμού μεταξύ ακραίων προσκρουστήρων		128200 mm
Πλάτος αμαξώματος		2824 mm
Ύψος αμαξώματος από σιδηροτροχιάς		4200 mm
Απόσταση ομφαλών κινητήριου οχήματος TWA –TWB		17700 mm
Απόσταση ομφαλών ρυμουλκόμενου οχήματος MWC-MWD-MW		19000 mm
Απόσταση αξόνων φορείων κινητήριων-ρυμουλκόμενων		2600 mm
Αριθμός επιβατών Α' θέσεως		75
Αριθμός επιβατών Β' θέσεως		144
Αριθμός θέσεων κυλικείου		12
Απόβαρο σε τάξη πορείας συρμού		260 t
Ανώτερο βάρος έμφορτου συρμού		275 t
Μέγιστο φορτίο άξονος έμφορτου οχήματος		17,5 t

Περιτύπωμα : κατα UIC 515-1	
Μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα	160 km/h
Δεξαμενή καυσίμου : 2 δεξαμενές χωρητικότητας που επιτρέπουν αυτονομία συρμού 1000 Km τουλάχιστον	2500 lit έκαστη
Χωρητικότητα δεξαμενών νερού WC	400 lit έκαστη
Χωρητικότητα δεξαμενών πόσιμου νερού στο bar	3000 lit συνολικά 600 lit
Χωρητικότητα αμμοκιβωτίων	8x16 lit 128 lit
Συσσωρευτές : Μία συστοιχία τύπου 9PZS495 θετικών σωληνωτών πλακών 24V σε κάθε κινητήριο όχημα χωρητικότητας:	495 Ah έκαστη
Διαθέσιμη ελκτική ισχύς Δ/ρων	2x1000 KW 2000 KW (2700 PS)
Διαθέσιμη ισχύς βοηθητικών Δ/ρων	2x167 KW 334 KW (450 PS)
Τύπος πέδης/πεδούμενο βάρος συρμού KE -<R>- D/	... t

Γενικά κατασκευαστικά στοιχεία

Οι συρμοί σειράς 650 προορίζονται συνδεδεμένοι ως πεντάδυμοι (με ενδοεπικοινωνία) ή ως δεκάδυμοι (άνευ ενδοεπικοινωνίας) να διανύουν μεγάλες αποστάσεις (500- 1000 Km) και εκτελούν αμαξοστοιχίες τύπου INTERCITY. Προσφέρουν στους επιβάτες υψηλό βαθμό ανέσεων και αναπτύσσουν υψηλές ταχύτητες.

Ο κάθε συρμός αποτελείται από πέντε οχήματα:

- Το κινητήριο όχημα TWA
- Το ρυμουλκούμενο όχημα MWC
- Το ρυμουλκούμενο όχημα MWD
- Το ρυμουλκούμενο όχημα MWE
- Το κινητήριο όχημα TWB

4.5.1 ΦΟΡΤΙΟ ΤΡΟΧΟΥ

❖ **Δηζελοηλεκτράμαξες κατασκευής ADTRANZ Σειράς 220**

Συνολική μάζα: 80 t ή Συνολικό φορτίο: 784.53 KN
Μάζα κατ' άξονα: 20t ή Φορτίο κατ' άξονα: 196,13 KN

Επομένως, το φορτίο που αναλογεί σε κάθε τροχό είναι :

$Q = 196,13 \text{ KN} / 2$ (τροχοί ανά άξονα)
 $Q = 98,07 \text{ KN/ τροχό}$

❖ **Επιβατάμαξες τύπου ADmz και Bmz που έλκονται από τις
Δηζελοηλεκτράμαξες κατασκευής ADTRANZ Σειράς 220**

Μέγιστη συνολική μάζα σε τάξη πορείας : 56 ton ή
Μέγιστο συνολικό φορτίο : 549,36 KN

Επομένως, το φορτίο που αναλογεί σε κάθε τροχό είναι :

$Q = 549,36 \text{ KN} / 8$ (τροχοί ανά όχημα)
 $Q = 68,67 \text{ KN/ τροχό}$

❖ **Πεντάδυμοι Συρμοί Υψηλών Ταχυτήτων κατασκευής I.C. Σειράς 520 151
Τύπου INTERCITY.**

Μέγιστη μάζα έμφορτου συρμού : 275t ή
Μέγιστο φορτίο έμφορτου συρμού : 2697,75 KN

Επομένως, το φορτίο που αναλογεί σε κάθε τροχό είναι :

$Q = 2697,75 \text{ KN} / 5$ οχήματα/8 τροχοί ανά όχημα
 $Q = 67,44 \text{ KN/ τροχό}$

4.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

4.6.1 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Οι παραδοχές σύμφωνα με τις οποίες έγιναν οι μετρήσεις αλλά και η επεξεργασία των αποτελεσμάτων βασίζονται στη θεωρία του Zimmermann αλλά και σε προσωπικές παρατηρήσεις και είναι οι εξής:

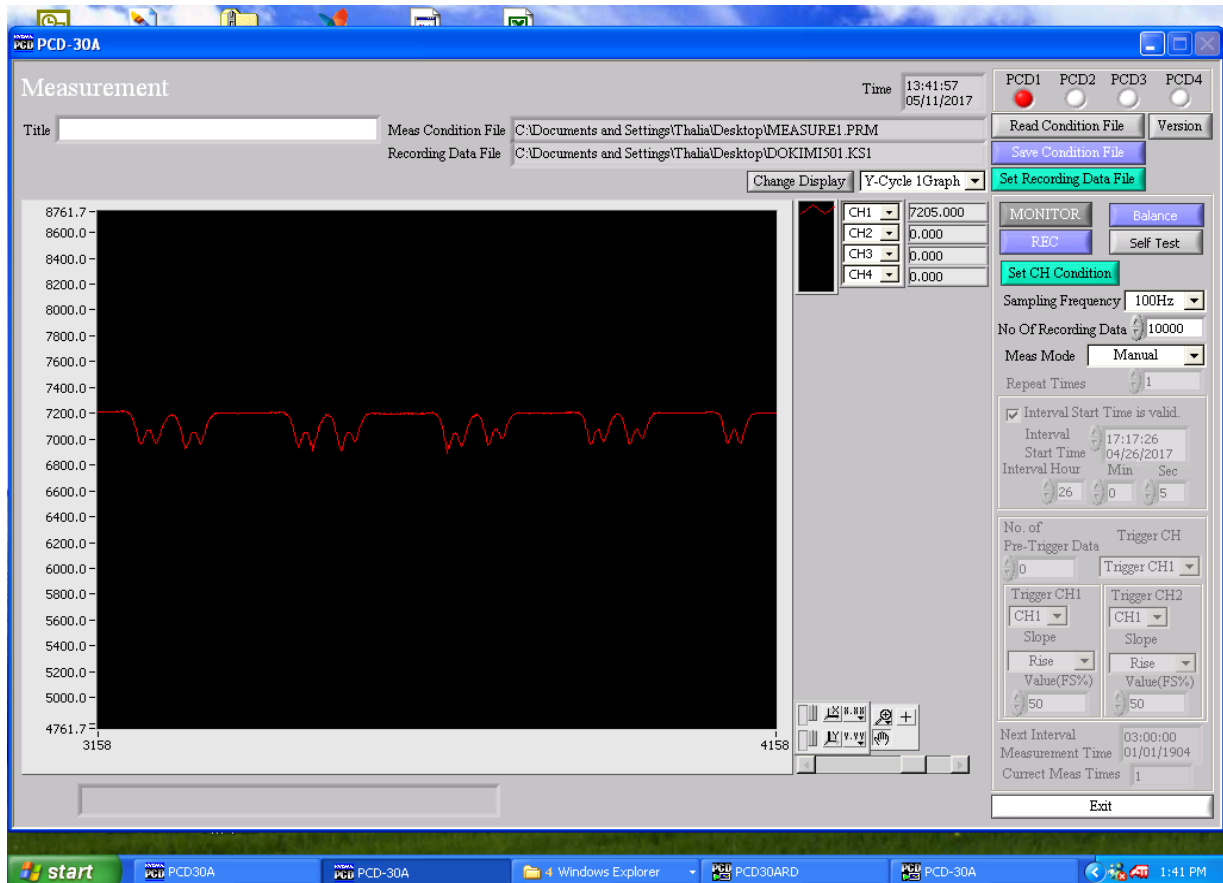
- Οι μετρήσεις σε κάθε σημείο πρέπει να κυμαίνονται σε αριθμό μεταξύ 8 έως 10 λόγω διασποράς τιμών σύμφωνα με τη θεωρία Zimmermann. Με τη διεξαγωγή όμως 8 έως 10 μετρήσεων σε κάθε σημείο η ακρίβεια είναι ιδιαίτερος ικανοποιητική μιας και η τυπική απόκλιση των τιμών καθώς και το διάστημα εμπιστοσύνης μέσα στο οποίο κινείται η μέση τιμή της βύθισης είναι ικανοποιητικά μικρά.
- Επειδή για όλους τους συρμούς που καταγράφηκαν χρησιμοποιήθηκε η ίδια διαδικασία και ο εξοπλισμός μέτρησης θεωρείται ότι η σχετική συμπεριφορά των στρώσεων δεν αλλάζει.
- Στους υπολογισμούς χρησιμοποιείται η μέση τιμή της βύθισης, όπως αυτή προέκυψε για κάθε συρμό που καταγράφηκε, με την προσαύξηση της βύθισης του ελαστικού υποθέματος. Η μέση τιμή αυτή θεωρείται ημιστατική και όχι δυναμική, λόγω του ότι οι μετρήσεις διεξήχθησαν σε τμήμα γραμμής με ταχύτητες κυκλοφορίας μικρότερες από 60km/h.
- Ο συντελεστής επιπέδωσης που εξαρτάται από την ποιότητα της γραμμής λαμβάνεται ίσος με 0,1(τιμή για πολύ καλή επιπέδωση), λόγω του ότι η γραμμή στην οποία έγιναν οι μετρήσεις είναι νεοκατασκευασμένη.
- Η επίδραση των στρωτήρων στον υπολογισμό των τάσεων μετά τον πέμπτο στρωτήρα είναι πολύ μικρή και θεωρείται αμελητέα.

4.6.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ ΛΙΑΝΟΚΛΑΔΙΟΥ

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων στο Σιδηροδρομικό Σταθμό Λιανοκλαδίου την 9^η Ιουνίου 2017, καταγράφηκαν οι βυθίσεις και οι ανυψώσεις από τη διέλευση 5 συρμών. Από αυτούς ο ένας ήταν Πεντάδυμος Συρμός Υψηλών Ταχυτήτων κατασκευής I.C. Σειράς 520 Τύπου INTERCITY και οι υπόλοιποι τέσσερις ήταν Δηζελοηλεκτράμαξες κατασκευής ADTRANZ Σειράς 220 με έλξη Τετραξονικών Επιβαταμαξών τύπου ADmz και Bmz.

Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, για κάθε διερχόμενο συρμό έγινε καταγραφή 10000 τιμών βύθισης ή ανύψωσης. Στο πρόγραμμα PCD-30A που ήταν εγκατεστημένο στο φόρητο υπολογιστή φαίνονται τα διαγράμματα επιμήκυνσης

(βύθισης – ανύψωσης) συναρτήσει του πλήθους δεδομένων καταγραφής (Εικόνα 4.17).



Εικόνα4.17: Διάγραμμα βυθίσεων- ανυψώσεων συναρτήσει πλήθους δεδομένων

Εκτός του διαγράμματος, τα δεδομένα καταγραφής αποθηκεύονται σε ένα αρχείο τύπου KS1. Το αρχείο αυτό μέσω της επιλογής “Reproducing Data” του προγράμματος PCD-30A μπορεί να μετατραπεί σε αρχείο μορφής CSV (Comma Separated Values). Το αρχείο αυτό έχει τη μορφή της Εικόνας4.18 . Πριν από τα αποτελέσματα της καταγραφής δίνονται οι σταθερές που ορίστηκαν(“Sampling Rate” , “Range” , “Unit”), καθώς επίσης η ημερομηνία και η ώρα καταγραφής.

	A	B	C	D
1	ID No.,"PCD-300A"			
2	Title,""			
3	Test Date,"06/09/2017","08:38:54"			
4	Meas CH Nos,1			
5	Sampling Rate(Hz),100			
6	Data/CH,4888			
7	Meas Time,48.880			
8	CH No.,1			
9	Range,"10000μm/m"			
10	Lowpass Filter,"****"			
11	Coupling,"****"			
12	Coefficient,1.0000			
13	Offset,0.0000			
14	Unit,"mm"			
15	CH Name,""			
16	1,8410.0			
17	2,8410.0			
18	3,8410.0			
19	4,8410.0			
20	5,8415.0			
21	6,8410.0			
22	7,8415.0			
23	8,8410.0			
24	9,8410.0			
25	10,8410.0			

Εικόνα 4.18: Τμήμα αρχείου CSV καταγραφής αποτελεσμάτων μέτρησης

4.6.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την καταγραφή των διελεύσεων των συρμών τέθηκαν υπό επεξεργασία σύμφωνα με τα εξής βήματα:

- Βήμα 1^ο –Μετατροπή των αρχείων CSV σε αρχεία EXCEL

Η διαδικασία αυτή γίνεται μέσω προγράμματος στο διαδίκτυο και τα αρχεία αναγνωρίζονται πλέον από το πρόγραμμα Microsoft EXCEL. Έτσι, για κάθε μία από τις 5 μετρήσεις προέκυψε ένα φύλλο EXCEL αποτελούμενο από δύο στήλες. Στην πρώτη στήλη καταγράφεται ο αύξων αριθμός των καταγεγραμμένων τιμών και στη δεύτερη στήλη οι τιμές που κατέγραψε το PCD-300A κατά τη διέλευση των συρμών (βυθίσεις – ανυψώσεις). Ενδεικτικά φαίνεται τμήμα του πίνακα του αρχείου που προκύπτει στον Πίνακα 4.1.

A/A	Βυθίσεις - Ανυψώσεις
1	8410
2	8410
3	8410
4	8410
5	8415
6	8410
7	8415
8	8410
9	8410
-	-
-	-
-	-
2599	8165
2600	8135
2609	8180
2610	8205
2611	8225

Πίνακας 4.1: Τμήμα αρχείου EXCEL 1^{ης} μέτρησης (1^ο βήμα επεξεργασίας)

- **Βήμα 2^ο – Αφαίρεση αρχικής τιμής (τιμή αναφοράς) από όλες τις καταγεγραμμένες τιμές**

Η βελόνα του μηκυσιομέτρου , όπως έχει ήδη αναφερθεί, είχε τοποθετηθεί αρχικώς ελαφρά συμπιεσμένη προκειμένου να έχει τη δυνατότητα να καταγράψει τόσο τις ανυψώσεις όσο και τις βυθίσεις. Σε αντίθετη περίπτωση θα ήταν ικανή να καταγράψει μόνο τις ανυψώσεις της σιδηροτροχιάς. Για αυτό το λόγο στο 2^ο βήμα

αφαιρούμε την τιμή αναφοράς από τις τιμές της 2^{ης} στήλης για να προκύψει η σχετική τιμή της βύθισης – ανύψωσης (Πίνακας 4.2).

A/A	Βυθίσεις - Ανυψώσεις	Σχετική τιμή της βύθισης
1	8410	0
2	8410	0
3	8410	0
4	8410	0
5	8415	5
6	8410	0
7	8415	5
8	8410	0
9	8410	0
-	-	-
-	-	-
-	-	-
2599	8165	-245
2600	8135	-275
2609	8180	-230
2610	8205	-205
2611	8225	-185

Πίνακας 4.2: Τμήμα πίνακα EXCEL 1^{ης} μέτρησης (2^ο βήμα επεξεργασίας)

- **Βήμα 3^ο – Μετατροπή της σχετικής τιμής της βύθισης- ανύψωσης σε mm**

Σε αυτό το βήμα διαιρούνται οι τιμές της τρίτης στήλης του φύλλου EXCEL δια 1000 προκειμένου να προκύψει σε νέα στήλη η σχετική τιμή της βύθισης – ανύψωσης σε mm. (Πίνακας 4.3)

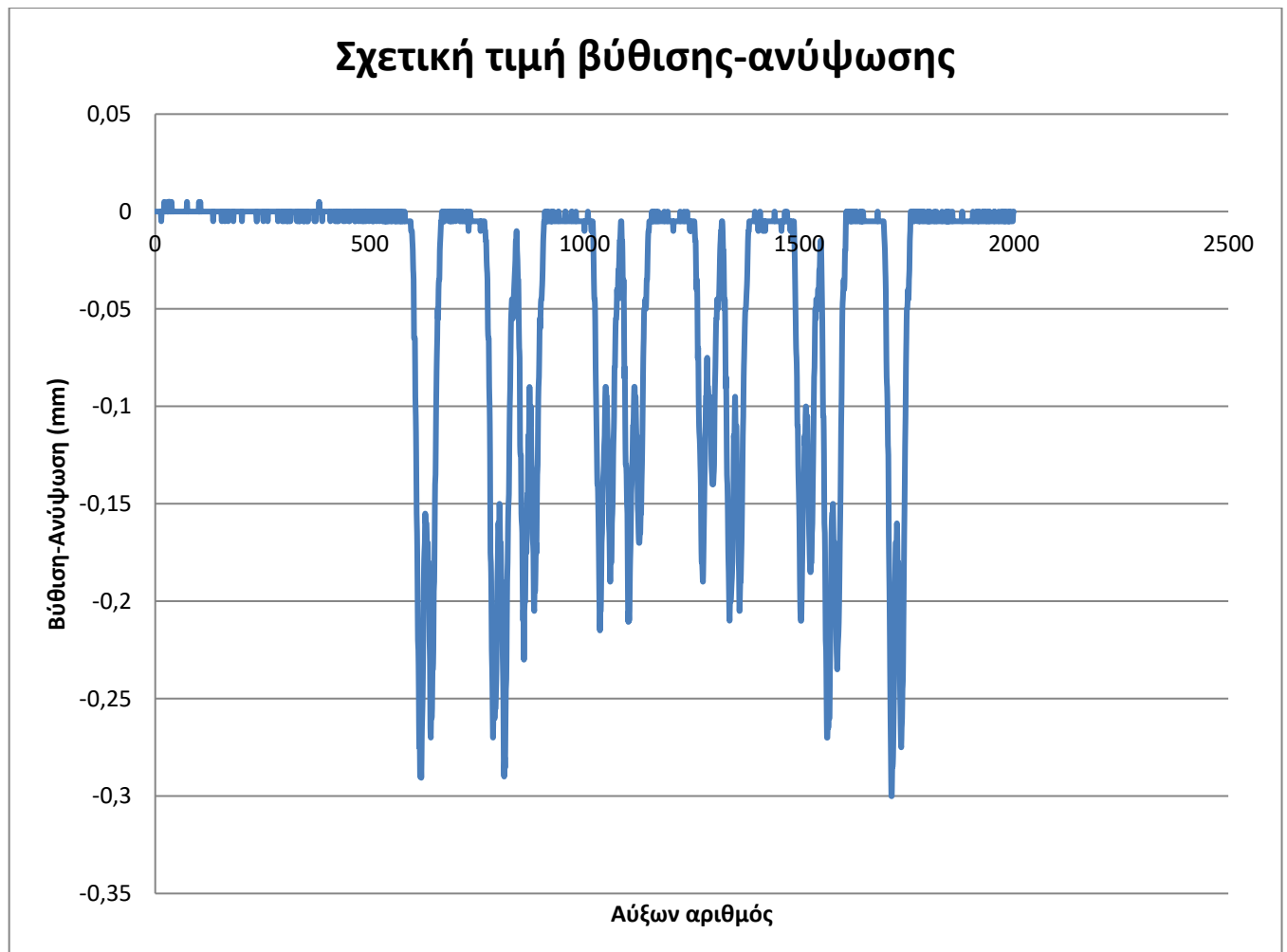
A/A	Βυθίσεις - Ανυψώσεις	Σχετική τιμή της βύθισης	Σχετική τιμή της βύθισης (mm)
1	8410	0	0
2	8410	0	0
3	8410	0	0
4	8410	0	0
5	8415	5	0,005
6	8410	0	0
7	8415	5	0,005
8	8410	0	0
9	8410	0	0
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
2599	8165	-245	-0,245
2600	8135	-275	-0,275
2609	8180	-230	-0,23
2610	8205	-205	-0,205
2611	8225	-185	-0,185

Πίνακας 4.3: Τμήμα πίνακα EXCEL 1^{ης} μέτρησης (3^ο βήμα επεξεργασίας)

- **Βήμα 4^ο – Μόρφωση διαγραμμάτων**

Σε αυτό το βήμα με τη βοήθεια του υπολογιστικού φύλλου EXCEL μορφώνονται τα διαγράμματα βυθίσεων-ανυψώσεων συναρτήσει του αύξοντος αριθμού των καταγεγραμμένων μετρήσεων. Ενδεικτικά φαίνεται το διάγραμμα που προκύπτει από

την 1^η μέτρηση στο Διάγραμμα 4.1 .Τα διαγράμματα των υπόλοιπων μετρήσεων βρίσκονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.

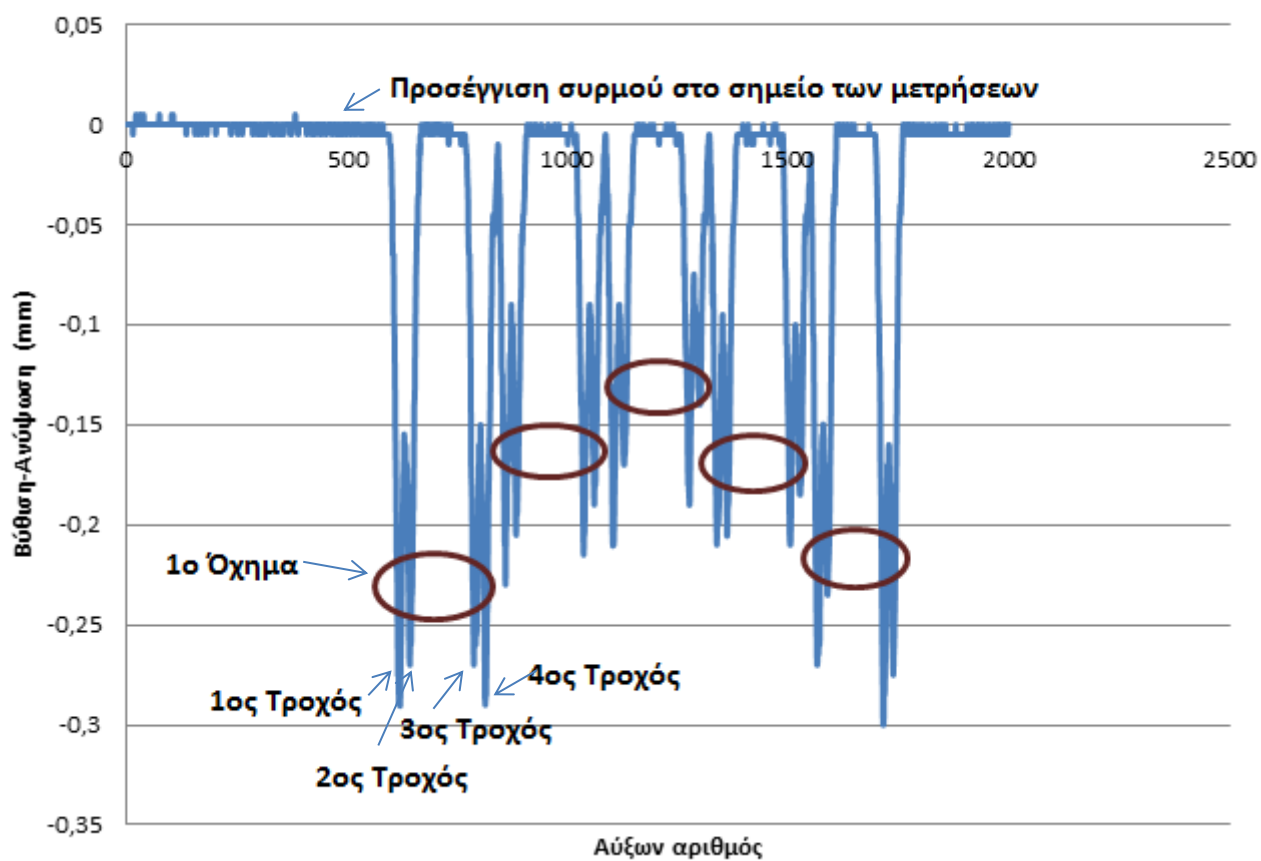


Διάγραμμα 4.1: 1^η μέτρηση - Πεντάδυσμος Συρμός Υψηλών Ταχυτήτων Σειράς 520 Τύπου INTERCITY.

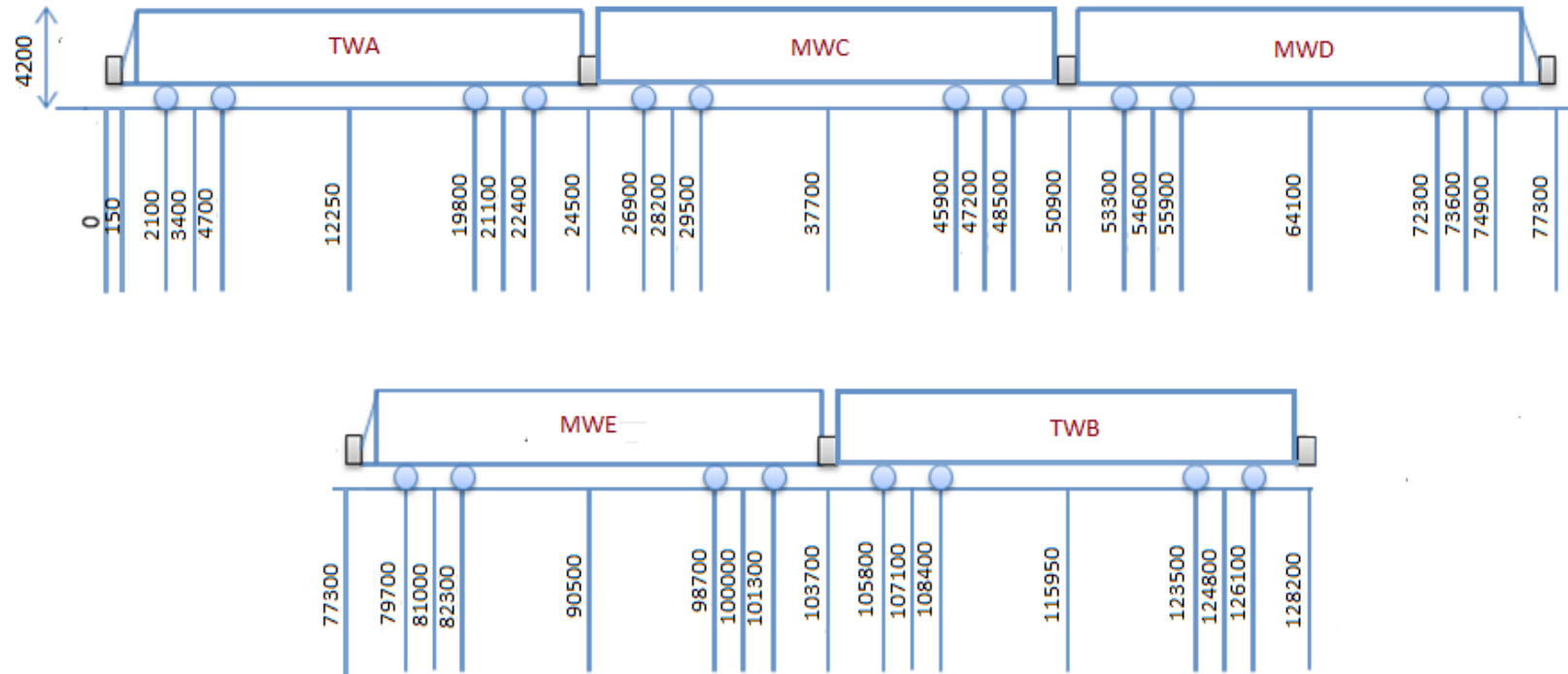
- **Βήμα 5^ο – Μετατροπή των ως άνω διαγραμμάτων σε διαγράμματα βύθισης-ανύψωσης συναρτήσει του μήκους του συρμού.**

Στο τελευταίο βήμα της επεξεργασίας δεδομένων πρέπει ο άξονας των x των προηγούμενων διαγραμμάτων (Αύξων Αριθμός) να αντικατασταθεί με άξονα που να έχει ως μονάδα μέτρησης το μήκος του συρμού. Λόγω της μορφής των προηγούμενων διαγραμμάτων και γνωρίζοντας όλες τις απαραίτητες διαστάσεις των συρμών είναι εύκολη η μετατροπή των διαγραμμάτων.

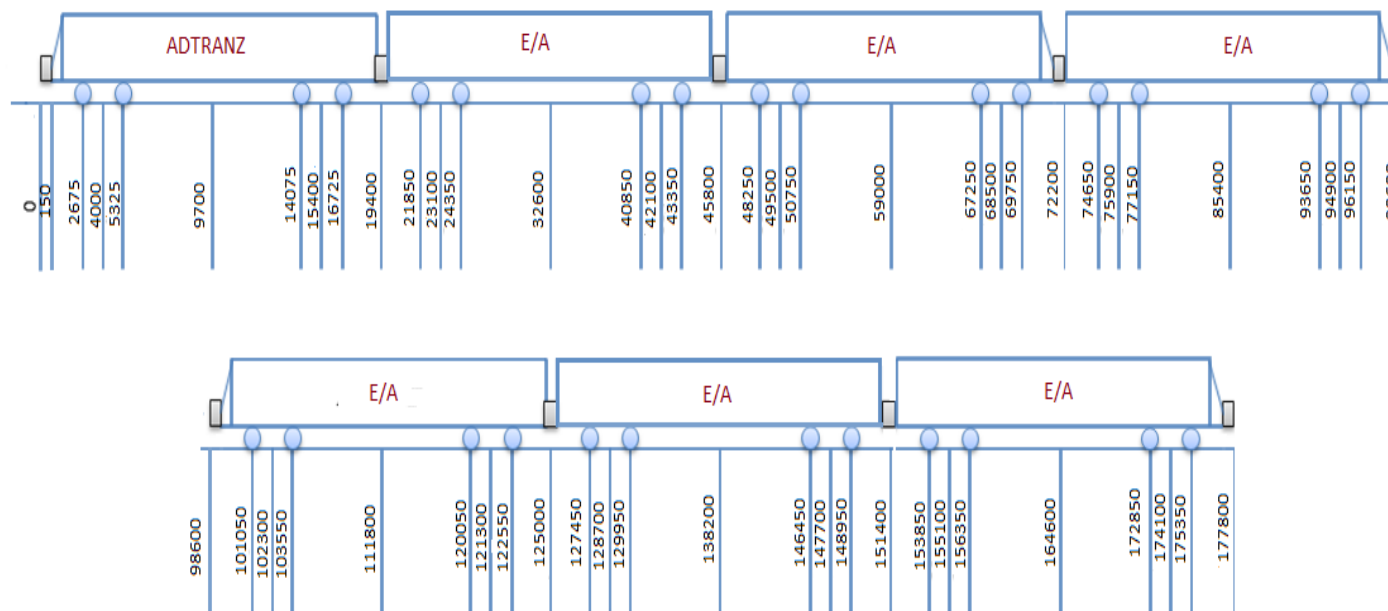
Σχετική τιμή βύθισης-ανύψωσης



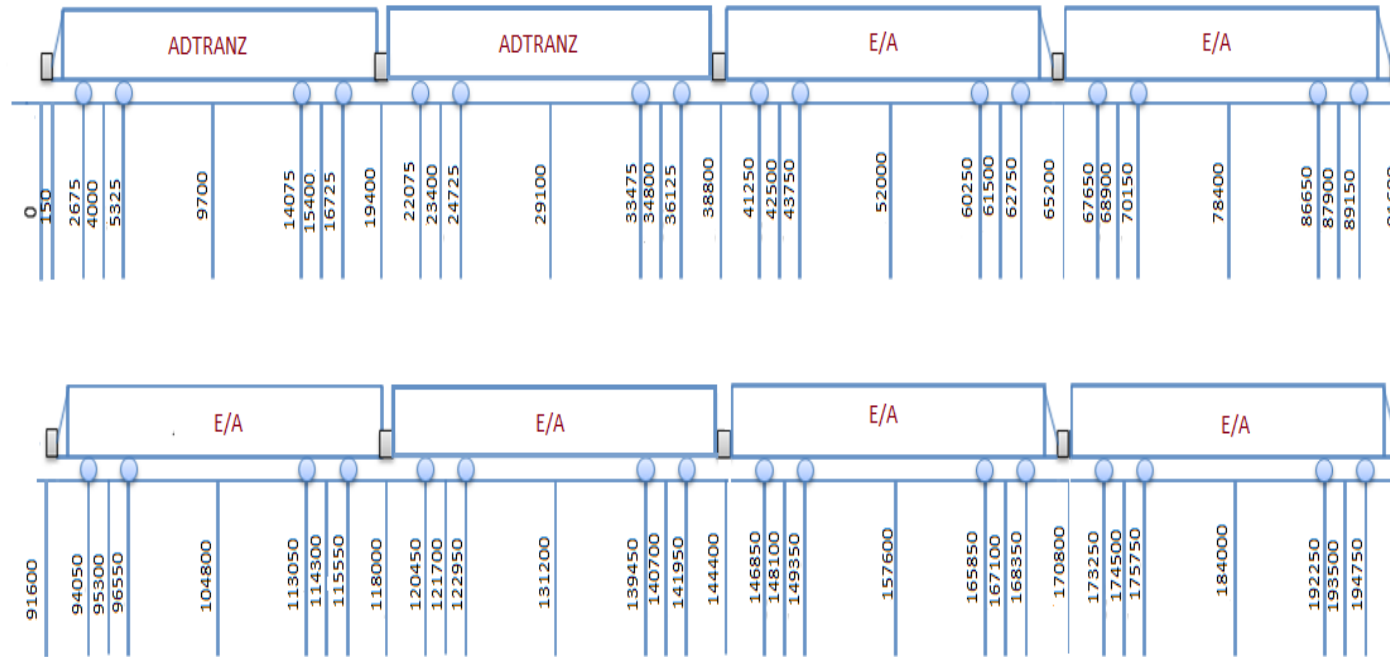
Διάγραμμα4.2: Μετατροπή των διαγραμμάτων βάσει της μορφής του αρχικού διαγράμματος



Εικόνα 4.18: Πεντάδυμοι Συρμοί Υψηλών Ταχυτήτων κατασκευής I.C. Σειράς 520 Τύπου INTERCITY – Μήκος Συρμού (mm)



Εικόνα 4.19: Συρμοί τύπου Intercity με 1 Δηζελοηλεκτράμαξα ADTRANZ Σειράς 220 και 6 επιβατάμαξες τύπου ADmz και Bmz – Μήκος Συρμού (mm)



Εικόνα 4.20: Συρμοί τύπου Intercity με 2 Δηζελοηλεκτράμαξες ADTRANZ Σειράς 220 και 6 επιβατάμαξες τύπου ADmz και Bmz – Μήκος Συρμού (mm)

Πίνακας 4.4

Μεταβολή της βύθισης γ σε συνάρτηση με το μήκος του συρμού x
Μέτρηση: 1^η

Συρμός: Πεντάδυμος Συρμός Υψηλών Ταχυτήτων κατασκευής I.C. Σειράς 520 Τύπου
INTERCITY

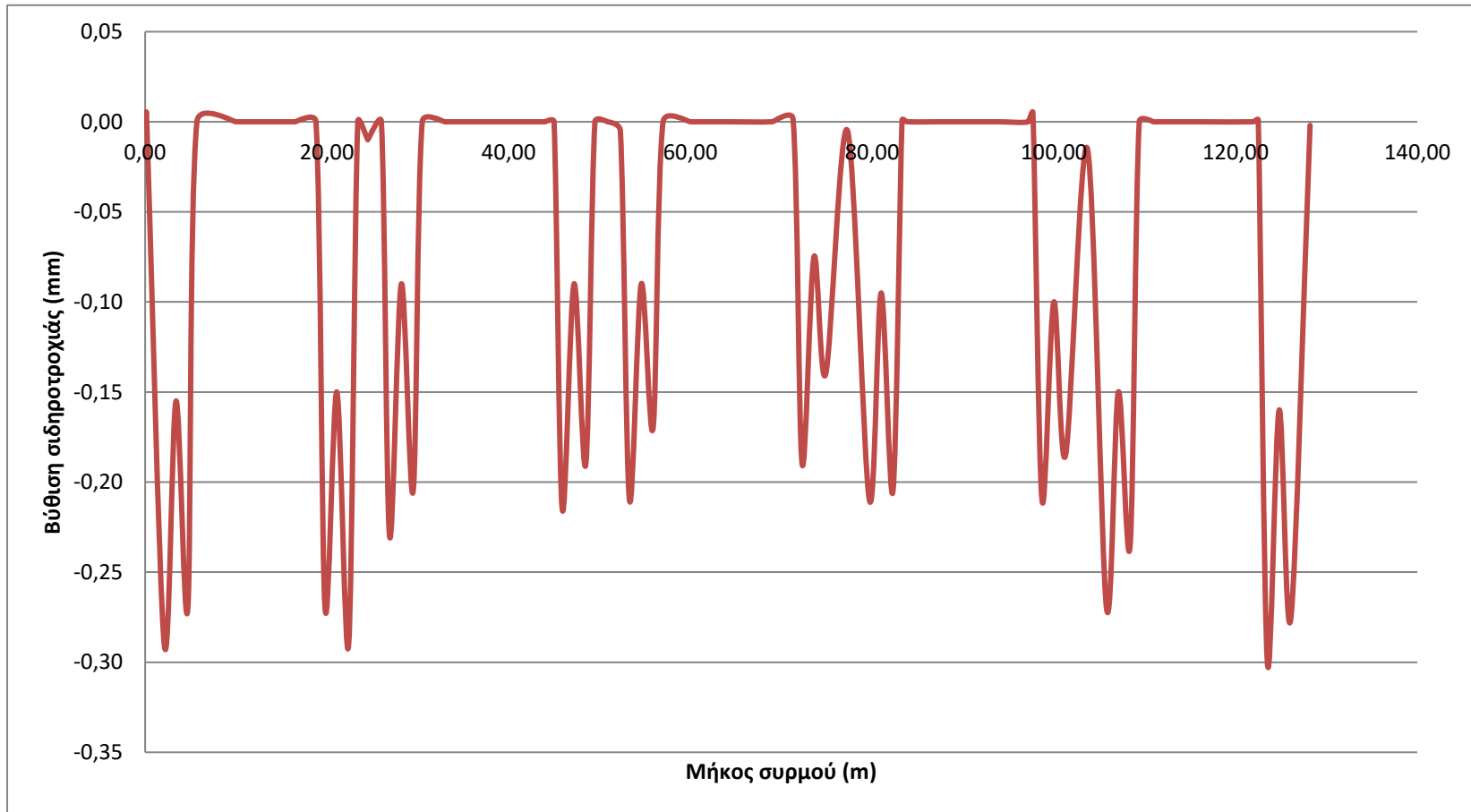
Χρόνος έναρξης μέτρησης: 08:15

Προέλευση: Θεσσαλονίκη

Προορισμός : Αθήνα

Μήκος Συρμού (mm)	Μήκος Συρμού (m)	Βύθιση (mm)
0	0,00	0,000
150	0,15	0,015
2100	2,10	-0,290
3400	3,40	-0,155
4700	4,70	-0,270
12250	12,25	0,000
19800	19,80	-0,270
21100	21,10	-0,150
22400	22,40	-0,290
24500	24,50	-0,010
26900	26,90	-0,230
28200	28,20	-0,090
29500	29,50	-0,205
37700	37,70	0,000
45900	45,90	-0,215
47200	47,20	-0,090
48500	48,50	-0,190
50900	50,90	-0,050
53300	53,30	-0,210
54600	54,60	-0,090
55900	55,90	-0,170

Μήκος Συρμού (mm)	Μήκος Συρμού (m)	Βύθιση (mm)
64100	64,10	0,000
72300	72,30	-0,190
73600	73,60	-0,075
74900	74,90	-0,140
77300	77,30	-0,005
79700	79,70	-0,210
81000	81,00	-0,095
82300	82,30	-0,205
90500	90,50	0,000
98700	98,70	-0,210
100000	100,00	-0,100
101300	101,30	-0,185
103700	103,70	-0,015
105800	105,80	-0,270
107100	107,10	-0,150
108400	108,40	-0,235
115950	115,95	0,000
123500	123,50	-0,300
124800	124,80	-0,160
126100	126,10	-0,275
128200	128,20	-0,002



Διάγραμμα 4.3 :Βύθιση σιδηροτροχιάς συναρτήσεως του Μήκους Συρμού
 1^η μέτρηση - Πεντάδυμος Συρμός Υψηλών Ταχυτήτων Σειράς 520 Τύπου INTERCITY

4.6.4 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Σε αυτή την ενότητα υπολογίζονται τα στατιστικά μεγέθη των μετρήσεων προκειμένου να διαπιστωθεί η ακρίβεια τους καθώς επίσης η ομοιομορφία του τροχαίου υλικού. Το τροχαίο υλικό, παρά το γεγονός ότι δεν έχει ομοιόμορφες καταπονήσεις, συμπεριφέρεται όμοια σε χαμηλές ταχύτητες, γεγονός που καθιστά σωστή τη θεώρηση για ημιστατικές μετρήσεις των βυθίσεων.

Στον Πίνακα 4.5 παρουσιάζονται για όλους τους συρμούς που μετρήθηκαν οι μέγιστες βυθίσεις, η πρώτη ανύψωση, η μέγιστη ανύψωση, το ποσοστό της μέγιστης ανύψωσης ως προς τη μέγιστη βύθιση και οι μέσες τιμές των μεγεθών αυτών για στατιστικούς λόγους.

Στη συνέχεια υπολογίζεται η διασπορά των μετρήσεων, η οποία δηλώνει πόσο απέχουν οι παρατηρήσεις από τη μέση τιμή του δείγματος και τα αποτελέσματα από τους υπολογισμούς παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.6. Η διασπορά υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

όπου:

n: το πλήθος των μετρήσεων

x_i: τιμή της μέτρησης i

\bar{x} : μέση τιμή των μετρήσεων του δείγματος

Μετά τον υπολογισμό της διασποράς υπολογίζεται η τυπική απόκλιση του δείγματος των παρατηρήσεων η οποία ισούται με την τετραγωνική ρίζα της διασποράς του δείγματος. Στη στατιστική, η τυπική απόκλιση είναι ένα μέτρο που χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί το ποσό της μεταβολής ή της διασποράς ενός συνόλου τιμών δεδομένων. Μια χαμηλή τυπική απόκλιση υποδηλώνει ότι τα σημεία των δεδομένων τείνουν να είναι κοντά στο μέσο όρο του συνόλου, ενώ μία υψηλή τυπική απόκλιση υποδεικνύει ότι τα στοιχεία απλώνονται πάνω από ένα ευρύτερο φάσμα των τιμών. Στον Πίνακα 4.7 παρουσιάζονται οι βυθίσεις για όλες τις μετρήσεις καθώς επίσης η μέση τιμή, η διασπορά και η τυπική απόκλιση του δείγματος των μετρήσεων.

Τέλος, προκειμένου να διαπιστωθούν τα όρια μέσα στα οποία κινείται η πραγματική μέση τιμή της μέγιστης βύθισης, δηλαδή το διάστημα εμπιστοσύνης, είναι απαραίτητο να γίνουν οι εξής παραδοχές:

- Θεωρείται ότι οι τιμές ακολουθούν την κατανομή t-Student με n=34

- Θεωρείται ως επίπεδο εμπιστοσύνης το 90%
- Θεωρείται ως γ_{m1} το άνω όριο του διαστήματος
- Θεωρείται ως γ_{m2} το κάτω όριο του διαστήματος
- Ο τύπος από τον οποίο προκύπτουν οι τιμές των ορίων είναι

$$\gamma_{m1,2} = \bar{y} \pm t_{(n-1),\alpha/2} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Ο σκοπός του διαστήματος εμπιστοσύνης είναι να διερευνηθεί κατά πόσο μεταβάλλονται τα μεγέθη που εξαρτώνται από τη βύθιση (στην περίπτωση μας ο δείκτης αντίδρασης εδάφους C και οι τάσεις στη θέση τοποθέτησης της βελόνας) όταν η βύθιση παίρνει τις ακραίες τιμές των ορίων του διαστήματος εμπιστοσύνης. Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.9 προκύπτει ότι η μεταβολή των μεγεθών αυτών είναι πρακτικά ασήμαντη και για αυτό γίνεται αποδεκτή η μέση τιμή της μέγιστης βύθισης που υπολογίστηκε και χρησιμοποιείται στους παρακάτω υπολογισμούς.

Χ.Θ. 218+530.00	ΜΕΤΡΗΣΗ	ΤΥΠΟΣ ΣΥΡΜΟΥ	ΒΥΘΙΣΗ MAX (mm)	1η ΑΝΥΨΩΣΗ (mm)	ΑΝΥΨΩΣΗ MAX (mm)	%(ΑΝΥΨ MAX/ΒΥΘ MAX)
	1			0,29	0,01	0,01
2		Πεντάδυμος Συρμός Ι.Σ. ΣΕΙΡΑΣ 520	0,23	0,005	0,005	2,174
3			0,21	0,005	0,005	2,381
4			0,21	0,01	0,01	4,762
5			0,3	0,005	0,005	1,667
6				0,35	0,005	0,015
7		Συρμός τύπου Ι.Σ με 1 Δ-Η/Α ΑDTRANZ και 6 Ε/Α	0,285	0,005	0,005	1,754
8			0,265	0,005	0,005	1,887
9			0,275	0,0015	0,01	3,636
10			0,295	0,01	0,02	6,780
11			0,25	0,02	0,02	8,000
12			0,265	0,005	0,005	1,887
13		Συρμός τύπου Ι.Σ με 2 Δ-Η/Α ΑDTRANZ και 6 Ε/Α	0,36	0,005	0,005	1,389
14			0,365	0,005	0,005	1,370
15			0,275	0,005	0,005	1,818
16			0,265	0,005	0,005	1,887
17			0,275	0,005	0,005	1,818
18			0,275	0,005	0,005	1,818
19			0,28	0,005	0,005	1,786
20			0,28	0,005	0,005	1,786
21		Συρμός τύπου Ι.Σ με 1 Δ-Η/Α ΑDTRANZ και 6 Ε/Α	0,39	0,005	0,01	2,564
22			0,28	0,005	0,01	3,571
23			0,27	0,01	0,02	7,407
24			0,33	0,02	0,02	6,061
25			0,27	0,005	0,01	3,704
26			0,26	0,01	0,01	3,846
27			0,3	0,005	0,005	1,667
28		Συρμός τύπου Ι.Σ με 1 Δ-Η/Α ΑDTRANZ και 6 Ε/Α	0,405	0,005	0,02	4,938
29			0,315	0,005	0,01	3,175
30			0,295	0,005	0,01	3,390
31			0,345	0,015	0,015	4,348
32			0,305	0,01	0,01	3,279
33			0,32	0,025	0,025	7,813
34			0,265	0,045	0,045	16,981
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ		0,29264706	0,009	0,011	3,796

Πίνακας 4.5:Απόλυτα μεγέθη μετρήσεων

Χ.Θ. 218+530.00	ΜΕΤΡΗΣΗ	ΒΥΘΙΣΗ (max) (y-y _m) ²	1η ΑΝΥΨΩΣΗ (d1-d1m) ²	ΑΝΥΨΩΣΗ (max) (d-dm) ²
	1	0,00001	0,0000016	0,0000011
	2	0,003924654	0,0000138	0,0000364
	3	0,00683	0,0000138	0,0000364
	4	0,006830536	0,0000016	0,0000011
	5	0,00005	0,0000138	0,0000364
	6	0,00328936	0,0000138	0,0000158
	7	0,00006	0,0000138	0,0000364
	8	0,00076436	0,0000138	0,0000364
	9	0,00031	0,0000521	0,0000011
	10	5,53633E-06	0,0000016	0,0000805
	11	0,00182	0,0001272	0,0000805
	12	0,00076436	0,0000138	0,0000364
	13	0,00454	0,0000138	0,0000364
	14	0,005234948	0,0000138	0,0000364
	15	0,00031	0,0000138	0,0000364
	16	0,00076436	0,0000138	0,0000364
	17	0,00031	0,0000138	0,0000364
	18	0,000311419	0,0000138	0,0000364
	19	0,00016	0,0000138	0,0000364
	20	0,000159948	0,0000138	0,0000364
	21	0,00948	0,0000138	0,0000011
	22	0,000159948	0,0000138	0,0000011
	23	0,00051	0,0000016	0,0000805
	24	0,001395242	0,0001272	0,0000805
	25	0,00051	0,0000138	0,0000011
	26	0,00106583	0,0000016	0,0000011
	27	0,00005	0,0000138	0,0000364
	28	0,012623183	0,0000138	0,0000805
	29	0,00050	0,0000138	0,0000011
	30	0,000006	0,0000138	0,0000011
	31	0,00274	0,0000394	0,0000158
	32	0,000152595	0,0000016	0,0000011
	33	0,00075	0,0002650	0,0001952
34	0,00076436	0,0013162	0,0011540	
Ss2 = (Σ(j-j _m) ²)/(v-1)		0,00204	0,0000679	0,0000709

Πίνακας 4.6: Διασπορά μετρήσεων

Μέτρηση	Βύθιση max (mm)
1	0,29
2	0,23
3	0,21
4	0,21
5	0,3
6	0,35
7	0,285
8	0,265
9	0,275
10	0,295
11	0,25
12	0,265
13	0,36
14	0,365
15	0,275
16	0,265
17	0,275
18	0,275
19	0,28
20	0,28
21	0,39
22	0,28
23	0,27
24	0,33
25	0,27
26	0,26
27	0,3
28	0,405
29	0,315
30	0,295
31	0,345
32	0,305
33	0,32
34	0,265
Μέση Τιμή γ_m	0,292647059
Διασπορά	0,002035205
Τυπική απόκλιση	0,045113246

Πίνακας 4.7: Μέση τιμή , διασπορά και τυπική απόκλιση μετρήσεων

Υπολογισμός διαστήματος Εμπιστοσύνης	
v	34
A	90%
t _s	1,645
γ _{m1}	0,545374131
γ _m	0,53264706
γ _{m2}	0,519919929

Πίνακας 4.8: Υπολογισμός διαστήματος εμπιστοσύνης

	γ(mm)	C(N/mm ³)	ρ(N/mm ²)
γ _{m1}	0,545374191	0,193634576	0,1056033
γ _m	0,53264706	0,199827983	0,106437788
γ _{m2}	0,519919929	0,206376574	0,107299294

Πίνακας 4.9: Εκτίμηση μεταβολή μεγεθών στο διάστημα εμπιστοσύνης της βύθισης

5

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ

5.1 Υπολογισμός Δείκτη Αντίδρασης Εδάφους C

Ο υπολογισμός του Δείκτη Αντίδρασης Εδάφους στην παρούσα εργασία γίνεται με βάση τη μέση τιμή της επί τόπου μετρηθείσας βύθισης (y_m) της σιδηροτροχιάς υπό το φορτίο Q σε γραμμή υπό λειτουργία. Η μέθοδος αυτή είναι ακριβέστερη σε σχέση με τις υπόλοιπες, όπως αναφέρεται στην Παράγραφο 3.5.

$$C = \frac{1}{4 \cdot b} \cdot \frac{Q}{y_m} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{E \cdot I} \cdot \frac{Q}{y_m}} \quad [\text{N/mm}^3]$$

Όπου

E : μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα [N/mm^2]

b : πλάτος του ιδανικού κατά μήκος φορέα [mm]

I : ροπή αδράνειας της σιδηροτροχιάς [mm^4]

Q : φορτίο τροχού [N]

Τα παραπάνω μεγέθη προκύπτουν ως εξής:

Πλάτος του ιδανικού κατα μήκος φορέα b

$$b = \frac{bs \cdot 2 \cdot u}{a} = \frac{F1}{a} \quad [\text{mm}]$$

Όπου

bs: πραγματικό πλάτος στρωτήρα [mm]

u: εξέχον τμήμα στρωτήρα [mm]

a: απόσταση μεταξύ στρωτήρων [mm]

F1: ενεργός επιφάνεια ανά σιδηροτροχιά [mm]

Για στρωτήρες B70: $F1 = \frac{5700 \text{ cm}^2}{2} = 2850 = 285000 \text{ mm}^2$

Η απόσταση μεταξύ των στρωτήρων είναι $a=600\text{mm}$

Οπότε προκύπτει $b = 475\text{mm}$

Ροπή αδράνειας της σιδηροτροχιάς I_x

Η σιδηροτροχιά που έχει τοποθετηθεί είναι η UIC 60 με ροπή αδράνειας
 $I_x = 3038.3 \text{ cm}^4 = 30383000 \text{ mm}^4$

Μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα E

$E=2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2 = 210000 \text{ N/mm}^2$

Φορτίο τροχού Q

Ανάλογα με το είδος του οχήματος προκύπτει διαφορετικό φορτίο τροχού.
Σύμφωνα με την ανάλυση που έχει γίνει στην παράγραφο 4.5.1 προκύπτει:

-Για τις δηζελοηλεκτράμαξες κατασκευής ADTRANZ Σειράς 220

$Q= 98.07 \text{ KN/ τροχό}$

Για τις επιβατάμαξες τύπου ADmz και Bmz

$Q= 68,67 \text{ KN/ τροχό}$

-Για τους Πεντάδυμους Συρμούς Υψηλών Ταχυτήτων κατασκευής I.C. Σειράς 520
Τύπου INTERCITY

$Q= 67,44 \text{ KN/ τροχό}$

Μέση τιμή της βύθισης της σιδηροτροχιάς

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.1) φαίνεται για κάθε όχημα η μέση τιμή της βύθισης της σιδηροτροχιάς. Η διαδικασία αυτή απαιτείται λόγω των διαφορετικών φορτίων των οχημάτων.

ΜΕΤΡΗΣΗ	ΤΥΠΟΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	ΒΥΘΙΣΗ				ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΒΥΘΙΣΗΣ
		1ος Τροχός	2ος Τροχός	3ος Τροχός	4ος Τροχός	γ_m
1	Πεντάδυμος Συρμός Ι.Σ. ΣΕΙΡΑΣ 520	0,29	0,27	0,27	0,29	0,280
2		0,23	0,21	0,22	0,19	0,213
3		0,21	0,17	0,19	0,14	0,178
4		0,21	0,21	0,21	0,19	0,205
5		0,27	0,24	0,3	0,28	0,273
6	ADTRANZ	0,28	0,35	0,295	0,27	0,299
7	Ε/Α	0,235	0,285	0,235	0,235	0,248
8	Ε/Α	0,215	0,265	0,23	0,215	0,231
9	Ε/Α	0,245	0,275	0,225	0,225	0,243
10	Ε/Α	0,295	0,28	0,235	0,205	0,254
11	Ε/Α	0,25	0,25	0,235	0,18	0,229
12	Ε/Α	0,225	0,265	0,22	0,215	0,231
13	ADTRANZ	0,335	0,32	0,36	0,34	0,339
14	ADTRANZ	0,36	0,305	0,365	0,325	0,339
15	Ε/Α	0,275	0,265	0,265	0,265	0,268
16	Ε/Α	0,265	0,235	0,26	0,255	0,254
17	Ε/Α	0,27	0,26	0,275	0,235	0,260
18	Ε/Α	0,275	0,26	0,265	0,25	0,263
19	Ε/Α	0,28	0,24	0,255	0,26	0,259
20	Ε/Α	0,27	0,245	0,28	0,255	0,263
21	ADTRANZ	0,305	0,39	0,315	0,32	0,333
22	Ε/Α	0,25	0,28	0,21	0,22	0,240
23	Ε/Α	0,23	0,27	0,22	0,23	0,238
24	Ε/Α	0,26	0,33	0,27	0,23	0,273
25	Ε/Α	0,245	0,27	0,245	0,235	0,249
26	Ε/Α	0,245	0,26	0,235	0,25	0,248
27	Ε/Α	0,225	0,3	0,225	0,225	0,244
28	ADTRANZ	0,35	0,4	0,405	0,33	0,371
29	Ε/Α	0,285	0,315	0,265	0,25	0,279
30	Ε/Α	0,27	0,295	0,285	0,265	0,279
31	Ε/Α	0,345	0,34	0,32	0,28	0,321
32	Ε/Α	0,265	0,305	0,245	0,245	0,265
33	Ε/Α	0,32	0,32	0,27	0,255	0,291
34	Ε/Α	0,255	0,265	0,2	0,2	0,230

Χ.Θ. 218+530.00

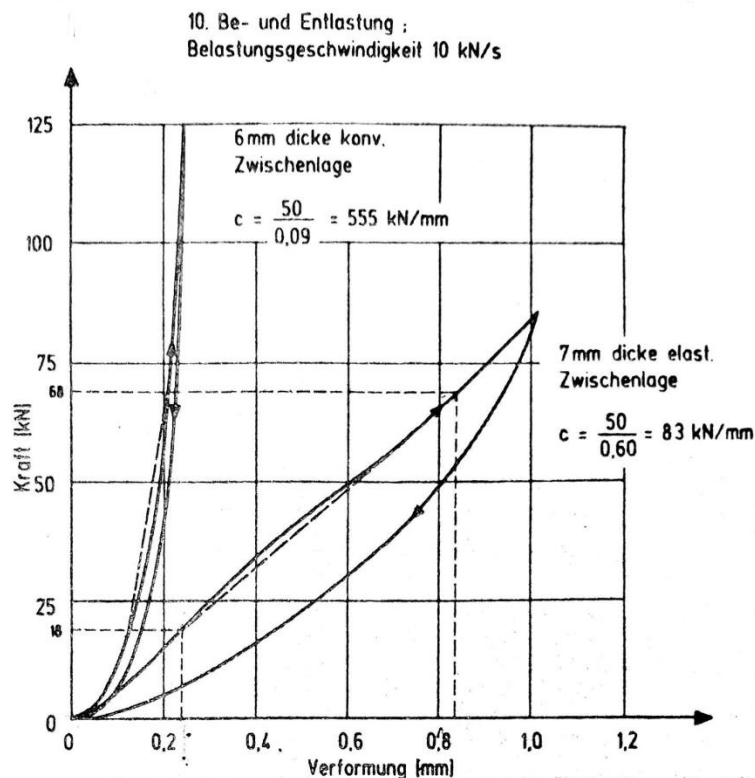
Πίνακας 5.1: Μέση τιμή βύθισης γ_m για κάθε όχημα

Σημειώνεται ότι οι μετρήσεις που καταγράφηκαν επι τόπου κατά την 9^η Ιουνίου και παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1 δεν αποτελούν τιμές συνολικής βύθισης της σιδηροτροχιάς, μέσω των οποίων μπορεί να υπολογιστεί ο Δείκτης Αντίδρασης Εδάφους C. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το ελαστικό υπόθεμα τύπου Zw700b που έχει τοποθετηθεί στις συνδέσεις στρωτήρα- σιδηροτροχιάς πιέζεται από το μέσο

σύνδεσης με δύναμη 9 kN , σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Τα μέσα σύνδεσης είναι δύο επομένως η συνολική δύναμη που ασκείται στο ελαστικό υπόθεμα είναι 18 kN.

Σύμφωνα με τις μελέτες που έγιναν στο Πολυτεχνείο του Μονάχου από τον καθηγητή Leykauf (1990) , το ελαστικό υπόθεμα τύπου Zw700b πάχους 7mm δεχόμενο τη δύναμη των 18 kN από τα μέσα σύσφιξης βυθίζεται κατά 0,24 mm (Διάγραμμα 5.1) . Η τιμή αυτή της παραμόρφωσης του ελαστικού αυτού μέσου πρέπει να προστεθεί στις μετρηθείσες βυθίσεις της σιδηροτροχιάς προκειμένου να υπολογιστεί τελικά ο Δείκτης Αντίδρασης Εδάφους C.

Η απαίτηση προσαύξησης των επί τόπου μετρημένων βυθίσεων κατά την τιμή βύθισης του ελαστικού υποθέματος προκύπτει από το γεγονός ότι η σιδηροτροχιά , στην περίπτωση που το ελαστικό υπόθεμα δεν ήταν συμπιεσμένο , λόγω της ελαστικής απόκρισης του υλικού θα είχε βυθιστεί κατά την ήδη υπάρχουσα βύθιση του υποθέματος σύν την επι τόπου μετρηθείσα.



Διάγραμμα 5.1: Καμπύλη απόκρισης ελαστικών αποθεμάτων σύμφωνα με το Πολυτεχνείο του Μονάχου

Σύμφωνα με τα όσα ειπώθηκαν παραπάνω διαμορφώνεται τελικώς ο επόμενος πίνακας (Πίνακας 5.2). Στον πίνακα αυτό υπολογίζεται ο Δείκτης Αντίδρασης

Εδάφους C για τις βυθίσεις της σιδηροτροχιάς, ενώ στην τελευταία στήλη υπολογίζεται η πίεση του έρματος κάτω από το στρωτήρα σύμφωνα με τη σχέση:

$$P=C \cdot \gamma_m [N/mm^2]$$

ΜΕΤΡΗΣΗ	ΤΥΠΟΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΒΥΘΙΣΗΣ γ_m (mm)	ΦΟΡΤΙΟ ΤΡΟΧΟΥ (N)	C (N/mm ³)	P (N/mm ²)
1	Πεντάδυμος Συρμός I.C. ΣΕΙΡΑΣ 520	0,520	67443	0,186297831	0,0968749
2		0,453	67443	0,22424399	0,1014704
3		0,418	67443	0,249653093	0,1042302
4		0,445	67443	0,229297283	0,1020373
5		0,513	67443	0,189941748	0,0973451
6	ADTRANZ	0,539	98070	0,292748676	0,1577183
7	E/A	0,488	68670	0,20797908	0,1013898
8	E/A	0,471	68670	0,217595877	0,1025421
9	E/A	0,483	68670	0,210857663	0,1017388
10	E/A	0,494	68670	0,204476311	0,1009602
11	E/A	0,469	68670	0,219144599	0,102724
12	E/A	0,471	68670	0,217595877	0,1025421
13	ADTRANZ	0,579	98070	0,266086788	0,1539977
14	ADTRANZ	0,579	98070	0,266086788	0,1539977
15	E/A	0,508	68670	0,197123205	0,10004
16	E/A	0,494	68670	0,204476311	0,1009602
17	E/A	0,500	68670	0,201075492	0,1005377
18	E/A	0,503	68670	0,199742765	0,1003707
19	E/A	0,499	68670	0,201747704	0,1006217
20	E/A	0,503	68670	0,199742765	0,1003707
21	ADTRANZ	0,573	98070	0,269966988	0,1545561
22	E/A	0,480	68670	0,212323222	0,1019151
23	E/A	0,478	68670	0,213806701	0,1020927
24	E/A	0,513	68670	0,194563179	0,0997136
25	E/A	0,489	68670	0,207270161	0,1013033
26	E/A	0,488	68670	0,20797908	0,1013898
27	E/A	0,484	68670	0,210131507	0,1016511
28	ADTRANZ	0,611	98070	0,247392286	0,1512185
29	E/A	0,519	68670	0,191443959	0,0993116
30	E/A	0,519	68670	0,191443959	0,0993116
31	E/A	0,561	68670	0,172362985	0,0967387
32	E/A	0,505	68670	0,19842542	0,1002048
33	E/A	0,531	68670	0,185461552	0,0985264
34	E/A	0,470	68670	0,218367835	0,1026329
Πλάτος ιδανικού φορέα b (mm)			475		
Μέτρο ελαστικότητας χάλυβα (N/mm ²)			210000		
Ροπή αδράνειας σιδ/τροχιάς (mm ⁴)			30383000		

Πίνακας 5.2: Υπολογισμός του Δείκτη Αντίδρασης Εδάφους για τις μετρηθείσες βυθίσεις
Από τους παραπάνω υπολογισμούς προκύπτει ότι η μέση τιμή του Δείκτη Αντίδρασης Εδάφους είναι $C=0.21N/mm^3$, δηλαδή σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1 της παραγράφου

3.4 το υπέδαφος χαρακτηρίζεται καλό έως πολύ καλό. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στο ότι η γραμμή είναι καινούργια.

5.2 ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΒΥΘΙΣΗ

Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητη η σύγκριση των βυθίσεων που μετρήθηκαν στο πεδίο με τις αναμενόμενες βυθίσεις, υποθέτοντας ότι η κατάσταση του εδάφους, όπως αυτή χαρακτηρίζεται από το Δείκτη Αντίδρασης Εδάφους, είναι καλή έως ιδανική. Έτσι, εκτιμάται ο Δείκτης Αντίδρασης Εδάφους ίσος με $C=0.20 \text{ N/mm}^3$. Ακόμη, εκτιμάται ο συντελεστής επιπέδωσης που εξαρτάται από την ποιότητα της γραμμής $s=0.1$ για πολύ καλή επιπέδωση εφόσον η γραμμή είναι νεοκατασκευασμένη.

Ο υπολογισμός θα γίνει σύμφωνα με τη θεωρία του κατά μήκος στρωτήρα του Zimmermann, η οποία βασίζεται στη διαπίστωση ότι επειδή η κάμψη της σιδηροτροχιάς μεταξύ δύο στρωτήρων σε σχέση με τη συνολική βύθιση εξαιτίας της υποχώρησης της στρώσης του έρματος είναι ελάχιστη, μπορεί η εγκάρσια στήριξη να αντικατασταθεί με μία κατά μήκος υποθετική στήριξη. Με τη θεώρηση αυτή ο Zimmermann έλαβε ουσιαστικά υπόψη το γεγονός ότι η βύθιση ενός στρωτήρα δεν εξαρτάται μόνο από τον τροχό που διέρχεται τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή από πάνω, αλλά και από τον επόμενο ή τον προηγούμενο όταν αυτός βρίσκεται σε πολύ μικρή απόσταση (μικρό μεταξόνιο). Για τους συρμούς του ΟΣΕ που αφορούν την εργασία η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των αξόνων είναι:

$\chi_s = 2500 \text{ mm}$

Ο τύπος υπολογισμού της αναμενόμενης στατικής βύθισης είναι ο εξής:

$$y = \frac{Q}{2 \cdot b \cdot C \cdot L} \cdot (1 + \eta)$$

Όπου:

Q: φορτίο τροχού

b: πλάτος ιδανικού κατά μήκος φορέα

C: δείκτης αντίδρασης εδάφους κατ' εκτίμηση

L: ελαστικό μήκος του κατά μήκος φορέα $L = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E \cdot I}{b \cdot C}}$ [mm]

η : συντελεστής που χαρακτηρίζει την επιρροή στην κάμψη της γραμμής σε δεδομένη απόσταση από τη διερευνούμενη διατομή. Δίνεται από πίνακα σε συνάρτηση με το μέγεθος $\xi=x/L$.

Στη συνέχεια για τον υπολογισμό της αναμενόμενης δυναμικής και στατικής βύθισης είναι απαραίτητος ο υπολογισμός του δυναμικού συντελεστή θ από τον εξής τύπο:

$$\theta=1+s\cdot\phi\cdot t$$

όπου

ϕ : συντελεστής ταχύτητας με $\phi=1$ για ταχύτητα έως 60 km/h

t : πιθανολογικός παράγοντας με $t=3$ για σιδηροτροχιά
(Η πιθανότητα να μην υπερβληθεί το δυναμικό φορτίο q_{dyn} είναι 99,7%)

s : συντελεστής επιπέδωσης που εξαρτάται από την ποιότητα της γραμμής $s=0.1$ για πολύ καλή επιπέδωση

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την παραπάνω διαδικασία επίλυσης συνοψίζονται στον Πίνακα 5.3 που ακολουθεί.

ΜΕΤΡΗΣΗ	ΤΥΠΟΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ		ΦΟΡΤΙΟ ΤΡΟΧΟΥ (N)	ΣΤΑΤΙΚΗ ΒΥΘΙΣΗ γ (mm)	ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΒΥΘΙΣΗ γ_d (mm)
1	Πεντάδυμος Συρμός Ι.Σ. ΣΕΙΡΑΣ 520		67443	0,47388049	0,616044637
2			67443	0,47388049	0,616044637
3			67443	0,47388049	0,616044637
4			67443	0,47388049	0,616044637
5			67443	0,47388049	0,616044637
6	ADTRANZ		98070	0,689077587	0,895800863
7	E/A		68670	0,482501865	0,627252424
8	E/A		68670	0,482501865	0,627252424
9	E/A		68670	0,482501865	0,627252424
10	E/A		68670	0,482501865	0,627252424
11	E/A		68670	0,482501865	0,627252424
12	E/A		68670	0,482501865	0,627252424
13	ADTRANZ		98070	0,689077587	0,895800863
14	ADTRANZ		98070	0,689077587	0,895800863
15	E/A		68670	0,482501865	0,627252424
16	E/A		68670	0,482501865	0,627252424
17	E/A		68670	0,482501865	0,627252424
18	E/A		68670	0,482501865	0,627252424
19	E/A		68670	0,482501865	0,627252424
20	E/A		68670	0,482501865	0,627252424
21	ADTRANZ		98070	0,689077587	0,895800863
22	E/A		68670	0,482501865	0,627252424
23	E/A		68670	0,482501865	0,627252424
24	E/A		68670	0,482501865	0,627252424
25	E/A		68670	0,482501865	0,627252424
26	E/A		68670	0,482501865	0,627252424
27	E/A		68670	0,482501865	0,627252424
28	ADTRANZ		98070	0,689077587	0,895800863
29	E/A		68670	0,482501865	0,627252424
30	E/A		68670	0,482501865	0,627252424
31	E/A		68670	0,482501865	0,627252424
32	E/A		68670	0,482501865	0,627252424
33	E/A		68670	0,482501865	0,627252424
34	E/A		68670	0,482501865	0,627252424
b (mm)	E(N/mm ²)	I(mm ⁴)	C(N/mm ³)	L(mm)	t
475	210000	30383000	0,15	719,940464	3
x_{cr} (mm)	ξ	η	s	θ	ϕ
2500	3,47250936	-0,03887	0,1	1,3	1

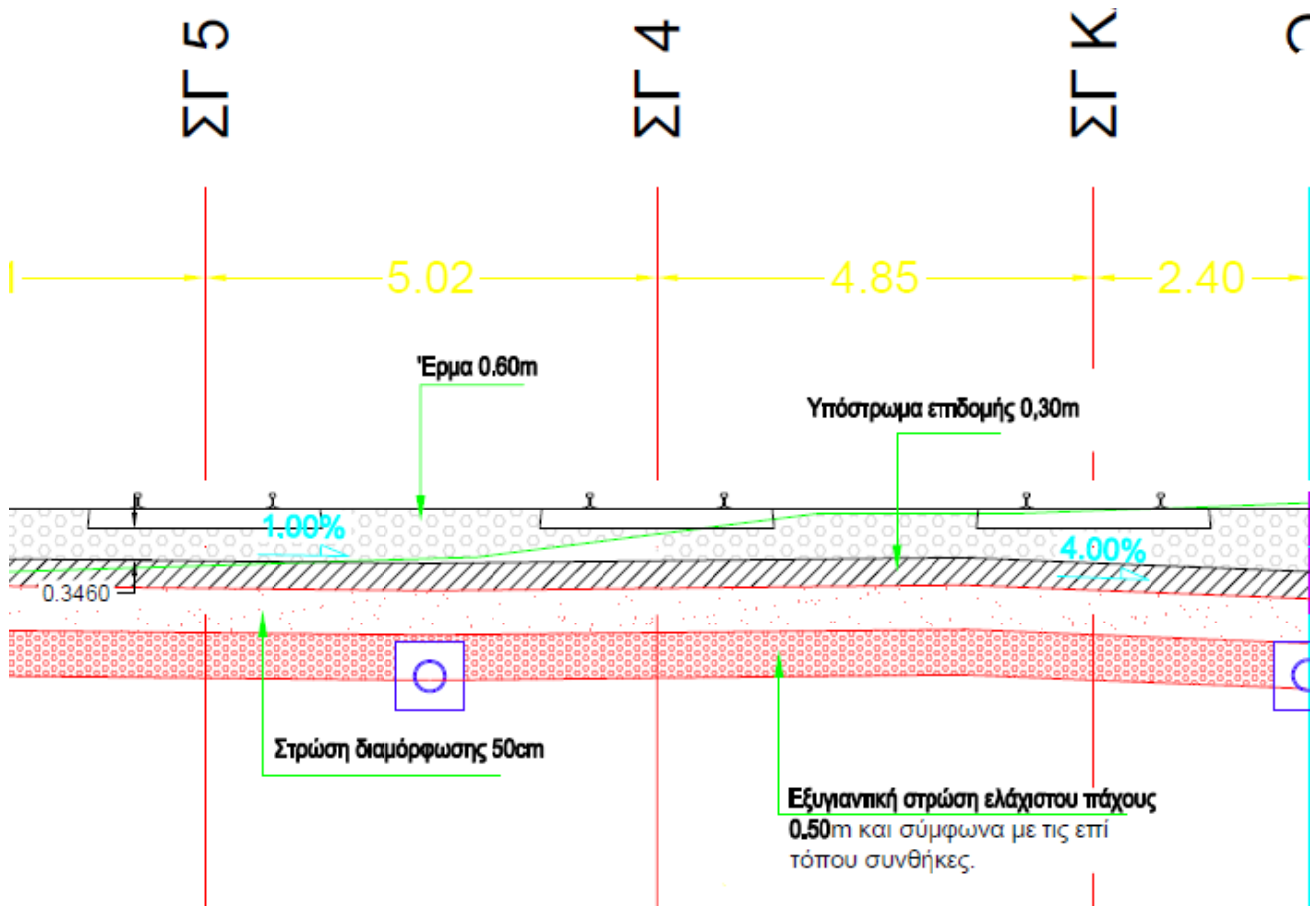
Πίνακας 5.3: Υπολογισμός αναμενόμενης στατικής και δυναμικής βύθισης για τον κατ' εκτίμηση δείκτη αντίδρασης εδάφους

Από τα αποτελέσματα που περιλαμβάνονται στον προηγούμενο πίνακα συμπεραίνουμε τα εξής:

Ο δείκτης αντίδρασης εδάφους C είναι κοντά σε αυτόν που υπολογίστηκε και οι αναμενόμενες βυθίσεις, με τη θεώρηση αυτού, πλησιάζουν πολύ αυτές που μετρήθηκαν επί τόπου. Θα ήταν δόκιμο να ειπωθεί ότι η πραγματική βύθιση πρέπει να κυμαίνεται στο διάστημα μεταξύ αναμενόμενης στατικής και δυναμικής βύθισης αφού πρόκειται για ημιστατική βύθιση, πράγμα που επαληθεύεται στην περίπτωση αυτή. Η υπόθεση που έγινε για το δείκτη αντίδρασης εδάφους αφορά μια ιδανική κατάσταση επιδομής και ομοιόμορφη κατανομή του έρματος, συνθήκες οι οποίες μπορεί να θεωρηθεί ότι ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα μιας και η γραμμή είναι καινούργια και έχει δοθεί στην κυκλοφορία μόλις πριν έναν χρόνο (2016).

5.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

Σημαντικός παράγοντας για τη διερεύνηση της καταλληλότητας της επιδομής αλλά και του υπεδάφους είναι οι τάσεις που μεταβιβάζονται στο έδαφος μέσω της επιδομής αλλά και κάποιων ενδιάμεσων στρώσεων που υπάρχουν ή που καλό θα ήταν να υπάρχουν σε διάφορες περιπτώσεις (π.χ. στρώση έναντι παγετού), με σκοπό να μειωθούν οι τάσεις αυτές. Από τις τάσεις που μεταβιβάζονται στο έδαφος ιδιαίτερη σημασία έχουν οι κατακόρυφες θλιπτικές τάσεις σ_z , ενώ λιγότερο ενδιαφέρον έχουν οι οριζόντιες σ_x και οι διατμητικές τ_{max} , μιάς και το έδαφος κινδυνεύει να αστοχήσει έναντι θλίψεως. Για τον υπολογισμό των τάσεων αυτών είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη τα πάχη των στρώσεων καθώς και τα μέτρα ελαστικότητας αυτών. Στην Εικόνα 5.1 φαίνεται η διατομή της γραμμής στη θέση όπου έγιναν οι μετρήσεις. Στη διατομή αυτή φαίνονται τα πάχη των στρώσεων που απαιτούνται όπως προαναφέρθηκε για τον υπολογισμό των τάσεων. Υπενθυμίζεται ότι οι μετρήσεις έγιναν στη Σ.Γ. 5.



Εικόνα 5.1: Διατομή της γραμμής στη θέση των μετρήσεων

Επομένως, όπως φαίνεται στην διατομή οι στρώσεις που έχουν τοποθετηθεί έχουν τα εξής πάχη και μέτρα ελαστικότητας (E) όπως προέκυψαν από τις γεωτεχνικές μελέτες:

- Έρμα $h_1=346 \approx 350$ mm $E_1=150$ N/mm²
- Υπόστρωμα επιδομής $h_2= 300$ mm $E_2=120$ N/mm²
- Στρώση διαμόρφωσης $h_3= 500$ mm $E_3=100$ N/mm²
- Εξυγιαντική στρώση $h_4=500$ mm $E_4=90$ N/mm²
- Υπέδαφος $E_5=45$ N/mm²

Το μέτρο ελαστικότητας του εδάφους κυμαίνεται από 10 έως 100 N/mm² ανάλογα με το δείκτη αντίδρασης εδάφους που έχει υπολογιστεί. Επειδή και οι πέντε στρώσεις έχουν διαφορετικά μέτρα ελαστικότητας E , είναι απαραίτητος ο υπολογισμός ισοδύναμων στρώσεων κατά Odemark , ο οποίος θα μας δώσει τα αντίστοιχα πάχη των υπερκείμενων στρώσεων αν αυτές είχαν το μέτρο ελαστικότητας του εδάφους, δηλαδή ένα κοινό μέτρο ελαστικότητας E₅. Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθεί ότι η μέθοδος Odemark ισχύει μόνο όταν τα μέτρα ελαστικότητας μειώνονται με το βάθος. Για το λόγο αυτό στα σημεία όπου ο Δείκτης Αντίδρασης Εδάφους είναι πολύ μεγάλος και από τον πίνακα αντιστοιχεί σε E =100 N/mm² , εμείς θεωρούμε E=85 N/mm² , έτσι ώστε να διατηρείται η παραπάνω συνθήκη. Το ισοδύναμο πάχος των άνω τεσσάρων στρώσεων ως προς το μέτρο ελαστικότητας της πέμπτης στρώσης υπολογίζεται από τον τύπο:

$$h_{e,n} = f \sum_{i=1}^n h_i \sqrt[3]{\frac{E_i}{E_n}}$$

όπου n=5.

		z (mm)	z' (mm)	
ΕΡΜΑ	E1= 150 N/mm ²	0	0	h1'=470,547 mm
		50	67,2211	
		100	134,442	
		150	201,663	
		200	268,884	
		250	336,105	
		300	403,326	
		350	470,547	
ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ ΕΠΙΔΟΜΗΣ	E2= 120 N/mm ²	400	532,95	h2'=374,412 mm
		450	595,353	
		500	657,755	
		550	720,158	
		600	782,56	
		650	844,963	
ΣΤΡΩΣΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ	E3=100 N/mm ²	700	903,686	h3'= 587,227 mm
		750	962,409	
		800	1021,13	
		850	1079,85	
		900	1138,58	
		950	1197,3	
		1000	1256,02	
		1050	1314,75	
		1100	1373,47	
		1150	1432,19	
ΕΞΥΓΙΑΝΤΙΚΗ ΣΤΡΩΣΗ	E4=90 N/mm ²	1200	1488,89	h4'=566,97mm
		1250	1545,59	
		1300	1602,28	
		1350	1658,98	
		1400	1715,67	
		1450	1772,37	
		1500	1829,07	
		1550	1885,76	
		1600	1942,46	
		1650	1999,16	

Πίνακας 5.4: Υπολογισμός ισοδύναμων βαθών κατά Odemark

5.3.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΥΠΟ ΕΞΕΤΑΣΗ ΔΙΑΤΟΜΗ

Ο υπολογισμός των τάσεων θα γίνει για τις μετρηθείσες βυθίσεις αλλά και για τις αναμενόμενες στατικές βυθίσεις που υπολογίστηκαν. Οι πιέσεις p που απαιτούνται για τους υπολογισμούς προκύπτουν από τον Πίνακα 5.1 της παραγράφου 5.1 .

Ο υπολογισμός των κατακόρυφων θλιπτικών τάσεων κάτω από τον υπό εξέταση στρωτήρα τη χρονική στιγμή που διέρχεται ο τροχός από πάνω του και σε βάθος z γίνεται με βάση τον τύπο :

$$\sigma_z = \frac{2 \cdot p}{\pi} \cdot \left[\arctan \left(\frac{bs}{2 \cdot z'} \right) + \frac{2 \cdot bs \cdot z'}{bs^2 + 4 \cdot z'^2} \right]$$

όπου:

σ_z : κατακόρυφη τάση [N/mm²]

p : πίεση έρματος κάτω από το στρωτήρα [N/mm²]

bs : πλάτος στρωτήρα [mm]

z' : ισοδύναμο βάθος κάτω από τον στρωτήρα σε [mm]

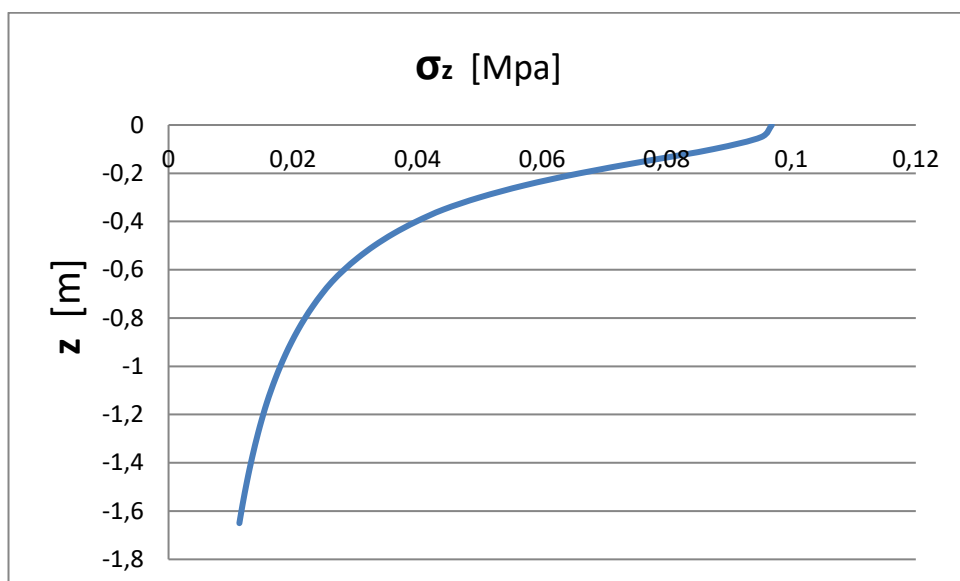
Οι υπολογισμοί γίνονται με τα ισοδύναμα βάθη αλλά τα τελικά αποτελέσματα όπως και τα διαγράμματα παρουσιάζονται για τα πραγματικά βάθη κάτω από το στρωτήρα.

Στους πίνακες και τα διαγράμματα παρατίθενται τα αποτελέσματα μόνο για τις κατακόρυφες θλιπτικές τάσεις σ_z , οι οποίες είναι οι κρίσιμες μιας και το έδαφος κινδυνεύει να αστοχήσει έναντι θλίψης. Ενδεικτικά παρουσιάζεται ο πίνακας υπολογισμών και το διάγραμμα τάσεων συναρτήσεως του βάθους z κάτω από το στρωτήρα μόνο για την 1^η μέτρηση, ενώ οι πίνακες και τα διαγράμματα για τις υπόλοιπες μετρήσεις παρουσιάζονται στο Παράρτημα Γ.

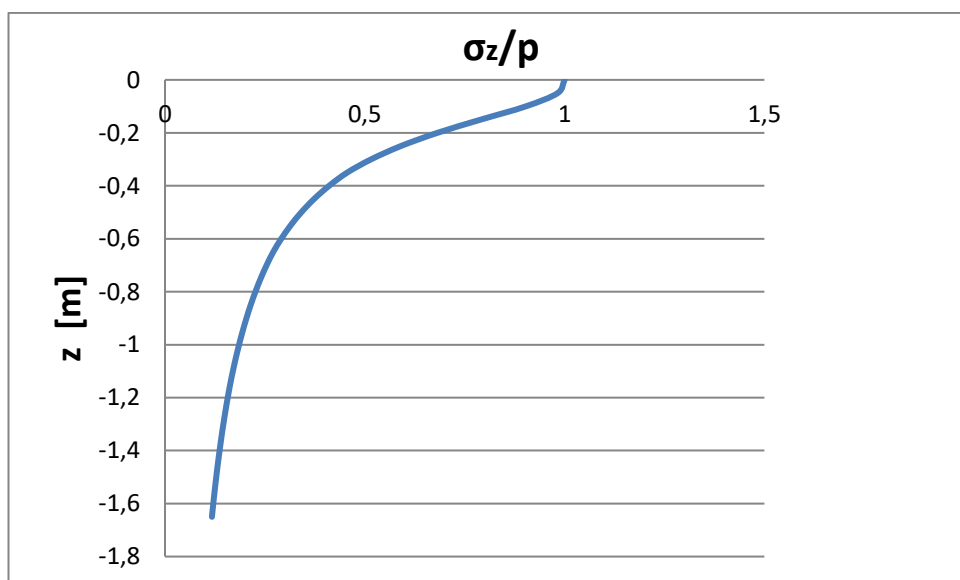
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,096875	1
50	54,37968	0,095187	0,982572
100	108,7594	0,087493	0,903157
150	163,139	0,076579	0,790495
200	217,5187	0,066055	0,681858
250	271,8984	0,057175	0,590199
300	326,2781	0,049982	0,515939
350	380,6577	0,044186	0,456113
400	431,1394	0,039789	0,410725
450	481,621	0,03613	0,372954
500	532,1026	0,033051	0,341176
550	582,5842	0,030433	0,31415
600	633,0658	0,028184	0,290934
650	683,5475	0,026234	0,270806
700	731,0525	0,024624	0,254183
750	778,5575	0,023195	0,239433
800	826,0625	0,021919	0,226264
850	873,5676	0,020774	0,214441
900	921,0726	0,01974	0,203771
950	968,5776	0,018803	0,194096
1000	1016,083	0,017949	0,185285
1050	1063,588	0,017169	0,177228
1100	1111,093	0,016453	0,169835
1150	1158,598	0,015793	0,163028
1200	1204,463	0,015204	0,156948
1250	1250,329	0,014657	0,151302
1300	1296,194	0,014148	0,146044
1350	1342,06	0,013673	0,141136
1400	1387,926	0,013228	0,136545
1450	1433,791	0,012811	0,132241
1500	1479,657	0,012419	0,128198
1550	1525,522	0,012051	0,124394
1600	1571,388	0,011703	0,120807
1650	1617,254	0,011375	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ (N/mm ²)
0,0968749

Πίνακας5.5: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πιέσεων για την 1^η μέτρηση



Διάγραμμα 5.2: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (1^η Μέτρηση)



Διάγραμμα 5.3: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (1^η Μέτρηση)

5.3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΓΕΙΤΟΝΙΚΩΝ ΣΤΡΩΤΗΡΩΝ ΣΤΙΣ ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΥΠΟ ΕΞΕΤΑΣΗ ΔΙΑΤΟΜΗ

Προκειμένου ο υπολογισμός των τάσεων να είναι ορθότερος και ακριβέστερος, είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη η επίδραση των γειτονικών στρωτήρων πάνω στους οποίους την ίδια χρονική στιγμή διέρχεται τροχός του συρμού και οι οποίοι βρίσκονται σε απόσταση από τον υπό εξέταση στρωτήρα τέτοια ώστε η επίδρασή τους να είναι σημαντική. Η απόσταση αυτή δίνεται από τον τύπο:

$$x_{in} = \frac{3}{2} \pi \cdot L \quad [\text{mm}]$$

όπου:

x_{in} : η απόσταση επίδρασης των γειτονικών στρωτήρων [mm]
 L : ελαστικό μήκος του κατά μήκος φορέα [mm]

Το ελαστικό μήκος έχει υπολογιστεί προηγουμένως και ισούται με:

$$L = 719.94 \text{ mm}$$

οπότε προκύπτει ότι η απόσταση επίδρασης των γειτονικών στρωτήρων είναι:

$$x_{in} = 3392.63 \text{ mm}$$

Στον επόμενο πίνακα φαίνονται οι αποστάσεις των γειτονικών στρωτήρων από τον υπό εξέταση στρωτήρα λαμβάνοντας υπόψη ότι η απόσταση μεταξύ των αξόνων των στρωτήρων είναι $a = 60 \text{ cm}$.

Απόσταση γειτονικών στρωτήρων από τον υπο εξέταση στρωτήρα σε (mm)					
1ος στρωτήρας	2ος στρωτήρας	3ος στρωτήρας	4ος στρωτήρας	5ος στρωτήρας	6ος στρωτήρας
600	1200	1800	2400	3000	3600

Πίνακας 5.6: Αποστάσεις γειτονικών στρωτήρων από τον υπο εξέταση στρωτήρα

Επομένως, είναι σημαντική η επίδραση των γειτονικών πέντε στρωτήρων.

Η επίδραση του κάθε στρωτήρα στις τάσεις κάτω από τον υπό εξέταση στρωτήρα δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\sigma_z' = \frac{p}{\pi} \cdot \left[\alpha 2' - \alpha 1' - \frac{\sin(2 \cdot a 2) - \sin(2 \cdot a 1)}{2} \right] \quad [\text{N/mm}^2]$$

Οι τελικές τάσεις σε κάθε βάθος z δίνονται από το άθροισμα:

$$\sigma_{z,t} = \sigma_z + 2 \cdot (\sigma_{z,1'} + \sigma_{z,2'} + \dots + \sigma_{z,n'}) \quad [\text{N/mm}^2]$$

Ο συντελεστής 2 μπροστά από το άθροισμα των επιπρόσθετων τάσεων χρειάζεται γιατί οι στρωτήρες που επηρεάζουν στη δυσμενέστερη περίπτωση είναι εκατέρωθεν του σημείου μέτρησης άρα οι επιπρόσθετες τάσεις είναι από τους στρωτήρες που βρίσκονται και από τις δύο πλευρές εντός του μήκους x_{in} . Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για την 1^η μέτρηση συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα μαζί με τα αντίστοιχα διαγράμματα. Στον πίνακα αυτό και στα αντίστοιχα διαγράμματα παρατίθενται τα αποτελέσματα για τις κατακόρυφες τάσεις σ_z για πραγματικά βάρη.

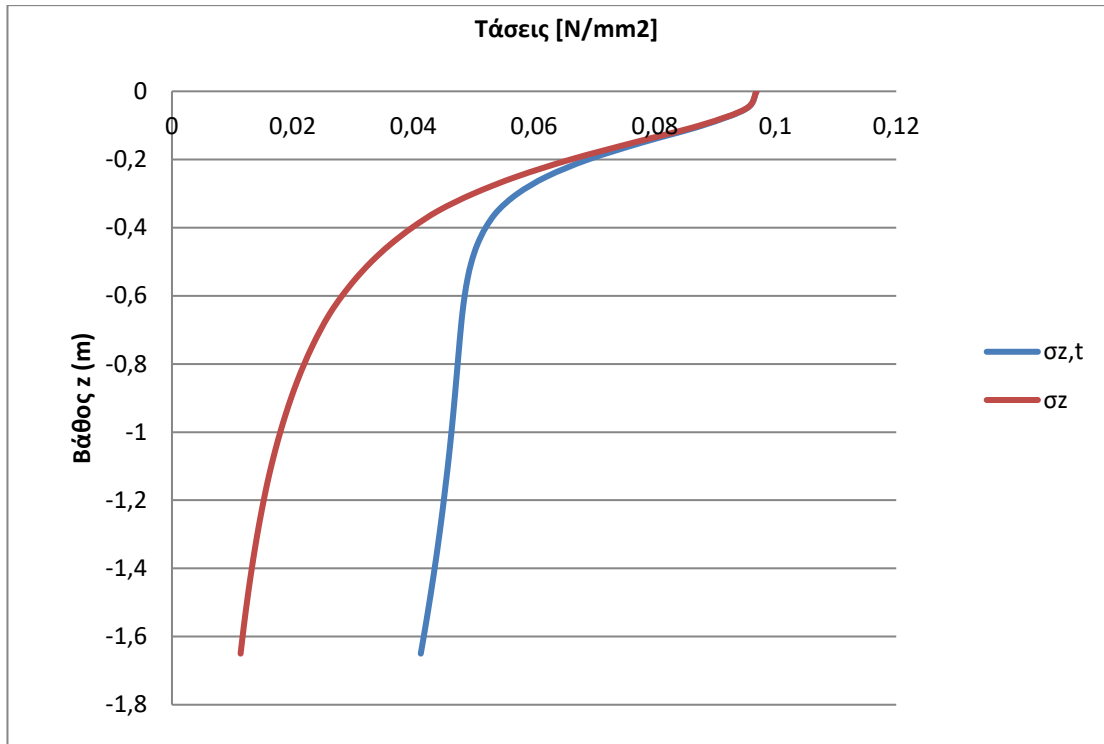
Πίνακες Υπολογισμού επιπρόσθετων τάσεων λόγω επίδρασης γειτονικών στρωτήρων για την 1^η μέτρηση

z (mm)	z' (mm)	σ _z	σ _z /ρ	1ος στρωτήρας (οριζόντιες αποστάσεις για α1--> x1=750mm και για α2 --> x2=450 mm)	α1 (°)	α1 (rad)	α2 (°)	α2 (rad)	σ _z '	σ _z '/ρ
0	0	0,096875	1			0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
50	54,37968	0,095187	0,98257		4,14704	0,07238	6,89042	0,12026	0,00003	0,00029
100	108,7594	0,087493	0,90316		8,25109	0,14401	13,58712	0,23714	0,00021	0,00217
150	163,139	0,076579	0,79049		12,27174	0,21418	19,92716	0,34779	0,00064	0,00665
200	217,5187	0,066055	0,68186		16,17348	0,28228	25,79796	0,45026	0,00135	0,01390
250	271,8984	0,057175	0,5902		19,92716	0,34779	31,14115	0,54352	0,00227	0,02340
300	326,2781	0,049982	0,51594		23,51084	0,41034	35,94445	0,62735	0,00332	0,03425
350	380,6577	0,044186	0,45611		26,90978	0,46966	40,22808	0,70211	0,00441	0,04550
400	431,1394	0,039789	0,41073		29,89255	0,52172	43,77378	0,76400	0,00539	0,05564
450	481,621	0,03613	0,37295		32,70701	0,57084	46,94398	0,81933	0,00630	0,06503
500	532,1026	0,033051	0,34118		35,35456	0,61705	49,77875	0,86880	0,00711	0,07341
550	582,5842	0,030433	0,31415		37,83931	0,66042	52,31677	0,91310	0,00781	0,08065
600	633,0658	0,028184	0,29093		40,16730	0,70105	54,59378	0,95284	0,00840	0,08673
650	683,5475	0,026234	0,27081		42,34594	0,73908	56,64188	0,98859	0,00888	0,09170
700	731,0525	0,024624	0,25418		44,26704	0,77261	58,38559	1,01902	0,00925	0,09544
750	778,5575	0,023195	0,23943		46,07031	0,80408	59,97243	1,04672	0,00953	0,09837
800	826,0625	0,021919	0,22626		47,76301	0,83362	61,42053	1,07199	0,00974	0,10057
850	873,5676	0,020774	0,21444		49,35231	0,86136	62,74569	1,09512	0,00990	0,10214
900	921,0726	0,01974	0,20377		50,84517	0,88742	63,96168	1,11634	0,01000	0,10318
950	968,5776	0,018803	0,1941		52,24826	0,91190	65,08048	1,13587	0,01005	0,10375
1000	1016,083	0,017949	0,18528		53,56789	0,93494	66,11253	1,15388	0,01007	0,10393
1050	1063,588	0,017169	0,17723		54,81002	0,95662	67,06696	1,17054	0,01005	0,10378
1100	1111,093	0,016453	0,16984		55,98021	0,97704	67,95172	1,18598	0,01001	0,10336
1150	1158,598	0,015793	0,16303		57,08363	0,99630	68,77380	1,20033	0,00995	0,10273
1200	1204,463	0,015204	0,15695		58,09014	1,01386	69,51379	1,21324	0,00987	0,10193
1250	1250,329	0,014657	0,1513		59,04289	1,03049	70,20593	1,22532	0,00978	0,10101
1300	1296,194	0,014148	0,14604		59,94560	1,04625	70,85453	1,23664	0,00968	0,09997
1350	1342,06	0,013673	0,14114		60,80169	1,06119	71,46342	1,24727	0,00958	0,09884
1400	1387,926	0,013228	0,13654		61,61433	1,07537	72,03602	1,25727	0,00946	0,09764
1450	1433,791	0,012811	0,13224		62,38644	1,08885	72,57537	1,26668	0,00934	0,09639
1500	1479,657	0,012419	0,1282		63,12072	1,10166	73,08420	1,27556	0,00921	0,09511
1550	1525,522	0,012051	0,12439		63,81966	1,11386	73,56495	1,28395	0,00909	0,09379
1600	1571,388	0,011703	0,12081		64,48556	1,12549	74,01982	1,29189	0,00896	0,09246
1650	1617,254	0,011375	0,11742		65,12053	1,13657	74,45080	1,29941	0,00883	0,09112

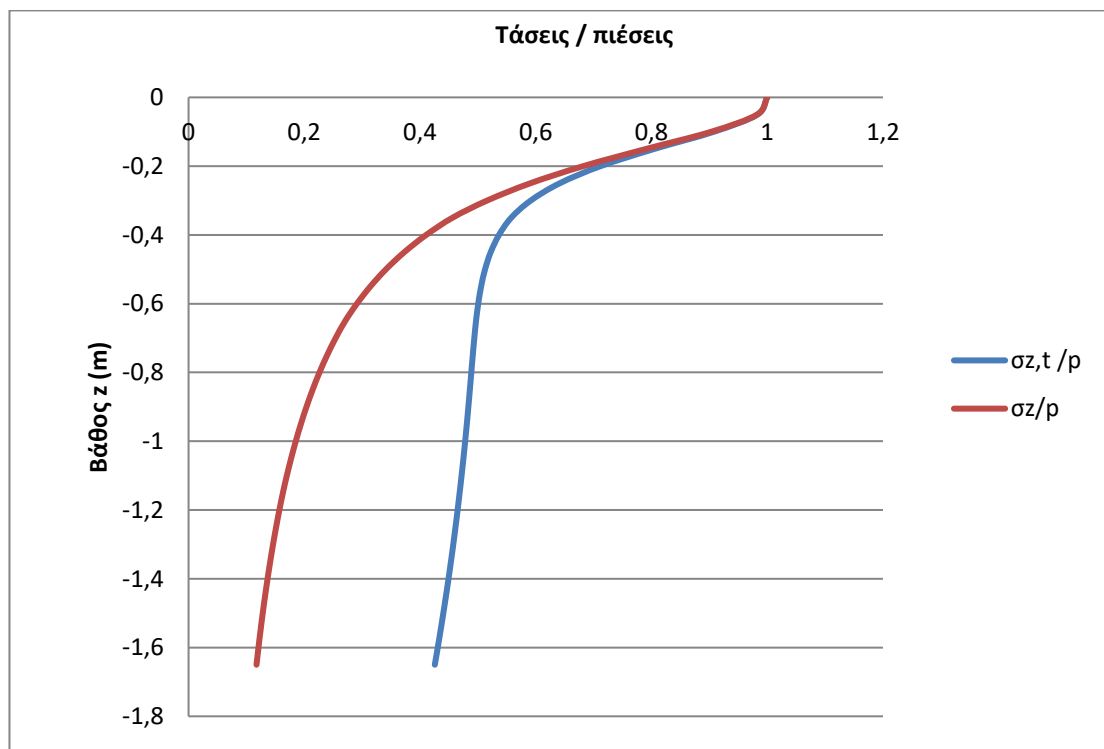
2ος στρωτήρας (οριζ. Αποστάσεις για α1 -->x1=1350 και για α2--> x2= 1050)							3ος στρωτήρας (οριζ. Αποστάσεις για α1 -->x1=1950 και για α2-->x2=1650mm)						
a1 (°)	a1 (rad)	a2(°)	a2 (rad)	σz'	σz'/ρ		a1 (°)	a1 (rad)	a2(°)	a2 (rad)	σz'	σz'/ρ	
0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000		0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	
2,30670	0,04026	2,96471	0,05174	0,00000	0,00002		1,59739	0,02788	1,88764	0,03295	0,00000	0,00000	
4,60594	0,08039	5,91363	0,10321	0,00001	0,00012		3,19231	0,05572	3,77118	0,06582	0,00000	0,00002	
6,89042	0,12026	8,83146	0,15414	0,00004	0,00041		4,78229	0,08347	5,64660	0,09855	0,00001	0,00008	
9,15311	0,15975	11,70388	0,20427	0,00009	0,00093		6,36492	0,11109	7,50997	0,13107	0,00002	0,00019	
11,38738	0,19875	14,51790	0,25339	0,00017	0,00176		7,93786	0,13854	9,35750	0,16332	0,00003	0,00036	
13,58712	0,23714	17,26216	0,30128	0,00028	0,00290		9,49886	0,16579	11,18561	0,19523	0,00006	0,00061	
15,74679	0,27483	19,92716	0,34779	0,00042	0,00437		11,04575	0,19278	12,99094	0,22673	0,00009	0,00094	
17,71153	0,30912	22,32349	0,38962	0,00058	0,00603		12,46736	0,21760	14,64378	0,25558	0,00013	0,00133	
19,63418	0,34268	24,64029	0,43005	0,00077	0,00792		13,87355	0,24214	16,27208	0,28400	0,00017	0,00181	
21,51188	0,37545	26,87427	0,46904	0,00097	0,01004		15,26290	0,26639	17,87381	0,31196	0,00023	0,00236	
23,34232	0,40740	29,02336	0,50655	0,00119	0,01232		16,63410	0,29032	19,44718	0,33942	0,00029	0,00300	
25,12365	0,43849	31,08661	0,54256	0,00143	0,01474		17,98598	0,31391	20,99062	0,36636	0,00036	0,00372	
26,85453	0,46870	33,06403	0,57708	0,00167	0,01724		19,31746	0,33715	22,50282	0,39275	0,00044	0,00452	
28,43645	0,49631	34,84720	0,60820	0,00190	0,01964		20,55096	0,35868	23,89632	0,41707	0,00052	0,00532	
29,97245	0,52312	36,55632	0,63803	0,00214	0,02204		21,76486	0,37987	25,26042	0,44088	0,00060	0,00619	
31,46239	0,54912	38,19306	0,66659	0,00237	0,02442		22,95858	0,40070	26,59456	0,46416	0,00069	0,00710	
32,90638	0,57432	39,75941	0,69393	0,00259	0,02676		24,13159	0,42118	27,89831	0,48692	0,00078	0,00806	
34,30478	0,59873	41,25763	0,72008	0,00281	0,02902		25,28347	0,44128	29,17138	0,50914	0,00088	0,00905	
35,65811	0,62235	42,69014	0,74508	0,00302	0,03120		26,41389	0,46101	30,41365	0,53082	0,00098	0,01007	
36,96709	0,64520	44,05950	0,76898	0,00322	0,03327		27,52258	0,48036	31,62508	0,55196	0,00108	0,01111	
38,23255	0,66728	45,36833	0,79183	0,00341	0,03524		28,60936	0,49933	32,80577	0,57257	0,00118	0,01217	
39,45546	0,68863	46,61928	0,81366	0,00359	0,03708		29,67411	0,51791	33,95591	0,59264	0,00128	0,01323	
40,63687	0,70925	47,81499	0,83453	0,00376	0,03880		30,71678	0,53611	35,07578	0,61219	0,00138	0,01430	
41,73918	0,72849	48,91946	0,85381	0,00391	0,04035		31,70253	0,55331	36,12861	0,63056	0,00148	0,01532	
42,80492	0,74709	49,97716	0,87227	0,00405	0,04177		32,66776	0,57016	37,15394	0,64846	0,00158	0,01633	
43,83516	0,76507	50,99033	0,88995	0,00417	0,04309		33,61259	0,58665	38,15220	0,66588	0,00168	0,01734	
44,83101	0,78245	51,96111	0,90689	0,00429	0,04428		34,53715	0,60279	39,12386	0,68284	0,00177	0,01832	
45,79361	0,79925	52,89160	0,92313	0,00440	0,04537		35,44162	0,61857	40,06944	0,69934	0,00187	0,01928	
46,72407	0,81549	53,78378	0,93870	0,00449	0,04636		36,32621	0,63401	40,98948	0,71540	0,00196	0,02022	
47,62350	0,83119	54,63957	0,95364	0,00458	0,04724		37,19117	0,64911	41,88454	0,73102	0,00205	0,02114	
48,49301	0,84636	55,46080	0,96797	0,00465	0,04802		38,03675	0,66387	42,75521	0,74622	0,00213	0,02202	
49,33369	0,86104	56,24919	0,98173	0,00472	0,04872		38,86326	0,67829	43,60208	0,76100	0,00222	0,02288	
50,14661	0,87522	57,00640	0,99495	0,00478	0,04932		39,67098	0,69239	44,42577	0,77538	0,00230	0,02370	

4ος στρωτήρας (οριζ. Αποστάσεις για a1 -->x1=2550 και a2 -->x2=2250 mm)							5ος στρωτήρας (οριζ. Αποστάσεις για a1 -->x1=3150 και a2 -->x2=2850 mm)						
a1 (°)	a1 (rad)	a2 (°)	a2 (rad)	σz'	σz'/ρ		a1 (°)	a1 (rad)	a2 (°)	a2 (rad)	σz'	σz'/ρ	
0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000		0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	
1,22167	0,02132	1,38450	0,02416	0,00000	0,00000		0,98902	0,01726	0,00049	0,00001	0,00000	0,00000	
2,44223	0,04262	2,76738	0,04830	0,00000	0,00001		1,97745	0,03451	0,00097	0,00002	0,00000	-0,00001	
3,66057	0,06389	4,14704	0,07238	0,00000	0,00003		2,96471	0,05174	0,00146	0,00003	0,00000	-0,00003	
4,87561	0,08510	5,52191	0,09638	0,00001	0,00006		3,95021	0,06894	0,00194	0,00003	-0,00001	-0,00007	
6,08627	0,10623	6,89042	0,12026	0,00001	0,00011		4,93337	0,08610	0,00242	0,00004	-0,00001	-0,00014	
7,29150	0,12726	8,25109	0,14401	0,00002	0,00020		5,91363	0,10321	0,00290	0,00005	-0,00002	-0,00023	
8,49028	0,14818	9,60244	0,16759	0,00003	0,00031		6,89042	0,12026	0,00337	0,00006	-0,00004	-0,00037	
9,59649	0,16749	10,84739	0,18932	0,00004	0,00044		7,79363	0,13602	0,00381	0,00007	-0,00005	-0,00053	
10,69552	0,18667	12,08205	0,21087	0,00006	0,00060		8,69295	0,15172	0,00424	0,00007	-0,00007	-0,00074	
11,78665	0,20572	13,30543	0,23222	0,00008	0,00080		9,58797	0,16734	0,00467	0,00008	-0,00010	-0,00099	
12,86917	0,22461	14,51658	0,25336	0,00010	0,00103		10,47830	0,18288	0,00509	0,00009	-0,00012	-0,00129	
13,94244	0,24334	15,71462	0,27427	0,00013	0,00129		11,36354	0,19833	0,00551	0,00010	-0,00016	-0,00164	
15,00581	0,26190	16,89872	0,29494	0,00015	0,00159		12,24332	0,21369	0,00593	0,00010	-0,00020	-0,00205	
15,99692	0,27920	17,99961	0,31415	0,00018	0,00190		13,06591	0,22804	0,00632	0,00011	-0,00024	-0,00249	
16,97830	0,29633	19,08693	0,33313	0,00022	0,00225		13,88305	0,24230	0,00670	0,00012	-0,00029	-0,00298	
17,94953	0,31328	20,16015	0,35186	0,00025	0,00262		14,69448	0,25647	0,00707	0,00012	-0,00034	-0,00353	
18,91020	0,33005	21,21881	0,37034	0,00029	0,00302		15,49992	0,27052	0,00745	0,00013	-0,00040	-0,00414	
19,85997	0,34662	22,26250	0,38855	0,00033	0,00345		16,29913	0,28447	0,00781	0,00014	-0,00047	-0,00481	
20,79850	0,36300	23,29086	0,40650	0,00038	0,00390		17,09188	0,29831	0,00817	0,00014	-0,00054	-0,00553	
21,72549	0,37918	24,30357	0,42418	0,00042	0,00438		17,87793	0,31203	0,00853	0,00015	-0,00061	-0,00632	
22,64069	0,39515	25,30036	0,44157	0,00047	0,00488		18,65709	0,32563	0,00888	0,00015	-0,00069	-0,00717	
23,54385	0,41092	26,28103	0,45869	0,00052	0,00540		19,42916	0,33910	0,00922	0,00016	-0,00078	-0,00809	
24,43477	0,42647	27,24540	0,47552	0,00058	0,00594		20,19397	0,35245	0,00956	0,00017	-0,00088	-0,00906	
25,28317	0,44127	28,16090	0,49150	0,00063	0,00647		20,92532	0,36522	0,00988	0,00017	-0,00098	-0,01007	
26,11987	0,45588	29,06100	0,50721	0,00068	0,00701		21,64960	0,37786	0,01020	0,00018	-0,00108	-0,01113	
26,94476	0,47027	29,94566	0,52265	0,00073	0,00757		22,36669	0,39037	0,01051	0,00018	-0,00119	-0,01224	
27,75775	0,48446	30,81486	0,53782	0,00079	0,00813		23,07647	0,40276	0,01081	0,00019	-0,00130	-0,01342	
28,55877	0,49844	31,66860	0,55272	0,00084	0,00870		23,77883	0,41502	0,01111	0,00019	-0,00142	-0,01466	
29,34779	0,51222	32,50694	0,56735	0,00090	0,00928		24,47369	0,42715	0,01141	0,00020	-0,00154	-0,01595	
30,12478	0,52578	33,32993	0,58172	0,00095	0,00985		25,16096	0,43914	0,01169	0,00020	-0,00168	-0,01729	
30,88972	0,53913	34,13766	0,59581	0,00101	0,01043		25,84057	0,45100	0,01198	0,00021	-0,00181	-0,01869	
31,64265	0,55227	34,93024	0,60965	0,00107	0,01101		26,51247	0,46273	0,01226	0,00021	-0,00195	-0,02014	
32,38357	0,56520	35,70780	0,62322	0,00112	0,01158		27,17659	0,47432	0,01253	0,00022	-0,00210	-0,02165	

z (mm)	$\sigma_{z,t}$	$\sigma_{z,t/p}$
0	0,096875	1
-0,05	0,095246	0,983184
-0,1	0,087941	0,907781
-0,15	0,07796	0,804752
-0,2	0,068963	0,71188
-0,25	0,062115	0,641183
-0,3	0,057289	0,591367
-0,35	0,05402	0,557621
-0,4	0,051977	0,536534
-0,45	0,050588	0,522203
-0,5	0,049639	0,512405
-0,55	0,048977	0,505567
-0,6	0,048496	0,500607
-0,65	0,048127	0,496796
-0,7	0,047839	0,49382
-0,75	0,047581	0,49116
-0,8	0,047337	0,488636
-0,85	0,047094	0,486128
-0,9	0,046844	0,483555
-0,95	0,046584	0,480867
-1	0,046309	0,478028
-1,05	0,046017	0,475016
-1,1	0,045707	0,471819
-1,15	0,045379	0,468426
-1,2	0,045043	0,464962
-1,25	0,044689	0,46131
-1,3	0,044318	0,457472
-1,35	0,043928	0,453447
-1,4	0,04352	0,449239
-1,45	0,043095	0,444851
-1,5	0,042653	0,440285
-1,55	0,042194	0,435547
-1,6	0,041718	0,430641
-1,65	0,041227	0,425572



Διάγραμμα 5.4 : Κατανομή τάσεων σε βάθος με και χωρίς την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων



Διάγραμμα 5.5 : Κατανομή λόγου τάσεων/πίεσης στρωτήρα σε βάθος με και χωρίς την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων

Τα διαγράμματα σύγκρισης τάσεων με και χωρίς την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον διότι αποτυπώνουν το μέγεθος του σφάλματος σε περίπτωση που αγνοηθεί η επίδραση των γειτονικών στρωτήρων. Παρατηρείται ότι η κατακόρυφη τάση αυξάνεται λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων αναλογικά με το βάθος.

Λόγω των αμελητέων διαφοροποιήσεων μεταξύ των συρμών που μετρήθηκαν τα διαγράμματα παρουσιάζουν μια ομοιογένεια και για το λόγο αυτό παρουσιάστηκαν ενδεικτικά ο πίνακας υπολογισμού και τα διαγράμματα μόνο για την 1^η μέτρηση.

Από τον τύπο υπολογισμού του μήκους επίδρασης των γειτονικών στρωτήρων x_{in} γίνεται αντιληπτό ότι το μέγεθος αυτό εξαρτάται από το ελαστικό μήκος L , το οποίο με τη σειρά του είναι αντιστρόφως ανάλογο του δείκτη αντίδρασης εδάφους C . Αυτό έχει ως συνέπεια ότι τα σημεία με μικρό δείκτη αντίδρασης εδάφους C έχουν μεγάλο ελαστικό μήκος και επομένως μεγάλο μήκος επίδρασης γειτονικών στρωτήρων, άρα μεγαλύτερο αριθμό γειτονικών στρωτήρων με σημαντική επίδραση στις κατακόρυφες τάσεις.

5.3.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΑΣΕΩΝ

Για να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την κατάσταση εδάφους κάτω από την υπάρχουσα υποδομή αλλά και με την αναγκαιότητα προσθήκης μιας ενδιάμεσης στρώσης, είναι απαραίτητο να συγκριθούν οι τάσεις που υπολογίστηκαν σε κάθε περίπτωση με τις επιτρεπόμενες τάσεις στο υπέδαφος βάσει φορτίσεων όπως αυτές αναφέρονται στη βιβλιογραφία. Στον Πίνακα 5.7 παρουσιάζονται οι τιμές των επιτρεπόμενων τάσεων ανάλογα με το δείκτη αντίδρασης εδάφους C και το μέτρο παραμόρφωσης E_{v2} .

Διαβάθμιση εδάφους	E_{v2} [N/mm ²]	C [N/mm ³]	$\sigma_{z,επιτρ}$ n=10 ⁶	$\sigma_{z,επιτρ}$ n=10 ⁷
Πολύ μαλακό	10	0,03	0,012	0,010
	20	0,04	0,023	0,020
Μεσαίο	50	0,07	0,058	0,051
Καλό	80	0,09	0,092	0,081
	100	0,11	0,115	0,102

Πίνακας 5.7 Επιτρεπόμενες τάσεις στο έδαφος

Όπου

n: αριθμός φορτίσεων κατά την κρίσιμη περίοδο του έτους

$\sigma_{z,επιτρ n=10^6}$: επιτρεπόμενη τάση για n= 10⁶ φορτίσεις

$\sigma_{z,επιτρ n=10^7}$: επιτρεπόμενη τάση για n= 10⁷ φορτίσεις

Σημειώνεται ότι οι παραπάνω τιμές έχουν προκύψει από πειραματικές μετρήσεις των γερμανικών σιδηροδρόμων και αντιστοιχούν στις εκεί συνθήκες, ωστόσο λόγω αδυναμίας διεξαγωγής τόσο μεγάλου πλήθους δοκιμών μέχρι αστοχίας στην παρούσα εργασία, θεωρείται αποδεκτό να χρησιμοποιηθούν οι τιμές αυτές για να αποκτηθεί μια εικόνα σχετικά με την κατάσταση της επιδομής. Παρατηρείται ακόμη ότι στον παραπάνω πίνακα οι τιμές του δείκτη αντίδρασης εδάφους φτάνουν μέχρι 0,11 N/mm³, αρκετά μικρότερες από τις τιμές που έχουν εκτιμηθεί βάσει των επιτόπου μετρήσεων στην παρούσα εργασία. Ο γενικός κανόνας είναι ότι η επιτρεπόμενη τάση στη διεπιφάνεια έρματος- στρώσης διαμόρφωσης είναι της τάξεως των 0,1 N/mm², ενώ στη διεπιφάνεια στρωτήρα- έρματος 0,3N/mm².

Στον Πίνακα 5.8 φαίνονται οι τιμές των τάσεων όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς για τις μετρηθείσες βυθίσεις στη διεπιφάνεια στρωτήρα – έρματος καθώς και στη στέψη διαμόρφωσης, δηλαδή σε βάθος 650 mm κάτω από την έδραση του στρωτήρα, με και χωρίς την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων.

ΜΕΤΡΗΣΗ	Έδραση στρωτήρα		Στέψη στρώσης διαμόρφωσης	
	P (N/mm ²) με	P (N/mm ²) χωρίς	P(N/mm ²) με	P (N/mm ²) χωρίς
1	0,096874872	0,096874872	0,056234	0,026234
2	0,101470405	0,101470405	0,057479	0,027479
3	0,104230166	0,104230166	0,058226	0,028226
4	0,102037291	0,102037291	0,057632	0,027632
5	0,097345146	0,097345146	0,056362	0,026362
6	0,157718349	0,157718349	0,072711	0,042711
7	0,101389801	0,101389801	0,057457	0,027457
8	0,102542057	0,102542057	0,057769	0,027769
9	0,101738822	0,101738822	0,057551	0,027551
10	0,100960179	0,100960179	0,057341	0,027341
11	0,102724031	0,102724031	0,057818	0,027818
12	0,102542057	0,102542057	0,057769	0,027769
13	0,153997729	0,153997729	0,071703	0,041703
14	0,153997729	0,153997729	0,071703	0,041703
15	0,100040026	0,100040026	0,057091	0,027091
16	0,100960179	0,100960179	0,057341	0,027341
17	0,100537746	0,100537746	0,057226	0,027226
18	0,10037074	0,10037074	0,057181	0,027181
19	0,100621667	0,100621667	0,057249	0,027249
20	0,10037074	0,10037074	0,057181	0,027181
21	0,154556101	0,154556101	0,071855	0,041855
22	0,101915147	0,101915147	0,057599	0,027599
23	0,1020927	0,1020927	0,057647	0,027647
24	0,099713629	0,099713629	0,057003	0,027003
25	0,101303291	0,101303291	0,057434	0,027434
26	0,101389801	0,101389801	0,057457	0,027457
27	0,101651117	0,101651117	0,057528	0,027528
28	0,151218535	0,151218535	0,070951	0,040951
29	0,099311554	0,099311554	0,056894	0,026894
30	0,099311554	0,099311554	0,056894	0,026894
31	0,096738726	0,096738726	0,056197	0,026197
32	0,100204837	0,100204837	0,057136	0,027136
33	0,098526449	0,098526449	0,056682	0,026682
34	0,102632883	0,102632883	0,057794	0,027794

Πίνακας 5.8: Τάσεις στην έδραση στρωτήρα και στη στέψη της στρώσης διαμόρφωσης με και χωρίς την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων

Από τον παραπάνω πίνακα διαπιστώνεται ότι οι τάσεις που μεταβιβάζονται στο έδαφος είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων. Συγκεκριμένα οι τιμές των τάσεων που έχουν υπολογιστεί στην έδραση του στρωτήρα κυμαίνονται από 0,09 έως 0,15 N/mm², δηλαδή αρκετά μικρότερες από 0,3 N/mm² που είναι το ανώτατο όριο, ενώ

αντίστοιχα οι τιμές των τάσεων στη στέψη της στρώσης διαμόρφωσης κυμαίνονται από 0,02 έως 0,07 N/mm² με ανώτατο επιτρεπόμενο όριο 0,1N/mm². Επομένως, σε πρώτο στάδιο προκύπτει το συμπέρασμα ότι το έδαφος δεν κινδυνεύει έναντι αστοχίας. Η εκτίμηση αυτή φαίνεται να ανταποκρίνεται ικανοποιητικά στην πραγματικότητα ,εφόσον η γραμμή είναι καινούργια, ωστόσο, πρέπει να επισημανθεί ότι η εκτίμηση του δείκτη αντίδρασης εδάφους απαιτεί μεγαλύτερο πλήθος μετρήσεων, το οποίο όμως δεν ήταν εφικτό στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση και επεξεργασία των μετρήσεων βύθισης της σιδηροτροχιάς προκύπτουν τα ακόλουθα:

- Η μέγιστη ανύψωση της σιδηροτροχιάς λαμβάνει χώρα είτε πριν τη διέλευση του πρώτου άξονα του πρώτου φορείου είτε πριν τον πρώτο άξονα του δεύτερου φορείου.
- Μετά τις διελεύσεις του πρώτου και τρίτου συρμού καταγράφεται παραμένουσα βύθιση, αμελητέου μεγέθους(0,01 mm) , η οποία αποσβένεται μετά από σύντομο χρονικό διάστημα, ανάλογο με την ελαστικότητα της γραμμής , γεγονός που συμφωνεί με τη βιβλιογραφία.
- Το ποσοστό της ανύψωσης ως προς τη βύθιση , βάσει της επεξεργασίας των αποτελεσμάτων , έχει κατά μέσο όρο τιμή ίση με 3,79% , δηλαδή πολύ κοντά στο αναμενόμενο που είναι ίσο με 4%.

Από τον υπολογισμό των τάσεων συμπεραίνοντα τα εξής:

- Για τις μετρηθείσες βυθίσεις οι τάσεις είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων. Η επίδραση των γειτονικών στρωτήρων είναι σημαντική και η αγνόηση της είναι δυνατό να οδηγήσει σε σημαντικά σφάλματα. Η επίδραση αυτή αυξάνεται αναλογικά με το βάθος.
- Η κατάσταση της γραμμής κρίνεται πολύ καλή, μιας και παρουσιάζεται ομοιομορφία στα αποτελέσματα , γεγονός που οφείλεται στο ότι η γραμμή είναι καινούργια.
- Ο δείκτης αντίδρασης εδάφους από την επεξεργασία των μετρήσεων προέκυψε κατά μέση τιμή ίσος με 0,21 N/mm³. Η τιμή αυτή είναι αναμενόμενη για νεοκατασκευασμένη γραμμή και αντιστοιχεί βάσει βιβλιογραφίας σε πολύ καλό υπέδαφος. Ωστόσο, εδάφη με μεγάλο δείκτη αντίδρασης ,και κατά συνέπεια με μεγάλο μέτρο ελαστικότητας , έχουν περιορισμένη συμμετοχή στην ανάληψη φορτίων και κατά συνέπεια μεγαλύτερες απαιτήσεις από το έρμα. Το γεγονός αυτό συντελεί στον ταχύτερο θρυμματισμό του έρματος και

άρα στην ανάγκη για επεμβάσεις συντήρησης σε μικρότερο χρονικό διάστημα από το επιθυμητό.

7

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγιναν μετρήσεις της βύθισης της σιδηροτροχιάς σε νέο τμήμα γραμμής του ΟΣΕ στο Σιδηροδρομικό Σταθμό Λιανοκλαδίου σε ένα μόνο σημείο. Για την στατιστική ασφάλεια των μετρήσεων είναι απαραίτητη η μέτρηση των βυθίσεων της σιδηροτροχιάς σε δέκα έως δώδεκα αντιπροσωπευτικές θέσεις στο υπό διερεύνηση τμήμα της γραμμής.

Στα πλαίσια της παρούσης εργασίας ήταν αδύνατη η διεξαγωγή ενός τόσο μεγάλου αριθμού μετρήσεων. Προτείνεται, λοιπόν, η διεξαγωγή μετρήσεων σε διάφορα σημεία της γραμμής προκειμένου να διαμορφωθεί μια συνολική εικόνα σχετικά με την κατάσταση της επιδομής και την ομοιογένεια της. Επίσης, το γεγονός ότι το τμήμα Αθήνας- Θεσσαλονίκης απαρτίζεται τόσο από νεοκατασκευασμένα όσο και από παλιά τμήματα γραμμών βοηθάει στη διερεύνηση των διαφορών στη συμπεριφορά των γραμμών ανάλογα με τα χρόνια λειτουργίας τους, ενώ παράλληλα μπορεί να οδηγήσει στην εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη συνεργασία ενός παλαιού με ένα νέο τμήμα γραμμής.

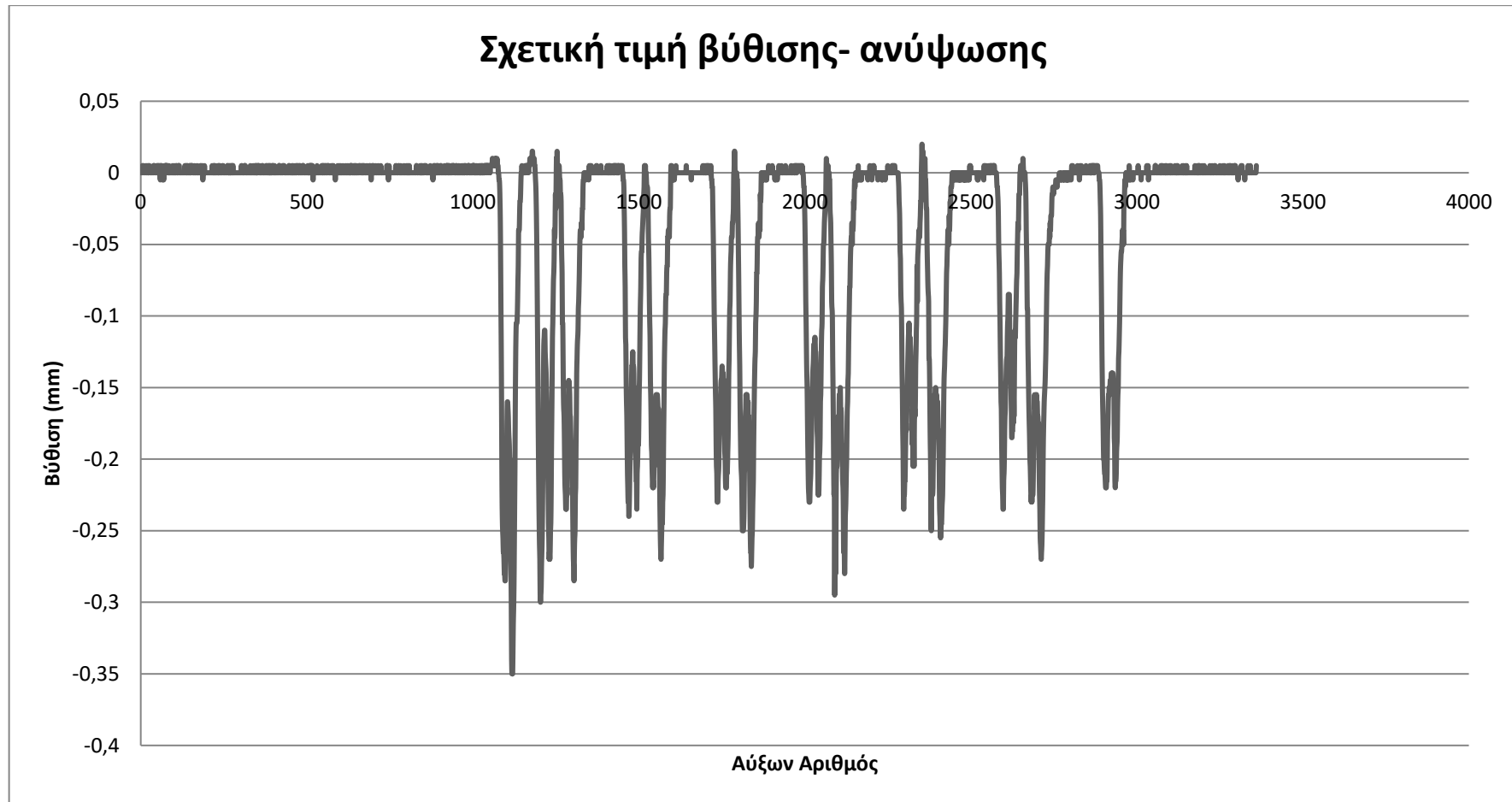
Επιπλέον, θα ήταν χρήσιμη η λήψη μετρήσεων ανά τακτά χρονικά διαστήματα προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τη φθορά της γραμμής με το πέρασμα του χρόνου, την αναγκαιότητα βελτίωσης της ή τοπικών επιδιορθώσεων και τη συχνότητα των επεμβάσεων συντήρησης.

Τέλος, διευκρινίζεται ότι η παρούσα εργασία περιορίζεται σε μικρό αριθμό δειγματοληπτικών μετρήσεων και τα αποτελέσματα της σε καμία περίπτωση δεν μπορούν να εξάγουν αντιπροσωπευτικά συμπεράσματα για την κατάσταση της γραμμής του ΟΣΕ, παρά μόνο μία πρώτη προσέγγιση του αντικειμένου.

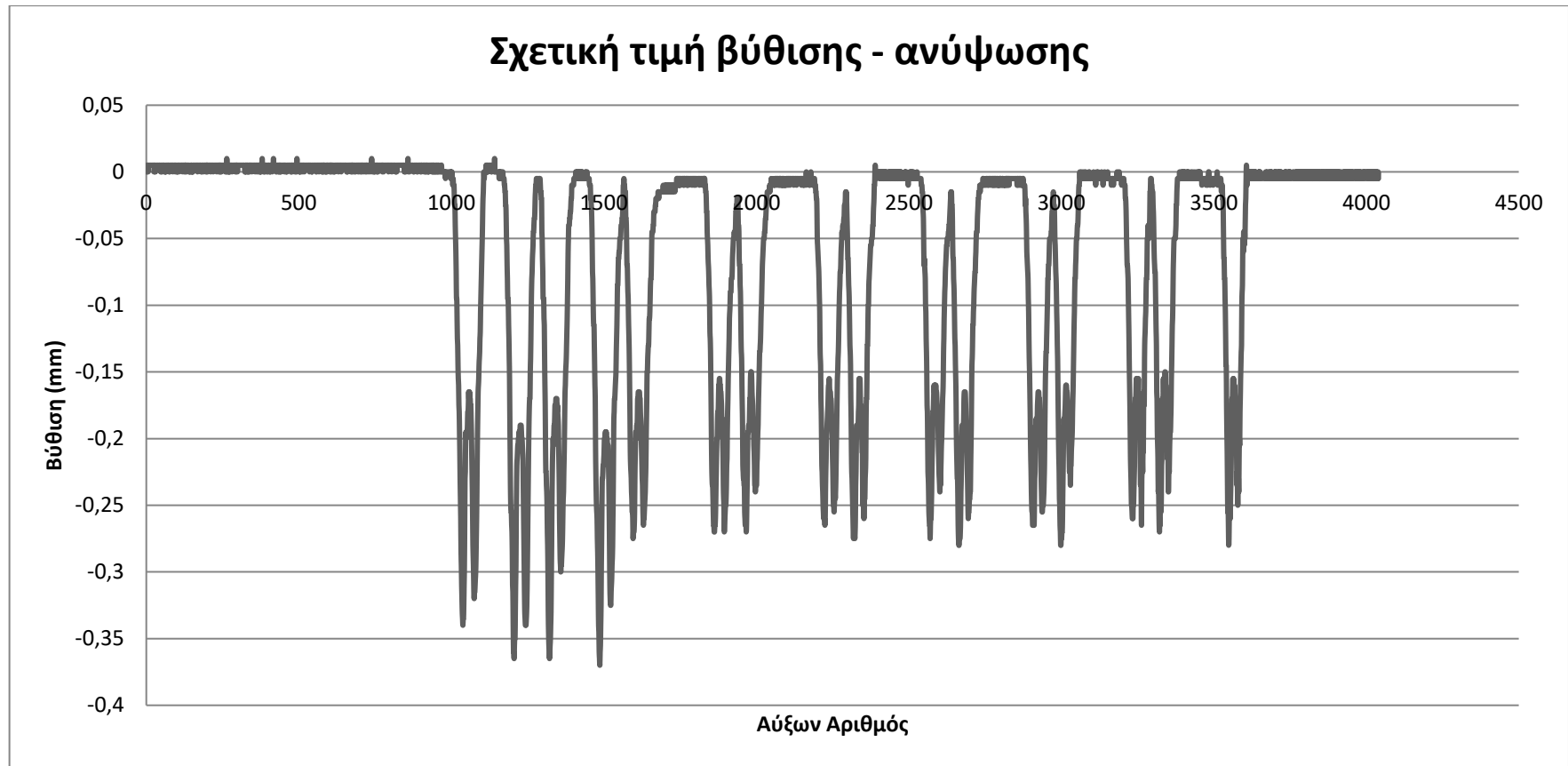
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α



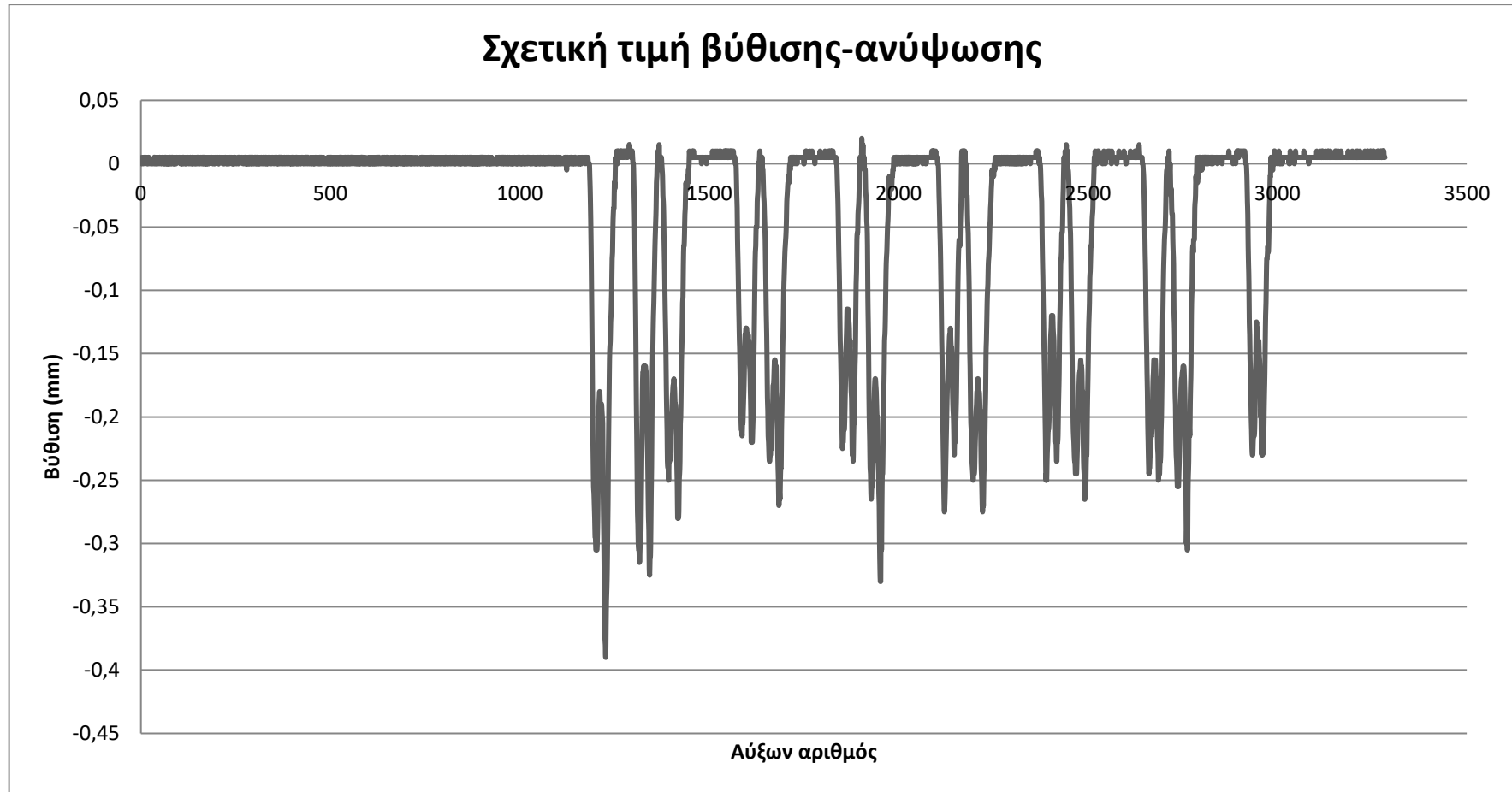
Διάγραμμα A.1 : 1^η μέτρηση - Πεντάδυμος Συρμός Υψηλών Ταχυτήτων Σειράς 520 Τύπου INTERCITY



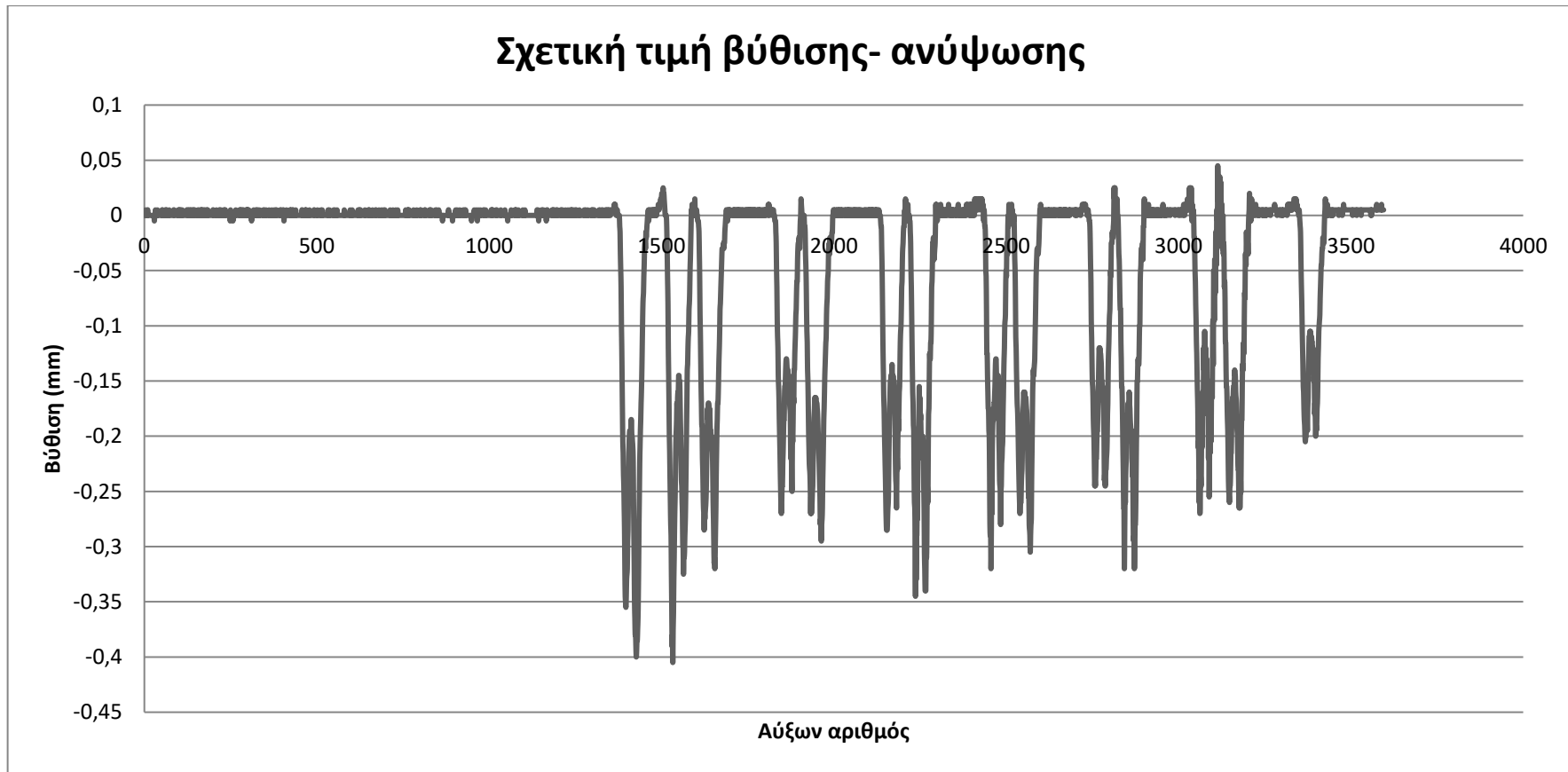
Διάγραμμα Α.2 : 2^η Μέτρηση - Συρμος τύπου Intercity με 1 Δηζελοηλεκτράμαξα κατασκευής ADTRANZ Σειράς 220 και 6 επιβατάμαξες τύπου ADmz και Bmz



Διάγραμμα Α.3 : 3^η Μέτρηση - Συρμος τύπου Intercity με 2 Δηζελοηλεκτράμαξες κατασκευής ADTRANZ Σειράς 220 και 6 επιβατάμαξες τύπου ADmz και Bmz

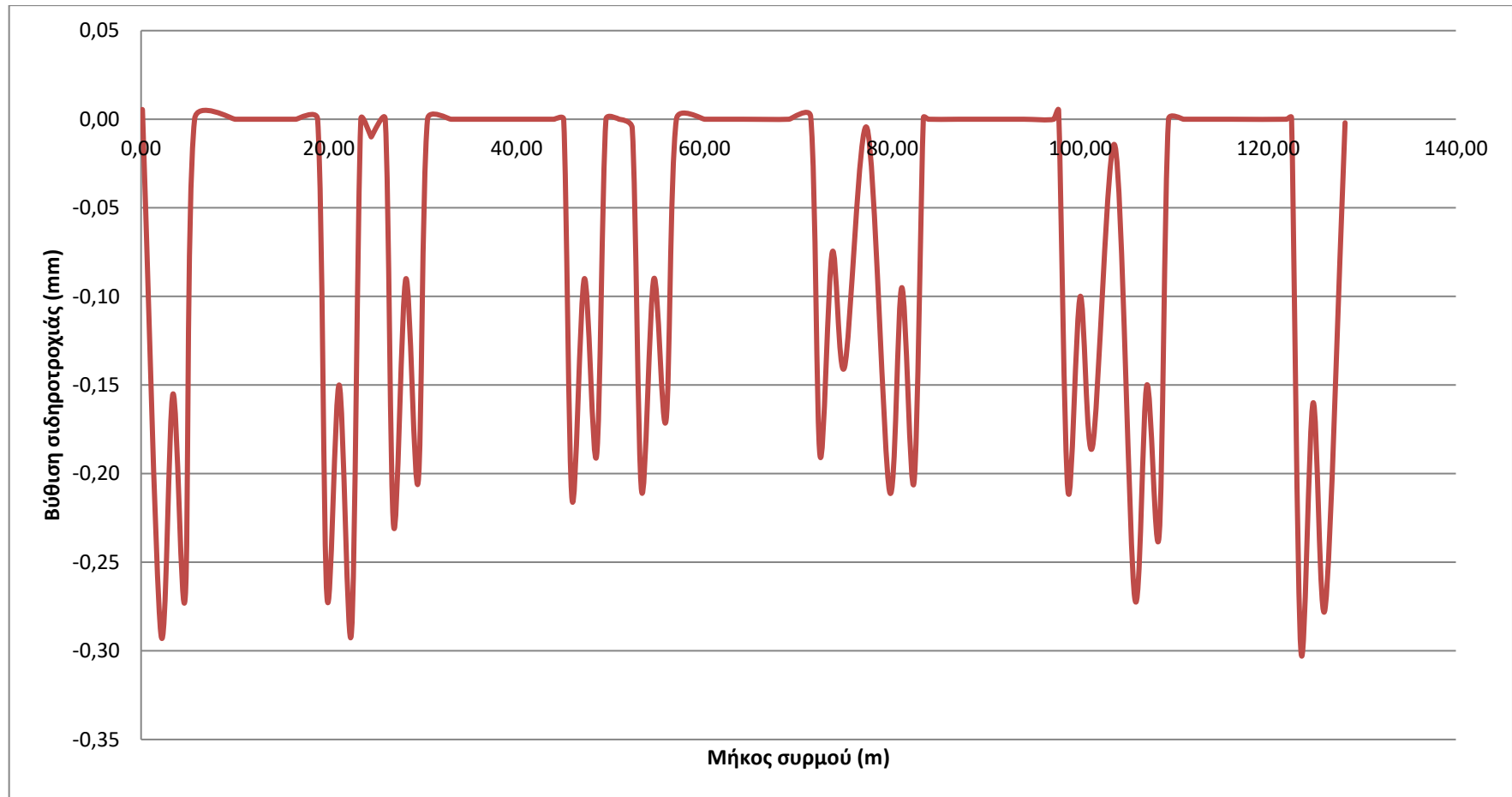


Διάγραμμα Α.4 : 4^η Μέτρηση - Συρμος τύπου Intercity με 1 Δηζελοηλεκτράμαξα κατασκευής ADTRANZ Σειράς 220 και 6 επιβατάμαξες τύπου ADmz και Bmz

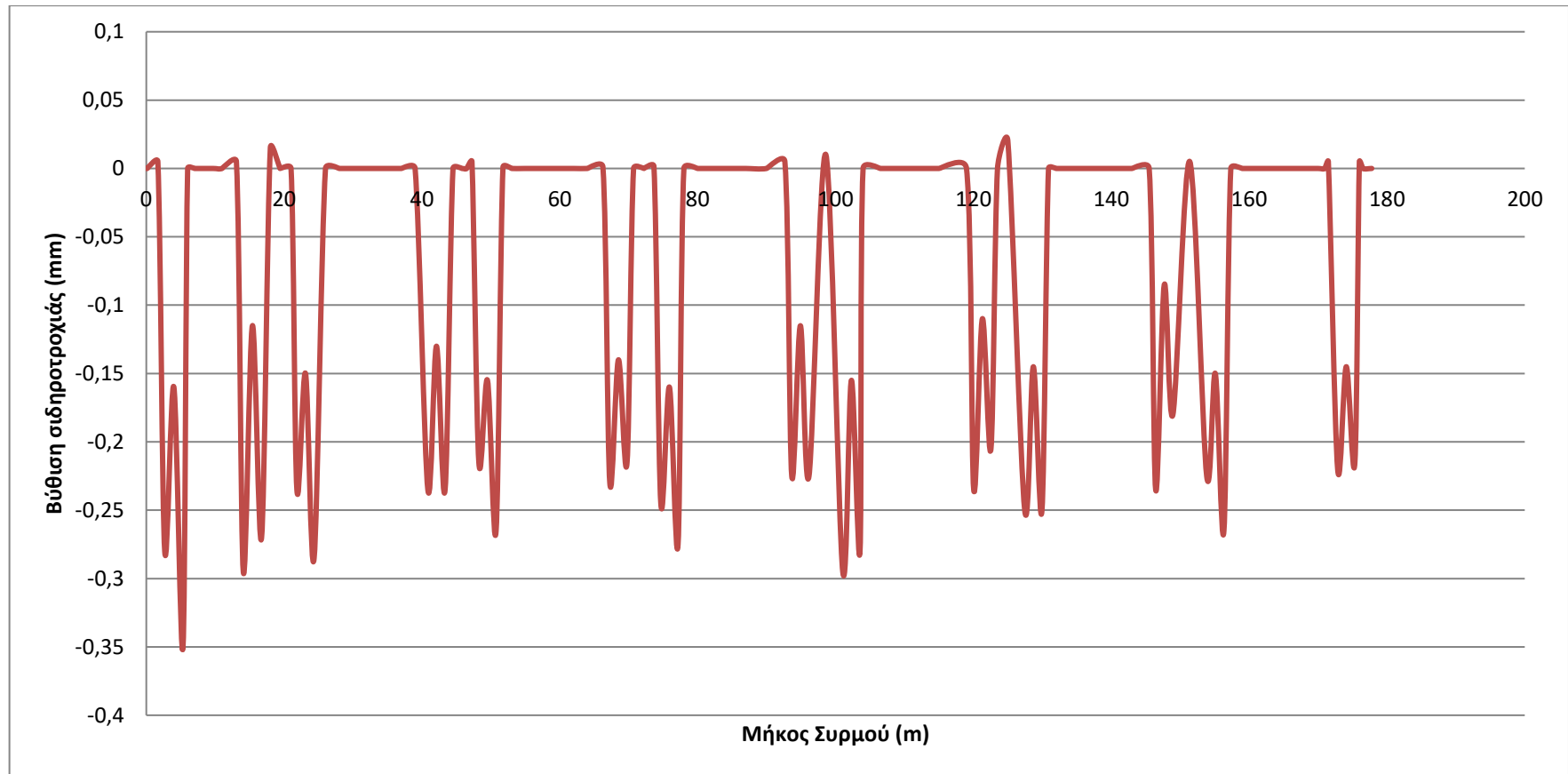


Διάγραμμα Α.5 : 5^η Μέτρηση - Συρμος τύπου Intercity με 1 Δηζελοηλεκτράμαξα κατασκευής ADTRANZ Σειράς 220 και 6 επιβατάμαξες τύπου ADmz και Bmz

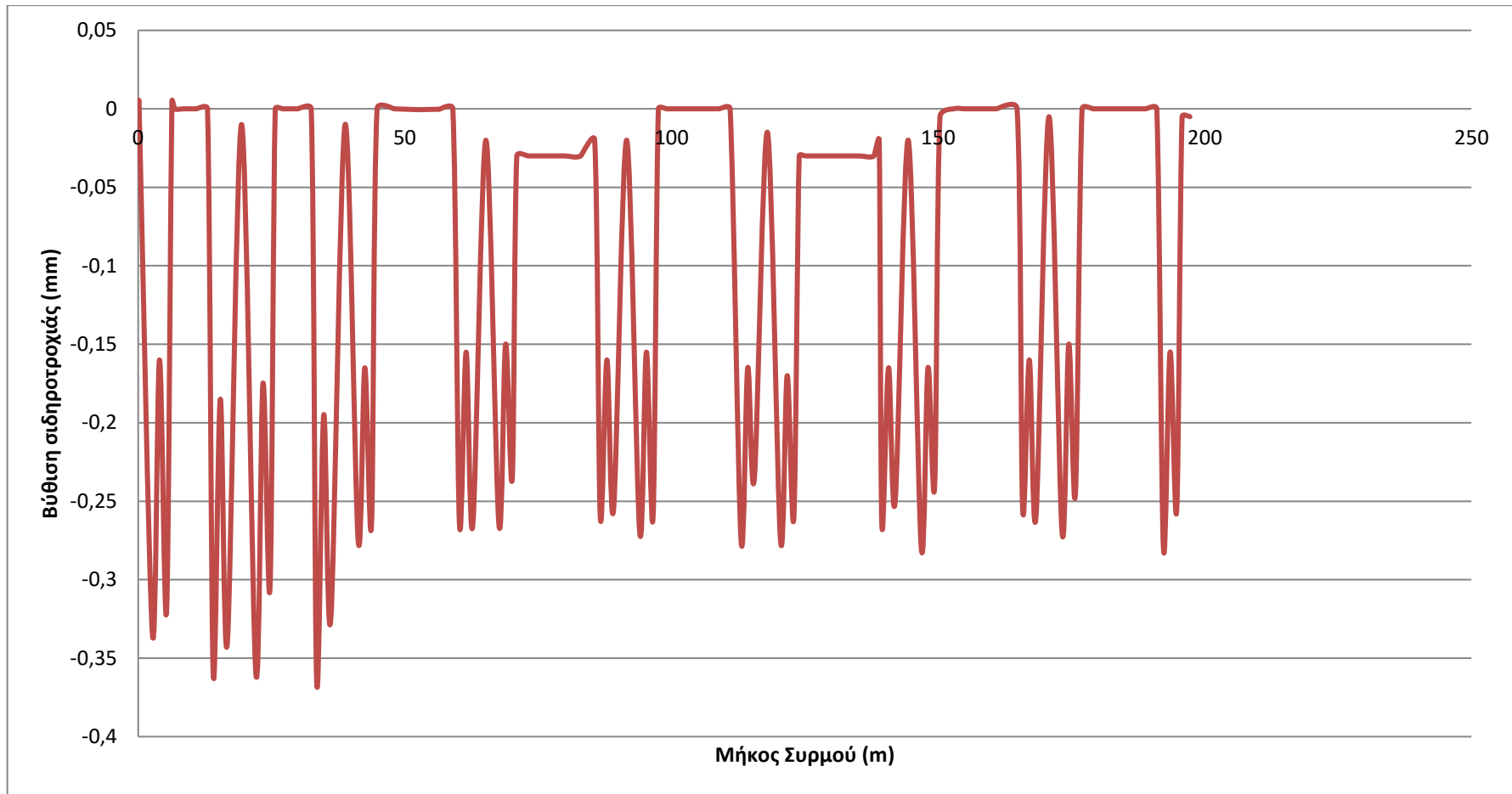
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β



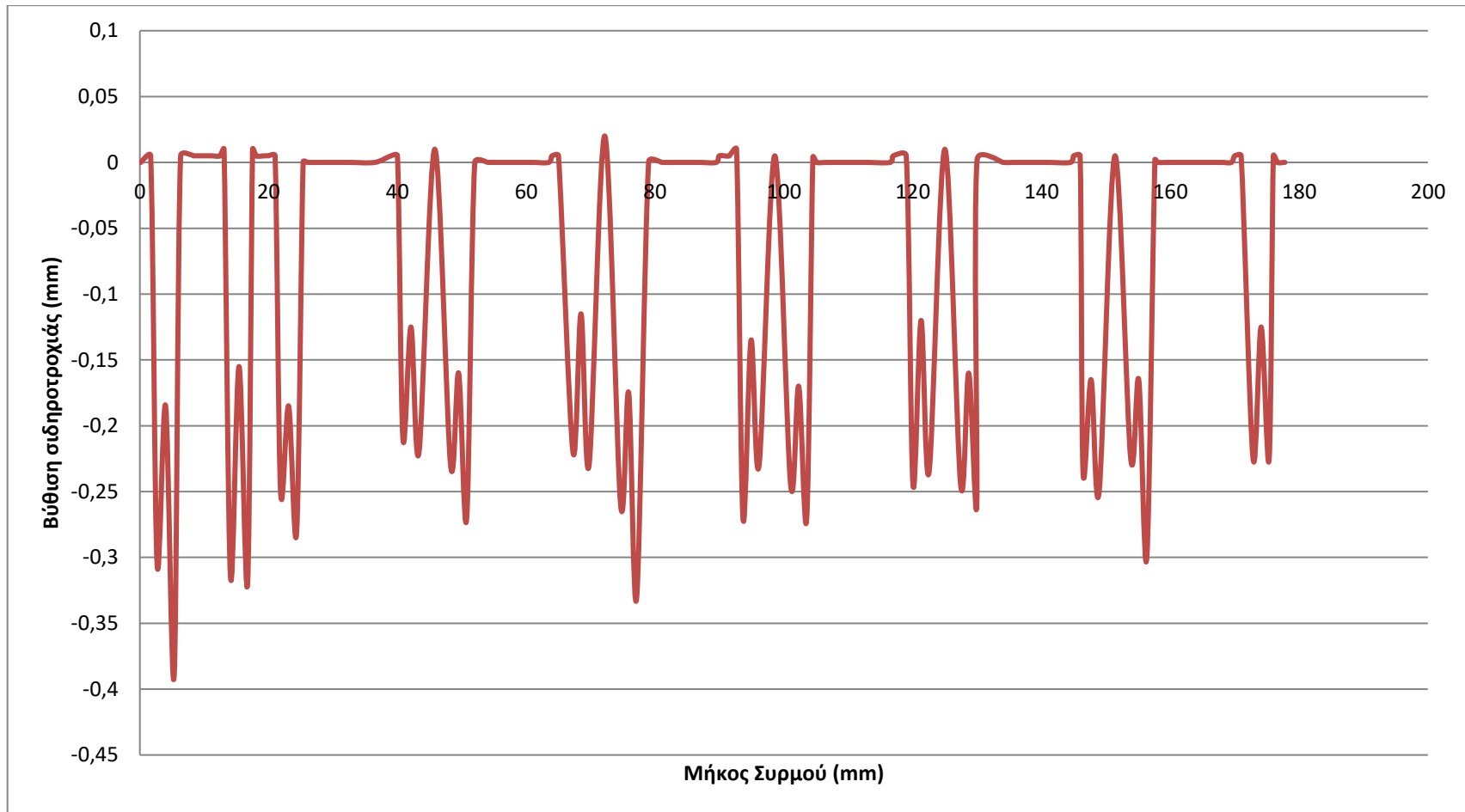
Διάγραμμα Β.1 :Βύθιση σιδηροτροχιάς συναρτήσεως του Μήκους Συρμού
1^η μέτρηση - Πεντάδυμος Συρμός Υψηλών Ταχυτήτων Σειράς 520 Τύπου INTERCITY



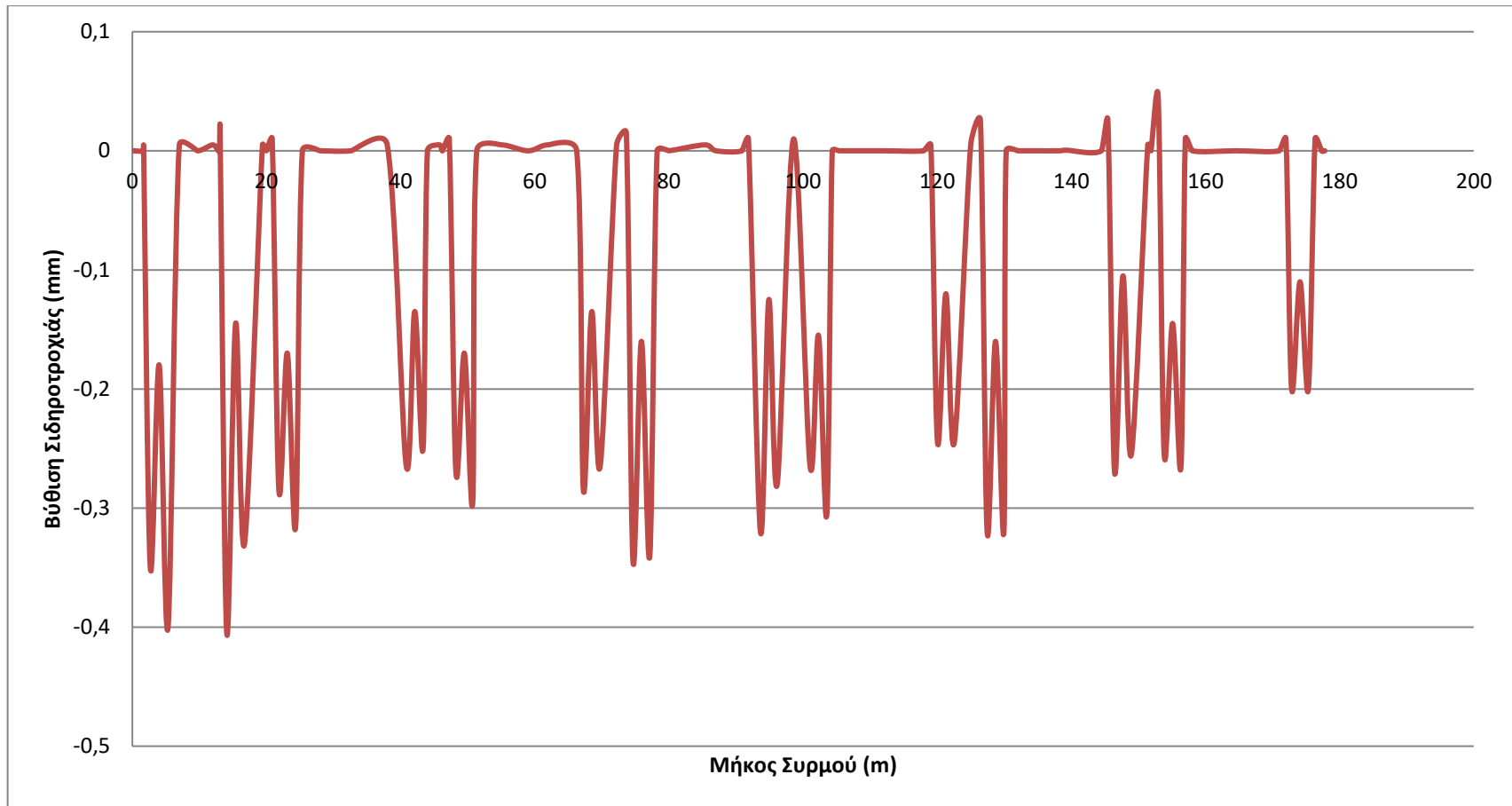
Διάγραμμα Β.2 : Βύθιση σιδηροτροχιάς συναρτήσει του Μήκους Συρμού
 2^η Μέτρηση - Συρμος τύπου Intercity με 1 Δηζελοηλεκτράμαξα κατασκευής ADTRANZ Σειράς 220 και 6 επιβατάμαξες
 τύπου ADmz και Bmz



Διάγραμμα Β.3 : Βύθιση σιδηροτροχιάς συναρτήσει του Μήκους Συρμού
 3^η Μέτρηση - Συρμος τύπου Intercity με 2 Δηζελοηλεκτράμαξες κατασκευής ADTRANZ Σειράς 220 και 6 επιβατάμαξες
 τύπου ADmz και Bmz



Διάγραμμα Β.4 : Βύθιση σιδηροτροχιάς συναρτήσεως του Μήκους Συρμού
 4^η Μέτρηση - Συρμος τύπου Intercity με 1 Δηζελοηλεκτράμαξα κατασκευής ADTRANZ Σειράς 220 και 6 επιβατάμαξες
 τύπου ADmz και Bmz



Διάγραμμα Β.5 : Βύθιση σιδηροτροχιάς συναρτήσεσι του Μήκους Συρμού^{5η} Μέτρηση - Συρμος τύπου Intercity με 1 Δηζελοηλεκτράμαξα κατασκευής ADTRANZ Σειράς 220 και 6 επιβατάμαξες τύπου ADmz και Bmz

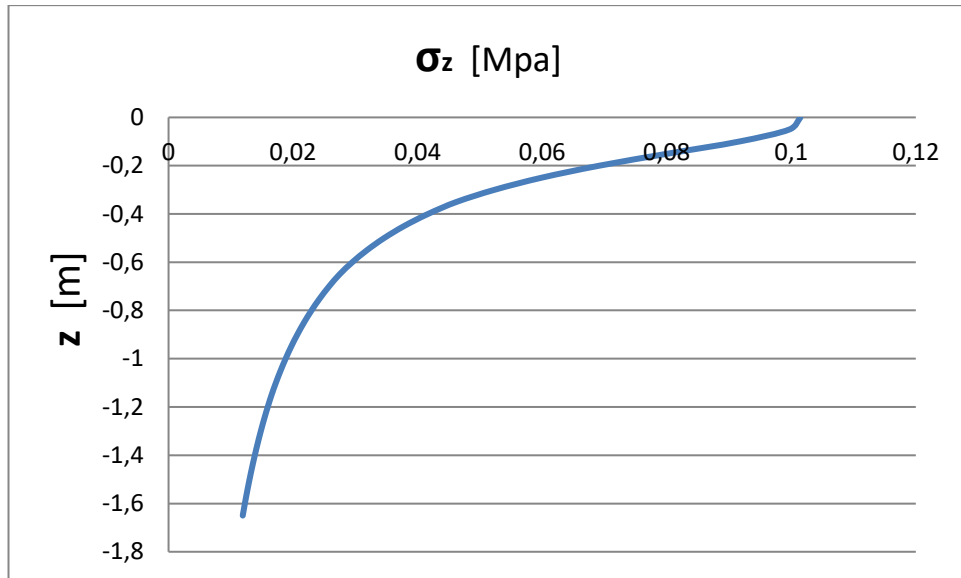
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

2^η Μέτρηση: Πεντάδυμος Συρμός Υψηλών Ταχυτήτων Σειράς 520 Τύπου INTERCITY
 $\rho=0.1014704 \text{ N/mm}^2$

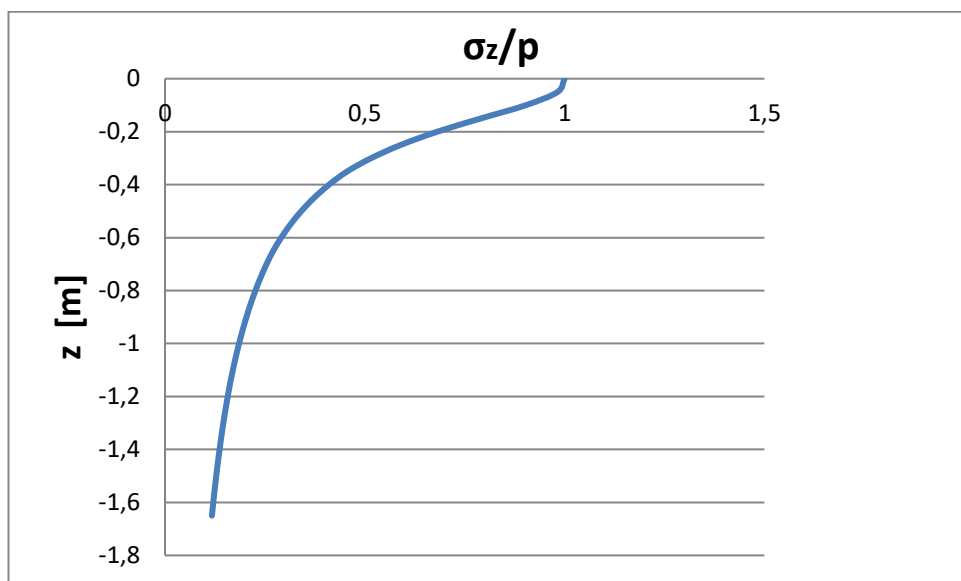
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,10147	1
50	54,37968	0,099702	0,982572
100	108,7594	0,091644	0,903157
150	163,139	0,080212	0,790495
200	217,5187	0,069188	0,681858
250	271,8984	0,059888	0,590199
300	326,2781	0,052353	0,515939
350	380,6577	0,046282	0,456113
400	431,1394	0,041676	0,410725
450	481,621	0,037844	0,372954
500	532,1026	0,034619	0,341176
550	582,5842	0,031877	0,31415
600	633,0658	0,029521	0,290934
650	683,5475	0,027479	0,270806
700	731,0525	0,025792	0,254183
750	778,5575	0,024295	0,239433
800	826,0625	0,022959	0,226264
850	873,5676	0,021759	0,214441
900	921,0726	0,020677	0,203771
950	968,5776	0,019695	0,194096
1000	1016,083	0,018801	0,185285
1050	1063,588	0,017983	0,177228
1100	1111,093	0,017233	0,169835
1150	1158,598	0,016542	0,163028
1200	1204,463	0,015926	0,156948
1250	1250,329	0,015353	0,151302
1300	1296,194	0,014819	0,146044
1350	1342,06	0,014321	0,141136
1400	1387,926	0,013855	0,136545
1450	1433,791	0,013419	0,132241
1500	1479,657	0,013008	0,128198
1550	1525,522	0,012622	0,124394
1600	1571,388	0,012258	0,120807
1650	1617,254	0,011915	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ
(N/mm ²)
0,1014704

Πίνακας Γ.1: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πιέσεων (2^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.1: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (2^η μέτρηση)



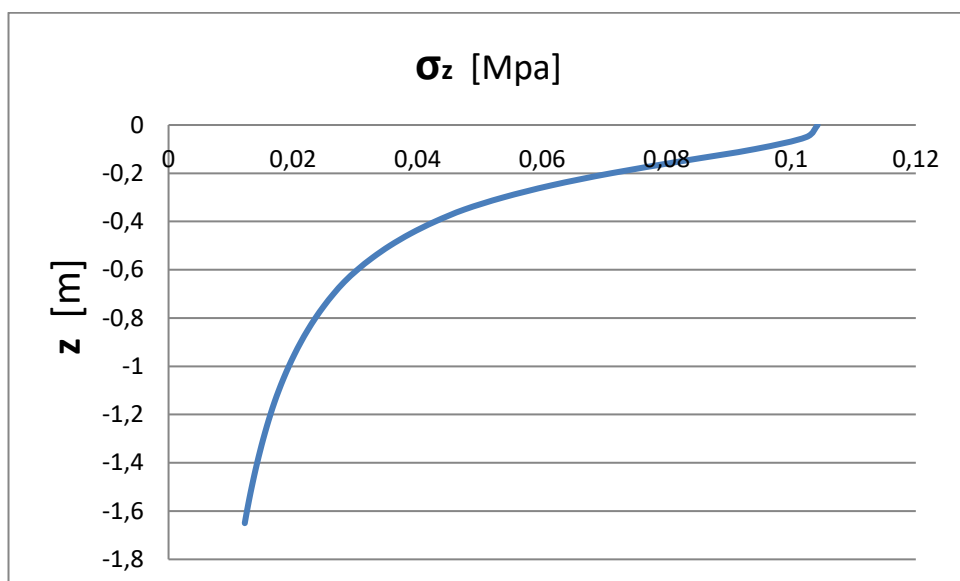
Διάγραμμα Γ2: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (2^η μέτρηση)

3^η Μέτρηση : Πεντάδυμος Συρμός Υψηλών Ταχυτήτων Σειράς 520 Τύπου INTERCITY
 $\rho=0.1042302 \text{ N/mm}^2$

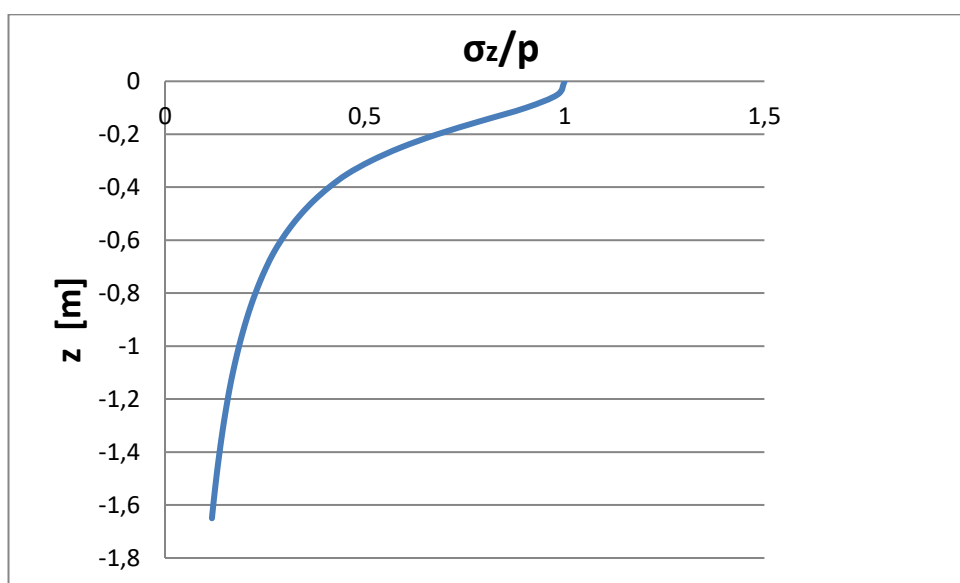
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,10423	1
50	54,37968	0,102414	0,982572
100	108,7594	0,094136	0,903157
150	163,139	0,082393	0,790495
200	217,5187	0,07107	0,681858
250	271,8984	0,061517	0,590199
300	326,2781	0,053776	0,515939
350	380,6577	0,047541	0,456113
400	431,1394	0,04281	0,410725
450	481,621	0,038873	0,372954
500	532,1026	0,035561	0,341176
550	582,5842	0,032744	0,31415
600	633,0658	0,030324	0,290934
650	683,5475	0,028226	0,270806
700	731,0525	0,026494	0,254183
750	778,5575	0,024956	0,239433
800	826,0625	0,023584	0,226264
850	873,5676	0,022351	0,214441
900	921,0726	0,021239	0,203771
950	968,5776	0,020231	0,194096
1000	1016,083	0,019312	0,185285
1050	1063,588	0,018473	0,177228
1100	1111,093	0,017702	0,169835
1150	1158,598	0,016992	0,163028
1200	1204,463	0,016359	0,156948
1250	1250,329	0,01577	0,151302
1300	1296,194	0,015222	0,146044
1350	1342,06	0,014711	0,141136
1400	1387,926	0,014232	0,136545
1450	1433,791	0,013784	0,132241
1500	1479,657	0,013362	0,128198
1550	1525,522	0,012966	0,124394
1600	1571,388	0,012592	0,120807
1650	1617,254	0,012239	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ
(N/mm ²)
0,1042302

Πίνακας Γ.2: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πιέσεων (3^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.3: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (3^η μέτρηση)



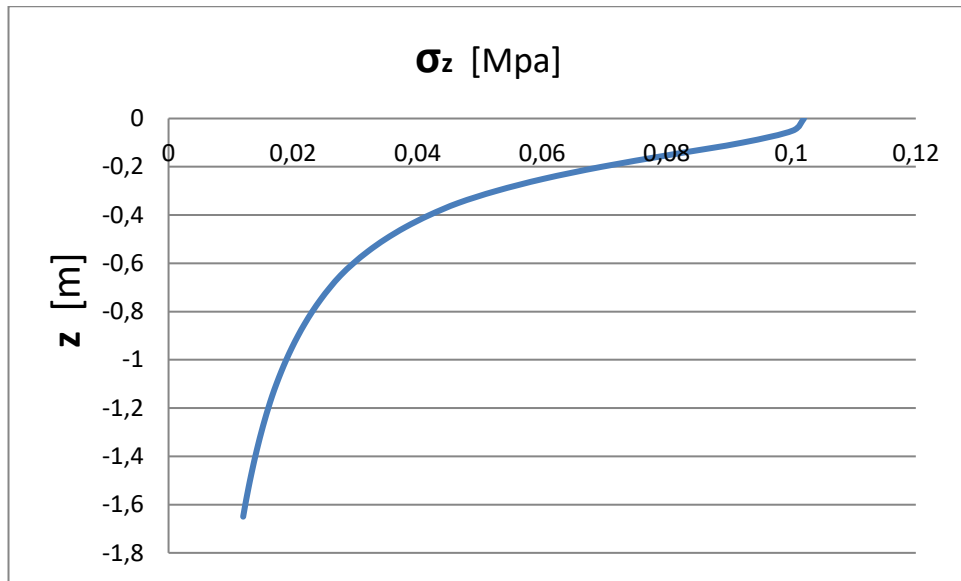
Διάγραμμα Γ.4: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (3^η μέτρηση)

4^η Μέτρηση: Πεντάδυμος Συρμός Υψηλών Ταχυτήτων Σειράς 520 Τύπου INTERCITY
 $\rho=0.1020373 \text{ N/mm}^2$

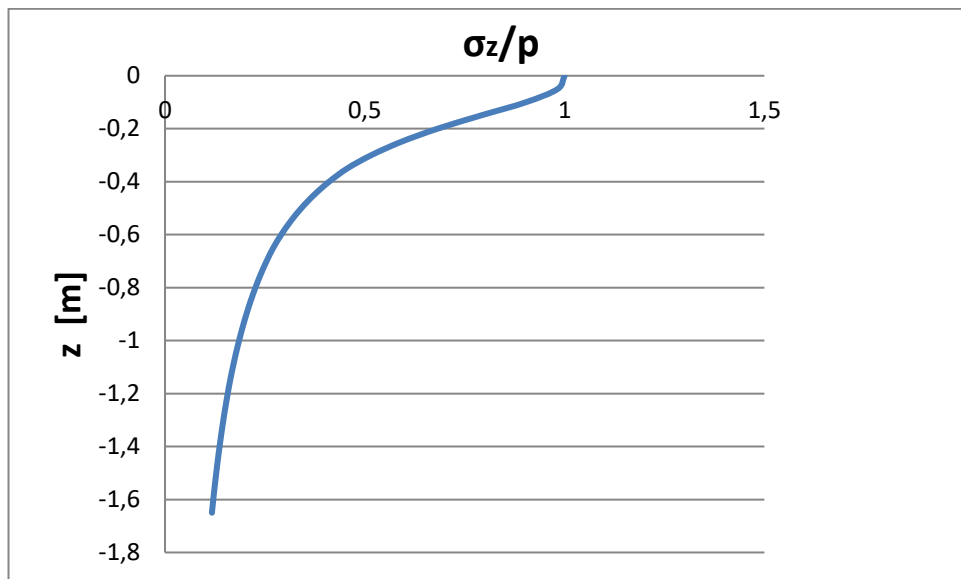
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,102037	1
50	54,37968	0,100259	0,982572
100	108,7594	0,092156	0,903157
150	163,139	0,08066	0,790495
200	217,5187	0,069575	0,681858
250	271,8984	0,060222	0,590199
300	326,2781	0,052645	0,515939
350	380,6577	0,046541	0,456113
400	431,1394	0,041909	0,410725
450	481,621	0,038055	0,372954
500	532,1026	0,034813	0,341176
550	582,5842	0,032055	0,31415
600	633,0658	0,029686	0,290934
650	683,5475	0,027632	0,270806
700	731,0525	0,025936	0,254183
750	778,5575	0,024431	0,239433
800	826,0625	0,023087	0,226264
850	873,5676	0,021881	0,214441
900	921,0726	0,020792	0,203771
950	968,5776	0,019805	0,194096
1000	1016,083	0,018906	0,185285
1050	1063,588	0,018084	0,177228
1100	1111,093	0,01733	0,169835
1150	1158,598	0,016635	0,163028
1200	1204,463	0,016015	0,156948
1250	1250,329	0,015438	0,151302
1300	1296,194	0,014902	0,146044
1350	1342,06	0,014401	0,141136
1400	1387,926	0,013933	0,136545
1450	1433,791	0,013494	0,132241
1500	1479,657	0,013081	0,128198
1550	1525,522	0,012693	0,124394
1600	1571,388	0,012327	0,120807
1650	1617,254	0,011981	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ
(N/mm ²)
0,1020373

Πίνακας Γ.3: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πιέσεων (4^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.5: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (4^η μέτρηση)



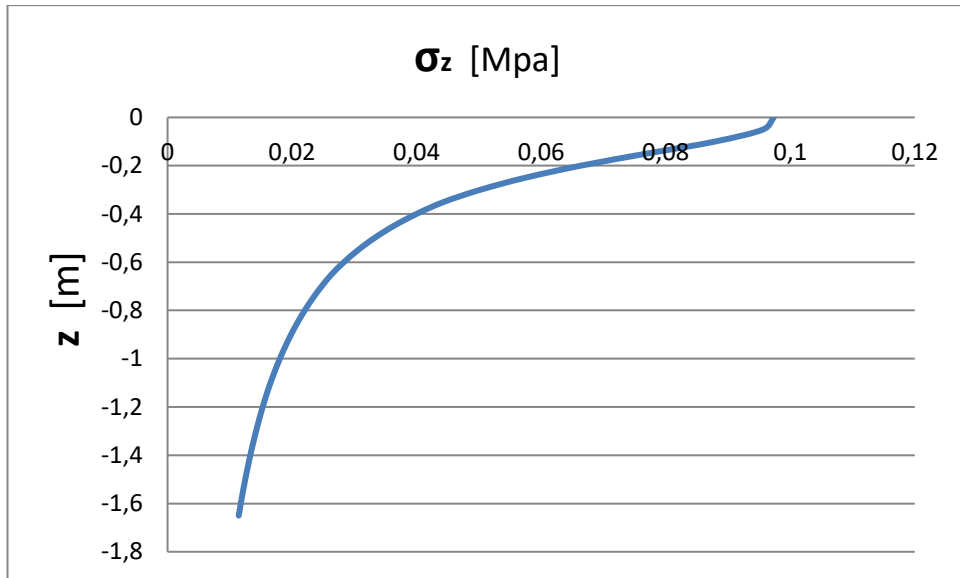
Διάγραμμα Γ.6: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (4^η μέτρηση)

5^η Μέτρηση: Πεντάδυμος Συρμός Υψηλών Ταχυτήτων Σειράς 520 Τύπου INTERCITY
 $\rho=0.0973451 \text{ N/mm}^2$

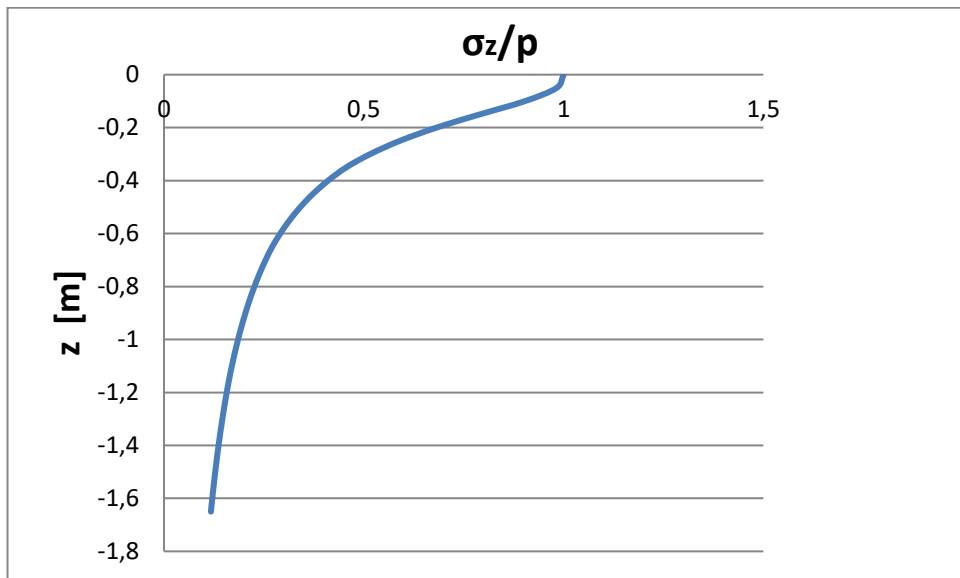
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,097345	1
50	54,37968	0,095649	0,982572
100	108,7594	0,087918	0,903157
150	163,139	0,076951	0,790495
200	217,5187	0,066376	0,681858
250	271,8984	0,057453	0,590199
300	326,2781	0,050224	0,515939
350	380,6577	0,0444	0,456113
400	431,1394	0,039982	0,410725
450	481,621	0,036305	0,372954
500	532,1026	0,033212	0,341176
550	582,5842	0,030581	0,31415
600	633,0658	0,028321	0,290934
650	683,5475	0,026362	0,270806
700	731,0525	0,024743	0,254183
750	778,5575	0,023308	0,239433
800	826,0625	0,022026	0,226264
850	873,5676	0,020875	0,214441
900	921,0726	0,019836	0,203771
950	968,5776	0,018894	0,194096
1000	1016,083	0,018037	0,185285
1050	1063,588	0,017252	0,177228
1100	1111,093	0,016533	0,169835
1150	1158,598	0,01587	0,163028
1200	1204,463	0,015278	0,156948
1250	1250,329	0,014728	0,151302
1300	1296,194	0,014217	0,146044
1350	1342,06	0,013739	0,141136
1400	1387,926	0,013292	0,136545
1450	1433,791	0,012873	0,132241
1500	1479,657	0,012479	0,128198
1550	1525,522	0,012109	0,124394
1600	1571,388	0,01176	0,120807
1650	1617,254	0,01143	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ
(N/mm ²)
0,0973451

Πίνακας Γ.4: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πιέσεων (5^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.7: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (5^η μέτρηση)



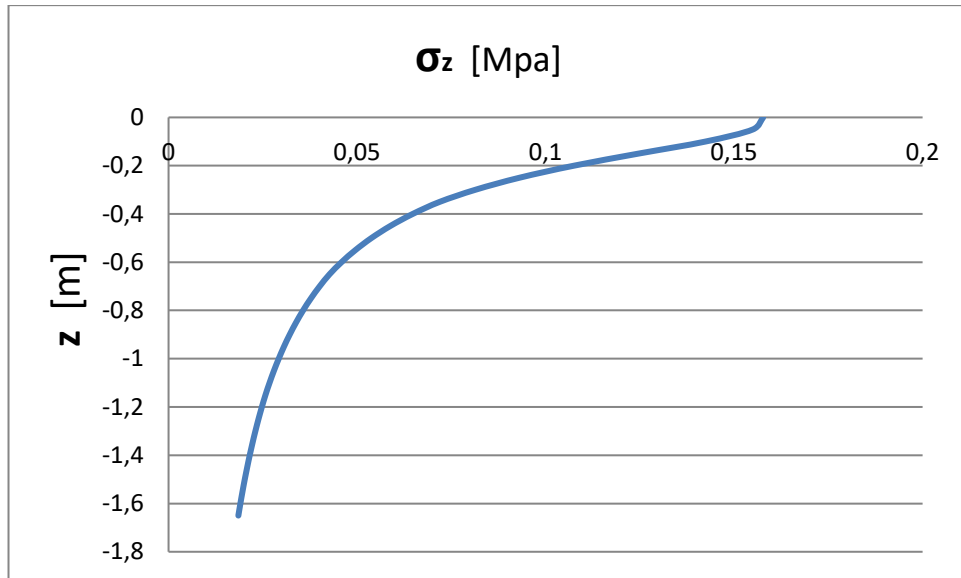
Διάγραμμα Γ.8: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (5^η μέτρηση)

6^η Μέτρηση: Δηζελοηλεκτράμαξα κατασκευής ADTRANZ Σειράς 220 (έλκον όχημα)
 $\rho=0.1577183 \text{ N/mm}^2$

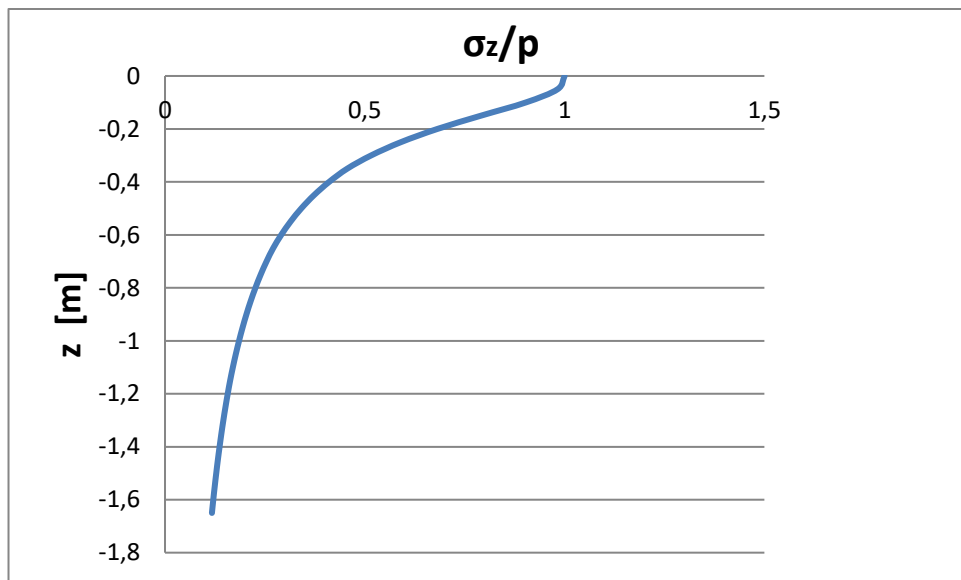
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,157718	1
50	54,37968	0,15497	0,982572
100	108,7594	0,142444	0,903157
150	163,139	0,124675	0,790495
200	217,5187	0,107541	0,681858
250	271,8984	0,093085	0,590199
300	326,2781	0,081373	0,515939
350	380,6577	0,071937	0,456113
400	431,1394	0,064779	0,410725
450	481,621	0,058822	0,372954
500	532,1026	0,05381	0,341176
550	582,5842	0,049547	0,31415
600	633,0658	0,045886	0,290934
650	683,5475	0,042711	0,270806
700	731,0525	0,040089	0,254183
750	778,5575	0,037763	0,239433
800	826,0625	0,035686	0,226264
850	873,5676	0,033821	0,214441
900	921,0726	0,032138	0,203771
950	968,5776	0,030612	0,194096
1000	1016,083	0,029223	0,185285
1050	1063,588	0,027952	0,177228
1100	1111,093	0,026786	0,169835
1150	1158,598	0,025712	0,163028
1200	1204,463	0,024754	0,156948
1250	1250,329	0,023863	0,151302
1300	1296,194	0,023034	0,146044
1350	1342,06	0,02226	0,141136
1400	1387,926	0,021536	0,136545
1450	1433,791	0,020857	0,132241
1500	1479,657	0,020219	0,128198
1550	1525,522	0,019619	0,124394
1600	1571,388	0,019054	0,120807
1650	1617,254	0,018519	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ
(N/mm ²)
0,1577183

Πίνακας Γ.5: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πιέσεων (6^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.9: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (6^η μέτρηση)



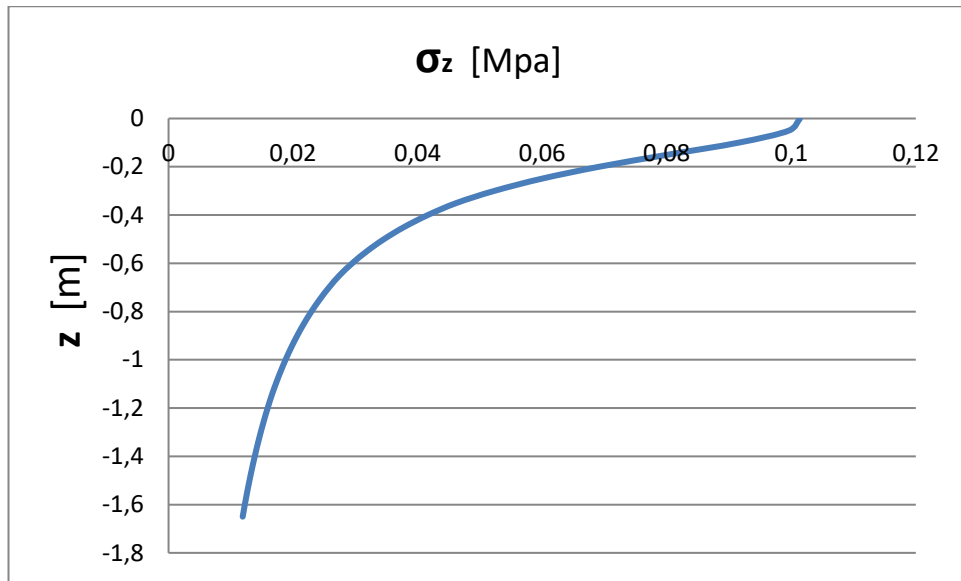
Διάγραμμα Γ.10: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (6^η μέτρηση)

7^η Μέτρηση: Επιβατάμαξα τύπου ADmz/ Bmz κατασκευής σύμφωνα με UIC 567-2
 $\rho=0.1013898 \text{ N/mm}^2$

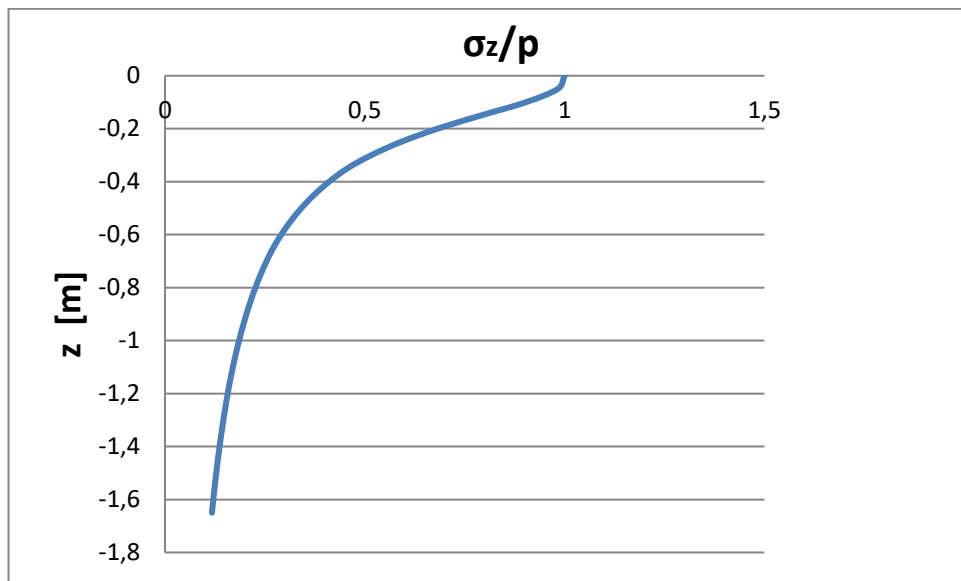
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,10139	1
50	54,37968	0,099623	0,982572
100	108,7594	0,091571	0,903157
150	163,139	0,080148	0,790495
200	217,5187	0,069133	0,681858
250	271,8984	0,05984	0,590199
300	326,2781	0,052311	0,515939
350	380,6577	0,046245	0,456113
400	431,1394	0,041643	0,410725
450	481,621	0,037814	0,372954
500	532,1026	0,034592	0,341176
550	582,5842	0,031852	0,31415
600	633,0658	0,029498	0,290934
650	683,5475	0,027457	0,270806
700	731,0525	0,025772	0,254183
750	778,5575	0,024276	0,239433
800	826,0625	0,022941	0,226264
850	873,5676	0,021742	0,214441
900	921,0726	0,02066	0,203771
950	968,5776	0,019679	0,194096
1000	1016,083	0,018786	0,185285
1050	1063,588	0,017969	0,177228
1100	1111,093	0,01722	0,169835
1150	1158,598	0,016529	0,163028
1200	1204,463	0,015913	0,156948
1250	1250,329	0,01534	0,151302
1300	1296,194	0,014807	0,146044
1350	1342,06	0,01431	0,141136
1400	1387,926	0,013844	0,136545
1450	1433,791	0,013408	0,132241
1500	1479,657	0,012998	0,128198
1550	1525,522	0,012612	0,124394
1600	1571,388	0,012249	0,120807
1650	1617,254	0,011905	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ
(N/mm ²)
0,1013898

Πίνακας Γ.6: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πιέσεων (7^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.11: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (7^η μέτρηση)



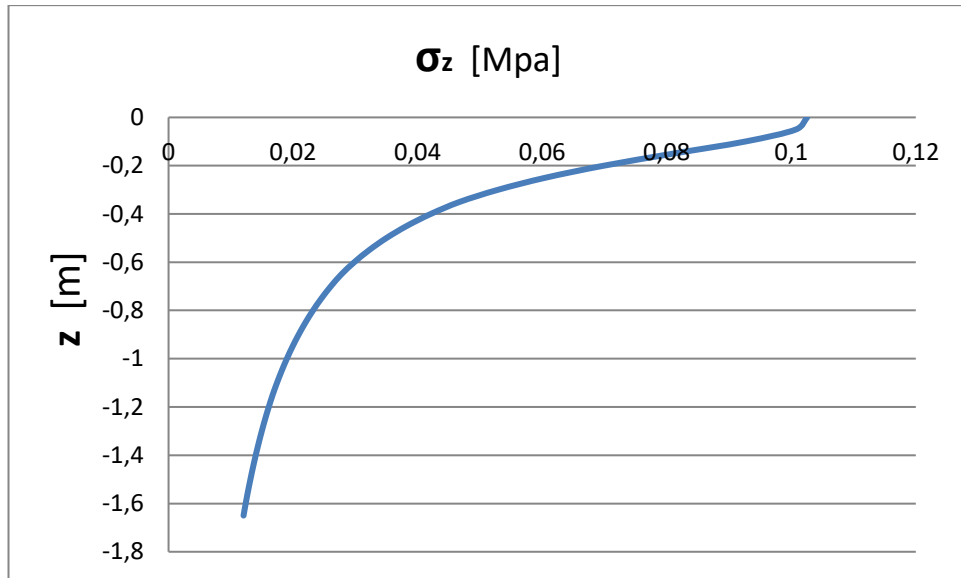
Διάγραμμα Γ.12: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (7^η μέτρηση)

8^η Μέτρηση: Επιβατάμαξα τύπου ADmz/ Bmz κατασκευής σύμφωνα με UIC 567-2
 $\rho=0.1025421 \text{ N/mm}^2$

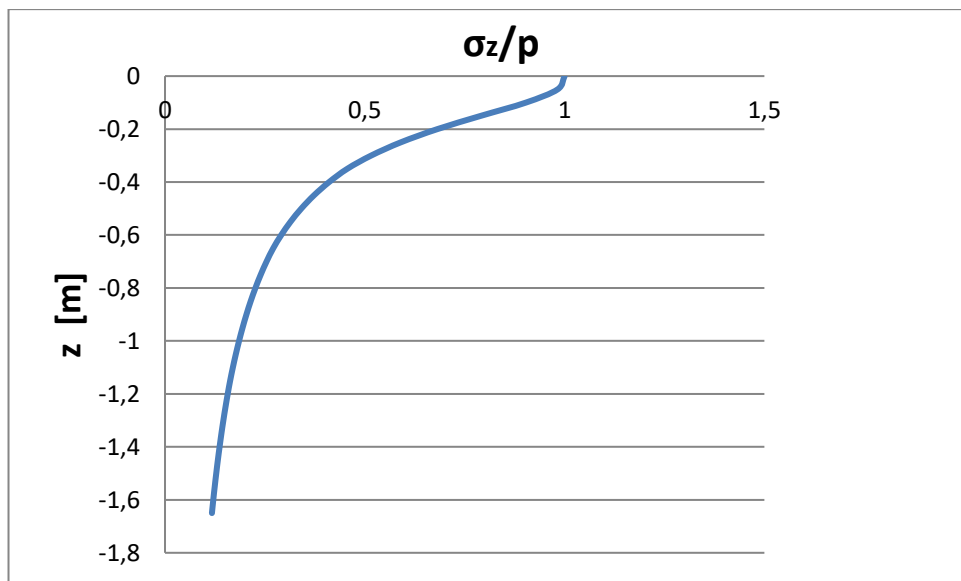
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,102542	1
50	54,37968	0,100755	0,982572
100	108,7594	0,092612	0,903157
150	163,139	0,081059	0,790495
200	217,5187	0,069919	0,681858
250	271,8984	0,06052	0,590199
300	326,2781	0,052905	0,515939
350	380,6577	0,046771	0,456113
400	431,1394	0,042117	0,410725
450	481,621	0,038244	0,372954
500	532,1026	0,034985	0,341176
550	582,5842	0,032214	0,31415
600	633,0658	0,029833	0,290934
650	683,5475	0,027769	0,270806
700	731,0525	0,026064	0,254183
750	778,5575	0,024552	0,239433
800	826,0625	0,023202	0,226264
850	873,5676	0,021989	0,214441
900	921,0726	0,020895	0,203771
950	968,5776	0,019903	0,194096
1000	1016,083	0,018999	0,185285
1050	1063,588	0,018173	0,177228
1100	1111,093	0,017415	0,169835
1150	1158,598	0,016717	0,163028
1200	1204,463	0,016094	0,156948
1250	1250,329	0,015515	0,151302
1300	1296,194	0,014976	0,146044
1350	1342,06	0,014472	0,141136
1400	1387,926	0,014002	0,136545
1450	1433,791	0,01356	0,132241
1500	1479,657	0,013146	0,128198
1550	1525,522	0,012756	0,124394
1600	1571,388	0,012388	0,120807
1650	1617,254	0,012041	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ
(N/mm ²)
0,1025421

Πίνακας Γ.7: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πιέσεων (8^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.13: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (8^η μέτρηση)



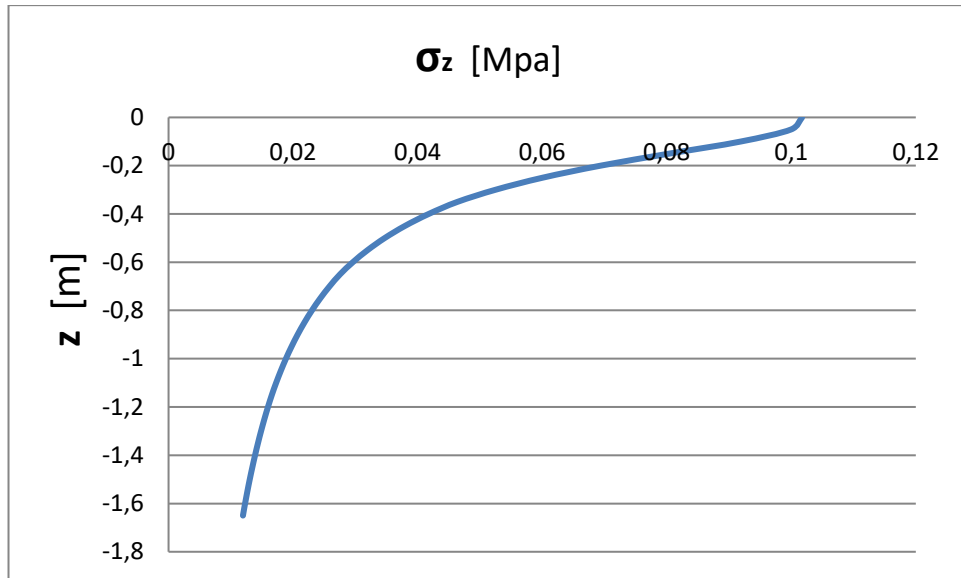
Διάγραμμα Γ.14: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (8^η μέτρηση)

9^η Μέτρηση: Επιβατάμαξα τύπου ADmz/ Bmz κατασκευής σύμφωνα με UIC 567-2
 $\rho=0.1017388 \text{ N/mm}^2$

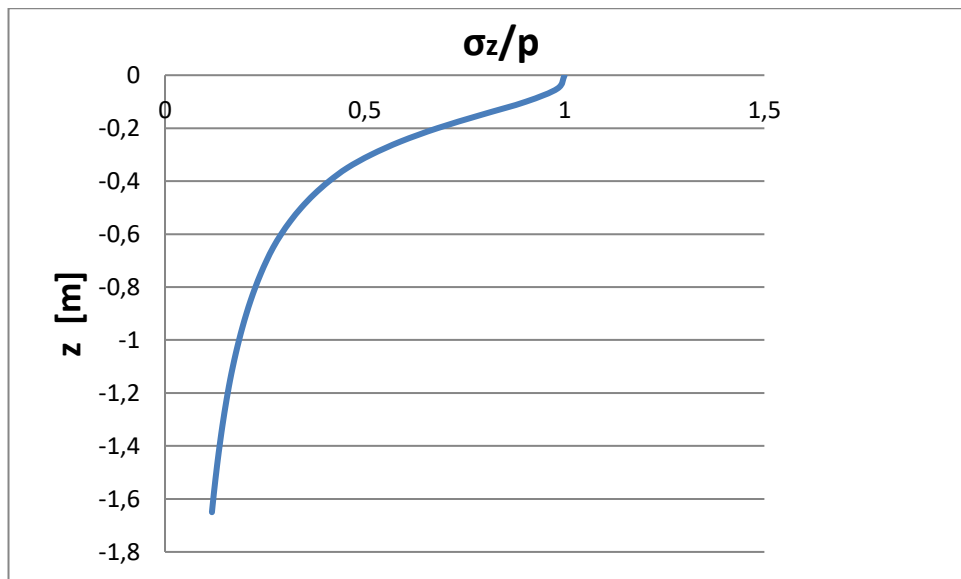
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,101739	1
50	54,37968	0,099966	0,982572
100	108,7594	0,091886	0,903157
150	163,139	0,080424	0,790495
200	217,5187	0,069371	0,681858
250	271,8984	0,060046	0,590199
300	326,2781	0,052491	0,515939
350	380,6577	0,046404	0,456113
400	431,1394	0,041787	0,410725
450	481,621	0,037944	0,372954
500	532,1026	0,034711	0,341176
550	582,5842	0,031961	0,31415
600	633,0658	0,029599	0,290934
650	683,5475	0,027551	0,270806
700	731,0525	0,02586	0,254183
750	778,5575	0,02436	0,239433
800	826,0625	0,02302	0,226264
850	873,5676	0,021817	0,214441
900	921,0726	0,020731	0,203771
950	968,5776	0,019747	0,194096
1000	1016,083	0,018851	0,185285
1050	1063,588	0,018031	0,177228
1100	1111,093	0,017279	0,169835
1150	1158,598	0,016586	0,163028
1200	1204,463	0,015968	0,156948
1250	1250,329	0,015393	0,151302
1300	1296,194	0,014858	0,146044
1350	1342,06	0,014359	0,141136
1400	1387,926	0,013892	0,136545
1450	1433,791	0,013454	0,132241
1500	1479,657	0,013043	0,128198
1550	1525,522	0,012656	0,124394
1600	1571,388	0,012291	0,120807
1650	1617,254	0,011946	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ (N/mm ²)
0,1017388

Πίνακας Γ.8: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πιέσεων (9^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.15: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (9^η μέτρηση)



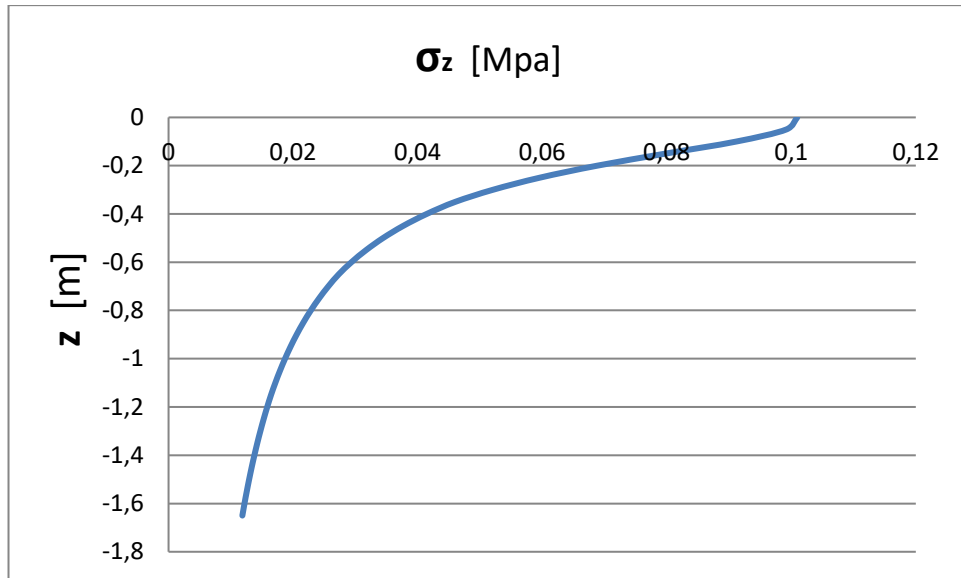
Διάγραμμα Γ.16: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (9^η μέτρηση)

10^η Μέτρηση : Επιβατάμαξα τύπου ADmz/ Bmz κατασκευής σύμφωνα με UIC 567-2
 $\rho=0.1009602 \text{ N/mm}^2$

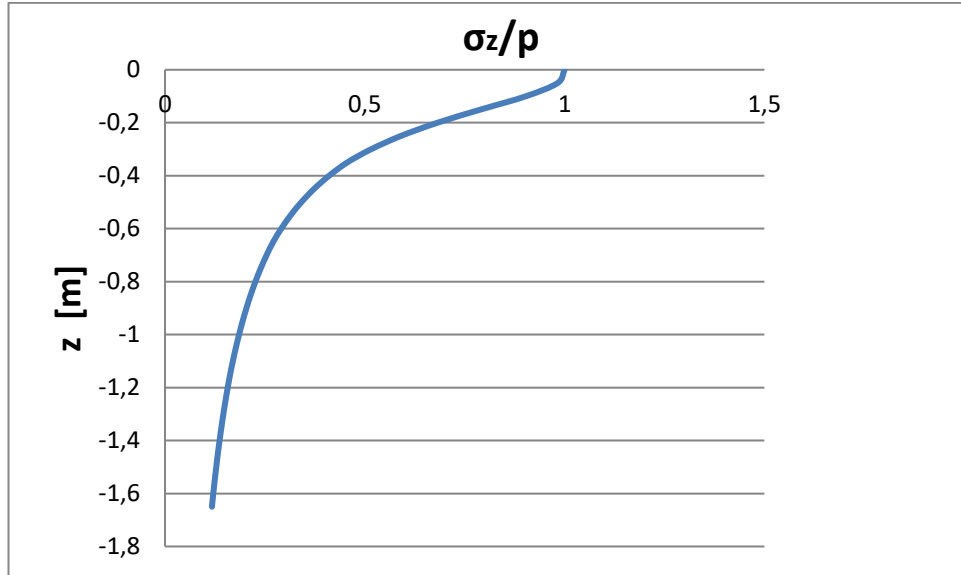
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,10096	1
50	54,37968	0,099201	0,982572
100	108,7594	0,091183	0,903157
150	163,139	0,079809	0,790495
200	217,5187	0,068841	0,681858
250	271,8984	0,059587	0,590199
300	326,2781	0,052089	0,515939
350	380,6577	0,046049	0,456113
400	431,1394	0,041467	0,410725
450	481,621	0,037654	0,372954
500	532,1026	0,034445	0,341176
550	582,5842	0,031717	0,31415
600	633,0658	0,029373	0,290934
650	683,5475	0,027341	0,270806
700	731,0525	0,025662	0,254183
750	778,5575	0,024173	0,239433
800	826,0625	0,022844	0,226264
850	873,5676	0,02165	0,214441
900	921,0726	0,020573	0,203771
950	968,5776	0,019596	0,194096
1000	1016,083	0,018706	0,185285
1050	1063,588	0,017893	0,177228
1100	1111,093	0,017147	0,169835
1150	1158,598	0,016459	0,163028
1200	1204,463	0,015846	0,156948
1250	1250,329	0,015275	0,151302
1300	1296,194	0,014745	0,146044
1350	1342,06	0,014249	0,141136
1400	1387,926	0,013786	0,136545
1450	1433,791	0,013351	0,132241
1500	1479,657	0,012943	0,128198
1550	1525,522	0,012559	0,124394
1600	1571,388	0,012197	0,120807
1650	1617,254	0,011855	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ (N/mm ²)
0,1009602

Πίνακας Γ.9: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πιέσεων (10¹ μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.17: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα ($10^{\text{η}}$ μέτρηση)



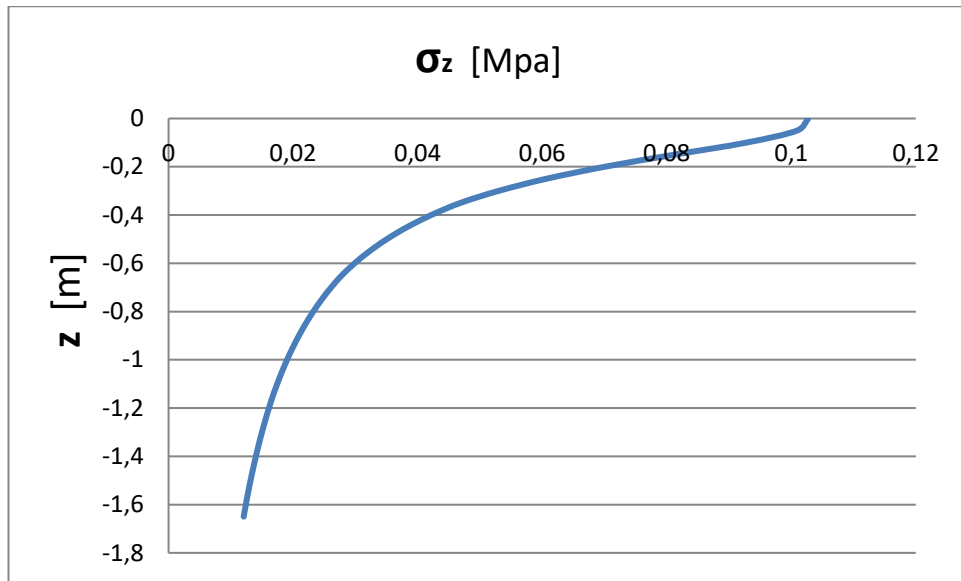
Διάγραμμα Γ.18: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα ($10^{\text{η}}$ μέτρηση)

11^η Μέτρηση: Επιβατάμαξα τύπου ADmz/ Bmz κατασκευής σύμφωνα με UIC 567-2
 $\rho=0.102724 \text{ N/mm}^2$

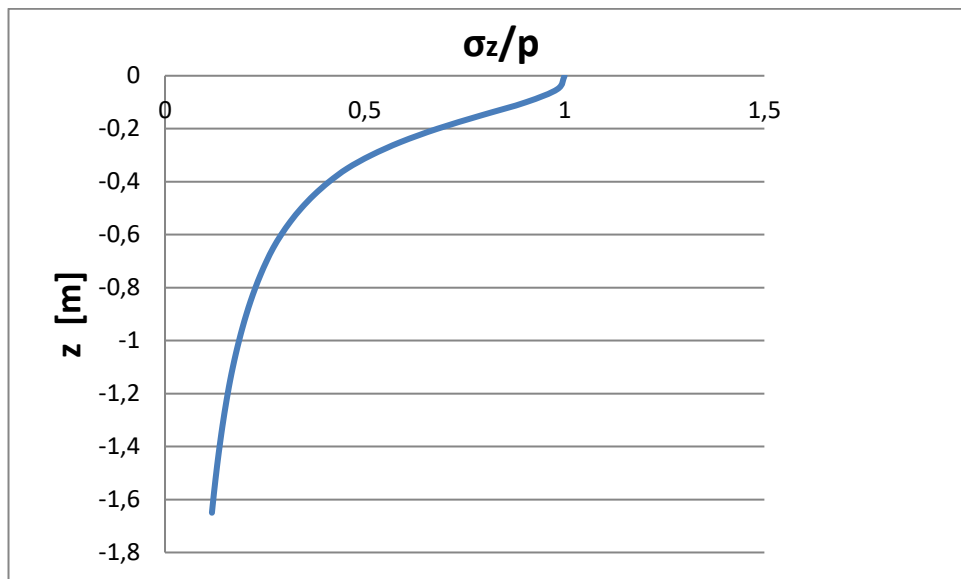
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,102724	1
50	54,37968	0,100934	0,982572
100	108,7594	0,092776	0,903157
150	163,139	0,081203	0,790495
200	217,5187	0,070043	0,681858
250	271,8984	0,060628	0,590199
300	326,2781	0,052999	0,515939
350	380,6577	0,046854	0,456113
400	431,1394	0,042191	0,410725
450	481,621	0,038311	0,372954
500	532,1026	0,035047	0,341176
550	582,5842	0,032271	0,31415
600	633,0658	0,029886	0,290934
650	683,5475	0,027818	0,270806
700	731,0525	0,026111	0,254183
750	778,5575	0,024596	0,239433
800	826,0625	0,023243	0,226264
850	873,5676	0,022028	0,214441
900	921,0726	0,020932	0,203771
950	968,5776	0,019938	0,194096
1000	1016,083	0,019033	0,185285
1050	1063,588	0,018206	0,177228
1100	1111,093	0,017446	0,169835
1150	1158,598	0,016747	0,163028
1200	1204,463	0,016122	0,156948
1250	1250,329	0,015542	0,151302
1300	1296,194	0,015002	0,146044
1350	1342,06	0,014498	0,141136
1400	1387,926	0,014026	0,136545
1450	1433,791	0,013584	0,132241
1500	1479,657	0,013169	0,128198
1550	1525,522	0,012778	0,124394
1600	1571,388	0,01241	0,120807
1650	1617,254	0,012062	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ
(N/mm ²)
0,102724

Πίνακας Γ.10: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πιέσεων (11^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.19: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (11^η μέτρηση)



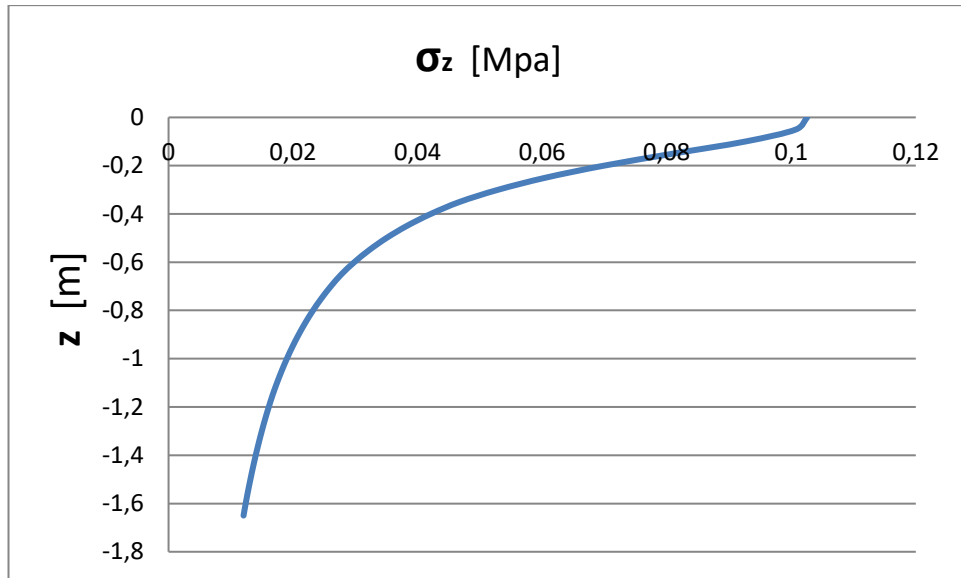
Διάγραμμα Γ.20: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (11^η μέτρηση)

12^η Μέτρηση: Επιβατάμαξα τύπου ADmz/ Bmz κατασκευής σύμφωνα με UIC 567-2
 $\rho=0.1025421 \text{ N/mm}^2$

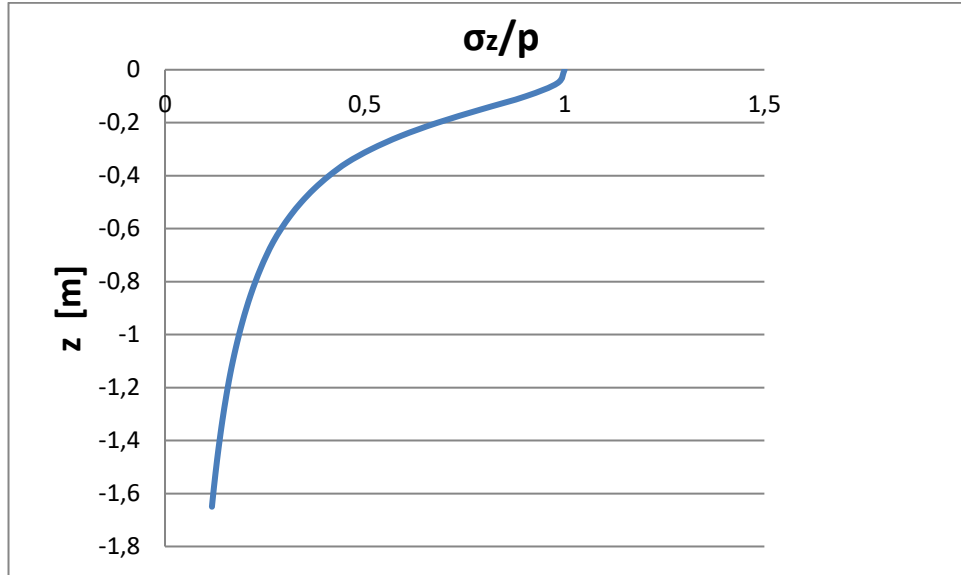
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,102542	1
50	54,37968	0,100755	0,982572
100	108,7594	0,092612	0,903157
150	163,139	0,081059	0,790495
200	217,5187	0,069919	0,681858
250	271,8984	0,06052	0,590199
300	326,2781	0,052905	0,515939
350	380,6577	0,046771	0,456113
400	431,1394	0,042117	0,410725
450	481,621	0,038244	0,372954
500	532,1026	0,034985	0,341176
550	582,5842	0,032214	0,31415
600	633,0658	0,029833	0,290934
650	683,5475	0,027769	0,270806
700	731,0525	0,026064	0,254183
750	778,5575	0,024552	0,239433
800	826,0625	0,023202	0,226264
850	873,5676	0,021989	0,214441
900	921,0726	0,020895	0,203771
950	968,5776	0,019903	0,194096
1000	1016,083	0,018999	0,185285
1050	1063,588	0,018173	0,177228
1100	1111,093	0,017415	0,169835
1150	1158,598	0,016717	0,163028
1200	1204,463	0,016094	0,156948
1250	1250,329	0,015515	0,151302
1300	1296,194	0,014976	0,146044
1350	1342,06	0,014472	0,141136
1400	1387,926	0,014002	0,136545
1450	1433,791	0,01356	0,132241
1500	1479,657	0,013146	0,128198
1550	1525,522	0,012756	0,124394
1600	1571,388	0,012388	0,120807
1650	1617,254	0,012041	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ (N/mm ²)
0,1025421

Πίνακας Γ.11: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πιέσεων (12^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.21: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (12^η μέτρηση)



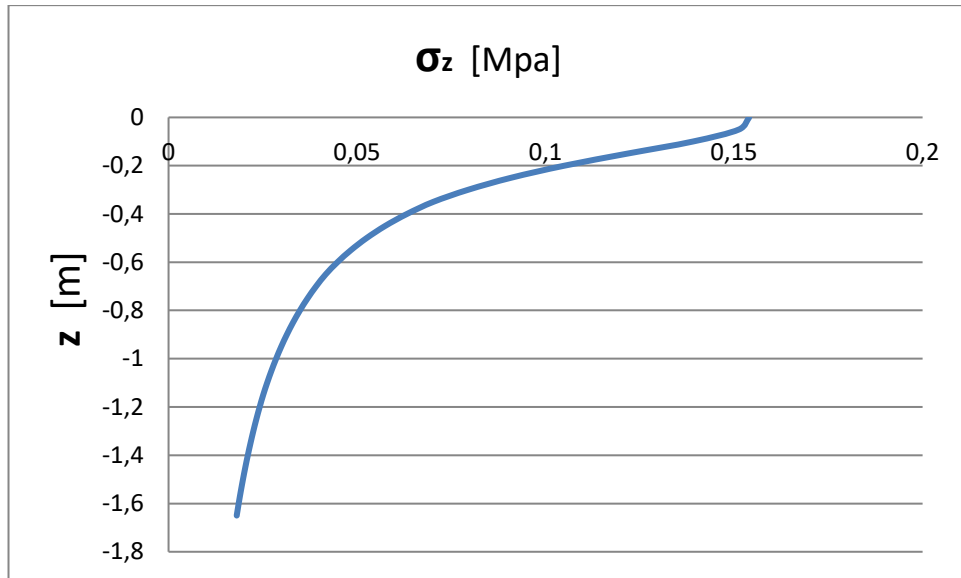
Διάγραμμα Γ.22: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (12^η μέτρηση)

13^η Μέτρηση: Δηζελοηλεκτράμαξα κατασκευής ADTRANZ Σειράς 220 (έλκον όχημα)
 $\rho=0.1539977 \text{ N/mm}^2$

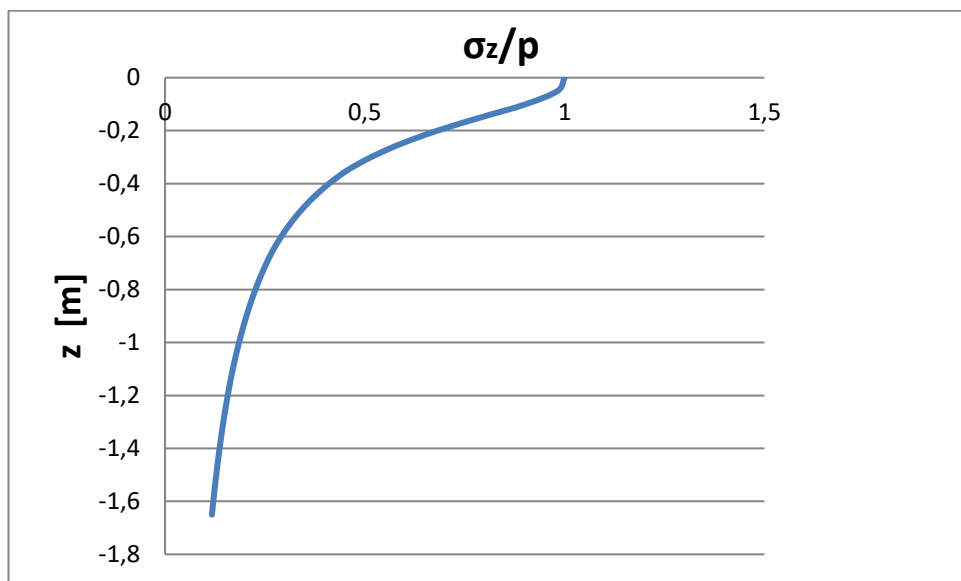
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,153998	1
50	54,37968	0,151314	0,982572
100	108,7594	0,139084	0,903157
150	163,139	0,121734	0,790495
200	217,5187	0,105005	0,681858
250	271,8984	0,090889	0,590199
300	326,2781	0,079453	0,515939
350	380,6577	0,07024	0,456113
400	431,1394	0,063251	0,410725
450	481,621	0,057434	0,372954
500	532,1026	0,05254	0,341176
550	582,5842	0,048378	0,31415
600	633,0658	0,044803	0,290934
650	683,5475	0,041703	0,270806
700	731,0525	0,039144	0,254183
750	778,5575	0,036872	0,239433
800	826,0625	0,034844	0,226264
850	873,5676	0,033023	0,214441
900	921,0726	0,03138	0,203771
950	968,5776	0,02989	0,194096
1000	1016,083	0,028533	0,185285
1050	1063,588	0,027293	0,177228
1100	1111,093	0,026154	0,169835
1150	1158,598	0,025106	0,163028
1200	1204,463	0,02417	0,156948
1250	1250,329	0,0233	0,151302
1300	1296,194	0,02249	0,146044
1350	1342,06	0,021735	0,141136
1400	1387,926	0,021028	0,136545
1450	1433,791	0,020365	0,132241
1500	1479,657	0,019742	0,128198
1550	1525,522	0,019156	0,124394
1600	1571,388	0,018604	0,120807
1650	1617,254	0,018083	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ
(N/mm ²)
0,1539977

Πίνακας Γ.12: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πίεσεων (13^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.23: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (13^η μέτρηση)



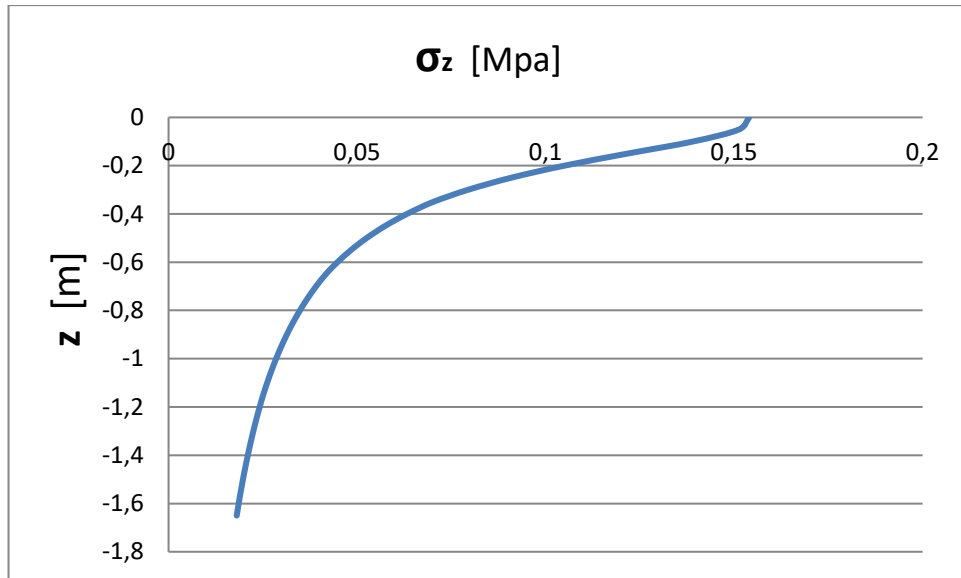
Διάγραμμα Γ.24: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (13^η μέτρηση)

14^η Μέτρηση: Δηζελοηλεκτράμαξα κατασκευής ADTRANZ Σειράς 220 (έλκον όχημα)
 $\rho=0.1539977 \text{ N/mm}^2$

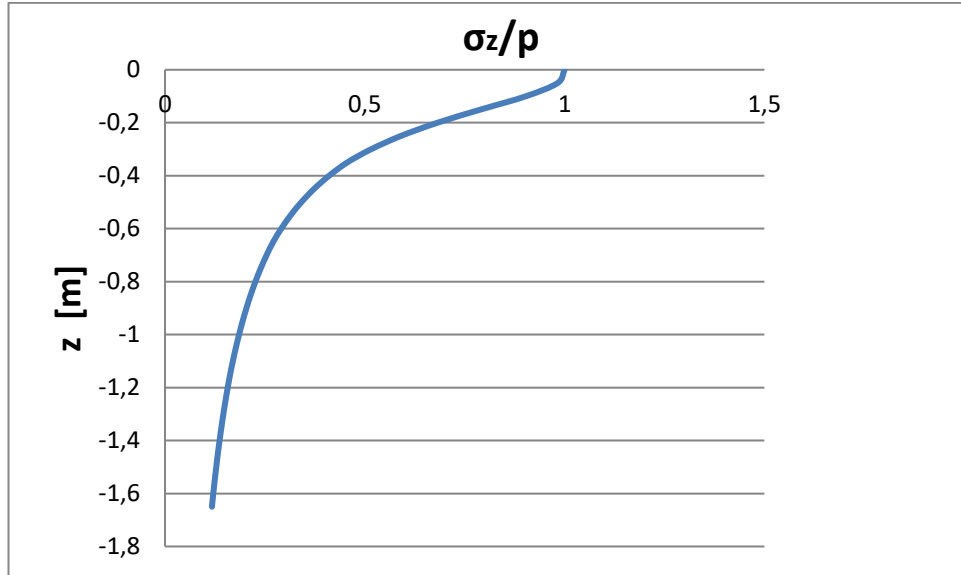
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,153998	1
50	54,37968	0,151314	0,982572
100	108,7594	0,139084	0,903157
150	163,139	0,121734	0,790495
200	217,5187	0,105005	0,681858
250	271,8984	0,090889	0,590199
300	326,2781	0,079453	0,515939
350	380,6577	0,07024	0,456113
400	431,1394	0,063251	0,410725
450	481,621	0,057434	0,372954
500	532,1026	0,05254	0,341176
550	582,5842	0,048378	0,31415
600	633,0658	0,044803	0,290934
650	683,5475	0,041703	0,270806
700	731,0525	0,039144	0,254183
750	778,5575	0,036872	0,239433
800	826,0625	0,034844	0,226264
850	873,5676	0,033023	0,214441
900	921,0726	0,03138	0,203771
950	968,5776	0,02989	0,194096
1000	1016,083	0,028533	0,185285
1050	1063,588	0,027293	0,177228
1100	1111,093	0,026154	0,169835
1150	1158,598	0,025106	0,163028
1200	1204,463	0,02417	0,156948
1250	1250,329	0,0233	0,151302
1300	1296,194	0,02249	0,146044
1350	1342,06	0,021735	0,141136
1400	1387,926	0,021028	0,136545
1450	1433,791	0,020365	0,132241
1500	1479,657	0,019742	0,128198
1550	1525,522	0,019156	0,124394
1600	1571,388	0,018604	0,120807
1650	1617,254	0,018083	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ
(N/mm ²)
0,1539977

Πίνακας Γ.13: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πιέσεων (14^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.25: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (14^η μέτρηση)



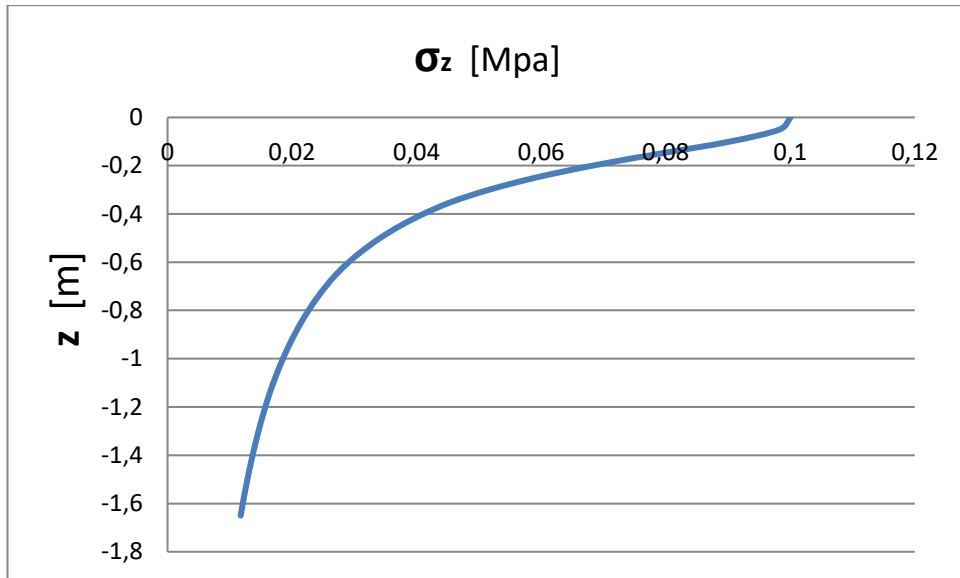
Διάγραμμα Γ.26: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (14^η μέτρηση)

15^η Μέτρηση: Επιβατάμαξα τύπου ADmz/ Bmz κατασκευής σύμφωνα με UIC 567-2
 $\rho=0.10004 \text{ N/mm}^2$

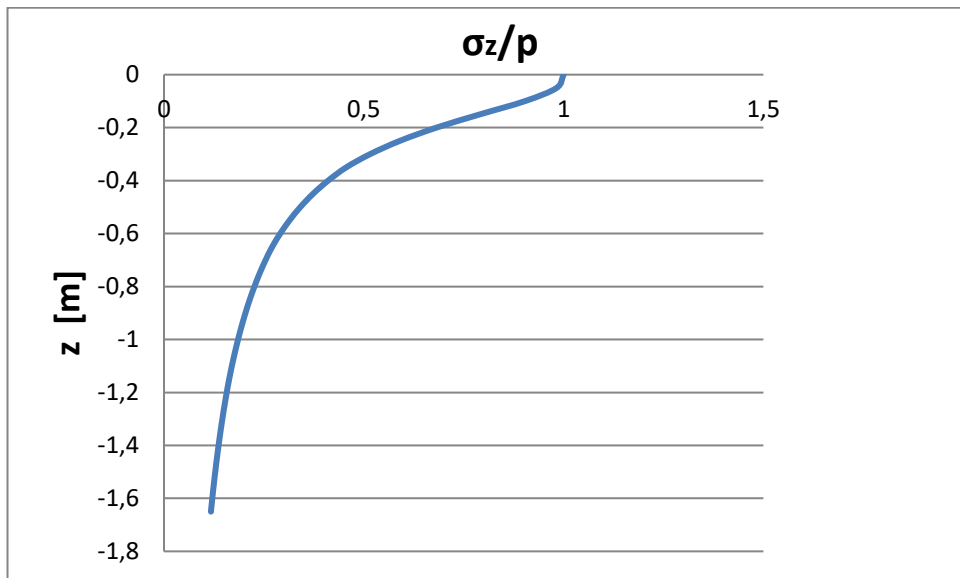
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,10004	1
50	54,37968	0,098297	0,982572
100	108,7594	0,090352	0,903157
150	163,139	0,079081	0,790495
200	217,5187	0,068213	0,681858
250	271,8984	0,059043	0,590199
300	326,2781	0,051615	0,515939
350	380,6577	0,04563	0,456113
400	431,1394	0,041089	0,410725
450	481,621	0,03731	0,372954
500	532,1026	0,034131	0,341176
550	582,5842	0,031428	0,31415
600	633,0658	0,029105	0,290934
650	683,5475	0,027091	0,270806
700	731,0525	0,025428	0,254183
750	778,5575	0,023953	0,239433
800	826,0625	0,022635	0,226264
850	873,5676	0,021453	0,214441
900	921,0726	0,020385	0,203771
950	968,5776	0,019417	0,194096
1000	1016,083	0,018536	0,185285
1050	1063,588	0,01773	0,177228
1100	1111,093	0,01699	0,169835
1150	1158,598	0,016309	0,163028
1200	1204,463	0,015701	0,156948
1250	1250,329	0,015136	0,151302
1300	1296,194	0,01461	0,146044
1350	1342,06	0,014119	0,141136
1400	1387,926	0,01366	0,136545
1450	1433,791	0,013229	0,132241
1500	1479,657	0,012825	0,128198
1550	1525,522	0,012444	0,124394
1600	1571,388	0,012086	0,120807
1650	1617,254	0,011747	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ
(N/mm ²)
0,10004

Πίνακας Γ.14: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πίεσεων (15^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.27: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (15^η μέτρηση)



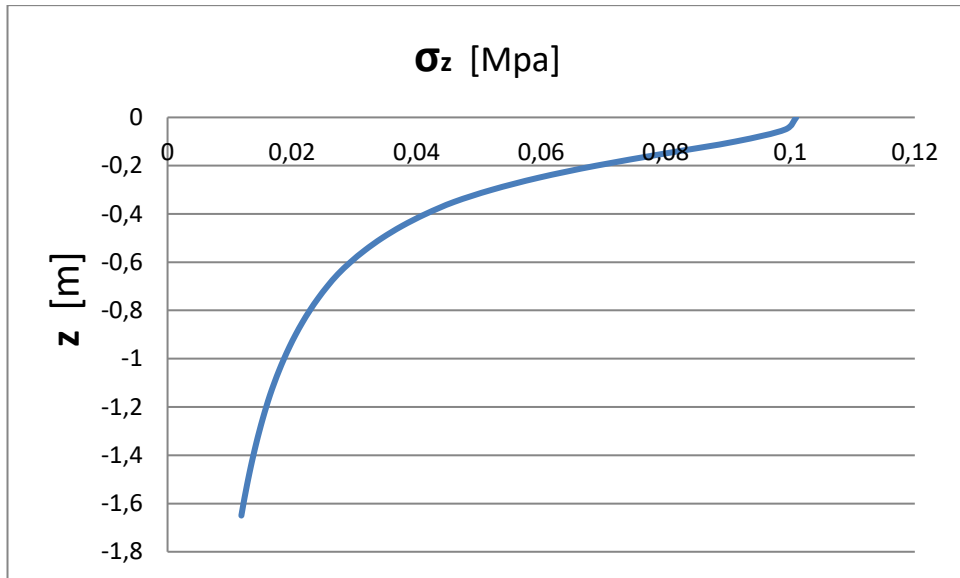
Διάγραμμα Γ.28: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (15^η μέτρηση)

16^η Μέτρηση: Επιβατάμαξα τύπου ADmz/ Bmz κατασκευής σύμφωνα με UIC 567-2
 $\rho=0.1009602 \text{ N/mm}^2$

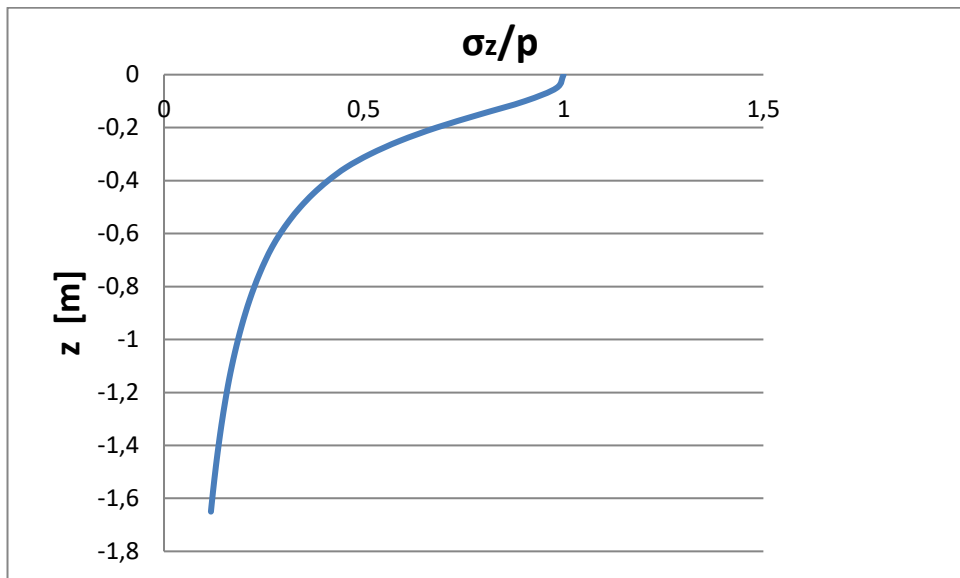
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,10096	1
50	54,37968	0,099201	0,982572
100	108,7594	0,091183	0,903157
150	163,139	0,079809	0,790495
200	217,5187	0,068841	0,681858
250	271,8984	0,059587	0,590199
300	326,2781	0,052089	0,515939
350	380,6577	0,046049	0,456113
400	431,1394	0,041467	0,410725
450	481,621	0,037654	0,372954
500	532,1026	0,034445	0,341176
550	582,5842	0,031717	0,31415
600	633,0658	0,029373	0,290934
650	683,5475	0,027341	0,270806
700	731,0525	0,025662	0,254183
750	778,5575	0,024173	0,239433
800	826,0625	0,022844	0,226264
850	873,5676	0,02165	0,214441
900	921,0726	0,020573	0,203771
950	968,5776	0,019596	0,194096
1000	1016,083	0,018706	0,185285
1050	1063,588	0,017893	0,177228
1100	1111,093	0,017147	0,169835
1150	1158,598	0,016459	0,163028
1200	1204,463	0,015846	0,156948
1250	1250,329	0,015275	0,151302
1300	1296,194	0,014745	0,146044
1350	1342,06	0,014249	0,141136
1400	1387,926	0,013786	0,136545
1450	1433,791	0,013351	0,132241
1500	1479,657	0,012943	0,128198
1550	1525,522	0,012559	0,124394
1600	1571,388	0,012197	0,120807
1650	1617,254	0,011855	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ
(N/mm ²)
0,1009602

Πίνακας Γ.15: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πιέσεων (16^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.29: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (16^η μέτρηση)



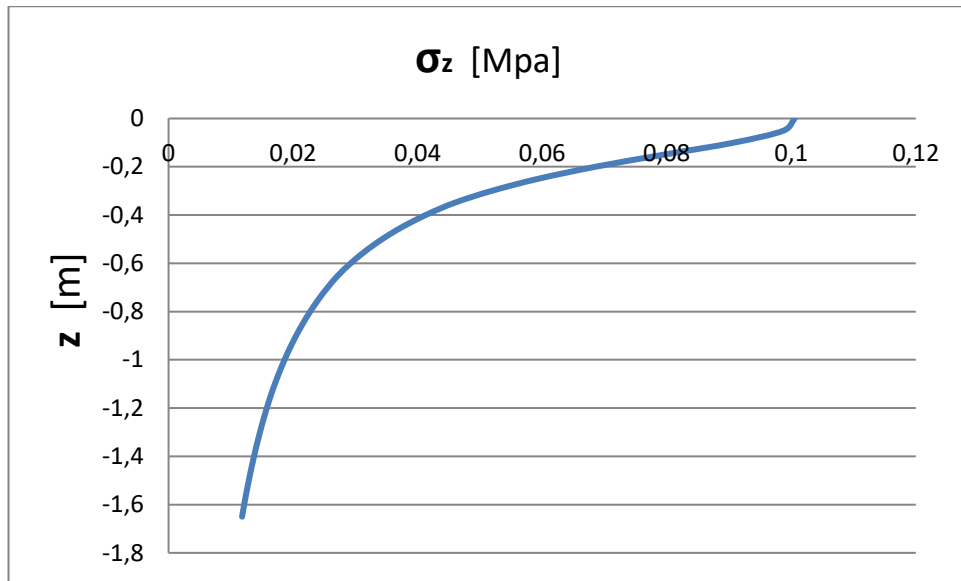
Διάγραμμα Γ.30: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (16^η μέτρηση)

17^η Μέτρηση: Επιβατάμαξα τύπου ADmz/ Bmz κατασκευής σύμφωνα με UIC 567-2
 $\rho=0.1005377 \text{ N/mm}^2$

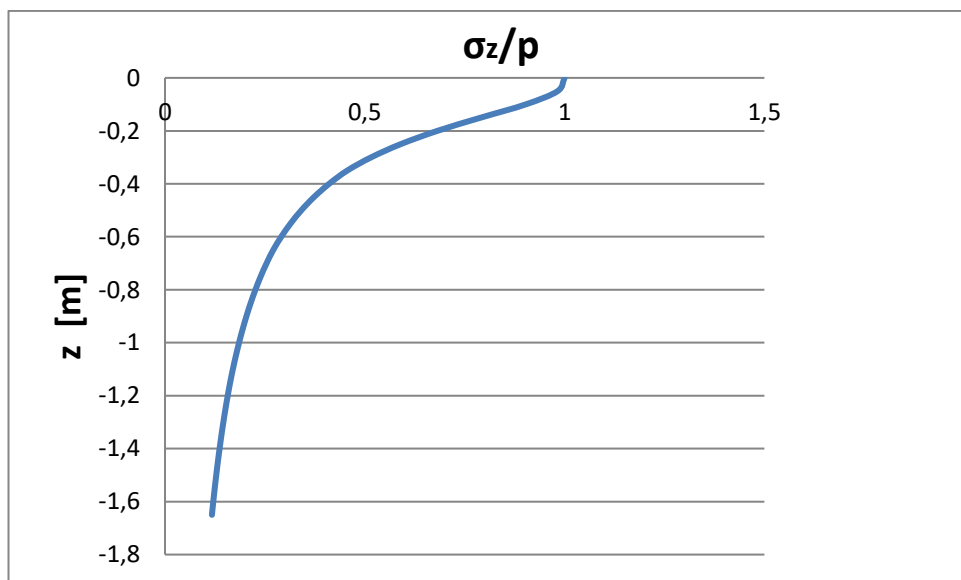
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,100538	1
50	54,37968	0,098786	0,982572
100	108,7594	0,090801	0,903157
150	163,139	0,079475	0,790495
200	217,5187	0,068552	0,681858
250	271,8984	0,059337	0,590199
300	326,2781	0,051871	0,515939
350	380,6577	0,045857	0,456113
400	431,1394	0,041293	0,410725
450	481,621	0,037496	0,372954
500	532,1026	0,034301	0,341176
550	582,5842	0,031584	0,31415
600	633,0658	0,02925	0,290934
650	683,5475	0,027226	0,270806
700	731,0525	0,025555	0,254183
750	778,5575	0,024072	0,239433
800	826,0625	0,022748	0,226264
850	873,5676	0,021559	0,214441
900	921,0726	0,020487	0,203771
950	968,5776	0,019514	0,194096
1000	1016,083	0,018628	0,185285
1050	1063,588	0,017818	0,177228
1100	1111,093	0,017075	0,169835
1150	1158,598	0,01639	0,163028
1200	1204,463	0,015779	0,156948
1250	1250,329	0,015212	0,151302
1300	1296,194	0,014683	0,146044
1350	1342,06	0,014189	0,141136
1400	1387,926	0,013728	0,136545
1450	1433,791	0,013295	0,132241
1500	1479,657	0,012889	0,128198
1550	1525,522	0,012506	0,124394
1600	1571,388	0,012146	0,120807
1650	1617,254	0,011805	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ
(N/mm ²)
0,1005377

Πίνακας Γ.16: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πιέσεων (17^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.31: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (17^η μέτρηση)



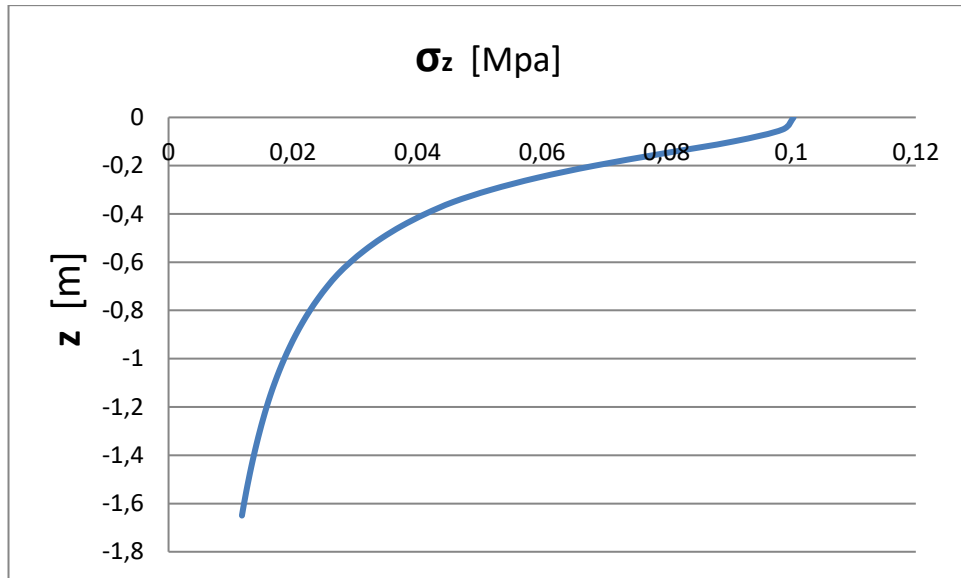
Διάγραμμα Γ.32: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (17^η μέτρηση)

18^η Μέτρηση: Επιβατάμαξα τύπου ADmz/ Bmz κατασκευής σύμφωνα με UIC 567-2
 $\rho=0.1003707 \text{ N/mm}^2$

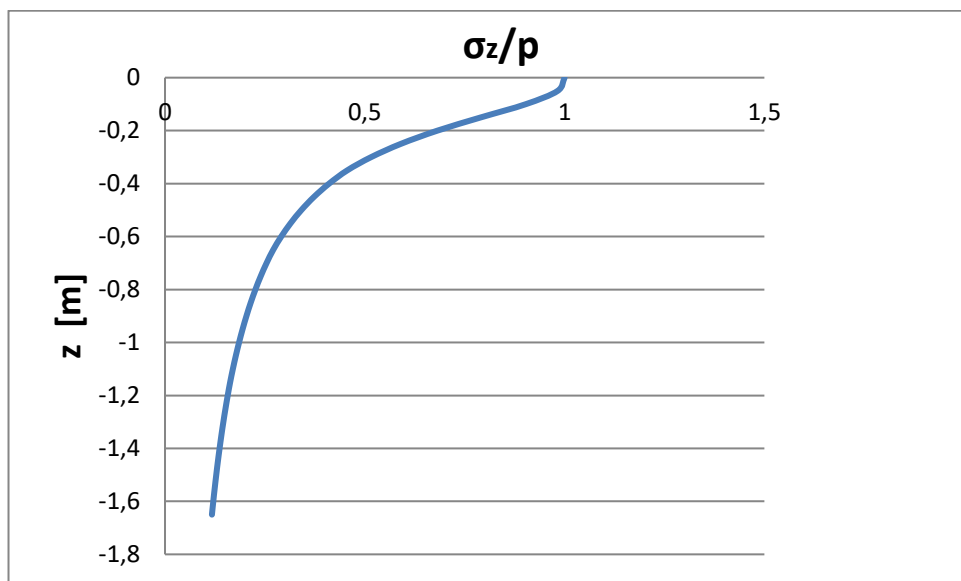
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,100371	1
50	54,37968	0,098621	0,982572
100	108,7594	0,09065	0,903157
150	163,139	0,079343	0,790495
200	217,5187	0,068439	0,681858
250	271,8984	0,059239	0,590199
300	326,2781	0,051785	0,515939
350	380,6577	0,04578	0,456113
400	431,1394	0,041225	0,410725
450	481,621	0,037434	0,372954
500	532,1026	0,034244	0,341176
550	582,5842	0,031531	0,31415
600	633,0658	0,029201	0,290934
650	683,5475	0,027181	0,270806
700	731,0525	0,025512	0,254183
750	778,5575	0,024032	0,239433
800	826,0625	0,02271	0,226264
850	873,5676	0,021524	0,214441
900	921,0726	0,020453	0,203771
950	968,5776	0,019482	0,194096
1000	1016,083	0,018597	0,185285
1050	1063,588	0,017789	0,177228
1100	1111,093	0,017046	0,169835
1150	1158,598	0,016363	0,163028
1200	1204,463	0,015753	0,156948
1250	1250,329	0,015186	0,151302
1300	1296,194	0,014659	0,146044
1350	1342,06	0,014166	0,141136
1400	1387,926	0,013705	0,136545
1450	1433,791	0,013273	0,132241
1500	1479,657	0,012867	0,128198
1550	1525,522	0,012485	0,124394
1600	1571,388	0,012126	0,120807
1650	1617,254	0,011786	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ
(N/mm ²)
0,1003707

Πίνακας Γ.17: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πιέσεων (18^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.33: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (18^η μέτρηση)



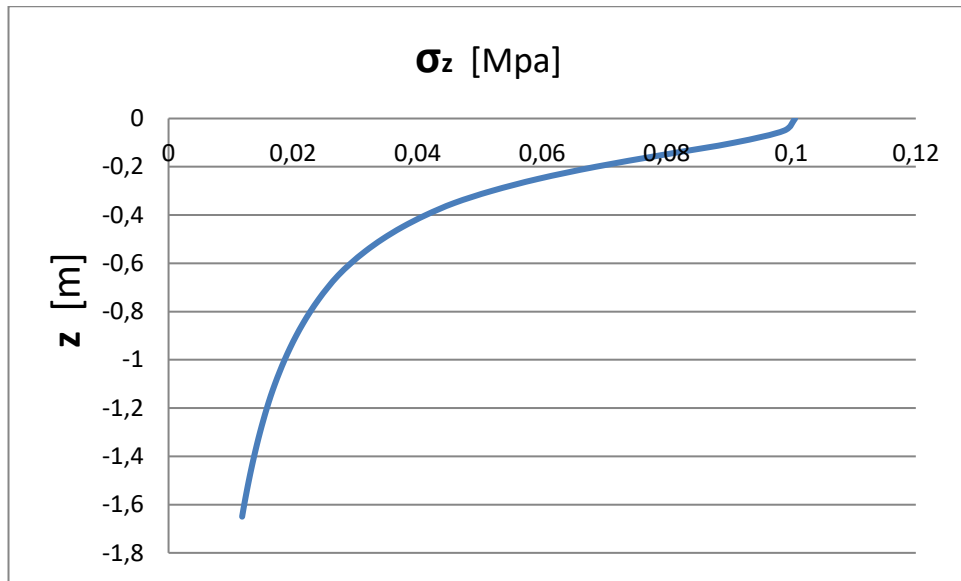
Διάγραμμα Γ.34: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (18^η μέτρηση)

19^η Μέτρηση: Επιβατάμαξα τύπου ADmz/ Bmz κατασκευής σύμφωνα με UIC 567-2
 $\rho=0.1006217 \text{ N/mm}^2$

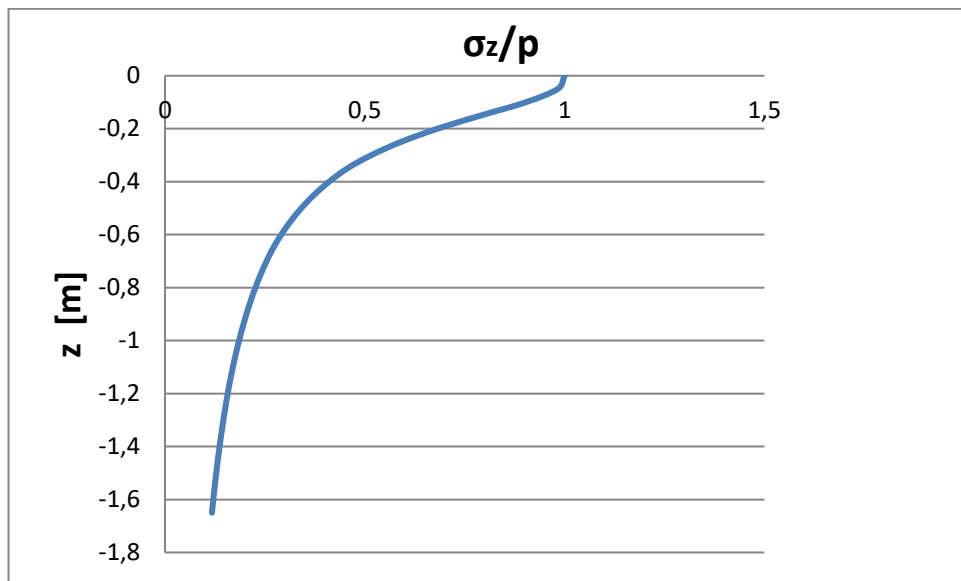
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,100622	1
50	54,37968	0,098868	0,982572
100	108,7594	0,090877	0,903157
150	163,139	0,079541	0,790495
200	217,5187	0,06861	0,681858
250	271,8984	0,059387	0,590199
300	326,2781	0,051915	0,515939
350	380,6577	0,045895	0,456113
400	431,1394	0,041328	0,410725
450	481,621	0,037527	0,372954
500	532,1026	0,03433	0,341176
550	582,5842	0,03161	0,31415
600	633,0658	0,029274	0,290934
650	683,5475	0,027249	0,270806
700	731,0525	0,025576	0,254183
750	778,5575	0,024092	0,239433
800	826,0625	0,022767	0,226264
850	873,5676	0,021577	0,214441
900	921,0726	0,020504	0,203771
950	968,5776	0,01953	0,194096
1000	1016,083	0,018644	0,185285
1050	1063,588	0,017833	0,177228
1100	1111,093	0,017089	0,169835
1150	1158,598	0,016404	0,163028
1200	1204,463	0,015792	0,156948
1250	1250,329	0,015224	0,151302
1300	1296,194	0,014695	0,146044
1350	1342,06	0,014201	0,141136
1400	1387,926	0,013739	0,136545
1450	1433,791	0,013306	0,132241
1500	1479,657	0,0129	0,128198
1550	1525,522	0,012517	0,124394
1600	1571,388	0,012156	0,120807
1650	1617,254	0,011815	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ
(N/mm ²)
0,1006217

Πίνακας Γ.18: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πιέσεων (19^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.35: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (19^η μέτρηση)



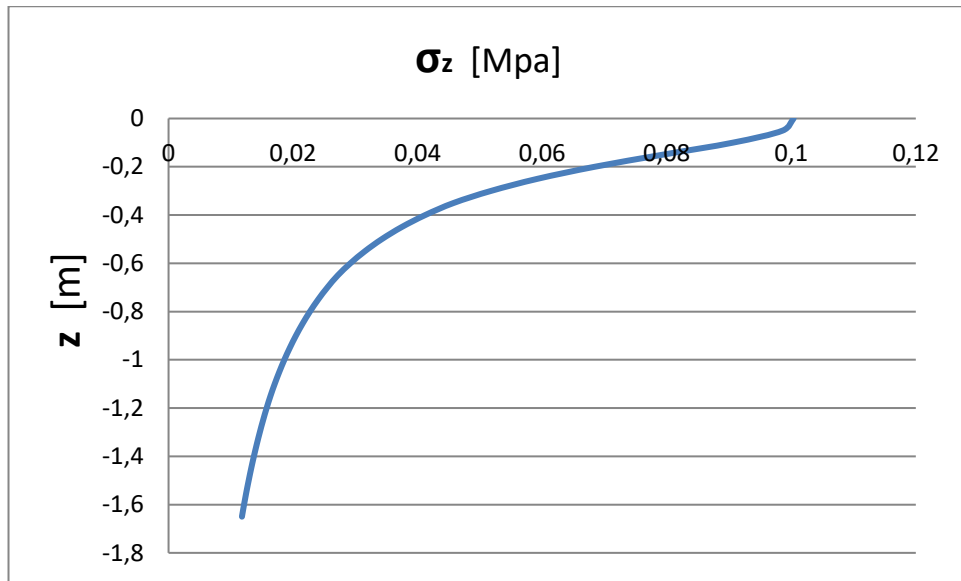
Διάγραμμα Γ.36: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (19^η μέτρηση)

20^η Μέτρηση: Επιβατάμαξα τύπου ADmz/ Bmz κατασκευής σύμφωνα με UIC 567-2
 $\rho=0.1003707 \text{ N/mm}^2$

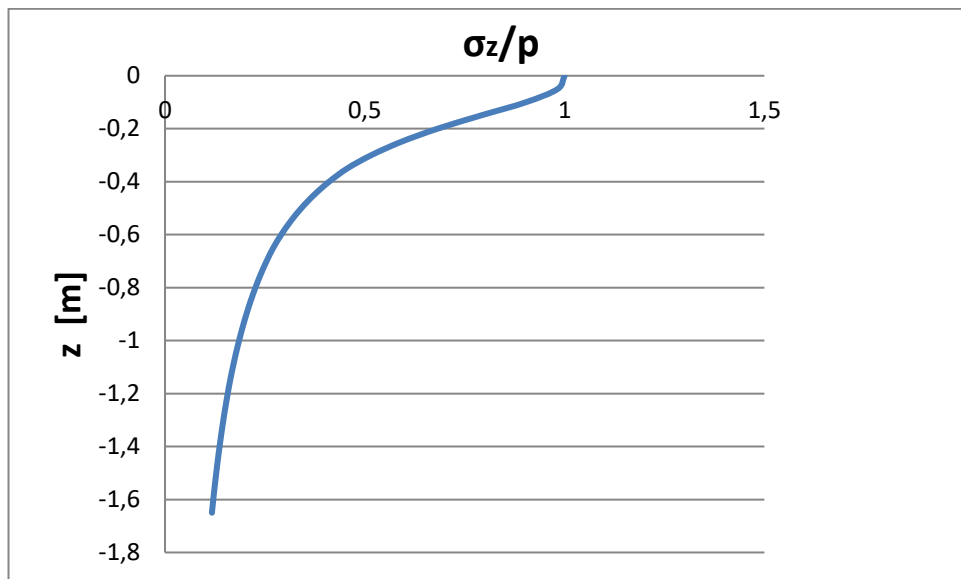
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,100371	1
50	54,37968	0,098621	0,982572
100	108,7594	0,09065	0,903157
150	163,139	0,079343	0,790495
200	217,5187	0,068439	0,681858
250	271,8984	0,059239	0,590199
300	326,2781	0,051785	0,515939
350	380,6577	0,04578	0,456113
400	431,1394	0,041225	0,410725
450	481,621	0,037434	0,372954
500	532,1026	0,034244	0,341176
550	582,5842	0,031531	0,31415
600	633,0658	0,029201	0,290934
650	683,5475	0,027181	0,270806
700	731,0525	0,025512	0,254183
750	778,5575	0,024032	0,239433
800	826,0625	0,02271	0,226264
850	873,5676	0,021524	0,214441
900	921,0726	0,020453	0,203771
950	968,5776	0,019482	0,194096
1000	1016,083	0,018597	0,185285
1050	1063,588	0,017789	0,177228
1100	1111,093	0,017046	0,169835
1150	1158,598	0,016363	0,163028
1200	1204,463	0,015753	0,156948
1250	1250,329	0,015186	0,151302
1300	1296,194	0,014659	0,146044
1350	1342,06	0,014166	0,141136
1400	1387,926	0,013705	0,136545
1450	1433,791	0,013273	0,132241
1500	1479,657	0,012867	0,128198
1550	1525,522	0,012485	0,124394
1600	1571,388	0,012126	0,120807
1650	1617,254	0,011786	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ (N/mm ²)
0,1003707

Πίνακας Γ.19: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πιέσεων (20^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.37: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (20^η μέτρηση)



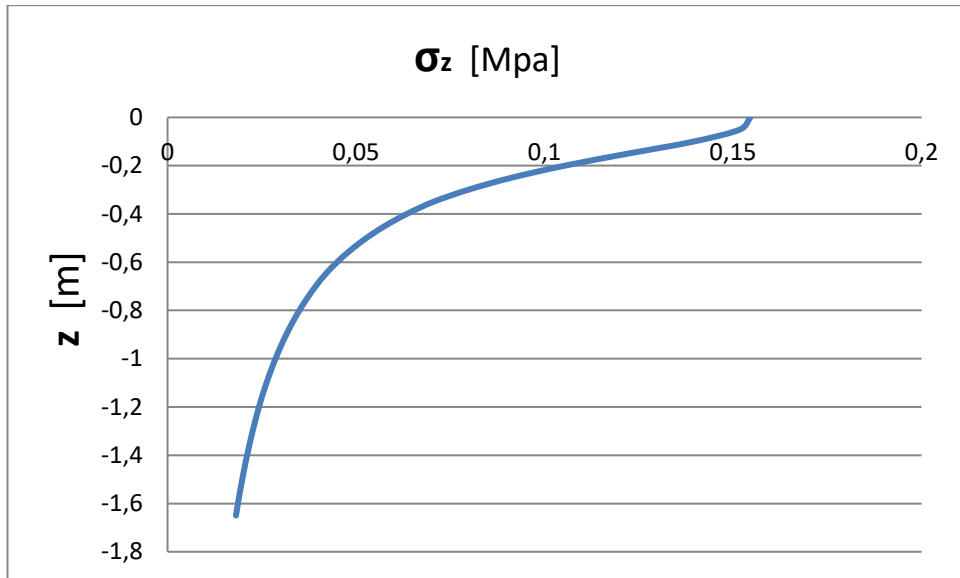
Διάγραμμα Γ.38: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (20^η μέτρηση)

21^η Μέτρηση: Δηζελοηλεκτράμαξα κατασκευής ADTRANZ Σειράς 220 (έλκον όχημα)
 $\rho=0.1545561 \text{ N/mm}^2$

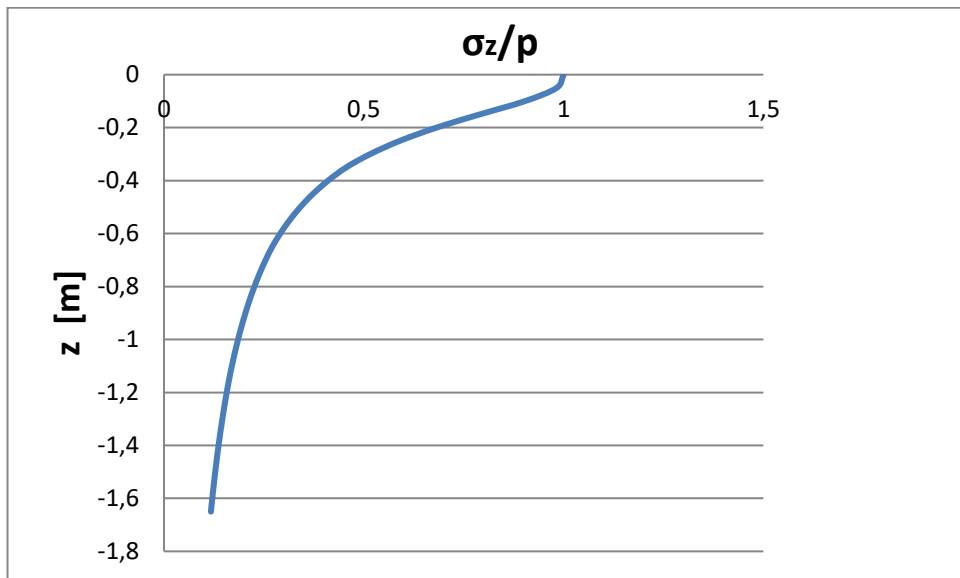
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,154556	1
50	54,37968	0,151863	0,982572
100	108,7594	0,139588	0,903157
150	163,139	0,122176	0,790495
200	217,5187	0,105385	0,681858
250	271,8984	0,091219	0,590199
300	326,2781	0,079741	0,515939
350	380,6577	0,070495	0,456113
400	431,1394	0,06348	0,410725
450	481,621	0,057642	0,372954
500	532,1026	0,052731	0,341176
550	582,5842	0,048554	0,31415
600	633,0658	0,044966	0,290934
650	683,5475	0,041855	0,270806
700	731,0525	0,039285	0,254183
750	778,5575	0,037006	0,239433
800	826,0625	0,034971	0,226264
850	873,5676	0,033143	0,214441
900	921,0726	0,031494	0,203771
950	968,5776	0,029999	0,194096
1000	1016,083	0,028637	0,185285
1050	1063,588	0,027392	0,177228
1100	1111,093	0,026249	0,169835
1150	1158,598	0,025197	0,163028
1200	1204,463	0,024257	0,156948
1250	1250,329	0,023385	0,151302
1300	1296,194	0,022572	0,146044
1350	1342,06	0,021813	0,141136
1400	1387,926	0,021104	0,136545
1450	1433,791	0,020439	0,132241
1500	1479,657	0,019814	0,128198
1550	1525,522	0,019226	0,124394
1600	1571,388	0,018672	0,120807
1650	1617,254	0,018148	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ
(N/mm ²)
0,1545561

Πίνακας Γ.20: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πιέσεων (21^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.39: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (21^η μέτρηση)



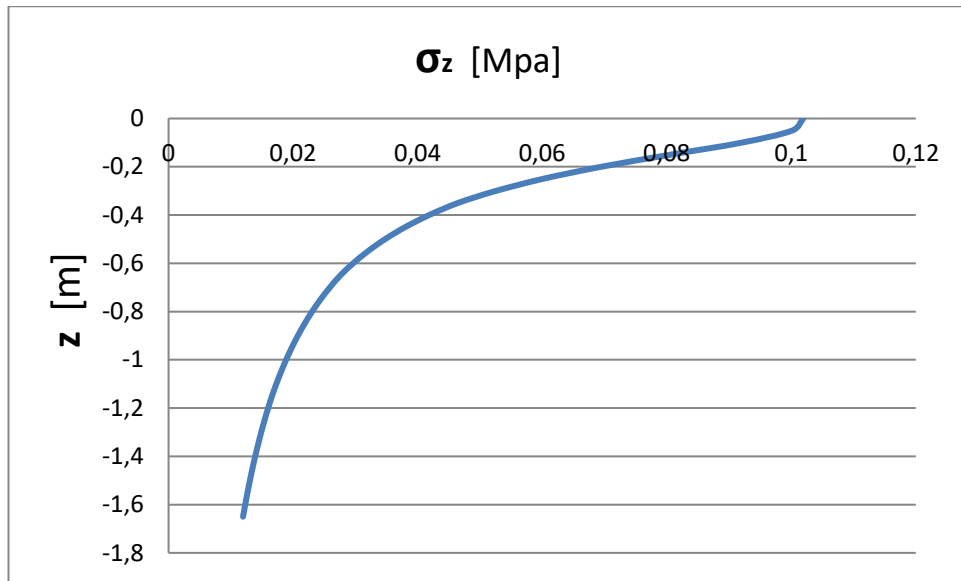
Διάγραμμα Γ.40: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (21^η μέτρηση)

22^η Μέτρηση: Επιβατάμαξα τύπου ADmz/ Bmz κατασκευής σύμφωνα με UIC 567-2
 $\rho=0.1019151 \text{ N/mm}^2$

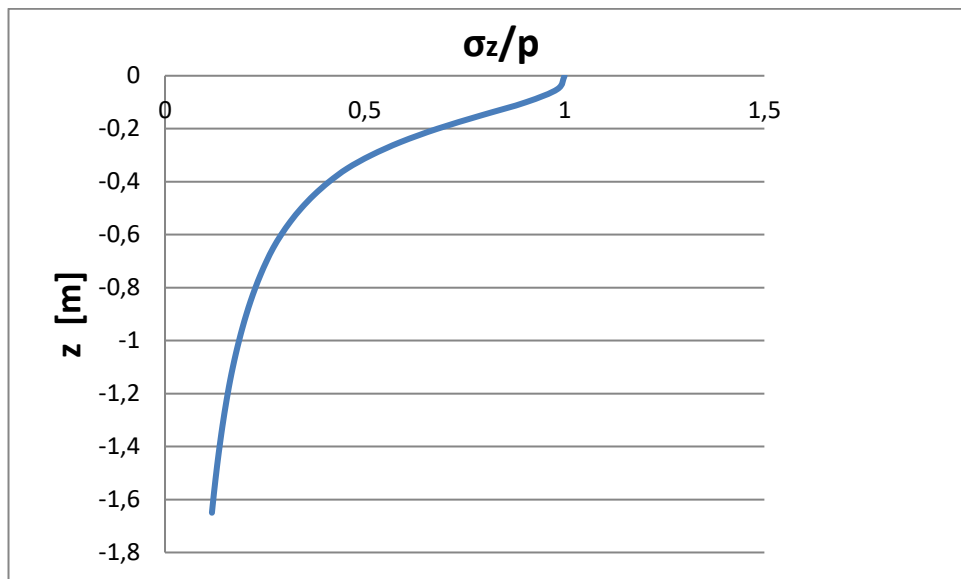
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,101915	1
50	54,37968	0,100139	0,982572
100	108,7594	0,092045	0,903157
150	163,139	0,080563	0,790495
200	217,5187	0,069492	0,681858
250	271,8984	0,06015	0,590199
300	326,2781	0,052582	0,515939
350	380,6577	0,046485	0,456113
400	431,1394	0,041859	0,410725
450	481,621	0,03801	0,372954
500	532,1026	0,034771	0,341176
550	582,5842	0,032017	0,31415
600	633,0658	0,029651	0,290934
650	683,5475	0,027599	0,270806
700	731,0525	0,025905	0,254183
750	778,5575	0,024402	0,239433
800	826,0625	0,02306	0,226264
850	873,5676	0,021855	0,214441
900	921,0726	0,020767	0,203771
950	968,5776	0,019781	0,194096
1000	1016,083	0,018883	0,185285
1050	1063,588	0,018062	0,177228
1100	1111,093	0,017309	0,169835
1150	1158,598	0,016615	0,163028
1200	1204,463	0,015995	0,156948
1250	1250,329	0,01542	0,151302
1300	1296,194	0,014884	0,146044
1350	1342,06	0,014384	0,141136
1400	1387,926	0,013916	0,136545
1450	1433,791	0,013477	0,132241
1500	1479,657	0,013065	0,128198
1550	1525,522	0,012678	0,124394
1600	1571,388	0,012312	0,120807
1650	1617,254	0,011967	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ
(N/mm ²)
0,1019151

Πίνακας Γ.21: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πιέσεων (22^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.41: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (22^η μέτρηση)



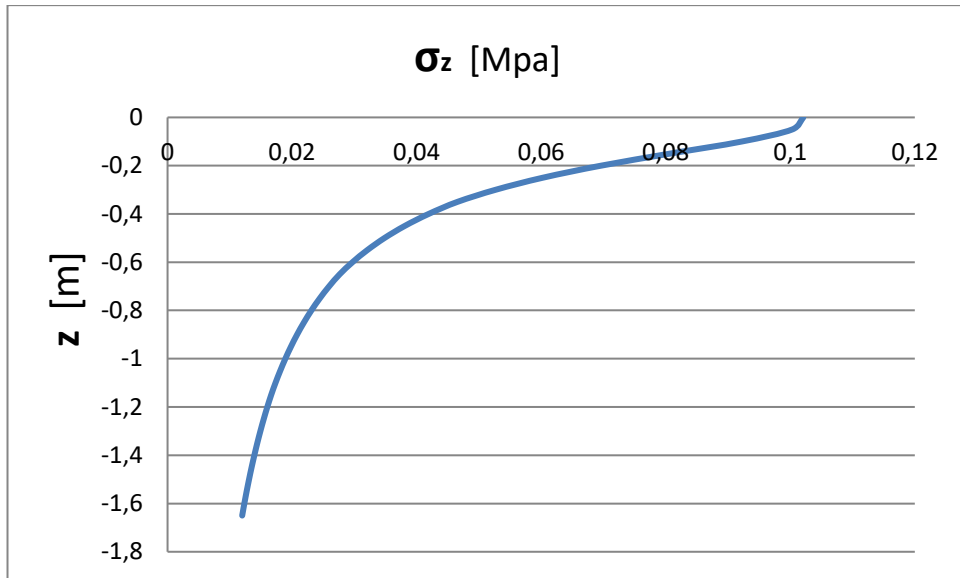
Διάγραμμα Γ.42: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (22^η μέτρηση)

23^η Μέτρηση: Επιβατάμαξα τύπου ADmz/ Bmz κατασκευής σύμφωνα με UIC 567-2
 $\rho=0.1020927 \text{ N/mm}^2$

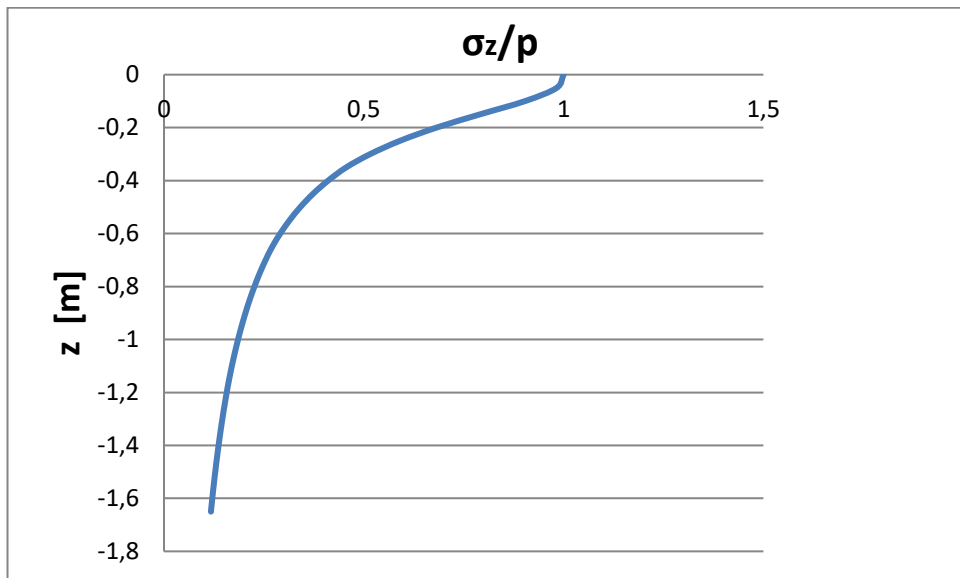
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,102093	1
50	54,37968	0,100313	0,982572
100	108,7594	0,092206	0,903157
150	163,139	0,080704	0,790495
200	217,5187	0,069613	0,681858
250	271,8984	0,060255	0,590199
300	326,2781	0,052674	0,515939
350	380,6577	0,046566	0,456113
400	431,1394	0,041932	0,410725
450	481,621	0,038076	0,372954
500	532,1026	0,034832	0,341176
550	582,5842	0,032072	0,31415
600	633,0658	0,029702	0,290934
650	683,5475	0,027647	0,270806
700	731,0525	0,02595	0,254183
750	778,5575	0,024444	0,239433
800	826,0625	0,0231	0,226264
850	873,5676	0,021893	0,214441
900	921,0726	0,020804	0,203771
950	968,5776	0,019816	0,194096
1000	1016,083	0,018916	0,185285
1050	1063,588	0,018094	0,177228
1100	1111,093	0,017339	0,169835
1150	1158,598	0,016644	0,163028
1200	1204,463	0,016023	0,156948
1250	1250,329	0,015447	0,151302
1300	1296,194	0,01491	0,146044
1350	1342,06	0,014409	0,141136
1400	1387,926	0,01394	0,136545
1450	1433,791	0,013501	0,132241
1500	1479,657	0,013088	0,128198
1550	1525,522	0,0127	0,124394
1600	1571,388	0,012334	0,120807
1650	1617,254	0,011988	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ (N/mm ²)
0,1020927

Πίνακας Γ.22: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πιέσεων (23^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.43: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (23^η μέτρηση)



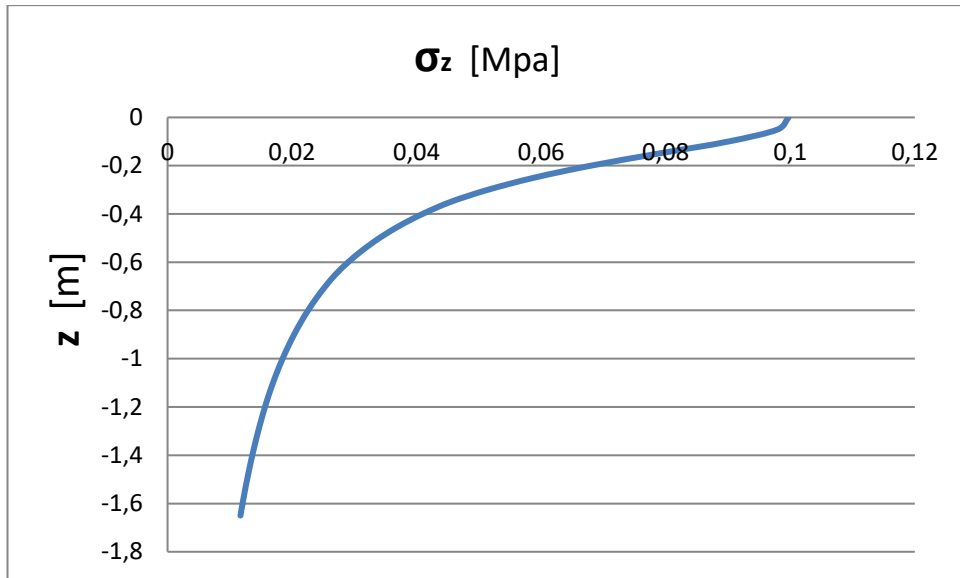
Διάγραμμα Γ.44: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (23^η μέτρηση)

24^η Μέτρηση: Επιβατάμαξα τύπου ADmz/ Bmz κατασκευής σύμφωνα με UIC 567-2
 $\rho=0.0997136 \text{ N/mm}^2$

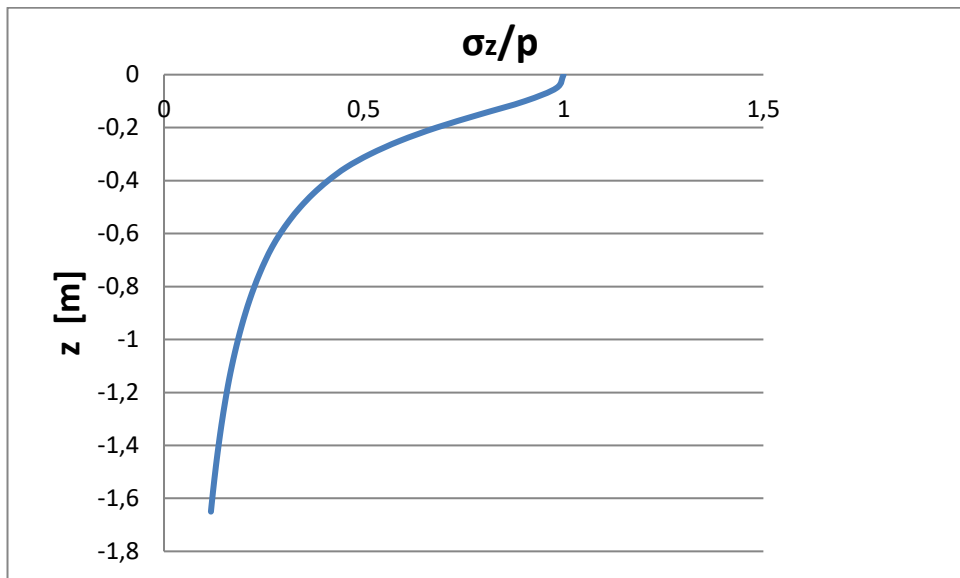
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,099714	1
50	54,37968	0,097976	0,982572
100	108,7594	0,090057	0,903157
150	163,139	0,078823	0,790495
200	217,5187	0,067991	0,681858
250	271,8984	0,058851	0,590199
300	326,2781	0,051446	0,515939
350	380,6577	0,045481	0,456113
400	431,1394	0,040955	0,410725
450	481,621	0,037189	0,372954
500	532,1026	0,03402	0,341176
550	582,5842	0,031325	0,31415
600	633,0658	0,02901	0,290934
650	683,5475	0,027003	0,270806
700	731,0525	0,025345	0,254183
750	778,5575	0,023875	0,239433
800	826,0625	0,022562	0,226264
850	873,5676	0,021383	0,214441
900	921,0726	0,020319	0,203771
950	968,5776	0,019354	0,194096
1000	1016,083	0,018475	0,185285
1050	1063,588	0,017672	0,177228
1100	1111,093	0,016935	0,169835
1150	1158,598	0,016256	0,163028
1200	1204,463	0,01565	0,156948
1250	1250,329	0,015087	0,151302
1300	1296,194	0,014563	0,146044
1350	1342,06	0,014073	0,141136
1400	1387,926	0,013615	0,136545
1450	1433,791	0,013186	0,132241
1500	1479,657	0,012783	0,128198
1550	1525,522	0,012404	0,124394
1600	1571,388	0,012046	0,120807
1650	1617,254	0,011708	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ (N/mm ²)
0,0997136

Πίνακας Γ.23: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πιέσεων (24^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.45: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (24^η μέτρηση)



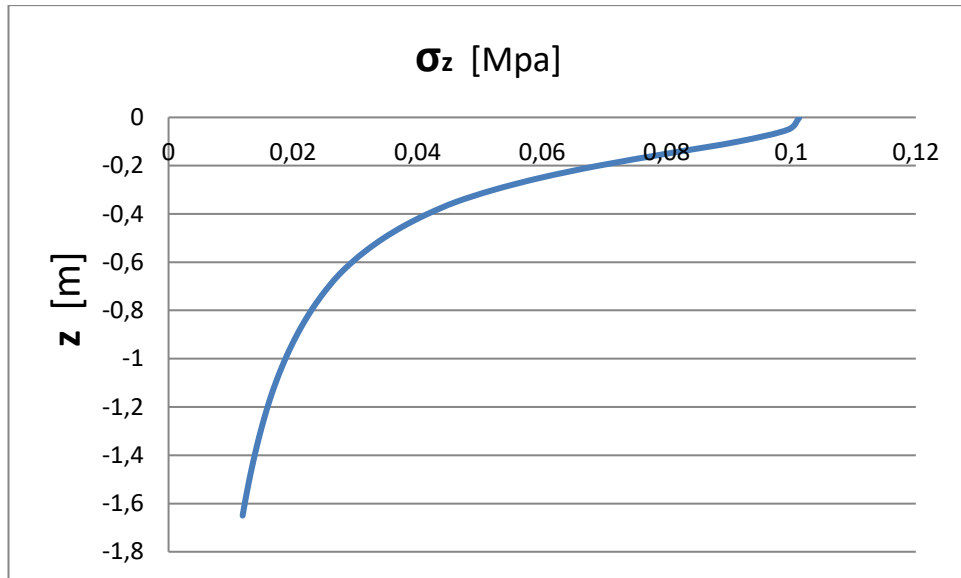
Διάγραμμα Γ.46: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (24^η μέτρηση)

25^η Μέτρηση: Επιβατάμαξα τύπου ADmz/ Bmz κατασκευής σύμφωνα με UIC 567-2
 $\rho = 0.1013033 \text{ N/mm}^2$

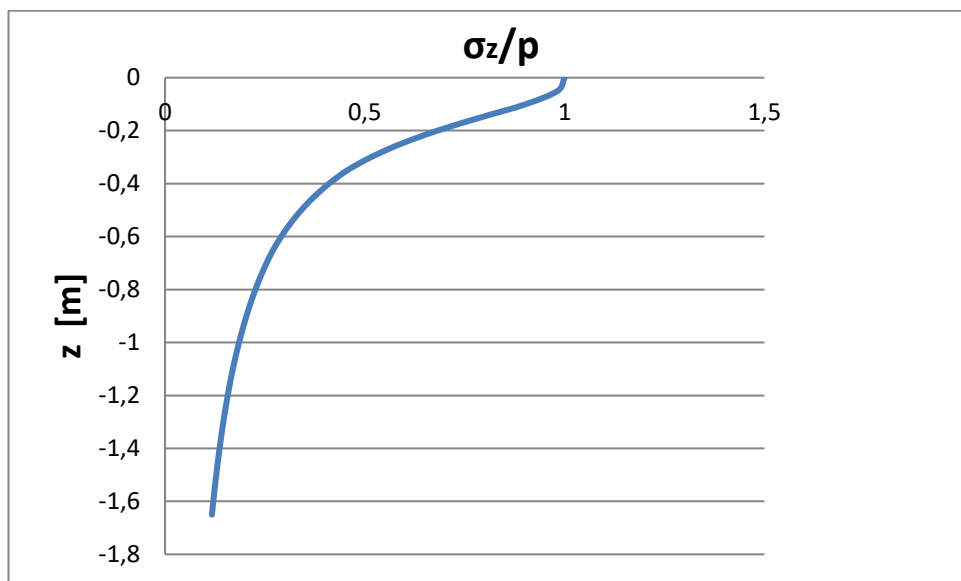
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,101303	1
50	54,37968	0,099538	0,982572
100	108,7594	0,091493	0,903157
150	163,139	0,08008	0,790495
200	217,5187	0,069074	0,681858
250	271,8984	0,059789	0,590199
300	326,2781	0,052266	0,515939
350	380,6577	0,046206	0,456113
400	431,1394	0,041608	0,410725
450	481,621	0,037782	0,372954
500	532,1026	0,034562	0,341176
550	582,5842	0,031824	0,31415
600	633,0658	0,029473	0,290934
650	683,5475	0,027434	0,270806
700	731,0525	0,02575	0,254183
750	778,5575	0,024255	0,239433
800	826,0625	0,022921	0,226264
850	873,5676	0,021724	0,214441
900	921,0726	0,020643	0,203771
950	968,5776	0,019663	0,194096
1000	1016,083	0,01877	0,185285
1050	1063,588	0,017954	0,177228
1100	1111,093	0,017205	0,169835
1150	1158,598	0,016515	0,163028
1200	1204,463	0,015899	0,156948
1250	1250,329	0,015327	0,151302
1300	1296,194	0,014795	0,146044
1350	1342,06	0,014298	0,141136
1400	1387,926	0,013832	0,136545
1450	1433,791	0,013396	0,132241
1500	1479,657	0,012987	0,128198
1550	1525,522	0,012602	0,124394
1600	1571,388	0,012238	0,120807
1650	1617,254	0,011895	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ
(N/mm ²)
0,1013033

Πίνακας Γ.24: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πιέσεων (25^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.47: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (25^η μέτρηση)



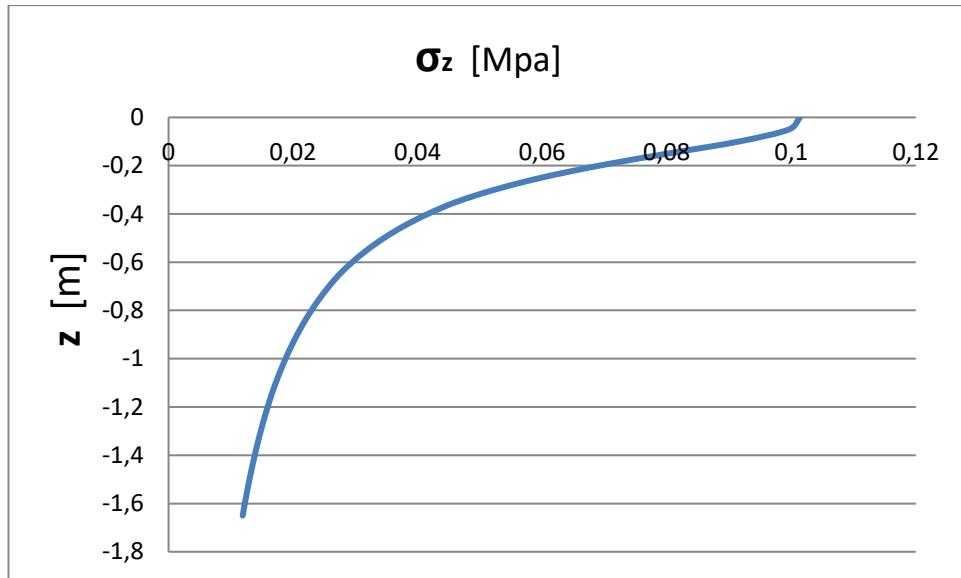
Διάγραμμα Γ.48: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (25^η μέτρηση)

26^η Μέτρηση: Επιβατάμαξα τύπου ADmz/ Bmz κατασκευής σύμφωνα με UIC 567-2
 $\rho = 0.1013898 \text{ N/mm}^2$

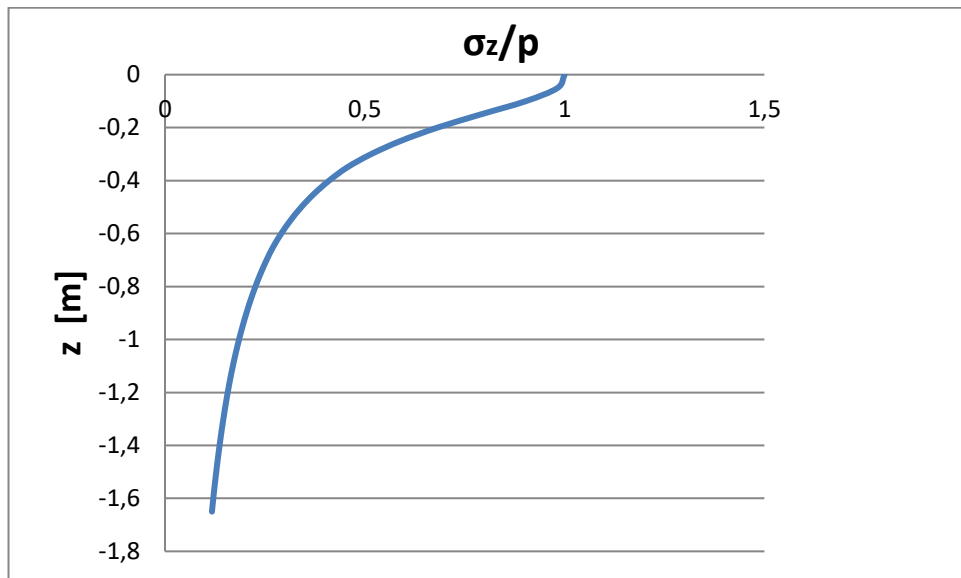
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,10139	1
50	54,37968	0,099623	0,982572
100	108,7594	0,091571	0,903157
150	163,139	0,080148	0,790495
200	217,5187	0,069133	0,681858
250	271,8984	0,05984	0,590199
300	326,2781	0,052311	0,515939
350	380,6577	0,046245	0,456113
400	431,1394	0,041643	0,410725
450	481,621	0,037814	0,372954
500	532,1026	0,034592	0,341176
550	582,5842	0,031852	0,31415
600	633,0658	0,029498	0,290934
650	683,5475	0,027457	0,270806
700	731,0525	0,025772	0,254183
750	778,5575	0,024276	0,239433
800	826,0625	0,022941	0,226264
850	873,5676	0,021742	0,214441
900	921,0726	0,02066	0,203771
950	968,5776	0,019679	0,194096
1000	1016,083	0,018786	0,185285
1050	1063,588	0,017969	0,177228
1100	1111,093	0,01722	0,169835
1150	1158,598	0,016529	0,163028
1200	1204,463	0,015913	0,156948
1250	1250,329	0,01534	0,151302
1300	1296,194	0,014807	0,146044
1350	1342,06	0,01431	0,141136
1400	1387,926	0,013844	0,136545
1450	1433,791	0,013408	0,132241
1500	1479,657	0,012998	0,128198
1550	1525,522	0,012612	0,124394
1600	1571,388	0,012249	0,120807
1650	1617,254	0,011905	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ
(N/mm ²)
0,1013898

Πίνακας Γ.25: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πιέσεων (26^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.49: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (26^η μέτρηση)



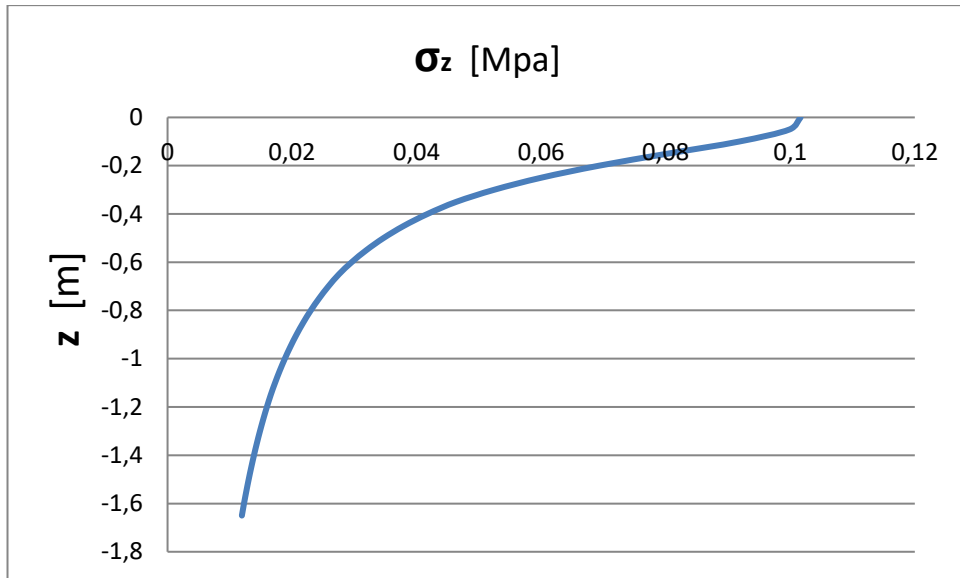
Διάγραμμα Γ.50: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (26^η μέτρηση)

27^η Μέτρηση: Επιβατάμαξα τύπου ADmz/ Bmz κατασκευής σύμφωνα με UIC 567-2
 $\rho = 0.1016511 \text{ N/mm}^2$

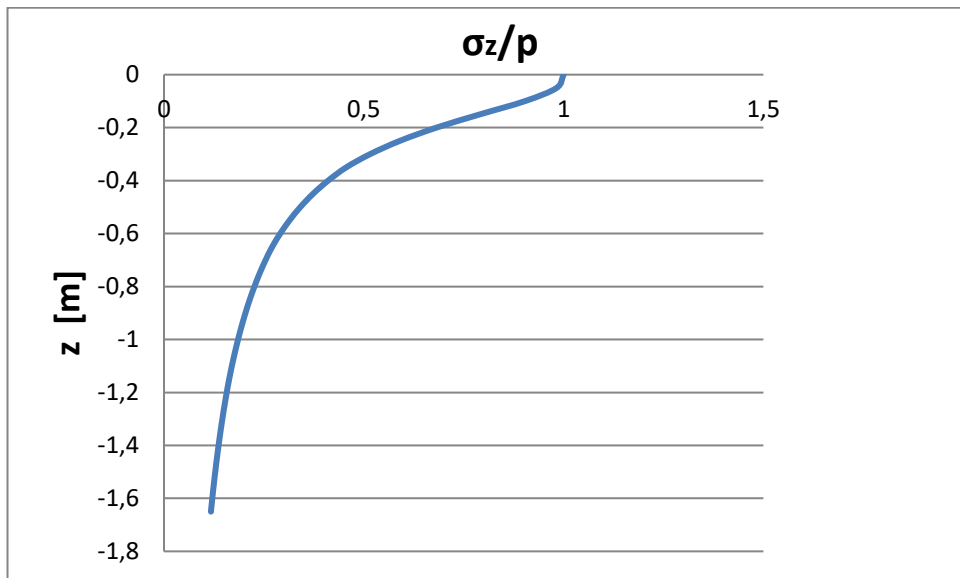
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,101651	1
50	54,37968	0,09988	0,982572
100	108,7594	0,091807	0,903157
150	163,139	0,080355	0,790495
200	217,5187	0,069312	0,681858
250	271,8984	0,059994	0,590199
300	326,2781	0,052446	0,515939
350	380,6577	0,046364	0,456113
400	431,1394	0,041751	0,410725
450	481,621	0,037911	0,372954
500	532,1026	0,034681	0,341176
550	582,5842	0,031934	0,31415
600	633,0658	0,029574	0,290934
650	683,5475	0,027528	0,270806
700	731,0525	0,025838	0,254183
750	778,5575	0,024339	0,239433
800	826,0625	0,023	0,226264
850	873,5676	0,021798	0,214441
900	921,0726	0,020714	0,203771
950	968,5776	0,01973	0,194096
1000	1016,083	0,018834	0,185285
1050	1063,588	0,018015	0,177228
1100	1111,093	0,017264	0,169835
1150	1158,598	0,016572	0,163028
1200	1204,463	0,015954	0,156948
1250	1250,329	0,01538	0,151302
1300	1296,194	0,014846	0,146044
1350	1342,06	0,014347	0,141136
1400	1387,926	0,01388	0,136545
1450	1433,791	0,013442	0,132241
1500	1479,657	0,013031	0,128198
1550	1525,522	0,012645	0,124394
1600	1571,388	0,01228	0,120807
1650	1617,254	0,011936	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ
(N/mm ²)
0,1016511

Πίνακας Γ.26: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πιέσεων (27^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.51: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (27^η μέτρηση)



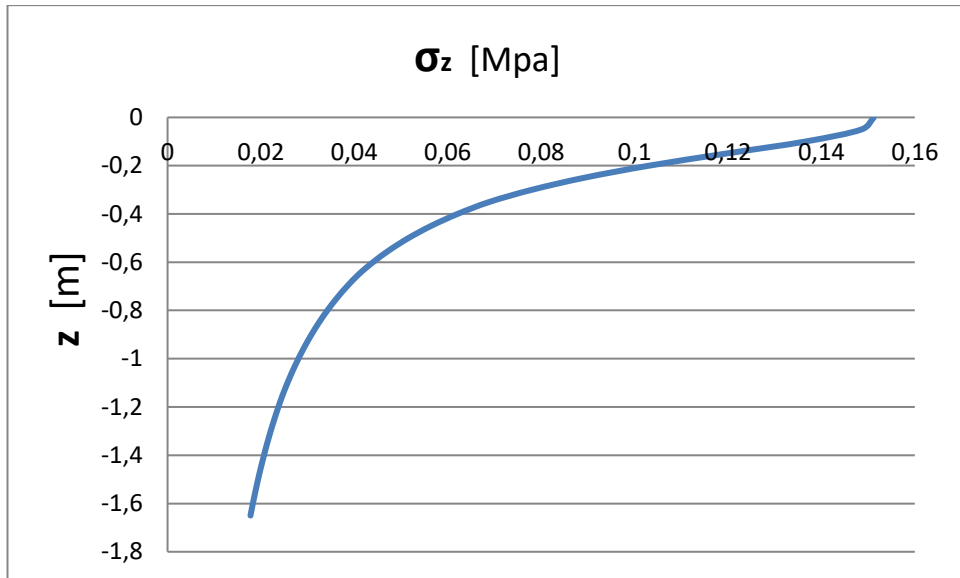
Διάγραμμα Γ.52: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (27^η μέτρηση)

28^η Μέτρηση: Δηζελοηλεκτράμαξα κατασκευής ADTRANZ Σειράς 220 (έλκον όχημα)
 $\rho=0.1512185 \text{ N/mm}^2$

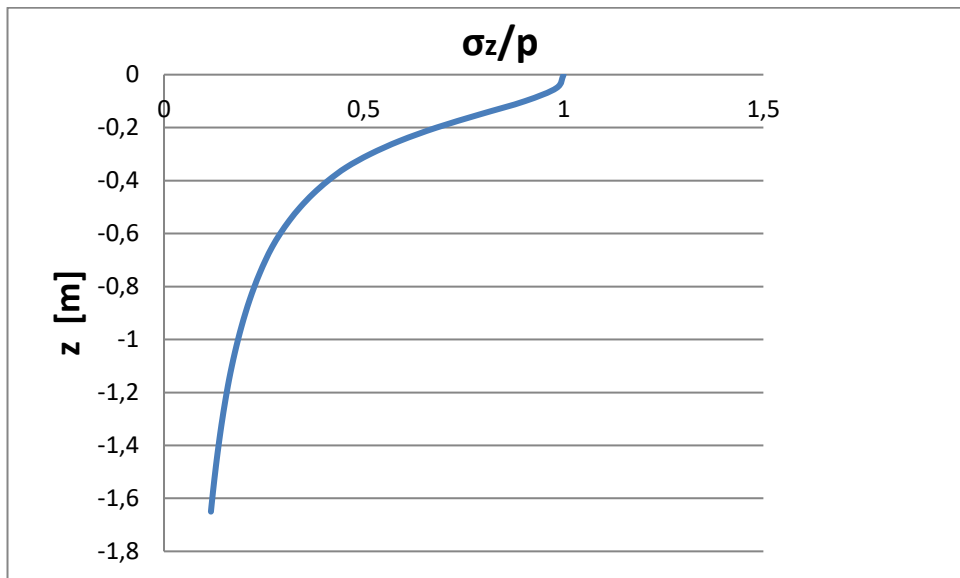
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,151219	1
50	54,37968	0,148583	0,982572
100	108,7594	0,136574	0,903157
150	163,139	0,119537	0,790495
200	217,5187	0,10311	0,681858
250	271,8984	0,089249	0,590199
300	326,2781	0,078019	0,515939
350	380,6577	0,068973	0,456113
400	431,1394	0,062109	0,410725
450	481,621	0,056398	0,372954
500	532,1026	0,051592	0,341176
550	582,5842	0,047505	0,31415
600	633,0658	0,043995	0,290934
650	683,5475	0,040951	0,270806
700	731,0525	0,038437	0,254183
750	778,5575	0,036207	0,239433
800	826,0625	0,034215	0,226264
850	873,5676	0,032427	0,214441
900	921,0726	0,030814	0,203771
950	968,5776	0,029351	0,194096
1000	1016,083	0,028018	0,185285
1050	1063,588	0,0268	0,177228
1100	1111,093	0,025682	0,169835
1150	1158,598	0,024653	0,163028
1200	1204,463	0,023733	0,156948
1250	1250,329	0,02288	0,151302
1300	1296,194	0,022085	0,146044
1350	1342,06	0,021342	0,141136
1400	1387,926	0,020648	0,136545
1450	1433,791	0,019997	0,132241
1500	1479,657	0,019386	0,128198
1550	1525,522	0,018811	0,124394
1600	1571,388	0,018268	0,120807
1650	1617,254	0,017756	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ
(N/mm ²)
0,1512185

Πίνακας Γ.27: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πιέσεων (28^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.53: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (28^η μέτρηση)



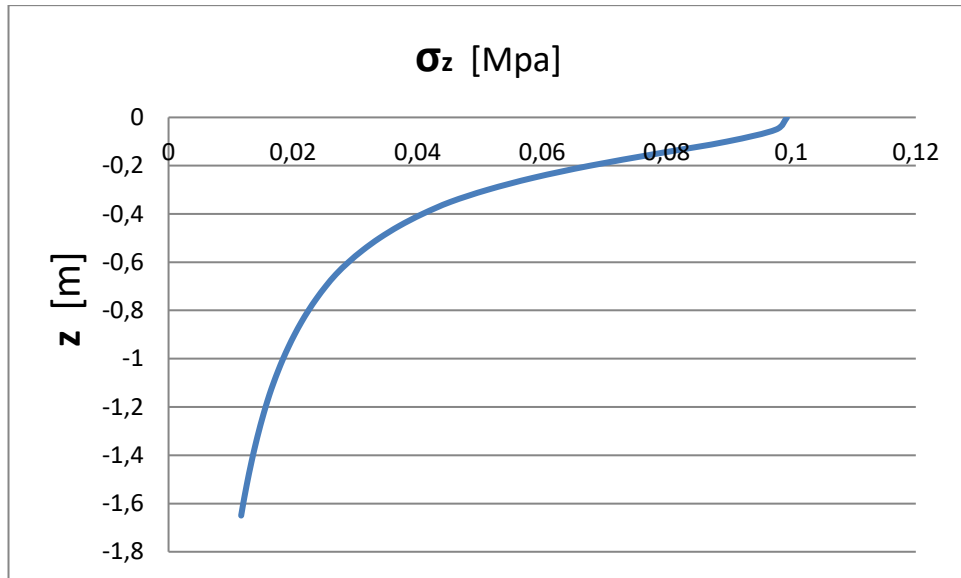
Διάγραμμα Γ.54: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (28^η μέτρηση)

29^η Μέτρηση: Επιβατάμαξα τύπου ADmz/ Bmz κατασκευής σύμφωνα με UIC 567-2
 $\rho=0.0993116 \text{ N/mm}^2$

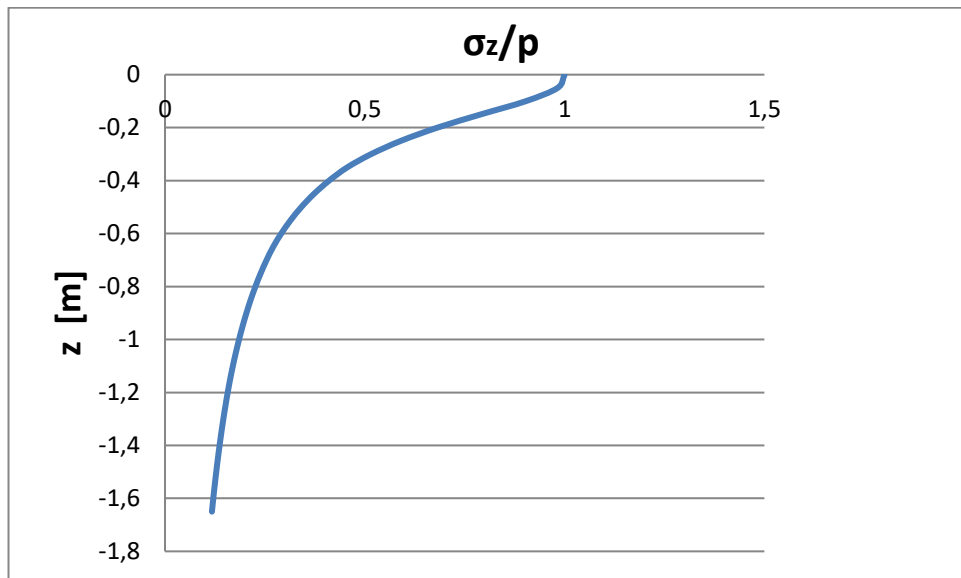
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,099312	1
50	54,37968	0,097581	0,982572
100	108,7594	0,089694	0,903157
150	163,139	0,078505	0,790495
200	217,5187	0,067716	0,681858
250	271,8984	0,058614	0,590199
300	326,2781	0,051239	0,515939
350	380,6577	0,045297	0,456113
400	431,1394	0,04079	0,410725
450	481,621	0,037039	0,372954
500	532,1026	0,033883	0,341176
550	582,5842	0,031199	0,31415
600	633,0658	0,028893	0,290934
650	683,5475	0,026894	0,270806
700	731,0525	0,025243	0,254183
750	778,5575	0,023778	0,239433
800	826,0625	0,022471	0,226264
850	873,5676	0,021296	0,214441
900	921,0726	0,020237	0,203771
950	968,5776	0,019276	0,194096
1000	1016,083	0,018401	0,185285
1050	1063,588	0,017601	0,177228
1100	1111,093	0,016867	0,169835
1150	1158,598	0,016191	0,163028
1200	1204,463	0,015587	0,156948
1250	1250,329	0,015026	0,151302
1300	1296,194	0,014504	0,146044
1350	1342,06	0,014016	0,141136
1400	1387,926	0,01356	0,136545
1450	1433,791	0,013133	0,132241
1500	1479,657	0,012732	0,128198
1550	1525,522	0,012354	0,124394
1600	1571,388	0,011998	0,120807
1650	1617,254	0,011661	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ (N/mm ²)
0,0993116

Πίνακας Γ.28: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πιέσεων (29^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.55: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (29^η μέτρηση)



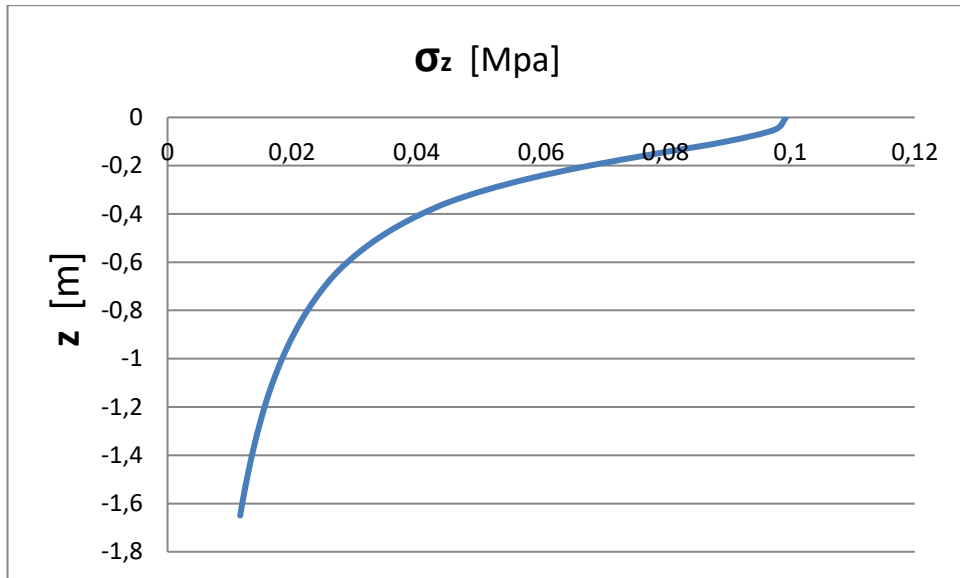
Διάγραμμα Γ.56: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (29^η μέτρηση)

30^η Μέτρηση: Επιβατάμαξα τύπου ADmz/ Bmz κατασκευής σύμφωνα με UIC 567-2
 $\rho=0.0993116 \text{ N/mm}^2$

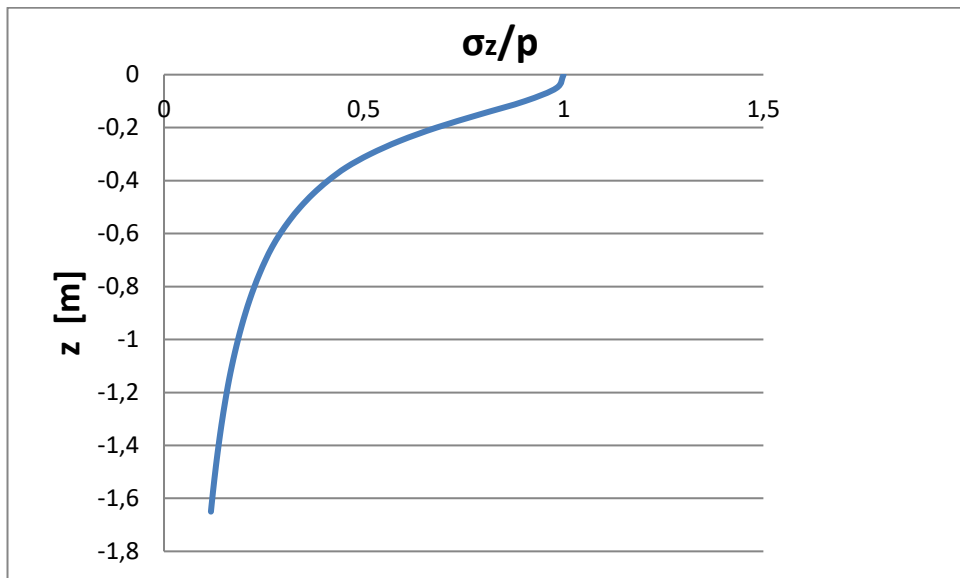
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,099312	1
50	54,37968	0,097581	0,982572
100	108,7594	0,089694	0,903157
150	163,139	0,078505	0,790495
200	217,5187	0,067716	0,681858
250	271,8984	0,058614	0,590199
300	326,2781	0,051239	0,515939
350	380,6577	0,045297	0,456113
400	431,1394	0,04079	0,410725
450	481,621	0,037039	0,372954
500	532,1026	0,033883	0,341176
550	582,5842	0,031199	0,31415
600	633,0658	0,028893	0,290934
650	683,5475	0,026894	0,270806
700	731,0525	0,025243	0,254183
750	778,5575	0,023778	0,239433
800	826,0625	0,022471	0,226264
850	873,5676	0,021296	0,214441
900	921,0726	0,020237	0,203771
950	968,5776	0,019276	0,194096
1000	1016,083	0,018401	0,185285
1050	1063,588	0,017601	0,177228
1100	1111,093	0,016867	0,169835
1150	1158,598	0,016191	0,163028
1200	1204,463	0,015587	0,156948
1250	1250,329	0,015026	0,151302
1300	1296,194	0,014504	0,146044
1350	1342,06	0,014016	0,141136
1400	1387,926	0,01356	0,136545
1450	1433,791	0,013133	0,132241
1500	1479,657	0,012732	0,128198
1550	1525,522	0,012354	0,124394
1600	1571,388	0,011998	0,120807
1650	1617,254	0,011661	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ
(N/mm ²)
0,0993116

Πίνακας Γ.29: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πιέσεων (30^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.57: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (30^η μέτρηση)



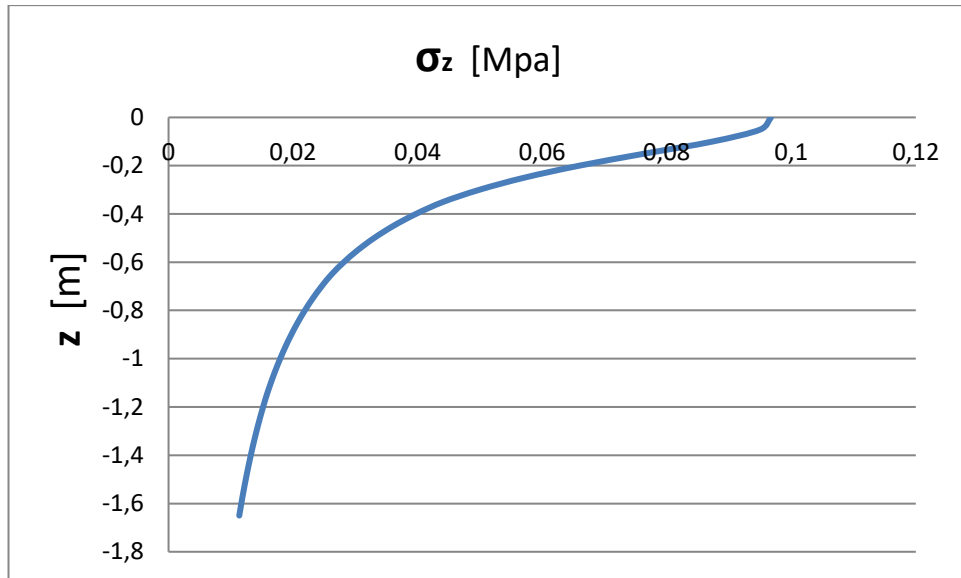
Διάγραμμα Γ.58: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (30^η μέτρηση)

31^η Μέτρηση: Επιβατάμαξα τύπου ADmz/ Bmz κατασκευής σύμφωνα με UIC 567-2
 $\rho = 0.0967387 \text{ N/mm}^2$

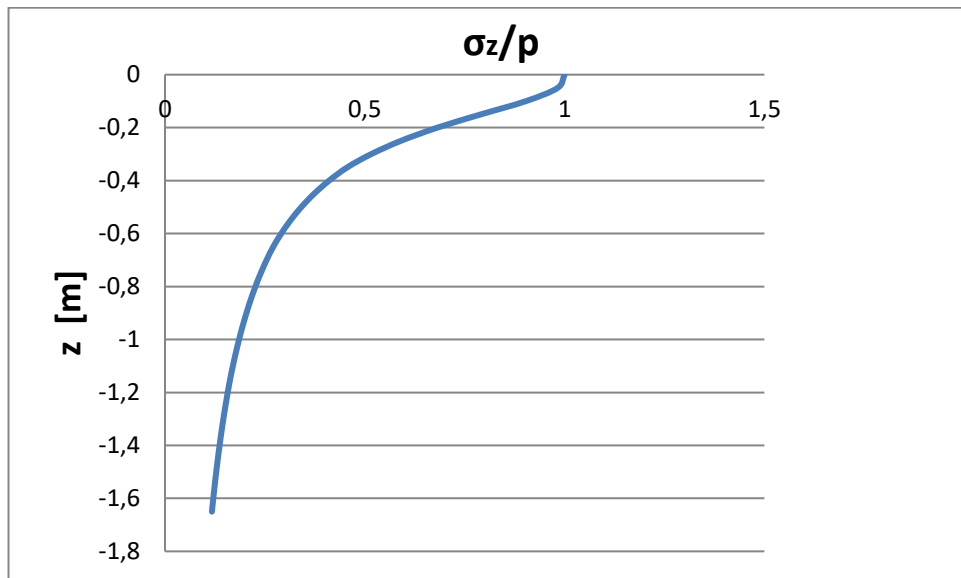
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,096739	1
50	54,37968	0,095053	0,982572
100	108,7594	0,08737	0,903157
150	163,139	0,076471	0,790495
200	217,5187	0,065962	0,681858
250	271,8984	0,057095	0,590199
300	326,2781	0,049911	0,515939
350	380,6577	0,044124	0,456113
400	431,1394	0,039733	0,410725
450	481,621	0,036079	0,372954
500	532,1026	0,033005	0,341176
550	582,5842	0,03039	0,31415
600	633,0658	0,028145	0,290934
650	683,5475	0,026197	0,270806
700	731,0525	0,024589	0,254183
750	778,5575	0,023162	0,239433
800	826,0625	0,021889	0,226264
850	873,5676	0,020745	0,214441
900	921,0726	0,019713	0,203771
950	968,5776	0,018777	0,194096
1000	1016,083	0,017924	0,185285
1050	1063,588	0,017145	0,177228
1100	1111,093	0,01643	0,169835
1150	1158,598	0,015771	0,163028
1200	1204,463	0,015183	0,156948
1250	1250,329	0,014637	0,151302
1300	1296,194	0,014128	0,146044
1350	1342,06	0,013653	0,141136
1400	1387,926	0,013209	0,136545
1450	1433,791	0,012793	0,132241
1500	1479,657	0,012402	0,128198
1550	1525,522	0,012034	0,124394
1600	1571,388	0,011687	0,120807
1650	1617,254	0,011359	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ
(N/mm ²)
0,0967387

Πίνακας Γ.30: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πίεσεων (31^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.59: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (31^η μέτρηση)



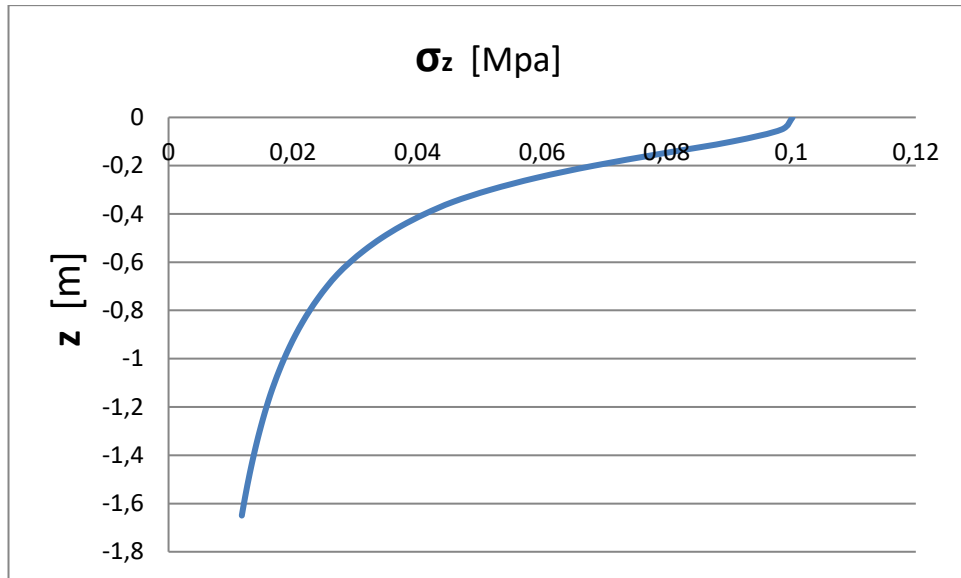
Διάγραμμα Γ.60: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (31^η μέτρηση)

32^η Μέτρηση: Επιβατάμαξα τύπου ADmz/ Bmz κατασκευής σύμφωνα με UIC 567-2
 $\rho=0.1002048 \text{ N/mm}^2$

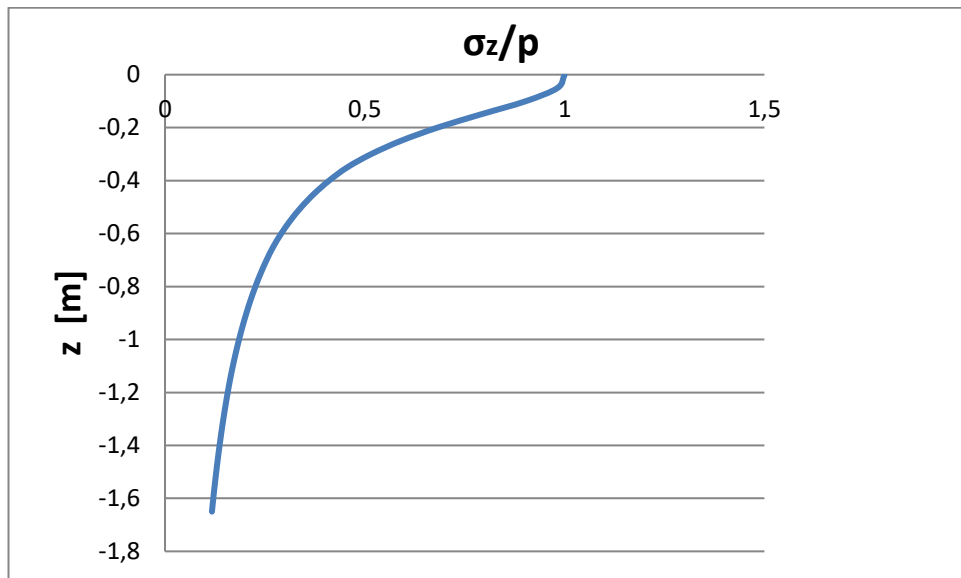
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,100205	1
50	54,37968	0,098458	0,982572
100	108,7594	0,090501	0,903157
150	163,139	0,079211	0,790495
200	217,5187	0,068325	0,681858
250	271,8984	0,059141	0,590199
300	326,2781	0,0517	0,515939
350	380,6577	0,045705	0,456113
400	431,1394	0,041157	0,410725
450	481,621	0,037372	0,372954
500	532,1026	0,034187	0,341176
550	582,5842	0,031479	0,31415
600	633,0658	0,029153	0,290934
650	683,5475	0,027136	0,270806
700	731,0525	0,02547	0,254183
750	778,5575	0,023992	0,239433
800	826,0625	0,022673	0,226264
850	873,5676	0,021488	0,214441
900	921,0726	0,020419	0,203771
950	968,5776	0,019449	0,194096
1000	1016,083	0,018566	0,185285
1050	1063,588	0,017759	0,177228
1100	1111,093	0,017018	0,169835
1150	1158,598	0,016336	0,163028
1200	1204,463	0,015727	0,156948
1250	1250,329	0,015161	0,151302
1300	1296,194	0,014634	0,146044
1350	1342,06	0,014143	0,141136
1400	1387,926	0,013682	0,136545
1450	1433,791	0,013251	0,132241
1500	1479,657	0,012846	0,128198
1550	1525,522	0,012465	0,124394
1600	1571,388	0,012105	0,120807
1650	1617,254	0,011766	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ
(N/mm ²)
0,1002048

Πίνακας Γ.31: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πιέσεων (32^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.61: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (32^η μέτρηση)



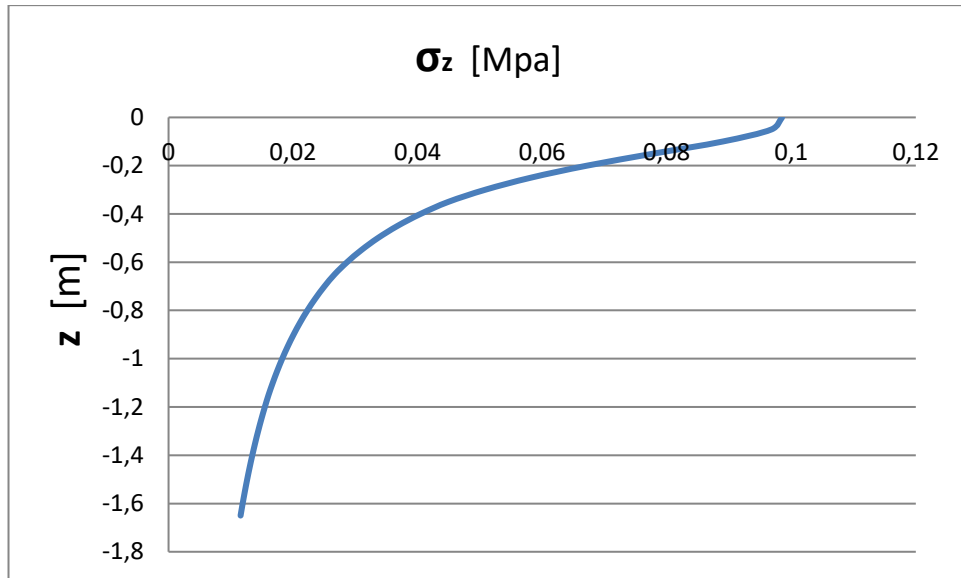
Διάγραμμα Γ.62: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (32^η μέτρηση)

33^η Μέτρηση: Επιβατάμαξα τύπου ADmz/ Bmz κατασκευής σύμφωνα με UIC 567-2
 $\rho = 0.0985264 \text{ N/mm}^2$

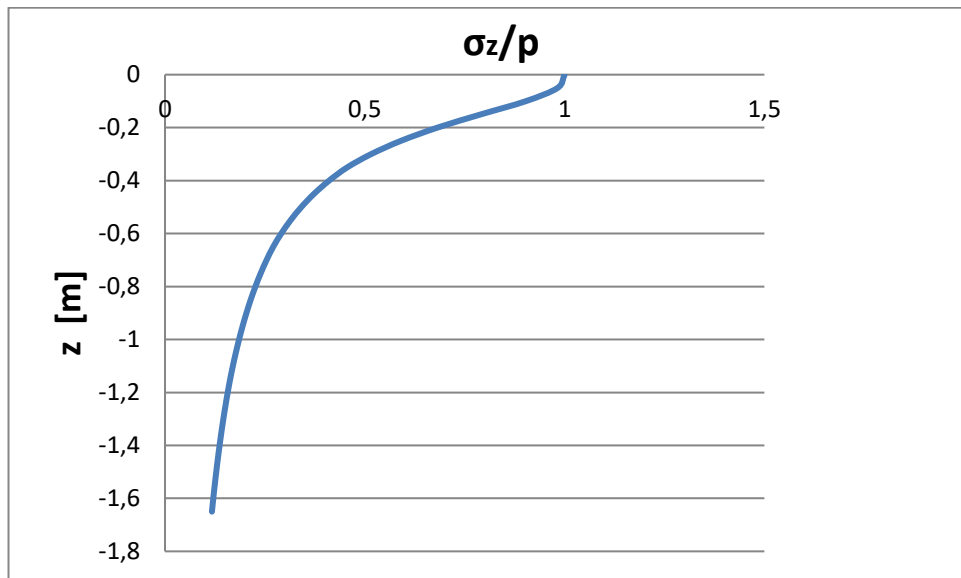
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,098526	1
50	54,37968	0,096809	0,982572
100	108,7594	0,088985	0,903157
150	163,139	0,077885	0,790495
200	217,5187	0,067181	0,681858
250	271,8984	0,05815	0,590199
300	326,2781	0,050834	0,515939
350	380,6577	0,044939	0,456113
400	431,1394	0,040467	0,410725
450	481,621	0,036746	0,372954
500	532,1026	0,033615	0,341176
550	582,5842	0,030952	0,31415
600	633,0658	0,028665	0,290934
650	683,5475	0,026682	0,270806
700	731,0525	0,025044	0,254183
750	778,5575	0,02359	0,239433
800	826,0625	0,022293	0,226264
850	873,5676	0,021128	0,214441
900	921,0726	0,020077	0,203771
950	968,5776	0,019124	0,194096
1000	1016,083	0,018255	0,185285
1050	1063,588	0,017462	0,177228
1100	1111,093	0,016733	0,169835
1150	1158,598	0,016063	0,163028
1200	1204,463	0,015464	0,156948
1250	1250,329	0,014907	0,151302
1300	1296,194	0,014389	0,146044
1350	1342,06	0,013906	0,141136
1400	1387,926	0,013453	0,136545
1450	1433,791	0,013029	0,132241
1500	1479,657	0,012631	0,128198
1550	1525,522	0,012256	0,124394
1600	1571,388	0,011903	0,120807
1650	1617,254	0,011569	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ
(N/mm ²)
0,0985264

Πίνακας Γ.32: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πιέσεων (33^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.63: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (33^η μέτρηση)



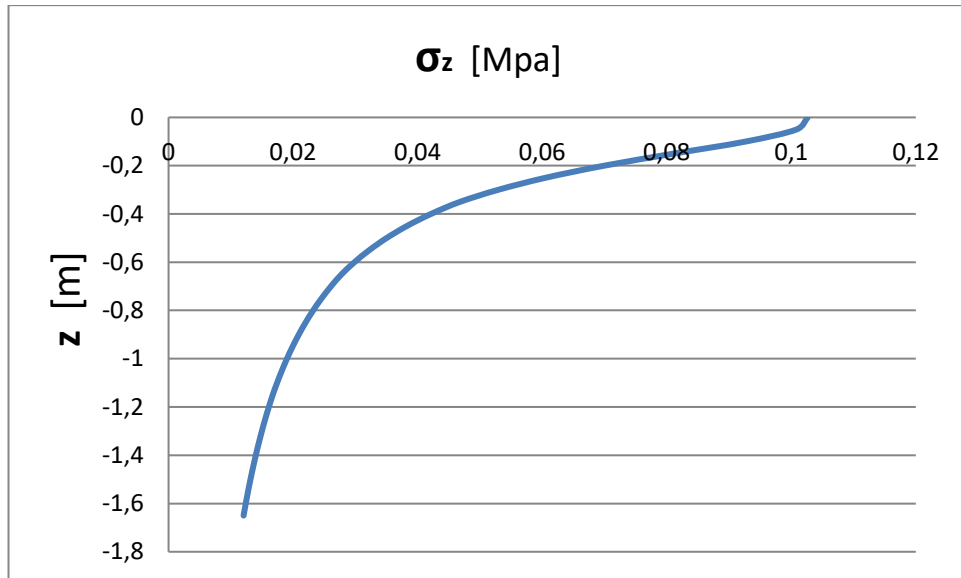
Διάγραμμα Γ.64: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (33^η μέτρηση)

34^η Μέτρηση: Επιβατάμαξα τύπου ADmz/ Bmz κατασκευής σύμφωνα με UIC 567-2
 $\rho = 0.1026329 \text{ N/mm}^2$

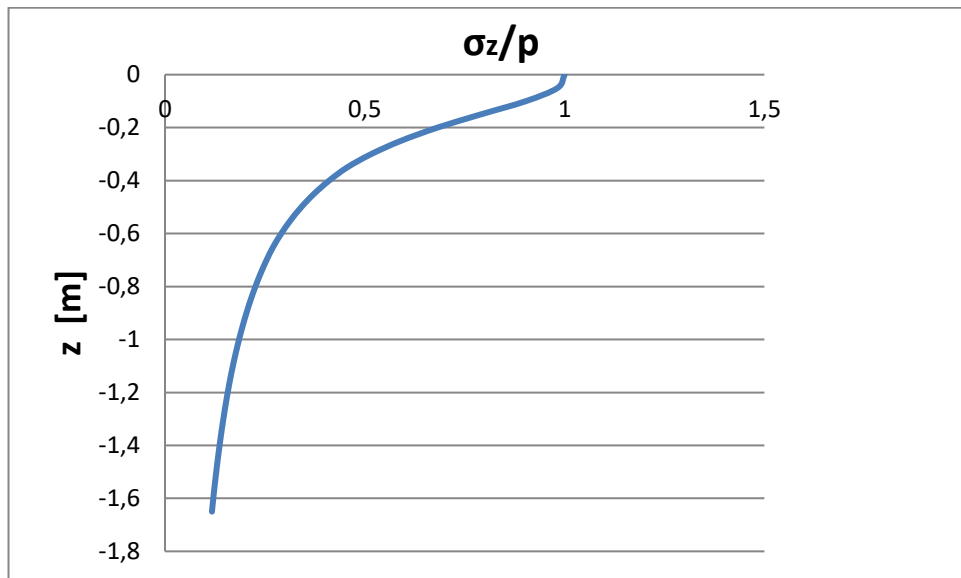
z (mm)	z' (mm)	σ_z	σ_z/ρ
0	0	0,102633	1
50	54,37968	0,100844	0,982572
100	108,7594	0,092694	0,903157
150	163,139	0,081131	0,790495
200	217,5187	0,069981	0,681858
250	271,8984	0,060574	0,590199
300	326,2781	0,052952	0,515939
350	380,6577	0,046812	0,456113
400	431,1394	0,042154	0,410725
450	481,621	0,038277	0,372954
500	532,1026	0,035016	0,341176
550	582,5842	0,032242	0,31415
600	633,0658	0,029859	0,290934
650	683,5475	0,027794	0,270806
700	731,0525	0,026087	0,254183
750	778,5575	0,024574	0,239433
800	826,0625	0,023222	0,226264
850	873,5676	0,022009	0,214441
900	921,0726	0,020914	0,203771
950	968,5776	0,019921	0,194096
1000	1016,083	0,019016	0,185285
1050	1063,588	0,018189	0,177228
1100	1111,093	0,017431	0,169835
1150	1158,598	0,016732	0,163028
1200	1204,463	0,016108	0,156948
1250	1250,329	0,015529	0,151302
1300	1296,194	0,014989	0,146044
1350	1342,06	0,014485	0,141136
1400	1387,926	0,014014	0,136545
1450	1433,791	0,013572	0,132241
1500	1479,657	0,013157	0,128198
1550	1525,522	0,012767	0,124394
1600	1571,388	0,012399	0,120807
1650	1617,254	0,012051	0,117421

bs (mm)
300
π
3,141593
ρ
(N/mm ²)
0,1026329

Πίνακας Γ.33: Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων –πιέσεων (34^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.65: Κατανομή τάσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (34^η μέτρηση)



Διάγραμμα Γ.66: Κατανομή λόγου τάσεων/πιέσεων σε βάθος z κάτω από το στρωτήρα (34^η μέτρηση)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Λυμπέρης Κ., (2009) «Σιδηροδρομική Θεωρία και Εφαρμογές» , Εκδόσεις Συμμετρία
- Eisenmann J. ,(1974) « Forschungsarbeiten auf dem Gebiet des Eisenbahn- und Strassenoberbaues», Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn
- Leykauf G. , Mattner L., (1990) «Elastisches Verformungsverhalten des Eisenbahnoberbaus» ,Eisenbahningenieur 41
- Leykauf G. , (2004) «Lehrstuhl und Prüfamnt für Bau von Landverkehrswegen» , Technische Universität München, Report No 2094
- Göbel C. , Lieberenz K. , (2004) «Handbuch Erdbauwerke der Bahnen» , Tetzlaff-Hestra GmbH & Co
- Lichtberger B., (2010) «Handbuch Gleis» , TZ-Verlag & Print GmbH, Rossdorf
- Kohler M. , (2002) «Der Bettungsmodul für den Schotteroberbau von Meterspurbahnen»
- Λοίζος Α., Πλατή Χ. ,(2016) «Σημειώσεις για το μάθημα Οδοστρώματα», Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
- Γκαζέτας Γ. ,(2012) «Σημειώσεις Εδαφομηχανικής» , Τομέας Γεωτεχνικής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Έκδοση 2.12
- Αναγνωστόπουλος Α., Παπαδόπουλος Β., (2011) «Επιφανειακές Θεμελιώσεις και Θεμελιώσεις με Πασσάλους» , Εκδόσεις Συμεών
- KYOWA Electronic Instruments Co. ,LTD , PCD-300A/320A Sensor Interface Control Software ,PCD-30A Instruction Manual
- Κοκολάκης Γ., Σπηλιώτης Ι. ,(2004) «Εισαγωγή στη Θεωρία Πιθανοτήτων και Στατιστική», Εκδόσεις Συμεών
- Fischer J., Rießberger K.,(1992) «Research on Behavior of Sleepers on Railway Ballast from Greece», Final Report, Graz

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ιδιαίτερες ευχαριστίες για τη συμβολή τους στην ολοκλήρωση και διευκόλυνση της παρούσας διπλωματικής εργασίας στους:

- Κύριο Κωνσταντίνο Λυμπέρη, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π, για τη βοήθεια του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.
- Κύριο Αθανάσιο Μπαλλή, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός- Συγκοινωνιολόγος, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π. , για την επίλεψη και καθοδήγηση του κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.
- Κύριο Θεόδωρο Τζαβαλά, Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π. –Μηχανικός Κατασκευής Επιδομής Γραμμής ΑΚΤΩΡ Α.Τ.Ε., για την πολύτιμη βοήθεια του στην εύρεση κατάλληλης θέσης μετρήσεων, τη συμμετοχή του στη διεξαγωγή των μετρήσεων και για την εξασφάλιση των απαιτούμενων πληροφοριών.
- Κύριο Αλέξανδρο Μπουρίκα , Προϊστάμενος του τμήματος της γραμμής του Ο.Σ.Ε. όπου έγιναν οι μετρήσεις, για την προσωπική του παρουσία κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων και για την διαμεσολάβηση του για την παρουσία εξουσιοδοτημένων στελεχών του Ο.Σ.Ε. για την ασφάλεια μας στο χώρο των μετρήσεων.