

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ



**ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ C ΚΑΙ ΤΩΝ
ΘΑΛΠΤΙΚΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΣΕ ΤΜΗΜΑ ΓΡΑΜΜΗΣ ΤΟΥ Η.Σ.Α.Π.**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΜΟΥΤΣΟΥ Ι. ΓΕΩΡΓΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΑΥΜΠΕΡΗΣ
ΔΕΚΤΟΡΑΣ Ε.Μ.Π.

ΑΝΔΡΕΑΣ ΛΟΪΖΟΣ
ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2004

ΣΥΝΟΨΗ

Τίτλος: «Προσδιορισμός του δείκτη αντίδρασης εδάφους C και των θλιπτικών τάσεων σε τμήμα γραμμής του Η.Σ.Α.Π.»

Όνομα: Μούτσου Γεωργία

Επόπτες: Λυμπεύρης Κωνσταντίνος, Λέκτορας Ε.Μ.Π.
Λοίζος Ανδρέας, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

2004

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο προσδιορισμός του δείκτη αντίδρασης εδάφους C. Προς τούτο γίνονται μετρήσεις βυθίσεων σε τμήμα γραμμής του Η.Σ.Α.Π. με μία μέθοδο που αναπτύσσεται στα πλαίσια της εκπόνησης της εργασίας αυτής. Στη συνέχεια υπολογίζεται ο δείκτης αντίδρασης εδάφους C σύμφωνα με τη θεωρία του Zimmermann αλλά και οι κατακόρυφες θλιπτικές τάσεις σ_z κάτω από τον υπό εξέταση στρωτήρα με τη θεωρία του Odemark. Υπολογίζεται επίσης η αναμενόμενη στατική και δυναμική βύθιση καθώς και οι θλιπτικές τάσεις που αντιστοιχούν σε αυτές. Οι παραπάνω τάσεις συγκρίνονται με τα επιτρεπόμενα όρια όπως αυτά αναφέρονται στη βιβλιογραφία.

Λέξεις κλειδιά: δείκτης αντίδρασης εδάφους, κατά μήκος στρωτήρας, βύθιση, ισοδύναμο βάθος, αναμενόμενη στατική και δυναμική βύθιση, θλιπτικές τάσεις, επιτρεπόμενα όρια, έργο.

ABSTRACT

Title: «Determination of the ground's reaction indicator C and of the pressing tensions at the I.S.A.P. railway»

Name: Moutsou Georgia

Supervisors: Liberis Konstantinos, Lecturer of N.T.U.A.
Loizos Andreas, Substitute Professor of N.T.U.A.

2004

The purpose of the present dissertation is the determination of the ground's reaction indicator C. Therefore the deflection's measuring takes place at I.S.A.P.'s railway using a method which has been evolved during the present dissertation. The determination of the ground's reaction indicator using Zimmermann's method is attempted thereafter, as well as the calculation of the vertical pressing stresses below the sleeper using Odemark's method. The expected static and dynamic deflections are being calculated as well as the pressing stresses that came out of those deflections. The above stresses are being compared to the permissible limits that are taken from bibliography.

Key words: ground's reaction indicator, longitudinal sleeper, equivalent depth, deflection, expected static and dynamic deflection, pressing stresses, permissible limits, ballast.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο προσδιορισμός του δείκτη αντίδρασης εδάφους C στη γραμμή του Η.Σ.Α.Π., έτσι ώστε να καταστεί δυνατή η αξιολόγηση της κατάστασης της γραμμής. Προς τούτο εξετάζεται η θεωρία του κατά μήκος στρωτήρα και του δείκτη αντίδρασης εδάφους σύμφωνα με τον Zimmemmann. Για τη χρησιμοποίηση της παραπάνω θεωρίας κρίνεται απαραίτητη η μέτρηση της βύθισης της σιδηροτροχιάς κατά τη διέλευση ενός συρμού. Η μέτρηση αυτή επιτυγχάνεται με τη βοήθεια μιας μεθόδου η οποία αναπτύσσεται στα πλαίσια της εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Η επεξεργασία των μετρήσεων αυτών δίνουν τις μέσες τιμές βύθισης με βάση τις οποίες υπολογίζεται στη συνέχεια ο δείκτης αντίδρασης εδάφους. Συγχρόνως υπολογίζεται η αναμενόμενη στατική και δυναμική βύθιση κάθε σημείου (ο δείκτης αντίδρασης εδάφους λαμβάνεται κατ'εκτίμηση). Για τις μετρηθείσες βυθίσεις και για μία μέτρηση κάθε σημείου μέτρησης καταγράφονται αναλυτικά οι διαδοχικές βυθίσεις του υπό εξέταση στρωτήρα κατά τη διέλευση ενός συρμού και οι τιμές απεικονίζονται στα αντίστοιχα διαγράμματα σε συνάρτηση με το χρόνο.

Στην επόμενη ενότητα υπολογίζονται οι κατακόρυφες θλιπτικές τάσεις κάτω από κάθε υπό εξέταση στρωτήρα με τη θεωρία του Odemark, θεωρώντας κάθε φορά μέτρο ελαστικότητας του εδάφους E_{v2} αυτό που αντιστοιχεί στον δείκτη αντίδρασης εδάφους που υπολογίστηκε σε κάθε σημείο. Ομοίως συμβαίνει και για τις αναμενόμενες βυθίσεις και τον δείκτη αντίδρασης εδάφους C που θεωρήθηκε. Προκειμένου για ακριβέστερο υπολογισμό λαμβάνεται υπόψη και η επίδραση των γειτονικών στρωτήρων. Οι τάσεις που προκύπτουν συγκρίνονται με τα επιτρεπόμενα όρια. Τέλος δημιουργούνται διαγράμματα μεταβολής των τάσεων κάτω από τον υπό εξέταση στρωτήρα σε συνάρτηση με το χρόνο και συγκρίνονται με αντίστοιχα από τη βιβλιογραφία.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	i
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	1
1.1. Θεωρία του δείκτη αντίδρασης εδάφους	1
1.1.1. Υπολογισμός του δείκτη αντίδρασης εδάφους C	3
1.2. Θεωρία του κατά μήκος στρωτήρα	4
1.3. Διακύμανση του πάχους στρώσης έρματος	10
1.4. Η θεωρία του Odemark	14
1.4.1. Υπολογισμός τάσεων σε σύστημα πολλών στρώσεων στον άξονα της φόρτισης	15
1.4.2. Επίδραση των γειτονικών στρωτήρων στις τάσεις του εδάφους ..	17
1.4.3. Επιτρεπόμενες τάσεις στο έδαφος	18
1.5. Επίδρασεις κατά τη διέλευση συρμού σε επιδομή, υποδομή και υπέδαφος	19
1.5.1. Μεγέθη επίδρασης κάτω από διερχόμενο συρμό	20
1.5.2. Αλλαγές της γραμμής από διέλευση συρμών	24
1.5.3. Διαδικασία για την πιθανή βελτίωση της γραμμής	25
1.6. Σύγκριση βυθίσεων σε πολύ μικρές και πολύ μεγάλες ταχύτητες διέλευσης συρμών	27
2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	28
3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΡΟΠΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	30
4. ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	32
5. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΤΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΠΟΥ ΕΞΕΤΑΖΟΝΤΑΙ	34
6. ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	36
6.1. Ημέρα 1 ^η 19/08/03	36
6.1.1. Χ.Θ 1+090	37
6.1.2. Χ.Θ. 1+100	41
6.2. Ημέρα 2 ^η 27/08/03	44
6.2.1. Χ.Θ 7+110	44
6.2.2. Χ.Θ. 7+160	47
6.2.3. Χ.Θ. 7+172	49
6.3. Ημέρα 3 ^η 09/10/03	51
6.3.1. Χ.Θ. 8+350	51
6.3.2. Χ.Θ. 8+345	54
7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	57

7.1.	Πίνακας ενδείξεων.	57
7.2.	Πίνακας απόλυτων μεγεθών.	57
7.3.	Πίνακας στατιστικών μεγεθών.	58
7.3.1.	Πίνακας υπολογισμού τυπικής απόκλισης βύθιας.	58
7.3.2.	Πίνακας υπολογισμού διαστήματος εμπιστοσύνης βύθιας.	58
7.3.3.	Πίνακας υπολογισμού μεταβολής μεγεθών μέσα στο διάστημα εμπιστοσύνης.	59
8.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.	72
8.1.	Παρατηρήσεις 1 ^{ου} σημείου.	75
8.2.	Παρατηρήσεις 2 ^{ου} σημείου.	78
8.3.	Παρατηρήσεις 3 ^{ου} σημείου.	81
8.4.	Παρατηρήσεις 4 ^{ου} σημείου.	84
8.5.	Παρατηρήσεις 5 ^{ου} σημείου.	87
8.6.	Παρατηρήσεις 6 ^{ου} σημείου.	90
8.7.	Παρατηρήσεις 7 ^{ου} σημείου.	93
9.	ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ C.	94
10.	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΒΥΘΙΣΗ.	97
11.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ.	101
11.1.	Υπολογισμός τάσεων κάτω από την υπό εξέταση διατομή.	104
11.2.	Υπολογισμός της επίδρασης των διπλανών στρωτήρων στις τάσεις κάτω από την υπό εξέταση διατομή.	112
12.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΑΣΕΩΝ.	165
12.1.	Σύγκριση θλιπτικών τάσεων στο έδαφος με επιτρεπόμενες τιμές τάσεων.	165
12.1.1.	Μετρηθείσες βυθίσεις.	166
12.1.1.1.	Χωρίς ενδιάμεση στρώση.	166
12.1.1.1.1.	Τάση κάτω από τον υπό εξέταση στρωτήρα χωρίς να ληφθεί υπόψη η επίδραση των γειτονικών στρωτήρων.	166
12.1.1.1.2.	Τάση κάτω από τον υπό εξέταση στρωτήρα λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων.	166
12.1.1.2.	Με ενδιάμεση στρώση.	167
12.1.1.2.1.	Τάση κάτω από τον υπό εξέταση στρωτήρα χωρίς να ληφθεί υπόψη η επίδραση των γειτονικών στρωτήρων.	167
12.1.1.2.2.	Τάση κάτω από τον υπό εξέταση στρωτήρα λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων.	167
12.1.2.	Αναμενόμενες βυθίσεις.	168
12.1.2.1.	Χωρίς ενδιάμεση στρώση.	168

12.1.2.1.1	Τάση κάτω από τον υπό εξέταση στρωτήρα χωρίς να ληφθεί υπόψη η επίδραση των γειτονικών στρωτήρων	168
12.1.2.1.2	Τάση κάτω από τον υπό εξέταση στρωτήρα λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων	168
12.1.2.2.	Με ενδιάμεση στρώση	169
12.1.2.2.1	Τάση κάτω από τον υπό εξέταση στρωτήρα χωρίς να ληφθεί υπόψη η επίδραση των γειτονικών στρωτήρων	169
12.1.2.2.2	Τάση κάτω από τον υπό εξέταση στρωτήρα λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων	169
12.2.	Σχολιασμός διαγραμμάτων.....	170
12.3.	Γενικά συμπεράσματα υπολογισμού των τάσεων.....	171
13.	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΑΣΕΩΝ ΑΠΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ..	172
14.	ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	188
15.	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΠΕΡΑΤΕΡΩ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ.....	190
16.	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ	192
17.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	197
18.	ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	200

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

1.1. Θεωρία του δείκτη αντίδρασης εδάφους. {1}

Η σημαντικότερη και πιο συνοπτική μέθοδος για τον υπολογισμό της κατακόρυφης καταπόνησης στο μέσο του πέλματος της σιδηροτροχιάς είναι του Zimpeiman. Βασίζεται στη μέθοδο του *δείκτη αντίδρασης εδάφους* από την Εδαφομηχανική, αντικαθιστώντας τη σημειακή στήριξη της σιδηροτροχιάς με μία συνεχή ελαστική στήριξη. Αυτό σημαίνει τη μετατροπή των εγκάρσιων στρωτήρων σε ένα 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 μόνο 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 δίνει με πόσα $[N/mm^2]$ πίεση επιτυγχάνεται βύθιση (κατακόρυφη υποχώρηση) του στρωτήρα κατά $1 [cm]$, ή αλλιώς η στρώση έρματος και το υπέδαφος συμπιέζονται κατά $10 [mm]$. Με την παραδοχή πλήρους ελαστικής βύθισης ισχύει ο νόμος του Hook:

$$y_H = \frac{P}{C} [mm] \quad \text{ή} \quad C = \frac{P}{y_H} [N/mm^3] \quad (1)$$

όπου:

y_H	βύθιση του στρωτήρα στο έρμα	$[mm]$
P	πίεση στην διεπιφάνεια στρωτήρα έρματος	$[N/mm^2]$
C	δείκτης αντίδρασης εδάφους	$[N/mm^3]$

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

Ενίοτε χρησιμοποιείται και ο όρος *συντελεστής βύθισης στρωτήρα D* που σημαίνει τη δύναμη με την οποία επιτυγχάνεται βύθιση 1 [cm] ανά έδραση στρωτήρα.

$$D = C \cdot F_1 \quad [\text{N/mm}] \quad (2)$$

όπου:

F_1 ενεργός επιφάνεια μετάδοσης πίεσης από το στρωτήρα [mm²]

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

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1_1

Δείκτης αντίδρασης εδάφους C	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

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1_2

Δείκτης αντίδρασης εδάφους (min-max)	Είδος στρωτήρα
Καλοκαίρι $C = 0,26 - 0,48 \text{ [N/mm}^3\text{]}$ Χειμώνας $C = 0,66 - 1,50 \text{ [N/mm}^3\text{]}$	Στρωτήρες από σπλισμένο σκυρόδεμα
Καλοκαίρι $C = 0,07 - 0,17 \text{ [N/mm}^3\text{]}$ Χειμώνας $C = 0,19 - 0,36 \text{ [N/mm}^3\text{]}$	Ξύλινοι στρωτήρες

1.1.1. Υπολογισμός του δείκτη αντίδρασης εδάφους C.

Η τιμή του C μπορεί να εξαχθεί από τρία (3) είδη μετρήσεων:

- από μέτρηση της τάσης στο μέσο του πέλματος της σιδηροτροχιάς σύμφωνα με τη σχέση:

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

- από μέτρηση της βύθισης της σιδηροτροχιάς σύμφωνα με τη σχέση:

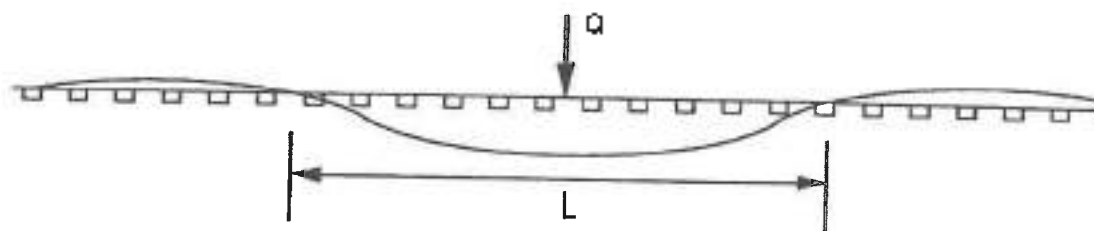
$$C = \frac{1}{4 \cdot b} \cdot \frac{Q}{\gamma_M} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{E_x \cdot I} \cdot \frac{Q}{\gamma_M}} \quad [\text{N/mm}^3] \quad (4)$$

- από μέτρηση του κύματος κάμψης της σιδηροτροχιάς μεταξύ των σημείων ανύψωσης σύμφωνα με τη σχέση:

$$C = \frac{Q}{2 \cdot b \cdot \gamma_M \cdot L} \quad [\text{N/mm}^3] \quad (5)$$

όπου:

C	δείκτης αντίδρασης εδάφους	[N/mm ³]
E _x	μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα 2,1*10 ⁵	[N/mm ²]
b	πλάτος του υποθετικού κατά μήκος φορέα	[mm]
I	ροπή αδράνειας της σιδηροτροχιάς	[mm ⁴]
Q	φορτίο τροχού	[N]
σ _M	μέση τάση στο μέσο του πέλματος της σιδηροτροχιάς	[N/mm ²]
W _u	ροπή αντίστασης στο πέλμα της σιδηροτροχιάς	[mm ³]
γ _M	μέση τιμή μετρούμενης βύθισης σιδηροτροχιάς	[mm]
L	ελαστικό μήκος (βλέπε σχήμα 1)	[mm]

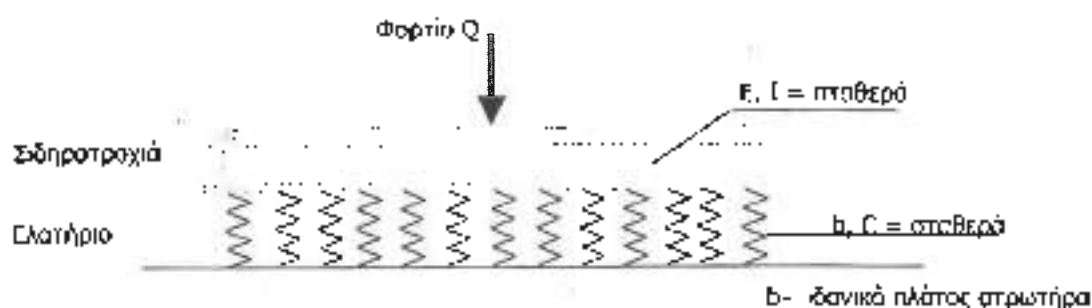


Σχήμα 1: Ελαστικό μήκος

1.2. Θεωρία του κατά μήκος στρωτήρα.

{1}

Η μέθοδος του Zimmerman βασίζεται σε ένα απλοποιημένο μοντέλο επιδομής όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

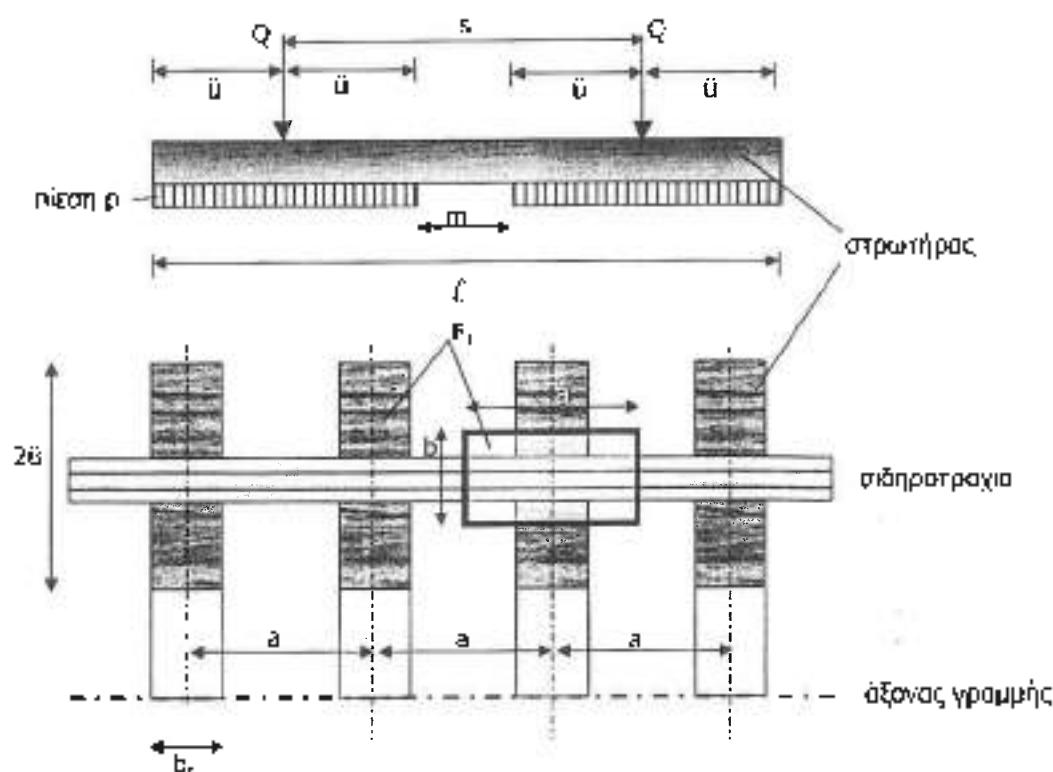


Σχήμα 2: Μοντέλο επιδομής Zimmerman

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

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 στήριξή της να αντικατασταθεί με μία κατά μήκος υποθετική στήριξη.

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



Σχήμα 3: Κατά μήκος στρωτήρας

όπου:

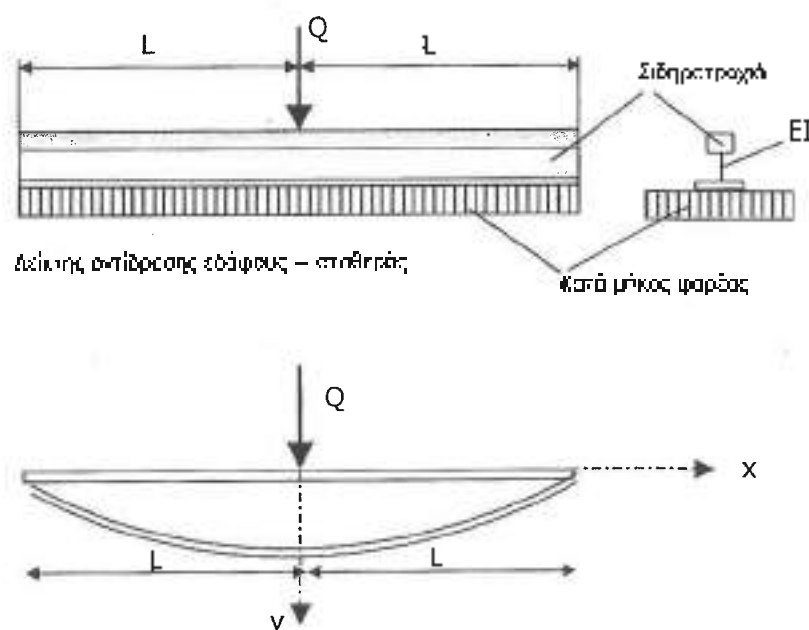
s	απόσταση μεταξύ των μέσων στην κεφαλή σιδηροτροχιών (κανονικό εύρος 1500 mm)	[mm]
Q	φορτίο τροχού (= μισό φορτίο άξονα)	[N]
a	απόσταση μεταξύ στρωτήρων	[mm]
l	μήκος στρωτήρα	[mm]
b_s	πλάτος του στρωτήρα	[mm]
b	πλάτος του ιδανικού στρωτήρα	[mm]
m	μεσαίο τμήμα ελεύθερο έδρασης (δεν υπολογώνεται)	[mm]
$\bar{u}$	απόσταση άξονα σιδηροτροχιάς μέχρι την άκρη (μέτωπο) του στρωτήρα	[mm]

$2\bar{u}$	μήκος ενεργού κάτω επιφάνειας στρωτήρα	[mm]
p	πίεση στη διεπιφάνεια στρωτήρα έρματος	[N/mm ²]
$F_s = 2 \cdot \bar{u} \cdot b_s$	ενεργός επιφάνεια στρωτήρα ανά σιδηροτροχιά	[mm ²]

Από τα στατικά μεγέθη στον υπό φορτίο φορέα και από τη διαφορική εξίσωση της ελαστικής γραμμής (η ανάλυση των οποίων δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσας εργασίας) προκύπτει το *ελαστικό μήκος του κατά μήκος φορέα*,

$$L = \sqrt{\frac{4 \cdot E_s \cdot I}{b \cdot C}} \quad [\text{mm}] \quad (6)$$

το οποίο απεικονίζεται σχηματικά στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 4: Σχηματική απεικόνιση ελαστικού μήκους

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.

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

$$\xi = \frac{x}{L} \quad [\text{rad}] \quad (7)$$

όπου:

x η απόσταση από τη διερευνούμενη διατομή [mm]

Ο παράγοντας ξ υπεισέρχεται στον υπολογισμό των συντελεστών η (χαρακτηρίζει την επιρροή στην κάμψη της γραμμής σε δεδομένη απόσταση από τη διερευνούμενη διατομή) και μ (χαρακτηρίζει την επιρροή στην καμπτική ροπή σε δεδομένη απόσταση από τη διερευνούμενη διατομή) ως εξής:

$$\eta = e^{-\xi} \cdot (\cos \xi + \sin \xi) \quad (8)$$

$$\mu = e^{-\xi} \cdot (\cos \xi - \sin \xi) \quad (9)$$

οπότε η επιπλέον κάμψη λόγω της επιρροής δίνεται από τον τύπο:

$$y_{\text{ex}} = \frac{Q}{2 \cdot b \cdot C \cdot L} \cdot \eta \quad [\text{mm}] \quad (10)$$

ενώ η επιπλέον καμπτική ροπή λόγω επιρροής δίνεται από τον τύπο:

$$M_{\text{ex}} = \frac{Q \cdot L}{4} \cdot \mu \quad [\text{Nmm}] \quad (11)$$

Προς ευχερέστερη χρήση οι τιμές η και μ δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί ενώ με ακρίβεια απεικονίζονται σε γραμμές επιρροής σε συνάρτηση $\eta=f(x)$ και $\mu=\varphi(x)$ στο διάγραμμα που ακολουθεί.

Θύθιση γ

$\gamma = \frac{P}{2 \cdot b \cdot c \cdot L} \cdot \eta$

$\xi = \frac{r}{L}$

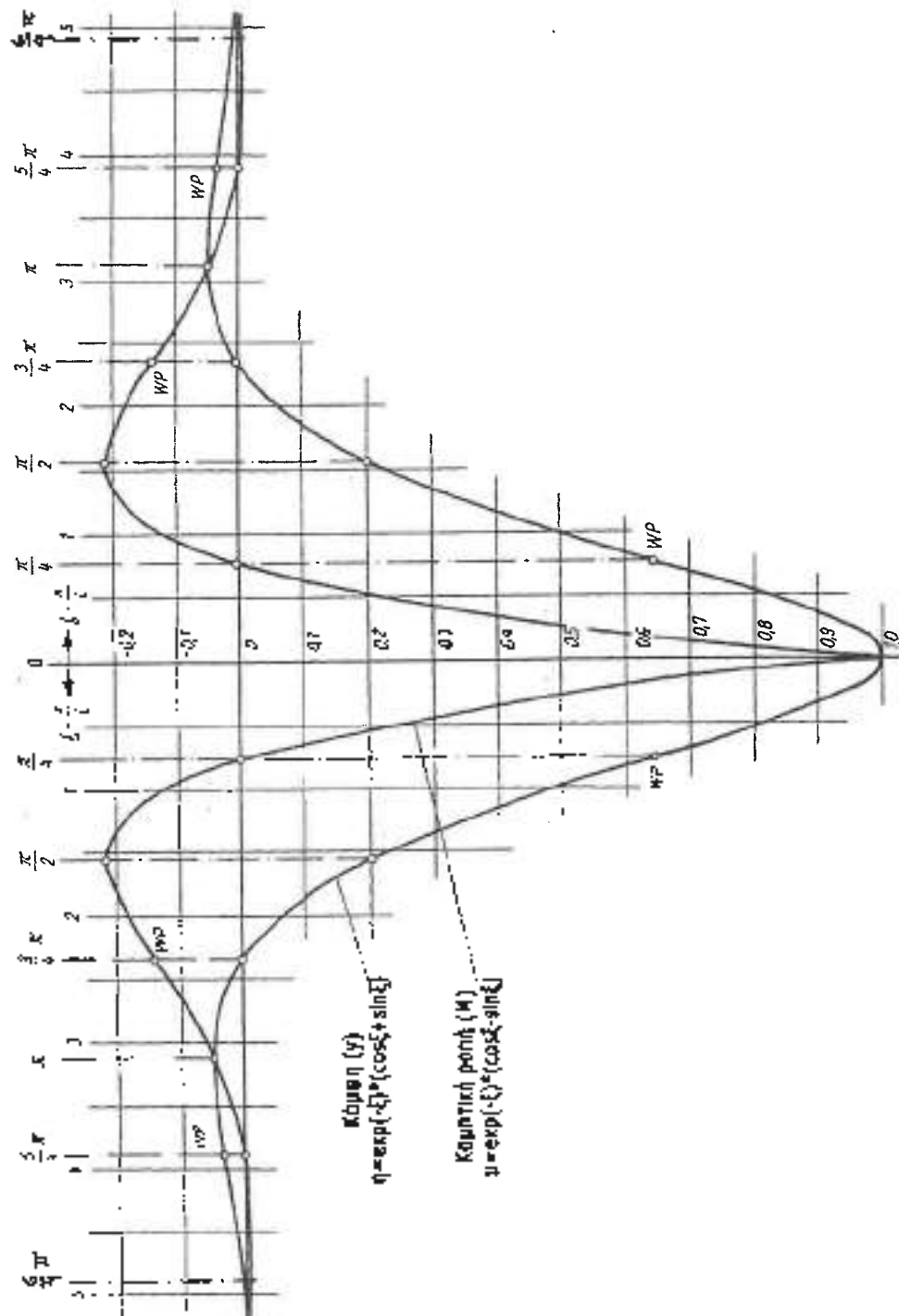
$L = \frac{5}{4} \cdot \frac{E \cdot I}{b \cdot c}$

Καμπηκή ροπή M

$M = \frac{P \cdot L}{4} \cdot \mu$

ξ	η	Diff.	μ	Diff.	ξ	η	μ
0.0	1.0000		1.0000		3.6	-0.05659	-0.01241
0.1	0.9907	256	0.9100	1202	3.7	-0.05407	-0.00797
0.2	0.9631	384	0.6356	1510	3.8	-0.03138	-0.00401
0.3	0.9297	483	0.4868	1528	3.9	-0.02852	-0.00377
0.4	0.8794	553	0.3564	1110	4.0	0.02705	0.00189
0.5	0.8234	603	0.2422	582	4.1	-0.01209	0.00403
0.6	0.7628	631	0.1437	832	4.2	-0.02047	0.00532
0.7	0.6897	643	0.0590	697	4.3	-0.01743	0.00649
0.8	0.6154	648	-0.0092	661	4.4	-0.01346	0.00791
0.9	0.5342	639	-0.0657	451	4.5	-0.01220	0.00857
1.0	0.4506	607	-0.1300	323	4.6	-0.01112	0.00926
1.1	0.3676	577	-0.1457	261	4.7	-0.00924	0.00888
1.2	0.2899	544	-0.1716	191	4.8	-0.00748	0.00842
1.3	0.2155	506	-0.1897	114	4.9	-0.00583	0.00833
1.4	0.1469	465	-0.2021	37	5.0	-0.00453	0.00833
1.5	0.0864	423	-0.2066	0	5.1	-0.00334	0.00839
1.6	0.0359	383	-0.2072	10	5.2	-0.00229	0.00846
1.7	0.1976	342	-0.2047	62	5.3	-0.00139	0.00850
1.8	0.1734	302	-0.1983	94	5.4	-0.00055	0.00856
1.9	0.0932	255	-0.1893	175	5.5	0.00001	0.00858
2.0	0.0647	216	-0.1794	419	5.6	0.00023	0.008530
2.1	0.0439	185	-0.1693	122	5.7	0.00095	0.008464
2.2	0.0274	164	-0.1548	137	5.8	0.00177	0.008409
2.3	0.0080	139	-0.1410	134	5.9	0.00152	0.008356
2.4	-0.0056	110	-0.1282	133	6.0	0.00169	0.008307
2.5	-0.0166	88	-0.1149	130	6.1	0.00180	0.008261
2.6	-0.0254	66	-0.1019	124	6.2	0.00185	0.008219
2.7	-0.0320	49	-0.0893	118	6.3	0.00197	0.008181
2.8	-0.0419	34	-0.0777	111	6.4	0.00194	0.008146
2.9	-0.0493	20	-0.0666	103	6.5	0.00179	0.008115
3.0	-0.04226		-0.0565		6.6	0.00132	0.008087
3.1	-0.04334		-0.04680		6.7	0.00162	0.008063
3.2	-0.04507		-0.03811		6.8	0.00152	0.008042
3.3	-0.04624		-0.03060		6.9	0.00141	0.008024
3.4	-0.04679		-0.02334		7.0	0.00129	0.008009
3.5	-0.05087		-0.01769				

Πίνακας 1.2_1: Τιμές συντελεστών η και μ



Σχήμα 5: Διάγραμμα επιρροής γετονικών στρωτήρων

Από το παραπάνω διάγραμμα μπορεί να διαπιστώσει κανείς ότι η επίδραση των καταπονήσεων κατά τη διέλευση του φορτίου πάνω από μία διατομή φτάνει τελικά σε απόσταση $\frac{6}{4} \pi \cdot L$ δηλαδή σε απόσταση $1,5\pi L$ από την υπό διερεύνηση διατομή. Ακόμα παρατηρείται ότι το ύψος ανύψωσης της σιδηροτροχιάς πριν και μετά τη θέση βύθισης υπό τον υπόψη τροχό φτάνει το 4,3 % της βύθισης αυτής. Το ποσοστό αυτό μπορεί να αυξηθεί στην περίπτωση αξόνων σε μικρή απόσταση μεταξύ τους με συνέπεια τη μείωση της εγκάρσιας αντίστασης στην εσχάρα. Κάτι τέτοιο θα έχει ως αποτέλεσμα τον αυξημένο κίνδυνο μετατόπισης της εσχάρας.

1.3. Διακύμανση του πάχους στρώσης έρματος. {3}

Ο δείκτης αντίδρασης εδάφους C της επιδομής έρματος σε έργα Πολιτικού Μηχανικού, αλλά και σε νεοκατασκευασμένες γραμμές κυμαίνεται βάσει μετρήσεων από 0,30 – 0,40 [N/mm³] και είναι μεγαλύτερος από εκείνον σε ήδη υπάρχουσες γραμμές στο έδαφος, όπου κυμαίνεται από 0,10 – 0,15 [N/mm³]. Ένα μεγάλο μέτρο ελαστικότητας εδάφους έχει μία περιορισμένη συμμετοχή στην ανάλυση των φορτίων και συνεπώς μεγαλύτερες απαιτήσεις από το έρμα. Από αυτό αναμένεται μία ταχύτερη χειροτέρευση της κατάστασης της γραμμής από πλευράς επιδομής.

Προκειμένου για τη μείωση του μέτρου ελαστικότητας και της δυσκαμψίας της επιδομής εξετάζεται το ενδεχόμενο της εγκατάστασης ελαστικών υποθεμάτων και για την περαιτέρω αύξηση της ελαστικότητας λαμβάνεται ως επιπρόσθετο μέτρο η αύξηση της στρώσης έρματος από 30 σε 40 [cm]. Για το λόγο αυτό ερευνήθηκε η επίδραση της αλλαγής του πάχους της στρώσης έρματος στην ελαστική συμπεριφορά της επιδομής.

Το πάχος της στρώσης έρματος μεταβλήθηκε από $h_1 = 200$ [mm] έως 500 [mm] και από αυτό προσομοιάστηκε η ακόλουθη συμπεριφορά:

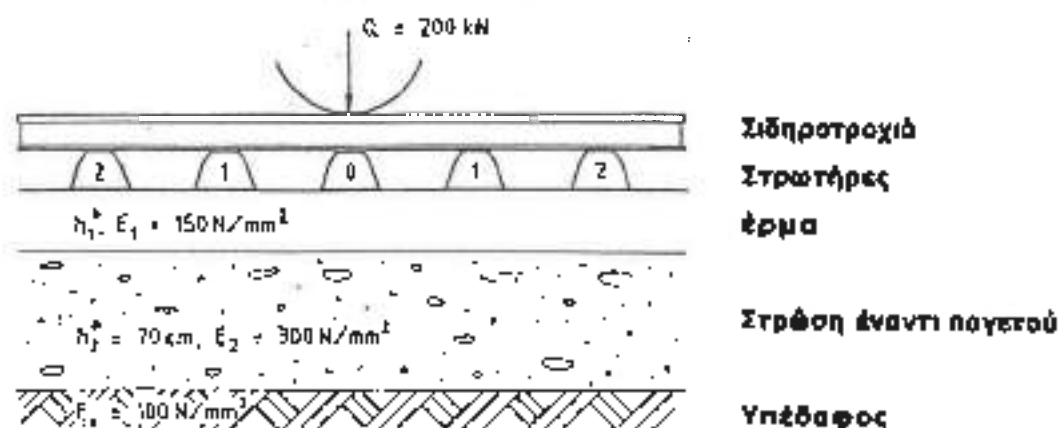
$h_1 = 200$ [mm]	μικρότερο πάχος στρώσης έρματος
$h_2 = 300$ [mm]	κανονικό πάχος στρώσης έρματος που αντιστοιχεί στο 100% των τμημάτων

$h_1 = 400$ [mm] προβλεπόμενο πάχος στρώσης έρματος σε νεοκατασκευασμένες γραμμές με μεγάλο μέτρο ελαστικότητας

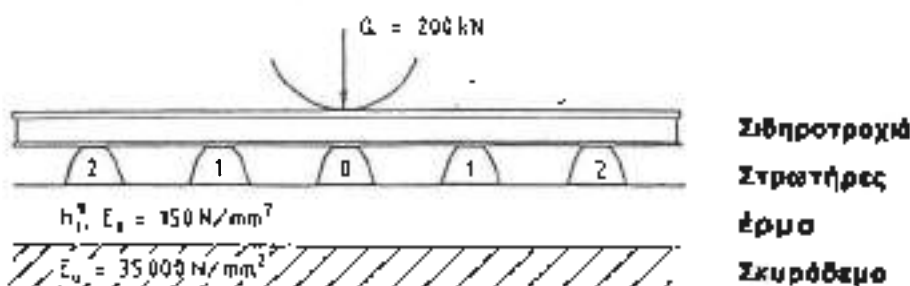
$h_2 = 500$ [mm] μεγάλο πάχος στρώσης έρματος

Μιας και η εξάρτηση ανάμεσα στο πάχος της στρώσης έρματος και το μέτρο ελαστικότητας είναι άγνωστη θεωρήθηκε για κάθε πάχος στρώσης έρματος μέτρο ελαστικότητας $E_1 = 150$ [N/mm²]. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται το σύστημα επιδομής που εξετάζεται.

Σύστημα 1: επιδομή έρματος στα έδαφος



Σύστημα 2: επιδομή έρματος σε πλάκα σκυροδέματος



Σχήμα 6: Απεικόνιση του υπό έρευνα συστήματος

Στο σύστημα 1 εξαιτίας του γεγονότος ότι τα στοιχεία των στρώσεων «συλλακώνουν» το ένα μέσα στο άλλο, θεωρήθηκε πλήρης σύνδεση ανάμεσα στις διάφορες στρώσεις, ενώ στο σύστημα 2 αντιθέτως θεωρήθηκε ότι δεν υπάρχει καμία σύνδεση ανάμεσα στο έρμα και την πλάκα σκυροδέματος.

Για να κριθεί η δυσκαμψία της επιδομής είναι καθοριστική η βύθιση της γραμμής $\gamma_{ολικη}$ με την προϋπόθεση ότι οι στρωτήρες είναι καλά τοποθετημένοι στο έρμα. Για το λόγο αυτό λαμβάνονται υπόψη τόσο οι κενές από έρμα θέσεις όσο και η επιπρόσθετη συνολική πίεση των ελαστικών υποθεμάτων. Έτσι προκύπτει το ακόλουθο σύνολο:

$$\gamma_{ολικη} = \gamma + \gamma_{συνολ} = \gamma + \gamma_{ελαστ} + \gamma_0 \quad [mm] \quad (12)$$

όπου:

$\gamma_{ολικη}$ συνολική βύθιση (σιδηροτροχιάς) ή αλλιώς γ_M

γ βύθιση στρωτήρα

$\gamma_{συνολ} = \gamma_{ελαστ} + \gamma_0$

$\gamma_{ελαστ}$ βύθιση ελαστικού υποθέματος

γ_0 βύθιση λόγω κενού έρματος

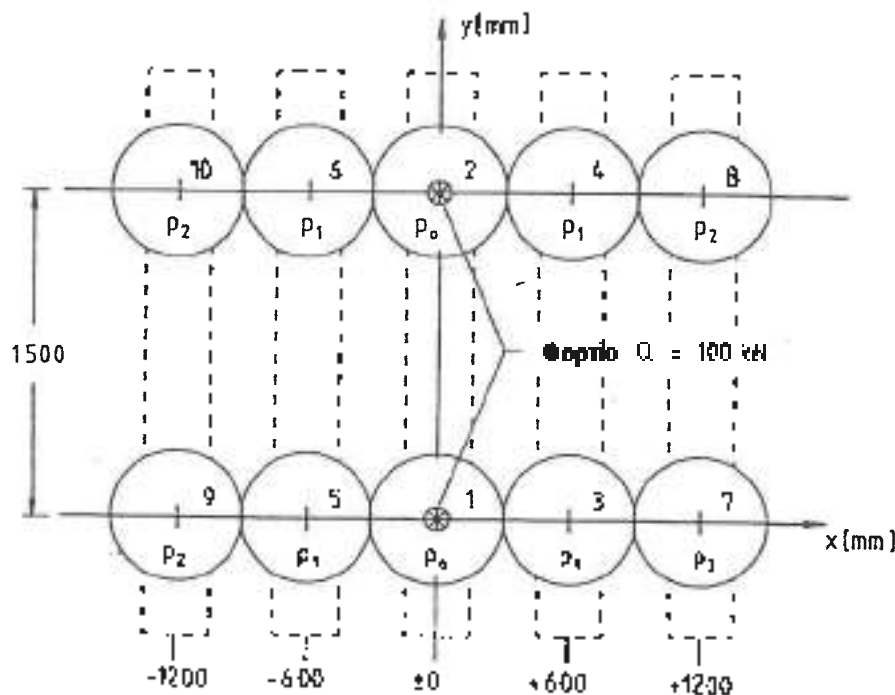
Σε αυτή την έρευνα διαπιστώθηκαν επιπρόσθετες βυθίσεις της γραμμής

$\gamma_{συνολ} = \gamma_{ελαστ} + \gamma_0$ που κυμαίνονται από 0 έως 0,30 [mm], οι οποίες μπορούν να ερμηνευθούν ως εξής:

- $\gamma_{συνολ} = 0$ [mm] στρωτήρες βυθισμένοι στο έρμα $\gamma_0 = 0$ με σκληρό ελαστικό υπόθεμα $\gamma_{ελαστ} = 0$
- $\gamma_{συνολ} = 0,10$ [mm] στρωτήρες βυθισμένοι στο έρμα $\gamma_0 = 0$ με κανονικό ελαστικό υπόθεμα $\gamma_{ελαστ} = 0,10$ [mm]
- $\gamma_{συνολ} = 0,15$ [mm] μέσω κενό έρματος $\gamma_0 = 0,15$ [mm] με σκληρό ελαστικό υπόθεμα $\gamma_{ελαστ} = 0$ ή κανονικό ελαστικό υπόθεμα $\gamma_{ελαστ} = 0,10$ [mm] με περιορισμένο κενό έρματος γ_0
- $\gamma_{συνολ} = 0,25$ [mm] μέσω κενό έρματος $\gamma_0 = 0,15$ [mm] με κανονικό ελαστικό υπόθεμα $\gamma_{ελαστ} = 0,10$ [mm]
- $\gamma_{συνολ} = 0,30$ [mm] στρωτήρες βυθισμένοι στο έρμα $\gamma_0 = 0$ με πολύ ελαστικό υπόθεμα $\gamma_{ελαστ} = 0,30$ [mm]

Για την έρευνα ασκήθηκαν στο σύστημα επιδομής δύο είδη φόρτισης: στο πρώτο χρησιμοποιήθηκε μία στρογγυλή πλάκα φόρτισης που αντιστοιχεί στα φορτία μισού στρωτήρα ενώ στο δεύτερο χρησιμοποιήθηκαν δέκα πλάκες

φόρτισης που αντιστοιχούν στα φορτία πέντε στρωτήρων, όπως φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 7: Οι στρωτήρες που συμμετέχουν στην καταπόνηση του έρματος υπό μοναδιαίο φορτίο, οι οποίοι έχουν αντικαταστασθεί από 10 πλάκες φόρτισης.

Τα αποτελέσματα της έρευνας ήταν τα εξής:

- αύξηση της στρώσης έρματος από 30 σε 40 [cm] συνεπάγεται αύξηση της συνολικής βύθισης $\gamma_{\text{συνολ}}$ κατά 1% έως 4% στο σύστημα 1 (έρμα) και κατά 9% έως 16% στο σύστημα 2 (σκυρόδεμα).
- χρήση ελαστικών υποθεμάτων με $\gamma_{\text{ελαστ}} = 0,30$ [mm] συνεπάγεται αύξηση της βύθισης της σιδηροτροχιάς κατά 19% για 30 [cm] έρμα και κατά 21% για 40 [cm] έρμα πάνω στο έδαφος (σύστημα 1), ενώ κατά 45% για 30 [cm] έρμα και 57% για 40 [cm] έρμα πάνω σε πλάκα σκυροδέματος (σύστημα 2).

Παρά τη σχετικά μικρή επιρροή της αύξησης του πάχους της στρώσης έρματος στη βύθιση της σιδηροτροχιάς, το μέτρο αυτό προτείνεται κυρίως στην περίπτωση της τοποθέτησης έρματος σε υποδομή με σκυρόδεμα

(σήραγγες, γέφυρες) με σκοπό τη βελτίωση της σταθερότητας της θέσης της γραμμής.

Σημαντική παρατήρηση που προέκυψε από την έρευνα είναι ότι η συνολική βύθιση $y_{ολική}$ κυμαίνεται γενικά έως 3 [mm].

1.4. Η θεωρία του Odemark.

{2}

Ο υπολογισμός των απαιτήσεων του υπεδάφους για συστήματα με πολλές στρώσεις ακολουθεί τη θεωρία του Odemark. Στην πράξη υπολογίζεται η ικανότητα ανάληψης τάσεων μέσω φορτίσεων όπως στα οδοστρώματα.

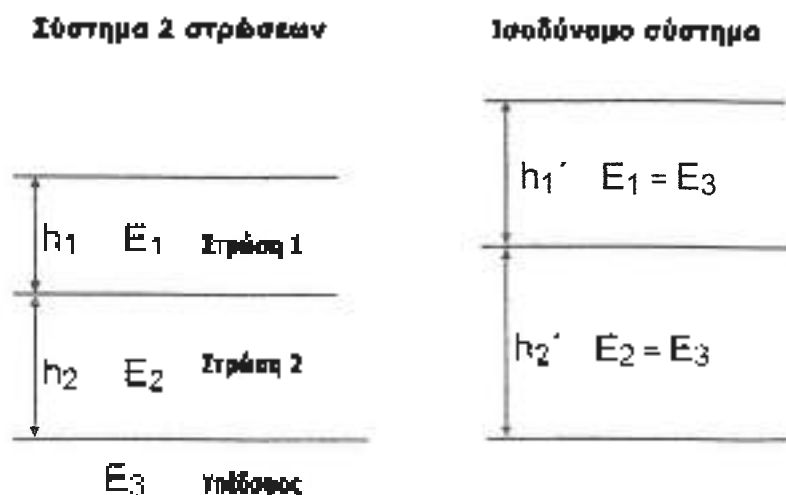
Μέτρα ελαστικότητας E:

Στρώση έρματος	150 [N/mm ²]
Ενδιάμεση στρώση	100 [N/mm ²]
Υπέδαφος	20 – 80 [N/mm ²]

Δείκτης αντίδρασης εδάφους C:

Κακό έδαφος	0,020 [N/mm ³]
Μέτριο έδαφος	0,050 [N/mm ³]
Καλό έδαφος	0,100 [N/mm ³]
Ακαμπτο έδαφος	0,300 – 0,500 [N/mm ³]

Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει ένα σύστημα δύο στρώσεων και το ισοδύναμό του κατά Odemark.



Σχήμα 8: Σχηματική απεικόνιση συστήματος πολλών στρώσεων

Γνωρίζοντας την πίεση, το πάχος και το μέτρο ελαστικότητας του έρματος αλλά και των άλλων ενδιάμεσων στρώσεων μπορούν να υπολογιστούν οι τάσεις στο έδαφος. Το σύστημα των πολλών στρώσεων υπολογίζεται μέσω ενός λεγόμενου ισοδύναμου συστήματος. Εδώ χρησιμοποιείται η εμπειρία του Odemark. Καθώς αυξάνεται το βάθος πρέπει να ληφθεί υπόψη και η επίδραση των γετονικών στρωτήρων.

Ισχύει κατά Odemark:

$$h'_1 = h_1 \cdot 0,9 \cdot \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_3}} \quad [\text{mm}]$$

$$h'_2 = h_2 \cdot 0,9 \cdot \sqrt[3]{\frac{E_2}{E_3}} \quad [\text{mm}]$$

$$\text{και γενικά } h'_n = h_n \cdot 0,9 \cdot \sqrt[3]{\frac{E_n}{E_3}} \quad [\text{mm}] \quad (13)$$

1.4.1. Υπολογισμός τάσεων σε σύστημα πολλών στρώσεων στον άξονα της φόρτισης

Οι τάσεις (κατακόρυφες, οριζόντιες και διατμητικές) κάτω από το στρωτήριο υπολογίζονται ως εξής (βλέπε αντίστοιχο διάγραμμα):

$$\sigma_z = \frac{2 \cdot p}{\pi} \cdot \left[\arctan\left(\frac{b_s}{2 \cdot z'}\right) + \frac{2 \cdot b_s \cdot z'}{b_s^2 + 4 \cdot z'^2} \right] [\text{N/mm}^2] \quad (14)$$

$$\sigma_x = \frac{2 \cdot p}{\pi} \cdot \left[\arctan\left(\frac{b_s}{2 \cdot z'}\right) - \frac{2 \cdot b_s \cdot z'}{b_s^2 + 4 \cdot z'^2} \right] [\text{N/mm}^2] \quad (15)$$

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_z - \sigma_x}{2} [\text{N/mm}^2] \quad (16)$$

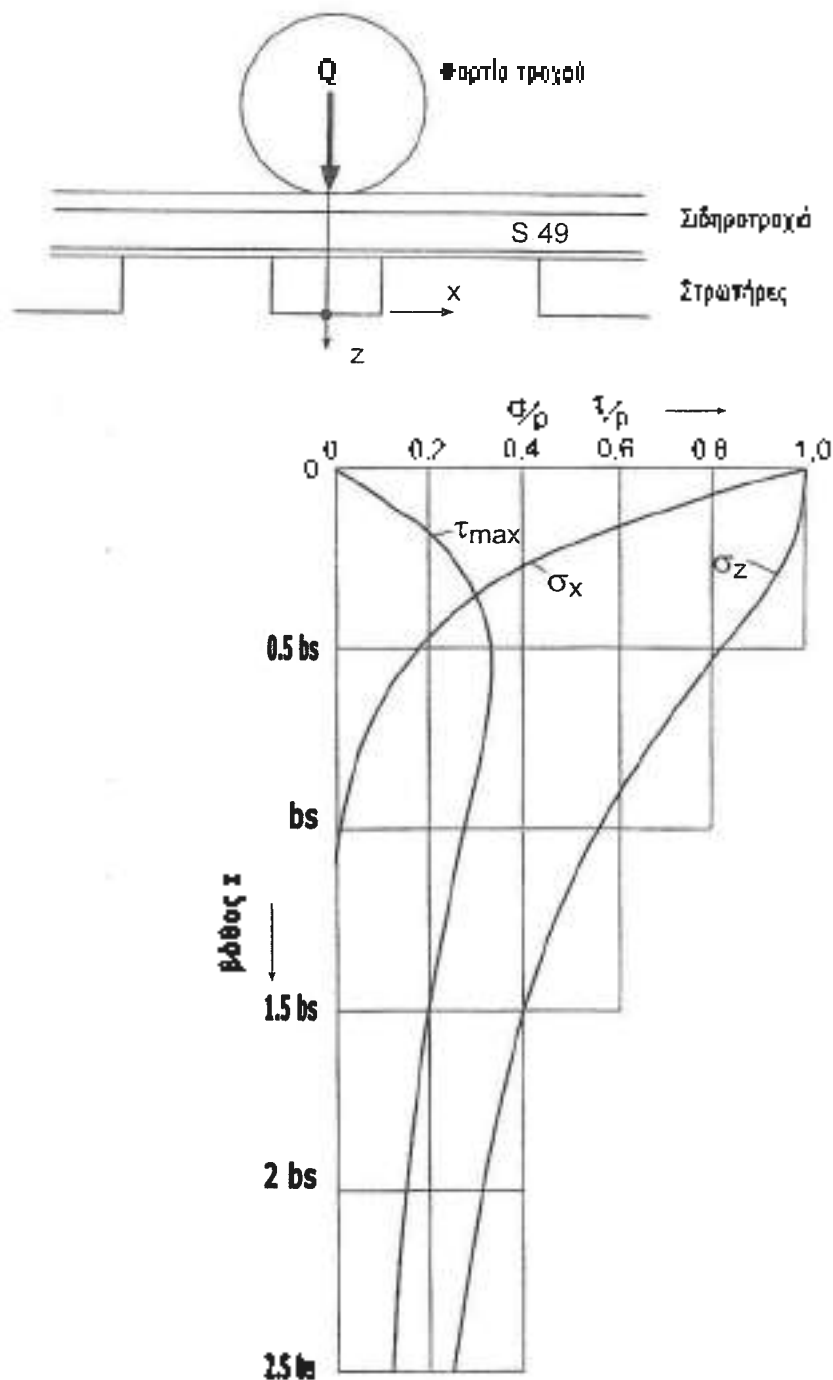
όπου:

σ_z κατακόρυφη τάση σε [N/mm²]

σ_x οριζόντια τάση σε [N/mm²]

$\tau_{\max}$ διατμητική τάση σε [N/mm²]

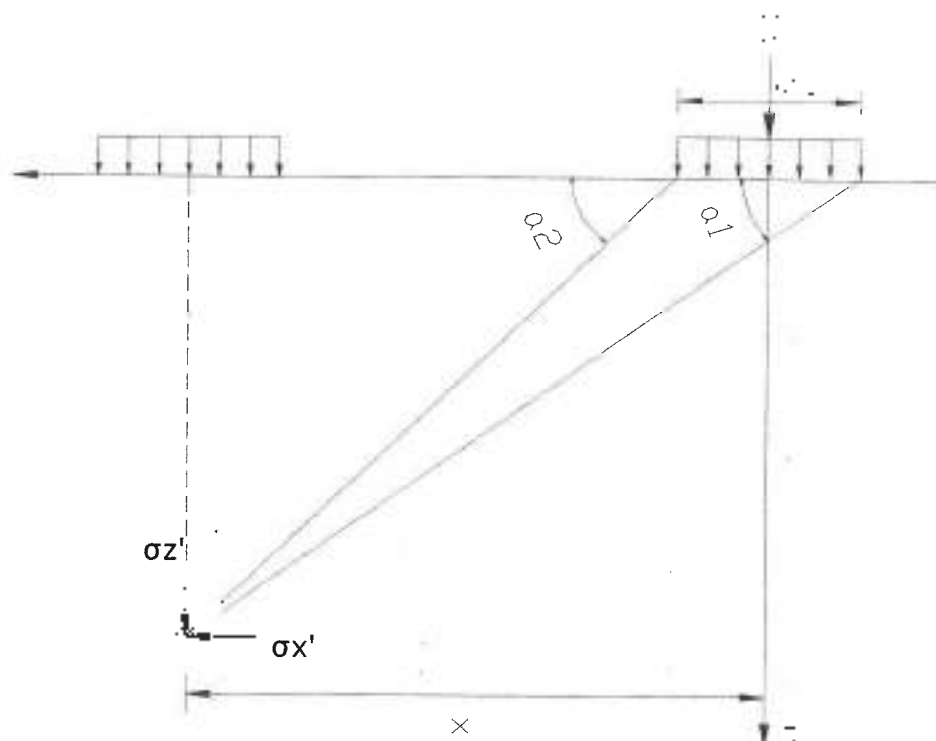
p	πίεση έρματος κάτω από τον στρωτήρα σε	$[N/mm^2]$
b_s	πραγματικό πλάτος στρωτήρα σε	$[mm]$
z'	ισοδύναμο βάθος κάτω από το στρωτήρα σε	$[mm]$



Σχήμα 9: Διάγραμμα κατακόρυφων, οριζόντιων και διατμητικών τάσεων σε σχέση με την πίεση κάτω από το στρωτήρα.

1.4.2. Επίδραση των γειτονικών στρωτήρων στις τάσεις του εδάφους

Η συμβολή των γειτονικών στρωτήρων στις τάσεις του εδάφους μπορούν να υπολογιστούν από τις ακόλουθες σχέσεις σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 10: Επίδραση των γειτονικών στρωτήρων στις τάσεις
 κάτω από τον υπό εξέταση στρωτήρα

$$\sigma_z' = \frac{p}{\pi} \left[\alpha_2' - \alpha_1' - \frac{\sin(2 \cdot \alpha_2) - \sin(2 \cdot \alpha_1)}{2} \right] [N/mm^2] \quad (17)$$

$$\sigma_x' = \frac{p}{\pi} \left[\alpha_2' - \alpha_1' + \frac{\sin(2 \cdot \alpha_2) - \sin(2 \cdot \alpha_1)}{2} \right] [N/mm^2] \quad (18)$$

όπου:

σ_z', σ_x' 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 σε $[\circ]$

α_1', α_2' οι γωνίες σε $[\text{rad}]$

1.4.3. Επιτρεπόμενες τάσεις στο έδαφος. {2, 3, 4}

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

$$\sigma_{2, \text{πειρ}} = \frac{0,006 \cdot E_{\text{δυν},u}}{1 + 0,7 \cdot \log n} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (19)$$

όπου:

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

$$E_{\text{δυν},u} \sim E_{v2} = 10 \text{ έως } 100 \quad [\text{N/mm}^2]$$

n πλήθος φορτίσεων κατά την κρίσιμη περίοδο.

Τα αποτελέσματα των παραπάνω υπολογισμών συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.4.3_1: Επιτρεπόμενες τάσεις στο έδαφος

Διαβάθμιση υπεδάφους	E_{v2} [N/mm ²]	C [N/mm ³]	Επιτρεπόμενη τάση $\sigma_{2, \text{πειρ}}$ [N/mm ²]	
			$n = 10^6$	$n = 10^7$
Πολύ μαλακό	10	0,03	0,012	0,010
	20	0,04	0,023	0,020
Μεσαίο	50	0,07	0,058	0,053
Καλό	80	0,09	0,092	0,083
	100	0,11	0,115	0,102

1.5. Επίδρασεις κατά τη διέλευση συρμού σε επιδομή, υποδομή και υπέδαφος. {5}

Από τις έως τώρα έρευνες δέκα ετών γίνεται φανερό ότι πρέπει να δοθεί περισσότερη προσοχή κατά τη σχεδίαση, δόμηση και διατήρηση των σιδηροδρομικών γραμμών στη δυναμική του εδάφους και της οδήγησης. Θεωρητικά μοντέλα μπορούν να αποσαφηνίσουν τους κύριους παράγοντες επίδρασης, ενώ είναι ακόμη δυνατές οι βελτιώσεις σε φτωχά διατηρημένες σιδηροδρομικές γραμμές.

Με αυξανόμενη κόπωση γραμμής, η οποία ήταν και είναι συσχετισμένη με υψηλές ταχύτητες συρμών, αξονικά φορτία και τόνους καταπόνησης, είναι σε πολλά τμήματα ορατές αρκετές φθορές στις γραμμές. Διαρροή του έρματος, λάθη υπερύψωσης και στρέψεις κλπ. οδηγούν σε αυξανόμενο κόστος συντήρησης ή στο να προστίθενται σημεία που πρέπει να διατρέχονται με χαμηλή ταχύτητα. Η εμπειρία που υπάρχει μέχρι στιγμής σχετικά με τις ταχύτητες τρένων κάτω από 160 km/h δεν επαρκεί πιο για να εξηγηθεί αρκετό το φαινόμενο που συναντήθηκε και να ληφθούν μέτρα μεγάλης διάρκειας έτσι ώστε να επιτευχθεί μία σταθερή κατάσταση γραμμής.

Ενώ σε ταχύτητες τρένων μέχρι 100 km/h – ή σε ορισμένες ευνοϊκές περιπτώσεις μέχρι περίπου τα 160 km/h – δε δημιουργούνται σημαντικές κοπώσεις της επιδομής και υποδομής, πρέπει σε υψηλότερες ταχύτητες με σαφώς μεγαλύτερες κοπώσεις, να γίνονται υπολογισμοί μέχρι το έδαφος. Δεν είναι δυνατό πλέον να λαμβάνεται υπόψη μόνο η στατική επίδραση του φορτίου. Κάτω από τον περιστρεφόμενο τροχό δημιουργούνται ταλαντώσεις, οι οποίες σε συνδυασμό με το στατικό φορτίο συντελούν κατά μεγάλο ποσοστό σε λάθη στη θέση γραμμής.

Αναγνωρίζεται ότι πρόκειται για ένα πολύπλοκο 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 για να μπορούν να εκφραστούν ποσοτικά είτε να απεικονιστούν τα μεγέθη που επιδρούν στην επιδομή, υποδομή και υπέδαφος καθώς και τα φορτία και οι ταλαντώσεις.

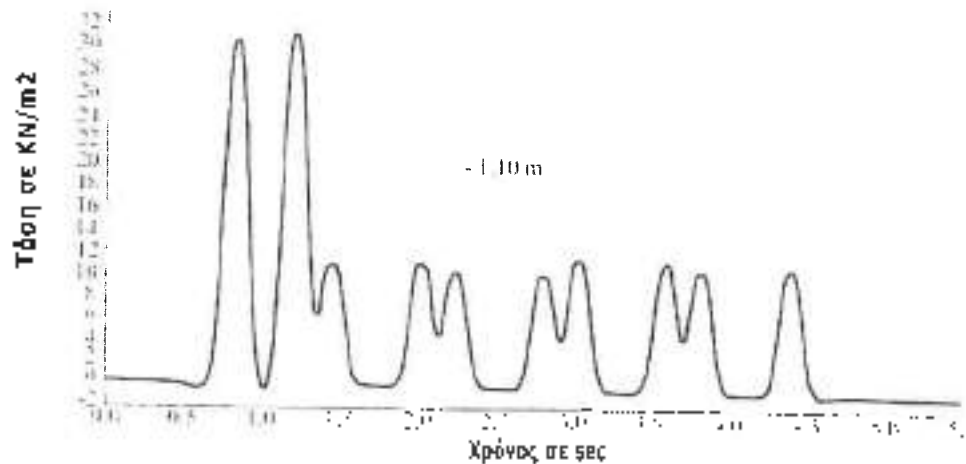
1.5.1. Μεγέθη επίδρασης κάτω από διερχόμενο συρμό.

Με την έναρξη ανάπτυξης διαδρομών υψηλών ταχυτήτων από τους γερμανικούς σιδηροδρόμους διεξήχθησαν μετρήσεις δύναμης ταλάντωσης και τάσης πέλματος. Τα αποτελέσματα για το μέγεθος των καθιζήσεων ως συνέπεια της διέλευσης συρμών δε υπήρχαν διαθέσιμα ή το πολύ υπήρχαν μεμονωμένα.

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

Όλη η σύλληψη της ιδέας των μετρήσεων ξεκίνησε από το να μετρώνται σε συγκεκριμένα σημεία μέτρησης κατά τη διέλευση του συρμού, ξεκινώντας από το πέλμα της σιδηροτροχιάς και σε διαφορετικά βάθη, δυνάμεις ταλαντώσεων και μέση τάση πέλματος. Τα καταγραφικά για να δέχονται την πίεση του πέλματος ρυθμίστηκαν έτσι ώστε οι επιπλέον τάσεις από τη διέλευση του συρμού να μπορούν να εξομαλυνθούν. Για τη συνήθως ελεύθερη υπογείου ύδατος και όχι κορεσμένη κατώτερη στρώση οι μετρηθείσες τάσεις στον πυθμένα της στρώσης είναι ενεργές τάσεις. Το σχήμα 11 δείχνει ένα παράδειγμα τέτοιων τάσεων σε μία επιπλοκή ολίσθησης κατά τη διέλευση συρμού κάτω από μία σταθερή σιδηροτροχιά. Για το μέγεθος ουδέτερων τάσεων πάνω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα ή σε κορεσμένο εδάφη έχουμε μόνο λίγες τιμές μετρήσεων.

Η μέτρηση των επανομαζόμενων πιέσεων έρματος δεν έχει, κατά κάποιους, πετύχει ακόμα. Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι γνωστές οι εμφανιζόμενες τάσεις πάνω ακριβώς αλλά και στα κενά που δημιουργούνται ανάμεσα στα στοιχεία του έρματος. Μέσες πιέσεις έρματος καθορίζονται μόνο υπολογιστικά από το αξονικό φορτίο και από την ενεργό επικράνεια του στρωτήρα.



Σχήμα 11: Διάγραμμα τάσεων στον άξονα του φορτίου σε συνάρτηση με το χρόνο.

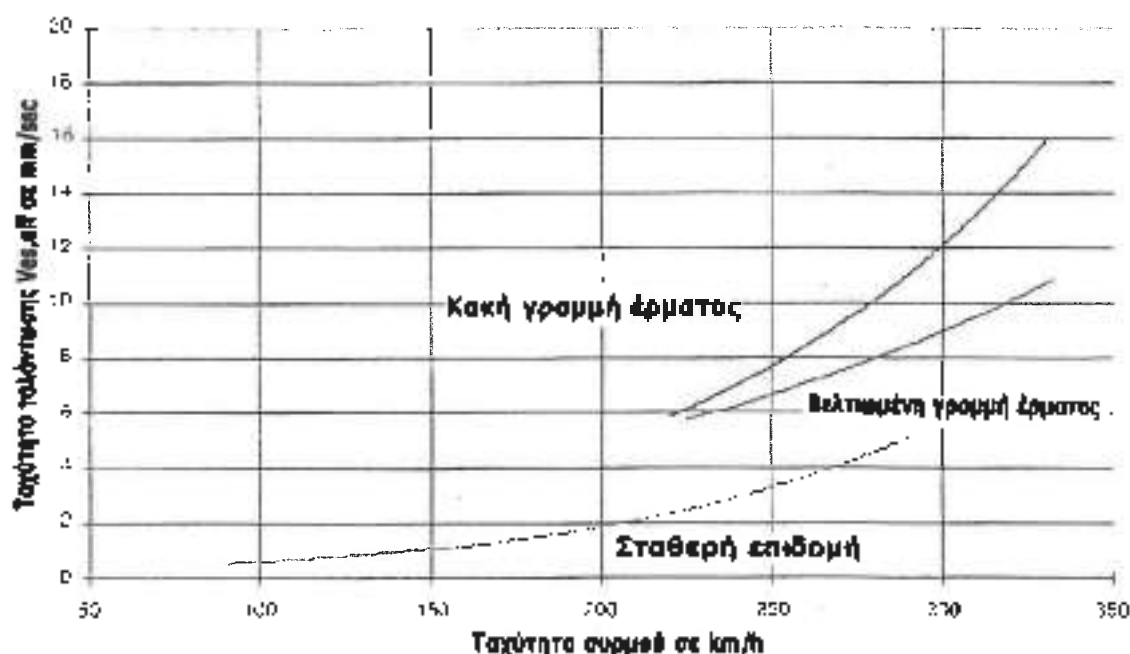
Αν παρατηρήσει κανείς τις στο πολυτεχνείο του Γκρατζ μετρημένες ενεργές επιφάνειες του στρωτήρα, οι οποίες γίνονται ορατές μετά από τις πρώτες ρωγμές στις γωνίες των στοιχείων του έρματος που βρίσκονται στην γειτονία του στρωτήρα, θα διαπιστώσει ότι βρίσκονται πολύ κάτω από το 10% της υπολογισθείσας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

Σε συνεργασία με το κέντρο ερευνών 2 των γερμανικών σιδηροδρόμων στο Μίντεν προέκυψαν τιμές μετρήσεων των δυναμικών αξονικών φορτίων έτσι ώστε να μπορεί να υπολογιστεί ο συντελεστής δυναμικού φορτίου (δυναμικός συντελεστής):

$$k_{dm} = \frac{\text{ΔΥΝΑΜΙΚΟ} \cdot \text{ΦΟΡΤΙΟ}}{\text{ΣΤΑΤΙΚΟ} \cdot \text{ΦΟΡΤΙΟ}} \quad (20)$$

Ως μέτρο της δύναμης ταλάντωσης ελήφθηκε η ταχύτητα ταλάντωσης και αναλύθηκε στους άξονες x-, y-, z- έτσι ώστε η προκύπτουσα ταχύτητα ταλάντωσης V_{res} να μπορεί να υπολογιστεί. Σε αυτές τις μέγιστες τιμές υπολογίζεται πως για ένα χρονικό παράθυρο των 0,125 δευτερολέπτων περίπου παράγεται η πραγματική τιμή της ταχύτητας ταλάντωσης V_{res} . Σε όλες τις μετρήσεις διαπιστώθηκε ότι σε κατά τα άλλα ίδιες προϋποθέσεις η δύναμη της ταλάντωσης εξαρτάται από την ταχύτητα του συρμού. Ενώ μέχρι το 1998 θεωρείτο ότι υπάρχει μία σχεδόν γραμμική αλληλεξάρτηση ανάμεσα στην ταχύτητα του τρένου και τη δύναμη ταλάντωσης, οι μετρήσεις των δύο

επόμενων ετών δείχνουν ότι σε υψηλότερες ταχύτητες συρμών, τόσο σε επιδομή έρματος όσο και σε σταθερή επιδομή, συναντάται μία υπεργραμμική θεώρηση της δύναμης ταλάντωσης. Προφανώς επιδρούν σε αυτά τα επίπεδα ταχυτήτων πιο έντονα οι τυχόν στέλεις από ότι σε χαμηλότερες ταχύτητες. Η σταθερή επιδομή έχει εδώ το πλεονέκτημα ότι και το επίπεδο της δύναμης ταλάντωσης είναι χαμηλότερο και οι στέλεις συναντώνται σε περιορισμένη έκταση. Το σχήμα 12 δείχνει παραδειγματικά την υπεργραμμική αύξηση της ταχύτητας ταλάντωσης για επιδομή έρματος και για σταθερή επιδομή.



Σχήμα 12: Ταχύτητα ταλάντωσης σε συνάρτηση με την ταχύτητα του συρμού σε καλή και κακή θέση γραμμής για επιδομή έρματος και σταθερή επιδομή.

Μέσω των προαναφερθέντων μετρήσεων τάσεων και βυθίσεων σε διαφορετικά βάθη αλλά και δίπλα στη σιδηροτροχιά γίνεται φανερό η μείωση των τάσεων και των δυνάμεων ταλάντωσης με την απομάκρυνση από το σημείο δράσης. Ενώ κατά τη μείωση των τάσεων κυριαρχεί η ζώνη εξαπλώσεως, κατά τη μείωση των ταλαντώσεων ένα ποσοστό μετατρέλεται σε θερμότητα. Η μείωση των τάσεων ακολουθεί ακριβώς τους γνωστούς νόμους της εδαφομηχανικής. Για τη μείωση των ταχυτήτων προκύπτει από πολυάριθμες μετρήσεις η εμπειρική σχέση:

$$V_{res,2} = V_{res,Ant} \cdot e^{\frac{1}{q}z} \text{ [m/sec]} \quad (21)$$

όπου:

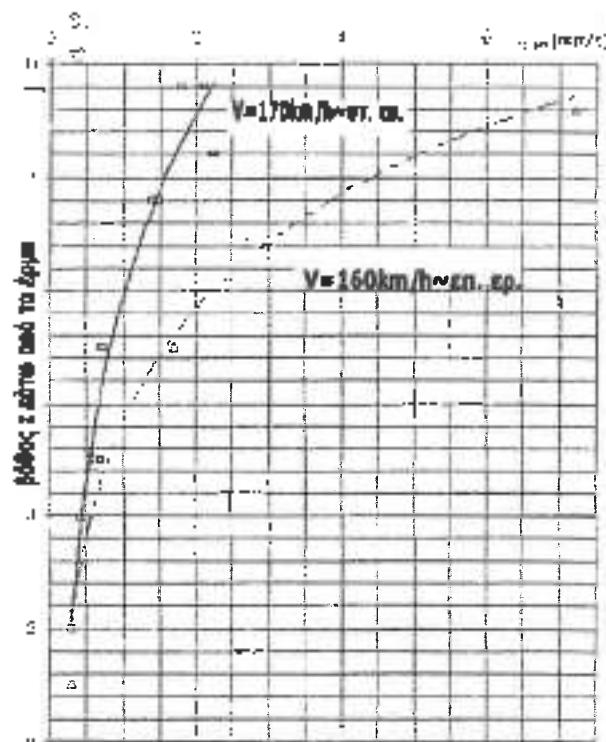
$V_{res,Ant}$ η ταχύτητα ταλάντωσης σε βάθος $z=0$ [m]

q ο συντελεστής απόσβεσης, ο οποίος για συνηθισμένη υποδομή και υπεδάφος βρίσκεται ανάλογα με το μέγεθος της επιφάνειας δρόσης (στρωτήρα ή σταθερής επιδομής) να κυμαίνεται ανάμεσα στο 2 και το 5.

Δυστυχώς για σταθερή επιδομή υπάρχουν μόνο λίγες μετρήσεις, ειδικά σε βάθος, για κυκλοφορίες υψηλών ταχυτήτων. Στο σχήμα 13 φαίνεται μία σύγκριση για επιδομή έρματος και σταθερή επιδομή σε ταχύτητες στην περιοχή των 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 μεμονομένη διέλευση αξόνων ή φορείων τέτοιες ταχύτητες στη μέγιστη τιμή της ταχύτητας ταλάντωσης ενός τρένου. Θεωρήθηκε ότι έως μία σχέση της τάξεως του 80% η διαδρομή του συρμού μπορεί να χαρακτηριστεί ως ομογενής.

Από όλες τις μετρήσεις και αξιοποιήσεις αυτών μπόρεσαν να αναχθούν το μέγεθος 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 σε πρώτους οδηγούς (προσανατολισμούς) για την τρέχουσα σχεδίαση που γίνεται. Όλα επιλέχθησαν υπέρ της ασφαλείας.



Σχήμα 13: Σύγκριση της ταλάντωσης ανάμεσα σε έρμα επιδομής και στοθερή επιδομή για ταχύτητες συρμών από 160 έως 170 [km/h]

1.5.2. Αλλαγές της γραμμής από διέλευση συρμών.

Στις επόμενες παρουσιάσεις δε θα εξεταστούν λεπτομερώς αλλαγές σιδηροτροχιάς και ελαστικών υποθεμάτων. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι σε αλλαγές στα στοιχεία δρομολογίων οι τιμές των μεγεθών επίδρασης για τα ακόλουθα στοιχεία είναι δυνατό να επηρεαστούν αναλόγως. Με την προϋπόθεση ότι η σιδηροτροχιά και τα ελαστικά υποθέματα για ένα παρατηρηθέν χρονικό διάστημα μένουν αναλλοίωτα, διαπιστώνει κανείς με μικρές και μεγάλες τεχνικές έρευνες, παρατηρήσεις και επί τόπου μετρήσεις και με υπολογιστικές δοκιμές τα ακόλουθα αξιοσημείωτα φαινόμενα:

- Τα αρχικώς περιορισμένα κενά έρματος κάτω από το στρωτήρα δυναμώνουν φανερά με την αυξανόμενη δυναμική καταπόνηση, εξελίσσονται σε ένα αδρό χτύπημα του στρωτήρα και οδηγούν σε πολλαπλή καταστροφή του έρματος.

- Σε σχεδόν σταθερή πίεση έρματος αυξάνονται οι βυθίσεις της στρώσης έρματος με την αυξανόμενη δύναμη ταλάντωσης. Μπορεί κανείς να αναγνωρίσει μία σχετικά με τη δύναμη ταλάντωσης πύκνωση των κραδασμών και, τελικά, μια επιβράδυνση των βυθίσεων.
- Όσο ψηλότερα ανέβει η σκουριά στη σιδηροτροχιά τόσο μεγαλύτερες είναι οι βυθίσεις του έρματος σε επαναλαμβανόμενη διέλευση του συρμού.
- Μέσω της μείωσης της δύναμης ταλάντωσης στην πάνω επιφάνεια του στρωτήρα ή του έρματος είναι δυνατό να μειωθούν φανερά οι βυθίσεις του έρματος.
- Σε στρώσεις από καλά διαβαθμισμένο μείγμα λίθων, όπως είναι η στρώση έναντι παγετού, εμφανίζονται μόνο σχετικά μικρές βυθίσεις κάτω από κυκλοφορία. Βέβαια σε μεγάλες δυνάμεις ταλάντωσης παρατηρείται και εδώ καθαρή αύξηση των βυθίσεων.
- Σε σταθερή επιδομή οι βυθίσεις είναι, σε σχέση με την κυκλοφορία, σχετικά μικρές.
- Οι μεγάλες δυνάμεις ταλάντωσης οδηγούν, ειδικά σε υλικά χωρίς αξιοσημείωτη συνεκτικότητα, σε κρίσιμες και κοντά στη διαρροή καταστάσεις. Στην περίπτωση επιδομής έρματος η δυνατότητα καταπόνησης μειώνεται αισθητά και οι παραμορφώσεις αυξάνονται πάρα πολύ.
- Κατά τη διέλευση του συρμού σε σταθερή επιδομή δημιουργούνται στις στρώσεις μόνο για μικρό χρονικό διάστημα δράσεις άνισης κατανομής των διαφόρων χρονικών στιγμών με υψηλές τιμές μέγιστης καταπόνησης.

1.5.3. Διαδικασία για την πιθανή βελτίωση της γραμμής.

Οι έως τώρα έρευνες δείχνουν ότι οι τεχνικές βελτίωσης της γραμμής με αυξανόμενη ταχύτητα συρμών, αξονικών φορτίων και φορτίων καταπόνησης είναι κοντά. Η ποιότητα του σχεδιασμού της κατασκευής και λειτουργίας πρέπει να έρθει πιο δυναμικά στο προσκήνιο απ' ό,τι μέχρι τώρα, και να γίνει οικονομικά πιο προσιτή.

Είναι δυνατό να διαπιστωθεί ότι η καταπόνηση από την κυκλοφορία μόνο μέχρι περιορισμένα βάθη (μερικά μέτρα) είναι σχετική με την επιδομή έρματος, αλλά μέσω της συχνής επανάληψης της εναλλαγής φορτίων και των υψηλών κραδασμών μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγές της θέσης της γραμμής. Για αυτό το λόγο πρέπει σε αυτή τη ζώνη ως πρώτη προϋπόθεση για μία μακράς διάρκειας και ικανής λειτουργίας γραμμή κυκλοφορίας να παρέχεται μία διαρκής δυναμική σταθερότητα των στρώσεων. Αυτό σημαίνει ότι οι εμφανιζόμενες δυναμικές καταπονήσεις των γραμμών, ειδικά στις ασύνδετες στρώσεις, πρέπει να έχουν μία επαρκή απόσταση από τις αναλαμβανόμενες καταπονήσεις.

Η δυναμική στις ασύνδετες στρώσεις πρέπει να μειωθεί περαιτέρω, πράγμα που είναι δυνατό για παράδειγμα με την επιλογή καταλληλότερων ελαστικών υποθεμάτων ή πελμάτων στρωτήρων. Η επιδομή έρματος γίνεται πιο σταθερή όταν:

- Ο αριθμός και το μέγεθος των κενών από έρμα θέσεων κάτω από τους στρωτήρες διατηρείται πολύ χαμηλός.
- Γίνεται επαρκές μπουράρισμα (δόνηση), μέσω του οποίου είναι δυνατό να προεξοφληθούν οι βυθίσεις λόγω κραδασμών.
- Γίνεται καλύτερη στήριξη των λίθων μέσω της επιλογής κατάλληλα διαβαθμισμένου μείγματος.

Το έρμα πρέπει να είναι όσο το δυνατό γερό και πυκνό, έτσι ώστε να αποκλειστούν περαιτέρω σπασίματα και αποφλοιώσεις.

Ο μέχρι τώρα κανόνος δυνάμεων δεν ισχύει ως μοναδικό κριτήριο για την εκτίμηση του κόστους συντήρησης. Όταν υπάρχει αυξανόμενη δυναμική καταπόνηση προέχει η δυναμική έννοια της μέσης πίεσης έρματος.

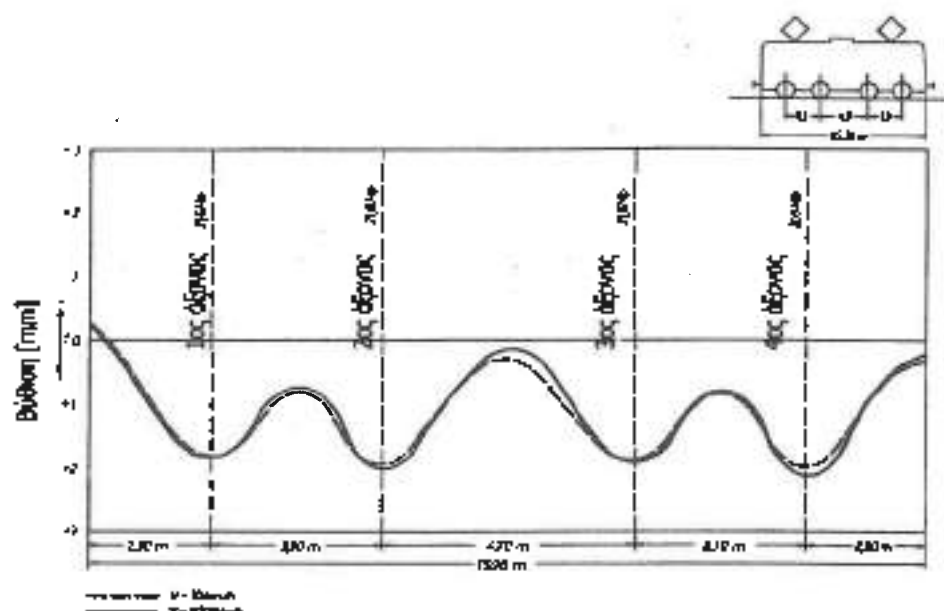
Ενώ στη σταθερή επιδομή η δυναμική καταπόνηση στις σχετικές ζώνες είναι καθαρά μικρότερη από ότι στην επιδομή έρματος και για το λόγο αυτό κάτω από κυκλοφορία μόνο περιορισμένες παραμορφώσεις αναμένονται σε σχέση με τις ασύνδετες στρώσεις, έρχεται στο προσκήνιο η διαστασιολόγηση των

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.

1.6. Σύγκριση βυθίσεων σε πολύ μικρές και πολύ μεγάλες ταχύτητες διέλευσης συρμών. {4}

Μετρήσεις βυθίσεων που έγιναν σε γραμμή στροκίνητων συρμών Ε - 10 των γερμανικών σιδηροδρόμων έδειξαν πως δεν υπάρχει πρακτικά καμία διαφορά στο μέγεθος των βυθίσεων που πραγματοποιούνται κατά τη διέλευση του συρμού με ταχύτητα $V = 10$ [km/h] και με ταχύτητα $V = 200$ [km/h] όπως φαίνεται και στο διάγραμμα που ακολουθεί.



Σχήμα 14: Σύγκριση βυθίσεων για μικρές και μεγάλες ταχύτητες διέλευσης.

Η παρατήρηση αυτή αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον αν σκεφτεί κανείς ότι μετρώντας τις βυθίσεις σε πολύ χαμηλές ταχύτητες, ουσιαστικά λαμβάνει τιμές ταχυτήτων και σε πολύ μεγάλες ταχύτητες διέλευσης συρμών και μπορεί με το τρόπο αυτό να εξετάσει τη συμπεριφορά της γραμμής αλλά και τους κινδύνους που επικυλάσσει μια ατέλεια της γραμμής, οι οποίοι σε μεγάλες ταχύτητες έχουν πολύ πιο σοβαρές συνέπειες.

2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Αναζητώντας το αντικείμενο της εργασίας σε συνεργασία με τους επιβλέποντες επιλέχθηκε η εκτίμηση του δείκτη αντίδρασης εδάφους C [N/mm³] στη γραμμή του Η.Σ.Α.Π Πειραιάς-Κηφισιά, με τον οποίο παρατηρείται η συμπεριφορά των στρώσεων κάτω από την εσχάρα που σχηματίζουν οι στρωτήρες με τις σιδηροτροχιές.

Η τιμή του C μπορεί να εξαχθεί από τρία (3) είδη μετρήσεων {1}:

1. από μέτρηση της τάσης στο μέσο του πέλματος της σιδηροτροχιάς σύμφωνα με τη σχέση:

$$C = \frac{4 \cdot E_x \cdot I}{b} \cdot \left[\frac{Q}{4 \cdot \sigma_M \cdot W_u} \right]^2 \quad [\text{N/mm}^3] \quad (3)$$

2. από μέτρηση της βύθισης της σιδηροτροχιάς σύμφωνα με τη σχέση:

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

3. από μέτρηση του κύματος κάμψης της σιδηροτροχιάς μεταξύ των σημείων ανύψωσης σύμφωνα με τη σχέση:

$$C = \frac{Q}{2 \cdot b \cdot \gamma_M \cdot L} \quad [\text{N/mm}^3] \quad (5)$$

όπου:

C	δείκτης αντίδρασης εδάφους	[N/mm ³]
E _x	μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα 2,1*10 ⁵	[N/mm ²]
b	πλάτος του υποθετικού κατά μήκος φορέα	[mm]
I	ροπή αδράνειας της σιδηροτροχιάς	[mm ⁴]
Q	φορτίο τροχού	[N]
σ _M	μέση τάση στο μέσο του πέλματος της σιδηροτροχιάς	[N/mm ²]
W _u	ροπή αντίστασης στο πέλμα της σιδηροτροχιάς	[mm ³]

y_m	μέση τιμή μετρούμενης βύθισης	[mm]
L	ελαστικό μήκος	[mm]

Μέσα από τη βιβλιογραφία {1} συμπεραίνει κανείς ότι ο καλύτερος τρόπος για την πραγματοποίηση του σκοπού αυτού είναι η επί τόπου μέτρηση (με κάποιον άγνωστο μέχρι εκείνη τη στιγμή τρόπο) της βύθισης της σιδηροτροχιάς (2^ο είδος μέτρησης) κατά τη διέλευση του συρμού και τον υπολογισμό, στη συνέχεια, του δείκτη αντίδρασης εδάφους από τον τύπο του Zimmemann αφού βεβαίως οι υπόλοιπες παράμετροι που υπεσέχονται στον τύπο ήταν εύκολο να προσδιοριστούν, λόγω της ομοιομορφίας του είδους και των φορτίων των συρμών αλλά και της εύκολης πρόσβασης στην λήψη πληροφοριών για τα χαρακτηριστικά της γραμμής. Ο προσδιορισμός του δείκτη αντίδρασης εδάφους μετρώντας τη βύθιση θεωρείται –βάσει βιβλιογραφίας {1} – ο ακριβέστερος και γι' αυτό προτιμήθηκε.

Θεωρήθηκε επιπλέον σωστό να συμπεριληφθούν οι παραδοχές του Zimmemann κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων και των υπολογισμών, μιας και θα χρησιμοποιηθεί ο τύπος του προαναφερθέντος. Οι παραδοχές που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρονται παρακάτω.

3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΡΟΠΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Το πιο δύσκολο ίσως κομμάτι της εργασίας ήταν ο προσδιορισμός του τρόπου με τον οποίο θα μετρούταν η βύθιση, μιας και η βιβλιογραφία αλλά και η αναζήτηση μέσω του Η.Σ.Α.Π. δεν κατέστει δυνατό να βοηθήσει στον τομέα αυτόν. Για τη διεξαγωγή των μετρήσεων αυτών δεν υπήρχε συσκευή ή διάταξη ή κάποιο άλλο όργανο διαθέσιμο. Η προσέγγιση αρμόδιων εταιριών για την αγορά τέτοιων οργάνων έδειξε μία σημαντική δαπάνη η οποία δεν ήταν δυνατό να καλυφθεί. Προς τούτο επιχειρήσαμε να επινοήσουμε ένα δικό μας τρόπο μέτρησης.

Η πρώτη σκέψη ήταν η χρησιμοποίηση καταγραφικού τύπου «σεισμογράφου», η υλοποίηση της οποίας αποδείχθηκε πολύ δύσκολη έως αδύνατη. Τα ηλεκτρονικά καταγραφικά που προτάθηκαν ως εναλλακτική λύση είχαν το μειονέκτημα της εμφάνισης μίας μόνο μέτρησης (πρώτης ή τελευταίας) κατά τη διέλευση ενός συρμού, πράγμα το οποίο δεν εξυπηρετούσε το σκοπό μας. Τελικά αποφασίστηκε η χρησιμοποίηση μηχανικού μηκυνοσιμέτρου και η καταγραφή των ενδείξεων μέσω ψηφιακής βιντεοκάμερας.

Η επεξεργασία των μετρήσεων εκτιμήθηκε ότι ήταν δυνατό να γίνει μέσω του προγράμματος Pinnacle studio 7 το οποίο μετατρέπει τα δεδομένα της ψηφιακής βιντεοκάμερας σε δεδομένα DVD ή Video-CD. Με τον τρόπο αυτό θα ήταν δυνατό εν συνεχεία να εξεταστεί η ταινία ανά στιγμιότυπο (καρέ) της τάξεως των τεσσάρων εκατοστών του δευτερολέπτου (25 καρέ / δευτερόλεπτο) και να αναγνωστούν με ικανοποιητική ακρίβεια (4 εκατοστά του χιλιοστού) οι ενδείξεις του μηκυνοσιμέτρου, ακρίβεια ίδια με αυτή των ηλεκτρονικών καταγραφών.

Ιδιαίτερα προβληματίσε η εύρεση τρόπου εγκατάστασης του μηκυνοσιμέτρου για την ορθότερη μέτρηση της βύθισης. Αποφασίστηκε ομόφωνα ότι θα ήταν ικανοποιητική η τοποθέτησή του στο εξέχον τμήμα του στρωτήρα και όσο το δυνατό πλησιέστερα στην πλάκα έδρασης της σιδηροτροχιάς αφού η βύθιση της σιδηροτροχιάς μπορεί να θεωρηθεί περίπου ίδια με τη βύθιση του στρωτήρα συν τη βύθιση του ελαστικού υποθέματος.

Αρχικά προτάθηκε η δημιουργία ενός προβόλου που θα συγκρατούσε το μηκυνσιόμετρο σταθερό πάνω από το στρωτήρα. Ο πρόβολος αυτός θα αποτελούταν από δύο στελέχη (ένα οριζόντιο και ένα κατακόρυφο) συνδεδεμένα μεταξύ τους αλλά και το οριζόντιο με το μηκυνσιόμετρο με σφικτήρες διπλής υποδοχής. Για λόγους μέγιστης ακαμψίας τα στελέχη θα ήταν από συρμάτσαλο και το κατακόρυφο στέλεχος θα ενισχυόταν από ένα μικρό τρίποδο. Τέλος θεωρήθηκε αναγκαία η τοποθέτηση μιας μικρής μεταλλικής πλάκας στο στρωτήρα πάνω στην οποία θα σκουμπούσε η μύτη του μηκυνσιομέτρου για να αποφευχθούν αλλοιώσεις των μετρήσεων λόγω των ρωγμών του στρωτήρα (ιδιαίτερα των ξύλινων στρωτήρων).

Η αγορά των δύο στελεχών δεν παρουσίασε ιδιαίτερο πρόβλημα, πράγμα όμως που δεν μπορεί να ειπωθεί και για τους σφικτήρες αλλά ούτε και για το τρίποδο, μιας και η απαίτηση για μεταβαλλόμενου μήκους πόδια δεν ήταν δυνατό να ικανοποιηθεί από τις υπάρχουσες λύσεις της αγοράς. Για το λόγο αυτό το εργαστήριο οδοποιίας δάνεισε τους σφικτήρες, ενώ το τρίποδο κατασκευάστηκε σε μηχανουργείο βάσει σχεδίου και έναντι του ποσού των 80 € (20 € για τα υλικά και 60 € για την εργασία) και δέκα ημερών καθυστέρησης.

Όλα όμως τα παραπάνω ήταν αναγκαίο να δοκιμαστούν στην πράξη πριν την έναρξη των μετρήσεων, προκειμένου να γίνουν τυχόν αλλαγές. Για το σκοπό αυτό κανονίστηκε η διεξαγωγή δοκιμαστικών μετρήσεων.

4. ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Οι δοκιμαστικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στις 07/08/03 και ώρα 09:00.Ως τόπος των δοκιμαστικών μετρήσεων επιλέχθηκε ο χώρος αμέσως μετά το σταθμό των Πετρωμάτων στην άνοδο. Ο χώρος αυτός παρουσίαζε τα πλεονεκτήματα της άνεσης χώρου τόσο για την εγκατάσταση των οργάνων όσο και για την ασφαλή παραμονή μας κατά τη διέλευση των συρμών. Επίσης το γεγονός ότι οι συρμοί στο σημείο εκείνο εκκινούσαν από στάση έκανε την επί τόπου ανάγνωση των ενδείξεων ευκολότερη λόγω της χαμηλής ταχύτητας με αποτέλεσμα να είναι ευκολότερη η εκτίμηση της αποτελεσματικότητας και της ακρίβειας των δοκιμαστικών μετρήσεων. Αφού στήθηκαν τα όργανα των μετρήσεων όπως είχε προγραμματιστεί, κατά τη διέλευση του πρώτου συρμού αλλά και των αμέσως επόμενων, διαπιστώθηκαν τα εξής:

- ✦ Ο πρόβολος ήταν ιδιαίτερα ασταθής, με αποτέλεσμα να έχουμε μια συνεχή πτώση του μηκυνοσιμέτρου και συνεπώς αναξιόπιστες ενδείξεις.
- ✦ Το τρίποδο δεν ήταν δυνατό να βελτιώσει την κατάσταση, μιας και το πρόβλημα εντοπίστηκε στο οριζόντιο στέλεχος και όχι στο κατακόρυφο.
- ✦ Η διά χειρός στήριξη της κάμερας ήταν όχι μόνο κουραστική αλλά και προβληματική διότι παρουσίαζε τρεμόπαιγμα, πράγμα που θα δυσκόλευε την επεξεργασία των μετρήσεων.

Τα παραπάνω προβλήματα αντιμετωπίστηκαν ως εξής:

- ✦ Προστέθηκε ένα ακόμα κατακόρυφο και πιο κοντό στέλεχος πολύ κοντά στον στρωτήρα – το στέλεχος αυτό είχε ελάχιστα από την επιφάνεια του έρματος έτσι ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος να ακουμπήσει στο πέδιλο ηλεκτροληψίας του συρμού κατά τη διέλευσή του – δημιουργώντας έτσι ένα πλαίσιο από το οποίο εξέιχε ένας πολύ μικρός πρόβολος. Με τον τρόπο αυτό η διάταξη κατέστη ικανοποιητικά σταθερή.
- ✦ Το τρίποδο, μετά από προσθήκη ενός ακόμα εξαρτήματος ιδιοκατασκευής, χρησιμοποιήθηκε για τη στήριξη της κάμερας, αφού τα

μεταβαλλόμενου μήκους πόδια του ήταν δυνατό να δημιουργήσουν οποιαδήποτε γωνία λήψης.

- ✦ Η κατακορυφότητα του οργάνου, η οποία θεωρήθηκε απαραίτητη για την ακρίβεια των μετρήσεων, εξασφαλίστηκε με τη χρησιμοποίηση αλφαδιού αλλά και νήματος στάθμης.

Οι μετρήσεις που ακολούθησαν έδωσαν ικανοποιητικά αποτελέσματα σταθερότητας και ακρίβειας. Έτσι προχωρήσαμε στην επεξεργασία των δοκιμαστικών μετρήσεων μετατρέποντας τα δεδομένα της ταινίας σε Video-CD και αναλύοντας μέσω προγράμματος ανά στιγμιότυπο. Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας ήταν ευκρινή όσο και αναμενόμενα (βάσει βιβλιογραφίας {3} η βύθιση αναμένεται έως 3mm). Θεωρήθηκε συνεπώς εφικτό να προχωρήσουμε στις κανονικές μετρήσεις.

5. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΤΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΠΟΥ ΕΞΕΤΑΖΟΝΤΑΙ.

Οι παραδοχές σύμφωνα με τις οποίες έγιναν οι μετρήσεις αλλά και οι διαφοροί υπολογισμοί είναι, σύμφωνα και με τον Zimmetman αλλά και βάσει δικών μας παρατηρήσεων, οι εξής:

1. Ο αριθμός των μετρήσεων σε κάθε σημείο κυμαίνεται από 8 έως 12 λόγω διασποράς τιμών σύμφωνα με τον Zimmetman. Εκτός αυτού το εύρος αυτό του αριθμού των μετρήσεων για κάθε σημείο θεωρήθηκε απαραίτητο μιας και στις δοκιμαστικές μετρήσεις διαπιστώθηκε ότι κάθε περίπου τρεις (3) έως τέσσερις (4) διελεύσεις συρμών το όργανο παρουσίαζε μια απόκλιση της τάξεως του ενός (1) έως τριών (3) εκατοστών του χιλιοστού από την αρχική θέση μέτρησης. Με τη διεξαγωγή όμως οχτώ (8) έως δέκα (10) μετρήσεων για κάθε σημείο η ακρίβεια ήταν ιδιαίτερα ικανοποιητική μιας και η τυπική απόκλιση των τιμών αλλά και το διάστημα εμπιστοσύνης μέσα στο οποίο κινείται η μέση τιμή της βύθισης είναι ικανοποιητικά μικρά (βλέπε Πίνακας στατιστικών μεγεθών.).
2. Ο τρόπος μέτρησης που επιλέχθηκε μετράει τη βύθιση του στρωτήρα. Οι λαμβανόμενες συνεπώς τιμές υπολογίζονται αυτών εάν μετρήτο η βύθιση της σιδηροτροχιάς (η οποία και μας ενδιαφέρει αφού αυτή υπεισέρχεται στον τύπο υπολογισμού του C). Η επιπλέον βύθιση της σιδηροτροχιάς προέρχεται από τη βύθιση των ενδιάμεσων (ανάμεσα στη σιδηροτροχιά και το στρωτήρα) ελαστικών υποθεμάτων η οποία κυμαίνεται από 0,1 έως 0,3 χιλιοστά, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία {3}. Θεωρείται συνεπώς ότι *βύθιση σιδηροτροχιάς = βύθιση στρωτήρα + βύθιση ελαστικού υποθέματος*.
3. Επειδή για όλα τα σημεία μέτρησης χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος τρόπος μέτρησης θεωρείται ότι η σχετική συμπεριφορά των στρώσεων δεν αλλάζει. Έτσι θεωρείται ότι η βύθιση του ελαστικού υποθέματος είναι ίδια για όλα τα σημεία μετρήσεων και ίση με 0,3 [mm].
4. Στους υπολογισμούς χρησιμοποιείται η μέση τιμή βύθισης όπως αυτή προέκυψε για κάθε σημείο μέτρησης, αφού φυσικά προστέθηκε η βύθιση του ελαστικού υποθέματος. Η μέση τιμή αυτή θεωρείται ημιστατική (και

όχι δυναμική όπως θα περίμενε κανείς) για τις συγκεκριμένες ταχύτητες συρμών στις οποίες μετρήσαμε εμείς (έως 60 [km/h]). Στη θεώρηση αυτή καταλήξαμε μετά από επικοινωνία με τον καθηγητή του Πολυτεχνείου του Μονάχου Prof. Leykauf.

5. Ο συντελεστής κατάστασης επιδομής ρ εκτιμάται (εξ όψεως και βάσει της πολυετούς πείρας του Κ^α Λυμπέρη) ίσος με 0,25 για την πρώτη ημέρα (ξύλινοι στρωτήρες στη διαδρομή Πειραιάς-Φάληρο), 0,20 για τη δεύτερη ημέρα (ξύλινοι στρωτήρες στο σταθμό των Πετραλώνων) και ίσος με 0,15 για την τρίτη ημέρα (μπετονένιοι στρωτήρες στο Θησείο).

6. ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

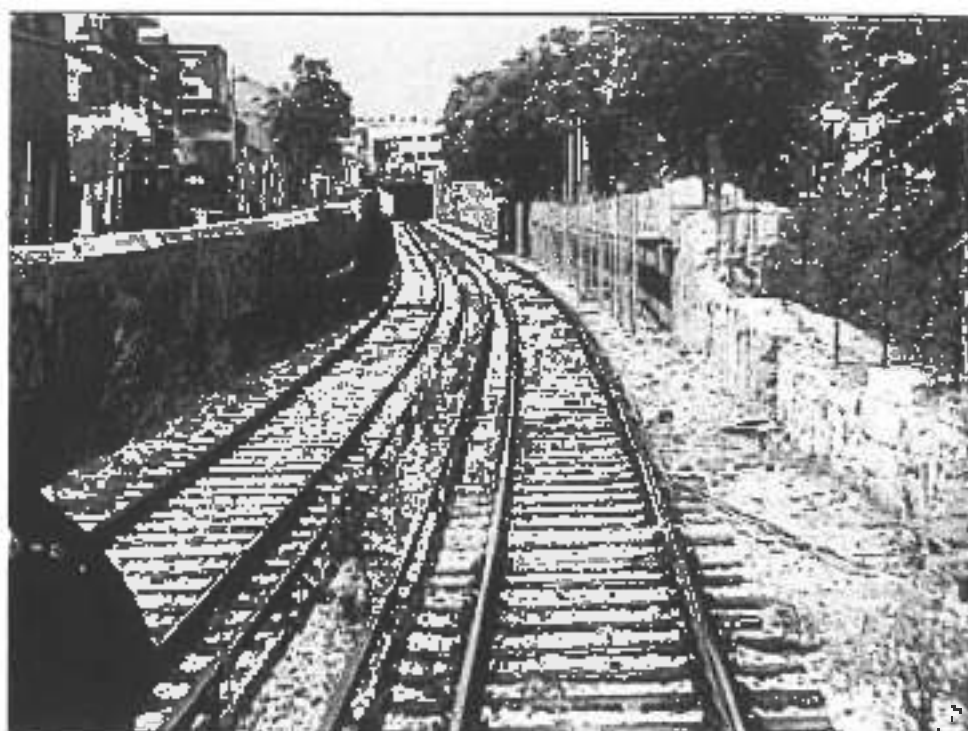
6.1. Ημέρα 1^η 19/08/03.

Ως τόπος μετρήσεων της πρώτης ημέρας επιλέχθηκε η ανοικτή γραμμή καθόδου Φάληρο-Πειραιάς, καθώς το σημείο είχε αναφερθεί ως «προβληματικό» από τους εργαζόμενους του Η.Σ.Α.Π. Δυστυχώς όμως το συγκεκριμένο σημείο που είχε προταθεί προς μέτρηση απεδείχθη ακατάλληλο λόγω έλλειψης χώρου τόσο για την εγκατάσταση των διατάξεων όσο και για την ασφαλή παραμονή μας κατά τη διέλευση συρμού, πράγμα το οποίο επισημαινόταν από λευκές γραμμές στους παράπλευρους τοίχους όπως φαίνεται και παρακάτω.



Εικόνα 1: Προβληματικό σημείο

Έτσι οι μετρήσεις έγιναν σε χώρο λίγων μέτρων βορειότερα. Πραγματοποιήθηκαν 10 (δέκα) μετρήσεις στη Χ.Θ. 1+090 και 9 (εννέα) μετρήσεις στη Χ.Θ. 1+100.



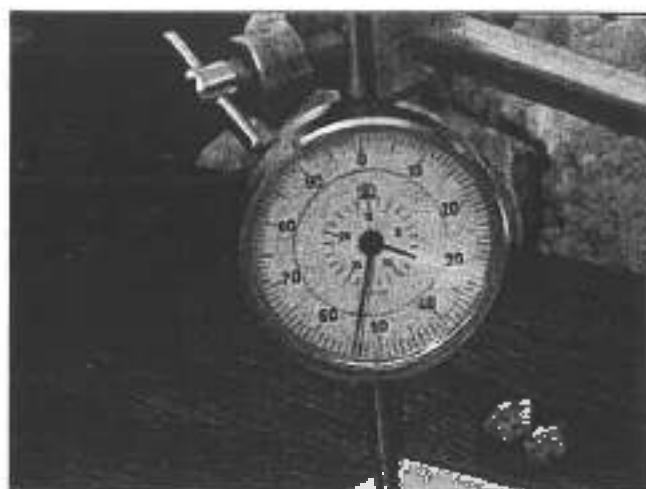
Εικόνα 2: Το σημείο μέτρησης από την καμπίνα του οδηγού

6.1.1. Χ.Θ 1+090.

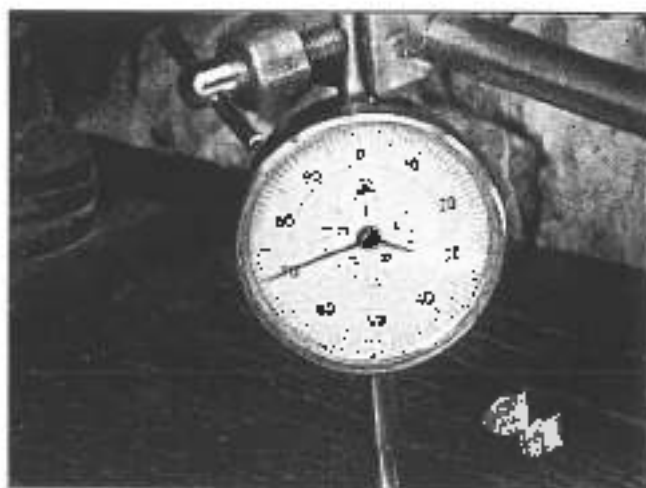
Οι μετρήσεις έγιναν στο στρωτήρα δίπλα ακριβώς από αυτόν που στήριζε τον αρμό διαστολής. Στο σημείο αυτό μετρήθηκαν και παρατηρήθηκαν τα εξής:

- Μήκος στρωτήρα: 260 [cm]
- Πλάτος στρωτήρα: 25 [cm]
- Ύψος στρωτήρα: 15 [cm]
- Εξέχον τμήμα: 55 [cm]
- Απόσταση στρωτήρων: 63-90 [cm]
- Ακτίνα καμπύλης: 900 [m]
- Υπερύψωση: 85-90 [mm]
- Σιδηροτροχιά: 549
- Σκληρότητα έρματος: 10-12 Deval-Los Angeles

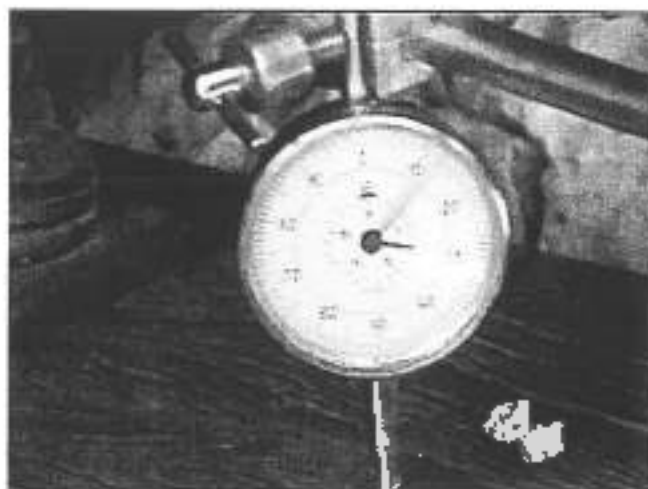
Ακολουθούν στιγμιότυπα του μηχανοσυστήματος σε χαρακτηριστικές στιγμές της δεύτερης μέτρησης του σημείου (1^ο ανέβασμα της σιδηροτροχιάς, μέγιστη βύθιση, μέγιστο ανέβασμα).



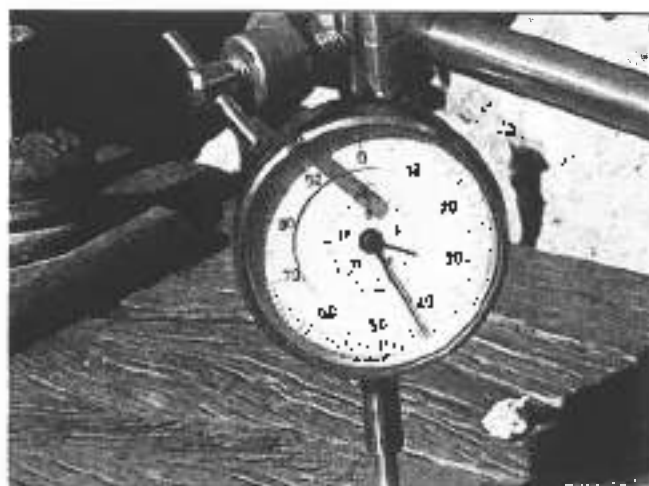
Εικόνα 3: Ένδειξη σε ηρεμία



Εικόνα 4: 1^ο ανέβασμα



Εικόνα 5: Μέγιστη βύθιση



Εικόνα 6: Μέγιστο ανέβασμα

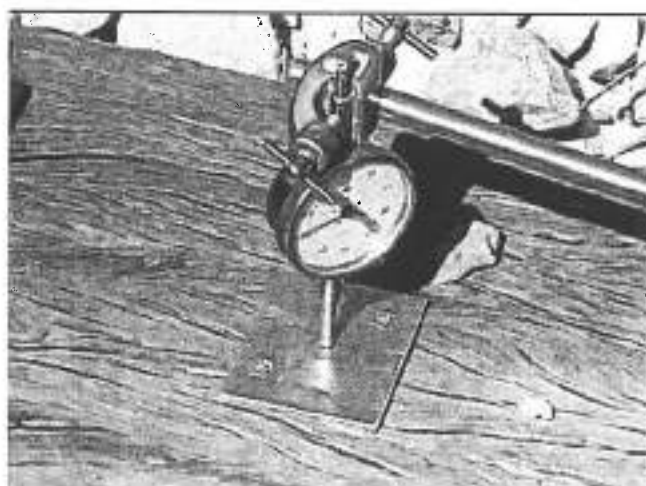
Μετά το τέλος των μετρήσεων του σημείου αυτού αποτυπώθηκε μια γενική άποψη της διάταξης των οργάνων, η οποία φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 7

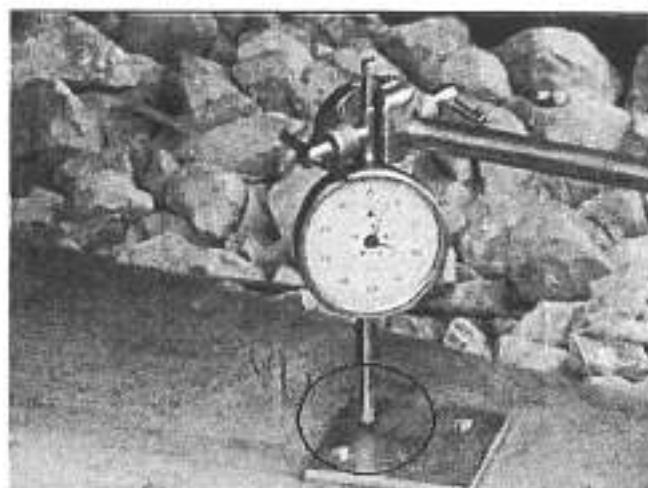


Εικόνα 8



Εικόνα 9

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων παρατηρήθηκε μεγάλη βύθιση στο διπλανό στρωτήρα στον οποίο στηρίζεται ο αρμός, πράγμα το οποίο μας δημιούργησε την υποψία ύπαρξης «κενής από έρμα θέσης». Για το λόγο αυτό προβήκαμε σε δύο ενδεικτικές μετρήσεις του σημείου, οι οποίες όμως δεν ελήφθησαν υπόψη λόγω αναπήδησης του οργάνου από το «χτύπημα» του τροχού πάνω στον αρμό κατά τη διέλευσή του (όπως φαίνεται στην εικόνα 10).



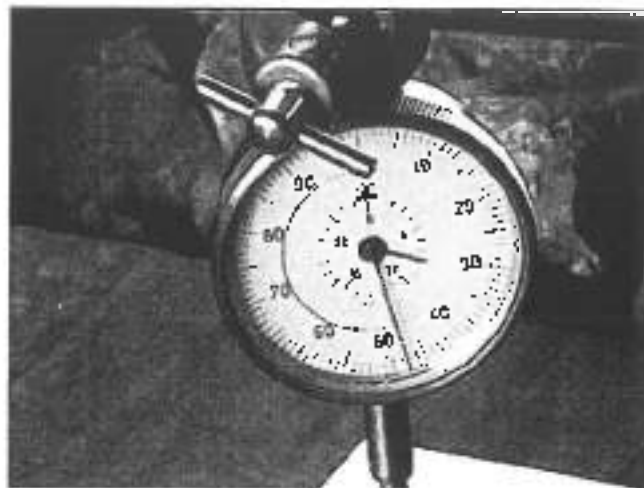
Εικόνα 10: Αναπήδηση του οργάνου

6.1.2. Χ.Θ. 1+100.

Οι μετρήσεις στο σημείο αυτό έλαβαν χώρα κάτω από τη γέφυρα της Πειραιώς. Στο σημείο αυτό μετρήθηκαν και παρατηρήθηκαν τα εξής:

- Μήκος στρωτήρα: 260 [cm]
- Πλάτος στρωτήρα: 25 [cm]
- Ύψος στρωτήρα: 15 [cm]
- Εξέχον τμήμα: 55 [cm]
- Απόσταση στρωτήρων: 60 [cm]
- Ακτίνα καμπύλης: 900 [m]
- Υπερύψωση: 85 - 90 [mm]
- Σιδηροτροχιά: S49
- Σκληρότητα έρματος: 10-12 Deval-Los Angeles

Ακολουθούν στιγμιότυπα του μηκυνοσιμέτρου σε χαρακτηριστικές στιγμές της πρώτης μέτρησης του σημείου (1^ο ανέβασμα της σιδηροτροχιάς, μέγιστη βύθιση, μέγιστο ανέβασμα).



Εικόνα 11: Ένδειξη σε ηρέμια



Εικόνα 12: 1^η ανέγερση



Εικόνα 13: Μέγιστη βύθιση



Εικόνα 14: Μέγιστο ανέβασμα

6.2. Ημέρα 2^η 27/08/03.

Ως τόπος μετρήσεων της δεύτερης ημέρας επιλέχθηκε το σημείο των δοκιμοστικών μετρήσεων, δηλαδή το σημείο αμέσως μετά το σταθμό των Πετραλώνων στην άνοδο, για τους εξής λόγους:

- ✦ έχει αποδειχθεί ότι η βύθιση της σιδηροτροχιάς σε πολύ χαμηλές ταχύτητες είναι ίδια με τη βύθιση σε πολύ υψηλές ταχύτητες {4}. Η βύθιση σε υψηλές ταχύτητες μας ενδιέφερε ιδιαίτερος αφού εκεί οι κίνδυνοι από λάθη γραμμής είναι μεγαλύτεροι.
- ✦ η μέτρηση σε χαμηλές ταχύτητες μας έδινε το πλεονέκτημα της βραδύτερης μεταβολής των ενδείξεων του οργάνου και την ευκρινέστερη και ακριβέστερη ανάγνωσή τους κατά την επεξεργασία, όπως είχε φανεί από τις μετρήσεις της πρώτης μέρας.
- ✦ η μέτρηση σε τρία διαδοχικά σημεία μετά το σταθμό μας παρείχε τη δυνατότητα μελέτης σε τρεις διαφορετικές ταχύτητες αφού στο τρίτο σημείο ο συρμός είχε σχεδόν πιάσει τη μέση του ταχύτητά.

6.2.1. Χ.Θ 7+110.

Οι μετρήσεις αυτές έγιναν ακριβώς μετά την έξοδο του σταθμού. Στο σημείο αυτό μετρήθηκαν και παρατηρήθηκαν τα εξής:

- Μήκος στρωτήρα: 260 [cm]
- Πλάτος στρωτήρα: 25 [cm]
- Ύψος στρωτήρα: 15 [cm]
- Εξέχον τμήμα: 55 [cm]
- Απόσταση στρωτήρων: 60 [cm]
- Σιδηροτροχιά: S49
- Σκληρότητα έρματος: 10-12 Deval-Los Angeles

Ακολουθούν στιγμιότυπα του μηκυνοσιμέτρου σε χαρακτηριστικές στιγμές της έκτης μέτρησης του σημείου (1^ο ανέβασμα της σιδηροτροχιάς, μέγιστη βύθιση, μέγιστο ανέβασμα).



Εικόνα 15: Ένδειξη σε ηρεμία



Εικόνα 16: 1^ο ανέβασμα



Εικόνα 17: Μέγιστη βύθιση



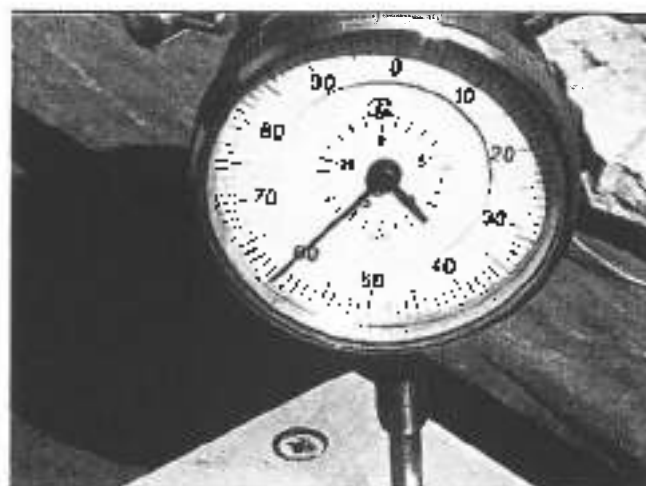
Εικόνα 18: Μέγιστο ανέβασμα

6.2.2. Χ.Θ. 7+160.

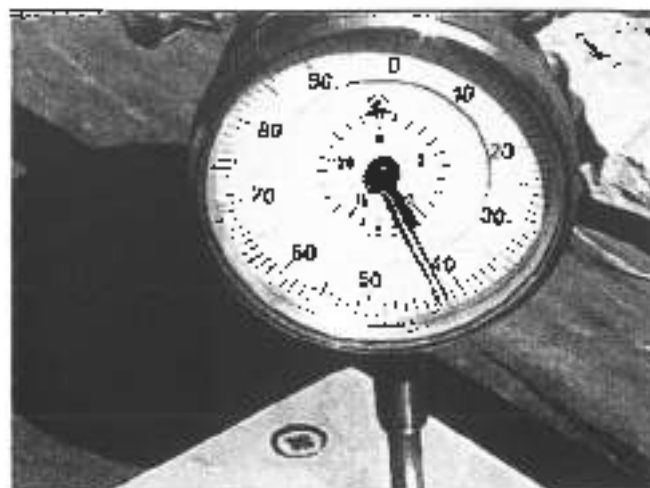
Το δεύτερο σημείο μέτρησης επιλέχθηκε 50 m βορειότερα από το πρώτο. Στο σημείο αυτό η ταχύτητα του συρμού ήταν μεγαλύτερη και οι ενδείξεις του οργάνου πιο καθαρές καθότι δεν προλάβαινε να «διοβάσει» τις πολύ μικρές ταλαντώσεις της βύθισης όπως στο πρώτο σημείο όπου η ταχύτητα ήταν μικρή. Στο σημείο αυτό μετρήθηκαν και παρατηρήθηκαν τα εξής:

- Μήκος στρωτήρα: 260 [cm]
- Πλάτος στρωτήρα: 25 [cm]
- Ύψος στρωτήρα: 15 [cm]
- Εξέχον τμήμα: 55 [cm]
- Απόσταση στρωτήρων: 60 [cm]
- Σιδηροτροχιά: S49
- Σκληρότητα έρματος: 10-12 Deval-Los Angeles

Ακολουθούν κάποιες εικόνες από τα στιγμιότυπα του μηχανομομέτρου σε χαρακτηριστικές στιγμές της τέταρτης μέτρησης του σημείου (1^ο ανέβασμα της σιδηροτροχιάς, μέγιστη βύθιση, μέγιστο ανέβασμα).



Εικόνα 19: Ένδειξη σε ηρεμία



Εικόνα 20: 1^η ανέβασμα



Εικόνα 21: Μέγιστη βύθιση



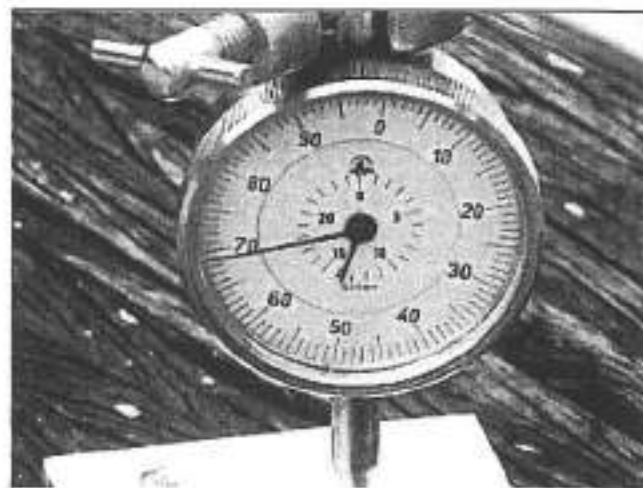
Εικόνα 22: Μέγιστο ανέβασμα

6.2.3. Χ.Θ. 7+172.

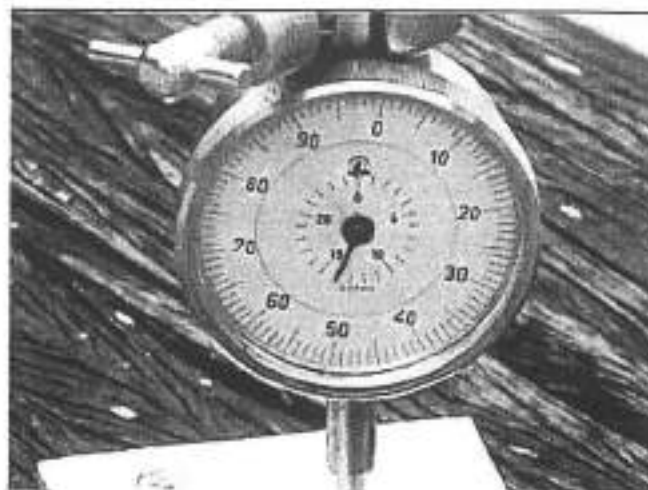
Στο σημείο αυτό δυσκολευτήκαμε ιδιαίτέρως να αποφασίσουμε σε ποιο στρωτήρα θα τοποθετούσαμε τη διάταξή μας, μιας και παρατηρήθηκε μια εσχάρα στρωτήρων και σιδηροτροχιών η οποία βυθιζόταν πάρα πολύ κατά τη διέλευση του συρμού. Μια μέτρηση σε αυτό το σημείο δε θα μας ήταν χρήσιμη αφού ήταν φανερό ότι η επιδομή του ήταν προβληματική και δε θα μας έδινε αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα. Έτσι λοιπόν η διάταξη τοποθετήθηκε στον ακριβώς επόμενο στρωτήρα όπου η βύθιση φαινόταν (βάσει της εμπειρίας που είχαμε αποκτήσει από τις προηγούμενες μετρήσεις) εντός φυσιολογικών ορίων. Στο σημείο αυτό μετρήθηκαν και παρατηρήθηκαν τα εξής:

- Μήκος στρωτήρα: 260 [cm]
- Πλάτος στρωτήρα: 25 [cm]
- Ύψος στρωτήρα: 15 [cm]
- Εξέχον τμήμα: 55 [cm]
- Απόσταση στρωτήρων: 60 [cm]
- Σιδηροτροχιά: S49
- Σκληρότητα έρματος: 10-12 Deval-Los Angeles

Ακολουθούν κάποιες εικόνες από τα στιγμιότυπα του μηχανογράφου σε χαρακτηριστικές στιγμές της πρώτης μέτρησης του σημείου (1^ο ανέβασμα της σιδηροτροχιάς, μέγιστη βύθιση, μέγιστο ανέβασμα).



Εικόνα 23: Ένδαξη σε ηρεμία



Εικόνα 24: 1^ο ανέβασμα



Εικόνα 25: Μέγιστη βύθιση



Εικόνα 26: Μέγιστο ανέβασμα

6.3. Ημέρα 3^η 09/10/03.

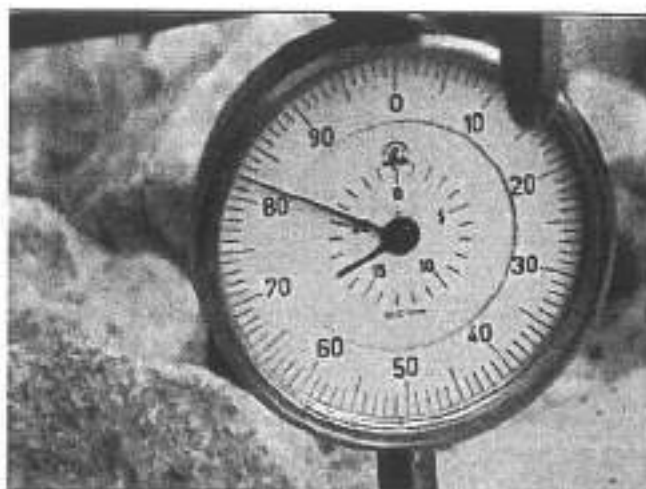
Μετά το τέλος των προκαθορισμένων μετρήσεων και κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας μάς έγινε γνωστό ότι στο τμήμα της γραμμής του Η.Σ.Α.Π. στο σταθμό του Θησείου και λίγο νοτιότερα στρώθηκε εκ νέου η γραμμή με ολόσωμους μπιτονένιους στρωτήρες. Το γεγονός αυτό θεωρήθηκε ενδιαφέρον από τους επιβλέποντες της διπλωματικής εργασίας και ιδιαίτερα από τον κύριο Αυμπέρη, ο οποίος πρότεινε τη διεξαγωγή μετρήσεων βύθισης της γραμμής στο σημείο αυτό για να μπορέσει να γίνει μία σύγκριση με τις υπόλοιπες μετρήσεις που είχαν πραγματοποιηθεί. Στο σημείο αυτό είχε επίσης τοποθετηθεί γεωύφασμα κάτω από το έρμα (το οποίο είναι σκληρότητας 14-16 αντί για 10-12 που υπήρχε στην υπόλοιπη γραμμή) ενώ η σιδηροτροχιά είναι UTC 54.

6.3.1. Χ.Θ. 8+350.

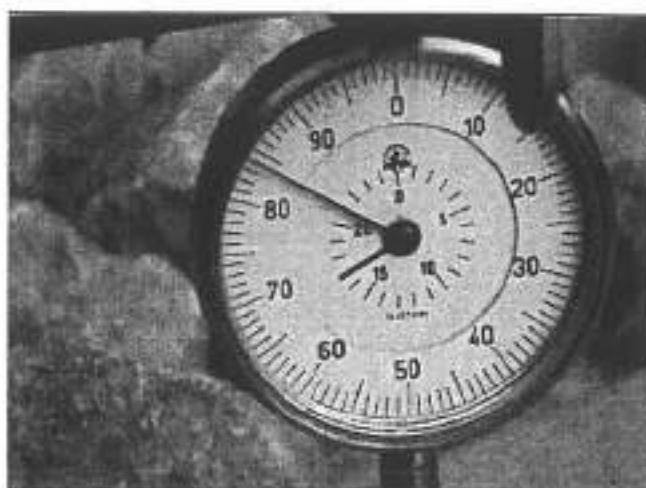
Οι μετρήσεις έγιναν πάνω σε καμπύλη και στο σημείο αυτό μετρήθηκαν και παρατηρήθηκαν τα εξής:

- Στρωτήρες: B70 ολόσωμοι
- Απόσταση στρωτήρων: 67 [cm]
- Μήκος στρωτήρα: 2,60 [m]
- Ύψος στρωτήρα: 21 [cm]
- Πλάτος στρωτήρα: 30 [cm]
- Εξέχον τμήμα: 55 [cm]
- Ακτίνα καμπύλης: 540 [m]
- Σιδηροτροχιά: UTC 54
- Σκληρότητα έρματος: 14-16 Deval-Los Angeles
- Υπερύψωση: 80 [mm]

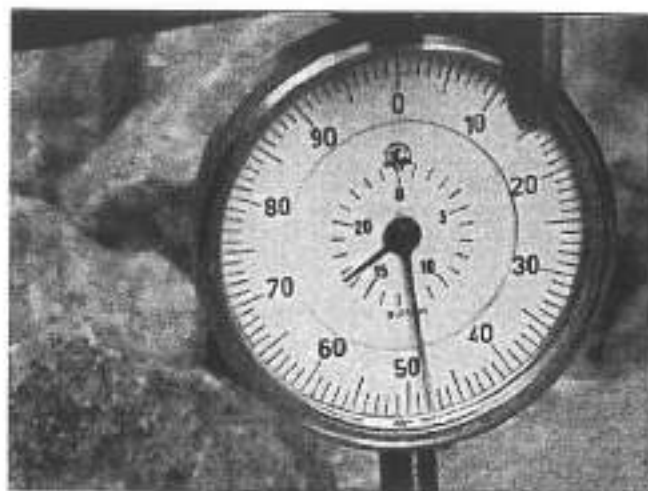
Ακολουθούν στιγμιότυπα του μηχανοαυτομέτρου σε χαρακτηριστικές στιγμές της πρώτης μέτρησης του σημείου (1^ο ανέβασμα της σιδηροτροχιάς, μέγιστη βύθιση, μέγιστο ανέβασμα).



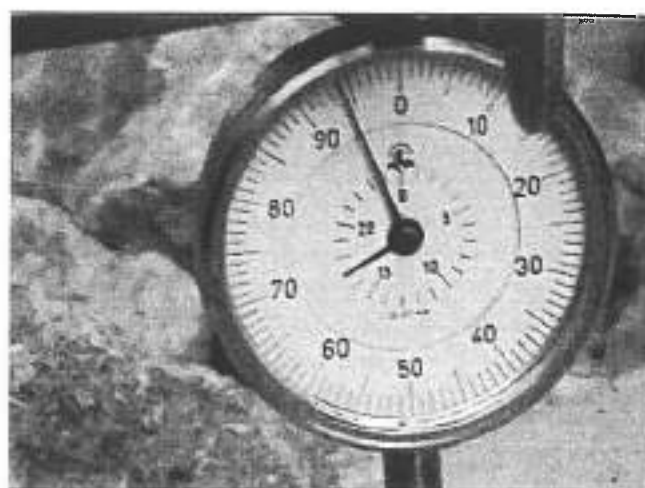
Εικόνα 27: Ένδειξη σε ηρεμία



Εικόνα 28: 1^η ανέγασμα



Εικόνα 29: Μέγιστη βύθιση



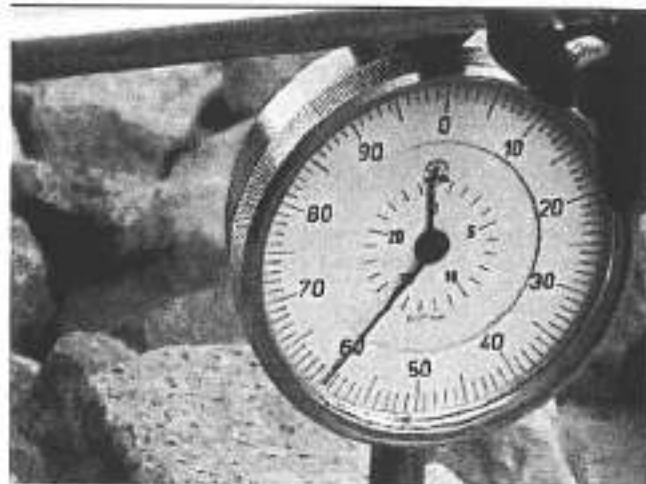
Εικόνα 30: Μέγιστο ανέβασμα

6.3.2. Χ.Θ. 8+345.

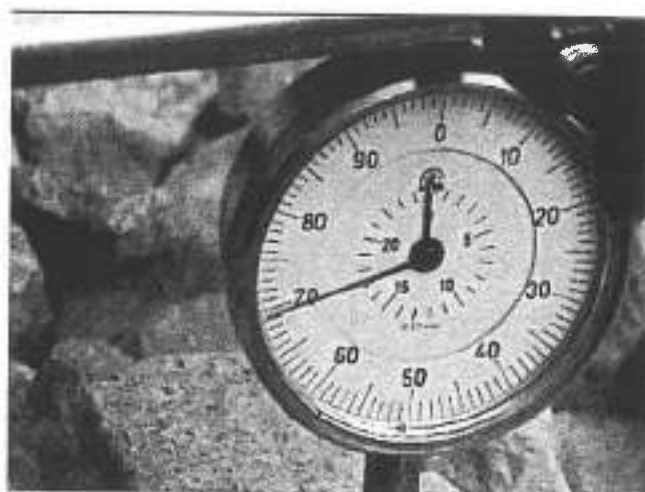
Οι μετρήσεις έγιναν πάνω σε καμπύλη και στο σημείο αυτό μετρήθηκαν και παρατηρήθηκαν τα εξής:

- Στρωτήρες: B70 ολόσωμοι
- Απόσταση στρωτήρων: 67 [cm]
- Μήκος στρωτήρα: 2,60 [m]
- Ύψος στρωτήρα: 21 [cm]
- Πλάτος στρωτήρα: 30 [cm]
- Εξέχον τμήμα: 55 [cm]
- Ακτίνα καμπύλης: 540 [m]
- Σιδηροτροχιά: UIC 54
- Σκληρότητα έρματος: 14-16 Deval-Los Angeles
- Υπερύψωση: 80 [mm]

Ακολουθούν κάποιες εικόνες από τη διάταξη των οργάνων αλλά και στιγμιότυπα του μηκυνσιομέτρου σε χαρακτηριστικές στιγμές της πρώτης μέτρησης του σημείου (1^ο ανέβασμα της σιδηροτροχιάς, μέγιστη βύθιση, μέγιστο ανέβασμα).



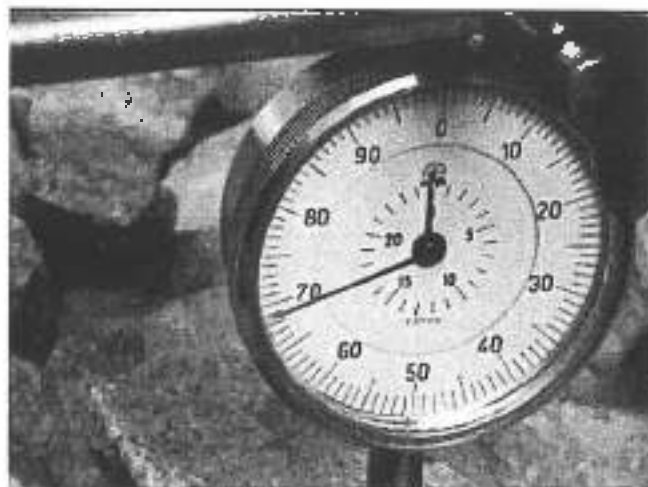
Εικόνα 31: Ένδειξη σε ηρέμια



Εικόνα 32: 1^ο ανέγασμα



Εικόνα 33: Μέγιστη βύθιση



Εικόνα 34: Μέγιστο ανέβασμα



Εικόνα 35: Διάταξη σε μπετονένιους
στρωτήρες.

7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Οι επεξεργασίες των μετρήσεων έδωσε αποτελέσματα τα οποία ακολουθούν παρακάτω υπό μορφή πινάκων για ευκολότερη επισκόπηση.

7.1. Πίνακας ενδείξεων.

- Ως «αρχή» αναφέρεται η αρχική ένδειξη του οργάνου σε ηρεμία (δηλαδή πριν τη διέλευση του συρμού).
- Ως «1^ο ανέβασμα» αναφέρεται η ένδειξη του οργάνου τη χρονική στιγμή που πλησιάζει ο συρμός τον υπό εξέταση στρωτήρα (περί τα 6m πριν) και η σιδηροτροχιά παραμαρφώνεται προς τα επάνω.
- Ως «max βύθιση» αναφέρεται η ένδειξη του οργάνου κατά τη διέλευση του τροχού με το μεγαλύτερο φορτίο από τη θέση του μηχανοσυστήματος. Η ένδειξη αυτή είναι αριθμητικά η μικρότερη όλων.
- Ως «max ανέβασμα» αναφέρεται η μέγιστη ένδειξη του οργάνου ανάμεσα σε διελύσεις διαδοχικών τροχών. Η ένδειξη αυτή είναι αριθμητικά η μεγαλύτερη όλων.

7.2. Πίνακας απόλυτων μεγεθών.

- Ως «βύθιση max» γ αναφέρεται η απόλυτη μέγιστη βύθιση του στρωτήρα. Προκύπτει από την αφαίρεση του «max βύθιση» από την «αρχή». Αυτό είναι ουσιαστικά και το μέγεθος που ενδιαφέρει και η μέση τιμή του οποίου θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του δείκτη αντίδρασης εδάφους.
- Ως «ανέβασμα 1^ο» d₁ αναφέρεται η απόλυτη τιμή της ανύψωσης της σιδηροτροχιάς τη χρονική στιγμή που πλησιάζει ο συρμός.
- Ως «ανέβασμα max» d αναφέρεται η απόλυτη μέγιστη ανύψωση της σιδηροτροχιάς ανάμεσα σε διελύσεις διαδοχικών τροχών.

Ο πίνακας αυτός περιέχει και μέσες τιμές των μεγεθών καθώς και το ποσοστό του μέγιστου ανεβάσματος ως προς τη μέγιστη βύθιση για στατιστικούς λόγους.

7.3. Πίνακας στατιστικών μεγεθών.

Ο πίνακας αυτός περιλαμβάνει τις στατιστικές διακυμάνσεις των μεγεθών του πίνακα 2, των μεγεθών δηλαδή που προκύπτουν από τις μετρήσεις. Η διακύμανση δείχνει όχι μόνο την ακρίβεια των μετρήσεων (όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΤΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΠΟΥ ΕΞΕΤΑΖΟΝΤΑΙ.) αλλά και την ομοιομορφία του τροχαίου υλικού, το οποίο παρά το γεγονός ότι δεν έχει ομοιόμορφες καταπονήσεις συμπεριφέρεται όμοια σε χαμηλές ταχύτητες, γεγονός που καθιστά σωστή τη θεώρησή μας για ημιστατικές μετρήσεις των βυθίσεων.

Η στατιστική διασπορά δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$s_x^2 = \frac{1}{v-1} \sum_j (j - j_m)^2 \quad (22)$$

όπου:	v	πλήθος μετρήσεων
	j	τιμή μέτρησης
	j _m	μέση τιμή των μετρήσεων του σημείου

7.3.1. Πίνακας υπολογισμού τυπικής απόκλισης βύθισης.

Στον πίνακα αυτό περιλαμβάνονται όλες οι τιμές βύθισης των σημείων με τις μέσες τιμές βύθισης, τη διασπορά και την τυπική απόκλιση κάθε σημείου όπως αυτή ορίζεται από τον τύπο:

$$s_x = \sqrt{s_x^2} \quad (23)$$

7.3.2. Πίνακας υπολογισμού διαστήματος εμπιστοσύνης βύθισης.

Προκειμένου να διαπιστωθούν τα όρια μέσα στα οποία κυμαίνεται η πραγματική μέση τιμή της μέγιστης βύθισης (δηλαδή το διάστημα εμπιστοσύνης μέσα στο οποίο κινείται) είναι απαραίτητο να γίνουν κάποιες στατιστικές παραδοχές:

- Επειδή το δείγμα μας είναι μικρό (ισχύει για κάθε περίπτωση $n < 30$) θεωρείται ότι οι τιμές μας ακολουθούν κατανομή t του student {17}.
- Θεωρείται ως επιπεδο εμπιστοσύνης το 90%
- Θεωρείται ως $y_{μ1}$ το άνω όριο του διαστήματος
- Θεωρείται ως $y_{μ2}$ το κάτω όριο του διαστήματος
- Ο τύπος από τον οποίο προκύπτουν οι τιμές των ορίων είναι ο εξής:

$$y_{μ1,2} = y_{\mu} \pm t_{n-1, \beta/2} \cdot \frac{s_s}{\sqrt{n}} \quad (24)$$

7.3.3. Πίνακας υπολογισμού μεταβολής μεγεθών μέσω στο διάστημα εμπιστοσύνης.

Ο σκοπός του διαστήματος εμπιστοσύνης είναι να διερευνηθεί το κατά πόσο μεταβάλλονται τα μεγέθη που είναι εξαρτώμενα από τη βύθιση (εδώ ενδιαφέρει ο δείκτης αντίδρασης εδάφους C και η πίεση κάτω από το στρωτήρα ρ) όταν η βύθιση παίρνει τις ακραίες τιμές των ορίων του διαστήματος εμπιστοσύνης. Ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζονται τα μεγέθη δεν είναι αντικείμενο της παρούσης παραγράφου και αναπτύσσεται παρακάτω. Από τα αποτελέσματα του πίνακα αυτού προκύπτει ότι η μεταβολή αυτή των μεγεθών είναι πρακτικά ασήμαντη και για το λόγο αυτό γίνεται αποδεκτή η μέση τιμή της μέγιστης βύθισης που υπολογίστηκε και χρησιμοποιείται στους παρακάτω υπολογισμούς.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.1_1 ΕΝΔΕΞΕΙΣ ΜΗΚΥΝΣΙΟΜΕΤΡΟΥ 1ης ΗΜΕΡΑΣ					
	Μέτρηση	Αρχή (mm)	1ο ανέβασμα (mm)	max βύθιση (mm)	max ανέβασμα (mm)
1ο σημείο Χ.Θ 1+090	1	7,40	7,50	6,90	7,65
	2	7,44	7,54	7,10	7,70
	3	7,50	7,60	7,10	7,80
	4	7,50	7,60	7,00	7,80
	5	7,52	7,62	7,16	7,85
	6	7,56	7,66	7,15	7,90
	7	7,60	7,70	7,15	7,93
	8	7,60	7,70	7,15	7,92
	9	7,61	7,74	7,15	7,95
	10	7,66	7,79	7,10	8,00
ΑΡΜΟΣ	1	7,10	7,77	3,35	8,40
	2	7,20	7,85	3,20	8,00
2ο σημείο Χ.Θ 1+100	1	7,50	7,85	6,40	8,15
	2	7,50	7,82	6,21	7,82
	3	7,47	7,82	6,30	7,82
	4	7,45	8,00	6,29	8,00
	5	7,47	7,66	6,29	8,00
	6	7,49	7,85	6,20	8,00
	7	7,48	7,75	6,26	7,80
	8	7,47	7,78	6,25	7,80
	9	7,47	7,78	6,26	7,80

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.2_1 ΑΠΟΛΥΤΑ ΜΕΓΕΘΗ 1ης ΗΜΕΡΑΣ					
	Μέτρηση	Βύθιση max y (mm)	Ανέβασμα 1ο d_1 (mm)	Ανέβασμα max d (mm)	% (ανέβ max/ βύθ max)
1ο σημείο Χ.Θ 1+090	1	0,5	0,1	0,25	50,0
	2	0,34	0,1	0,26	76,5
	3	0,4	0,1	0,3	75,0
	4	0,5	0,1	0,3	60,0
	5	0,36	0,1	0,33	91,7
	6	0,41	0,1	0,34	82,9
	7	0,45	0,1	0,33	73,3
	8	0,45	0,1	0,32	71,1
	9	0,46	0,13	0,34	73,9
	10	0,56	0,13	0,34	60,7
	μέση τιμή j_w	0,44	0,11	0,31	71,5
ΑΡΜΟΣ	1	3,75	0,67	1,3	34,7
	2	4	0,65	0,8	20,0
	μέση τιμή j_w	3,88	0,66	1,05	27,3
2ο σημείο Χ.Θ 1+100	1	1,1	0,35	0,65	59,1
	2	1,29	0,32	0,32	24,8
	3	1,17	0,35	0,35	29,9
	4	1,16	0,55	0,55	47,4
	5	1,18	0,19	0,53	44,9
	6	1,29	0,36	0,51	39,5
	7	1,22	0,27	0,32	26,2
	8	1,22	0,31	0,33	27,0
	9	1,21	0,31	0,33	27,3
	μέση τιμή j_w	1,2	0,33	0,43	36,2

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.3_1 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ 1ης ΗΜΕΡΑΣ				
	Μέτρηση	διασπορά βύθισης max	διασπορά ανεβδόσματος 1ου	διασπορά ανεβδόσματος max
		$(y-y_s)^2$	$(d_i-d_w)^2$	$(d-d_w)^2$
1ο σημείο Χ.Θ 1+090	1	0,00324900	0,00003600	0,00372100
	2	0,01060900	0,00003600	0,00260100
	3	0,00184900	0,00003600	0,00012100
	4	0,00324900	0,00003600	0,00012100
	5	0,00688900	0,00003600	0,00036100
	6	0,00108900	0,00003600	0,00084100
	7	0,00004900	0,00003600	0,00036100
	8	0,00004900	0,00003600	0,00008100
	9	0,00028900	0,00057600	0,00084100
	10	0,01368900	0,00057600	0,00084100
$s_y^2 = \Sigma(j-j_w)^2 / (v-1)$		0,00455667	0,00016000	0,00109889
ΑΡΜΟΣ	1	0,01562500	0,00010000	0,06250000
	2	0,01562500	0,00010000	0,06250000
$s_s^2 = \Sigma(j-j_w)^2 / (v-1)$		0,03125000	0,00020000	0,12500000
2ο σημείο Χ.Θ 1+100	1	0,01090864	0,00024198	0,04742716
	2	0,00731975	0,00020864	0,01259383
	3	0,00118642	0,00024198	0,00676049
	4	0,00197531	0,04646420	0,01387160
	5	0,00059753	0,02086420	0,00956049
	6	0,00731975	0,00065309	0,00604938
	7	0,00024198	0,00415309	0,01259383
	8	0,00024198	0,00059753	0,01044938
	9	0,00003086	0,00059753	0,01044938
$s_s^2 = \Sigma(j-j_w)^2 / (v-1)$		0,00372778	0,00925278	0,01621944

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.1.2 ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΜΗΚΥΝΣΙΟΜΕΤΡΟΥ 2ης ΗΜΕΡΑΣ					
	Μέτρηση	Αρχή mm	1ο ανέβασμα mm	max βύθιση mm	max ανέβασμα mm
3ο σημείο Χ.Θ. 7+110	1	10,20	10,47	8,60	10,75
	2	10,18	10,42	8,48	10,90
	3	10,18	10,65	8,45	10,82
	4	10,18	0,00	8,59	10,90
	5	10,13	10,50	8,56	11,04
	6	10,09	10,60	8,41	10,67
	7	10,10	10,60	8,39	10,60
	8	10,10	10,65	8,31	10,67
	9	10,10	10,40	8,45	10,80
	10	10,08	10,35	8,39	10,65
4ο σημείο Χ.Θ. 7+160	1				
	2	13,77	14,75	10,06	15,48
	3	9,43	10,49	5,82	11,26
	4	9,60	10,49	5,79	11,46
	5	9,62	10,50	5,83	11,34
	6	9,65	10,48	5,85	11,11
	7	9,59	10,55	5,83	11,34
	8	9,58	10,54	5,82	11,31
	9	9,58	10,61	5,79	11,36
	10	9,60	10,59	5,81	11,40
5ο σημείο Χ.Θ. 7+172	1	13,69	13,88	13,44	14,64
	2	13,61	13,72	13,38	14,65
	3	13,59	13,67	13,36	14,47
	4	13,58	13,65	13,33	14,40
	5	13,54	13,61	13,30	14,38
	6	13,52	13,60	13,29	14,45
	7	13,52	13,61	13,25	14,63
	8	13,47	13,55	13,25	14,53
	9	13,44	13,53	13,23	14,54
	10				

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.2_2 ΑΠΟΛΥΤΑ ΜΕΓΕΘΗ 2ης ΗΜΕΡΑΣ					
	Μέτρηση	Βύθιση max y (mm)	Ανέβασμα Ιο d_1 (mm)	Ανέβασμα max d (mm)	% (ανέβ max/βύθ max)
3ο σημείο Χ.Θ. 7+110	1	1,60	0,27	0,55	34,4
	2	1,70	0,24	0,72	42,4
	3	1,73	0,47	0,64	37,0
	4	1,59	0,00	0,72	45,3
	5	1,57	0,37	0,91	58,0
	6	1,68	0,51	0,58	34,5
	7	1,71	0,50	0,50	29,2
	8	1,79	0,55	0,57	31,8
	9	1,65	0,30	0,70	42,4
	10	1,69	0,27	0,57	33,7
μέση τιμή j_u		1,67	0,35	0,65	38,87
4ο σημείο Χ.Θ. 7+160	1				
	2	3,71	0,98	1,71	46,1
	3	3,61	1,06	1,83	50,7
	4	3,81	0,89	1,86	48,8
	5	3,79	0,88	1,72	45,4
	6	3,80	0,83	1,46	38,4
	7	3,76	0,96	1,75	46,5
	8	3,76	0,96	1,73	46,0
	9	3,79	1,03	1,78	47,0
	10	3,79	0,99	1,80	47,5
μέση τιμή j_u		3,76	0,95	1,74	46,27
5ο σημείο Χ.Θ. 7+172	1	0,25	0,19	0,95	380,0
	2	0,23	0,11	1,04	452,2
	3	0,23	0,08	0,88	382,6
	4	0,25	0,07	0,82	328,0
	5	0,24	0,07	0,84	350,0
	6	0,23	0,08	0,93	404,3
	7	0,27	0,09	1,11	411,1
	8	0,22	0,08	1,06	481,8
	9	0,21	0,09	1,10	523,8
μέση τιμή j_u		0,24	0,10	0,97	412,65

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.3_2 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ 2ης ΗΜΕΡΑΣ

	Μέτρηση	Διασπορά βύθισης max	Διασπορά ανεβασματος 1ου	Διασπορά ανεβασματος max
		$(y-y_m)^2$	$(d_1-d_m)^2$	$(d-d_m)^2$
3ο σημείο Χ.Θ. 7+110	1	0,00504100	0,00608400	0,00921600
	2	0,00084100	0,01166400	0,00547600
	3	0,00348100	0,01488400	0,00003600
	4	0,00656100	0,12110400	0,00547600
	5	0,01020100	0,00048400	0,06969600
	6	0,00008100	0,02624400	0,00435600
	7	0,00152100	0,02310400	0,02131600
	8	0,01416100	0,04080400	0,00577600
	9	0,00044100	0,00230400	0,00291600
	10	0,00036100	0,00608400	0,00577600
$s_y^2 = \Sigma(j-j_m)^2 / (v-1)$		0,00474333	0,02808444	0,01444889
4ο σημείο Χ.Θ. 7+160	1			
	2	0,00228272	0,00071111	0,00077160
	3	0,02183827	0,01137778	0,76854444
	4	0,00272716	0,00401111	0,82204444
	5	0,00103827	0,00537778	0,58777778
	6	0,00178272	0,01521111	0,25671111
	7	0,00000494	0,00004444	0,63467778
	8	0,00000494	0,00004444	0,60321111
	9	0,00103827	0,00587778	0,68337778
	10	0,00103827	0,00134444	0,71684444
$s_y^2 = \Sigma(j-j_m)^2 / (v-1)$		0,00396944	0,00550000	0,63424506
5ο σημείο Χ.Θ. 7+172	1	0,00017778	0,00891975	0,00040000
	2	0,00004444	0,00020864	0,00490000
	3	0,00004444	0,00024198	0,00810000
	4	0,00017778	0,00065309	0,02250000
	5	0,00001111	0,00065309	0,01690000
	6	0,00004444	0,00024198	0,00160000
	7	0,00111111	0,00003086	0,01960000
	8	0,00027778	0,00024198	0,00810000
	9	0,00071111	0,00003086	0,01690000
$s_y^2 = \Sigma(j-j_m)^2 / (v-1)$		0,00032500	0,00140278	0,01237500

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.1_3 ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΜΗΚΥΝΣΙΟΜΕΤΡΟΥ 3ης ΗΜΕΡΑΣ					
	Μέτρηση	Αρχή	1ο ανέβασμα	max βύθιση	max ανέβασμα
		mm	mm	mm	mm
6ο σημείο Χ.Θ. 8+350	1	16,80	16,84	16,50	16,90
	2	16,82	16,84	16,47	16,94
	3	16,82	16,85	16,46	16,95
	4	16,82	16,84	16,51	16,92
	5	16,83	16,87	16,50	16,96
	6	16,83	16,86	16,49	16,97
	7	16,84	16,85	16,52	16,94
	8	16,83	16,86	16,48	16,95
7ο σημείο Χ.Θ 8+345	1	24,58	24,69	23,02	24,68
	2	24,57	24,68	22,99	24,69
	3	24,59	24,71	23,00	24,71
	4	24,58	24,70	23,03	24,69
	5	24,60	24,69	23,04	24,69
	6	24,60	24,72	23,04	24,71
	7	24,62	24,72	23,08	24,74
	8	24,65	24,76	23,10	24,77

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.2_3 ΑΠΟΛΥΤΑ ΜΕΓΕΘΗ 3ης ΗΜΕΡΑΣ					
	Μέτρηση	Βύθιση max	Ανέβασμο 1ο	Ανέβασμο max	% (ανέβ max/βύθ max)
		y (mm)	d ₁ (mm)	d (mm)	
6ο σημείο Χ.Θ. 8+350	1	0,30	0,04	0,10	33,3
	2	0,35	0,02	0,12	34,3
	3	0,36	0,03	0,13	36,1
	4	0,31	0,02	0,10	32,3
	5	0,33	0,04	0,13	39,4
	6	0,34	0,03	0,14	41,2
	7	0,32	0,01	0,10	31,3
	8	0,35	0,03	0,12	34,3
	μέση τιμή j _o	0,33	0,03	0,12	35,26
7ο σημείο Χ.Θ. 8+345	1	1,56	0,11	0,10	6,4
	2	1,58	0,11	0,12	7,6
	3	1,59	0,12	0,12	7,5
	4	1,55	0,12	0,11	7,1
	5	1,56	0,09	0,09	5,8
	6	1,56	0,12	0,11	7,1
	7	1,54	0,10	0,12	7,8
	8	1,55	0,11	0,12	7,7
	μέση τιμή j _o	1,56	0,11	0,11	7,13

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.3 3 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ 3ης ΗΜΕΡΑΣ				
Μέτρηση		διασπορά βύθισης max	διασπορά ανεβάσματος 1ου	διασπορά ανεβάσματος max
		$(y-y_m)^2$	$(d_1-d_m)^2$	$(d-d_m)^2$
6ο σημείο Χ.Θ. 8+350	1	0,00105625	0,00015625	0,00030625
	2	0,00030625	0,00005625	0,00000625
	3	0,00075625	0,00000625	0,00015625
	4	0,00050625	0,00005625	0,00030625
	5	0,00000625	0,00015625	0,00015625
	6	0,00005625	0,00000625	0,00050625
	7	0,00015625	0,00030625	0,00030625
	8	0,00030625	0,00000625	0,00000625
$s_y^2 = \Sigma(j-j_m)^2 / (v-1)$		0,00045000	0,00010714	0,00025000
7ο σημείο Χ.Θ. 8+345	1	0,00000156	0,00000000	0,00012656
	2	0,00035156	0,00000000	0,00007656
	3	0,00082656	0,00010000	0,00007656
	4	0,00012656	0,00010000	0,00000156
	5	0,00000156	0,00040000	0,00045156
	6	0,00000156	0,00010000	0,00000156
	7	0,00045156	0,00010000	0,00007656
	8	0,00012656	0,00000000	0,00007656
$s_x^2 = \Sigma(j-j_m)^2 / (v-1)$		0,00026964	0,00011429	0,00012679

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.3.1 Υπολογισμού τυπικής απόκλισης βύθισης γ							
	βύθιση max γ σε mm						
	Σημεία μέτρησης						
μέτρηση	1ο	2ο	3ο	4ο	5ο	6ο	7ο
1	0,50	1,1	1,6	3,71	0,25	0,3	1,56
2	0,34	1,29	1,7	3,61	0,23	0,35	1,58
3	0,40	1,17	1,73	3,81	0,23	0,36	1,59
4	0,50	1,16	1,59	3,79	0,25	0,31	1,55
5	0,36	1,18	1,57	3,8	0,24	0,33	1,56
6	0,41	1,29	1,68	3,76	0,23	0,34	1,56
7	0,45	1,22	1,71	3,76	0,27	0,32	1,54
8	0,45	1,22	1,79	3,79	0,22	0,35	1,55
9	0,46	1,21	1,65	3,79	0,21		
10	0,56		1,69				
μέση τιμή γ_μ	0,44	1,2	1,67	3,76	0,24	0,33	1,56
διασπορά s_γ²	0,00456	0,00373	0,00474	0,00397	0,00032	0,00045	0,00027
τυπική απόκλιση s_γ	0,0675	0,06106	0,06887	0,063	0,01803	0,02121	0,01642

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.3.2 Υπολογισμού διαστήματος εμπιστοσύνης βύθισης							
Σημεία μέτρησης	1ο	2ο	3ο	4ο	5ο	6ο	7ο
ν	10	9	10	9	9	8	8
Α	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
t_α (ν-1, Α/2)	1,833	1,86	1,833	1,86	1,86	1,895	1,895
γ_{μ2}	0,479	1,238	1,710	3,799	0,251	0,344	1,571
μέση τιμή γ_μ	0,44	1,2	1,67	3,76	0,24	0,33	1,56
γ_{μ2}	0,401	1,162	1,630	3,721	0,229	0,316	1,549

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.3.3 Εκτίμησης μεταβολής μεγεθών στο διάστημα εμπιστοσύνης της βύθισης					
Σημεία		y (mm)	y+0,3	C (N/mm ²)	p (N/mm ²)
1ο	Y _{u1}	0,479	0,779	0,16	0,127535623
	Y _u	0,440	0,740	0,18	0,129744866
	Y _{u2}	0,401	0,701	0,19	0,132115605
2ο	Y _{u1}	1,238	1,538	0,07	0,101670607
	Y _u	1,200	1,500	0,07	0,102518836
	Y _{u2}	1,162	1,462	0,07	0,1033961
3ο	Y _{u1}	1,710	2,010	0,04	0,079706614
	Y _u	1,670	1,970	0,04	0,080241411
	Y _{u2}	1,630	1,930	0,04	0,080790856
4ο	Y _{u1}	3,799	4,099	0,02	0,06285298
	Y _u	3,760	4,060	0,02	0,0630539
	Y _{u2}	3,721	4,021	0,02	0,063257414
5ο	Y _{u1}	0,251	0,551	0,22	0,122684543
	Y _u	0,240	0,540	0,23	0,123525336
	Y _{u2}	0,229	0,529	0,24	0,124389663
6ο	Y _{u1}	0,344	0,644	0,15	0,099641424
	Y _u	0,330	0,630	0,16	0,100385035
	Y _{u2}	0,316	0,616	0,16	0,101151353
7ο	Y _{u1}	1,571	1,871	0,04	0,069837895
	Y _u	1,560	1,860	0,04	0,069975312
	Y _{u2}	1,549	1,849	0,04	0,070113817

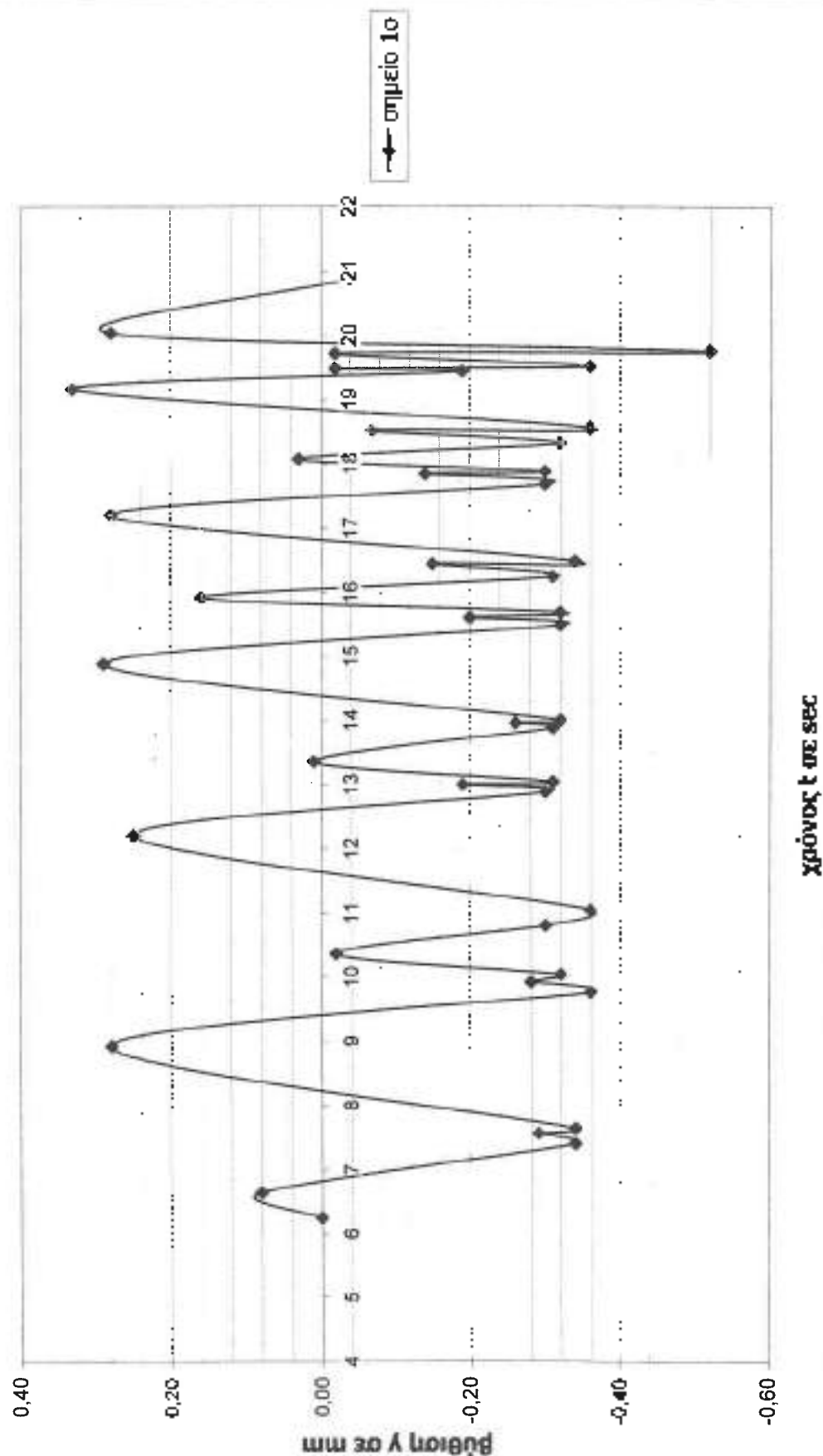
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Προκειμένου για την καλύτερη επισκόπηση των διαδοχικών βυθίσεων στις οποίες υπόκειται η σιδηροτροχιά κατά τη διέλευση ενός συρμού, δημιουργήθηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος επεξεργασίας τα παρακάτω διαγράμματα. Στα διαγράμματα αυτά διακρίνονται οι διαδοχικές θέσεις του στρωτήρα για κάθε σημείο μετρήσεων.

Ακολουθούν επίσης οι πίνακες που οδήγησαν στα διαγράμματα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.1 Μεταβολή της βύθισης γ σε συνάρτηση με το χρόνο t					
Ημερομηνία: 19/08					
Σημείο: 1ο					
Μέτρηση: 2η					
Χρόνος έναρξης μέτρησης: 3:06.24					
χρόνος t (sec)	ένδειξη (mm)	σχετική τιμή	χρόνος t (sec)	ένδειξη (mm)	σχετική τιμή
6,24	7,52	0,00	18,32	7,20	-0,32
6,64	7,60	0,08	18,52	7,45	-0,07
7,40	7,18	-0,34	18,56	7,16	-0,36
7,56	7,23	-0,29	19,16	7,85	0,33
7,64	7,18	-0,34	19,44	7,33	-0,19
8,92	7,80	0,28	19,48	7,50	-0,02
9,76	7,16	-0,36	19,52	7,16	-0,36
9,92	7,24	-0,28	19,72	7,50	-0,02
10,04	7,20	-0,32	19,76	7,00	-0,52
10,36	7,50	-0,02	20,04	7,80	0,28
10,80	7,22	-0,30	20,88	7,48	-0,04
11,04	7,16	-0,36			
12,20	7,77	0,25			
12,88	7,22	-0,30			
13,00	7,33	-0,19			
13,04	7,21	-0,31			
13,36	7,53	0,01			
13,88	7,21	-0,31			
13,96	7,26	-0,26			
14,00	7,20	-0,32			
14,88	7,81	0,29			
15,48	7,20	-0,32			
15,60	7,32	-0,20			
15,68	7,20	-0,32			
15,92	7,68	0,16			
16,24	7,21	-0,31			
16,44	7,37	-0,15			
16,48	7,18	-0,34			
17,20	7,80	0,28			
17,68	7,22	-0,30			
17,84	7,38	-0,14			
17,88	7,22	-0,30			
18,08	7,55	0,03			

1ο σημείο
βύθιση του στρωτήρα κατά τη διέλευση του συρμού



8.1. Παρατηρήσεις 1^{ου} σημείου.

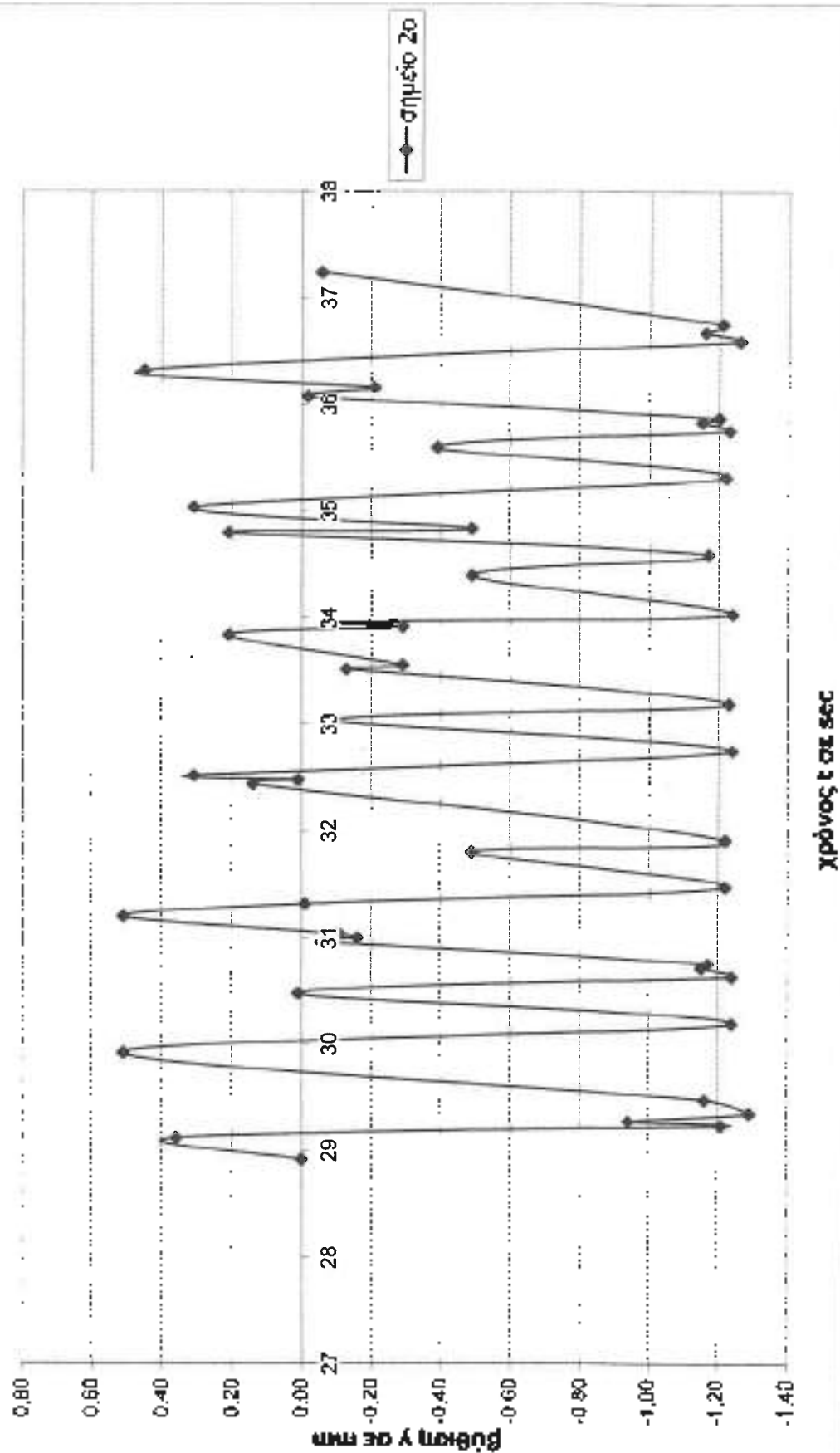
Στο σημείο αυτό, όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα, η βύθιση είναι περίπου ίδια με την ανύψωση της σιδηροτροχιάς και είναι και τα δύο κάτω από μισό χιλιοστό. Επίσης παρατηρείται μία αιχμή βύθισης κατά τη διέλευση του τελευταίου άξονα, η οποία είναι μάλλον τυχαία λόγω μεγάλου φορτίου στο πίσω μέρος του συρμού. Διακρίνονται καθαρά οι δύο διαδοχικές και σχεδόν ταυτόχρονες βυθίσεις από τους δύο άξονες κάθε φορείου ενώ φαίνεται επίσης ότι η σιδηροτροχιά δεν προλαβαίνει να ανυψωθεί μέχρι το μέγιστό της σημείο ανάμεσα στις διελεύσεις του τελευταίου φορείου του προπορευόμενου βαγονιού και του πρώτου φορείου του επόμενου βαγονιού. Από αυτό συμπεραίνεται ότι η μέγιστη ανύψωση της σιδηροτροχιάς λαμβάνει χώρα ανάμεσα στα δύο φορεία του ίδιου βαγονιού. Η βύθιση της σιδηροτροχιάς σε αυτό το σημείο ήταν πολύ μικρή γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η επιδομή δεν έχει αναμοχλευθεί για πολύ καιρό και για το λόγο αυτό έχει σχεδόν στερεοποιηθεί. Επίσης παρατηρείται μία παραμένουσα βύθιση μετά τη διέλευση του συρμού η οποία μετά από κάποια χρονική περίοδο εξαλείφεται. Στο σημείο αυτό η χρονική περίοδος είναι μεγάλη εξαιτίας της μικρής ελαστικότητας της γραμμής για τους λόγους που αναφέραμε παραπάνω.

Επίσης στο σημείο αυτό, όπως και σε άλλα σημεία, παρατηρεί κανείς ότι ο συρμός περνάει αρχικά με μικρή ταχύτητα και στη συνέχεια επιταχύνει. Αυτό συμβαίνει διότι όλοι σχεδόν οι μηχανοδηγοί μόλις αντιλαμβάνονται ανθρώπους στη γραμμή μειώνουν ταχύτητα. Ο συνολικός χρόνος διέλευσης του συρμού 6 βαγονιών (το κάθε βαγόνι έχει μήκος 17 [m] {14,15}), όπως παρατηρείται από τους 12 άξονες που φαίνονται στο διάγραμμα, είναι 14,64 sec δηλαδή διέρχεται με μέση ταχύτητα 25 [km/h].

Το ποσοστό ανύψωσης προς βύθιση της σιδηροτροχιάς φτάνει το 71,5%, πολύ παραπάνω από το 4,3% που θεωρείται φυσιολογικό βάσει βιβλιογραφίας {1}. Αυτό συμβαίνει αφ'ενός λόγω μικρής απόστασης των αξόνων και αφ'ετέρου λόγω της κακής κατάστασης της γραμμής στο σημείο, γεγονός που μειώνει την αντίσταση σε εγκάρσιες μετατοπίσεις.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.2 Μεταβολή της βύθισης γ σε συνάρτηση με το χρόνο t					
Ημερομηνία: 19/08					
Σημείο: 2ο					
Μέτρηση: 6η					
Έναρξη μέτρησης: 11:28.92					
χρόνος t (sec)	ένδειξη (mm)	σχετική τιμή	χρόνος t (sec)	ένδειξη (mm)	σχετική τιμή
28,92	7,49	0,00	35,88	6,29	-1,20
29,12	7,85	0,36	36,08	7,47	-0,02
29,24	6,28	-1,21	36,16	7,28	-0,21
29,28	6,55	-0,94	36,32	7,94	0,45
29,36	6,20	-1,29	36,60	6,23	-1,26
29,48	6,33	-1,16	36,68	6,33	-1,16
29,92	8,00	0,51	36,76	6,28	-1,21
30,20	6,25	-1,24	37,24	7,43	-0,06
30,48	7,50	0,01			
30,64	6,25	-1,24			
30,72	6,34	-1,15			
30,76	6,32	-1,17			
30,96	7,43	-0,06			
31,00	7,33	-0,16			
31,04	7,38	-0,11			
31,20	8,00	0,51			
31,32	7,48	-0,01			
31,48	6,27	-1,22			
31,80	7,00	-0,49			
31,92	6,27	-1,22			
32,44	7,63	0,14			
32,48	7,50	0,01			
32,52	7,80	0,31			
32,76	6,25	-1,24			
33,04	7,40	-0,09			
33,20	6,26	-1,23			
33,52	7,36	-0,13			
33,56	7,20	-0,29			
33,84	7,70	0,21			
33,92	7,20	-0,29			
33,96	7,40	-0,09			
34,04	6,25	-1,24			
34,40	7,00	-0,49			
34,60	6,32	-1,17			
34,80	7,70	0,21			
34,84	7,00	-0,49			
35,04	7,80	0,31			
35,32	6,27	-1,22			
35,60	7,10	-0,39			
35,76	6,26	-1,23			
35,84	6,34	-1,15			

2ο σημείο
βύθιση γ του στρωτήρα σε συνάρτηση με το χρόνο t



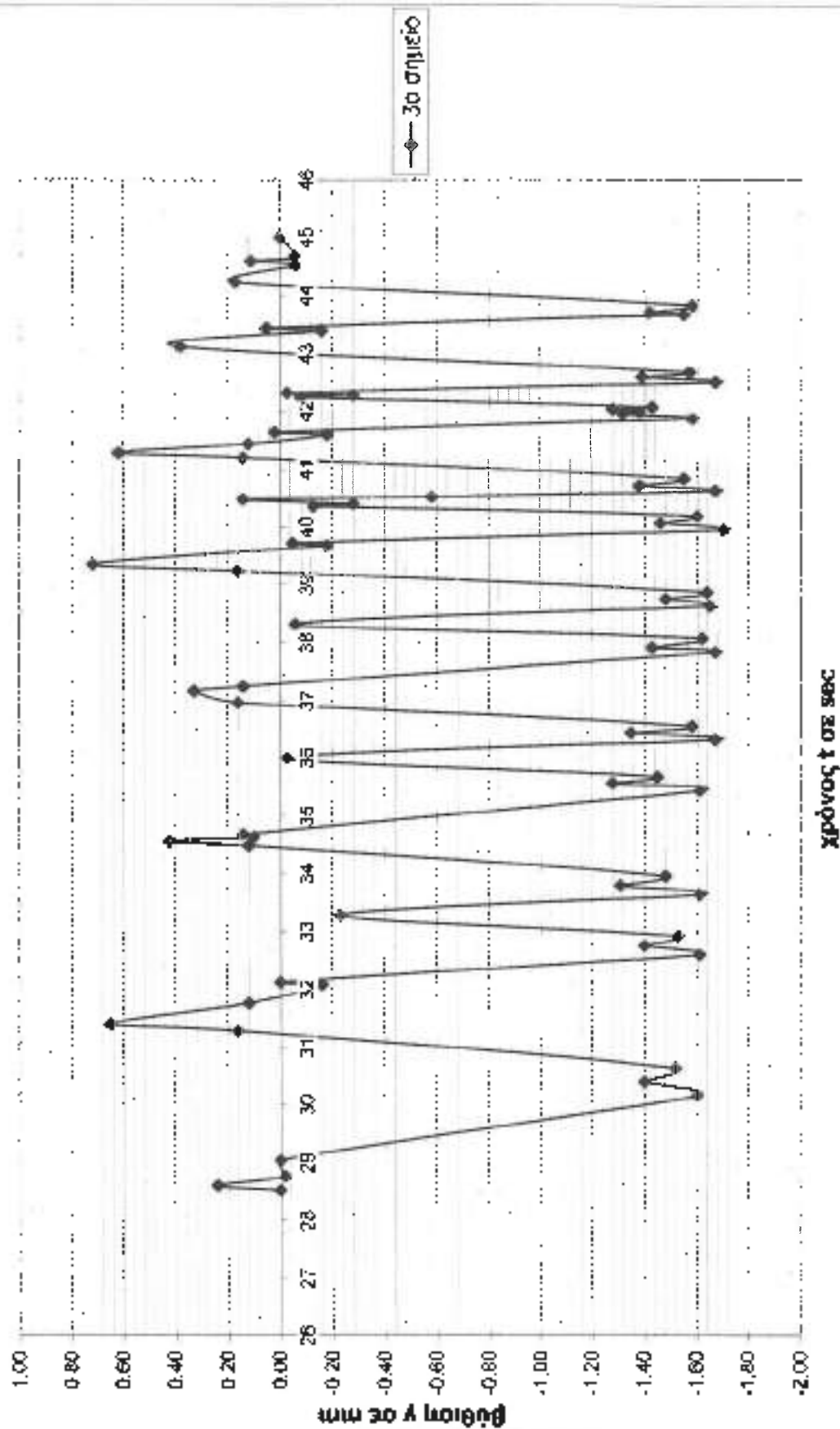
8.2. Παρατηρήσεις 2^{ου} σημείου.

Στο σημείο αυτό η βύθιση είναι περί τα 1,20 mm όπως φαίνεται και από αυτή τη μέτρηση (εντός φυσιολογικών ορίων) ενώ η ανύψωση της σιδηροτροχιάς είναι περίπου το 1/3 της βύθισης. Στο σημείο αυτό δε διακρίνεται καθαρά η διαδοχική βύθιση από τους δύο άξονες αλλά διακρίνεται η διαφοροποίηση που αναφέρθηκε παραπάνω στην ανύψωση της σιδηροτροχιάς ανάμεσα στα δύο φορεία του ίδιου βαγονιού. Αυτό που δεν παρατηρήθηκε στη συγκεκριμένη μέτρηση είναι η ανύψωση της σιδηροτροχιάς αμέσως μετά τη διέλευση του τελευταίου άξονα, γεγονός που πιθανότατα οφείλεται (όπως και η μη διάκριση των δύο αξόνων του φορείου) στη μεγάλη ταχύτητα του τρένου στο σημείο αυτό (χρόνος διέλευσης 6 βαγονιών 8,32 sec που δίνει μέση ταχύτητα 44 [km/h]) και την ανικανότητα του προγράμματος να απομονώσει διακυμάνσεις της ένδειξης του οργάνου σε τόσο μικρά χρονικά διαστήματα (μικρότερα από 4 εκατοστά του δευτερολέπτου). Τέλος παρατηρείται και εδώ η παραμένουσα βύθιση όπως είπαμε και παραπάνω.

Γενικά παρατηρείται ότι σε μεγαλύτερες ταχύτητες οι ενδείξεις του μηχανοσυστήματος και οι διαδοχικές θέσεις του στρωτήρα κατά τη διέλευση του συρμού είναι πιο καθαρές διότι το όργανο δεν προλαβαίνει να καταγράψει τις δονήσεις του στρωτήρα. Επίσης φαίνεται ότι η ταχύτητα είναι σχεδόν σταθερή κατά τη διέλευση διότι εξαιτίας της θέσης που είχε στηθεί η διάταξη ήταν τέτοια που δεν γινόταν ανπληπτή.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.3 Μεταβολή της βόθισης γ σε συνάρτηση με το χρόνο t					
Ημερομηνία: 27/08					
Σημείο: 3ο					
Μέτρηση: 2η					
Έναρξη μέτρησης: 2:28:52					
χρόνος t (sec)	ένδειξη (mm)	σχετική τιμή	χρόνος t (sec)	ένδειξη (mm)	σχετική τιμή
28,52	10,18	0,00	39,36	10,90	0,72
28,60	10,42	0,24	39,68	10,00	-0,18
28,76	10,16	-0,02	39,72	10,13	-0,05
29,04	10,18	0,00	39,96	8,48	-1,70
30,16	8,58	-1,60	40,08	8,72	-1,46
30,40	8,78	-1,40	40,20	8,58	-1,60
30,64	8,66	-1,52	40,36	10,05	-0,13
31,28	10,34	0,16	40,40	9,90	-0,28
31,40	10,83	0,65	40,48	10,32	0,14
31,76	10,30	0,12	40,52	9,60	-0,58
32,08	10,02	-0,16	40,64	8,51	-1,67
32,12	10,18	0,00	40,72	8,80	-1,38
32,60	8,57	-1,61	40,84	8,63	-1,55
32,76	8,78	-1,40	41,20	10,32	0,14
32,92	8,65	-1,53	41,28	10,80	0,62
33,28	9,95	-0,23	41,44	10,30	0,12
33,64	8,57	-1,61	41,60	10,00	-0,18
33,80	8,87	-1,31	41,64	10,20	0,02
33,96	8,70	-1,48	41,88	8,60	-1,58
34,48	10,30	0,12	41,96	8,86	-1,32
34,56	10,60	0,42	42,00	8,80	-1,38
34,64	10,28	0,10	42,04	8,90	-1,28
34,68	10,32	0,14	42,08	8,75	-1,43
35,44	8,57	-1,61	42,24	10,10	-0,08
35,56	8,90	-1,28	42,28	9,90	-0,28
35,68	8,73	-1,45	42,32	10,15	-0,03
36,00	10,15	-0,03	42,52	8,51	-1,67
36,32	8,51	-1,67	42,60	8,79	-1,39
36,44	8,83	-1,35	42,68	8,61	-1,57
36,56	8,60	-1,58	43,12	10,56	0,38
36,96	10,34	0,16	43,40	10,02	-0,16
37,16	10,51	0,33	43,44	10,23	0,05
37,24	10,32	0,14	43,68	8,63	-1,55
37,84	8,51	-1,67	43,72	8,76	-1,42
37,92	8,75	-1,43	43,84	8,60	-1,58
38,08	8,56	-1,62	44,24	10,35	0,17
38,32	10,12	-0,06	44,52	10,12	-0,06
38,64	8,53	-1,65	44,60	10,29	0,11
38,76	8,70	-1,48	44,68	10,12	-0,06
38,88	8,54	-1,64	45,00	10,18	0,00
39,24	10,34	0,16			

3ο σημείο
βύθιση γ του στρωτήρα σε συνάρτηση με το χρόνο t

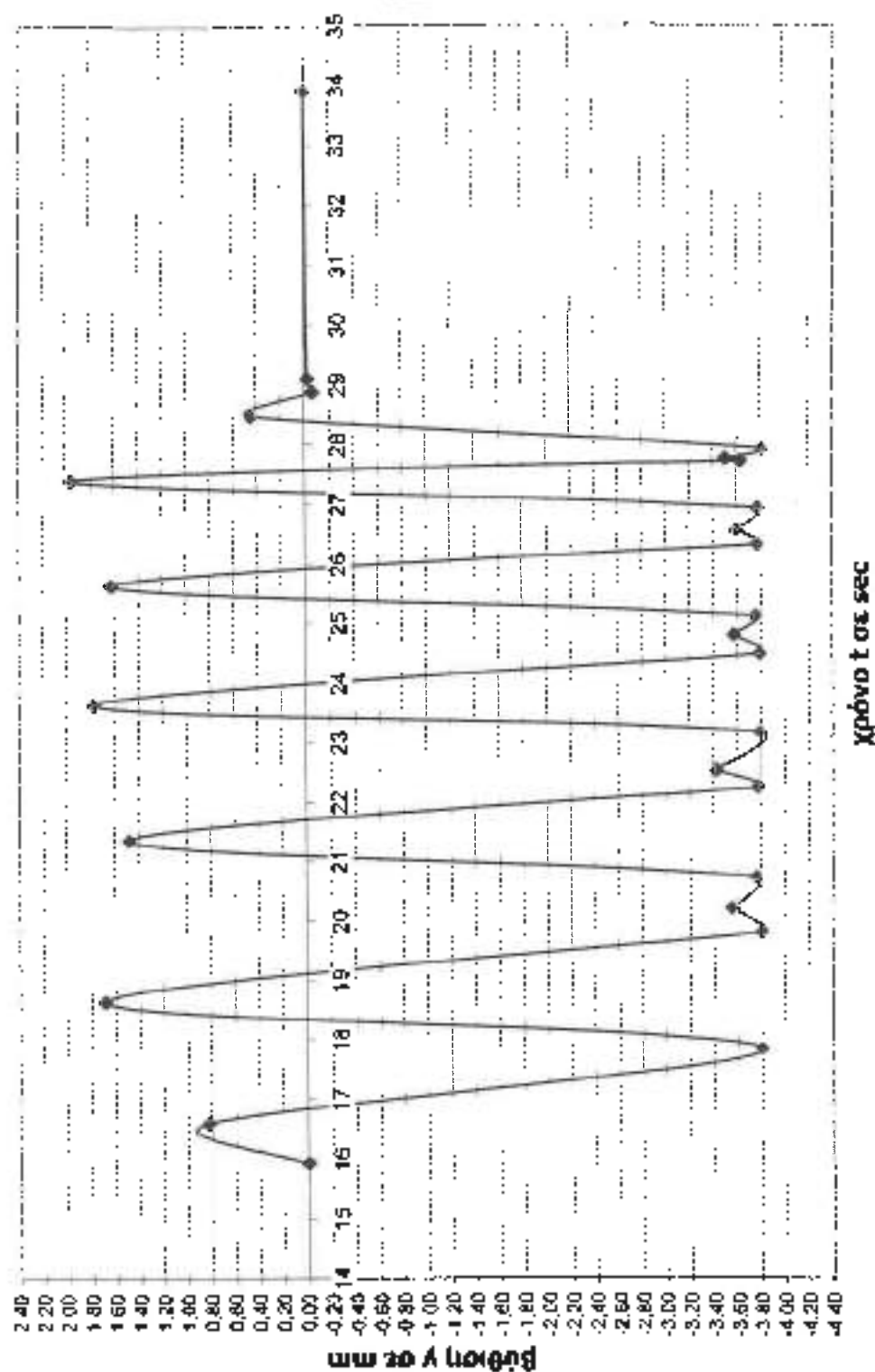


8.3. Παρατηρήσεις 3^{ου} σημείου.

Στο σημείο αυτό η ταχύτητα διέλευσης του συρμού ήταν πολύ χαμηλή (αμέσως μετά το σταθμό) με αποτέλεσμα να διακρίνεται καθαρά τόσο η διαδοχική βύθιση των αξόνων κάθε φορείου όσο και κάποιες διακυμάνσεις στην ανύψωση της σιδηροτροχιάς λόγω ταλάντωσής της. Επιβεβαιώνεται επίσης και από τη μέτρηση αυτή η μέγιστη ανύψωση της σιδηροτροχιάς ανάμεσα στις διελεύσεις των φορείων του ίδιου βαγονιού καθώς και η ανύψωση της αμέσως μετά τη διέλευση του τελευταίου άξονα. Εδώ επίσης γίνεται φανερή η επαναφορά της σιδηροτροχιάς στην αρχική της θέση σε κάποια χρονική στιγμή μετά τη διέλευση του συρμού. Στο συγκεκριμένο σημείο η χρονική αυτή στιγμή ήρθε σχεδόν αμέσως, γεγονός που οφείλεται στην ελαστικότητα της επιδομής του μιάς και πρέπει να σημειώσουμε ότι το τμήμα της γραμμής αυτής είχε ξαναστρωθεί πρόσφατα. Η βύθιση εδώ είναι της τάξεως του 1,6 mm (εντός φυσιολογικών ορίων) ενώ η μέγιστη ανύψωση φτάνει το 38,87% της βύθισης ποσοστό που είναι μεν μεγαλύτερο από το 4,3% που είναι το φυσιολογικό {1} αλλά οι μετρήσεις στη γραμμή του Η.Σ.Α.Π. δείχνουν ότι το ποσοστό αυτό είναι συνηθισμένο ίσως και χαμηλό. Η μέση ταχύτητα με την οποία διέρχεται ο συρμός (6 βαγόνια σε 16,98 sec) είναι 19 [km/h] ενώ παρατηρείται επιτάχυνση κατά τη διέλευση διότι πρόκειται για σημείο αμέσως μετά από το σταθμό από όπου ο συρμός εκκινεί.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.4 Μεταβολή της βόθισης γ σε συνάρτηση με το χρόνο t		
Ημερομηνία: 27/08		
Σημείο: 4ο		
Μέτρηση: 4η		
Έναρξη μέτρησης: 9:15.92		
χρόνος t (sec)	ένδειξη (mm)	σχετική τιμή
15,92	9,60	-18,92
16,60	10,43	-18,09
17,84	5,80	-22,72
18,64	11,29	-17,23
19,80	5,80	-22,72
20,20	6,05	-22,47
20,72	5,85	-22,67
21,36	11,09	-17,43
22,24	5,83	-22,69
22,52	6,18	-22,34
23,16	5,81	-22,71
23,64	11,38	-17,14
24,48	5,81	-22,71
24,80	6,03	-22,49
25,12	5,85	-22,67
25,64	11,23	-17,29
26,32	5,83	-22,69
26,56	6,01	-22,51
26,92	5,83	-22,69
27,40	11,56	-16,96
27,72	5,97	-22,55
27,76	6,10	-22,42
27,92	5,79	-22,73
28,48	10,05	-18,47
28,88	9,54	-18,98
29,11	9,58	-18,94
33,92	9,60	-18,92

4ο σημείο
βύθιση γ του στρωτήρα σε συνάρτηση με το χρόνο t



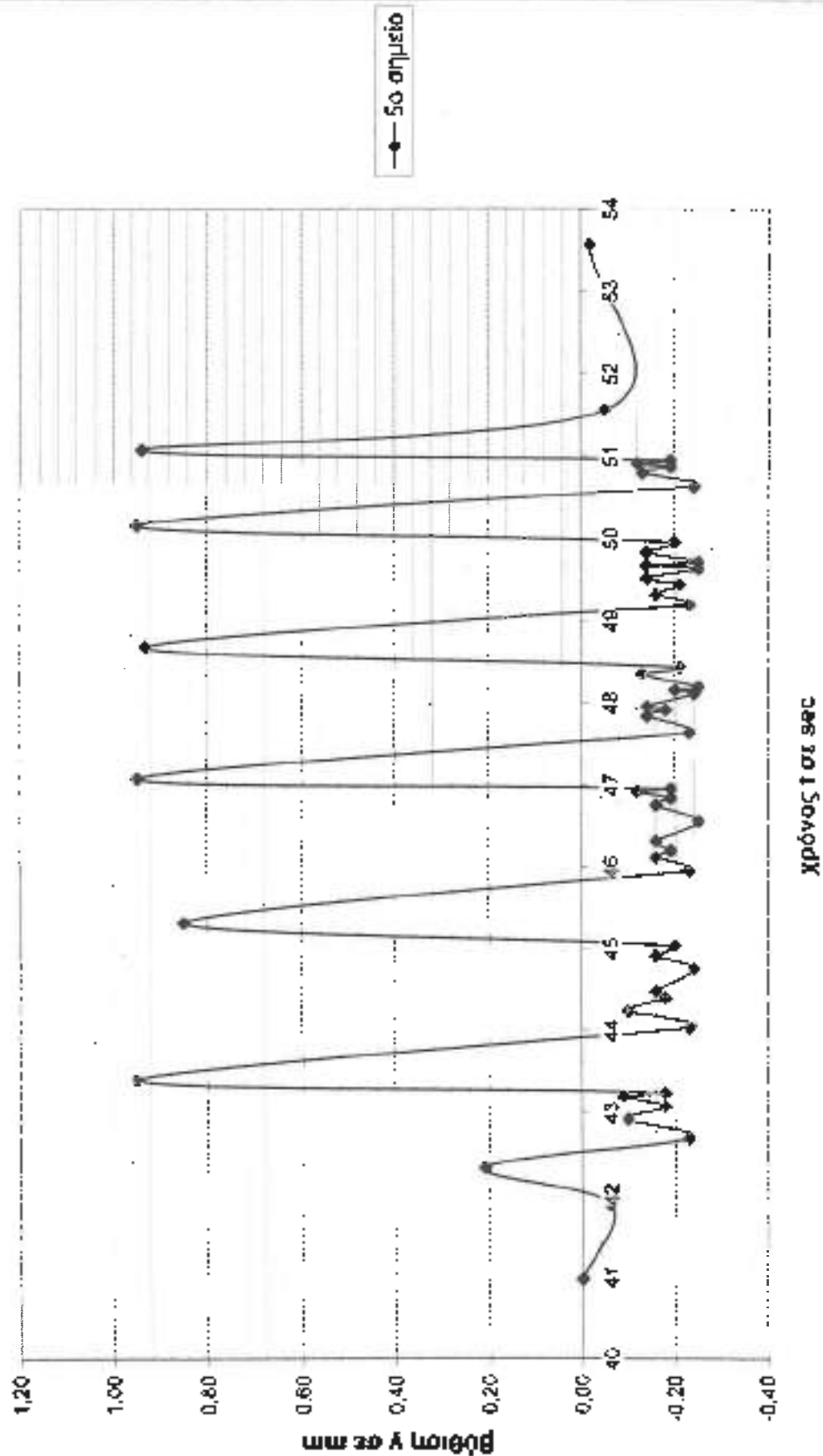
8.4. Παρατηρήσεις 4^ο σημείου.

Στο σημείο αυτό διακρίνεται η διαδοχική βύθιση των αξόνων του φορείου, η ανύψωση μετά τη διέλευση του συρμού, όπως και η επαναφορά της σιδηροτροχιάς στην αρχική της θέση μετά την πόροδο τεσσάρων περίπου δευτερολέπτων. Η βύθιση εδώ φτάνει τα 3,8 mm (0,8 mm εκτός των φυσιολογικών ορίων) ενώ η ανύψωση φτάνει μέχρι και το 50% της βύθισης. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι πιθανότατα πρόκειται για σημείο «θέσης κενής από έρμα». Παρατηρείται δηλαδή μια γενικά αναμενόμενη συμπεριφορά της σιδηροτροχιάς σε ελαστική επιδομή αλλά με κενό έρματος κάτω από το στρωτήρα.

Η διέλευση του συρμού (6 βαγονιών) γίνεται σε χρόνο 13 sec δηλαδή με μέση ταχύτητα 25 [km/h] ενώ και εδώ παρατηρείται βαθμιαία επιτάχυνση. Η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη από ότι στο 3^ο σημείο γιατί το σημείο αυτό βρίσκεται λίγα μέτρα μετά από το σταθμό.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.5 Μεταβολή της βύθισης γ σε συνάρτηση με το χρόνο t					
Ημερομηνία: 27/08					
Σημείο: 5ο					
Μέτρηση: 1η					
έναρξη μέτρησης: 13:40:96					
χρόνος t (sec)	ένδειξη (mm)	σχετική τιμή	χρόνος t (sec)	ένδειξη (mm)	σχετική τιμή
40,96	13,69	0,00	49,64	13,44	-0,25
41,88	13,63	-0,06	49,68	13,55	-0,14
42,32	13,90	0,21	49,72	13,44	-0,25
42,68	13,46	-0,23	49,84	13,55	-0,14
42,92	13,59	-0,10	49,96	13,49	-0,20
43,08	13,51	-0,18	50,16	14,64	0,95
43,20	13,60	-0,09	50,64	13,45	-0,24
43,24	13,51	-0,18	50,80	13,56	-0,13
43,40	14,64	0,95	50,88	13,50	-0,19
44,04	13,46	-0,23	50,92	13,57	-0,12
44,24	13,59	-0,10	50,96	13,50	-0,19
44,40	13,51	-0,18	51,08	14,63	0,94
44,48	13,53	-0,16	51,56	13,64	-0,05
44,76	13,45	-0,24	53,56	13,67	-0,02
44,92	13,53	-0,16			
45,04	13,49	-0,20			
45,32	14,54	0,85			
45,96	13,46	-0,23			
46,12	13,53	-0,16			
46,20	13,50	-0,19			
46,32	13,53	-0,16			
46,56	13,44	-0,25			
46,76	13,53	-0,16			
46,84	13,50	-0,19			
46,92	13,57	-0,12			
46,96	13,50	-0,19			
47,08	14,64	0,95			
47,64	13,46	-0,23			
47,84	13,55	-0,14			
47,92	13,51	-0,18			
47,96	13,55	-0,14			
48,12	13,45	-0,24			
48,16	13,49	-0,20			
48,20	13,44	-0,25			
48,36	13,56	-0,13			
48,44	13,48	-0,21			
48,68	14,62	0,93			
49,20	13,46	-0,23			
49,32	13,53	-0,16			
49,44	13,48	-0,21			
49,52	13,55	-0,14			

5ο σημείο
βύθιση γ του στρωτήρα σε συνάρτηση με το χρόνο t

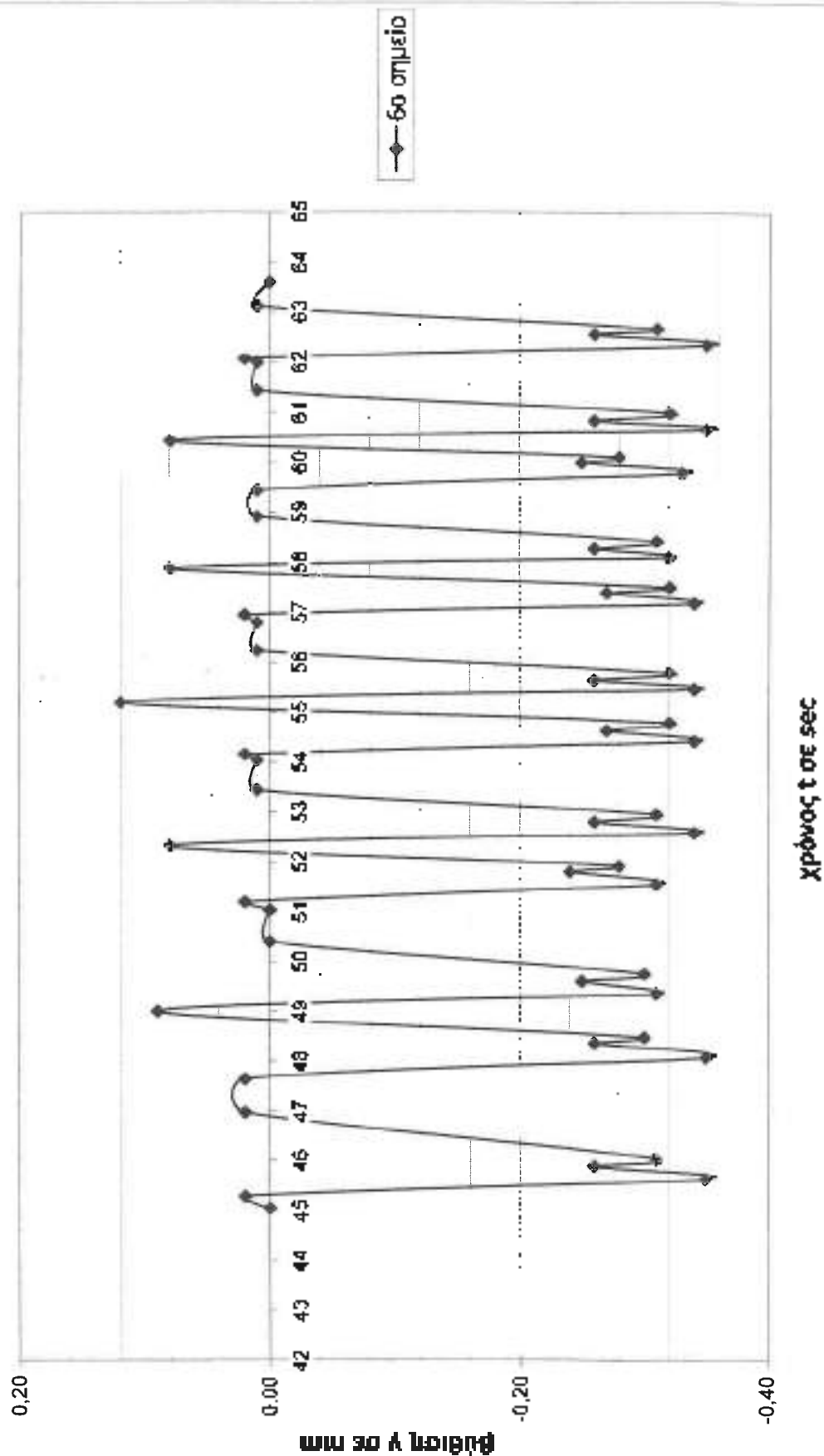


8.5. Παρατηρήσεις 5^{ου} σημείου.

Το σημείο αυτό παρουσίασε ιδιαίτερο ενδιαφέρον κατά την επεξεργασία των μετρήσεων. Αρχικά παρατηρεί κανείς ότι η βύθιση κυμαίνεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα $\sim 0,23$ mm (εκτός φυσιολογικών ορίων). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη λεπτομερή καταγραφή της βύθισης, όχι μόνο όσο αφορά τη διαδοχική βύθιση των αξόνων του ίδιου φορείου αλλά και τις ταλαντώσεις της σιδηροτροχιάς ανάμεσα στις βυθίσεις αυτές με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατό να διακριθούν καθαρά όχι μόνο οι άξονες αλλά ούτε τα φορεία εξαιτίας της σύγκρισης ανάμεσα στις άλλες ταλαντώσεις και τις βυθίσεις. Το εντυπωσιακό γεγονός αυτής της μέτρησης είναι ότι η ανύψωση της σιδηροτροχιάς είναι το 412,65% της βύθισης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι (όπως αναφέραμε και προηγουμένως) η διάταξη τοποθετήθηκε στο στρωτήρα αμέσως μετά την εσχάρα με τη μεγάλη βύθιση. Έτσι η ιδιαίτερα συμπυκνωμένη επιδομή κάτω από τον συγκεκριμένο στρωτήρα (η οποία μαρτυράται από την πολύ μικρή βύθιση) σε συνδυασμό με την πολύ μεγάλη βύθιση στους αμέσως προηγούμενους στρωτήρες λειτουργεί ως «μοχλός» που ανυψώνει τη σιδηροτροχιά κατά περίπου 1 mm, ανύψωση που παρατηρείται ανάμεσα στο φορεία τόσο του ίδιου βαγονιού όσο και διαδοχικών (λόγω της μικρής βύθισης). Εδώ ο κίνδυνος μετατόπισης της σιδηροτροχιάς είναι πολύ μεγάλος μιας και η αντίσταση σε εγκάρσιες δυνάμεις είναι πρακτικά μηδενική παρά το γεγονός ότι τόσο η ανύψωση αλλά ιδιαίτερα η βύθιση είναι μικρές κατά απόλυτη τιμή. Τέλος παρατηρείται και εδώ η επαναφορά του στρωτήρα στην αρχική του θέση μετά από περίπου 2 δευτερόλεπτα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.6 Μεταβολή της βύθισης γ ως συνάρτηση με το χρόνο t					
Ημερομηνία: 09/10					
Σημείο: 6ο					
Μέτρηση: 2η					
Έναρξη μέτρησης: 00:45:04					
χρόνος t (sec)	ένδειξη (mm)	σχετική τιμή	χρόνος t (sec)	ένδειξη (mm)	σχετική τιμή
45,04	16,82	0,00	58,12	16,50	-0,32
45,28	16,84	0,02	58,28	16,56	-0,26
45,64	16,47	-0,35	58,44	16,51	-0,31
45,88	16,56	-0,26	58,92	16,83	0,01
46,04	16,51	-0,31	59,44	16,83	0,01
46,96	16,84	0,02	59,80	16,49	-0,33
47,64	16,84	0,02	60,00	16,57	-0,25
48,08	16,47	-0,35	60,12	16,54	-0,28
48,36	16,56	-0,26	60,44	16,90	0,08
48,48	16,52	-0,30	60,68	16,47	-0,35
49,00	16,91	0,09	60,84	16,56	-0,26
49,36	16,51	-0,31	61,00	16,50	-0,32
49,60	16,57	-0,25	61,44	16,83	0,01
49,76	16,52	-0,30	62,00	16,83	0,01
50,40	16,82	0,00	62,08	16,84	0,02
51,04	16,82	0,00	62,36	16,47	-0,35
51,20	16,84	0,02	62,56	16,56	-0,26
51,56	16,51	-0,31	62,68	16,51	-0,31
51,80	16,58	-0,24	63,12	16,83	0,01
51,92	16,54	-0,28	63,60	16,82	0,00
52,32	16,90	0,08			
52,60	16,48	-0,34			
52,80	16,56	-0,26			
52,96	16,51	-0,31			
53,44	16,83	0,01			
54,04	16,83	0,01			
54,16	16,84	0,02			
54,44	16,48	-0,34			
54,64	16,55	-0,27			
54,80	16,50	-0,32			
55,20	16,94	0,12			
55,48	16,48	-0,34			
55,64	16,56	-0,26			
55,80	16,50	-0,32			
56,24	16,83	0,01			
56,80	16,83	0,01			
56,96	16,84	0,02			
57,20	16,48	-0,34			
57,40	16,55	-0,27			
57,52	16,50	-0,32			
57,88	16,90	0,08			

60 σημείο
 βύθιση γ του στρωτήρα σε συνάρτηση με το χρόνο t



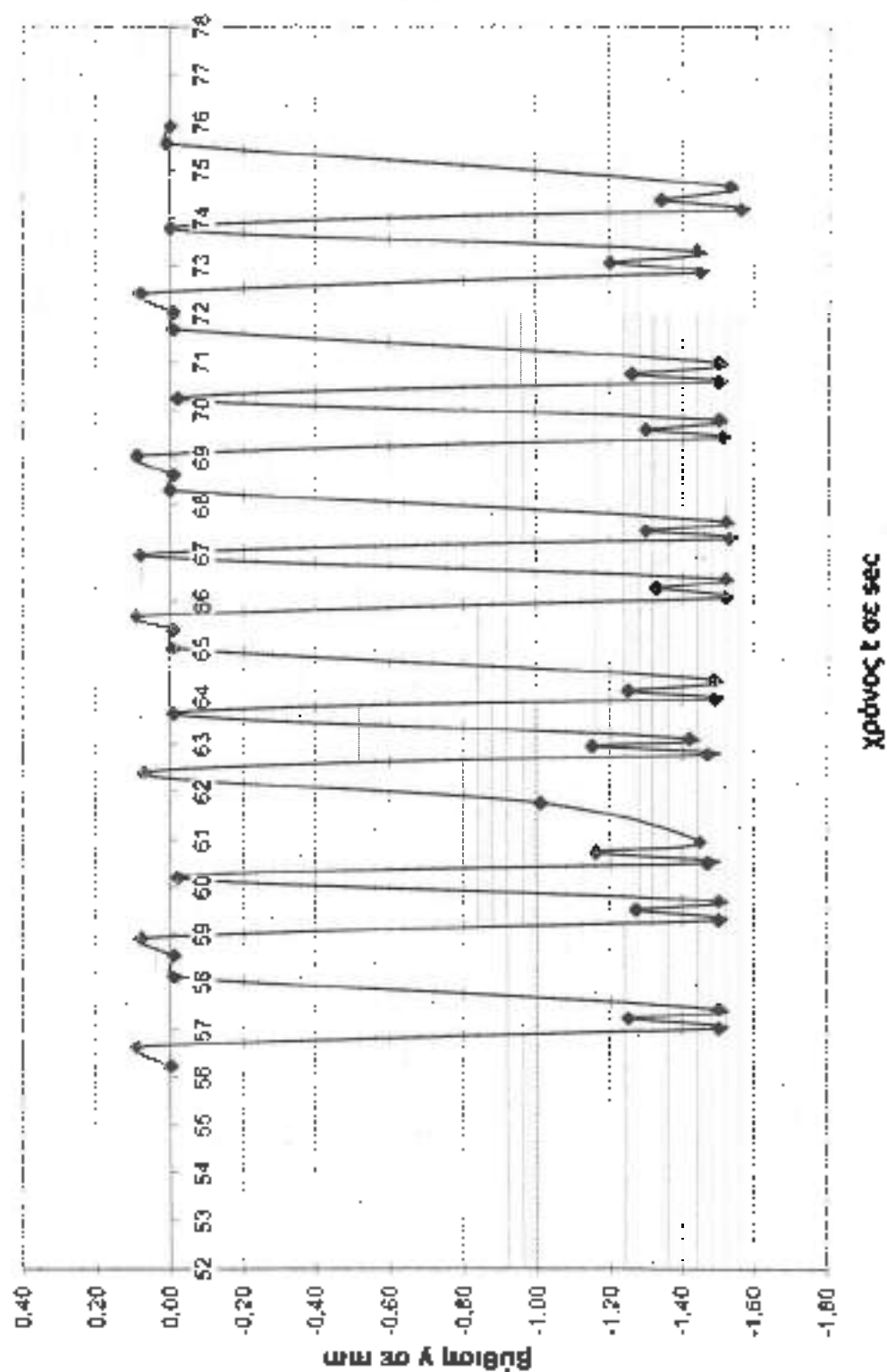
8.6. Παρατηρήσεις 6^{ου} σημείου.

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα η συμπεριφορά της σιδηροτροχιάς σε επιδομή με μπετονένιους στρωτήρες είναι παρόμοια με αυτή με ξύλινους. Διακρίνονται και εδώ οι δύο διαδοχικές και σχεδόν ταυτόχρονες βυθίσεις της σιδηροτροχιάς κατά τη διέλευση των δύο αξόνων του ίδιου φορέα καθώς και η μέγιστη ανύψωσή της ανάμεσα στα δύο φορεία του ίδιου βαγονιού. Παρατηρούνται όμως μικρότερες τιμές βύθισης και ανύψωσης σε σχέση με την επιδομή των ξύλινων στρωτήρων (βύθιση περί τα 0,36mm και ανύψωση περί τα 0,10mm) γεγονός που αποτελεί τον κανόνα στην περιοχή αυτή με τη νέα επιδομή και όχι την εξαίρεση όπως το δεύτερο σημείο μέτρησης της περιοχής αυτής. Σε συνδυασμό με το σκληρότερο έρμα και την τοποθέτηση γεωκλύσματος, η επιλογή αυτής της επιδομής φαίνεται να αποτελεί πολύ καλή επιλογή.

Το ποσοστό βέβαια της ανύψωσης / βύθισης είναι και εδώ υψηλό (35,26%) σε ό,τι αφορά τις φυσιολογικές τιμές αλλά σε χαμηλά επίπεδα σε σχέση με τις άλλες μετρήσεις. Ο χρόνος διέλευσης του συρμού (6 βαγονιών) είναι 18,56 sec που δίνει μια πολύ μικρή μέση ταχύτητα 17 [km/h] αφού στην περιοχή λόγω των έργων ανακατασκευής της γραμμής υπήρχε σήμα που υποχρέωνε τους μηχανοδηγούς να κινούνται με πολύ μικρή ταχύτητα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.7 Μεταβολή της βύθισης γ σε συνάρτηση με το χρόνο t					
Ημερομηνία: 09/10					
Σημείο: 7ο					
Μέτρηση: 5η					
Έναρξη μέτρησης: 07:56:24					
χρόνος t (sec)	ένδειξη (mm)	σχετική τιμή	χρόνος t (sec)	ένδειξη (mm)	σχετική τιμή
56,24	24,60	0,00	70,60	23,10	-1,50
56,64	24,69	0,09	70,76	23,34	-1,26
57,04	23,10	-1,50	71,00	23,10	-1,50
57,24	23,35	-1,25	71,68	24,59	-0,01
57,44	23,10	-1,50	72,04	24,59	-0,01
58,12	24,59	-0,01	72,44	24,68	0,08
58,56	24,59	-0,01	72,88	23,15	-1,45
58,92	24,68	0,08	73,08	23,40	-1,20
59,32	23,10	-1,50	73,32	23,16	-1,44
59,52	23,33	-1,27	73,80	24,60	0,00
59,72	23,10	-1,50	74,20	23,04	-1,56
60,20	24,58	-0,02	74,40	23,26	-1,34
60,52	23,13	-1,47	74,68	23,07	-1,53
60,72	23,44	-1,16	75,56	24,61	0,01
60,96	23,15	-1,45	75,92	24,60	0,00
61,76	23,59	-1,01			
62,40	24,67	0,07			
62,80	23,13	-1,47			
62,96	23,45	-1,15			
63,12	23,18	-1,42			
63,64	24,59	-0,01			
63,96	23,11	-1,49			
64,12	23,35	-1,25			
64,36	23,11	-1,49			
65,00	24,59	-0,01			
65,40	24,59	-0,01			
65,68	24,69	0,09			
66,08	23,08	-1,52			
66,28	23,27	-1,33			
66,48	23,08	-1,52			
66,96	24,68	0,08			
67,32	23,07	-1,53			
67,48	23,30	-1,30			
67,68	23,08	-1,52			
68,32	24,60	0,00			
68,64	24,59	-0,01			
69,04	24,69	0,09			
69,44	23,09	-1,51			
69,60	23,30	-1,30			
69,80	23,10	-1,50			
70,24	24,58	-0,02			

7ο σημείο
βύθιση γ του στρωτήρα σε συνάρτηση με το χρόνο t



8.7. Παρατηρήσεις 7^{ου} σημείου.

Το σημείο αυτό επιλέχθηκε προς μέτρηση λόγω του ότι εμφάνισε μεγάλη βύθιση σε σχέση με τα υπόλοιπα σημεία της περιοχής. Από αυτό συμπεραίνεται ότι η θέση παρουσιάζει κενό έρματος το οποίο οφείλεται στο πρόσφατο στρώσιμο της που έχει σαν αποτέλεσμα να μην έχει ακόμα «μπουραριστεί», δηλαδή δεν έχει αναμοχλευθεί κατάλληλα ώστε το διαβροσμένο έρμα να καλύψει όσο το δυνατό καλύτερα τα κενά κάτω από τη γραμμή. Κατά τα λοιπά το σημείο παρουσιάζει χαρακτηριστικά παρόμοια με του προηγούμενου σημείου, με μόνη διαφορά τις τιμές βύθισης και ανύψωσης, οι οποίες είναι 1,46 mm και 0,08 mm αντίστοιχα. Η μικρή ανύψωση σε σχέση με τη βύθιση (ποσοστό 7,13%) οφείλεται στο γεγονός ότι η βύθιση στους αμέσως προηγούμενους στρωτήρες (όπως και στους περισσότερους της περιοχής) είναι πολύ μικρή (της τάξεως των 0,30mm όπως διαπιστώσαμε από το πρώτο σημείο της περιοχής).

Γενικά μπορεί να ειπωθεί ότι παρό το γεγονός ότι αυτό το σημείο μετρήθηκε γιατί παρουσιάζοταν «προβληματικό» σε σχέση με την υπόλοιπη περιοχή, στο σημείο αυτό οι τιμές παρουσιάζονται ιδανικές (βύθιση 1,46 [mm], ανύψωση 0,08 [mm] και ποσοστό 7,13%). Ο χρόνος διέλευσης του συρμού (6 βαγονιών) είναι 19,68 sec που δίνει μέση ταχύτητα 16 [km/h].

9. ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ C.

Ο υπολογισμός του δείκτη αντίδρασης εδάφους C θα γίνει σύμφωνα με τον τύπο του Zimmermann με βάση την επί τόπου μετρηθείσα μέση τιμή βύθισης γ_m σε κάθε σημείο, ο οποίος είναι ο εξής {1}:

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

όπου:

Q	φορτίο τροχού (7t=70KN)	[N]
b	πλάτος του υποθετικού κατά μήκος φορέα	[mm]
E_s	μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα	[N/mm ²]
I	ροπή αδράνειας της σιδηροτροχιάς	[mm ⁴]
γ_m	μέση τιμή βύθισης της σιδηροτροχιάς (το άθροισμα της βύθισης που μετρήθηκε στο στρωτήρα συν η βύθιση των ελαστικών υποθεμάτων που είναι 0,3 mm)	[mm]

Τα παραπάνω μεγέθη προκύπτουν ως εξής:

➤ Φορτίο τροχού $Q=7 \text{ [t]}=70 \text{ [kN]}=70000 \text{ [N]}$ {14, 15}

➤ Πλάτος υποθετικού κατά μήκος φορέα b σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο {1}:

$$b = \frac{b_s \cdot 2 \cdot \bar{u}}{a} = \frac{F_L}{a} = \frac{F_s}{2 \cdot a} \quad [\text{mm}] \quad (25)$$

όπου:

b_s	πραγματικό πλάτος στρωτήρα	[mm]
$\bar{u}$	εξέχον τμήμα στρωτήρα	[mm]
a	απόσταση μεταξύ στρωτήρων	[mm]
F_L	ενεργός επιφάνεια κάτω από μία σιδηροτροχιά (για μπετονένιους)	[mm ²]

Η ενεργός επιφάνεια F_1 για τους B70 είναι {3}:

$$F_1 = \frac{5700 \text{ cm}^2}{2} = 2850 \text{ cm}^2 = 28500 \text{ mm}^2$$

➤ Μέτρο ελαστικότητας χάλυβα $E_s = 2,1 \cdot 10^5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$

➤ Ροπή αδράνειας σιδηροτροχιάς 1 από πίνακες ως εξής {16}:

S49: $I = 1823 \text{ [cm}^4\text{]} = 18230000 \text{ [mm}^4\text{]}$

UIC54: $I = 2346 \text{ [cm}^4\text{]} = 23460000 \text{ [mm}^4\text{]}$

➤ Μέση τιμή βύθισης σιδηροτροχιάς y_m όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα

ΠΙΝΑΚΑΣ 9_1 Βύθισης max (mm) + 0.3 (mm)							
	1ο σημείο	2ο σημείο	3ο σημείο	4ο σημείο	5ο σημείο	6ο σημείο	7ο σημείο
	0,80	1,40	1,90	4,01	0,55	0,60	1,86
	0,84	1,59	2,00	3,91	0,53	0,65	1,86
	0,70	1,47	2,03	4,11	0,53	0,66	1,89
	0,80	1,46	1,89	4,09	0,55	0,61	1,85
	0,66	1,48	1,87	4,10	0,54	0,63	1,86
	0,71	1,59	1,98	4,06	0,53	0,64	1,86
	0,75	1,52	2,01	4,06	0,57	0,62	1,84
	0,75	1,52	2,09	4,09	0,52	0,65	1,85
	0,76	1,51	1,95	4,09	0,51		
	0,86		1,99				
y_m	0,74	1,50	1,97	4,06	0,54	0,63	1,86

Από τα παραπάνω προκύπτει ο παρακάτω πίνακας, η τελευταία στήλη του οποίου περιλαμβάνει την πίεση του έρματος κάτω από το στρωτήρα, η οποία δίνεται από τον τύπο:

$$p = C \cdot y_N \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (1)$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 9_2 Υπολογισμός του δείκτη αντιστάσεως εδάφους C για τις μετρηθείσες βυθίσες ($\gamma_H = \gamma_D + \gamma_{\text{εδαφ.}}$)

Ημέρα	σημείο	$\gamma_H(\text{mm})$	$bs(\text{mm})$	$w(\text{mm})$	$\phi(\text{mm})$	$h(\text{mm})$	$Q(\text{N})$	$E_s(\text{N/mm}^2)$	$I(\text{mm}^4)$	$C_f(\text{N/mm}^3)$	$p(\text{N/mm}^2)$
1	1	0,74	250	550	700	392,8571429	70000	210000	18230000	0,1753	0,1297
	2	1,50	250	550	700	392,8571429	70000	210000	18230000	0,0683	0,1025
	3	1,97	250	550	600	458,3333333	70000	210000	18230000	0,0407	0,0802
2	4	4,06	250	550	600	458,3333333	70000	210000	18230000	0,0155	0,0631
	5	0,54	250	550	600	458,3333333	70000	210000	18230000	0,2288	0,1235
	6	0,63	300	550	670	492,5373134	70000	210000	23460000	0,1593	0,1004
3	7	1,86	300	550	670	492,5373134	70000	210000	23460000	0,0376	0,0700

10. ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΒΥΘΙΣΗ.

Έχοντας προς διάθεση τις μετρήσεις των βυθίσεων είναι δυνατή η σύγκρισή τους με τις αναμενόμενες βυθίσεις που περιμένει κανείς υποθέτωντας ότι η κατάσταση του εδάφους (όπως αυτή χαρακτηρίζεται από τον δείκτη αντίδρασης εδάφους) ήταν από καλή έως ιδανική, θεωρώντας κατ'έκτιμηση τον δείκτη αντίδρασης εδάφους C αλλά και το συντελεστή κατάστασης επιδομής ρ για μέτρια επιδομή σε έρμα για το τμήμα Φάληρο - Πειραιάς ($C = 0,09 \text{ [N/mm}^3\text{]}$), για πολύ καλή επιδομή σε έρμα για το σταθμό των Πετραλώνων ($C = 0,16 \text{ [N/mm}^3\text{]}$) και για άκαμπτο έδαφος με μπετονένιους στρωτήρες για το Θησείο (υποθετική προσέγγιση με $C = 0,3 \text{ [N/mm}^3\text{]}$). Ο υπολογισμός θα γίνει σύμφωνα με τη θεωρία του κατά μήκος στρωτήρα του Zimmermann {1} και με τύπους που ακολουθούν παρακάτω.

Η θεωρία του κατά μήκος στρωτήρα στηρίζεται στη διαπίστωση (στην οποία κατέληξε ο Zimmermann βασισμένος στην έρευνα του Winkler) 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 της μπορεί να αντικατασταθεί με μία κατά μήκος υποθετική στήριξη. Με τη θεώρηση αυτή ο Zimmermann έλαβε ουσιαστικά υπόψη του 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 Η.Σ.Α.Π. που αφορούν την εργασία η κρίσιμη αυτή απόσταση μεταξύ των αξόνων είναι {14, 15}:

$$x_G = 2,1[\text{m}] = 2100[\text{mm}]$$

Ο τύπος υπολογισμού της αναμενόμενης στατικής βύθισης είναι ο εξής {1}:

$$y = \frac{Q}{2 \cdot b \cdot C \cdot L} (1 + \eta) [\text{mm}] \quad (26)$$

όπου:

Q φορτίο τροχαύ

- b πλάτος υποθετικού κατά μήκος φορέα [mm]
- C δείκτης αντίδρασης εδάφους (κατ'εκτίμηση) [N/mm³]
- L ελαστικό μήκος του κατά μήκος φορέα που δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$L = \sqrt{\frac{4 \cdot E_s \cdot I}{b \cdot C}} \text{ [mm]} \quad (6)$$

- η συντελεστής που δίνεται από πίνακα σε συνάρτηση με το μέγεθος
- $$\xi = \frac{x}{L} \quad (7)$$

Στη συνέχεια, προκειμένου για τον υπολογισμό της αναμενόμενης *δυναμικής* βύθισης y_d , είναι απαραίτητος ο υπολογισμός του *δυναμικού συντελεστή* θ από τον παρακάτω τύπο:

$$\theta = 1 + \rho \cdot \phi \cdot t \quad (27)$$

όπου:

- ϕ συντελεστής ταχύτητας με $\phi = 1$ για ταχύτητα έως 60(km/h)
- t_s στατιστική ασφάλεια με $t_s = 3$ για σιδηροτροχιά
- ρ συντελεστής κατάστασης επιδομής

Ο συντελεστής κατάστασης επιδομής ρ θεωρείται κατ' εκτίμηση όπως προαναφέραμε (βλέπε παράγραφο 5. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΤΩΝ ΜΕΤΕΘΩΝ ΠΟΥ ΕΞΕΤΑΖΟΝΤΑΙ.). Τα αποτελέσματα των παραπάνω υπολογισμών συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί στην επόμενη σελίδα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 9_3 Υπολογισμός αναμενόμενης στατικής και δυναμικής βύθισης
για τον κατ'εκτίμηση δείκτη αντίδρασης εδάφους

Ημέρα	σημείο	b _{st} (mm)	ω'(mm)	a'(mm)	b'(mm)	E _r (N/mm ²)	I (mm ⁴)	C(N/mm ²)
1	1	250	550	700	392,86	210000	18230000	0,09
	2	250	550	700	392,86	210000	18230000	0,09
	3	250	550	600	458,33	210000	18230000	0,16
2	4	250	550	600	458,33	210000	18230000	0,16
	5	250	550	600	458,33	210000	18230000	0,16
	6	300	550	670	492,54	210000	23460000	0,3
3	7	300	550	670	492,54	210000	23460000	0,3

L(mm)	x _G (mm)	ξ	η	ρ	θ	Q(N)	γ(mm)	γ _a (mm)
811,24	2100	2,59	-0,0245	0,25	1,75	70000	1,22	2,14
811,24	2100	2,59	-0,0245	0,25	1,75	70000	1,22	2,14
675,99	2100	3,11	-0,0432	0,2	1,6	70000	0,71	1,13
675,99	2100	3,11	-0,0432	0,2	1,6	70000	0,71	1,13
675,99	2100	3,11	-0,0432	0,2	1,6	70000	0,71	1,13
604,31	2100	3,48	-0,0394	0,15	1,45	70000	0,39	0,57
604,31	2100	3,48	-0,0394	0,15	1,45	70000	0,39	0,57

Από τα αποτελέσματα που περιλαμβάνονται στον πίνακα παρατηρούμε τα εξής:

Στα σημεία όπου ο δείκτης αντίδρασης εδάφους C είναι κοντά σε αυτών που προκύπτει από τους υπολογισμούς, η αναμενόμενη στατική βύθιση πλησιάζει τη μετρηθείσα (σημεία 2, 5, 6). Θα ήταν ίσως δόκιμο να ειπωθεί ότι η πραγματικά αναμενόμενη βύθιση σε κάθε περιοχή κυμαίνεται στο διάστημα ανάμεσα στην αναμενόμενη στατική και τη δυναμική βύθιση – αφού πρόκειται για ημιστατική βύθιση – αλλά και γιατί τα σημεία που επιλέχθηκαν για τις μετρήσεις παρουσίαζαν ακραία συμπεριφορά (πολύ μικρή ή πολύ μεγάλη βύθιση όπως για παράδειγμα το 5^ο σημείο όπου υπήρχε εσχάρα με μεγάλη βύθιση πριν από εσχάρα με συμπυκνωμένο από κάτω έδαφος που παρουσίαζε πολύ μικρή βύθιση) έτσι ώστε να προκύψουν τα όρια του διαστήματος στο οποίο κινείται η βύθιση. Οι υποθέσεις που έγιναν για τις τιμές του δείκτη αντίδρασης εδάφους αφορούσαν μια ιδανική κατάσταση επιδομής, ομοιόμορφη κατανομή του έρματος και φυσικά για το 6^ο και 7^ο σημείο αφορούν άκαμπτο έδαφος, το οποίο δεν υφίσταται παρά το γεγονός ότι οι μετρήσεις στο 7^ο σημείο δίνουν δείκτη αντίδρασης εδάφους που συνήθως συναντάται σε άκαμπτα εδάφη ($C_{70} = 0,22 \text{ [N/mm}^2\text{]}$).

11. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

Σημαντικός παράγοντας για τη διερεύνηση της καταλληλότητας της επιδομής αλλά και του εδάφους 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. 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 ενδιαφέρουν οι οριζόντιες σ_x και οι διατμητικές τ_{max} , μιας και το έδαφος κινδυνεύει να αστοχήσει έναντι θλίψης. Για τον υπολογισμό των τάσεων αυτών είναι απαραίτητο να θεωρηθούν βάσει βιβλιογραφίας και παρατήρησης το πάχη h και το μέτρο ελαστικότητας E των στρώσεων που αποτελούν την επιδομή και το έδαφος. Στον υπολογισμό αυτό θα υποτεθεί επίσης και μια ενδιάμεση στρώση προκειμένου να διαπιστώσουμε πόσο χρήσιμη θα ήταν η τοποθέτησή της. Έτσι σύμφωνα με τη βιβλιογραφία {2}, τις παρατηρήσεις και τις μετρήσεις μας οι αναμενόμενες τιμές για το έρμα, την ενδιάμεση στρώση και το έδαφος είναι οι εξής:

- έρμα: $h=300$ [mm], $E=150$ [N/mm²]
- ενδιάμεση στρώση: $h=350$ [mm], $E=100$ [N/mm²]
- έδαφος: $h=+\infty$, $E=10 - 95$ [N/mm²]

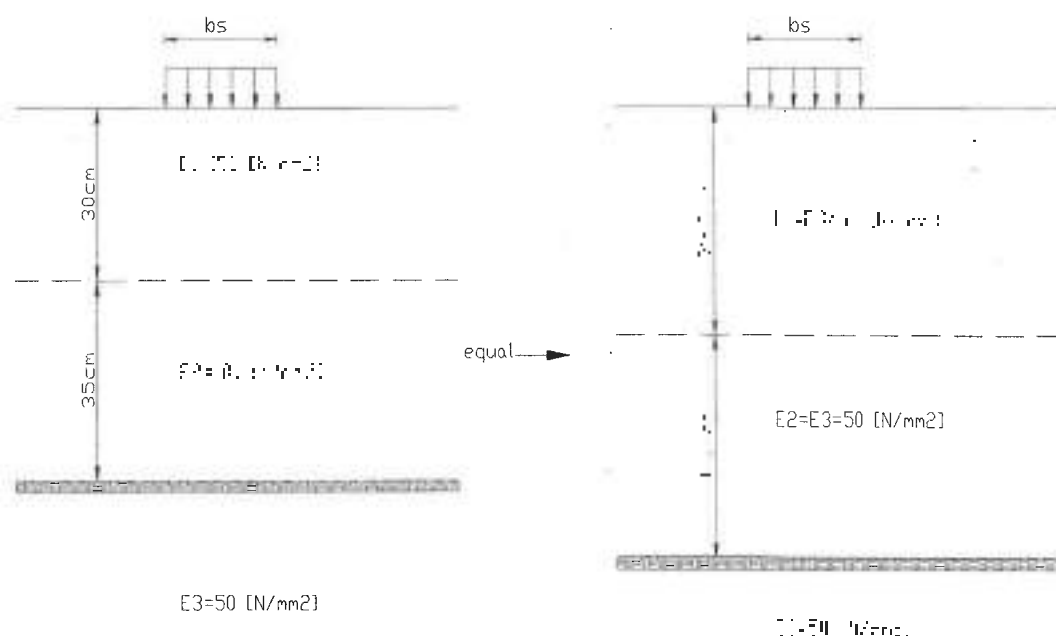
Το μέτρο ελαστικότητας του εδάφους κυμαίνεται από 10 έως 95 [N/mm²] ανάλογα με τον δείκτη αντίδρασης εδάφους C που έχει υπολογιστεί, σύμφωνα με τον πίνακα 12.1_1. Επειδή όμως οι τρεις (οι και μόνο οι δύο) στρώσεις έχουν διαφορετικά μέτρα ελαστικότητας E , είναι απαραίτητος ο υπολογισμός *ισοδύναμων στρώσεων* κατά Odemark ο οποίος θα μας δώσει τα αντίστοιχα πάχη των υπερκείμενων στρώσεων εάν αυτά είχαν το μέτρο ελαστικότητας του εδάφους, δηλαδή ένα κοινό μέτρο ελαστικότητας E_3 . Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι ο Odemark ισχύει μόνο όταν τα μέτρα ελαστικότητας E μειώνονται προς τα κάτω. Για το λόγο αυτό στα σημεία όπου το C είναι πολύ μεγάλο και από τον πίνακα 1.4.3_1 αντιστοιχεί σε $E = 100$ [N/mm²] εμείς θεωρούμε $E = 95$ [N/mm²] έτσι ώστε να διατηρείται η παραπάνω συνθήκη. Το ισοδύναμο πάχος μιας στρώσης δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$h' = h \cdot 0,9 \cdot \sqrt[3]{\frac{E_n}{E_3}} \text{ (mm)} \quad (13)$$

όπου:

- h': ισοδύναμο πάχος της υπό εξέταση στρώσης σε {mm}
 h: πραγματικό πάχος της υπό εξέταση στρώσης σε {mm}
 E_{II}: μέτρο ελαστικότητας της υπό εξέταση στρώσης σε {N/mm²}
 E₃: μέτρο ελαστικότητας του εδάφους σε {N/mm²}

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών φαίνονται στους παρακάτω πίνακες για δύο περιπτώσεις: με δύο στρώσεις (έρμα και έδαφος) και με τρεις στρώσεις (έρμα, ενδιάμεση θεωρητική στρώση και έδαφος με E₃=50 [N/mm²]).



ΠΙΝΑΚΑΣ 11_1 Υπολογισμός καθύνων βαθών κατά Odemark						
	$h_1=300$			$h_2=350$		
μετρηθείσες	1ο-5ο-6ο σημείο		3ο-7ο σημείο	4ο σημείο		2ο σημείο
αναμενόμενες	3ο-4ο-5ο-6ο-7ο σημείο				1ο-2ο σημείο	
	$E_2=95$		$E_3=20$	$E_3=10$	$E_3=80$	$E_3=50$
	z [mm]	z' [mm]	z' [mm]	z' [mm]	z' [mm]	z' [mm]
$E_1=150$	0	0	0	0	0	0
	25	26,2002	44,0423	55,4898	27,7449	32,4506
	50	52,4005	88,0845	110,9795	55,4898	64,9012
	75	78,6007	132,1268	166,4693	83,2347	97,3518
	100	104,8009	176,1690	221,9591	110,9795	129,8025
	125	131,0011	220,2113	277,4489	138,7244	162,2531
	150	157,2014	264,2535	332,9386	166,4693	194,7037
	175	183,4016	308,2958	388,4284	194,2142	227,1543
	200	209,6018	352,3381	443,9182	221,9591	259,6049
	225	235,8021	396,3803	499,4079	249,7040	292,0555
	250	262,0023	440,4226	554,8977	277,4489	324,5062
	275	288,2025	484,4649	610,3875	305,1937	356,9568
$E_1=100$	300	314,4027	528,5071	665,8773	332,9386	389,4074
	325	337,2907	566,9816	714,3520	357,1760	417,7556
	350	360,1787	605,4560	762,8268	381,4134	446,1038
	375	383,0668	643,9305	811,3016	405,6508	474,4521
	400	405,9548	682,4050	859,7764	429,8882	502,8003
	425	428,8428	720,8794	908,2512	454,1256	531,1485
	450	451,7308	759,3539	956,7259	478,3630	559,4967
	475	474,6188	797,8283	1005,2007	502,6004	587,8449
	500	497,5068	836,3028	1053,6755	526,8378	616,1932
	525	520,3948	874,7773	1102,1503	551,0751	644,5414
	550	543,2828	913,2517	1150,6251	575,3125	672,8896
	575	566,1708	951,7262	1199,0999	599,5499	701,2378
	600	589,0588	990,2006	1247,5746	623,7873	729,5861
	625	611,9468	1028,6751	1296,0494	648,0247	757,9343
	650	634,8348	1067,1496	1344,5242	672,2621	786,2825

11.1. Υπολογισμός τάσεων κάτω από την υπό εξέταση διατομή.

Οι υπολογισμοί των τάσεων θα γίνουν και για τις μετρηθείσες βυθίσεις αλλά και για τις αναμενόμενες στατικές βυθίσεις που υπολογίστηκαν. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι υπολογισμοί γίνονται για πίεση p κάτω από το στρωτήρα (όπως αυτή προκύπτει για φορτίο τροχού $Q = 70000 \text{ [N]}$) από τη σχέση 1).

Ο υπολογισμός των κατακόρυφων θλιπτικών τάσεων κάτω από το στρωτήρα που εξετάζεται τη χρονική στιγμή που διέρχεται ο τροχός από πάνω του και σε βάθος z γίνεται από τον τύπο {2}:

$$\sigma_z = \frac{2 \cdot p}{\pi} \cdot \left[\arctan\left(\frac{b_s}{2 \cdot z'}\right) + \frac{2 \cdot b_s \cdot z'}{b_s^2 + 4 \cdot z'^2} \right] [\text{N/mm}^2] \quad (14)$$

όπου:

σ_z	κατακόρυφη τάση σε	$[\text{N/mm}^2]$
p	πίεση έρματος κάτω από τον στρωτήρα σε	$[\text{N/mm}^2]$
b_s	πραγματικό πλάτος στρωτήρα σε	$[\text{mm}]$
z'	ισοδύναμο βάθος κάτω από το στρωτήρα σε	$[\text{mm}]$

Οι υπολογισμοί γίνονται με τα ισοδύναμα βάθη (μιας και δεν είναι δυνατό να γίνουν με τα πραγματικά) αλλά τα τελικά αποτελέσματα των υπολογισμών καθώς και τα αντίστοιχα γραφήματα παρουσιάζονται για τα αντίστοιχα πραγματικά βάθη κάτω από το στρωτήρα αφού αυτά ενδιαφέρουν.

Στους πίνακες και τα διαγράμματα που ακολουθούν παρατίθενται τα αποτελέσματα μόνο για τις κατακόρυφες θλιπτικές τάσεις σ_z , οι οποίες και ενδιαφέρουν ουσιαστικά μιας και το έδαφος κινδυνεύει να οστοχήσει μόνο έναντι θλίψης.

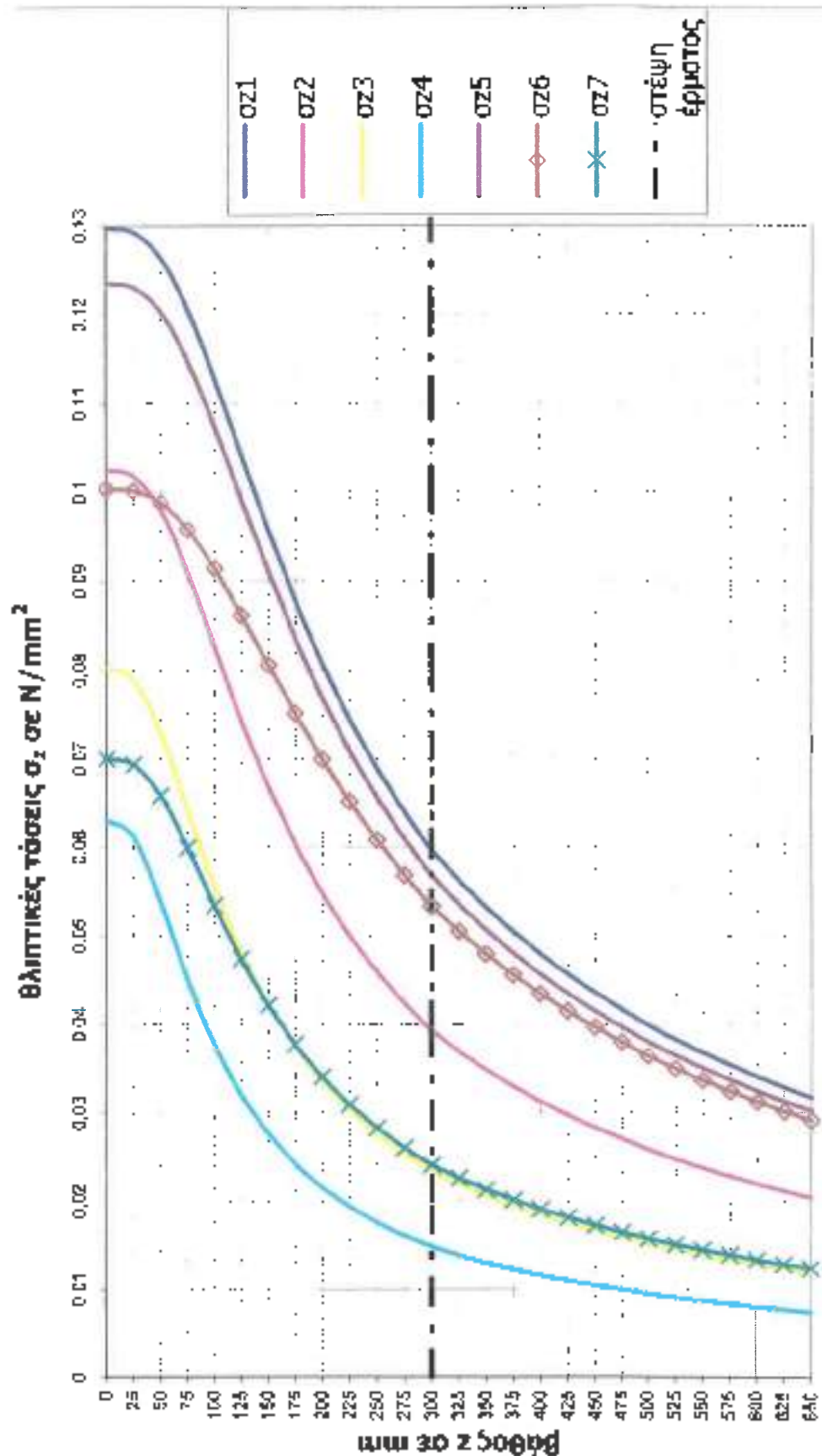
*Σημείωση: Ως «στέψη έρματος» στα διαγράμματα αναφέρεται η κάτω στέψη του έρματος, η πλευρά δηλαδή του έρματος που στην πραγματικότητα εφάπτεται στο έδαφος, ενώ θεωρητικά εφάπτεται στην υποθετική ενδιάμεση στρώση. Το σημείο επαφής αυτό σημειώνεται στα διαγράμματα για να διακρίνονται οι τάσεις που μεταβιβάζονται στο έδαφος στην πραγματικότητα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 11.1_1 Υπολογισμός κατακόρυφων θλιπτικών τάσεων σ_z και του λόγου τάσεων/πιέσεων σ_z/p για τις μετρηθείσες βυθίσες

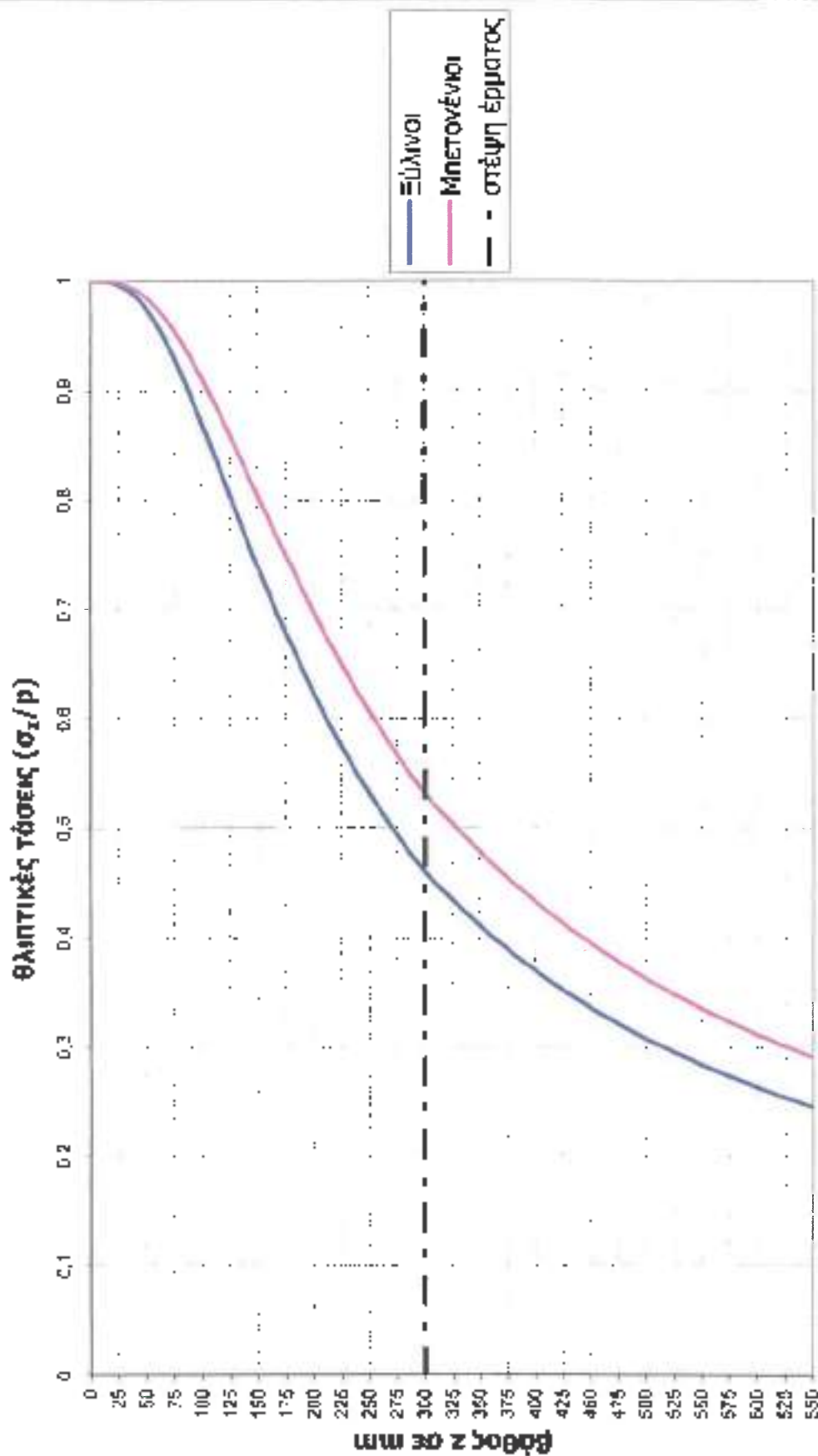
1ο σημείο				2ο σημείο				3ο σημείο				4ο σημείο			
Τάσεις κάτω από τον στρωτήρα				Τάσεις κάτω από τον στρωτήρα				Τάσεις κάτω από τον στρωτήρα				Τάσεις κάτω από τον στρωτήρα			
n	b _s	p(N/mm ²)		n	b _s	p(N/mm ²)		n	b _s	p(N/mm ²)		n	b _s	p(N/mm ²)	
3.141593	250	0.12974		3.141592654	250	0.10252		3.141593	250	0.08024		3.141592654	250	0.06305	
z	z'	σ_z	σ_z/p	z	z'	σ_z	σ_z/p	z	z'	σ_z	σ_z/p	z	z'	σ_z	σ_z/p
0	0.0000	0.12974	1.00000	0	0.0000	0.10252	1.00000	0	0.0000	0.08024	1.00000	0	0.0000	0.06305	1.00000
25	26.2002	0.12926	0.99629	25	32.4506	0.10181	0.99313	25	44.0423	0.07895	0.98388	25	55.4898	0.06117	0.97011
50	52.4005	0.12641	0.97428	50	64.9012	0.09795	0.95548	50	88.0845	0.07294	0.90897	50	110.9795	0.05384	0.85385
75	78.6007	0.12060	0.92952	75	97.3518	0.09097	0.88737	75	132.1268	0.06421	0.80018	75	166.4693	0.04513	0.71571
100	104.8009	0.11278	0.86924	100	129.8025	0.08264	0.80609	100	176.1690	0.05563	0.69331	100	221.9591	0.03775	0.59871
125	131.0011	0.10419	0.80304	125	162.2531	0.07440	0.72568	125	220.2113	0.04830	0.60198	125	277.4489	0.03203	0.50790
150	157.2014	0.09573	0.73780	150	194.7037	0.06692	0.65276	150	264.2536	0.04232	0.52736	150	332.9386	0.02763	0.43814
175	183.4016	0.08785	0.67713	175	227.1543	0.06040	0.58916	175	308.2958	0.03747	0.46690	175	388.4284	0.02420	0.38385
200	209.6018	0.08075	0.62240	200	259.6049	0.05480	0.53452	200	352.3381	0.03351	0.41764	200	443.9182	0.02149	0.34083
225	235.8021	0.07444	0.57376	225	292.0555	0.05000	0.48774	225	396.3803	0.03026	0.37708	225	499.4079	0.01930	0.30609
250	262.0023	0.06887	0.53081	250	324.5062	0.04589	0.44762	250	440.4226	0.02754	0.34327	250	554.8977	0.01750	0.27754
275	288.2025	0.06395	0.49293	275	356.9568	0.04234	0.41302	275	484.4649	0.02526	0.31476	275	610.3875	0.01600	0.25372
300	314.4027	0.05961	0.45947	300	389.4074	0.03927	0.38301	300	528.5071	0.02331	0.29045	300	665.8773	0.01473	0.23357
325	337.2907	0.05623	0.43338	325	417.7556	0.03690	0.35993	325	566.9816	0.02182	0.27199	325	714.3520	0.01377	0.21837
350	360.1787	0.05318	0.40985	350	446.1038	0.03479	0.33932	350	605.4560	0.02052	0.25567	350	762.8268	0.01293	0.20499
375	383.0668	0.05041	0.38855	375	474.4521	0.03289	0.32084	375	643.9305	0.01935	0.24116	375	811.3016	0.01218	0.19313
400	405.9548	0.04790	0.36921	400	502.8003	0.03118	0.30418	400	682.4050	0.01831	0.22816	400	859.7764	0.01151	0.18255
425	428.8428	0.04562	0.35159	425	531.1485	0.02964	0.28910	425	720.8794	0.01737	0.21647	425	908.2512	0.01091	0.17306
450	451.7308	0.04353	0.33549	450	559.4967	0.02823	0.27540	450	759.3539	0.01652	0.20590	450	956.7259	0.01037	0.16449
475	474.6188	0.04161	0.32073	475	587.8449	0.02695	0.26290	475	797.8283	0.01575	0.19629	475	1005.2007	0.00988	0.15672
500	497.5068	0.03985	0.30716	500	616.1932	0.02578	0.25145	500	836.3028	0.01505	0.18753	500	1053.6755	0.00944	0.14965
525	520.3948	0.03823	0.29465	525	644.5414	0.02470	0.24094	525	874.7773	0.01440	0.17951	525	1102.1503	0.00903	0.14318
550	543.2828	0.03673	0.28308	550	672.8896	0.02371	0.23125	550	913.2517	0.01381	0.17213	550	1150.6251	0.00865	0.13724
575	566.1708	0.03534	0.27236	575	701.2378	0.02279	0.22229	575	951.7262	0.01327	0.16533	575	1199.0998	0.00831	0.13178
600	589.0588	0.03404	0.26239	600	729.5861	0.02194	0.21398	600	990.2006	0.01276	0.15905	600	1247.5746	0.00799	0.12673
625	611.9468	0.03284	0.25311	625	757.9343	0.02115	0.20627	625	1028.6751	0.01229	0.15322	625	1296.0494	0.00770	0.12204
650	634.8348	0.03171	0.24444	650	786.2825	0.02041	0.19908	650	1067.1496	0.01186	0.14779	650	1344.5242	0.00742	0.11770

ΠΙΝΑΚΑΣ 11.1_2 Υπολογισμός κατακόρυφων θλιπτικών τάσεων σ_z και του λόγου τάσεων/πιέσεων σ_z/p για τις μετρηθείσες βυθίσεις											
5ο σημείο				6ο σημείο				7ο σημείο			
Τάσεις κάτω από τον στρωτήρα				Τάσεις κάτω από τον στρωτήρα				Τάσεις κάτω από τον στρωτήρα			
n	b _s	p(N/mm ²)		n	b _s	p(N/mm ²)		n	b _s	p(N/mm ²)	
3.141593	250	0.12353		3.141592654	300	0.10039		3.141593	300	0.06998	
z	z'	σ _z	σ _z /p	z	z'	σ _z	σ _z /p	z	z'	σ _z	σ _z /p
0	0.0000	0.12353	1.00000	0	0.0000	0.10039	1.00000	0	0.0000	0.06998	1.00000
25	26.2002	0.12307	0.99629	25	26.2002	0.10017	0.99782	25	44.0423	0.06929	0.99027
50	52.4005	0.12035	0.97428	50	52.4005	0.09880	0.98425	50	88.0845	0.06577	0.93995
75	78.6007	0.11482	0.92952	75	78.6007	0.09581	0.95445	75	132.1268	0.05990	0.85604
100	104.8009	0.10737	0.86924	100	104.8009	0.09142	0.91066	100	176.1690	0.05341	0.76327
125	131.0011	0.09920	0.80304	125	131.0011	0.08617	0.85839	125	220.2113	0.04737	0.67689
150	157.2014	0.09114	0.73780	150	157.2014	0.08061	0.80304	150	264.2536	0.04212	0.60198
175	183.4016	0.08364	0.67713	175	183.4016	0.07513	0.74842	175	308.2958	0.03770	0.53873
200	209.6018	0.07688	0.62240	200	209.6018	0.06994	0.69672	200	352.3381	0.03399	0.48567
225	235.8021	0.07087	0.57376	225	235.8021	0.06515	0.64899	225	396.3803	0.03086	0.44104
250	262.0023	0.06557	0.53081	250	262.0023	0.06079	0.60552	250	440.4226	0.02822	0.40326
275	288.2025	0.06089	0.49293	275	288.2025	0.05684	0.56622	275	484.4649	0.02596	0.37102
300	314.4027	0.05676	0.45947	300	314.4027	0.05329	0.53081	300	528.5071	0.02402	0.34327
325	337.2907	0.05353	0.43338	325	337.2907	0.05047	0.50277	325	566.9816	0.02254	0.32206
350	360.1787	0.05063	0.40985	350	360.1787	0.04790	0.47716	350	605.4560	0.02122	0.30321
375	383.0668	0.04800	0.38855	375	383.0668	0.04555	0.45375	375	643.9305	0.02004	0.28636
400	405.9548	0.04561	0.36921	400	405.9548	0.04340	0.43230	400	682.4050	0.01898	0.27123
425	428.8428	0.04343	0.35159	425	428.8428	0.04142	0.41261	425	720.8794	0.01802	0.25757
450	451.7308	0.04144	0.33549	450	451.7308	0.03960	0.39450	450	759.3539	0.01716	0.24519
475	474.6188	0.03962	0.32073	475	474.6188	0.03793	0.37780	475	797.8283	0.01637	0.23391
500	497.5068	0.03794	0.30716	500	497.5068	0.03638	0.36237	500	836.3028	0.01565	0.22361
525	520.3948	0.03640	0.29465	525	520.3948	0.03494	0.34808	525	874.7773	0.01499	0.21416
550	543.2828	0.03497	0.28308	550	543.2828	0.03361	0.33482	550	913.2517	0.01438	0.20546
575	566.1708	0.03364	0.27236	575	566.1708	0.03237	0.32248	575	951.7262	0.01381	0.19742
600	589.0588	0.03241	0.26239	600	589.0588	0.03122	0.31098	600	990.2006	0.01329	0.18998
625	611.9468	0.03127	0.25311	625	611.9468	0.03014	0.30023	625	1028.6751	0.01281	0.18308
650	634.8348	0.03019	0.24444	650	634.8348	0.02913	0.29018	650	1067.1496	0.01236	0.17665

Τάσεις σε πραγματικό βάθος κάτω από το στρωτήρα χωρίς την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων

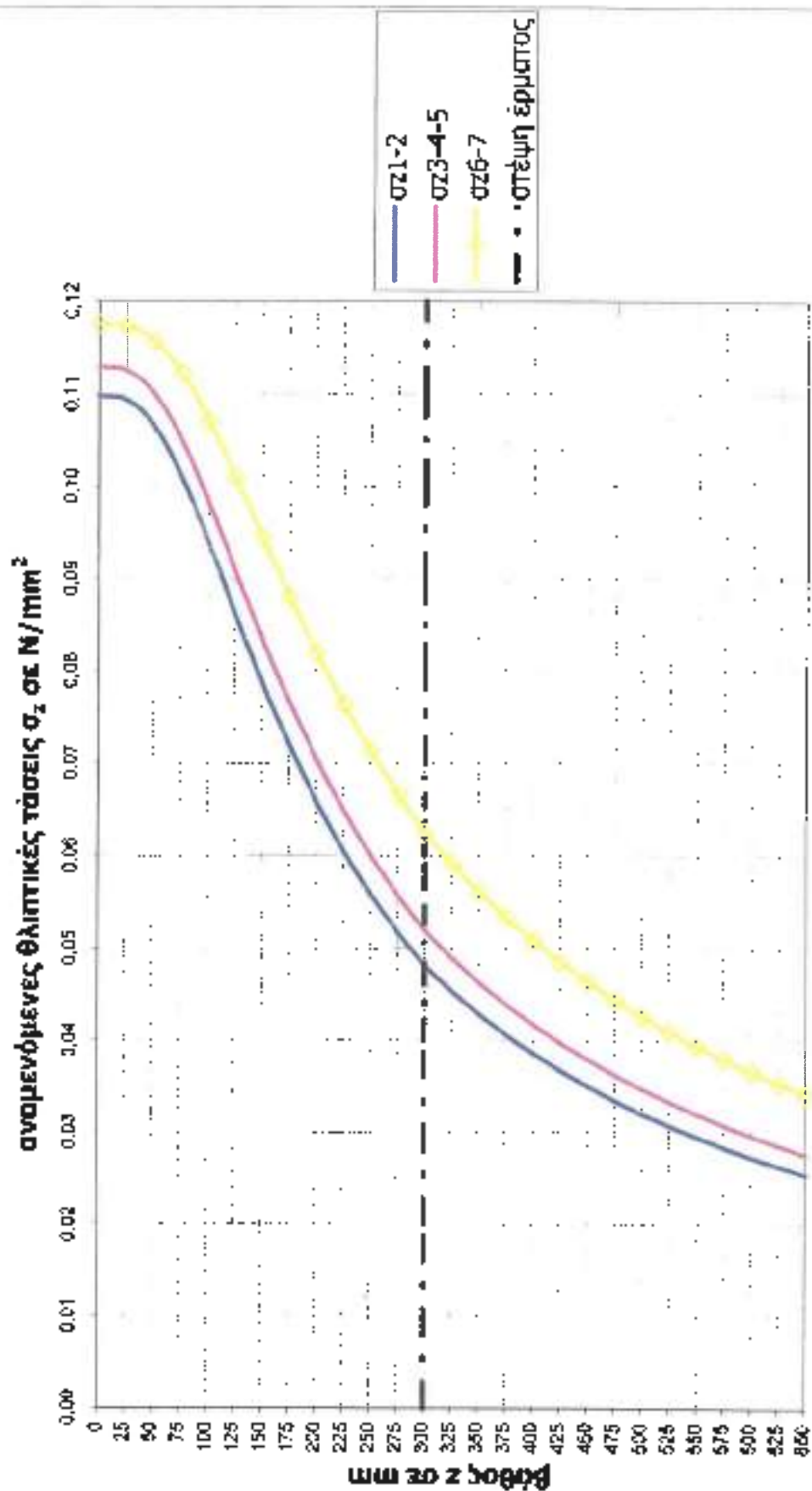


Τάσεις/νιέσεις σε πραγματικό βάθος κάτω από το στρώτηρα χωρίς την επίδραση των
 γειτονικών στρώτηρων

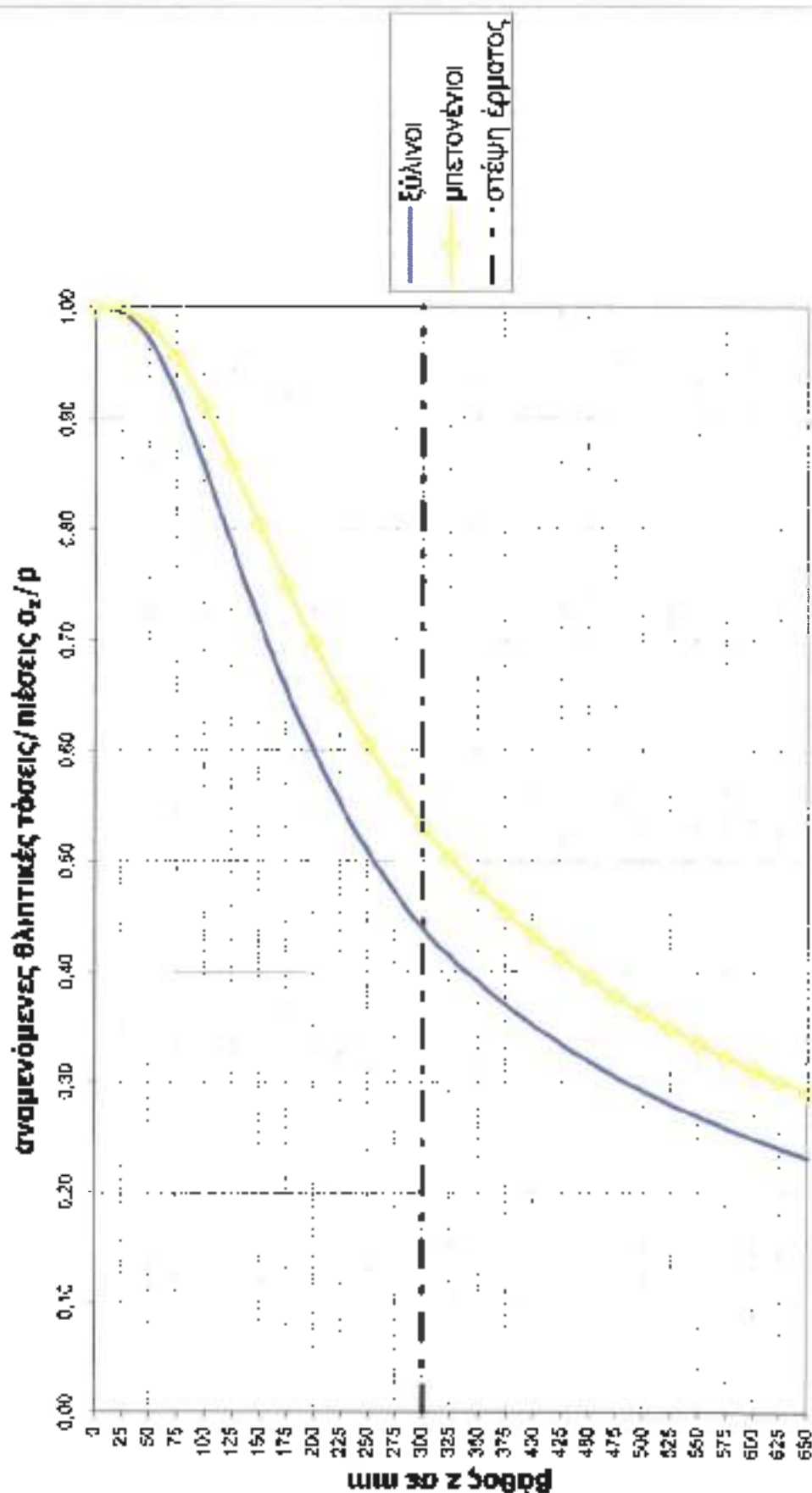


ΠΙΝΑΚΑΣ 11.1_3 Υπολογισμός κατακόρυφων θλιπτικών τάσεων σ_z και του λόγου τάσεων/πίεσεων σ_z/p για τις αναμενόμενες βυθίσσεις											
1ο - 2ο σημείο				3ο - 4ο - 5ο σημείο				6ο - 7ο σημείο			
Τάσεις κάτω από τον στρωτήρα				Τάσεις κάτω από τον στρωτήρα				Τάσεις κάτω από τον στρωτήρα			
n	b _z	p(N/mm ²)		n	b _z	p(N/mm ²)		n	b _z	p(N/mm ²)	
3.141593	250	0.10982		3.141592654	250	0.11297		3.141593	300	0.11759	
z	z'	σ _z	σ _z /p	z	z'	σ _z	σ _z /p	z	z'	σ _z	σ _z /p
0	0.0000	0.10982	1.00000	0	0.0000	0.11297	1.00000	0	0.0000	0.11759	1.00000
25	27.7449	0.10934	0.99562	25	26.2002	0.11255	0.99629	25	26.2002	0.11733	0.99782
50	55.4898	0.10654	0.97011	50	52.4005	0.11006	0.97428	50	52.4005	0.11574	0.98425
75	83.2347	0.10100	0.91970	75	78.6007	0.10500	0.92952	75	78.6007	0.11223	0.95445
100	110.9795	0.09377	0.85385	100	104.8009	0.09819	0.86924	100	104.8009	0.10708	0.91066
125	138.7244	0.08604	0.78349	125	131.0011	0.09072	0.80304	125	131.0011	0.10094	0.85839
150	166.4693	0.07860	0.71571	150	157.2014	0.08335	0.73780	150	157.2014	0.09443	0.80304
175	194.2142	0.07180	0.65379	175	183.4016	0.07649	0.67713	175	183.4016	0.08801	0.74842
200	221.9591	0.06575	0.59871	200	209.6018	0.07031	0.62240	200	209.6018	0.08193	0.69672
225	249.7040	0.06043	0.55030	225	235.8021	0.06481	0.57376	225	235.8021	0.07631	0.64899
250	277.4489	0.05578	0.50790	250	262.0023	0.05996	0.53081	250	262.0023	0.07120	0.60552
275	305.1937	0.05170	0.47076	275	288.2025	0.05568	0.49293	275	288.2025	0.06658	0.56622
300	332.9386	0.04812	0.43814	300	314.4027	0.05190	0.45947	300	314.4027	0.06242	0.53081
325	357.1760	0.04533	0.41280	325	337.2907	0.04896	0.43338	325	337.2907	0.05912	0.50277
350	381.4134	0.04283	0.39002	350	360.1787	0.04630	0.40985	350	360.1787	0.05611	0.47716
375	405.6508	0.04057	0.36945	375	383.0668	0.04369	0.38855	375	383.0668	0.05336	0.45375
400	429.8882	0.03853	0.35083	400	405.9548	0.04171	0.36921	400	405.9548	0.05083	0.43230
425	454.1256	0.03667	0.33389	425	428.8428	0.03972	0.35159	425	428.8428	0.04852	0.41261
450	478.3630	0.03497	0.31844	450	451.7308	0.03790	0.33549	450	451.7308	0.04639	0.39450
475	502.6004	0.03342	0.30429	475	474.6188	0.03623	0.32073	475	474.6188	0.04443	0.37780
500	526.8378	0.03199	0.29130	500	497.5068	0.03470	0.30716	500	497.5068	0.04261	0.36237
525	551.0751	0.03068	0.27934	525	520.3948	0.03329	0.29465	525	520.3948	0.04093	0.34808
550	575.3125	0.02946	0.26829	550	543.2828	0.03198	0.28308	550	543.2828	0.03937	0.33482
575	599.5499	0.02834	0.25805	575	566.1708	0.03077	0.27236	575	566.1708	0.03792	0.32248
600	623.7873	0.02730	0.24855	600	589.0588	0.02964	0.26239	600	589.0588	0.03657	0.31098
625	648.0247	0.02632	0.23970	625	611.9468	0.02859	0.25311	625	611.9468	0.03530	0.30023
650	672.2621	0.02542	0.23145	650	634.8348	0.02761	0.24444	650	634.8348	0.03412	0.29018

Αναμενόμενες τάσεις σε πραγματικό βάθος κάτω από το στρώμα χωρίς την
επίδραση των γεγονικών στρώσεων



Αναμενόμενες τάσεις/πιέσεις σε πραγματικό βάθος κάτω από το στρωτήρα χωρίς την
 επίδραση των γειτονικών στρωτήρων



11.2. Υπολογισμός της επίδρασης των διπλανών στρωτήρων στις τάσεις κάτω από την υπό εξέταση διατομή.

Προκειμένου όμως για τον ορθότερο και ακριβέστερο υπολογισμό των τάσεων είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη και η επίδραση των γειτονικών στρωτήρων πάνω από τους 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 {βλέπε διάγραμμα 1.2_1}:

$$x_m = \frac{3}{2} \cdot \pi \cdot L \text{ [mm]} \quad (28)$$

όπου:

x_m η απόσταση επίδρασης των γειτονικών στρωτήρων σε [mm]
 L ελαστικό μήκος του κατά μήκος φορέα σε [mm]

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών ακολουθούν στους παρακάτω πίνακες τόσο για τις μετρηθείσες όσο και για τις αναμενόμενες στατικές βυθίσεις. Η τελευταία στήλη του κάθε πίνακα δείχνει πόσοι στρωτήρες επιδρούν τελικά σε κάθε σημείο μέτρησης (το αποτέλεσμα αφορά τη μία μόνο πλευρά εκατέρωθεν του υπό εξέταση στρωτήρα).

ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2.1 Υπολογισμός αριθμού επιδρώντων στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις

Σημείο	$L(mn)$	n	$\lambda_0 (mm)$	1 στρωτήρας	2 στρωτήρας	3 στρωτήρας	4 στρωτήρας	5 στρωτήρας	6 στρωτήρας	7 στρωτήρας	στρωτήρες
1	686,6023	3,141593	3235,82	950	1900	2850	3800	4750	5700	6650	3
2	869,0199	3,141593	4795,16	950	1900	2850	3800	4750	5700	6650	4
3	951,6737	3,141593	4404,655	850	1700	2550	3400	4250	5100	5950	5
4	1211,085	3,141593	5707,104	850	1700	2550	3400	4250	5100	5950	6
5	618,2022	3,141593	2913,209	850	1700	2550	3400	4250	5100	5950	3
6	707,8805	3,141593	3335,808	970	1940	2910	3880	4850	5820	6790	3
7	1015,51	3,141593	4785,477	970	1940	2910	3880	4850	5820	6790	4

ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2.2 Υπολογισμός αριθμού επιδρώντων στρωτήρων για τις αναμενόμενες βυθίσεις

Σημείο	p	n	$\lambda_0 (mm)$	3 στρωτήρας	2 στρωτήρας	3 στρωτήρας	4 στρωτήρας	5 στρωτήρας	στρωτήρες
1	0,109821	3,141593	3027,855-476	950	1900	2850	3800	4750	4
2	0,109821	3,141593	3827,859-476	950	1900	2850	3800	4750	4
3	0,112965	3,141593	3185,534-14	850	1700	2550	3400	4250	3
4	0,112965	3,141593	3185,534-14	850	1700	2550	3400	4250	3
5	0,112965	3,141593	3185,534-14	850	1700	2550	3400	4250	3
6	0,117589	3,141593	2847,7565-36	970	1940	2910	3880	4850	2
7	0,117589	3,141593	2847,7565-36	970	1940	2910	3880	4850	2

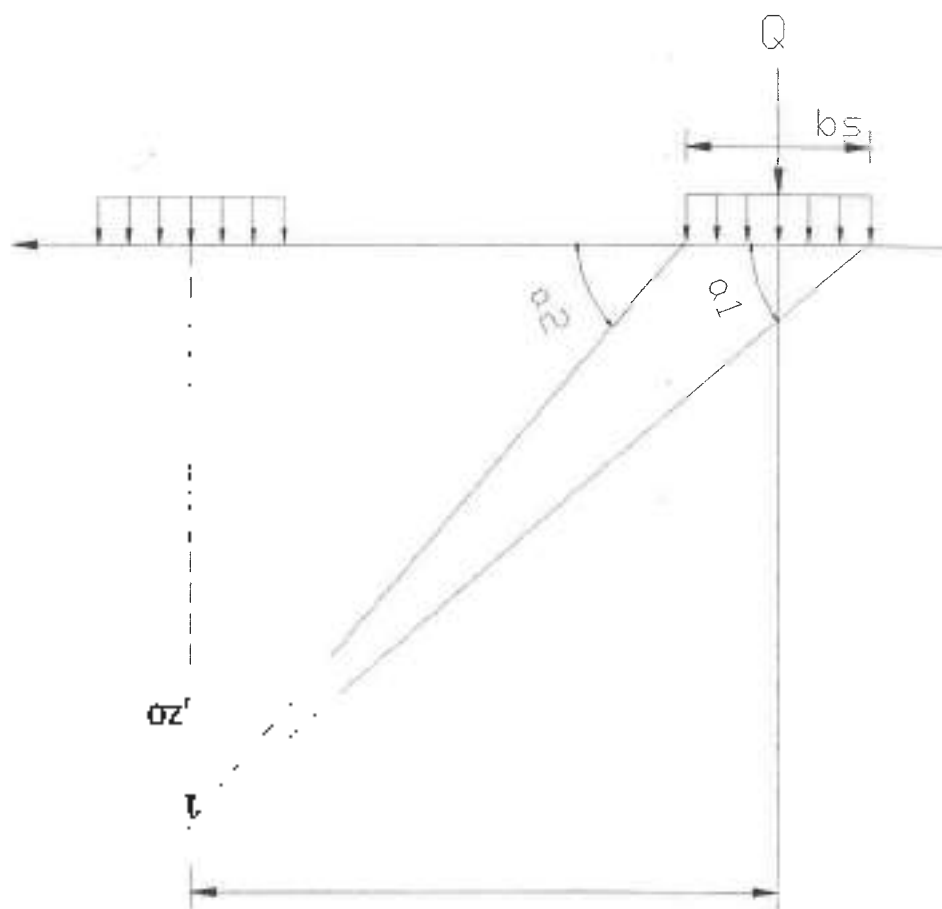
Η επίδραση του κάθε στρωτήρα στις τάσεις κάτω από τον υπό εξέταση στρωτήρα δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\sigma_z' = \frac{p}{\pi} \cdot \left[\alpha_2' - \alpha_1' - \frac{\sin(2 \cdot \alpha_2) - \sin(2 \cdot \alpha_1)}{2} \right] [\text{N/mm}^2] \quad (17)$$

όπου:

σ_z' οι επιπρόσθετες τάσεις σε βάθος z κάτω από τον υπό εξέταση στρωτήρα $[\text{N/mm}^2]$

α_1, α_2 οι γωνίες όπως φαίνονται στο παρακάτω σχήμα σε $[\circ]$



$$\alpha' = \frac{\alpha'' \cdot \pi}{180} \quad \text{οι γωνίες σε [rad]} \quad (29)$$

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

$$\sigma_{z,t} = \sigma_z + 2 \cdot (\sigma_{z,1}' + \sigma_{z,2}' + \dots + \sigma_{z,n}') \quad [\text{N/mm}^2] \quad (30)$$

Ο συντελεστής 2 μπροστά από το άθροισμα των επιπρόσθετων τάσεων μπαίνει 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 συνοψίζονται στους παρακάτω πίνακες μαζί με τα αντίστοιχα διαγράμματα. Στους πίνακες αυτούς αλλά και στα αντίστοιχα γραφήματα παρατίθενται τα αποτελέσματα για τις κατακόρυφες θλιπτικές τάσεις σ_z για πραγματικά βάθη (για μετρηθείσες και αναμενόμενες βυθίσεις).

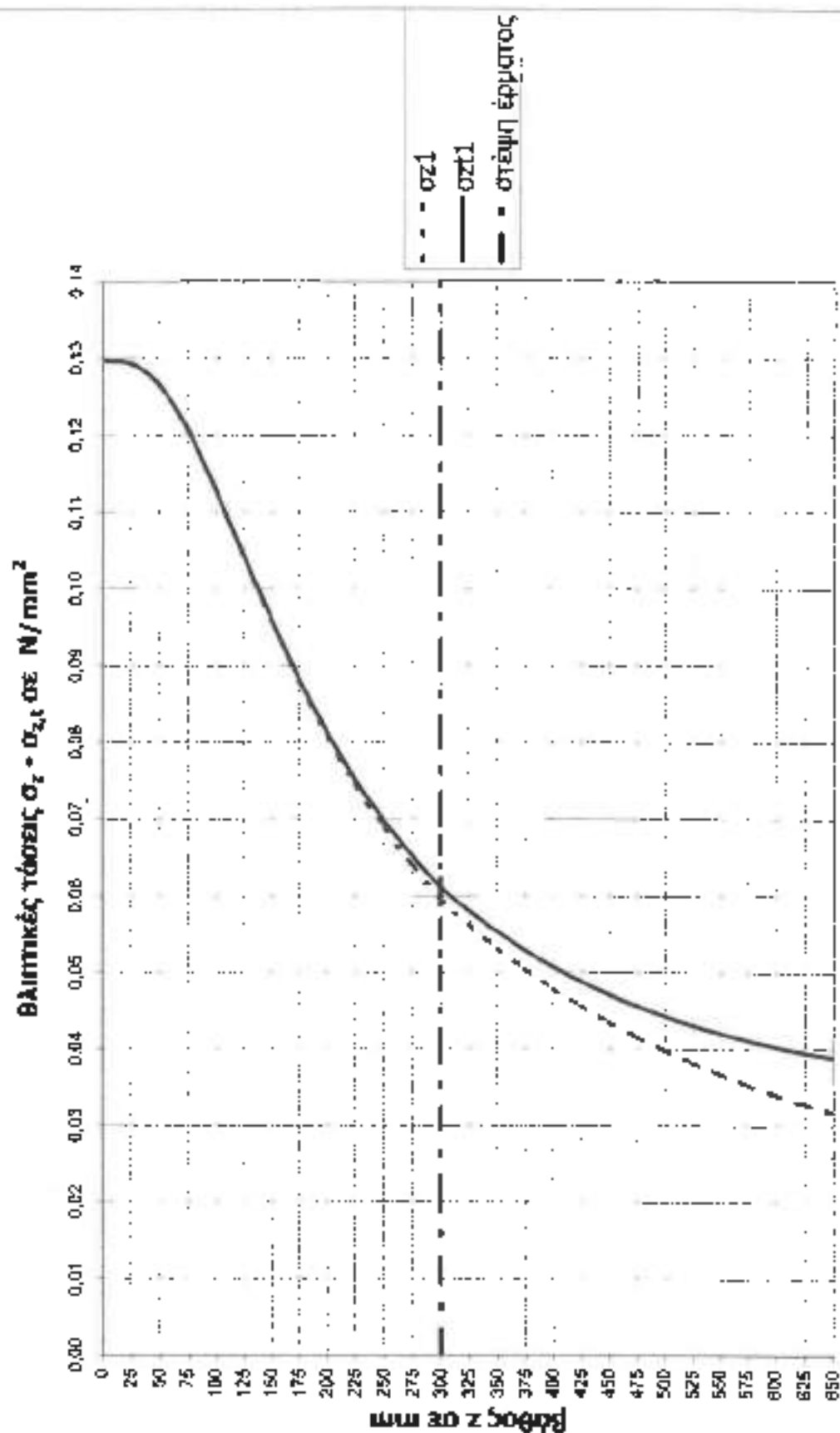
ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2_2 Υπολογισμός τάσεων σ _z και του λόγου τάσεων/πιέσεων σ _z /ρ											
με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις											
1ο σημείο											
				Επίδραση διπλανών στρωτήρων							
				n	b _s	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες			
Τάσεις κάτω από τον στρωτήρα				3.141592654	250	700	0.129744866	3			
n	b _s	ρ(N/mm ²)		στρωτήρας 1							
3.141592654	250	0.129744866		ορ. Αποστ		1075			825		
z	z'	σ _z	σ _z /ρ	z	z'	υποτεινουςσ ₁	a ₁	υποτεινουςσ ₂	a ₂	σ' _z	σ' _z /ρ
0	0.0000	0.12974	1.00000	0	0.0000	1075.0000	0.0000	825.0000	0.0000	0.00000	0.00000
25	26.2002	0.12926	0.99629	25	26.2002	1075.3192	0.0244	825.4159	0.0317	0.00000	0.00000
50	52.4005	0.12641	0.97428	50	52.4005	1076.2764	0.0487	826.6625	0.0634	0.00000	0.00003
75	78.6007	0.12060	0.92952	75	78.6007	1077.8697	0.0730	828.7358	0.0950	0.00001	0.00010
100	104.8009	0.11278	0.86924	100	104.8009	1080.0964	0.0972	831.6299	0.1264	0.00003	0.00023
125	131.0011	0.10419	0.80304	125	131.0011	1082.9526	0.1213	835.3360	0.1575	0.00006	0.00045
150	157.2014	0.09573	0.73780	150	157.2014	1086.4333	0.1452	839.8436	0.1883	0.00010	0.00076
175	183.4016	0.08785	0.67713	175	183.4016	1090.5325	0.1690	845.1397	0.2187	0.00015	0.00118
200	209.6018	0.08075	0.62240	200	209.6018	1095.2433	0.1926	851.2097	0.2488	0.00022	0.00172
225	235.8021	0.07444	0.57376	225	235.8021	1100.5579	0.2159	858.0371	0.2784	0.00031	0.00239
250	262.0023	0.06887	0.53081	250	262.0023	1106.4674	0.2391	865.6039	0.3075	0.00041	0.00319
275	288.2025	0.06395	0.49293	275	288.2025	1112.9626	0.2619	873.8911	0.3361	0.00053	0.00411
300	314.4027	0.05961	0.45947	300	314.4027	1120.0331	0.2845	882.8783	0.3641	0.00067	0.00517
325	337.2907	0.05623	0.43338	325	337.2907	1126.6721	0.3040	891.2856	0.3881	0.00080	0.00618
350	360.1787	0.05318	0.40985	350	360.1787	1133.7344	0.3233	900.1965	0.4116	0.00095	0.00729
375	383.0668	0.05041	0.38855	375	383.0668	1141.2121	0.3423	909.5961	0.4347	0.00110	0.00847
400	405.9548	0.04790	0.36921	400	405.9548	1149.0972	0.3611	919.4696	0.4573	0.00126	0.00973
425	428.8428	0.04562	0.35159	425	428.8428	1157.3811	0.3796	929.8017	0.4794	0.00143	0.01105
450	451.7308	0.04353	0.33549	450	451.7308	1166.0556	0.3978	940.5773	0.5010	0.00161	0.01243
475	474.6188	0.04161	0.32073	475	474.6188	1175.1119	0.4158	951.7815	0.5221	0.00180	0.01386
500	497.5068	0.03985	0.30716	500	497.5068	1184.5413	0.4334	963.3992	0.5427	0.00199	0.01532
525	520.3948	0.03823	0.29465	525	520.3948	1194.3349	0.4508	975.4157	0.5627	0.00218	0.01682
550	543.2828	0.03673	0.28308	550	543.2828	1204.4838	0.4679	987.8164	0.5823	0.00238	0.01834
575	566.1708	0.03534	0.27236	575	566.1708	1214.9792	0.4848	1000.5870	0.6015	0.00258	0.01988
600	589.0588	0.03404	0.26239	600	589.0588	1225.8121	0.5013	1013.7136	0.6201	0.00278	0.02142
625	611.9468	0.03284	0.25311	625	611.9468	1236.9737	0.5175	1027.1825	0.6382	0.00298	0.02296
650	634.8348	0.03171	0.24444	650	634.8348	1248.4552	0.5334	1040.9804	0.6559	0.00318	0.02450

**ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2 2 Υπολογισμός τάσεων σε και του λόγου τάσεων/πιέσεων σε/ρ
με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις
1ο σημείο**

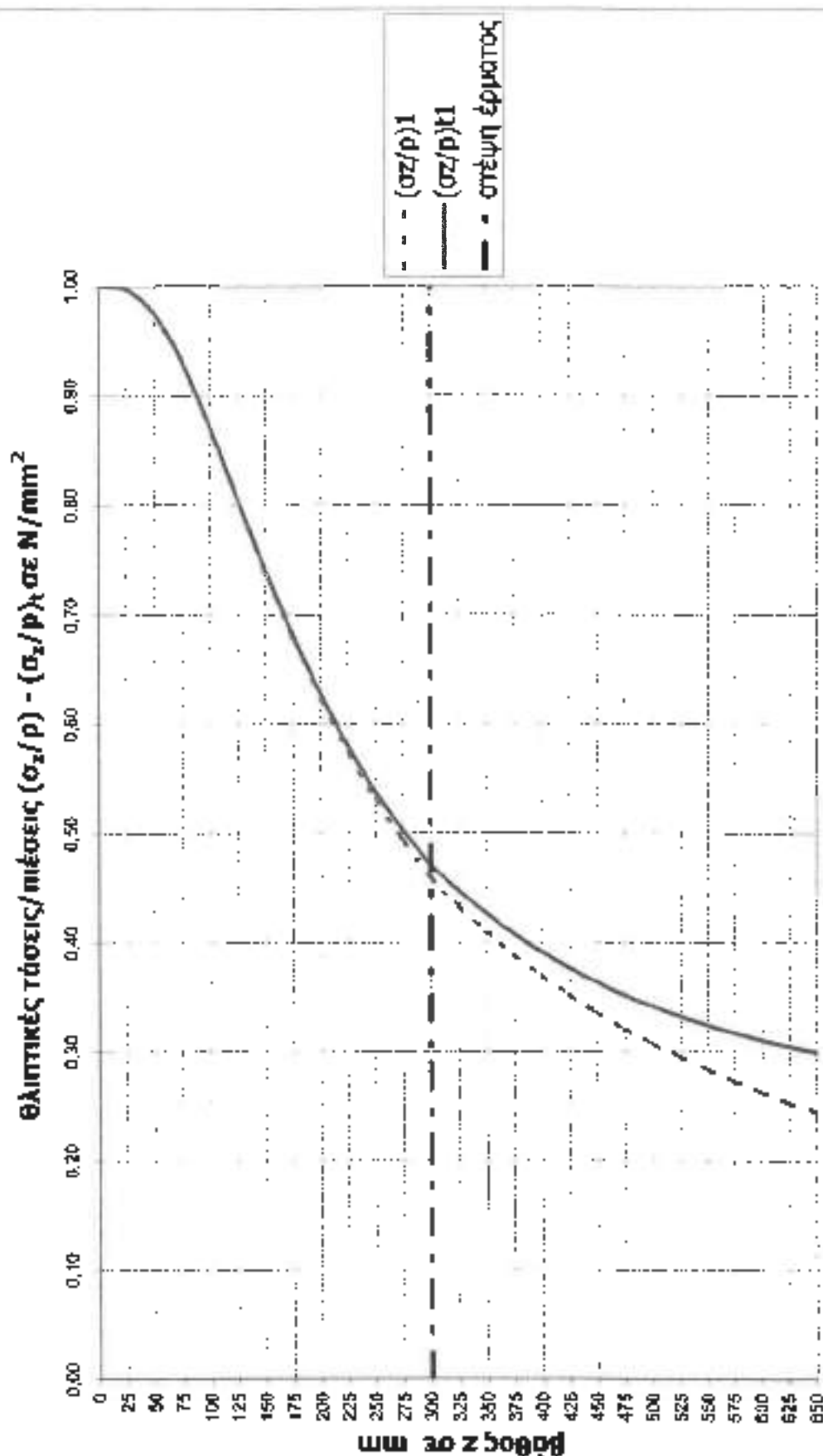
Επίδραση διπλών στρωτήρων

n	b _s	a(mm)	p(N/mm ²)	στρωτήρες			n	b _s	a(mm)	p(N/mm ²)	στρωτήρες								
3.141592654	250	700	0.129744866	3			3.141592654	250	700	0.129744866	3								
στρωτήρας 2							στρωτήρας 3												
ορ. Αποστ	2025		1775				ορ. Αποστ	2975		2725				Συνολικές τάσεις					
z'	υποτείνουσα ₁	α ₁	υποτείνουσα ₂	α ₂	σ' _z	σ' _z /ρ	z'	υποτείνουσα ₃	α ₁	υποτείνουσα ₂	α ₂	σ' _z	σ' _z /ρ	z	σ _z	(σ _z /ρ) _h			
0.0000	2025.0000	0.0000	1775.0000	0.0000	0.00000	0.00000	0.0000	2975.0000	0.0000	2725.0000	0.0000	0.00000	0.00000	0	0.12974	1.00000			
26.2002	2025.1695	0.0129	1775.1934	0.0148	0.00000	0.00000	26.2002	2975.1154	0.0088	2725.1260	0.0096	0.00000	0.00000	25	0.12926	0.99630			
52.4005	2025.6779	0.0259	1775.7733	0.0295	0.00000	0.00000	52.4005	2975.4614	0.0176	2725.5038	0.0192	0.00000	0.00000	50	0.12642	0.97434			
78.6007	2026.5249	0.0388	1776.7394	0.0443	0.00000	0.00001	78.6007	2976.0381	0.0264	2726.1334	0.0288	0.00000	0.00000	75	0.12063	0.92974			
104.8009	2027.7101	0.0517	1778.0912	0.0590	0.00000	0.00001	104.8009	2976.8453	0.0352	2727.0145	0.0384	0.00000	0.00000	100	0.11284	0.86974			
131.0011	2029.2329	0.0646	1779.8276	0.0737	0.00000	0.00003	131.0011	2977.8829	0.0440	2728.1470	0.0480	0.00000	0.00001	125	0.10431	0.80400			
157.2014	2031.0926	0.0775	1781.9476	0.0883	0.00001	0.00005	157.2014	2979.1504	0.0528	2729.5306	0.0576	0.00000	0.00001	150	0.09594	0.73943			
183.4016	2033.2883	0.0903	1784.4498	0.1030	0.00001	0.00008	183.4016	2980.6478	0.0616	2731.1648	0.0672	0.00000	0.00001	175	0.08818	0.67967			
209.6018	2035.8187	0.1031	1787.3326	0.1175	0.00001	0.00011	209.6018	2982.3745	0.0703	2733.0492	0.0768	0.00000	0.00002	200	0.08123	0.62611			
235.8021	2038.6828	0.1159	1790.5942	0.1321	0.00002	0.00016	235.8021	2984.3303	0.0791	2735.1833	0.0863	0.00000	0.00003	225	0.07511	0.57892			
262.0023	2041.8791	0.1287	1794.2325	0.1465	0.00003	0.00021	262.0023	2986.5147	0.0878	2737.5665	0.0959	0.00001	0.00004	250	0.06976	0.53770			
288.2025	2045.4060	0.1414	1798.2452	0.1610	0.00004	0.00028	288.2025	2988.9272	0.0966	2740.1981	0.1054	0.00001	0.00006	275	0.06511	0.50183			
314.4027	2049.2618	0.1540	1802.6298	0.1753	0.00005	0.00036	314.4027	2991.5672	0.1053	2743.0775	0.1149	0.00001	0.00007	300	0.06107	0.47067			
337.2907	2052.8980	0.1650	1806.7623	0.1878	0.00006	0.00045	337.2907	2994.0591	0.1129	2745.7950	0.1232	0.00001	0.00009	325	0.05797	0.44682			
360.1787	2056.7824	0.1760	1811.1747	0.2002	0.00007	0.00054	360.1787	2996.7238	0.1205	2748.7004	0.1314	0.00001	0.00011	350	0.05523	0.42572			
383.0668	2060.9137	0.1870	1815.8648	0.2126	0.00008	0.00064	383.0668	2999.5608	0.1281	2751.7931	0.1397	0.00002	0.00013	375	0.05281	0.40704			
405.9548	2065.2904	0.1978	1820.8307	0.2248	0.00010	0.00076	405.9548	3002.5696	0.1356	2755.0725	0.1479	0.00002	0.00016	400	0.05066	0.39049			
428.8428	2069.9109	0.2087	1826.0699	0.2371	0.00011	0.00088	428.8428	3005.7497	0.1432	2758.5379	0.1561	0.00002	0.00018	425	0.04876	0.37582			
451.7308	2074.7736	0.2195	1831.5801	0.2492	0.00013	0.00102	451.7308	3009.1005	0.1507	2762.1886	0.1643	0.00003	0.00021	450	0.04707	0.36282			
474.6188	2079.8769	0.2302	1837.3590	0.2613	0.00015	0.00117	474.6188	3012.6214	0.1582	2766.0239	0.1724	0.00003	0.00025	475	0.04558	0.35128			
497.5068	2085.2189	0.2409	1843.4039	0.2733	0.00017	0.00133	497.5068	3016.3120	0.1657	2770.0430	0.1806	0.00004	0.00028	500	0.04425	0.34104			
520.3948	2090.7979	0.2515	1849.7123	0.2852	0.00020	0.00151	520.3948	3020.1715	0.1732	2774.2451	0.1887	0.00004	0.00032	525	0.04307	0.33195			
543.2828	2096.6118	0.2621	1856.2816	0.2970	0.00022	0.00169	543.2828	3024.1993	0.1806	2778.6294	0.1968	0.00005	0.00036	550	0.04202	0.32388			
566.1708	2102.6589	0.2726	1863.1088	0.3088	0.00025	0.00189	566.1708	3028.3947	0.1881	2783.1950	0.2049	0.00005	0.00041	575	0.04109	0.31672			
589.0588	2108.9370	0.2831	1870.1912	0.3204	0.00027	0.00210	589.0588	3032.7570	0.1955	2787.9410	0.2129	0.00006	0.00046	600	0.04027	0.31035			
611.9468	2115.4441	0.2935	1877.5260	0.3320	0.00030	0.00232	611.9468	3037.2856	0.2029	2792.8666	0.2209	0.00007	0.00051	625	0.03953	0.30470			
634.8348	2122.1782	0.3038	1885.1101	0.3435	0.00033	0.00256	634.8348	3041.9797	0.2102	2797.9707	0.2289	0.00007	0.00056	650	0.03888	0.29968			

Σημείο 1ο - σύγκριση τάσεων σ_z με και χωρίς την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων



Σημείο 1ο - σύγκριση του λόγου τάσεων/πίεσεων σ_z/p με και χωρίς την επίδραση των
γεγονικών στρωτήρων



ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2.3 Υπολογισμός τάσεων σ _z και του λόγου τάσεων/πιέσεων σ _z /ρ									
με την επίδραση των γεγονικών στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις									
2ο σημείο									
Επίδραση διπλανών στρωτήρων									
				π	b _s	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες	
Τάσεις κάτω από τον στρωτήρα				3.14159	250	700	0.10252	4	
π	b _s	ρ(N/mm ²)		στρωτήρας 1					
3.141592654	250	0.102518836		σρ. Αποστ		1075		825	
z	z'	σ _z	σ _z /ρ	z	z'	υποτεινόμενα ₁	a ₁	υποτεινόμενα ₂	a ₂
0	0.0000	0.10252	1.00000	0	0.0000	1075.0000	0.0000	825.0000	0.0000
25	32.4506	0.10181	0.99313	25	32.4506	1075.4897	0.0302	825.6380	0.0393
50	64.9012	0.09795	0.95548	50	64.9012	1076.9574	0.0603	827.5489	0.0785
75	97.3518	0.09097	0.88737	75	97.3518	1079.3991	0.0903	830.7240	0.1175
100	129.8025	0.08264	0.80609	100	129.8025	1082.8082	0.1202	835.1489	0.1561
125	162.2531	0.07440	0.72568	125	162.2531	1087.1757	0.1498	840.8038	0.1942
150	194.7037	0.06692	0.65276	150	194.7037	1092.4901	0.1792	847.6642	0.2318
175	227.1543	0.06040	0.58916	175	227.1543	1098.7375	0.2082	855.7009	0.2687
200	259.6049	0.05480	0.53452	200	259.6049	1105.9022	0.2370	864.8813	0.3049
225	292.0555	0.05000	0.48774	225	292.0555	1113.9665	0.2653	875.1694	0.3402
250	324.5062	0.04589	0.44762	250	324.5062	1122.9111	0.2932	886.5265	0.3748
275	356.9568	0.04234	0.41302	275	356.9568	1132.7149	0.3206	898.9122	0.4084
300	389.4074	0.03927	0.38301	300	389.4074	1143.3561	0.3475	912.2846	0.4410
325	417.7556	0.03690	0.35993	325	417.7556	1153.3190	0.3706	924.7404	0.4687
350	446.1038	0.03479	0.33932	350	446.1038	1163.8873	0.3934	937.8879	0.4957
375	474.4521	0.03289	0.32084	375	474.4521	1175.0446	0.4156	951.6984	0.5219
400	502.8003	0.03118	0.30418	400	502.8003	1186.7742	0.4375	966.1434	0.5473
425	531.1485	0.02964	0.28910	425	531.1485	1199.0595	0.4589	981.1951	0.5720
450	559.4967	0.02823	0.27540	450	559.4967	1211.8835	0.4799	996.8258	0.5959
475	587.8449	0.02695	0.26290	475	587.8449	1225.2292	0.5004	1013.0087	0.6191
500	616.1932	0.02578	0.25145	500	616.1932	1239.0799	0.5205	1029.7179	0.6415
525	644.5414	0.02470	0.24094	525	644.5414	1253.4188	0.5401	1046.9282	0.6632
550	672.8896	0.02371	0.23125	550	672.8896	1268.2293	0.5593	1064.6152	0.6842
575	701.2378	0.02279	0.22229	575	701.2378	1283.4950	0.5780	1082.7555	0.7045
600	729.5861	0.02194	0.21398	600	729.5861	1299.2001	0.5963	1101.3268	0.7241
625	757.9343	0.02115	0.20627	625	757.9343	1315.3286	0.6141	1120.3077	0.7431
650	786.2825	0.02041	0.19908	650	786.2825	1331.8653	0.6315	1139.6777	0.7614

**ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2_3 Υπολογισμός τάσεων σ_z και του λόγου τάσεων/πιέσεων σ_z/ρ
με την επίδραση των γετονικών στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις**

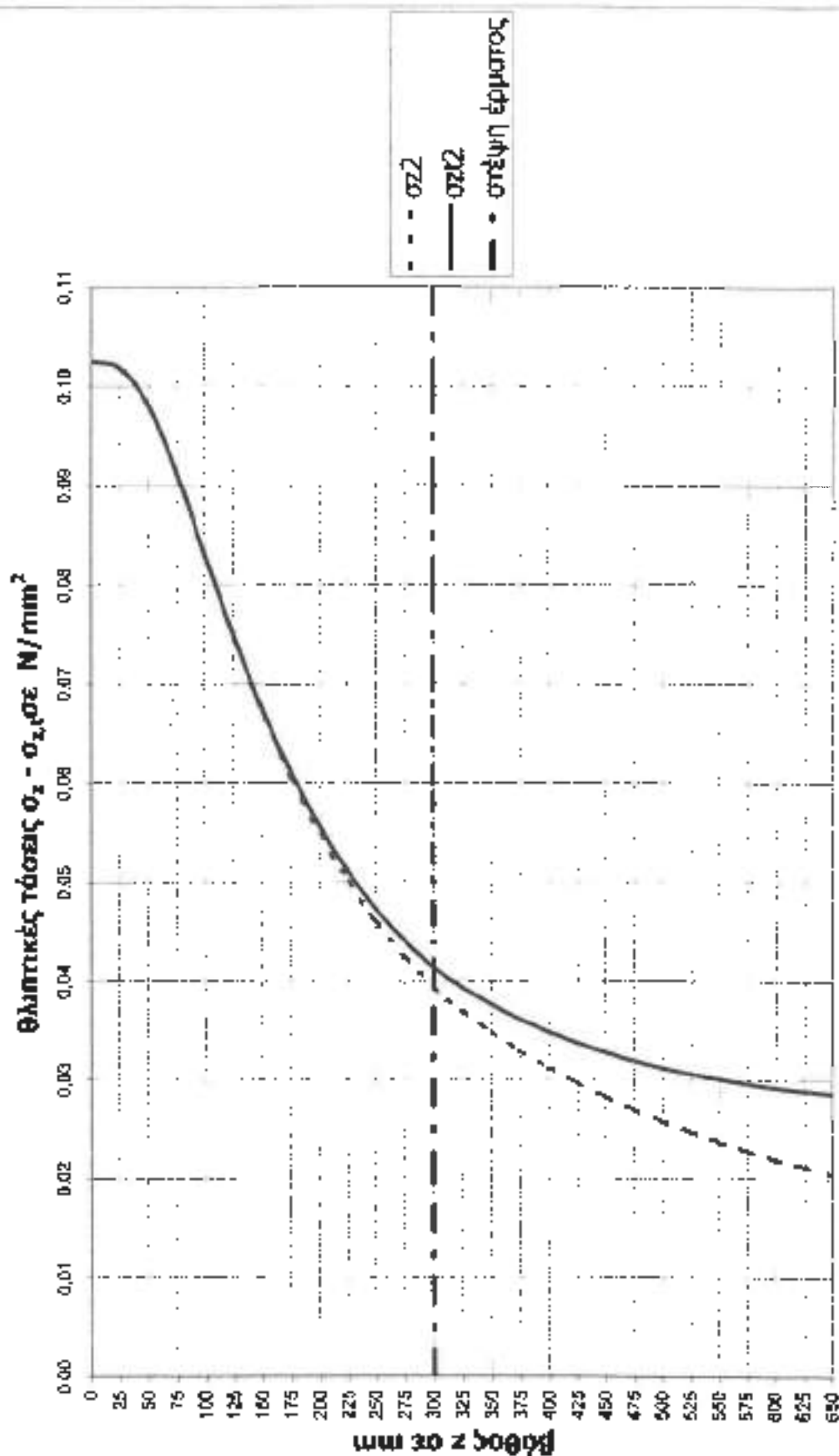
2ο σημείο

Επίδραση διπλανών στρωτήρων

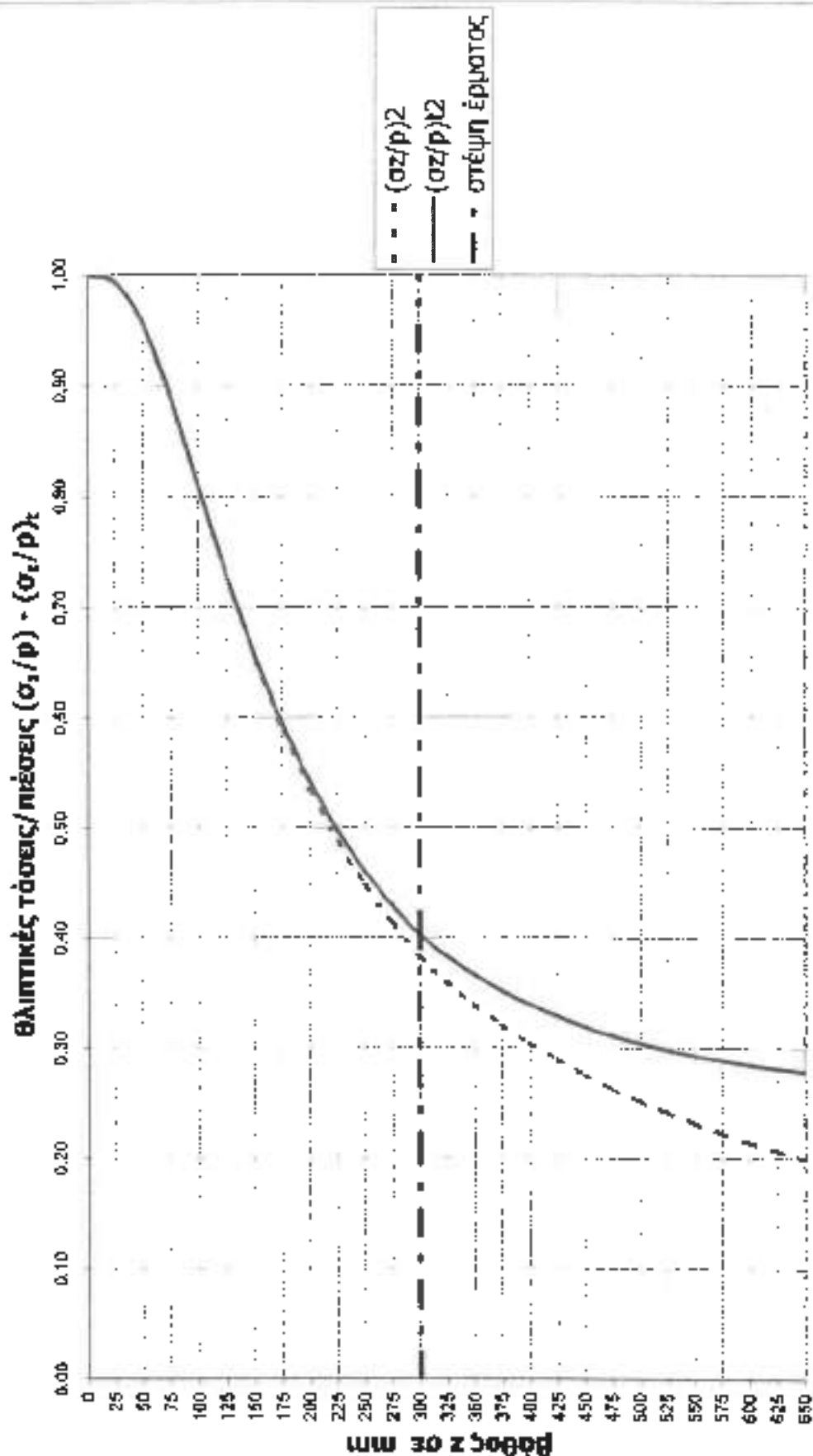
π	b _s	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες			π	b _s	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες		
3.14159	250	700	0.10252	4			3.14159	250	700	0.10252	4		
στρωτήρας 2							στρωτήρας 3						
ορ. Αποστ	2025		1775				ορ. Αποστ	2975		2725			
z'	υποτεινόμενα ₁	a ₁	υποτεινόμενα ₂	a ₂	σ' _z	σ' _z /ρ	z'	υποτεινόμενα ₁	a ₁	υποτεινόμενα ₂	a ₂	σ' _z	σ' _z /ρ
0.0000	2025.0000	0.0000	1775.0000	0.0000	0.00000	0.00000	0.0000	2975.0000	0.0000	2725.0000	0.0000	0.00000	0.00000
32.4506	2025.2600	0.0160	1775.2966	0.0183	0.00000	0.00000	32.4506	2975.1770	0.0109	2725.1932	0.0119	0.00000	0.00000
64.9012	2026.0398	0.0320	1776.1861	0.0365	0.00000	0.00000	64.9012	2975.7078	0.0218	2725.7728	0.0238	0.00000	0.00000
97.3518	2027.3387	0.0480	1777.6677	0.0548	0.00000	0.00001	97.3518	2976.5924	0.0327	2726.7384	0.0357	0.00000	0.00000
129.8025	2029.1559	0.0640	1779.7398	0.0730	0.00000	0.00003	129.8025	2977.8304	0.0436	2728.0897	0.0476	0.00000	0.00001
162.2531	2031.4899	0.0800	1782.4004	0.0912	0.00001	0.00005	162.2531	2979.4213	0.0545	2729.8262	0.0595	0.00000	0.00001
194.7037	2034.3388	0.0959	1785.6468	0.1093	0.00001	0.00009	194.7037	2981.3645	0.0654	2731.9470	0.0713	0.00000	0.00002
227.1543	2037.7007	0.1117	1789.4759	0.1273	0.00001	0.00014	227.1543	2983.6595	0.0762	2734.4513	0.0832	0.00000	0.00003
259.6049	2041.5729	0.1275	1793.8840	0.1452	0.00002	0.00021	259.6049	2986.3054	0.0870	2737.3381	0.0950	0.00000	0.00004
292.0555	2045.9525	0.1432	1798.8667	0.1631	0.00003	0.00029	292.0555	2989.3012	0.0979	2740.6060	0.1068	0.00001	0.00006
324.5062	2050.8362	0.1589	1804.4194	0.1808	0.00004	0.00040	324.5062	2992.6459	0.1086	2744.2539	0.1185	0.00001	0.00008
356.9568	2056.2206	0.1745	1810.5367	0.1985	0.00005	0.00053	356.9568	2996.3383	0.1194	2748.2800	0.1303	0.00001	0.00011
389.4074	2062.1016	0.1900	1817.2130	0.2160	0.00007	0.00067	389.4074	3000.3772	0.1302	2752.6829	0.1419	0.00001	0.00014
417.7556	2067.6423	0.2034	1823.4979	0.2311	0.00008	0.00082	417.7556	3004.1879	0.1395	2756.8360	0.1521	0.00002	0.00017
446.1038	2073.5558	0.2168	1830.2004	0.2462	0.00010	0.00099	446.1038	3008.2609	0.1488	2761.2739	0.1623	0.00002	0.00021
474.4521	2079.8389	0.2301	1837.3159	0.2612	0.00012	0.00117	474.4521	3012.5952	0.1581	2765.9953	0.1724	0.00003	0.00025
502.8003	2086.4882	0.2434	1844.8396	0.2760	0.00014	0.00137	502.8003	3017.1896	0.1674	2770.9986	0.1825	0.00003	0.00029
531.1485	2093.5004	0.2565	1852.7665	0.2908	0.00016	0.00159	531.1485	3022.0430	0.1767	2776.2824	0.1925	0.00003	0.00034
559.4967	2100.8716	0.2696	1861.0915	0.3054	0.00019	0.00183	559.4967	3027.1540	0.1859	2781.8450	0.2025	0.00004	0.00039
587.8449	2108.5983	0.2825	1869.8093	0.3198	0.00021	0.00209	587.8449	3032.5215	0.1951	2787.6848	0.2125	0.00005	0.00045
616.1932	2116.6764	0.2954	1878.9143	0.3341	0.00024	0.00237	616.1932	3038.1440	0.2042	2793.8001	0.2224	0.00005	0.00052
644.5414	2125.1020	0.3082	1888.4011	0.3483	0.00027	0.00266	644.5414	3044.0201	0.2134	2800.1890	0.2323	0.00006	0.00059
672.8896	2133.8710	0.3208	1898.2638	0.3624	0.00030	0.00297	672.8896	3050.1484	0.2224	2806.8497	0.2421	0.00007	0.00066
701.2378	2142.9791	0.3334	1908.4967	0.3762	0.00034	0.00330	701.2378	3056.5274	0.2315	2813.7803	0.2519	0.00008	0.00074
729.5861	2152.4221	0.3458	1919.0938	0.3900	0.00037	0.00364	729.5861	3063.1554	0.2405	2820.9787	0.2616	0.00009	0.00083
757.9343	2162.1955	0.3581	1930.0491	0.4036	0.00041	0.00400	757.9343	3070.0308	0.2495	2828.4429	0.2713	0.00009	0.00092
786.2825	2172.2949	0.3704	1941.3565	0.4170	0.00045	0.00437	786.2825	3077.1521	0.2584	2836.1709	0.2809	0.00010	0.00102

ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2_3 Υπολογισμός τάσεων σ _z και του λόγου τάσεων/πιέσεων σ _z /ρ									
με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις									
2ο σημείο									
Επίδραση διπλανών στρωτήρων									
n	b _c	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες					
3.14159	250	700	0.10252	4					
στρωτήρας 4									
ορ. Αποστ	3925		3675				Συνολικές τάσεις		
z'	υποτείνουσα ₁	a ₁	υποτείνουσα ₂	a ₂	σ' _z	σ' _z /ρ	z	σ _{z,t}	(σ _z /ρ) _t
0.0000	3925	0.0000	3675.0000	0.0000	0.00000	0.00000	0	0.10252	1.00000
32.4506	3925.134143	0.0083	3675.1433	0.0088	0.00000	0.00000	25	0.10182	0.99315
64.9012	3925.536545	0.0165	3675.5730	0.0177	0.00000	0.00000	50	0.09797	0.95560
97.3518	3926.207124	0.0248	3676.2892	0.0265	0.00000	0.00000	75	0.09101	0.88777
129.8025	3927.145742	0.0331	3677.2916	0.0353	0.00000	0.00000	100	0.08274	0.80702
162.2531	3928.352207	0.0413	3678.5800	0.0441	0.00000	0.00000	125	0.07458	0.72747
194.7037	3929.826272	0.0496	3680.1541	0.0529	0.00000	0.00001	150	0.06723	0.65579
227.1543	3931.567636	0.0578	3682.0136	0.0617	0.00000	0.00001	175	0.06088	0.59383
259.6049	3933.575945	0.0660	3684.1579	0.0705	0.00000	0.00001	200	0.05549	0.54127
292.0555	3935.85079	0.0743	3686.5867	0.0793	0.00000	0.00002	225	0.05095	0.49701
324.5062	3938.391708	0.0825	3689.2993	0.0881	0.00000	0.00003	250	0.04714	0.45983
356.9568	3941.198185	0.0907	3692.2951	0.0968	0.00000	0.00003	275	0.04394	0.42860
389.4074	3944.269655	0.0989	3695.5734	0.1056	0.00000	0.00004	300	0.04125	0.40234
417.7556	3947.169207	0.1060	3698.6680	0.1132	0.00001	0.00005	325	0.03925	0.38282
446.1038	3950.27007	0.1132	3701.9770	0.1208	0.00001	0.00007	350	0.03752	0.36601
474.4521	3953.571771	0.1203	3705.4999	0.1284	0.00001	0.00008	375	0.03604	0.35152
502.8003	3957.073808	0.1274	3709.2362	0.1360	0.00001	0.00009	400	0.03476	0.33903
531.1485	3960.775648	0.1345	3713.1851	0.1435	0.00001	0.00011	425	0.03365	0.32826
559.4967	3964.676732	0.1416	3717.3460	0.1511	0.00001	0.00013	450	0.03270	0.31898
587.8449	3968.776472	0.1487	3721.7182	0.1586	0.00002	0.00015	475	0.03188	0.31097
616.1932	3973.074254	0.1557	3726.3010	0.1661	0.00002	0.00017	500	0.03117	0.30406
644.5414	3977.569435	0.1628	3731.0935	0.1736	0.00002	0.00019	525	0.03056	0.29811
672.8896	3982.261348	0.1698	3736.0949	0.1811	0.00002	0.00022	550	0.03004	0.29298
701.2378	3987.149297	0.1768	3741.3045	0.1885	0.00003	0.00025	575	0.02958	0.28855
729.5861	3992.232562	0.1838	3746.7213	0.1960	0.00003	0.00028	600	0.02919	0.28474
757.9343	3997.510399	0.1908	3752.3445	0.2034	0.00003	0.00031	625	0.02885	0.28146
786.2825	4002.982038	0.1977	3758.1731	0.2108	0.00004	0.00034	650	0.02856	0.27863

Σημείο 2ο -σύγκριση τάσεων σ_z με και χωρίς την επίδραση των γετονικών στρωτήρων



Σημείο 2ο - σύγκριση του λόγου τάσεων/πίεσεων σ_z/p με και χωρίς την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων



ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2_4 Υπολογισμός τάσεων σ _z και του λόγου τάσεων/πιέσεων σ _z /ρ									
με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις									
3ο σημείο									
Επίδραση διπλανών στρωτήρων									
Τάσεις κάτω από τον στρωτήρα				η	b _s	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες	
				3.14159	250	600	0.08024	5	
n	b _s	ρ(N/mm ²)		στρωτήρας 1					
3.141592654	250	0.080241411		ορ. Αποστ		975		725	
z	z'	σ _z	σ _z /ρ	z	z'	υποτείνουσα ₁	a ₁	υποτείνουσα ₂	a ₂
0	0.0000	0.08024	1.00000	0	0.0000	975.0000	0.0000	725.0000	0.0000
25	44.0423	0.07895	0.98388	25	44.0423	975.9942	0.0451	726.3365	0.0607
50	88.0845	0.07294	0.90897	50	88.0845	978.9708	0.0901	730.3314	0.1209
75	132.1268	0.06421	0.80018	75	132.1268	983.9118	0.1347	736.9413	0.1803
100	176.1690	0.05563	0.69331	100	176.1690	990.7878	0.1788	746.0969	0.2384
125	220.2113	0.04830	0.60198	125	220.2113	999.5589	0.2221	757.7058	0.2949
150	264.2536	0.04232	0.52736	150	264.2536	1010.1757	0.2647	771.6573	0.3495
175	308.2958	0.03747	0.46690	175	308.2958	1022.5807	0.3063	787.8270	0.4021
200	352.3381	0.03351	0.41764	200	352.3381	1036.7098	0.3468	806.0813	0.4524
225	396.3803	0.03026	0.37708	225	396.3803	1052.4934	0.3861	826.2823	0.5003
250	440.4226	0.02754	0.34327	250	440.4226	1069.8584	0.4243	848.2907	0.5459
275	484.4649	0.02526	0.31476	275	484.4649	1088.7292	0.4612	871.9697	0.5891
300	528.5071	0.02331	0.29045	300	528.5071	1109.0288	0.4967	897.1872	0.6299
325	566.9816	0.02182	0.27199	325	566.9816	1127.8711	0.5267	920.3766	0.6637
350	605.4560	0.02052	0.25567	350	605.4560	1147.6942	0.5557	944.5645	0.6958
375	643.9305	0.01935	0.24116	375	643.9305	1168.4483	0.5837	969.6760	0.7262
400	682.4050	0.01831	0.22816	400	682.4050	1190.0847	0.6107	995.6413	0.7551
425	720.8794	0.01737	0.21647	425	720.8794	1212.5560	0.6367	1022.3953	0.7825
450	759.3539	0.01652	0.20590	450	759.3539	1235.8169	0.6617	1049.8778	0.8085
475	797.8283	0.01575	0.19629	475	797.8283	1259.8234	0.6858	1078.0330	0.8332
500	836.3028	0.01505	0.18753	500	836.3028	1284.5339	0.7090	1106.8095	0.8566
525	874.7773	0.01440	0.17951	525	874.7773	1309.9085	0.7313	1136.1603	0.8787
550	913.2517	0.01381	0.17213	550	913.2517	1335.9093	0.7527	1166.0419	0.8998
575	951.7262	0.01327	0.16533	575	951.7262	1362.5005	0.7733	1196.4145	0.9198
600	990.2006	0.01276	0.15905	600	990.2006	1389.6483	0.7931	1227.2417	0.9388
625	1028.6751	0.01229	0.15322	625	1028.6751	1417.3205	0.8122	1258.4901	0.9569
650	1067.1496	0.01186	0.14779	650	1067.1496	1445.4872	0.8305	1290.1291	0.9740

ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2 4 Υπολογισμός τάσεων σ_z και του λόγου τάσεων/πιέσεων σ_z/ρ

με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις

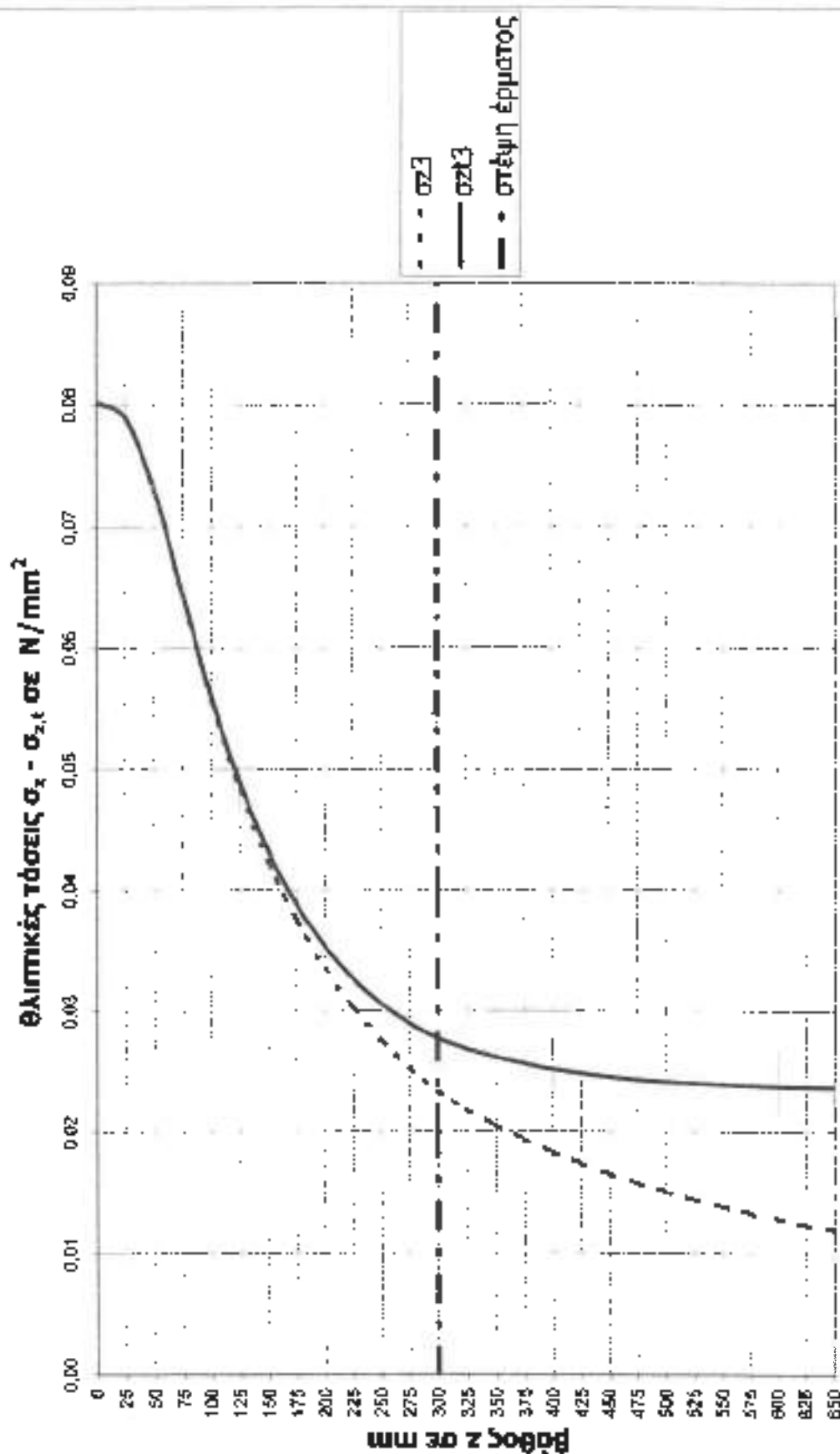
3ο σημείο

Επίδραση διπλανών στρωτήρων

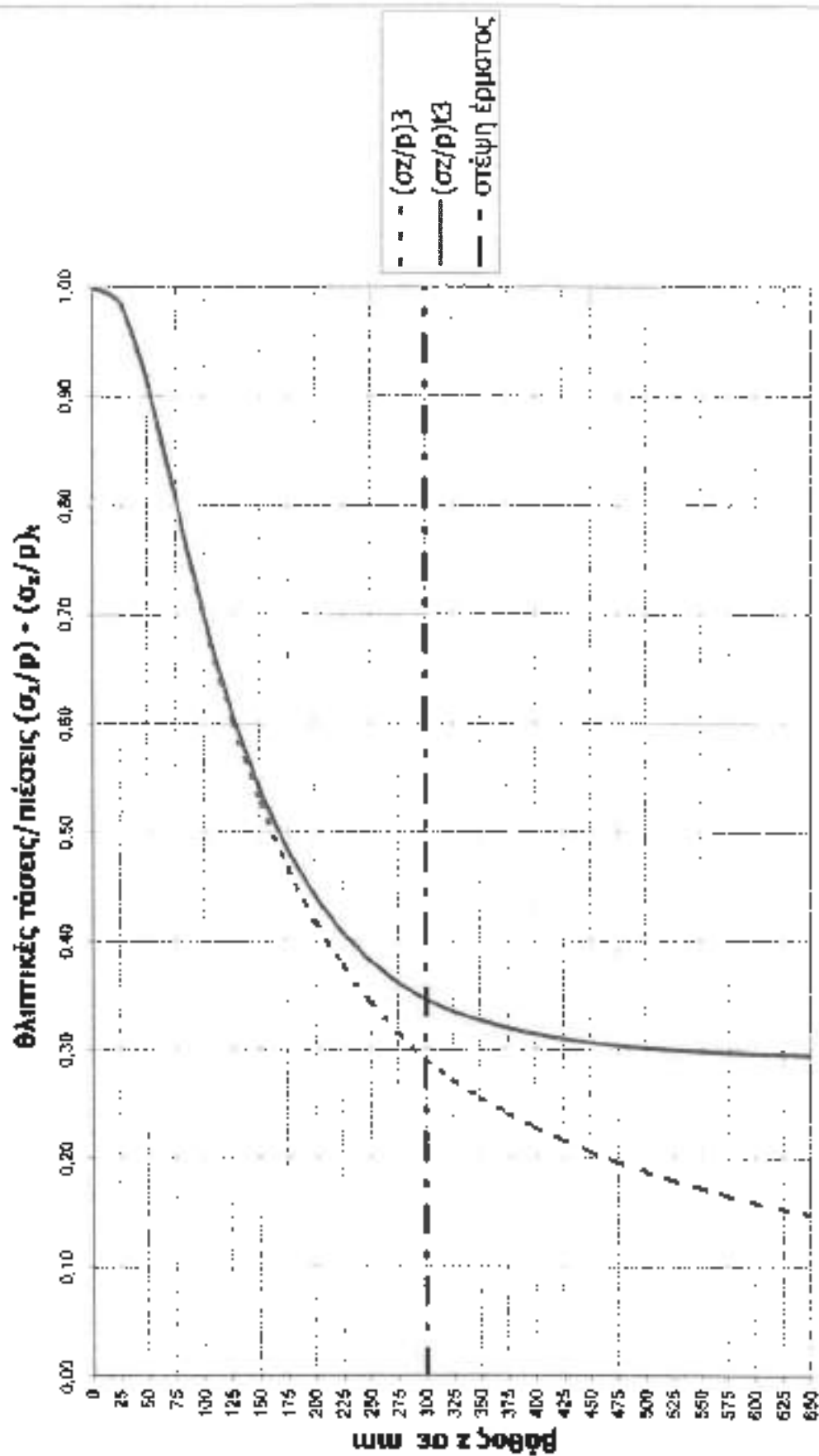
η	b _s	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες			η	b _s	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες		
3.14159	250	600	0.08024	5			3.14159	250	600	0.08024	5		
στρωτήρας 2							στρωτήρας 3						
ορ. Αποστ	1825		1575				ορ. Αποστ	2675		2425			
z'	υποτείνουσα ₁	a ₁	υποτείνουσα ₂	a ₂	σ' _z	σ' _z /ρ	z'	υποτείνουσα ₁	a ₁	υποτείνουσα ₂	a ₂	σ' _z	σ' _z /ρ
0.0000	1825.0000	0.0000	1575.0000	0.0000	0.00000	0.00000	0.0000	2675.0000	0.0000	2425.0000	0.0000	0.00000	0.00000
44.0423	1825.5314	0.0241	1575.6157	0.0280	0.00000	0.00000	44.0423	2675.3625	0.0165	2425.3999	0.0182	0.00000	0.00000
88.0845	1827.1245	0.0482	1577.4612	0.0559	0.00000	0.00001	88.0845	2676.4499	0.0329	2426.5992	0.0363	0.00000	0.00000
132.1268	1829.7766	0.0723	1580.5323	0.0837	0.00000	0.00004	132.1268	2678.2611	0.0494	2428.5968	0.0544	0.00000	0.00001
176.1690	1833.4832	0.0962	1584.8219	0.1114	0.00001	0.00010	176.1690	2680.7948	0.0658	2431.3907	0.0725	0.00000	0.00002
220.2113	1838.2377	0.1201	1590.3201	0.1389	0.00002	0.00020	220.2113	2684.0488	0.0821	2434.9780	0.0906	0.00000	0.00004
264.2536	1844.0323	0.1438	1597.0144	0.1662	0.00003	0.00034	264.2536	2688.0206	0.0985	2439.3554	0.1085	0.00001	0.00007
308.2958	1850.8569	0.1673	1604.8898	0.1933	0.00004	0.00053	308.2958	2692.7071	0.1147	2444.5186	0.1265	0.00001	0.00011
352.3381	1858.7004	0.1907	1613.9291	0.2201	0.00006	0.00078	352.3381	2698.1044	0.1310	2450.4626	0.1443	0.00001	0.00016
396.3803	1867.5498	0.2139	1624.1128	0.2465	0.00009	0.00108	396.3803	2704.2083	0.1471	2457.1818	0.1620	0.00002	0.00023
440.4226	1877.3910	0.2368	1635.4195	0.2727	0.00012	0.00145	440.4226	2711.0140	0.1632	2464.6698	0.1797	0.00002	0.00031
484.4649	1888.2085	0.2595	1647.8262	0.2984	0.00015	0.00188	484.4649	2718.5164	0.1792	2472.9196	0.1972	0.00003	0.00040
528.5071	1899.9855	0.2819	1661.3082	0.3238	0.00019	0.00237	528.5071	2726.7095	0.1951	2481.9236	0.2146	0.00004	0.00051
566.9816	1911.0450	0.3012	1673.9454	0.3455	0.00023	0.00285	566.9816	2734.4274	0.2089	2490.4002	0.2297	0.00005	0.00063
605.4560	1922.8110	0.3203	1687.3654	0.3670	0.00027	0.00338	605.4560	2742.6633	0.2226	2499.4403	0.2447	0.00006	0.00075
643.9305	1935.2704	0.3392	1701.5497	0.3881	0.00032	0.00394	643.9305	2751.4126	0.2362	2509.0380	0.2595	0.00007	0.00089
682.4050	1948.4100	0.3578	1716.4794	0.4089	0.00037	0.00455	682.4050	2760.6705	0.2498	2519.1867	0.2743	0.00008	0.00105
720.8794	1962.2161	0.3762	1732.1351	0.4292	0.00042	0.00519	720.8794	2770.4318	0.2632	2529.8799	0.2890	0.00010	0.00122
759.3539	1976.6748	0.3943	1748.4974	0.4492	0.00047	0.00587	759.3539	2780.6912	0.2766	2541.1106	0.3035	0.00011	0.00140
797.8283	1991.7718	0.4121	1765.5467	0.4689	0.00053	0.00657	797.8283	2791.4432	0.2899	2552.8719	0.3178	0.00013	0.00160
836.3028	2007.4928	0.4297	1783.2631	0.4881	0.00059	0.00731	836.3028	2802.6822	0.3030	2565.1564	0.3321	0.00014	0.00181
874.7773	2023.8232	0.4470	1801.6271	0.5070	0.00065	0.00806	874.7773	2814.4023	0.3161	2577.9566	0.3462	0.00016	0.00203
913.2517	2040.7483	0.4640	1820.6190	0.5255	0.00071	0.00883	913.2517	2826.5975	0.3290	2591.2649	0.3602	0.00018	0.00227
951.7262	2058.2536	0.4807	1840.2195	0.5436	0.00077	0.00962	951.7262	2839.2618	0.3418	2605.0735	0.3740	0.00020	0.00251
990.2006	2076.3242	0.4971	1860.4092	0.5613	0.00084	0.01041	990.2006	2852.3889	0.3545	2619.3744	0.3877	0.00022	0.00278
1028.6751	2094.9457	0.5133	1881.1692	0.5786	0.00090	0.01121	1028.6751	2865.9723	0.3671	2634.1597	0.4012	0.00024	0.00305
1067.1496	2114.1034	0.5291	1902.4808	0.5955	0.00096	0.01202	1067.1496	2880.0058	0.3796	2649.4213	0.4146	0.00027	0.00333

ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2.4 Υπολογισμός τάσεων σ _z και του λόγου τάσεων/πιέσεων σ _z /ρ με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις																
3ο σημείο																
Επίδραση διπλανών στρωτήρων																
π	b _s	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες				π	b _s	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες				
3.14159	250	600	0.08024	5				3.14159	250	600	0.08024	5				
στρωτήρας 4							στρωτήρας 5									
ορ. Απόστ	3525		3275				ορ. Απόστ	4375		4125				Συνολικές τάσεις		
z'	υποτείνουσα ₁	a ₁	υποτείνουσα ₂	a ₂	σ' _z	σ' _z /ρ	z'	υποτείνουσα ₁	a ₁	υποτείνουσα ₂	a ₂	σ' _z	σ' _z /ρ	z	σ _{z,t}	(σ _z /ρ) _t
0.0000	3525.0000	0.0000	3275.0000	0.0000	0.00000	0.00000	0.0000	4375.0000	0.0000	4125.0000	0.0000	0.00000	0.00000	0	0.08024	1.0000
44.0423	3525.2751	0.0125	3275.2961	0.0134	0.00000	0.00000	44.0423	4375.2217	0.0101	4125.2351	0.0107	0.00000	0.00000	25	0.07895	0.9839
88.0845	3526.1004	0.0250	3276.1843	0.0269	0.00000	0.00000	88.0845	4375.8866	0.0201	4125.9404	0.0214	0.00000	0.00000	50	0.07297	0.9094
132.1268	3527.4754	0.0375	3277.6642	0.0403	0.00000	0.00000	132.1268	4376.9947	0.0302	4127.1155	0.0320	0.00000	0.00000	75	0.06433	0.8017
176.1690	3529.3995	0.0499	3279.7348	0.0537	0.00000	0.00001	176.1690	4378.5455	0.0402	4128.7602	0.0427	0.00000	0.00000	100	0.05592	0.6968
220.2113	3531.8717	0.0624	3282.3952	0.0671	0.00000	0.00001	220.2113	4380.5386	0.0503	4130.8738	0.0533	0.00000	0.00001	125	0.04883	0.6085
264.2536	3534.8911	0.0748	3285.6438	0.0805	0.00000	0.00002	264.2536	4382.9733	0.0603	4133.4556	0.0640	0.00000	0.00001	150	0.04318	0.5381
308.2958	3538.4561	0.0872	3289.4789	0.0939	0.00000	0.00003	308.2958	4385.8490	0.0704	4136.5047	0.0746	0.00000	0.00001	175	0.03876	0.4830
352.3381	3542.5650	0.0996	3293.8985	0.1072	0.00000	0.00005	352.3381	4389.1647	0.0804	4140.0202	0.0852	0.00000	0.00002	200	0.03531	0.4401
396.3803	3547.2161	0.1120	3298.9002	0.1204	0.00001	0.00007	396.3803	4392.9196	0.0904	4144.0008	0.0958	0.00000	0.00003	225	0.03264	0.4067
440.4226	3552.4072	0.1243	3304.4814	0.1337	0.00001	0.00010	440.4226	4397.1124	0.1003	4148.4451	0.1064	0.00000	0.00004	250	0.03056	0.3808
484.4649	3558.1359	0.1366	3310.6391	0.1469	0.00001	0.00013	484.4649	4401.7418	0.1103	4153.3518	0.1169	0.00000	0.00005	275	0.02895	0.3607
528.5071	3564.3996	0.1488	3317.3702	0.1600	0.00001	0.00017	528.5071	4406.8066	0.1202	4158.7191	0.1274	0.00001	0.00007	300	0.02770	0.3451
566.9816	3570.3071	0.1595	3323.7168	0.1714	0.00002	0.00021	566.9816	4411.5862	0.1289	4163.7835	0.1366	0.00001	0.00009	325	0.02684	0.3344
605.4560	3576.6188	0.1701	3330.4958	0.1828	0.00002	0.00025	605.4560	4416.6958	0.1375	4169.1968	0.1457	0.00001	0.00010	350	0.02615	0.3259
643.9305	3583.3325	0.1807	3337.7045	0.1941	0.00002	0.00030	643.9305	4422.1343	0.1461	4174.9577	0.1549	0.00001	0.00012	375	0.02561	0.3191
682.4050	3590.4459	0.1912	3345.3403	0.2054	0.00003	0.00035	682.4050	4427.9004	0.1547	4181.0646	0.1639	0.00001	0.00015	400	0.02517	0.3136
720.8794	3597.9567	0.2017	3353.4001	0.2167	0.00003	0.00041	720.8794	4433.9928	0.1633	4187.5162	0.1730	0.00001	0.00017	425	0.02482	0.3093
759.3539	3605.8624	0.2122	3361.8809	0.2278	0.00004	0.00048	759.3539	4440.4103	0.1719	4194.3108	0.1820	0.00002	0.00020	450	0.02455	0.3059
797.8283	3614.1604	0.2226	3370.7796	0.2390	0.00004	0.00055	797.8283	4447.1513	0.1804	4201.4468	0.1911	0.00002	0.00023	475	0.02433	0.3031
836.3028	3622.8480	0.2329	3380.0928	0.2500	0.00005	0.00062	836.3028	4454.2146	0.1889	4208.9224	0.2000	0.00002	0.00027	500	0.02415	0.3010
874.7773	3631.9224	0.2432	3389.8171	0.2610	0.00006	0.00070	874.7773	4461.5984	0.1973	4216.7357	0.2090	0.00002	0.00030	525	0.02401	0.2992
913.2517	3641.3807	0.2535	3399.9491	0.2719	0.00006	0.00079	913.2517	4469.3013	0.2058	4224.8851	0.2179	0.00003	0.00034	550	0.02390	0.2978
951.7262	3651.2200	0.2637	3410.4850	0.2828	0.00007	0.00089	951.7262	4477.3215	0.2142	4233.3684	0.2268	0.00003	0.00038	575	0.02381	0.2967
990.2006	3661.4372	0.2739	3421.4211	0.2936	0.00008	0.00099	990.2006	4485.6574	0.2226	4242.1837	0.2356	0.00003	0.00043	600	0.02374	0.2958
1028.6751	3672.0291	0.2839	3432.7536	0.3043	0.00009	0.00109	1028.6751	4494.3072	0.2309	4251.3289	0.2444	0.00004	0.00048	625	0.02368	0.2950
1067.1496	3682.9924	0.2940	3444.4787	0.3150	0.00010	0.00120	1067.1496	4503.2692	0.2392	4260.8019	0.2532	0.00004	0.00053	650	0.02363	0.2944

Σημείο 3ο - σύγκριση τάσεων σ_z με και χωρίς την επίδραση των γετονικών στρωτήρων



Σημείο 3ο - σύγκριση του λόγου τάσεων/πίεσεων σ_z/p με και χωρίς την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων



ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2 5 Υπολογισμός τάσεων σ _z και του λόγου τάσεων/πιέσεων σ _z /ρ με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις											
4ο σημείο											
				Επίδραση διπλανών στρωτήρων							
				n	b _s	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες			
Τάσεις κάτω από τον στρωτήρα				3.14159	250	600	0.06305	6			
n	b _s	ρ(N/mm ²)		στρωτήρας 1							
3.141592654	250	0.0630539		ορ. Αποστ	975			725			
z	z'	σ _z	σ _z /ρ	z	z'	υποτεινουςσ ₁	a ₁	υποτεινουςσ ₂	a ₂	σ' _z	σ' _z /ρ
0	0.0000	0.06305	1.00000	0	0.0000	975.0000	0.0000	725.0000	0.0000	0.00000	0.00000
25	55.4898	0.06117	0.97011	25	55.4898	976.5778	0.0569	727.1204	0.0764	0.00000	0.00006
50	110.9795	0.05384	0.85385	50	110.9795	981.2958	0.1133	733.4449	0.1519	0.00003	0.00043
75	166.4693	0.04513	0.71571	75	166.4693	989.1092	0.1691	743.8663	0.2257	0.00009	0.00139
100	221.9591	0.03775	0.59871	100	221.9591	999.9454	0.2238	758.2156	0.2971	0.00020	0.00311
125	277.4489	0.03203	0.50790	125	277.4489	1013.7075	0.2772	776.2750	0.3655	0.00036	0.00563
150	332.9386	0.02763	0.43814	150	332.9386	1030.2782	0.3291	797.7927	0.4305	0.00056	0.00892
175	388.4284	0.02420	0.38385	175	388.4284	1049.5245	0.3791	822.4972	0.4918	0.00081	0.01282
200	443.9182	0.02149	0.34083	200	443.9182	1071.3022	0.4273	850.1108	0.5494	0.00108	0.01717
225	499.4079	0.01930	0.30609	225	499.4079	1095.4603	0.4734	880.3598	0.6032	0.00137	0.02178
250	554.8977	0.01750	0.27754	250	554.8977	1121.8451	0.5174	912.9822	0.6533	0.00167	0.02645
275	610.3875	0.01600	0.25372	275	610.3875	1150.3034	0.5593	947.7330	0.6998	0.00196	0.03104
300	665.8773	0.01473	0.23357	300	665.8773	1180.6852	0.5992	984.3869	0.7429	0.00223	0.03541
325	714.3520	0.01377	0.21837	325	714.3520	1208.6868	0.6323	1017.8034	0.7780	0.00246	0.03899
350	762.8268	0.01293	0.20499	350	762.8268	1237.9539	0.6639	1052.3924	0.8108	0.00267	0.04229
375	811.3016	0.01218	0.19313	375	811.3016	1268.3987	0.6940	1088.0420	0.8415	0.00286	0.04530
400	859.7764	0.01151	0.18255	400	859.7764	1299.9386	0.7227	1124.6512	0.8702	0.00303	0.04800
425	908.2512	0.01091	0.17306	425	908.2512	1332.4958	0.7500	1162.1296	0.8971	0.00318	0.05040
450	956.7259	0.01037	0.16449	450	956.7259	1365.9976	0.7759	1200.3956	0.9223	0.00331	0.05250
475	1005.2007	0.00988	0.15672	475	1005.2007	1400.3762	0.8006	1239.3763	0.9460	0.00342	0.05431
500	1053.6755	0.00944	0.14965	500	1053.6755	1435.5686	0.8242	1279.0063	0.9681	0.00352	0.05586
525	1102.1503	0.00903	0.14318	525	1102.1503	1471.5163	0.8465	1319.2271	0.9890	0.00360	0.05715
550	1150.6251	0.00865	0.13724	550	1150.6251	1508.1655	0.8678	1359.9864	1.0085	0.00367	0.05822
575	1199.0998	0.00831	0.13178	575	1199.0998	1545.4661	0.8881	1401.2371	1.0270	0.00373	0.05908
600	1247.5746	0.00799	0.12673	600	1247.5746	1583.3722	0.9074	1442.9371	1.0444	0.00377	0.05975
625	1296.0494	0.00770	0.12204	625	1296.0494	1621.8413	0.9258	1485.0485	1.0608	0.00380	0.06025
650	1344.5242	0.00742	0.11770	650	1344.5242	1660.8342	0.9434	1527.5373	1.0763	0.00382	0.06060

ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2_5 Υπολογισμός τάσεων σ_z και του λόγου τάσεων/πιέσεων σ_z/ρ

με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις

4ο σημείο

Επίδραση διπλών στρωτήρων

π	b _s	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες			π	b _s	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες		
3.14159	250	600	0.06305	6			3.14159	250	600	0.06305	6		
στρωτήρας 2							στρωτήρας 3						
ορ. Αποστ	1825		1575				ορ. Αποστ	2675		2425			
z'	υποτείνουσα ₁	a ₁	υποτείνουσα ₂	a ₂	σ' _z	σ' _z /ρ	z'	υποτείνουσα ₁	a ₁	υποτείνουσα ₂	a ₂	σ' _z	σ' _z /ρ
0.0000	1825.0000	0.0000	1575.0000	0.0000	0.00000	0.00000	0.0000	2675.0000	0.0000	2425.0000	0.0000	0.00000	0.00000
55.4898	1825.8434	0.0304	1575.9772	0.0352	0.00000	0.00000	55.4898	2675.5755	0.0207	2425.6348	0.0229	0.00000	0.00000
110.9795	1828.3713	0.0607	1578.9051	0.0703	0.00000	0.00003	110.9795	2677.3012	0.0415	2427.5381	0.0457	0.00000	0.00001
166.4693	1832.5766	0.0910	1583.7730	0.1053	0.00001	0.00009	166.4693	2680.1748	0.0622	2430.7071	0.0685	0.00000	0.00002
221.9591	1838.4479	0.1210	1590.5631	0.1400	0.00001	0.00020	221.9591	2684.1928	0.0828	2435.1367	0.0913	0.00000	0.00004
277.4489	1845.9694	0.1509	1599.2507	0.1744	0.00002	0.00039	277.4489	2689.3499	0.1033	2440.8201	0.1139	0.00000	0.00008
332.9386	1855.1208	0.1804	1609.8053	0.2083	0.00004	0.00066	332.9386	2695.6397	0.1238	2447.7486	0.1364	0.00001	0.00014
388.4284	1865.8782	0.2097	1622.1904	0.2418	0.00006	0.00103	388.4284	2703.0541	0.1442	2455.9116	0.1588	0.00001	0.00021
443.9182	1878.2141	0.2386	1636.3644	0.2747	0.00009	0.00148	443.9182	2711.5841	0.1645	2465.2968	0.1811	0.00002	0.00031
499.4079	1892.0976	0.2671	1652.2812	0.3071	0.00013	0.00204	499.4079	2721.2191	0.1846	2475.8904	0.2031	0.00003	0.00044
554.8977	1907.4948	0.2952	1669.8912	0.3387	0.00017	0.00270	554.8977	2731.9474	0.2045	2487.6769	0.2250	0.00004	0.00059
610.3875	1924.3695	0.3228	1689.1412	0.3697	0.00022	0.00345	610.3875	2743.7562	0.2243	2500.6395	0.2466	0.00005	0.00077
665.8773	1942.6831	0.3499	1709.9759	0.4000	0.00027	0.00428	665.8773	2756.6316	0.2440	2514.7599	0.2680	0.00006	0.00098
714.3520	1959.8275	0.3731	1729.4288	0.4258	0.00032	0.00508	714.3520	2768.7405	0.2610	2528.0277	0.2865	0.00007	0.00119
762.8268	1978.0116	0.3959	1750.0085	0.4510	0.00037	0.00593	762.8268	2781.6416	0.2778	2542.1506	0.3048	0.00009	0.00142
811.3016	1997.2069	0.4183	1771.6758	0.4757	0.00043	0.00683	811.3016	2795.3238	0.2945	2557.1146	0.3229	0.00011	0.00167
859.7764	2017.3846	0.4403	1794.3914	0.4997	0.00049	0.00776	859.7764	2809.7759	0.3110	2572.9051	0.3407	0.00012	0.00194
908.2512	2038.5154	0.4618	1818.1158	0.5231	0.00055	0.00873	908.2512	2824.9859	0.3273	2589.5067	0.3584	0.00014	0.00223
956.7259	2060.5702	0.4828	1842.8102	0.5459	0.00061	0.00972	956.7259	2840.9417	0.3435	2606.9042	0.3758	0.00016	0.00255
1005.2007	2083.5195	0.5035	1868.4361	0.5681	0.00068	0.01072	1005.2007	2857.6307	0.3595	2625.0816	0.3930	0.00018	0.00288
1053.6755	2107.3341	0.5236	1894.9557	0.5896	0.00074	0.01174	1053.6755	2875.0404	0.3752	2644.0229	0.4099	0.00020	0.00323
1102.1503	2131.9850	0.5433	1922.3320	0.6106	0.00080	0.01275	1102.1503	2893.1575	0.3908	2663.7117	0.4266	0.00023	0.00360
1150.6251	2157.4436	0.5625	1950.5289	0.6309	0.00087	0.01376	1150.6251	2911.9689	0.4062	2684.1317	0.4430	0.00025	0.00398
1199.0998	2183.6816	0.5813	1979.5114	0.6507	0.00093	0.01476	1199.0998	2931.4613	0.4214	2705.2662	0.4592	0.00028	0.00437
1247.5746	2210.6713	0.5996	2009.2455	0.6699	0.00099	0.01574	1247.5746	2951.6212	0.4364	2727.0987	0.4752	0.00030	0.00478
1296.0494	2238.3854	0.6175	2039.6983	0.6885	0.00105	0.01670	1296.0494	2972.4349	0.4512	2749.6125	0.4908	0.00033	0.00520
1344.5242	2266.7974	0.6350	2070.8381	0.7066	0.00111	0.01763	1344.5242	2993.8888	0.4657	2772.7911	0.5062	0.00035	0.00563

ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2_5 Υπολογισμός τάσεων σ_z και του λόγου τάσεων/πιέσεων σ_z/ρ

με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις

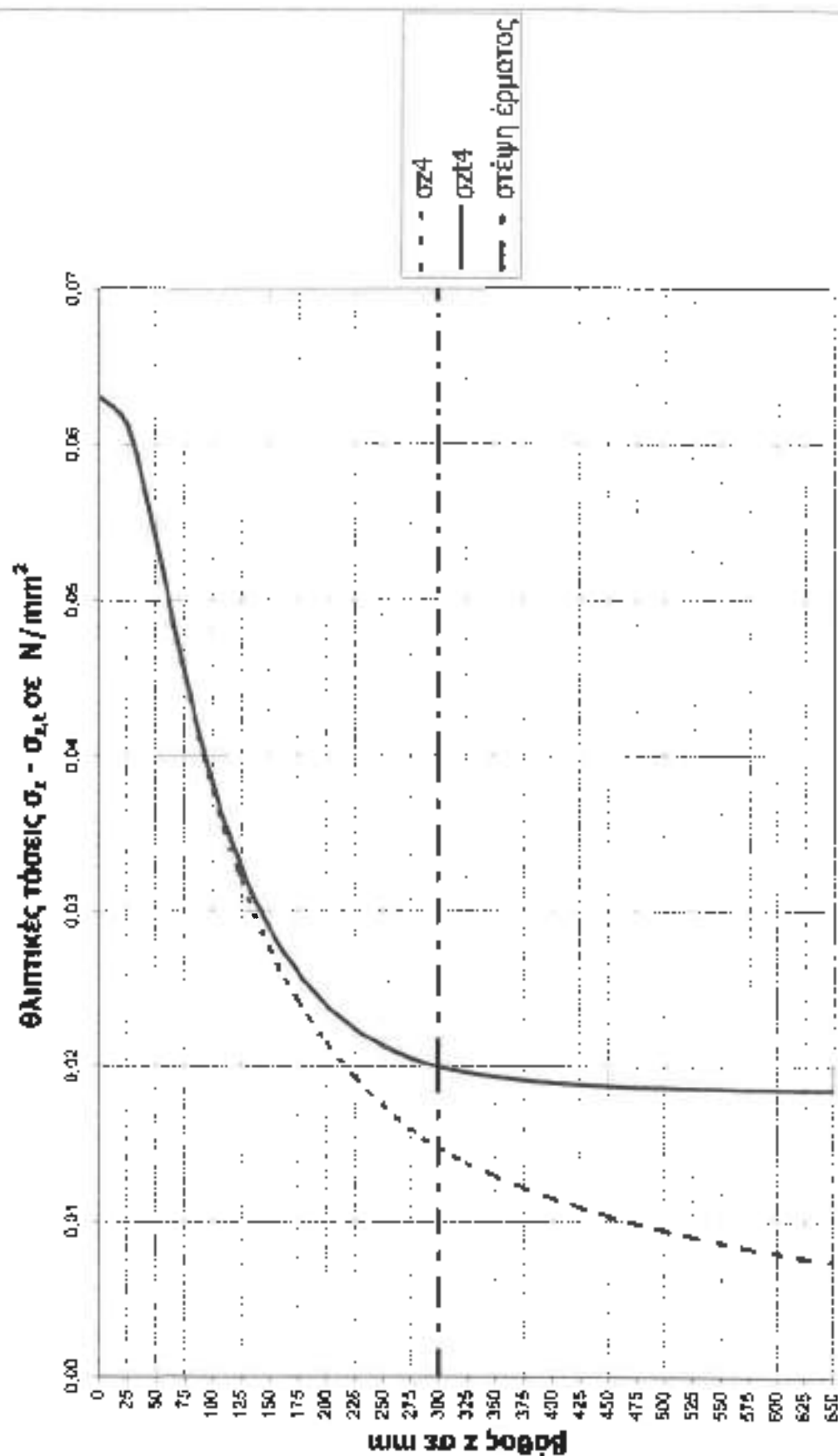
4ο σημείο

Επίδραση διπλανών στρωτήρων

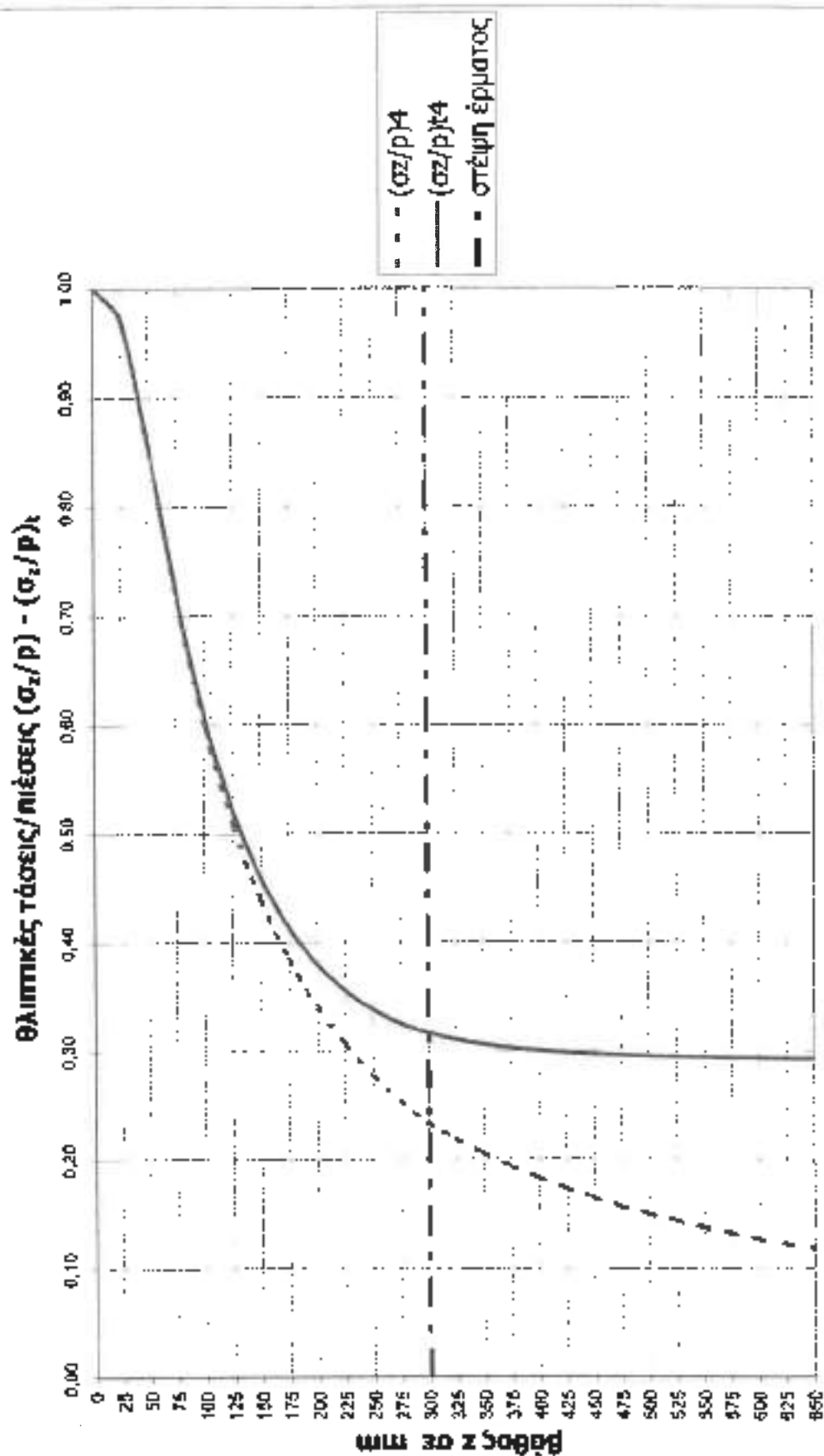
n	b _s	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες			n	b _s	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες		
3.14159	250	600	0.06305	6			3.14159	250	600	0.06305	6		
στρωτήρας 4							στρωτήρας 5						
ορ. Αποστ	3525		3275				ορ. Αποστ	4375		4125			
z'	υποτεινουςα ₁	a ₁	υποτεινουςα ₂	a ₂	σ' _z	σ' _z /ρ	z'	υποτεινουςα ₁	a ₁	υποτεινουςα ₂	a ₂	σ' _z	σ' _z /ρ
0.0000	3525.0000	0.0000	3275.0000	0.0000	0.00000	0.00000	0.0000	4375.0000	0.0000	4125.0000	0.0000	0.00000	0.00000
55.4898	3525.4367	0.0157	3275.4701	0.0169	0.00000	0.00000	55.4898	4375.3519	0.0127	4125.3732	0.0135	0.00000	0.00000
110.9795	3526.7466	0.0315	3276.8798	0.0339	0.00000	0.00000	110.9795	4376.4074	0.0254	4126.4926	0.0269	0.00000	0.00000
166.4693	3528.9286	0.0472	3279.2281	0.0508	0.00000	0.00001	166.4693	4378.1659	0.0380	4128.3577	0.0403	0.00000	0.00000
221.9591	3531.9811	0.0629	3282.5129	0.0677	0.00000	0.00001	221.9591	4380.6268	0.0507	4130.9673	0.0538	0.00000	0.00001
277.4489	3535.9020	0.0785	3286.7313	0.0845	0.00000	0.00003	277.4489	4383.7886	0.0633	4134.3201	0.0672	0.00000	0.00001
332.9386	3540.6882	0.0942	3291.8799	0.1013	0.00000	0.00004	332.9386	4387.6501	0.0760	4138.4143	0.0805	0.00000	0.00002
388.4284	3546.3364	0.1097	3297.9542	0.1181	0.00000	0.00007	388.4284	4392.2092	0.0886	4143.2477	0.0939	0.00000	0.00003
443.9182	3552.8423	0.1253	3304.9491	0.1347	0.00001	0.00010	443.9182	4397.4639	0.1011	4148.8177	0.1072	0.00000	0.00004
499.4079	3560.2013	0.1407	3312.8588	0.1513	0.00001	0.00014	499.4079	4403.4116	0.1137	4155.1213	0.1205	0.00000	0.00006
554.8977	3568.4081	0.1561	3321.6768	0.1678	0.00001	0.00019	554.8977	4410.0495	0.1262	4162.1553	0.1337	0.00001	0.00008
610.3875	3577.4569	0.1715	3331.3958	0.1843	0.00002	0.00026	610.3875	4417.3745	0.1386	4169.9158	0.1469	0.00001	0.00011
665.8773	3587.3413	0.1867	3342.0080	0.2006	0.00002	0.00033	665.8773	4425.3833	0.1510	4178.3989	0.1600	0.00001	0.00014
714.3520	3596.6545	0.1999	3352.0030	0.2148	0.00003	0.00040	714.3520	4432.9363	0.1619	4186.3975	0.1715	0.00001	0.00017
762.8268	3606.5953	0.2131	3362.6671	0.2288	0.00003	0.00048	762.8268	4441.0055	0.1726	4194.9410	0.1829	0.00001	0.00020
811.3016	3617.1585	0.2262	3373.9940	0.2428	0.00004	0.00057	811.3016	4449.5882	0.1834	4204.0261	0.1942	0.00002	0.00024
859.7764	3628.3385	0.2392	3385.9770	0.2567	0.00004	0.00067	859.7764	4458.6815	0.1940	4213.6493	0.2055	0.00002	0.00029
908.2512	3640.1298	0.2522	3398.6093	0.2705	0.00005	0.00078	908.2512	4468.2821	0.2047	4223.8070	0.2167	0.00002	0.00034
956.7259	3652.5265	0.2650	3411.8836	0.2842	0.00006	0.00090	956.7259	4478.3869	0.2153	4234.4952	0.2279	0.00002	0.00039
1005.2007	3665.5223	0.2778	3425.7924	0.2978	0.00006	0.00103	1005.2007	4488.9925	0.2258	4245.7100	0.2390	0.00003	0.00045
1053.6755	3679.1109	0.2905	3440.3280	0.3113	0.00007	0.00116	1053.6755	4500.0952	0.2363	4257.4472	0.2501	0.00003	0.00051
1102.1503	3693.2858	0.3030	3455.4826	0.3246	0.00008	0.00131	1102.1503	4511.6915	0.2468	4269.7026	0.2611	0.00004	0.00057
1150.6251	3708.0403	0.3155	3471.2481	0.3379	0.00009	0.00147	1150.6251	4523.7775	0.2572	4282.4716	0.2720	0.00004	0.00065
1199.0998	3723.3675	0.3279	3487.6160	0.3510	0.00010	0.00163	1199.0998	4536.3494	0.2675	4295.7497	0.2829	0.00005	0.00072
1247.5746	3739.2603	0.3402	3504.5781	0.3640	0.00011	0.00180	1247.5746	4549.4030	0.2778	4309.5322	0.2937	0.00005	0.00080
1296.0494	3755.7115	0.3523	3522.1256	0.3768	0.00013	0.00198	1296.0494	4562.9343	0.2880	4323.8142	0.3044	0.00006	0.00089
1344.5242	3772.7139	0.3644	3540.2500	0.3896	0.00014	0.00217	1344.5242	4576.9390	0.2982	4338.5908	0.3151	0.00006	0.00098

ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2_5 Υπολογισμός τάσεων σ _z και του λόγου τάσεων/πιέσεων σ _z /ρ με την επίδραση των γεγονικών στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις									
4ο σημείο									
Επίδραση διηλωνών στρωτήρων									
n	b _s	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες					
3.14159	250	600	0.06305	6					
στρωτήρας 6									
ορ. Αποστ	5225		4975				Συνολικές τάσεις		
z'	υποτείνουσα1	a1	υποτείνουσα2	a2	σ _z	σ _z /ρ	z	σ _{z,t}	(σ _z /ρ) _t
0.0000	5225.0000	0.0000	4975.0000	0.0000	0.00000	0.00000	0	0.06305	1.00000
55.4898	5225.2946	0.0106	4975.3094	0.0112	0.00000	0.00000	25	0.06118	0.97023
110.9795	5226.1785	0.0212	4976.2377	0.0223	0.00000	0.00000	50	0.05390	0.85478
166.4693	5227.6512	0.0318	4977.7843	0.0334	0.00000	0.00000	75	0.04532	0.71872
221.9591	5229.7123	0.0425	4979.9489	0.0446	0.00000	0.00000	100	0.03818	0.60547
277.4489	5232.3611	0.0531	4982.7305	0.0557	0.00000	0.00001	125	0.03280	0.52020
332.9386	5235.5967	0.0636	4986.1281	0.0668	0.00000	0.00001	150	0.02886	0.45770
388.4284	5239.4181	0.0742	4990.1404	0.0779	0.00000	0.00001	175	0.02599	0.41219
443.9182	5243.8238	0.0848	4994.7661	0.0890	0.00000	0.00002	200	0.02390	0.37909
499.4079	5248.8126	0.0953	5000.0033	0.1000	0.00000	0.00003	225	0.02239	0.35506
554.8977	5254.3826	0.1058	5005.8502	0.1111	0.00000	0.00004	250	0.02129	0.33765
610.3875	5260.5321	0.1163	5012.3046	0.1221	0.00000	0.00005	275	0.02050	0.32506
665.8773	5267.2590	0.1268	5019.3643	0.1331	0.00000	0.00007	300	0.01992	0.31599
714.3520	5273.6063	0.1359	5026.0247	0.1426	0.00001	0.00008	325	0.01956	0.31019
762.8268	5280.3911	0.1450	5033.1431	0.1521	0.00001	0.00010	350	0.01928	0.30584
811.3016	5287.6115	0.1540	5040.7177	0.1617	0.00001	0.00012	375	0.01908	0.30260
859.7764	5295.2659	0.1631	5048.7464	0.1711	0.00001	0.00014	400	0.01893	0.30017
908.2512	5303.3523	0.1721	5057.2270	0.1806	0.00001	0.00017	425	0.01881	0.29835
956.7259	5311.8687	0.1811	5066.1573	0.1900	0.00001	0.00019	450	0.01873	0.29698
1005.2007	5320.8132	0.1901	5075.5348	0.1994	0.00001	0.00022	475	0.01866	0.29594
1053.6755	5330.1836	0.1990	5085.3571	0.2087	0.00002	0.00025	500	0.01861	0.29515
1102.1503	5339.9776	0.2079	5095.6217	0.2180	0.00002	0.00029	525	0.01857	0.29453
1150.6251	5350.1928	0.2168	5106.3258	0.2273	0.00002	0.00033	550	0.01854	0.29403
1199.0998	5360.8269	0.2256	5117.4667	0.2365	0.00002	0.00036	575	0.01851	0.29363
1247.5746	5371.8775	0.2344	5129.0416	0.2457	0.00003	0.00041	600	0.01849	0.29329
1296.0494	5383.3418	0.2431	5141.0475	0.2548	0.00003	0.00045	625	0.01847	0.29299
1344.5242	5395.2174	0.2519	5153.4814	0.2640	0.00003	0.00050	650	0.01846	0.29272

Σημείο 4ο - σύγκριση τάσεων σ_z με και χωρίς την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων



Σημείο 4ο - σύγκριση του λόγου τάσεων/πιέσεων σ_z/p με και χωρίς την επίδραση των
 γετονικών στρωτήρων



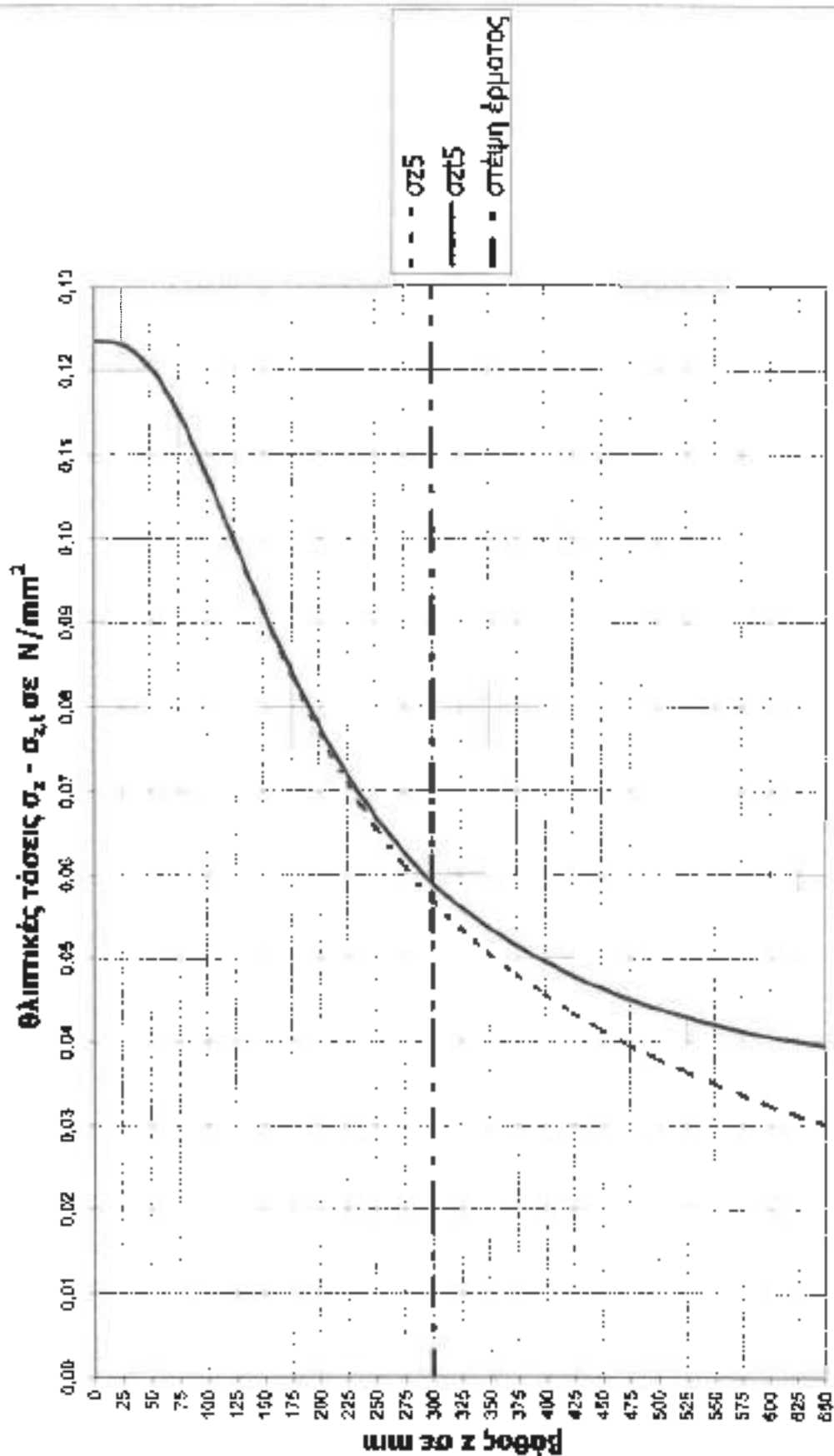
ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2_6 Υπολογισμός τάσεων σ _z και του λόγου τάσεων/πιέσεων σ _z /ρ									
με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις									
5ο σημείο									
Επίδραση διπλανών στρωτήρων									
Τάσεις κάτω από τον στρωτήρα				n	b _s	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες	
				3.14159	250	600	0.12353	3	
n	b _s	ρ(N/mm ²)		στρωτήρας 1					
3.141592654	250	0.123525336		ορ. Αποστ	975		725		
z	z'	σ _z	σ _z /ρ	z	z'	υποτεινουςα ₁	a ₁	υποτεινουςα ₂	a ₂ σ _z σ _z /ρ
0	0.0000	0.12353	1.00000	0	0.0000	975.0000	0.0000	725.0000	0.00000 0.00000 0.00000
25	26.2002	0.12307	0.99629	25	26.2002	975.3520	0.0269	725.4733	0.0361 0.00000 0.00001
50	52.4005	0.12035	0.97428	50	52.4005	976.4071	0.0537	726.8912	0.0722 0.00001 0.00005
75	78.6007	0.11482	0.92952	75	78.6007	978.1631	0.0804	729.2483	0.1080 0.00002 0.00016
100	104.8009	0.10737	0.86924	100	104.8009	980.6163	0.1071	732.5355	0.1436 0.00005 0.00037
125	131.0011	0.09920	0.80304	125	131.0011	983.7613	0.1336	736.7403	0.1788 0.00009 0.00070
150	157.2014	0.09114	0.73780	150	157.2014	987.5917	0.1599	741.8472	0.2135 0.00015 0.00118
175	183.4016	0.08364	0.67713	175	183.4016	992.0994	0.1859	747.8376	0.2478 0.00023 0.00183
200	209.6018	0.07688	0.62240	200	209.6018	997.2753	0.2118	754.6906	0.2814 0.00033 0.00266
225	235.8021	0.07087	0.57376	225	235.8021	1003.1090	0.2373	762.3828	0.3145 0.00045 0.00367
250	262.0023	0.06557	0.53081	250	262.0023	1009.5891	0.2625	770.8892	0.3468 0.00060 0.00485
275	288.2025	0.06089	0.49293	275	288.2025	1016.7033	0.2874	780.1831	0.3784 0.00077 0.00621
300	314.4027	0.05676	0.45947	300	314.4027	1024.4384	0.3119	790.2367	0.4092 0.00096 0.00774
325	337.2907	0.05353	0.43338	325	337.2907	1031.6928	0.3331	799.6187	0.4354 0.00114 0.00920
350	360.1787	0.05063	0.40985	350	360.1787	1039.4007	0.3539	809.5392	0.4611 0.00133 0.01076
375	383.0668	0.04800	0.38855	375	383.0668	1047.5520	0.3744	819.9787	0.4861 0.00153 0.01242
400	405.9548	0.04561	0.36921	400	405.9548	1056.1365	0.3945	830.9177	0.5104 0.00175 0.01416
425	428.8428	0.04343	0.35159	425	428.8428	1065.1437	0.4144	842.3367	0.5342 0.00197 0.01596
450	451.7308	0.04144	0.33549	450	451.7308	1074.5630	0.4339	854.2164	0.5572 0.00220 0.01781
475	474.6188	0.03962	0.32073	475	474.6188	1084.3837	0.4530	866.5379	0.5796 0.00243 0.01970
500	497.5068	0.03794	0.30716	500	497.5068	1094.5949	0.4718	879.2827	0.6014 0.00267 0.02162
525	520.3948	0.03640	0.29465	525	520.3948	1105.1858	0.4903	892.4325	0.6226 0.00291 0.02355
550	543.2828	0.03497	0.28308	550	543.2828	1116.1457	0.5084	905.9698	0.6431 0.00315 0.02548
575	566.1708	0.03364	0.27236	575	566.1708	1127.4637	0.5261	919.8774	0.6630 0.00338 0.02740
600	589.0588	0.03241	0.26239	600	589.0588	1139.1292	0.5435	934.1388	0.6823 0.00362 0.02930
625	611.9468	0.03127	0.25311	625	611.9468	1151.1316	0.5605	948.7381	0.7010 0.00385 0.03117
650	634.8348	0.03019	0.24444	650	634.8348	1163.4605	0.5772	963.6598	0.7192 0.00408 0.03300

**ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2_6 Υπολογισμός τάσεων σ_z και του λόγου τάσεων/ημέσεων σ_z/ρ
με την επίδραση των γεωονικών στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις
5ο σημείο**

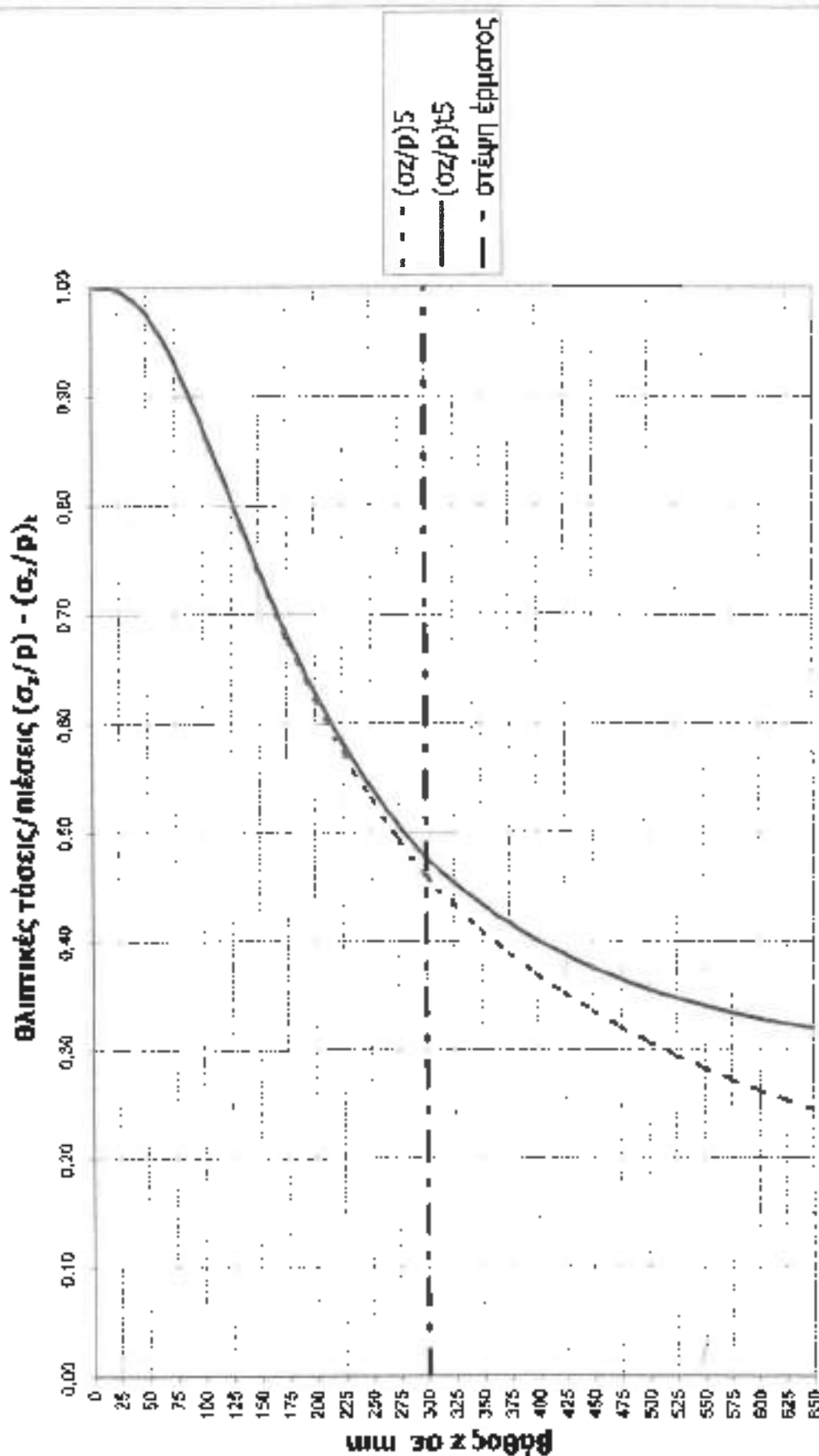
Επίδραση διπλών στρωτήρων

n	b _z	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες			n	b _z	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες					
3.14159	250	600	0.12353	3			3.14159	250	600	0.12353	3					
στρωτήρας 2							στρωτήρας 3							Συνολικές τάσεις		
ορ. Απόστ	1825		1575				ορ. Απόστ	2675		2425				z	σ _{z,t}	(σ _z /ρ) _λ
z'	υποτείνουσα ₁	a ₁	υποτείνουσα ₂	a ₂	σ' _z	σ' _z /ρ	z'	υποτείνουσα ₁	a ₁	υποτείνουσα ₂	a ₂	σ' _z	σ' _z /ρ			
0.0000	1825.0000	0.0000	1575.0000	0.0000	0.00000	0.00000	0.0000	2675.0000	0.0000	2425.0000	0.0000	0.00000	0.00000	0	0.12353	1.00000
26.2002	1825.1881	0.0144	1575.2179	0.0166	0.00000	0.00000	26.2002	2675.1283	0.0098	2425.1415	0.0108	0.00000	0.00000	25	0.12307	0.99630
52.4005	1825.7521	0.0287	1575.8714	0.0333	0.00000	0.00000	52.4005	2675.5132	0.0196	2425.5661	0.0216	0.00000	0.00000	50	0.12036	0.97438
78.6007	1826.6918	0.0430	1576.9601	0.0499	0.00000	0.00001	78.6007	2676.1545	0.0294	2426.2735	0.0324	0.00000	0.00000	75	0.11486	0.92986
104.8009	1828.0066	0.0574	1578.4829	0.0664	0.00000	0.00002	104.8009	2677.0522	0.0392	2427.2635	0.0432	0.00000	0.00000	100	0.10747	0.87003
131.0011	1829.6957	0.0717	1580.4386	0.0830	0.00001	0.00004	131.0011	2678.2058	0.0489	2428.5358	0.0540	0.00000	0.00001	125	0.09938	0.80454
157.2014	1831.7580	0.0859	1582.8257	0.0995	0.00001	0.00007	157.2014	2679.6151	0.0587	2430.0900	0.0647	0.00000	0.00001	150	0.09145	0.74034
183.4016	1834.1922	0.1002	1585.6422	0.1159	0.00001	0.00012	183.4016	2681.2798	0.0685	2431.9254	0.0755	0.00000	0.00002	175	0.08413	0.68107
209.6018	1836.9970	0.1143	1588.8857	0.1323	0.00002	0.00017	209.6018	2683.1992	0.0782	2434.0415	0.0862	0.00000	0.00003	200	0.07759	0.62813
235.8021	1840.1705	0.1285	1592.5538	0.1486	0.00003	0.00024	235.8021	2685.3729	0.0879	2436.4375	0.0969	0.00001	0.00005	225	0.07185	0.58168
262.0023	1843.7110	0.1426	1596.6434	0.1648	0.00004	0.00033	262.0023	2687.8003	0.0976	2439.1126	0.1076	0.00001	0.00007	250	0.06687	0.54131
288.2025	1847.6162	0.1566	1601.1514	0.1810	0.00005	0.00044	288.2025	2690.4806	0.1073	2442.0659	0.1183	0.00001	0.00009	275	0.06255	0.50641
314.4027	1851.8839	0.1706	1606.0741	0.1970	0.00007	0.00056	314.4027	2693.4131	0.1170	2445.2963	0.1289	0.00001	0.00011	300	0.05884	0.47631
337.2907	1855.9068	0.1828	1610.7110	0.2110	0.00009	0.00069	337.2907	2696.1806	0.1254	2448.3443	0.1382	0.00002	0.00014	325	0.05601	0.45344
360.1787	1860.2026	0.1949	1615.6589	0.2248	0.00010	0.00083	360.1787	2699.1394	0.1338	2451.6023	0.1474	0.00002	0.00017	350	0.05353	0.43338
383.0668	1864.7695	0.2069	1620.9149	0.2386	0.00012	0.00099	383.0668	2702.2889	0.1422	2455.0693	0.1567	0.00003	0.00020	375	0.05136	0.41577
405.9548	1869.6054	0.2189	1626.4760	0.2523	0.00014	0.00116	405.9548	2705.6283	0.1506	2458.7445	0.1659	0.00003	0.00024	400	0.04945	0.40032
428.8428	1874.7083	0.2308	1632.3392	0.2658	0.00017	0.00135	428.8428	2709.1569	0.1590	2462.6269	0.1750	0.00003	0.00028	425	0.04778	0.38677
451.7308	1880.0760	0.2426	1638.5011	0.2793	0.00019	0.00156	451.7308	2712.8741	0.1673	2466.7156	0.1842	0.00004	0.00033	450	0.04631	0.37488
474.6188	1885.7062	0.2544	1644.9584	0.2927	0.00022	0.00178	474.6188	2716.7790	0.1756	2471.0095	0.1933	0.00005	0.00038	475	0.04502	0.36445
497.5068	1891.5967	0.2661	1651.7076	0.3060	0.00025	0.00202	497.5068	2720.8708	0.1839	2475.5076	0.2023	0.00005	0.00043	500	0.04389	0.35531
520.3948	1897.7449	0.2778	1658.7452	0.3191	0.00028	0.00228	520.3948	2725.1488	0.1921	2480.2088	0.2114	0.00006	0.00049	525	0.04290	0.34728
543.2828	1904.1484	0.2893	1666.0676	0.3322	0.00032	0.00255	543.2828	2729.6119	0.2004	2485.1119	0.2204	0.00007	0.00056	550	0.04203	0.34025
566.1708	1910.8046	0.3008	1673.6709	0.3451	0.00035	0.00284	566.1708	2734.2594	0.2086	2490.2157	0.2294	0.00008	0.00062	575	0.04127	0.33408
589.0588	1917.7110	0.3122	1681.5515	0.3579	0.00039	0.00315	589.0588	2739.0902	0.2167	2495.5190	0.2383	0.00009	0.00070	600	0.04060	0.32867
611.9468	1924.8647	0.3235	1689.7053	0.3706	0.00043	0.00347	611.9468	2744.1035	0.2249	2501.0206	0.2472	0.00010	0.00078	625	0.04001	0.32393
634.8348	1932.2630	0.3348	1698.1285	0.3831	0.00047	0.00381	634.8348	2749.2981	0.2330	2506.7190	0.2560	0.00011	0.00086	650	0.03950	0.31977

Σημείο 5ο -σύγκριση τάσεων σ_z με και χωρίς την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων



Σημείο 5ο σύγκριση του λόγου τάσεων/πιέσεων σ_z/p με και χωρίς την επίδραση των
γειτονικών στρωτήρων



ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2_7 Υπολογισμός τάσεων σ _z και του λόγου τάσεων/πιέσεων σ _z /ρ									
με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις									
6ο σημείο									
Επίδραση διπλανών στρωτήρων									
Τάσεις κάτω από τον στρωτήρα				η	b _s	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες	
				3.14159	300	670	0.10039	3	
η	b _s	ρ(N/mm ²)		στρωτήρας 1					
3.141592654	300	0.100385035		ορ. Αποστ		975		725	
z	z'	σ _z	σ _z /ρ	z	z'	υποτείνουσα ₁	a ₁	υποτείνουσα ₂	a ₂
0	0.0000	0.10039	1.00000	0	0.0000	1120.0000	0.0000	820.0000	0.0000
25	26.2002	0.10017	0.99782	25	26.2002	1120.3064	0.0234	820.4185	0.0319
50	52.4005	0.09880	0.98425	50	52.4005	1121.2251	0.0468	821.6726	0.0638
75	78.6007	0.09581	0.95445	75	78.6007	1122.7547	0.0701	823.7585	0.0956
100	104.8009	0.09142	0.91066	100	104.8009	1124.8925	0.0933	826.6700	0.1271
125	131.0011	0.08617	0.85839	125	131.0011	1127.6353	0.1164	830.3983	0.1584
150	157.2014	0.08061	0.80304	150	157.2014	1130.9785	0.1394	834.9325	0.1894
175	183.4016	0.07513	0.74842	175	183.4016	1134.9168	0.1623	840.2596	0.2200
200	209.6018	0.06994	0.69672	200	209.6018	1139.4441	0.1850	846.3645	0.2503
225	235.8021	0.06515	0.64899	225	235.8021	1144.5535	0.2075	853.2307	0.2800
250	262.0023	0.06079	0.60552	250	262.0023	1150.2370	0.2298	860.8398	0.3093
275	288.2025	0.05684	0.56622	275	288.2025	1156.4864	0.2519	869.1724	0.3380
300	314.4027	0.05329	0.53081	300	314.4027	1163.2923	0.2737	878.2079	0.3661
325	337.2907	0.05047	0.50277	325	337.2907	1169.6859	0.2925	886.6595	0.3902
350	360.1787	0.04790	0.47716	350	360.1787	1176.4900	0.3111	895.6164	0.4139
375	383.0668	0.04555	0.45375	375	383.0668	1183.6977	0.3296	905.0636	0.4370
400	405.9548	0.04340	0.43230	400	405.9548	1191.3015	0.3477	914.9859	0.4597
425	428.8428	0.04142	0.41261	425	428.8428	1199.2940	0.3657	925.3681	0.4819
450	451.7308	0.03960	0.39450	450	451.7308	1207.6675	0.3834	936.1948	0.5035
475	474.6188	0.03793	0.37780	475	474.6188	1216.4140	0.4008	947.4508	0.5247
500	497.5068	0.03638	0.36237	500	497.5068	1225.5256	0.4180	959.1210	0.5453
525	520.3948	0.03494	0.34808	525	520.3948	1234.9942	0.4350	971.1904	0.5655
550	543.2828	0.03361	0.33482	550	543.2828	1244.8117	0.4516	983.6444	0.5851
575	566.1708	0.03237	0.32248	575	566.1708	1254.9699	0.4680	996.4685	0.6043
600	589.0588	0.03122	0.31098	600	589.0588	1265.4605	0.4842	1009.6486	0.6229
625	611.9468	0.03014	0.30023	625	611.9468	1276.2754	0.5001	1023.1710	0.6411
650	634.8348	0.02913	0.29018	650	634.8348	1287.4064	0.5157	1037.0223	0.6588

ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2_7 Υπολογισμός τάσεων σ_z και του λόγου τάσεων/πίεσεων σ_z/ρ

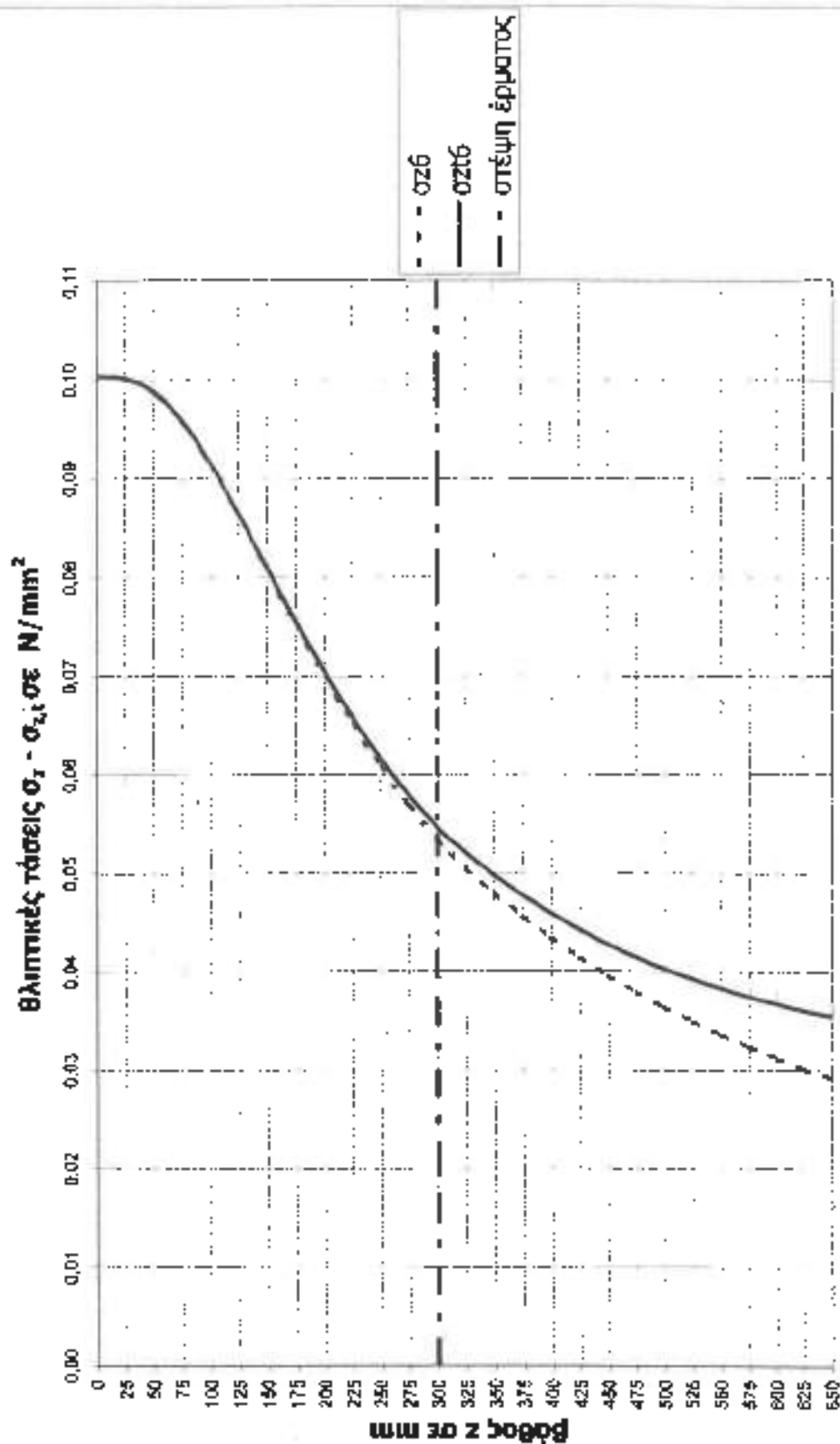
με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις

6ο σημείο

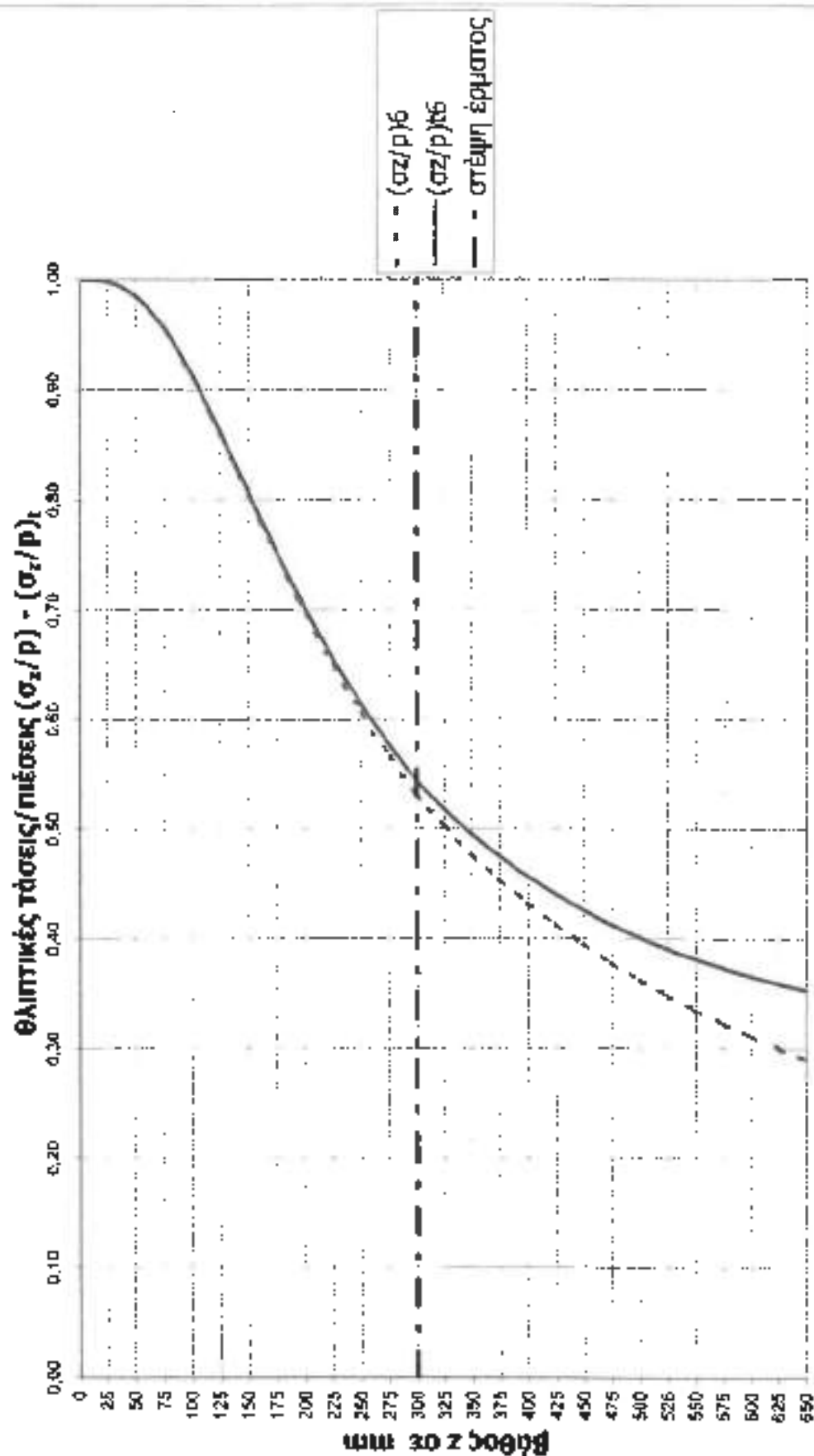
Επίδραση διπλών στρωτήρων

η	b _s	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες			η	b _s	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες					
3.14159	300	670	0.10039	3			3.14159	300	670	0.10039	3					
στρωτήρας 2							στρωτήρας 3							Συνολικές τάσεις		
ορ. Απόστ.	2090		1790				ορ. Απόστ.	3060		2760				z	σ _z	(σ _z /ρ) _i
z'	υποτείνουσα ₁	a ₁	υποτείνουσα ₂	a ₂	σ' _z	σ' _z /ρ	z'	υποτείνουσα ₁	a ₁	υποτείνουσα ₂	a ₂	σ' _z	σ' _z /ρ			
0.0000	2090.0000	0.0000	1790.0000	0.0000	0.00000	0.00000	0.0000	3060.0000	0.0000	2760.0000	0.0000	0.00000	0.00000	0	0.10039	1.00000
26.2002	2090.1642	0.0125	1790.1917	0.0146	0.00000	0.00000	26.2002	3060.1122	0.0086	2760.1244	0.0095	0.00000	0.00000	25	0.10017	0.99783
52.4005	2090.6568	0.0251	1790.7668	0.0293	0.00000	0.00000	52.4005	3060.4486	0.0171	2760.4974	0.0190	0.00000	0.00000	50	0.09881	0.98432
78.6007	2091.4775	0.0376	1791.7249	0.0439	0.00000	0.00001	78.6007	3061.0093	0.0257	2761.1190	0.0285	0.00000	0.00000	75	0.09584	0.95469
104.8009	2092.6259	0.0501	1793.0653	0.0585	0.00000	0.00002	104.8009	3061.7941	0.0342	2761.9890	0.0380	0.00000	0.00000	100	0.09147	0.91122
131.0011	2094.1015	0.0626	1794.7873	0.0731	0.00000	0.00003	131.0011	3062.8029	0.0428	2763.1072	0.0474	0.00000	0.00001	125	0.08628	0.85947
157.2014	2095.9037	0.0751	1796.8896	0.0876	0.00001	0.00005	157.2014	3064.0353	0.0513	2764.4732	0.0569	0.00000	0.00001	150	0.08080	0.80488
183.4016	2098.0315	0.0875	1799.3710	0.1021	0.00001	0.00008	183.4016	3065.4912	0.0599	2766.0868	0.0664	0.00000	0.00002	175	0.07542	0.75129
209.6018	2100.4840	0.1000	1802.2300	0.1166	0.00001	0.00012	209.6018	3067.1702	0.0684	2767.9474	0.0758	0.00000	0.00002	200	0.07036	0.70092
235.8021	2103.2600	0.1123	1805.4647	0.1310	0.00002	0.00018	235.8021	3069.0719	0.0769	2770.0546	0.0852	0.00000	0.00003	225	0.06573	0.65482
262.0023	2106.3583	0.1247	1809.0730	0.1453	0.00002	0.00024	262.0023	3071.1961	0.0854	2772.4078	0.0946	0.00000	0.00005	250	0.06157	0.61331
288.2025	2109.7774	0.1370	1813.0529	0.1596	0.00003	0.00031	288.2025	3073.5420	0.0939	2775.0064	0.1040	0.00001	0.00006	275	0.05785	0.57630
314.4027	2113.5158	0.1493	1817.4017	0.1739	0.00004	0.00041	314.4027	3076.1094	0.1024	2777.8497	0.1134	0.00001	0.00008	300	0.05456	0.54349
337.2907	2117.0416	0.1600	1821.5008	0.1862	0.00005	0.00050	337.2907	3078.5329	0.1098	2780.5332	0.1216	0.00001	0.00010	325	0.05200	0.51798
360.1787	2120.8085	0.1707	1825.8775	0.1986	0.00006	0.00060	360.1787	3081.1246	0.1172	2783.4024	0.1298	0.00001	0.00012	350	0.04970	0.49514
383.0668	2124.8153	0.1813	1830.5300	0.2108	0.00007	0.00072	383.0668	3083.8839	0.1245	2786.4566	0.1379	0.00001	0.00015	375	0.04765	0.47470
405.9548	2129.0607	0.1918	1835.4561	0.2230	0.00008	0.00084	405.9548	3086.8105	0.1319	2789.6952	0.1460	0.00002	0.00017	400	0.04582	0.45643
428.8428	2133.5431	0.2024	1840.6537	0.2351	0.00010	0.00098	428.8428	3089.9039	0.1392	2793.1176	0.1541	0.00002	0.00020	425	0.04418	0.44011
451.7308	2138.2611	0.2129	1846.1204	0.2472	0.00011	0.00114	451.7308	3093.1635	0.1466	2796.7232	0.1622	0.00002	0.00024	450	0.04272	0.42553
474.6188	2143.2132	0.2233	1851.8539	0.2592	0.00013	0.00131	474.6188	3096.5889	0.1539	2800.5112	0.1703	0.00003	0.00027	475	0.04141	0.41251
497.5068	2148.3978	0.2337	1857.8517	0.2711	0.00015	0.00149	497.5068	3100.1795	0.1612	2804.4809	0.1783	0.00003	0.00031	500	0.04024	0.40089
520.3948	2153.8131	0.2440	1864.1112	0.2829	0.00017	0.00168	520.3948	3103.9347	0.1685	2808.6315	0.1864	0.00004	0.00036	525	0.03920	0.39052
543.2828	2159.4574	0.2543	1870.6299	0.2947	0.00019	0.00189	543.2828	3107.8540	0.1757	2812.9622	0.1944	0.00004	0.00040	550	0.03827	0.38126
566.1708	2165.3289	0.2645	1877.4050	0.3063	0.00021	0.00211	566.1708	3111.9366	0.1830	2817.4722	0.2023	0.00005	0.00045	575	0.03744	0.37301
589.0588	2171.4259	0.2747	1884.4337	0.3179	0.00024	0.00235	589.0588	3116.1820	0.1902	2822.1606	0.2103	0.00005	0.00051	600	0.03671	0.36564
611.9468	2177.7463	0.2848	1891.7132	0.3294	0.00026	0.00260	611.9468	3120.5895	0.1974	2827.0265	0.2182	0.00006	0.00056	625	0.03605	0.35908
634.8348	2184.2883	0.2949	1899.2407	0.3408	0.00029	0.00286	634.8348	3125.1584	0.2046	2832.0691	0.2261	0.00006	0.00063	650	0.03546	0.35322

Σημείο 60 - σύγκριση τάσεων σ_2 με και χωρίς την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων



Σημείο 6ο - σύγκριση του λόγου τάσεων/πιέσεων σ_z/p με και χωρίς την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων



ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2. 7 Υπολογισμός τάσεων σ _z και του λόγου τάσεων/πιέσεων σ _z /ρ									
με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις									
7ο σημείο									
Επίδραση διπλανών στρωτήρων									
				n	b _s	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες	
Τάσεις κάτω από τον στρωτήρα				3.14159	300	670	0.06998	4	
n	b _s	ρ(N/mm ²)		στρωτήρας 1					
3.141592654	300	0.069975312		ορ. Αποστ		975		725	
z	z'	σ _z	σ _z /ρ	z	z'	υποτείνουσα ₁	a ₁	υποτείνουσα ₂	a ₂
0	0.0000	0.06998	1.00000	0	0.0000	1120.0000	0.0000	820.0000	0.0000
25	44.0423	0.06929	0.99027	25	44.0423	1120.8656	0.0393	821.1819	0.0537
50	88.0845	0.06577	0.93995	50	88.0845	1123.4584	0.0785	824.7175	0.1070
75	132.1268	0.05990	0.85604	75	132.1268	1127.7666	0.1174	830.5766	0.1598
100	176.1690	0.05341	0.76327	100	176.1690	1133.7705	0.1560	838.7106	0.2116
125	220.2113	0.04737	0.67689	125	220.2113	1141.4434	0.1941	849.0542	0.2624
150	264.2536	0.04212	0.60198	150	264.2536	1150.7519	0.2317	861.5277	0.3118
175	308.2958	0.03770	0.53873	175	308.2958	1161.6567	0.2686	876.0401	0.3596
200	352.3381	0.03399	0.48567	200	352.3381	1174.1133	0.3048	892.4921	0.4058
225	396.3803	0.03086	0.44104	225	396.3803	1188.0730	0.3402	910.7784	0.4503
250	440.4226	0.02822	0.40326	250	440.4226	1203.4833	0.3747	930.7911	0.4929
275	484.4649	0.02596	0.37102	275	484.4649	1220.2894	0.4083	952.4212	0.5336
300	528.5071	0.02402	0.34327	300	528.5071	1238.4344	0.4409	975.5613	0.5725
325	566.9816	0.02254	0.32206	325	566.9816	1255.3359	0.4686	996.9293	0.6050
350	605.4560	0.02122	0.30321	350	605.4560	1273.1760	0.4956	1019.3022	0.6360
375	643.9305	0.02004	0.28636	375	643.9305	1291.9158	0.5218	1042.6152	0.6657
400	682.4050	0.01898	0.27123	400	682.4050	1311.5169	0.5472	1066.8067	0.6941
425	720.8794	0.01802	0.25757	425	720.8794	1331.9411	0.5719	1091.8183	0.7212
450	759.3539	0.01716	0.24519	450	759.3539	1353.1513	0.5958	1117.5949	0.7470
475	797.8283	0.01637	0.23391	475	797.8283	1375.1109	0.6190	1144.0848	0.7717
500	836.3028	0.01565	0.22361	500	836.3028	1397.7848	0.6414	1171.2397	0.7952
525	874.7773	0.01499	0.21416	525	874.7773	1421.1387	0.6631	1199.0143	0.8177
550	913.2517	0.01438	0.20546	550	913.2517	1445.1397	0.6841	1227.3666	0.8391
575	951.7262	0.01381	0.19742	575	951.7262	1469.7560	0.7044	1256.2574	0.8596
600	990.2006	0.01329	0.18998	600	990.2006	1494.9573	0.7240	1285.6505	0.8791
625	1028.6751	0.01281	0.18308	625	1028.6751	1520.7145	0.7429	1315.5122	0.8978
650	1067.1496	0.01236	0.17665	650	1067.1496	1546.9997	0.7612	1345.8113	0.9156

ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2_7 Υπολογισμός τάσεων σ_z και του λόγου τάσεων/πιέσεων σ_z/ρ

με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις

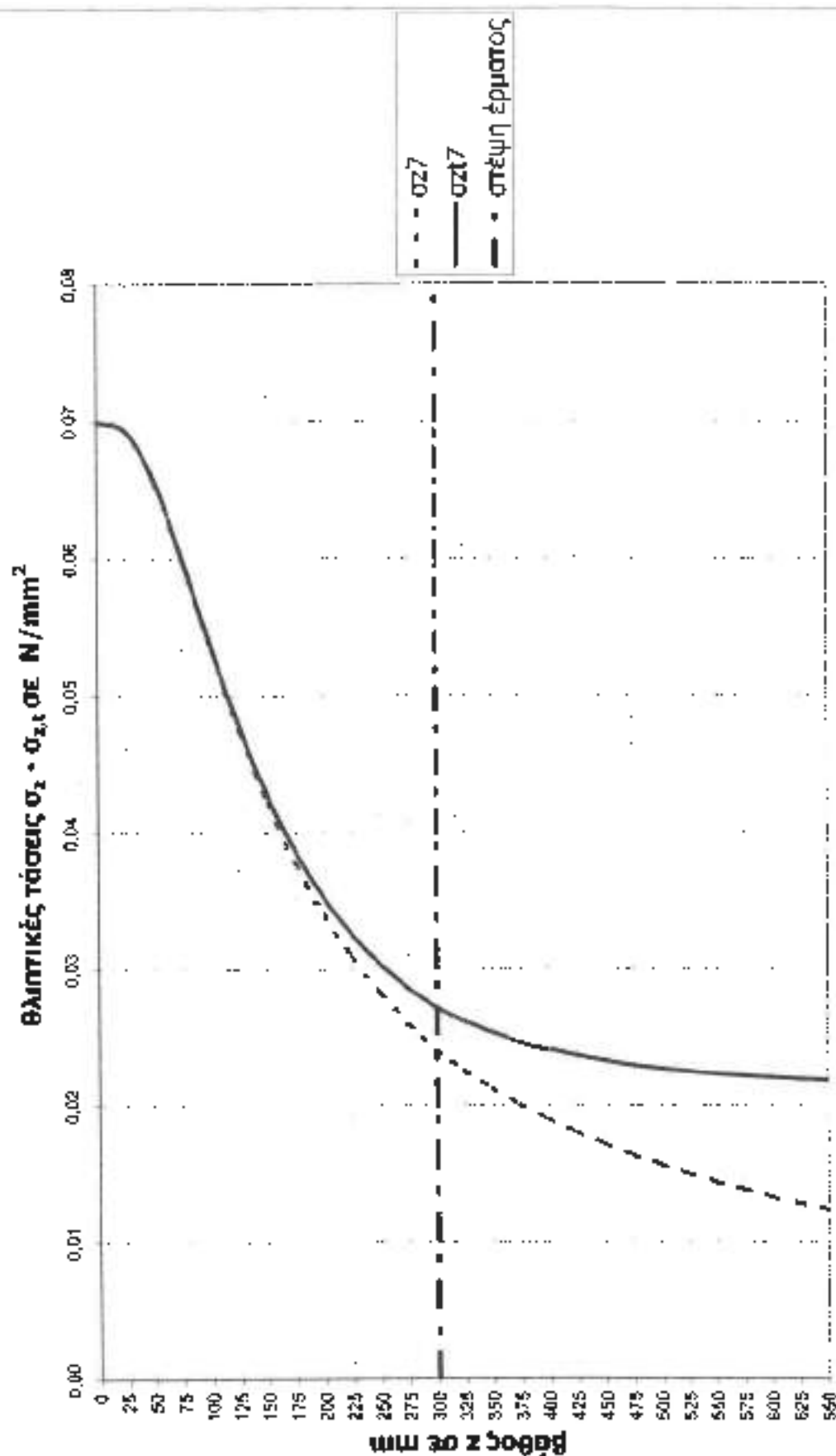
7ο σημείο

Επίδραση διπλανών στρωτήρων

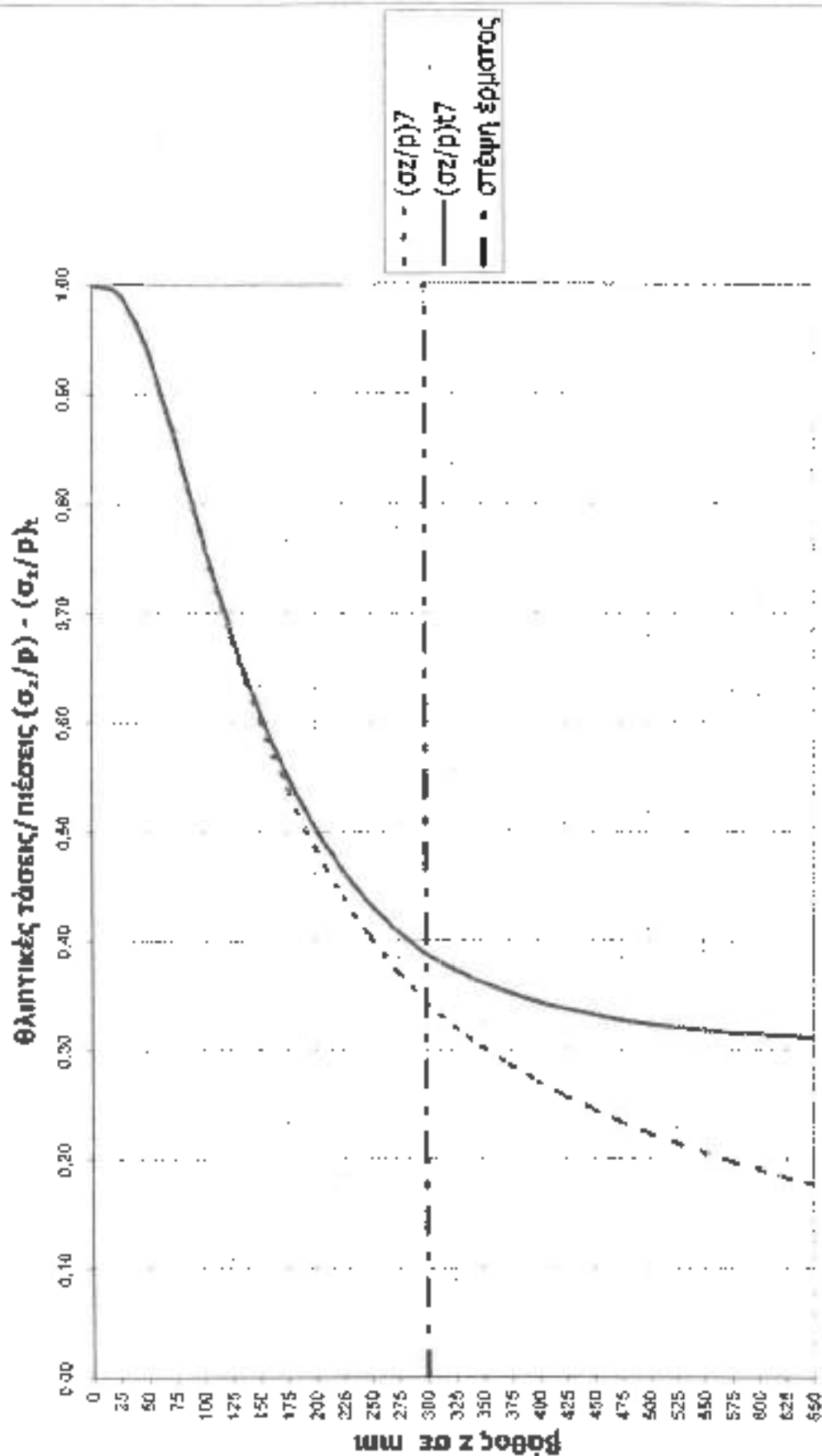
π	b _s	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες			π	b _s	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες		
3.14159	300	670	0.06998	4			3.14159	300	670	0.06998	4		
στρωτήρας 2							στρωτήρας 3						
ορ. Αποστ	2090		1790				ορ. Αποστ	3060		2760			
z'	υποτείνουσα ₁	a ₁	υποτείνουσα ₂	a ₂	σ' _z	σ' _z /ρ	z'	υποτείνουσα ₁	a ₁	υποτείνουσα ₂	a ₂	σ' _z	σ' _z /ρ
0.0000	2090.0000	0.0000	1790.0000	0.0000	0.00000	0.00000	0.0000	3060.0000	0.0000	2760.0000	0.0000	0.00000	0.00000
44.0423	2090.4640	0.0211	1790.5417	0.0246	0.00000	0.00000	44.0423	3060.3169	0.0144	2760.3514	0.0160	0.00000	0.00000
88.0845	2091.8554	0.0421	1792.1660	0.0492	0.00000	0.00001	88.0845	3061.2675	0.0288	2761.4052	0.0319	0.00000	0.00000
132.1268	2094.1723	0.0631	1794.8698	0.0737	0.00000	0.00003	132.1268	3062.8512	0.0432	2763.1608	0.0478	0.00000	0.00001
176.1690	2097.4116	0.0841	1798.6483	0.0981	0.00001	0.00007	176.1690	3065.0670	0.0575	2765.6167	0.0637	0.00000	0.00001
220.2113	2101.5692	0.1050	1803.4947	0.1224	0.00001	0.00014	220.2113	3067.9135	0.0718	2768.7710	0.0795	0.00000	0.00003
264.2536	2106.6395	0.1258	1809.4004	0.1466	0.00002	0.00024	264.2536	3071.3889	0.0861	2772.6215	0.0955	0.00000	0.00005
308.2958	2112.6160	0.1465	1816.3552	0.1706	0.00003	0.00038	308.2958	3075.4912	0.1004	2777.1652	0.1112	0.00001	0.00008
352.3381	2119.4910	0.1670	1824.3470	0.1944	0.00004	0.00056	352.3381	3080.2179	0.1146	2782.3986	0.1270	0.00001	0.00011
396.3803	2127.2558	0.1874	1833.3623	0.2179	0.00006	0.00079	396.3803	3085.5660	0.1288	2788.3180	0.1426	0.00001	0.00016
440.4226	2135.9008	0.2077	1843.3860	0.2413	0.00007	0.00106	440.4226	3091.5323	0.1429	2794.9190	0.1582	0.00002	0.00022
484.4649	2145.4152	0.2278	1854.4018	0.2643	0.00010	0.00138	484.4649	3098.1133	0.1570	2802.1967	0.1738	0.00002	0.00029
528.5071	2155.7875	0.2477	1866.3922	0.2871	0.00012	0.00175	528.5071	3105.3051	0.1710	2810.1459	0.1892	0.00003	0.00037
566.9816	2165.5411	0.2649	1877.6496	0.3068	0.00015	0.00212	566.9816	3112.0842	0.1832	2817.6352	0.2026	0.00003	0.00045
605.4560	2175.9313	0.2820	1889.6235	0.3262	0.00018	0.00253	605.4560	3119.3232	0.1953	2825.6286	0.2159	0.00004	0.00055
643.9305	2186.9491	0.2989	1902.3003	0.3453	0.00021	0.00297	643.9305	3127.0188	0.2074	2834.1218	0.2292	0.00005	0.00065
682.4050	2198.5851	0.3156	1915.6661	0.3642	0.00024	0.00345	682.4050	3135.1677	0.2194	2843.1104	0.2424	0.00005	0.00077
720.8794	2210.8295	0.3321	1929.7065	0.3829	0.00028	0.00396	720.8794	3143.7664	0.2314	2852.5896	0.2555	0.00006	0.00089
759.3539	2223.6723	0.3485	1944.4069	0.4012	0.00032	0.00450	759.3539	3152.8112	0.2432	2862.5545	0.2685	0.00007	0.00103
797.8283	2237.1031	0.3647	1959.7526	0.4193	0.00036	0.00508	797.8283	3162.2982	0.2551	2873.0002	0.2814	0.00008	0.00118
836.3028	2251.1114	0.3806	1975.7283	0.4371	0.00040	0.00569	836.3028	3172.2236	0.2668	2883.9214	0.2942	0.00009	0.00134
874.7773	2265.6865	0.3964	1992.3191	0.4546	0.00044	0.00632	874.7773	3182.5831	0.2784	2895.3126	0.3069	0.00011	0.00151
913.2517	2280.8176	0.4120	2009.5096	0.4718	0.00049	0.00697	913.2517	3193.3726	0.2900	2907.1685	0.3195	0.00012	0.00169
951.7262	2296.4936	0.4273	2027.2846	0.4887	0.00053	0.00764	951.7262	3204.5878	0.3015	2919.4833	0.3321	0.00013	0.00189
990.2006	2312.7035	0.4425	2045.6288	0.5053	0.00058	0.00834	990.2006	3216.2241	0.3130	2932.2512	0.3445	0.00015	0.00209
1028.6751	2329.4361	0.4574	2064.5272	0.5216	0.00063	0.00904	1028.6751	3228.2770	0.3243	2945.4664	0.3568	0.00016	0.00231
1067.1496	2346.6802	0.4721	2083.9645	0.5376	0.00068	0.00976	1067.1496	3240.7419	0.3356	2959.1229	0.3689	0.00018	0.00253

ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2_7 Υπολογισμός τάσεων σ _z και του λόγου τάσεων/πιέσεων σ _z /ρ με την επίδραση των γεγονικών στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις									
7ο σημείο									
Επίδραση διπλανών στρωτήρων									
n	b _s	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες					
3.14159	300	670	0.06998	4					
στρωτήρας 4									
ορ. Αποστ	4030		3730				Συνολικές τάσεις		
z'	υποτεινόμενα ₁	a ₁	υποτεινόμενα ₂	a ₂	σ' _z	σ' _z /ρ	z	σ _{zL}	(σ _z /ρ) _L
0.0000	4030.0000	0.0000	3730.0000	0.0000	0.00000	0.00000	0	0.06998	1.00000
44.0423	4030.2407	0.0109	3730.2600	0.0118	0.00000	0.00000	25	0.06930	0.99032
88.0845	4030.9625	0.0219	3731.0399	0.0236	0.00000	0.00000	50	0.06580	0.94029
132.1268	4032.1654	0.0328	3732.3394	0.0354	0.00000	0.00000	75	0.05998	0.85716
176.1690	4033.8487	0.0437	3734.1579	0.0472	0.00000	0.00000	100	0.05359	0.76584
220.2113	4036.0120	0.0546	3736.4948	0.0590	0.00000	0.00001	125	0.04770	0.68173
264.2536	4038.6545	0.0655	3739.3489	0.0707	0.00000	0.00002	150	0.04268	0.60999
308.2958	4041.7751	0.0764	3742.7191	0.0825	0.00000	0.00002	175	0.03854	0.55083
352.3381	4045.3729	0.0872	3746.6041	0.0942	0.00000	0.00004	200	0.03518	0.50275
396.3803	4049.4466	0.0980	3751.0022	0.1059	0.00000	0.00005	225	0.03246	0.46393
440.4226	4053.9946	0.1089	3755.9116	0.1175	0.00000	0.00007	250	0.03028	0.43267
484.4649	4059.0154	0.1196	3761.3304	0.1292	0.00001	0.00009	275	0.02852	0.40754
528.5071	4064.5073	0.1304	3767.2563	0.1408	0.00001	0.00012	300	0.02711	0.38736
566.9816	4069.6889	0.1398	3772.8462	0.1509	0.00001	0.00015	325	0.02610	0.37303
605.4560	4075.2272	0.1491	3778.8195	0.1609	0.00001	0.00018	350	0.02528	0.36122
643.9305	4081.1207	0.1584	3785.1746	0.1710	0.00001	0.00021	375	0.02460	0.35150
682.4050	4087.3679	0.1677	3791.9094	0.1809	0.00002	0.00025	400	0.02404	0.34351
720.8794	4093.9672	0.1770	3799.0219	0.1909	0.00002	0.00030	425	0.02358	0.33694
759.3539	4100.9168	0.1862	3806.5100	0.2008	0.00002	0.00034	450	0.02320	0.33154
797.8283	4108.2149	0.1954	3814.3715	0.2107	0.00003	0.00040	475	0.02289	0.32710
836.3028	4115.8599	0.2046	3822.6041	0.2206	0.00003	0.00045	500	0.02263	0.32346
874.7773	4123.8496	0.2138	3831.2055	0.2304	0.00004	0.00051	525	0.02242	0.32046
913.2517	4132.1821	0.2228	3840.1730	0.2401	0.00004	0.00058	550	0.02225	0.31799
951.7262	4140.8553	0.2319	3849.5042	0.2498	0.00005	0.00065	575	0.02211	0.31595
990.2006	4149.8671	0.2409	3859.1965	0.2595	0.00005	0.00072	600	0.02199	0.31426
1028.6751	4159.2154	0.2499	3869.2470	0.2691	0.00006	0.00080	625	0.02189	0.31285
1067.1496	4168.8977	0.2589	3879.6531	0.2787	0.00006	0.00089	650	0.02181	0.31167

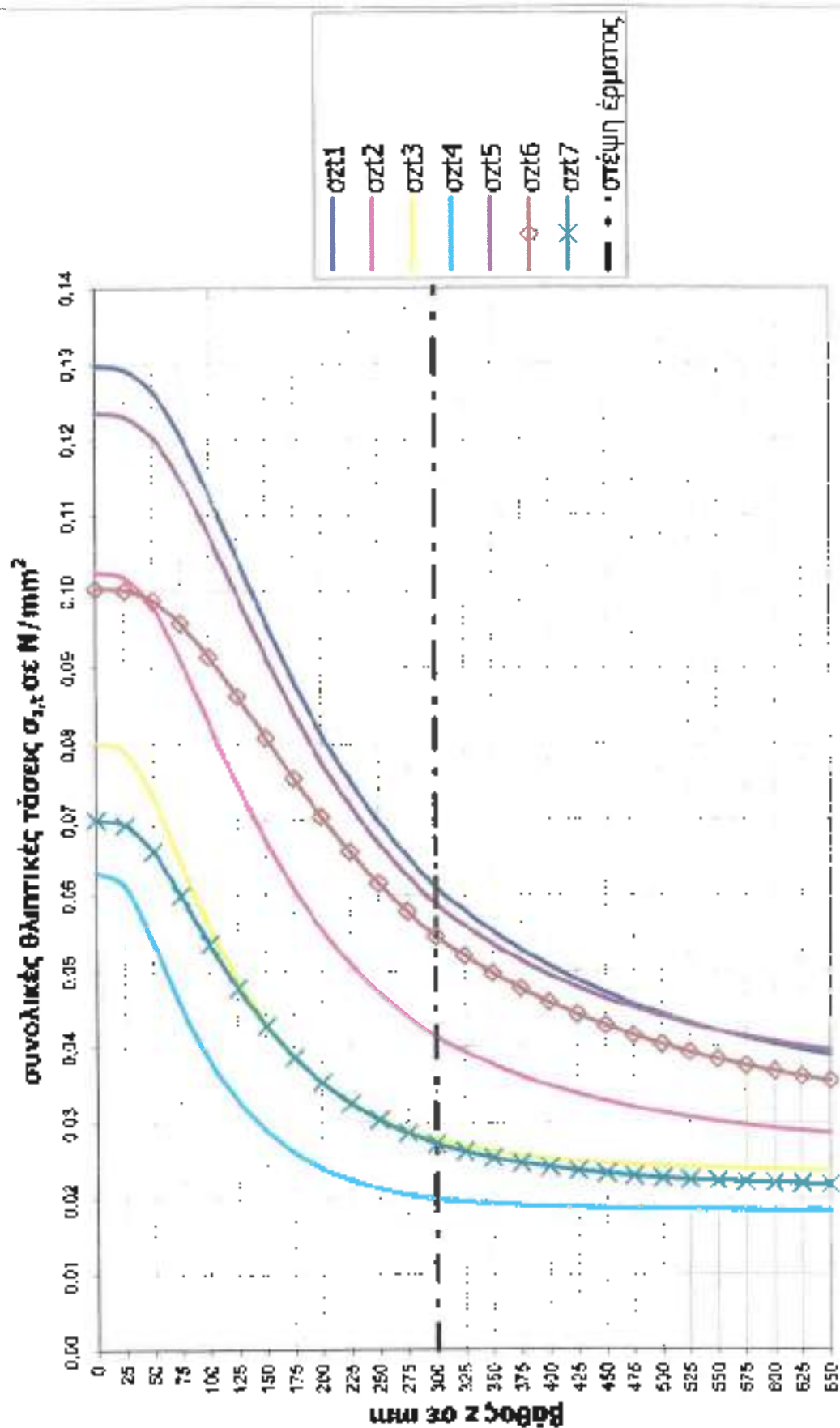
Σημείο 7ο - σύγκριση τάσεων σ_z με και χωρίς την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων



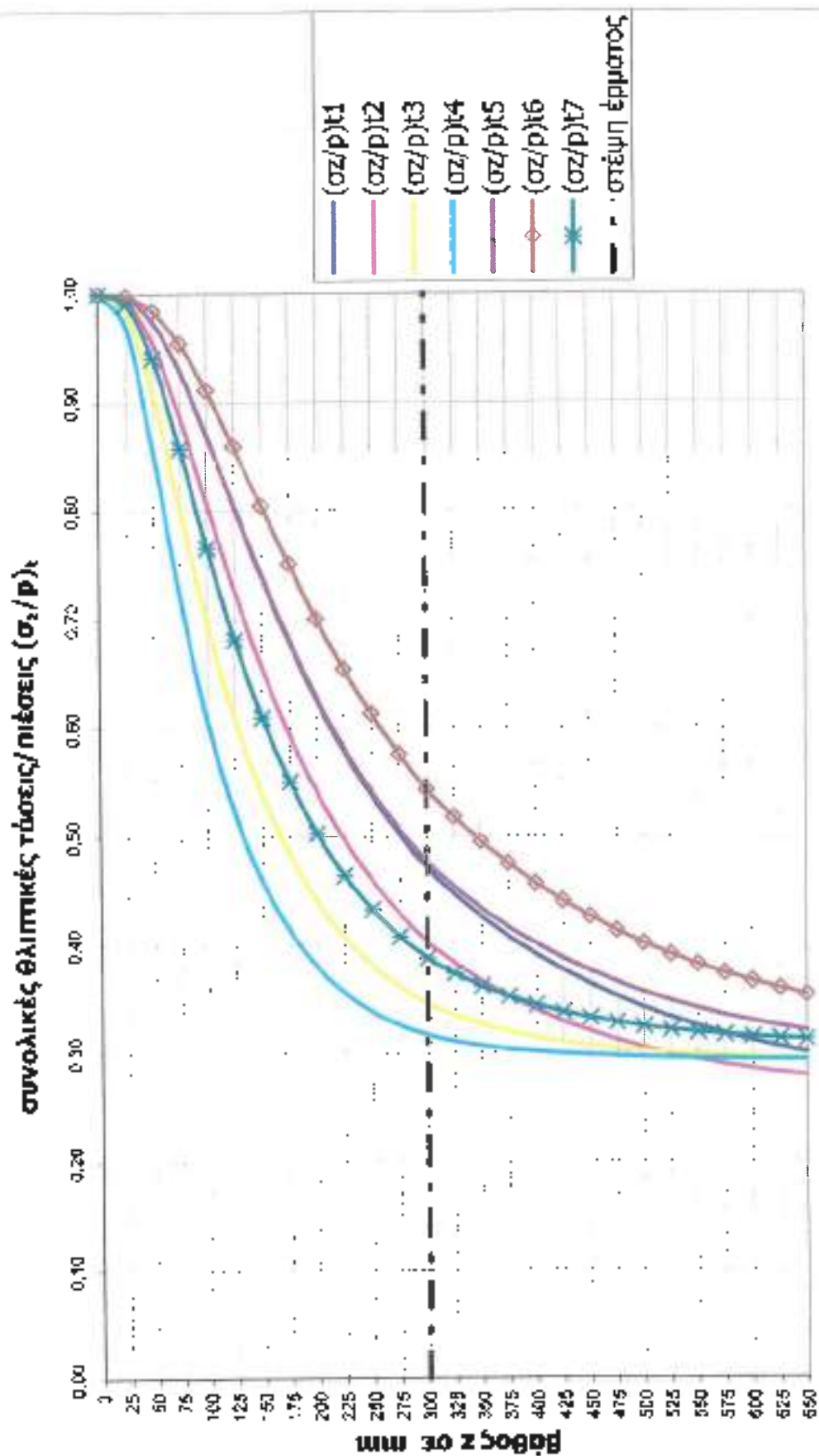
Σημείο 7ο - σύγκριση του λόγου τάσεων/πιέσεων σ_z/p με και χωρίς την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων



Συνολικές τάσεις σε πραγματικό βάθος με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων



Συνολικές τάσεις/πίεσεις σε πραγματικό βάθος με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων



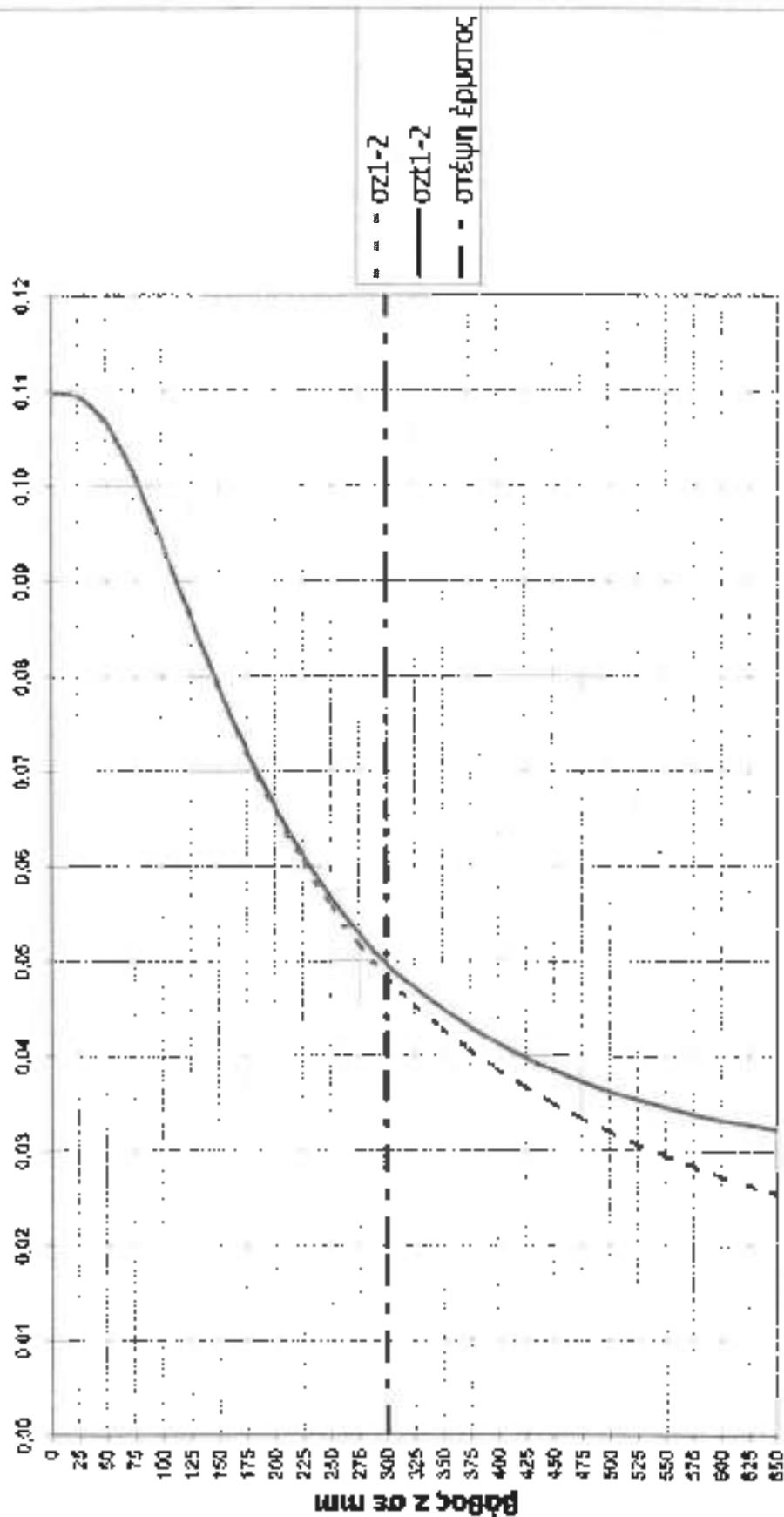
ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2_8 Υπολογισμός τάσεων σ _z και του λόγου τάσεων/πιέσεων σ _z /ρ									
με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις αναμενόμενες βυθίσεις									
1ο - 2ο σημείο									
Επίδραση διπλανών στρωτήρων									
Τάσεις κάτω από τον στρωτήρα				n	b _s	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες	
3.141592654	250	0.109821202		3.14159	250	700	0.10982	4	
n	b _s	ρ(N/mm ²)		στρωτήρας 1					
z	z'	σ _z	σ _z /ρ	op. Αποστ	1075		825		
0	0.0000	0.10982	1.00000	z	z'	υποτείνουσ ₁	a ₁	υποτείνουσ ₂	a ₂
25	27.7449	0.10934	0.99562	0	0.0000	1075.0000	0.0000	825.0000	0.0000
50	55.4898	0.10654	0.97011	25	27.7449	1075.3580	0.0258	825.4664	0.0336
75	83.2347	0.10100	0.91970	50	55.4898	1076.4312	0.0516	826.8640	0.0672
100	110.9795	0.09377	0.85385	75	83.2347	1078.2175	0.0773	829.1882	0.1006
125	138.7244	0.08604	0.78349	100	110.9795	1080.7134	0.1029	832.4311	0.1337
150	166.4693	0.07860	0.71571	125	138.7244	1083.9140	0.1283	836.5820	0.1666
175	194.2142	0.07180	0.65379	150	166.4693	1087.8130	0.1536	841.6276	0.1991
200	221.9591	0.06575	0.59871	175	194.2142	1092.4029	0.1787	847.5519	0.2312
225	249.7040	0.06043	0.55030	200	221.9591	1097.6752	0.2036	854.3365	0.2628
250	277.4489	0.05578	0.50790	225	249.7040	1103.6200	0.2282	861.9612	0.2939
275	305.1937	0.05170	0.47076	250	277.4489	1110.2265	0.2526	870.4039	0.3244
300	332.9386	0.04812	0.43814	275	305.1937	1117.4830	0.2766	879.6410	0.3543
325	357.1760	0.04533	0.41280	300	332.9386	1125.3769	0.3003	889.6478	0.3836
350	381.4134	0.04283	0.39002	325	357.1760	1132.7841	0.3208	898.9993	0.4086
375	405.6508	0.04057	0.36945	350	381.4134	1140.6582	0.3409	908.9011	0.4331
400	429.8882	0.03853	0.35083	375	405.6508	1148.9898	0.3608	919.3354	0.4570
425	454.1256	0.03667	0.33389	400	429.8882	1157.7689	0.3804	930.2843	0.4804
450	478.3630	0.03497	0.31844	425	454.1256	1166.9855	0.3997	941.7298	0.5032
475	502.6004	0.03342	0.30429	450	478.3630	1176.6291	0.4187	953.6541	0.5255
500	526.8378	0.03199	0.29130	475	502.6004	1186.6896	0.4373	966.0394	0.5472
525	551.0751	0.03068	0.27934	500	526.8378	1197.1562	0.4557	978.8682	0.5683
550	575.3125	0.02946	0.26829	525	551.0751	1208.0185	0.4737	992.1234	0.5889
575	599.5499	0.02834	0.25805	550	575.3125	1219.2660	0.4914	1005.7880	0.6089
600	623.7873	0.02730	0.24855	575	599.5499	1230.8879	0.5088	1019.8456	0.6284
625	648.0247	0.02632	0.23970	600	623.7873	1242.8739	0.5258	1034.2802	0.6474
650	672.2621	0.02542	0.23145	625	648.0247	1255.2135	0.5425	1049.0763	0.6658
				650	672.2621	1267.8964	0.5589	1064.2186	0.6837

ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2_8 Υπολογισμός τάσεων σ_z και του λόγου τάσεων/πιέσεων σ_z/ρ με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις αναμενόμενες βυθίσεις 1ο - 2ο σημείο Επίδραση διπλανών στρωτήρων													
π	b _s	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες				π	b _s	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες	
3.14159	250	700	0.10982	4				3.14159	250	700	0.10982	4	
στρωτήρας 2							στρωτήρας 3						
ορ. Αποστ	2025		1775				ορ. Αποστ	2975		2725			
z'	υποτείνουσα ₁	a ₁	υποτείνουσα ₂	a ₂	σ' _z	σ' _z /ρ	z'	υποτείνουσα ₁	a ₁	υποτείνουσα ₂	a ₂	σ' _z	σ' _z /ρ
0.0000	2025.0000	0.0000	1775.0000	0.0000	0.00000	0.00000	0.0000	2975.0000	0.0000	2725.0000	0.0000	0.00000	0.00000
27.7449	2025.1901	0.0137	1775.2168	0.0156	0.00000	0.00000	27.7449	2975.1294	0.0093	2725.1412	0.0102	0.00000	0.00000
55.4898	2025.7601	0.0274	1775.8671	0.0313	0.00000	0.00000	55.4898	2975.5175	0.0186	2725.5649	0.0204	0.00000	0.00000
83.2347	2026.7099	0.0411	1776.9505	0.0469	0.00000	0.00001	83.2347	2976.1641	0.0280	2726.2709	0.0305	0.00000	0.00000
110.9795	2028.0388	0.0547	1778.4660	0.0624	0.00000	0.00002	110.9795	2977.0693	0.0373	2727.2590	0.0407	0.00000	0.00000
138.7244	2029.7462	0.0684	1780.4127	0.0780	0.00000	0.00003	138.7244	2978.2326	0.0466	2728.5288	0.0509	0.00000	0.00001
166.4693	2031.8310	0.0820	1782.7891	0.0935	0.00001	0.00006	166.4693	2979.6538	0.0559	2730.0800	0.0610	0.00000	0.00001
194.2142	2034.2921	0.0956	1785.5935	0.1090	0.00001	0.00009	194.2142	2981.3326	0.0652	2731.9122	0.0712	0.00000	0.00002
221.9591	2037.1281	0.1092	1788.8239	0.1244	0.00001	0.00013	221.9591	2983.2685	0.0745	2734.0247	0.0813	0.00000	0.00003
249.7040	2040.3375	0.1227	1792.4779	0.1398	0.00002	0.00019	249.7040	2985.4609	0.0837	2736.4168	0.0914	0.00000	0.00004
277.4489	2043.9185	0.1362	1796.5531	0.1551	0.00003	0.00025	277.4489	2987.9094	0.0930	2739.0880	0.1015	0.00001	0.00005
305.1937	2047.8692	0.1496	1801.0464	0.1703	0.00004	0.00033	305.1937	2990.6134	0.1022	2742.0372	0.1115	0.00001	0.00007
332.9386	2052.1874	0.1630	1805.9549	0.1854	0.00005	0.00043	332.9386	2993.5720	0.1114	2745.2638	0.1216	0.00001	0.00009
357.1760	2056.2587	0.1746	1810.5799	0.1986	0.00006	0.00053	357.1760	2996.3644	0.1195	2748.3085	0.1303	0.00001	0.00011
381.4134	2060.6070	0.1862	1815.5168	0.2117	0.00007	0.00063	381.4134	2999.3501	0.1275	2751.5634	0.1391	0.00001	0.00013
405.6508	2065.2306	0.1977	1820.7629	0.2247	0.00008	0.00076	405.6508	3002.5285	0.1355	2755.0277	0.1478	0.00002	0.00016
429.8882	2070.1277	0.2092	1826.3157	0.2376	0.00010	0.00089	429.8882	3005.8990	0.1435	2758.7006	0.1565	0.00002	0.00018
454.1256	2075.2964	0.2206	1832.1722	0.2505	0.00011	0.00104	454.1256	3009.4609	0.1515	2762.5812	0.1651	0.00002	0.00022
478.3630	2080.7345	0.2320	1838.3297	0.2632	0.00013	0.00120	478.3630	3013.2136	0.1594	2766.6688	0.1738	0.00003	0.00025
502.6004	2086.4401	0.2433	1844.7851	0.2759	0.00015	0.00137	502.6004	3017.1563	0.1674	2770.9623	0.1824	0.00003	0.00029
526.8378	2092.4108	0.2545	1851.5353	0.2885	0.00017	0.00156	526.8378	3021.2883	0.1753	2775.4609	0.1910	0.00004	0.00033
551.0751	2098.6445	0.2657	1858.5771	0.3010	0.00019	0.00176	551.0751	3025.6088	0.1832	2780.1635	0.1995	0.00004	0.00038
575.3125	2105.1388	0.2768	1865.9072	0.3134	0.00022	0.00197	575.3125	3030.1171	0.1910	2785.0690	0.2081	0.00005	0.00043
599.5499	2111.8914	0.2879	1873.5221	0.3257	0.00024	0.00220	599.5499	3034.8122	0.1989	2790.1765	0.2166	0.00005	0.00048
623.7873	2118.8996	0.2988	1881.4185	0.3379	0.00027	0.00244	623.7873	3039.6933	0.2067	2795.4849	0.2250	0.00006	0.00054
648.0247	2126.1611	0.3097	1889.5928	0.3500	0.00030	0.00270	648.0247	3044.7596	0.2145	2800.9929	0.2335	0.00007	0.00060
672.2621	2133.6732	0.3205	1898.0414	0.3620	0.00033	0.00296	672.2621	3050.0101	0.2222	2806.6994	0.2419	0.00007	0.00066

ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2_8 Υπολογισμός τάσεων σ _z και του λόγου τάσεων/πιέσεων σ _z /ρ									
με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις αναμενόμενες βυθίσεις									
1ο - 2ο σημείο									
Επίδραση διπλανών στρωτήρων									
n	b _s	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες					
3.14159	250	700	0.10982	4					
στρωτήρας 4									
ορ. Αποστ	3925		3675				Συνολικές τάσεις		
z'	υποτεινόμενα ₁	a ₁	υποτεινόμενα ₂	a ₂	σ' _z	σ' _z /ρ	z	σ _{z,i}	(σ _z /ρ) _i
0.0000	3925.0000	0.0000	3675.0000	0.0000	0.00000	0.00000	0	0.10982	1.00000
27.7449	3925.0981	0.0071	3675.1047	0.0075	0.00000	0.00000	25	0.10934	0.99563
55.4898	3925.3922	0.0141	3675.4189	0.0151	0.00000	0.00000	50	0.10655	0.97019
83.2347	3925.8824	0.0212	3675.9425	0.0226	0.00000	0.00000	75	0.10103	0.91996
110.9795	3926.5687	0.0283	3676.6753	0.0302	0.00000	0.00000	100	0.09384	0.85444
138.7244	3927.4508	0.0353	3677.6174	0.0377	0.00000	0.00000	125	0.08617	0.78463
166.4693	3928.5286	0.0424	3678.7684	0.0453	0.00000	0.00000	150	0.07881	0.71764
194.2142	3929.8021	0.0494	3680.1283	0.0528	0.00000	0.00001	175	0.07213	0.65680
221.9591	3931.2709	0.0565	3681.6967	0.0603	0.00000	0.00001	200	0.06623	0.60309
249.7040	3932.9349	0.0635	3683.4735	0.0678	0.00000	0.00001	225	0.06110	0.55637
277.4489	3934.7939	0.0706	3685.4583	0.0754	0.00000	0.00002	250	0.05667	0.51598
305.1937	3936.8475	0.0776	3687.6508	0.0829	0.00000	0.00002	275	0.05284	0.48117
332.9386	3939.0955	0.0846	3690.0506	0.0903	0.00000	0.00003	300	0.04955	0.45119
357.1760	3941.2180	0.0908	3692.3163	0.0969	0.00000	0.00003	325	0.04705	0.42841
381.4134	3943.4885	0.0969	3694.7397	0.1034	0.00000	0.00004	350	0.04485	0.40839
405.6508	3945.9064	0.1030	3697.3203	0.1099	0.00001	0.00005	375	0.04292	0.39080
429.8882	3948.4717	0.1091	3700.0580	0.1164	0.00001	0.00006	400	0.04122	0.37531
454.1256	3951.1840	0.1152	3702.9522	0.1229	0.00001	0.00007	425	0.03972	0.36169
478.3630	3954.0430	0.1213	3706.0027	0.1294	0.00001	0.00008	450	0.03840	0.34968
502.6004	3957.0484	0.1274	3709.2091	0.1359	0.00001	0.00009	475	0.03724	0.33911
526.8378	3960.1999	0.1334	3712.5709	0.1424	0.00001	0.00011	500	0.03622	0.32980
551.0751	3963.4970	0.1395	3716.0878	0.1488	0.00001	0.00012	525	0.03532	0.32159
575.3125	3966.9396	0.1455	3719.7593	0.1553	0.00002	0.00014	550	0.03452	0.31436
599.5499	3970.5271	0.1516	3723.5850	0.1617	0.00002	0.00016	575	0.03382	0.30799
623.7873	3974.2591	0.1576	3727.5643	0.1681	0.00002	0.00018	600	0.03321	0.30238
648.0247	3978.1354	0.1636	3731.6968	0.1745	0.00002	0.00020	625	0.03266	0.29744
672.2621	3982.1554	0.1696	3735.9820	0.1809	0.00002	0.00022	650	0.03219	0.29308

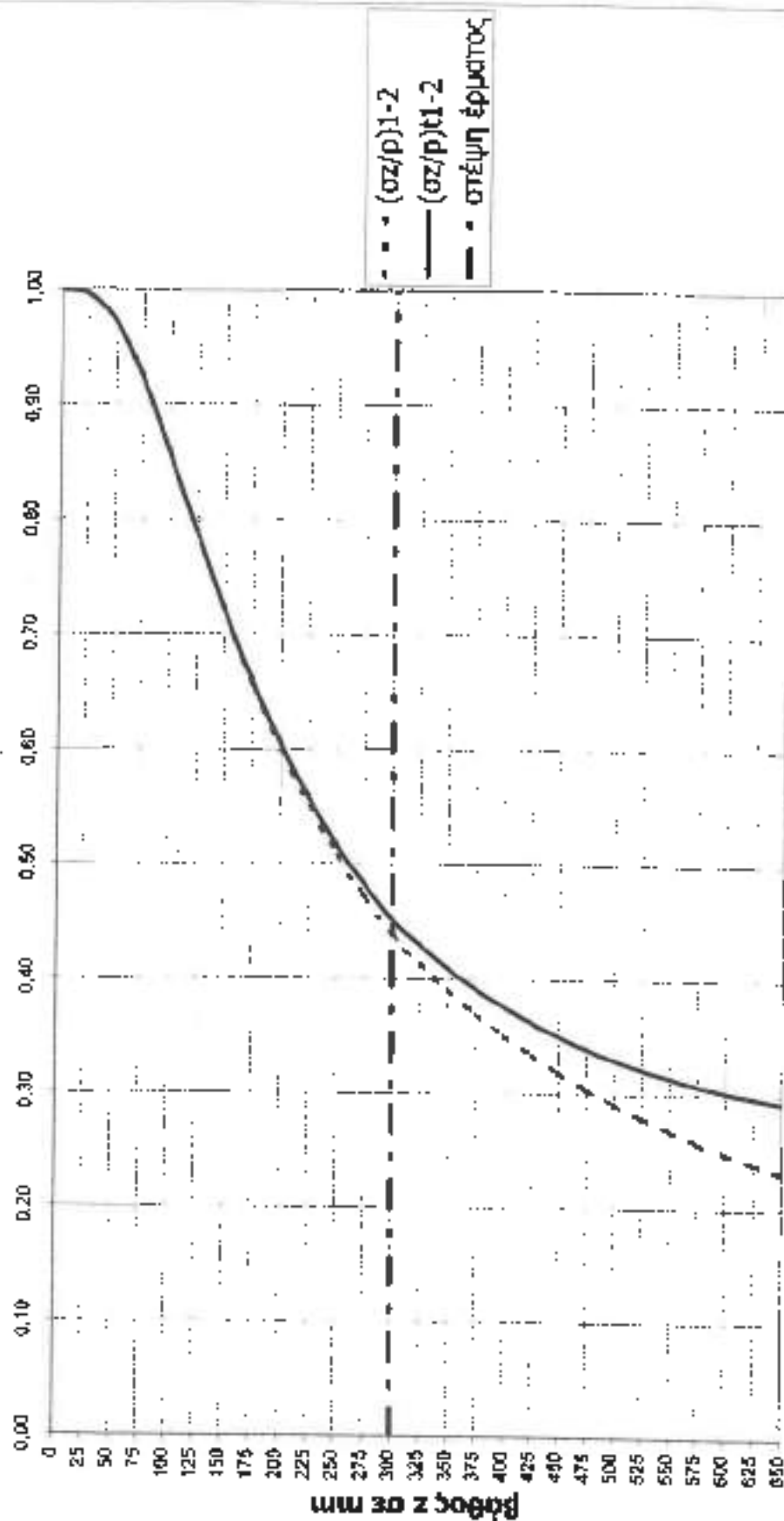
Σημείο 1ο-2ο - σύγκριση αναμενόμενων τάσεων σ_z με και χωρίς την επίδραση των
γεγονικών στρωτήρων

αναμενόμενες θλιπτικές τάσεις $\sigma_z - \sigma_{z,t}$ σε N/mm^2



Σημεία 10-20 - σύγκριση του λόγου αναμενόμενων τάσεων/πιέσεων σ_z/p με και χωρίς την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων

αναμενόμενες θλιπτικές τάσεις/πιέσεις $(\sigma_z/p) - (\sigma_z/p)_\lambda$



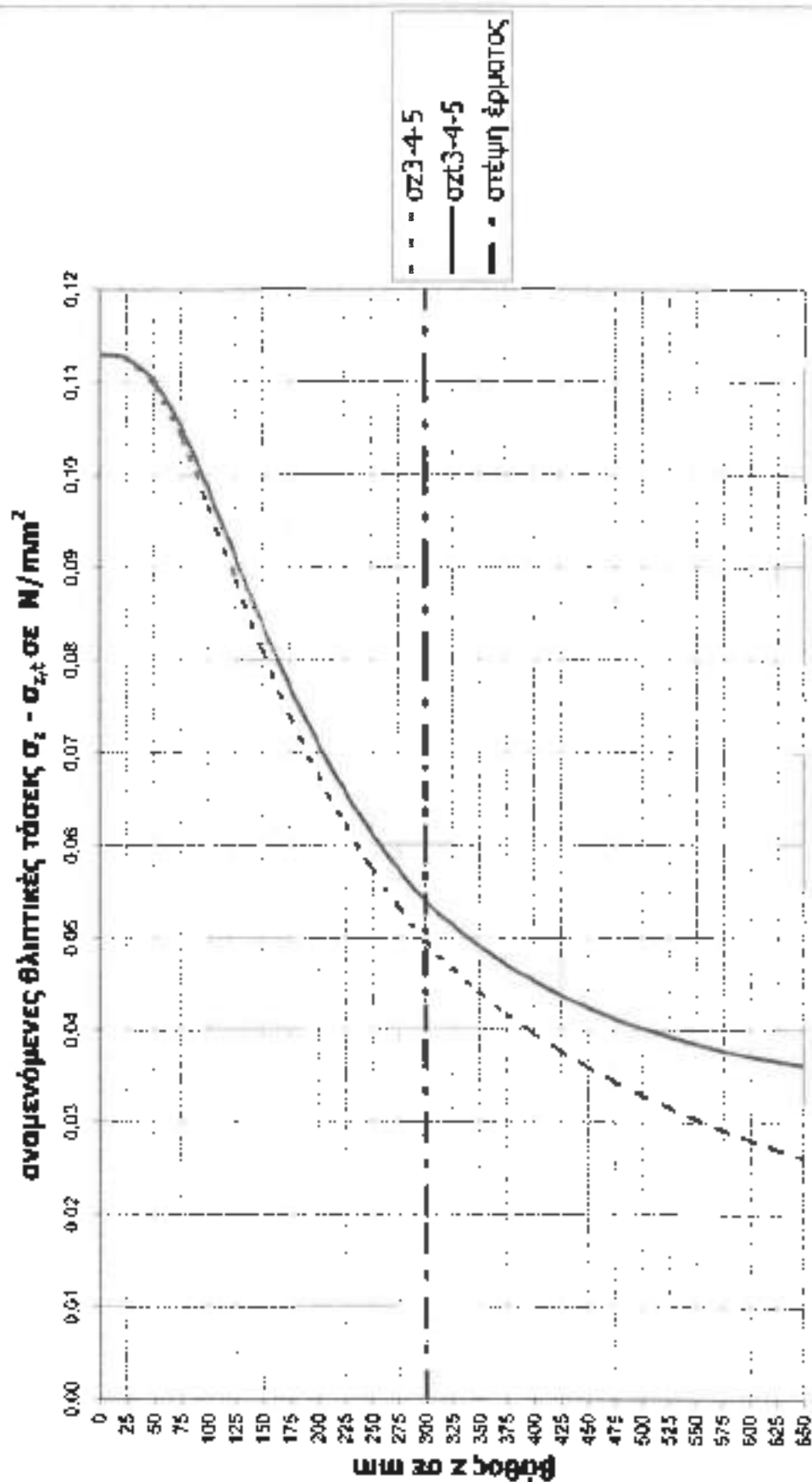
ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2 9 Υπολογισμός τάσεων σ _z και του λόγου τάσεων/πιέσεων σ _z /ρ											
με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις αναμενόμενες βυθίσεις											
3ο - 4ο - 5ο σημείο											
				Επίδραση διπλών στρωτήρων							
				η	b _s	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες			
Τάσεις κάτω από τον στρωτήρα				3.14159	250	600	0.11297	3			
η	b _s	ρ(N/mm ²)		στρωτήρας 1							
3.141592654	250	0.11297		ορ. Αποστ		975		725			
z	z'	σ _z	σ _z /ρ	z	z'	υποτεινуща ₁	a ₁	υποτεινуща ₂	a ₂	σ' _z	σ' _z /ρ
0	0.0000	0.11297	1.00000	0	0.0000	975.0000	0.0000	725.0000	0.0000	0.00000	0.00000
25	26.2002	0.11255	0.99629	25	26.2002	975.3520	0.0269	725.4733	0.0361	0.00000	0.00001
50	52.4005	0.11006	0.97428	50	52.4005	976.4071	0.0537	726.8912	0.0722	0.00001	0.00005
75	78.6007	0.10500	0.92952	75	78.6007	978.1631	0.0804	729.2483	0.1080	0.00002	0.00016
100	104.8009	0.09819	0.86924	100	104.8009	980.6163	0.1071	732.5355	0.1436	0.00004	0.00037
125	131.0011	0.09072	0.80304	125	131.0011	983.7613	0.1336	736.7403	0.1788	0.00008	0.00070
150	157.2014	0.08335	0.73780	150	157.2014	987.5917	0.1599	741.8472	0.2135	0.00013	0.00118
175	183.4016	0.07649	0.67713	175	183.4016	992.0994	0.1859	747.8376	0.2478	0.00021	0.00183
200	209.6018	0.07031	0.62240	200	209.6018	997.2753	0.2118	754.6906	0.2814	0.00030	0.00266
225	235.8021	0.06481	0.57376	225	235.8021	1003.1090	0.2373	762.3828	0.3145	0.00041	0.00367
250	262.0023	0.05996	0.53081	250	262.0023	1009.5891	0.2625	770.8892	0.3468	0.00055	0.00485
275	288.2025	0.05568	0.49293	275	288.2025	1016.7033	0.2874	780.1831	0.3784	0.00070	0.00621
300	314.4027	0.05190	0.45947	300	314.4027	1024.4384	0.3119	790.2367	0.4092	0.00087	0.00774
325	337.2907	0.04896	0.43338	325	337.2907	1031.6928	0.3331	799.6187	0.4354	0.00104	0.00920
350	360.1787	0.04630	0.40985	350	360.1787	1039.4007	0.3539	809.5392	0.4611	0.00122	0.01076
375	383.0668	0.04389	0.38855	375	383.0668	1047.5520	0.3744	819.9787	0.4861	0.00140	0.01242
400	405.9548	0.04171	0.36921	400	405.9548	1056.1365	0.3945	830.9177	0.5104	0.00160	0.01416
425	428.8428	0.03972	0.35159	425	428.8428	1065.1437	0.4144	842.3367	0.5342	0.00180	0.01596
450	451.7308	0.03790	0.33549	450	451.7308	1074.5630	0.4339	854.2164	0.5572	0.00201	0.01781
475	474.6188	0.03623	0.32073	475	474.6188	1084.3837	0.4530	866.5379	0.5796	0.00223	0.01970
500	497.5068	0.03470	0.30716	500	497.5068	1094.5949	0.4718	879.2827	0.6014	0.00244	0.02162
525	520.3948	0.03329	0.29465	525	520.3948	1105.1858	0.4903	892.4325	0.6226	0.00266	0.02355
550	543.2828	0.03198	0.28308	550	543.2828	1116.1457	0.5084	905.9698	0.6431	0.00288	0.02548
575	566.1708	0.03077	0.27236	575	566.1708	1127.4637	0.5261	919.8774	0.6630	0.00309	0.02740
600	589.0588	0.02964	0.26239	600	589.0588	1139.1292	0.5435	934.1388	0.6823	0.00331	0.02930
625	611.9468	0.02859	0.25311	625	611.9468	1151.1316	0.5605	948.7381	0.7010	0.00352	0.03117
650	634.8348	0.02761	0.24444	650	634.8348	1163.4605	0.5772	963.6598	0.7192	0.00373	0.03300

**ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2 9 Υπολογισμός τάσεων στ και του λόγου τάσεων/πίεσεων σ_z/p
με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις αναμενόμενες βυθίσεις
3α - 4α - 5α σημείο**

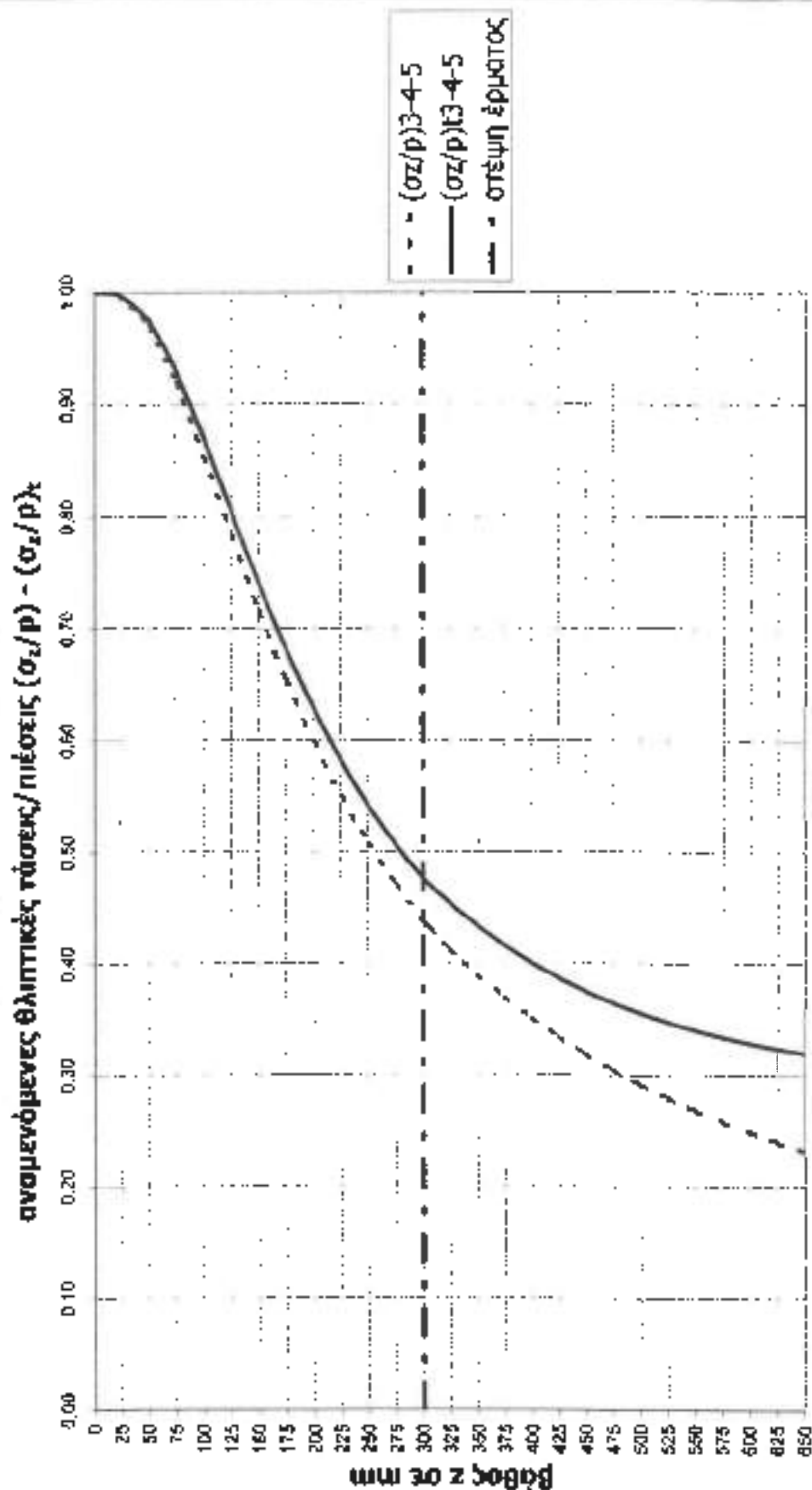
Επίδραση διπλανών στρωτήρων

n	b _s	a(mm)	p(N/mm ²)	στρωτήρες			n	b _s	a(mm)	p(N/mm ²)	στρωτήρες					
3.14159	250	600	0.11297	3			3.14159	250	600	0.11297	3					
στρωτήρας 2							στρωτήρας 3							Συνολικές τάσεις		
ορ. Απόστ	1825		1575				ορ. Απόστ	2675		2425				z	$\sigma_{z,t}$	$(\sigma_z/p)_t$
z'	υποστεινουςα ₁	a ₁	υποστεινουςα ₂	a ₂	σ'_z	σ'_z/p	z'	υποστεινουςα ₁	a ₁	υποστεινουςα ₂	a ₂	σ'_z	σ'_z/p			
0.0000	1825.0000	0.0000	1575.0000	0.0000	0.00000	0.00000	0.0000	2675.0000	0.0000	2425.0000	0.0000	0.00000	0.00000	0	0.11297	1.00000
26.2002	1825.1881	0.0144	1575.2179	0.0166	0.00000	0.00000	26.2002	2675.1283	0.0098	2425.1415	0.0108	0.00000	0.00000	25	0.11255	0.99630
52.4005	1825.7521	0.0287	1575.8714	0.0333	0.00000	0.00000	52.4005	2675.5132	0.0196	2425.5661	0.0216	0.00000	0.00000	50	0.11007	0.97438
78.6007	1826.6918	0.0430	1576.9601	0.0499	0.00000	0.00001	78.6007	2676.1545	0.0294	2426.2735	0.0324	0.00000	0.00000	75	0.10504	0.92986
104.8009	1828.0066	0.0574	1578.4829	0.0664	0.00000	0.00002	104.8009	2677.0522	0.0392	2427.2635	0.0432	0.00000	0.00000	100	0.09828	0.87003
131.0011	1829.6957	0.0717	1580.4386	0.0830	0.00000	0.00004	131.0011	2678.2058	0.0489	2428.5358	0.0540	0.00000	0.00001	125	0.09089	0.80454
157.2014	1831.7580	0.0859	1582.8257	0.0995	0.00001	0.00007	157.2014	2679.6151	0.0587	2430.0900	0.0647	0.00000	0.00001	150	0.08363	0.74034
183.4016	1834.1922	0.1002	1585.6422	0.1159	0.00001	0.00012	183.4016	2681.2798	0.0685	2431.9254	0.0755	0.00000	0.00002	175	0.07694	0.68107
209.6018	1836.9970	0.1143	1588.8857	0.1323	0.00002	0.00017	209.6018	2683.1992	0.0782	2434.0415	0.0862	0.00000	0.00003	200	0.07096	0.62813
235.8021	1840.1705	0.1285	1592.5538	0.1486	0.00003	0.00024	235.8021	2685.3729	0.0879	2436.4375	0.0969	0.00001	0.00005	225	0.06571	0.58168
262.0023	1843.7110	0.1426	1596.6434	0.1648	0.00004	0.00033	262.0023	2687.8003	0.0976	2439.1126	0.1076	0.00001	0.00007	250	0.06115	0.54131
288.2025	1847.6162	0.1566	1601.1514	0.1810	0.00005	0.00044	288.2025	2690.4806	0.1073	2442.0659	0.1183	0.00001	0.00009	275	0.05721	0.50641
314.4027	1851.8839	0.1706	1606.0741	0.1970	0.00006	0.00056	314.4027	2693.4131	0.1170	2445.2963	0.1289	0.00001	0.00011	300	0.05381	0.47631
337.2907	1855.9068	0.1828	1610.7110	0.2110	0.00008	0.00069	337.2907	2696.1806	0.1254	2448.3443	0.1382	0.00002	0.00014	325	0.05122	0.45344
360.1787	1860.2026	0.1949	1615.6589	0.2248	0.00009	0.00083	360.1787	2699.1394	0.1338	2451.6023	0.1474	0.00002	0.00017	350	0.04896	0.43338
383.0668	1864.7695	0.2069	1620.9149	0.2386	0.00011	0.00099	383.0668	2702.2889	0.1422	2455.0693	0.1567	0.00002	0.00020	375	0.04697	0.41577
405.9548	1869.6054	0.2189	1626.4760	0.2523	0.00013	0.00116	405.9548	2705.6283	0.1506	2458.7445	0.1659	0.00003	0.00024	400	0.04522	0.40032
428.8428	1874.7083	0.2308	1632.3392	0.2658	0.00015	0.00135	428.8428	2709.1569	0.1590	2462.6269	0.1750	0.00003	0.00028	425	0.04369	0.38677
451.7308	1880.0760	0.2426	1638.5011	0.2793	0.00018	0.00156	451.7308	2712.8741	0.1673	2466.7156	0.1842	0.00004	0.00033	450	0.04235	0.37488
474.6188	1885.7062	0.2544	1644.9584	0.2927	0.00020	0.00178	474.6188	2716.7790	0.1756	2471.0095	0.1933	0.00004	0.00038	475	0.04117	0.36445
497.5068	1891.5967	0.2661	1651.7076	0.3060	0.00023	0.00202	497.5068	2720.8708	0.1839	2475.5076	0.2023	0.00005	0.00043	500	0.04014	0.35531
520.3948	1897.7449	0.2778	1658.7452	0.3191	0.00026	0.00228	520.3948	2725.1488	0.1921	2480.2088	0.2114	0.00006	0.00049	525	0.03923	0.34728
543.2828	1904.1484	0.2893	1666.0676	0.3322	0.00029	0.00255	543.2828	2729.6119	0.2004	2485.1119	0.2204	0.00006	0.00056	550	0.03844	0.34025
566.1708	1910.8046	0.3008	1673.6709	0.3451	0.00032	0.00284	566.1708	2734.2594	0.2086	2490.2157	0.2294	0.00007	0.00062	575	0.03774	0.33408
589.0588	1917.7110	0.3122	1681.5515	0.3579	0.00036	0.00315	589.0588	2739.0902	0.2167	2495.5190	0.2383	0.00008	0.00070	600	0.03713	0.32867
611.9468	1924.8647	0.3235	1689.7053	0.3706	0.00039	0.00347	611.9468	2744.1035	0.2249	2501.0206	0.2472	0.00009	0.00078	625	0.03659	0.32393
634.8348	1932.2630	0.3348	1698.1285	0.3831	0.00043	0.00381	634.8348	2749.2981	0.2330	2506.7190	0.2560	0.00010	0.00086	650	0.03612	0.31977

Σημεία 30-40-50 - σύγκριση αναμενόμενων τάσεων σ_z με και χωρίς την επίδραση των
γεγονικών στρωτήρων



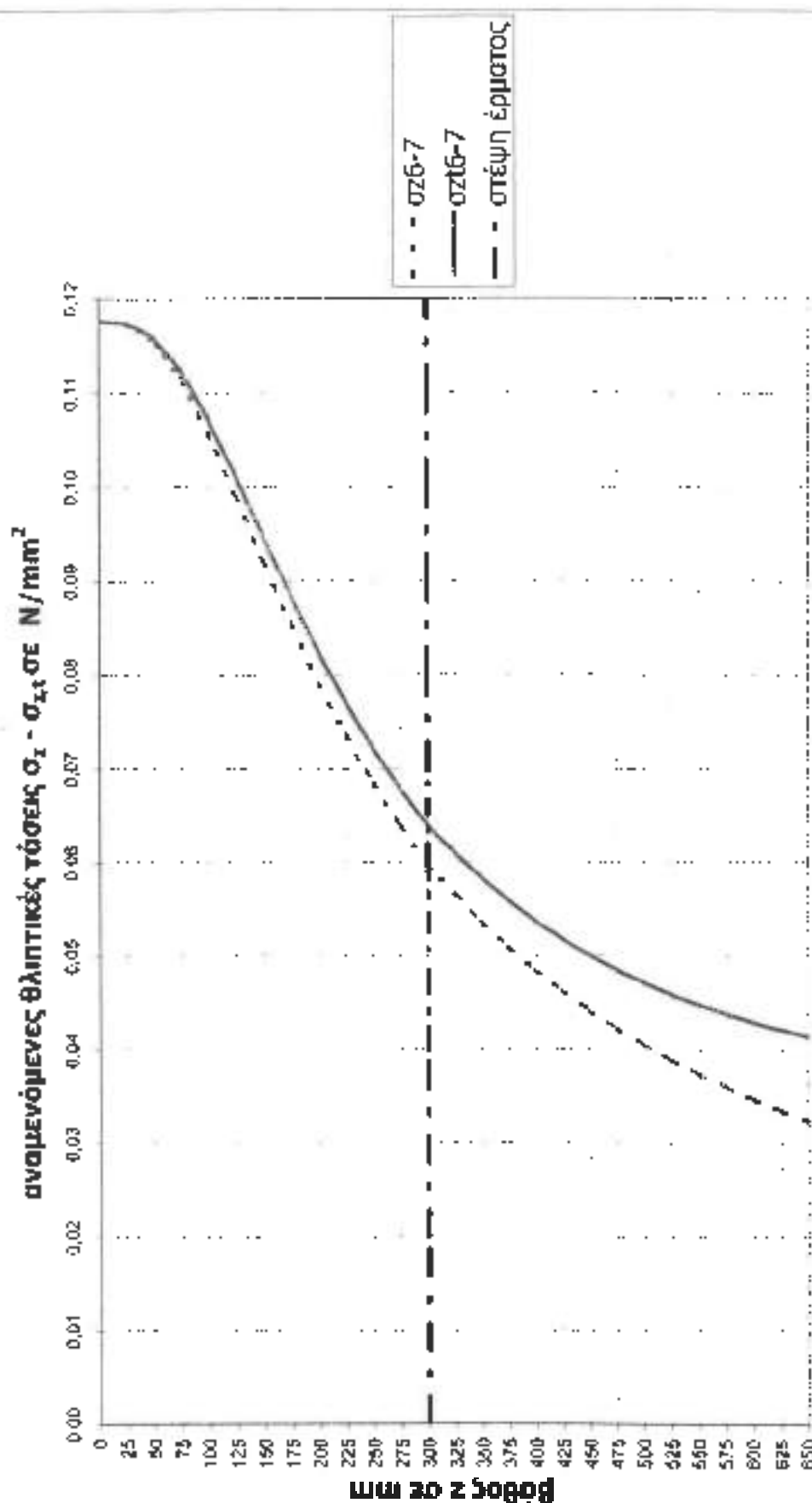
Σημέλα 30-40-50 - σύγκριση του λόγου αναμενόμενων τάσεων/πίεσεων σ_z/p με και χωρίς την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων



ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2. 10 Υπολογισμός τάσεων σε και του λόγου τάσεων/πίεσεων με την επίδραση των γεωνικών στρωτήρων για τις αναμενόμενες βυθίσεις

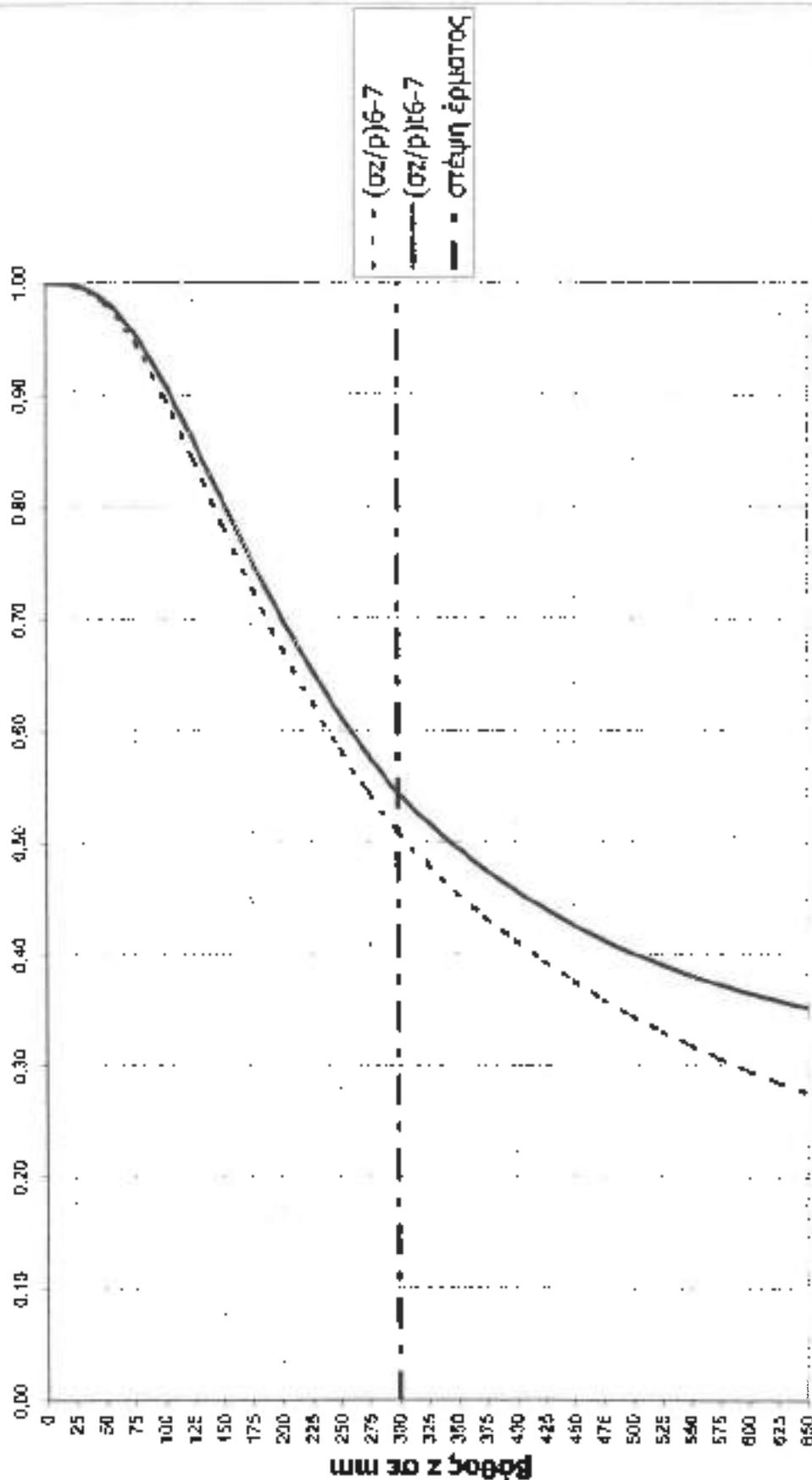
8ο - 7ο σημείο																		
Επίδραση διηλεκτρικών στρωτήρων																		
Τάσεις κάτω από τον στρωτήρα				π	b _c	a(mm)	ρ(N/mm ²)	στρωτήρες										
				3.14159	300	670	0.11759	2										
				στρωτήρας 1					στρωτήρας 2									
π	b _c	ρ(N/mm ²)		α.ρ. Αποστ.		975	725			α.ρ. Αποστ.		2090	1790			Συνολικές τάσεις		
3.141592654	300	0.11759		z	z'	υποτένουσo ₁	a ₁	υποτένουσo ₂	b ₁	σ' _z	σ' _z /ρ	z'	υποτένουσo ₁	a ₂	υποτένουσo ₂	a ₂	σ' _z	σ' _z /ρ
0	0.0000	0.11759	1.00000	0	0.0000	1120.0000	0.0000	820.0000	0.0000	0.00000	0.00000	0.0000	2090.0000	0.0000	1790.0000	0.0000	0.00000	0.00000
25	26.2002	0.11733	0.99782	25	26.2002	1120.3069	0.0234	820.4185	0.0319	0.00000	0.00000	26.2002	2090.1642	0.0125	1790.1917	0.0146	0.00000	0.00000
50	52.4005	0.11574	0.98425	50	52.4005	1121.2251	0.0468	821.6726	0.0638	0.00000	0.00003	52.4005	2090.6568	0.0251	1790.7668	0.0293	0.00000	0.00000
75	78.6007	0.11223	0.95445	75	78.6007	1122.7547	0.0701	823.7585	0.0956	0.00001	0.00011	78.6007	2091.4775	0.0376	1791.7249	0.0439	0.00000	0.00001
100	104.8009	0.10708	0.91066	100	104.8009	1124.8925	0.0933	826.6706	0.1271	0.00003	0.00026	104.8009	2092.6259	0.0501	1793.0653	0.0585	0.00000	0.00002
125	131.0011	0.10094	0.85839	125	131.0011	1127.6353	0.1164	830.3980	0.1584	0.00006	0.00051	131.0011	2094.1015	0.0626	1794.7873	0.0731	0.00000	0.00003
150	157.2014	0.09443	0.80304	150	157.2014	1130.9785	0.1394	834.9325	0.1894	0.00010	0.00086	157.2014	2095.9037	0.0751	1796.8896	0.0876	0.00001	0.00005
175	183.4016	0.08801	0.74842	175	183.4016	1134.9168	0.1623	840.2596	0.2200	0.00016	0.00134	183.4016	2098.0315	0.0875	1799.1710	0.1021	0.00001	0.00008
200	209.6018	0.08193	0.69672	200	209.6018	1139.4441	0.1850	846.3645	0.2503	0.00023	0.00195	209.6018	2100.4840	0.1000	1802.2300	0.1166	0.00001	0.00012
225	235.8021	0.07631	0.64699	225	235.8021	1144.5535	0.2075	853.2307	0.2800	0.00032	0.00271	235.8021	2103.2600	0.1123	1805.4647	0.1310	0.00002	0.00018
250	262.0023	0.07120	0.60552	250	262.0023	1150.2370	0.2298	860.8398	0.3093	0.00042	0.00361	262.0023	2106.3583	0.1247	1809.0730	0.1453	0.00003	0.00024
275	288.2025	0.06658	0.56622	275	288.2025	1156.4864	0.2519	869.1724	0.3380	0.00055	0.00466	288.2025	2109.7774	0.1370	1813.9529	0.1596	0.00004	0.00031
300	314.4027	0.06242	0.53081	300	314.4027	1163.2923	0.2737	878.2079	0.3661	0.00069	0.00585	314.4027	2113.5158	0.1493	1817.4017	0.1739	0.00005	0.00041
325	337.2907	0.05912	0.50277	325	337.2907	1169.6859	0.2925	886.6595	0.3902	0.00082	0.00701	337.2907	2117.0416	0.1606	1821.5008	0.1862	0.00006	0.00050
350	360.1787	0.05611	0.47716	350	360.1787	1176.4900	0.3111	895.6164	0.4139	0.00097	0.00827	360.1787	2120.8065	0.1707	1825.8775	0.1986	0.00007	0.00060
375	383.0668	0.05336	0.45375	375	383.0668	1183.6977	0.3296	905.0636	0.4370	0.00113	0.00962	383.0668	2124.8153	0.1813	1830.5300	0.2108	0.00008	0.00072
400	405.9548	0.05083	0.43230	400	405.9548	1191.3015	0.3477	914.9859	0.4597	0.00130	0.01105	405.9548	2129.0607	0.1918	1835.4561	0.2230	0.00010	0.00084
425	428.8428	0.04852	0.41261	425	428.8428	1199.2940	0.3657	925.3681	0.4819	0.00148	0.01256	428.8428	2133.5431	0.2024	1840.6537	0.2351	0.00012	0.00098
450	451.7308	0.04639	0.39450	450	451.7308	1207.6675	0.3834	936.1948	0.5035	0.00166	0.01414	451.7308	2138.2611	0.2129	1846.1204	0.2472	0.00013	0.00114
475	474.6188	0.04443	0.37780	475	474.6188	1216.4140	0.4008	947.4508	0.5247	0.00185	0.01578	474.6188	2143.2132	0.2233	1851.8539	0.2592	0.00015	0.00131
500	497.5068	0.04261	0.36237	500	497.5068	1225.5256	0.4180	959.1210	0.5453	0.00205	0.01746	497.5068	2148.3978	0.2337	1857.8517	0.2711	0.00017	0.00149
525	520.3948	0.04093	0.34808	525	520.3948	1234.9942	0.4350	971.1904	0.5655	0.00226	0.01918	520.3948	2153.8131	0.2440	1864.1112	0.2829	0.00020	0.00168
550	543.2828	0.03937	0.33482	550	543.2828	1244.8117	0.4516	983.6444	0.5851	0.00246	0.02093	543.2828	2159.4574	0.2543	1870.6299	0.2947	0.00022	0.00189
575	566.1708	0.03792	0.32248	575	566.1708	1254.9699	0.4680	996.4685	0.6043	0.00267	0.02270	566.1708	2165.3289	0.2645	1877.4050	0.3063	0.00025	0.00211
600	589.0588	0.03657	0.31098	600	589.0588	1265.4605	0.4842	1009.6486	0.6229	0.00288	0.02448	589.0588	2171.4259	0.2747	1884.4337	0.3179	0.00028	0.00235
625	611.9468	0.03530	0.30023	625	611.9468	1276.2754	0.5001	1023.1710	0.6411	0.00309	0.02626	611.9468	2177.7463	0.2848	1891.7132	0.3294	0.00031	0.00260
650	634.8348	0.03412	0.29018	650	634.8348	1287.4064	0.5157	1037.0223	0.6588	0.00330	0.02803	634.8348	2184.2883	0.2949	1899.2407	0.3406	0.00034	0.00286

Σημεία 60-70 - σύγκριση αναμενόμενων τάσεων σ_z με και χωρίς την επίδραση των
 γειτονικών στρωτήρων



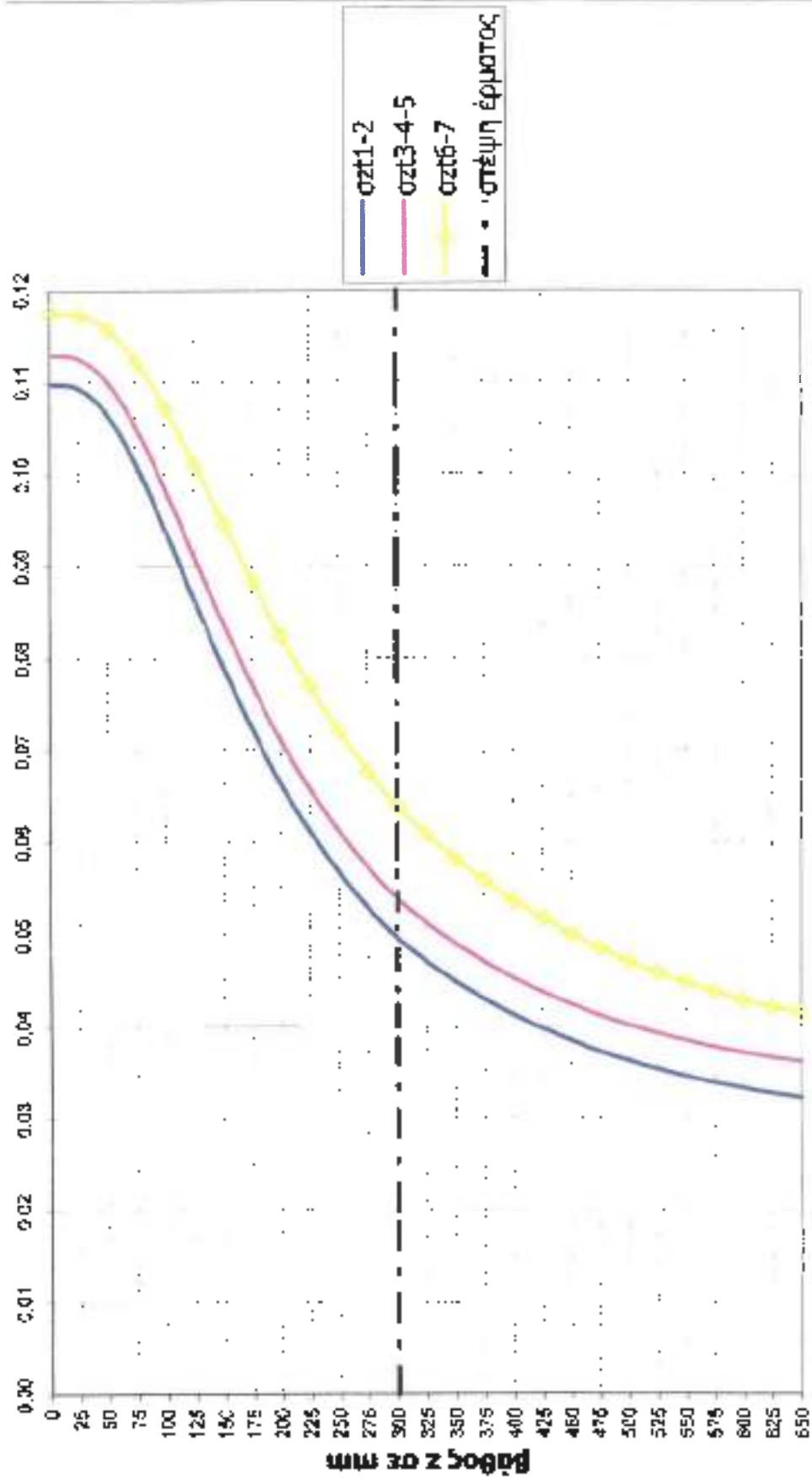
Σημεία 60-70 - σύγκριση του λόγου αναμενόμενων τάσεων/πίεσεων σ_z/p με και χωρίς την επίδραση των γεπτονικών στρωτήρων

αναμενόμενες θλιπτικές τάσεις/πίεσεις $(\sigma_z/p) - (\sigma_z/p)_\lambda$

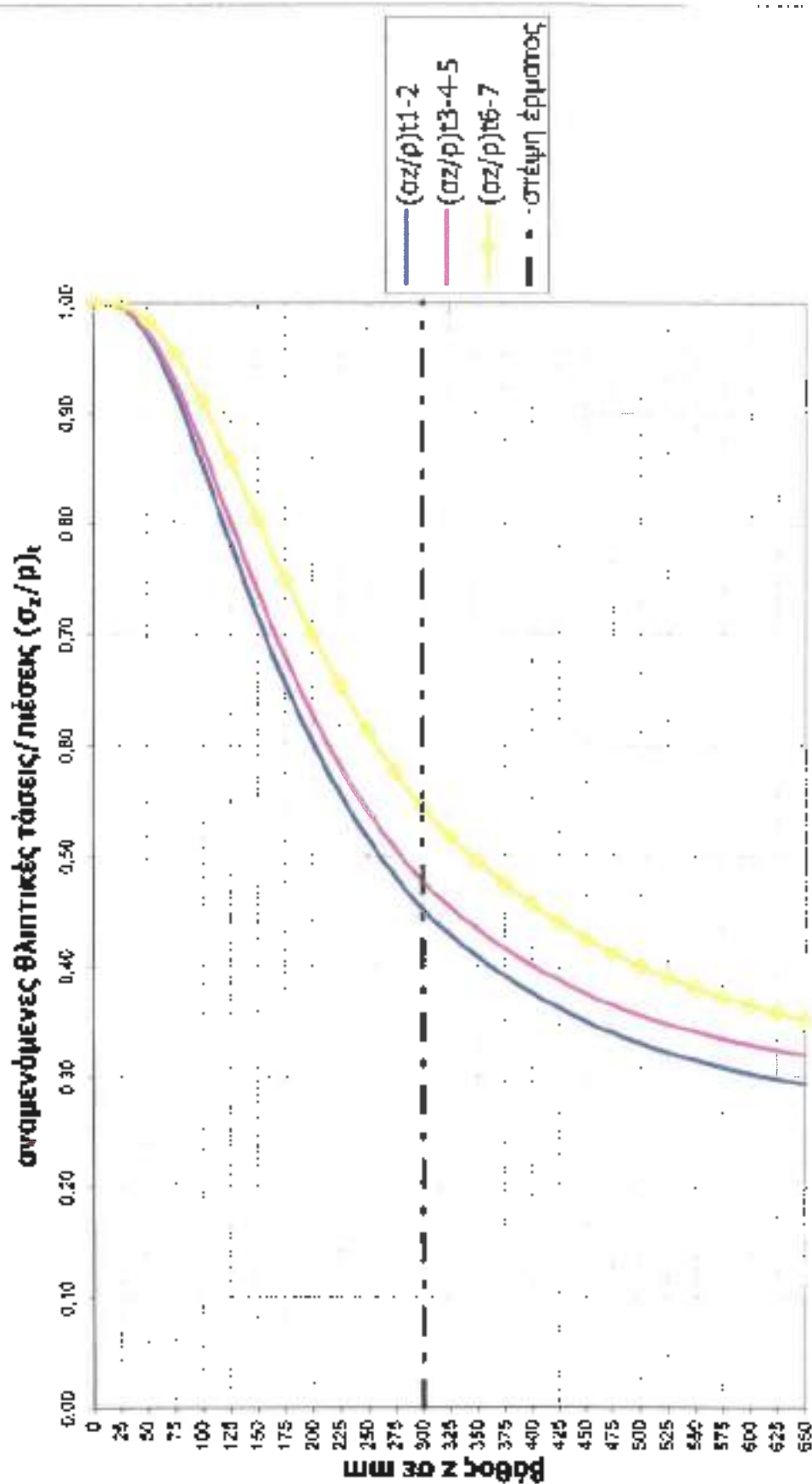


Συνολικές αναμενόμενες τάσεις σε πραγματικό βάθος

αναμενόμενες συνολικές θλιπτικές τάσεις σ_{zt}



Συνολικές αναμενόμενες τάσεις/πιέσεις σε πραγματικό βάθος με την επίδραση των
γειτονικών στρωμάτων



12. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΑΣΕΩΝ.

12.1. Σύγκριση θλιπτικών τάσεων στο έδαφος με επιτρεπόμενες τιμές τάσεων.

Για να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την κατάσταση του 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 (μετρηθείσες βυθίσεις με και χωρίς ενδιάμεση στρώση – αναμενόμενες βυθίσεις με και χωρίς ενδιάμεση στρώση) με τις επιτρεπόμενες τάσεις στο έδαφος βάσει φορτίσεων όπως αυτές αναφέρονται στη βιβλιογραφία. Οι επιτρεπόμενες αυτές τάσεις ακολουθούν στον παρακάτω πίνακα και σημειώνονται με χρώμα, με το οποίο σημειώνονται και οι τάσεις στους πίνακες υπολογισμών των τάσεων που ξεπερνούν τα αντίστοιχα όρια. Στον παρακάτω πίνακα οι τιμές αντιστοιχούν στον δείκτη αντίδρασης εδάφους C που έχει υπολογιστεί (ή θεωρηθεί για τις αναμενόμενες βυθίσεις) και στο μέτρο ελαστικότητας E_{v2} (ή αλλιώς E_3 για τους υπολογισμούς των ισοδύναμων παχών κατά Odemark) του εδάφους που έχει θεωρηθεί στους υπολογισμούς βάσει του C {2,3,4}.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.1_1

Διαβάθμιση υπεδάφους	E_{v2} [N/mm ²]	C [N/mm ²]	Επιτρεπόμενη τάση $\sigma_{\text{επιπ.}}$ [N/mm ²]	
			n = 10 ⁶	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

όπου:

n αριθμός φορτίσεων κατά την κρίσιμη περίοδο του έτους.

$\sigma_{\text{επιπ. n=10}^6}$ επιτρεπόμενη τάση για n=10⁶ φορτίσεις

$\sigma_{\text{επιπ. n=10}^7}$ επιτρεπόμενη τάση για n=10⁷ φορτίσεις

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω τιμές έχουν προκύψει από πειραματικές μετρήσεις των γερμανικών σιδηροδρομικών και αντιστοιχούν στις εκεί συνθήκες. Επειδή όμως στην παρούσα διπλωματική εργασία η διεξαγωγή μετρήσεων για τόσο μεγάλο αριθμό φορτίσεων μέχρι αστοχίας ήταν αδύνατη, θεωρείται αποδεκτό να χρησιμοποιηθούν οι τιμές αυτές για να υπάρξει μια εικόνα σχετικά με την κατάσταση της επιδομής.

12.1.1. Μετρηθείσες βυθίσεις.

12.1.1.1. Χωρίς ενδιάμεση στρώση

Όπως φαίνεται στους Πίνακες 11.1_1 , 11.1_2 και 11.2_2 έως 11.2_8 οι κατακόρυφες θλιπτικές τάσεις που μεταβιβάζονται στο έδαφος στην περίπτωση αυτή είναι:

12.1.1.1.1 Τάση κάτω από τον υπό εξέταση στρωτήρα χωρίς να ληφθεί υπόψη η επίδραση των γειτονικών στρωτήρων:

- $\sigma_{z1} = 0,05961 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,1753) < 0,102 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,επιρ2}$
- $\sigma_{z2} = 0,03927 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,0683) < 0,051 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,επιρ2}$
- $\sigma_{z3} = 0,02331 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,0407) > 0,023 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,επιρ1}$
- $\sigma_{z4} = 0,01473 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,0155) > 0,012 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,επιρ1}$
- $\sigma_{z5} = 0,05676 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,2288) < 0,102 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,επιρ2}$
- $\sigma_{z6} = 0,05329 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,1593) < 0,102 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,επιρ2}$
- $\sigma_{z7} = 0,02402 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,0376) > 0,023 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,επιρ1}$

12.1.1.1.2 Τάση κάτω από τον υπό εξέταση στρωτήρα λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων:

- $\sigma_{z,t1} = 0,06107 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,1753) < 0,102 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,επιρ2}$
- $\sigma_{z,t2} = 0,04124 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,0683) < 0,051 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,επιρ2}$
- $\sigma_{z,t3} = 0,02770 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,0407) > 0,023 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,επιρ1}$
- $\sigma_{z,t4} = 0,01992 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,0155) > 0,012 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,επιρ1}$
- $\sigma_{z,t5} = 0,05884 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,2288) < 0,102 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,επιρ2}$
- $\sigma_{z,t6} = 0,05456 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,1593) < 0,102 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,επιρ2}$

$$\bullet \sigma_{z,17} = 0,02711 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,0376) > 0,023 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,ελητρ1}$$

Από τα παραπάνω συμπεραίνονται τα εξής:

Στα σημεία 3, 4, 7 μεταβιβάζεται τάση στο έδαφος μεγαλύτερη από τη μέγιστη επιτρεπόμενη, πρόβλημα το οποίο γίνεται εντονότερο λαμβάνοντας υπόψη και την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων. Είναι λοιπόν δόκιμη η εξέταση του ενδεχόμενου προσθήκης ενδιάμεσης στρώσης.

12.1.1.2. Με ενδιάμεση στρώση

Όπως φαίνεται στους Πίνακες 11.1_1 , 11.1_2 και 11.2_2 έως 11.2_8 οι κατακόρυφες θλιπτικές τάσεις που μεταβιβάζονται στο έδαφος στην περίπτωση αυτή είναι:

12.1.1.2.1 Τάση κάτω από τον υπό εξέταση στρωτήρα χωρίς να ληφθεί υπόψη η επίδραση των γειτονικών στρωτήρων:

- $\sigma_{z1} = 0,03171 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,1753) < 0,102 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,ελητρ2}$
- $\sigma_{z2} = 0,02041 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,0683) < 0,051 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,ελητρ2}$
- $\sigma_{z3} = 0,01186 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,0407) < 0,023 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,ελητρ2}$
- $\sigma_{z4} = 0,00742 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,0155) < 0,012 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,ελητρ1}$
- $\sigma_{z5} = 0,03019 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,2288) < 0,102 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,ελητρ2}$
- $\sigma_{z6} = 0,02913 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,1593) < 0,102 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,ελητρ2}$
- $\sigma_{z7} = 0,01236 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,0376) < 0,023 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,ελητρ2}$

12.1.1.2.2 Τάση κάτω από τον υπό εξέταση στρωτήρα λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων:

- $\sigma_{z,11} = 0,03888 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,1753) < 0,102 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,ελητρ2}$
- $\sigma_{z,12} = 0,02856 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,0683) < 0,051 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,ελητρ2}$
- $\sigma_{z,13} = 0,02362 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,0407) > 0,023 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,ελητρ1}$
- $\sigma_{z,14} = 0,01846 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,0155) > 0,012 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,ελητρ1}$
- $\sigma_{z,15} = 0,03950 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,2288) < 0,102 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,ελητρ2}$
- $\sigma_{z,16} = 0,03546 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,1593) < 0,102 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,ελητρ2}$
- $\sigma_{z,17} = 0,02180 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,0376) < 0,023 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,ελητρ1}$ **αλλά**

$$\sigma_{z,17} = 0,02180 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,0376) > 0,020 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,επιρ2}$$

Από τα παραπάνω συμπεραίνονται τα εξής:

Όπως ήταν αναμενόμενο προσθέτοντας μία ενδιάμεση στρώση οι τάσεις που μεταβιβάζονται στο έδαφος μειώνονται κατά πολύ (σχεδόν υποδιπλασιάζονται). Έτσι λοιπόν παρατηρεί κανείς ότι το πρόβλημα των τάσεων αντιμετωπίζεται πλήρως στα σημεία 3, 4, 7 όπου οι τάσεις μειώνονται κάτω από τις μέγιστες επιτρεπόμενες αν δε ληφθεί υπόψη η επίδραση των διπλανών στρωτήρων. Λαμβάνοντας όμως υπόψη και την επίδραση των διπλανών στρωτήρων το πρόβλημα επανέρχεται σε όλα τα σημεία. Είναι συνεπώς προφανές ότι η προσθήκη της ενδιάμεσης στρώσης δεν επαρκεί και θα χρειαστεί να συνδυαστεί με κάποιο άλλο μέτρο αντιμετώπισης.

12.1.2. Αναμενόμενες βυθίσεις.

12.1.2.1. Χωρίς ενδιάμεση στρώση

Όπως φαίνεται στους Πίνακες 11.1_3, 11.2_8 έως 11.2_10 οι κατακόρυφες θλιπτικές τάσεις που μεταβιβάζονται στο έδαφος στην περίπτωση αυτή είναι:

12.1.2.1.1 Τάση κάτω από τον υπό εξέταση στρωτήρα χωρίς να ληφθεί υπόψη η επίδραση των γειτονικών στρωτήρων:

- $\sigma_{z,1-2} = 0,04812 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,09) < 0,081 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,επιρ2}$
- $\sigma_{z,3-4-5} = 0,05190 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,16) < 0,102 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,επιρ2}$
- $\sigma_{z,6-7} = 0,06242 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,3) < 0,102 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,επιρ2}$

12.1.2.1.2 Τάση κάτω από τον υπό εξέταση στρωτήρα λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων:

- $\sigma_{z,1-2} = 0,04955 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,09) < 0,081 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,επιρ2}$
- $\sigma_{z,3-4-5} = 0,05381 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,16) < 0,102 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,επιρ2}$
- $\sigma_{z,6-7} = 0,06389 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,3) < 0,102 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,επιρ2}$

Από τα παραπάνω συμπεραίνονται τα εξής:

Και στην περίπτωση i. και στην περίπτωση ii. οι τάσεις που μεταβιβάζονται στο έδαφος είναι μικρότερες από τις μέγιστες επιτρεπόμενες τάσεις όποτε το έδαφος δεν κινδυνεύει έναντι αστοχίας.

12.1.2.2. Με ενδιόμεση στρώση

Όπως φαίνεται στους Πίνακες 11.1_3, 11.2_8 έως 11.2_10 οι κατακόρυφες θλιπτικές τάσεις που μεταβιβάζονται στο έδαφος στην περίπτωση αυτή είναι:

12.1.2.2.1 Τάση κάτω από τον υπό εξέταση στρωτήρα χωρίς να ληφθεί υπόψη η επίδραση των γειτονικών στρωτήρων:

- $\sigma_{z,1-2} = 0,02542 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,09) < 0,081 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,επιτρ2}$
- $\sigma_{z,3-4-5} = 0,02761 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,16) < 0,102 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,επιτρ2}$
- $\sigma_{z,6-7} = 0,03412 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,3) < 0,102 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,επιτρ2}$

12.1.2.2.2 Τάση κάτω από τον υπό εξέταση στρωτήρα λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων:

- $\sigma_{z,1-2} = 0,03218 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,09) < 0,081 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,επιτρ2}$
- $\sigma_{z,3-4-5} = 0,03612 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,16) < 0,102 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,επιτρ2}$
- $\sigma_{z,6-7} = 0,04139 \text{ [N/mm}^2\text{]} (C=0,3) < 0,102 \text{ [N/mm}^2\text{]} = \sigma_{z,επιτρ2}$

Από τα παραπάνω συμπεραίνονται τα εξής:

Για όλα τα σημεία οι τάσεις είναι εντός επιτρεπόμενων ορίων σε κάθε περίπτωση. Πρέπει να παρατηρήσει κανείς ότι τα αποτελέσματα των αναμενόμενων βυθίσεων προέκυψαν με βάση την εκτίμηση που έγινε για το δεικτη αντίδρασης εδάφους θεωρώντας μια καλή έως πολύ καλή κατάσταση επιδομής και υποδομής για τα 5 πρώτα σημεία (ξύλινοι στρωτήρες) και ένα άκαμπτο έδαφος για το 6^ο και 7^ο σημείο. Η εκτίμηση αυτή όπως φαίνεται ανταποκρίνεται πολύ ικανοποιητικά σε κάποια σημεία (συγκρίνοντας τις

βυθίσεις) που δεν αποτελούν την πλειοψηφία των σημείων κάθε περιοχής. Αυτό όμως είναι απαραίτητο να διαπιστωθεί με μεγαλύτερο πλήθος μετρήσεων, το οποίο όμως δεν ήταν εφικτό στα πλαίσια της παρούσας εργασίας λόγω της έλλειψης σε αυτοματοποιημένα μέσα. Η γενικότερη παρατήρηση πάντως είναι ότι ακόμα και με το μικρότερο θεωρούμενο δείκτη αντίδρασης εδάφους ($C = 0,09 \text{ [N/mm}^2\text{]}$) που είναι τόσο εφικτό όσο και απαραίτητο να συναντώνται στην πλειοψηφία των τμημάτων της γραμμής, οι τάσεις είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων.

12.2. Σχολιασμός διαγραμμάτων.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα διαγράμματα σύγκρισης τάσεων με και χωρίς την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων, ιδιαίτερα για τις μετρηθείσες βυθίσεις. Τα διαγράμματα αυτά δείχνουν ουσιαστικά το μέγεθος του σφάλματος σε περίπτωση που αγνοηθεί η επίδραση των γειτονικών στρωτήρων και την ποιότητα των συμπερασμάτων που θα προκύψουν από τη θεώρηση αυτή. Παρατηρεί λοιπόν κανείς ότι η κατακόρυφη θλιπτική τάση αυξάνεται λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων αναλογικά σε σχέση με το βάθος. Όσο δηλαδή πιο βαθιά εξετάζει κανείς τις τάσεις που μεταβιβάζονται τόσο πιο έντονη διαπιστώνει την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων (οι τάσεις αυξάνονται κατά πολύ), γεγονός πολύ σημαντικό μιας και αυτό που ενδιαφέρει είναι οι τάσεις σε μεγάλο βάθος, στο έδαφος. Η αύξηση αυτή είναι πολύ μεγάλη στο 4^ο σημείο, ενώ είναι σημαντικά μεγάλη στα 3^ο και 7^ο σημείο. Παρατηρώντας κανείς τα δεδομένα διαπιστώνει ότι η αύξηση στα σημεία αυτά συμβαίνει για τους εξής λόγους:

- Μελετώντας κανείς τον τύπο σύμφωνα με τον οποίο υπολογίζεται η επιπλέον τάση λόγω επίδρασης των γειτονικών στρωτήρων (σχέση 17) αντιλαμβάνεται ότι όσο μεγαλύτερο το βάθος για το οποίο γίνεται ο υπολογισμός τόσο μεγαλύτερη και η τάση. Το βάθος όμως που υπεισέρχεται στον υπολογισμό αυτό είναι το ισοδύναμο βάθος όπως αυτό υπολογίζεται από τον Odemark (σχέση 13). Στον υπολογισμό του ισοδύναμου βάθους, όμως, ισχύει πως όσο μικρότερο είναι το μέτρο ελαστικότητας του εδάφους (με σταθερά τα μέτρα ελαστικότητας των άλλων στρώσεων ως έχει θεωρηθεί) τόσο μεγαλύτερο είναι το ισοδύναμο βάθος. Συνεπώς το 4^ο σημείο που έχει το μικρότερο μέτρο ελαστικότητας αλλά και το 3^ο και 7^ο σημείο που έχουν μικρά μέτρα

ελαστικότητας παρουσιάζουν την μεγαλύτερη αύξηση των τάσεων στο έδαφος λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση των γεγονικών στρωτήρων.

- Υπολογίζοντας το μήκος επίδρασης x_{in} (σχέση 28) των γεγονικών στρωτήρων είναι σαφές ότι το μήκος αυτό είναι ανάλογο του ελαστικού μήκους L . Από τον τύπο υπολογισμού του ελαστικού μήκους L (σχέση 6) είναι φανερό ότι το ελαστικό μήκος είναι αντιστρόφως ανάλογο του δείκτη αντίδρασης εδάφους C . Αυτό έχει ως συνέπεια το γεγονός ότι τα σημεία με μικρό δείκτη αντίδρασης εδάφους έχουν μεγάλο ελαστικό μήκος και ακόμα μεγαλύτερο μήκος επίδρασης άρα επηρεάζονται από μεγαλύτερο αριθμό γεγονικών στρωτήρων και συνεπώς η αύξηση της τάσης στα σημεία αυτά είναι πιο σημαντική από ότι στα άλλα σημεία. Αυτό ακριβώς συμβαίνει με τα σημεία 4, 3, 7 που έχουν μικρό δείκτη αντίδρασης εδάφους (ο οποίος προέκυψε φυσικά από μεγάλη βύθιση).

Από τα παραπάνω είναι σαφές ότι η αναγκαιότητα για υπολογισμό των θλιπτικών τάσεων στο έδαφος λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση των γεγονικών στρωτήρων είναι μεγάλη στα σημεία που παρουσιάζουν μεγάλες βυθίσεις κατά τις μετρήσεις.

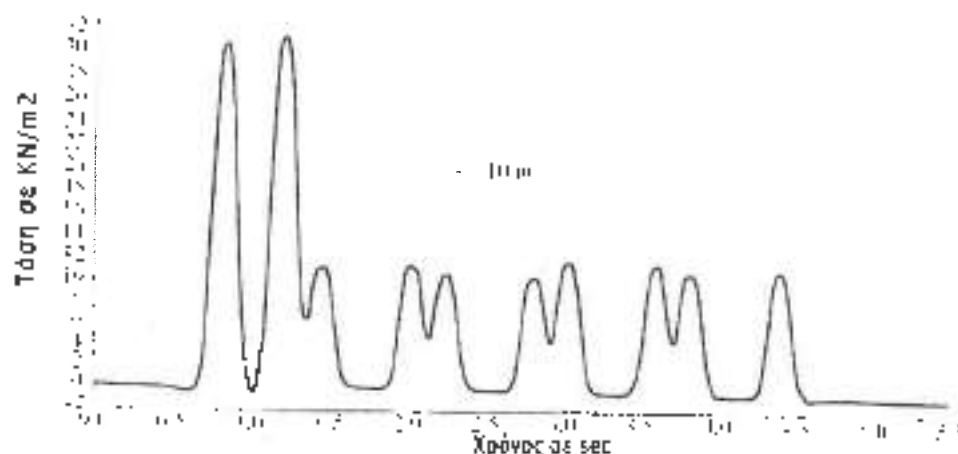
12.3. Γενικά συμπεράσματα υπολογισμού των τάσεων.

Από το σύνολο της παρούσας διπλωματικής εργασίας συμπεραίνονται τα εξής:

- Η κατάσταση της γραμμής είναι ανησυχητική. Παρουσιάζεται μεγάλη ανομοιομορφία από σημείο σε σημείο μέσα σε απόσταση λίγων μόνο μέτρων ακόμα και σε σημεία που έχουν μόλις στρωθεί, όπως είναι οι σταθμοί των Πετρωλώνων και του Θησείου.
- Οι τάσεις που μεταβιβάζονται στο έδαφος είναι στην πλειοψηφία των μετρούμενων σημείων πάνω από τα επιτρεπόμενα όρια (αν και τα όρια αυτά δεν έχουν μετρηθεί για το συγκεκριμένο έδαφος), γεγονός που δεν μπορεί να βελτιωθεί με την προσθήκη μιας ενδιάμεσης στρώσης όπως εξετάστηκε, αλλά απαιτεί συνδυασμό μέτρων (αναγκαία κατάλληλη μελέτη επί αυτού).

13. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΑΣΕΩΝ ΑΠΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.

Σύμφωνα με το θεωρητικό υπόβαθρο στην παράγραφο 1.5.1. «Μεγέθη επίδρασης κάτω από διερχόμενο συρμό.» οι τάσεις κάτω από ένα στρωτήρα (και σε βάθος 1,10 [m]) κατά τη διέλευση ενός συρμού μεταβάλλονται με το χρόνο σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα:



Σχήμα 15: Διάγραμμα τάσεων στον άξονα του φορτίου σε συνάρτηση με το χρόνο.

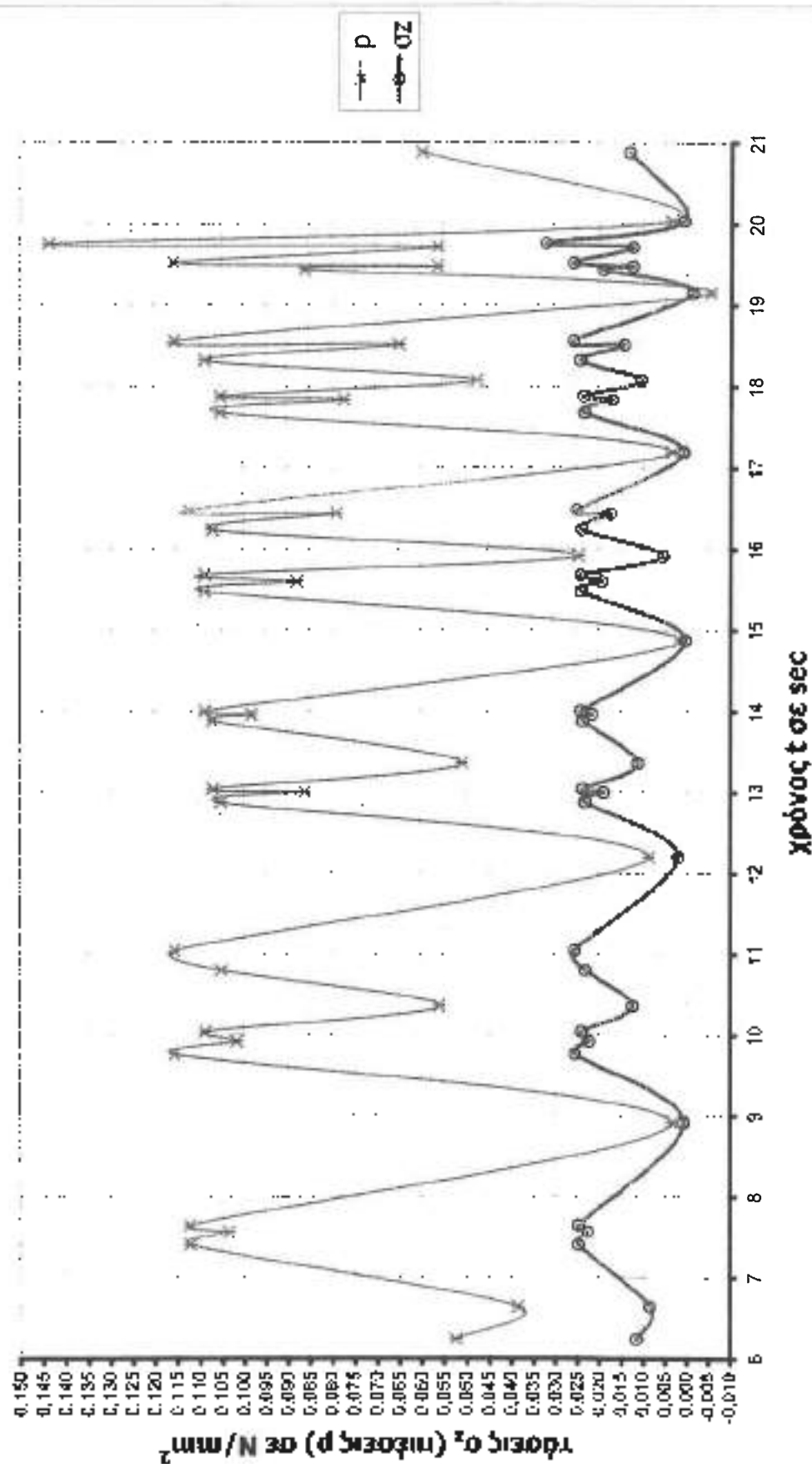
Προκειμένου για μία ποιοτική σύγκριση των μετρήσεων και της επεξεργασίας που έγινε με δεδομένες μετρήσεις που έχουν διεξαχθεί από έγκυρους οργανισμούς και με σύγχρονα μέσα μετρήσεων, θεωρούνται ως σταθεροί οι παράγοντες που μεταβάλλουν τη θλιπτική κατακόρυφη τάση και μεταβάλλοντας το χρόνο προκύπτει για κάθε σημείο μέτρησης διάγραμμα θλιπτικής τάσης σ_z - χρόνου t όπως αυτό προκύπτει από τους αντίστοιχους πίνακες υπολογισμών που ακολουθούν. Για τους υπολογισμούς αυτούς θεωρούνται – για τα μεγέθη που υπεισέρχονται στον τύπο υπολογισμού της

θλιπτικής τάσης $\sigma_z = \frac{2 \cdot p}{\pi} \cdot \left[\arctan\left(\frac{b_s}{2 \cdot z'}\right) + \frac{2 \cdot b_s \cdot z'}{b_s^2 + 4 \cdot z'^2} \right] [N/mm^2]$ – τα εξής:

- $p = C \cdot \gamma_H$ πίεση κάτω από τον στρωτήρα όπως αυτή προκύπτει σε κάθε περίπτωση [N/mm^2]
- z' βάθος ίσο με το πάχος του έρματος αλλά στην αντίστοιχη ισοδύναμη τιμή του όπως αυτή προκύπτει σε κάθε περίπτωση [mm]
- b_s : πραγματικό πλάτος στρωτήρα σε [mm]

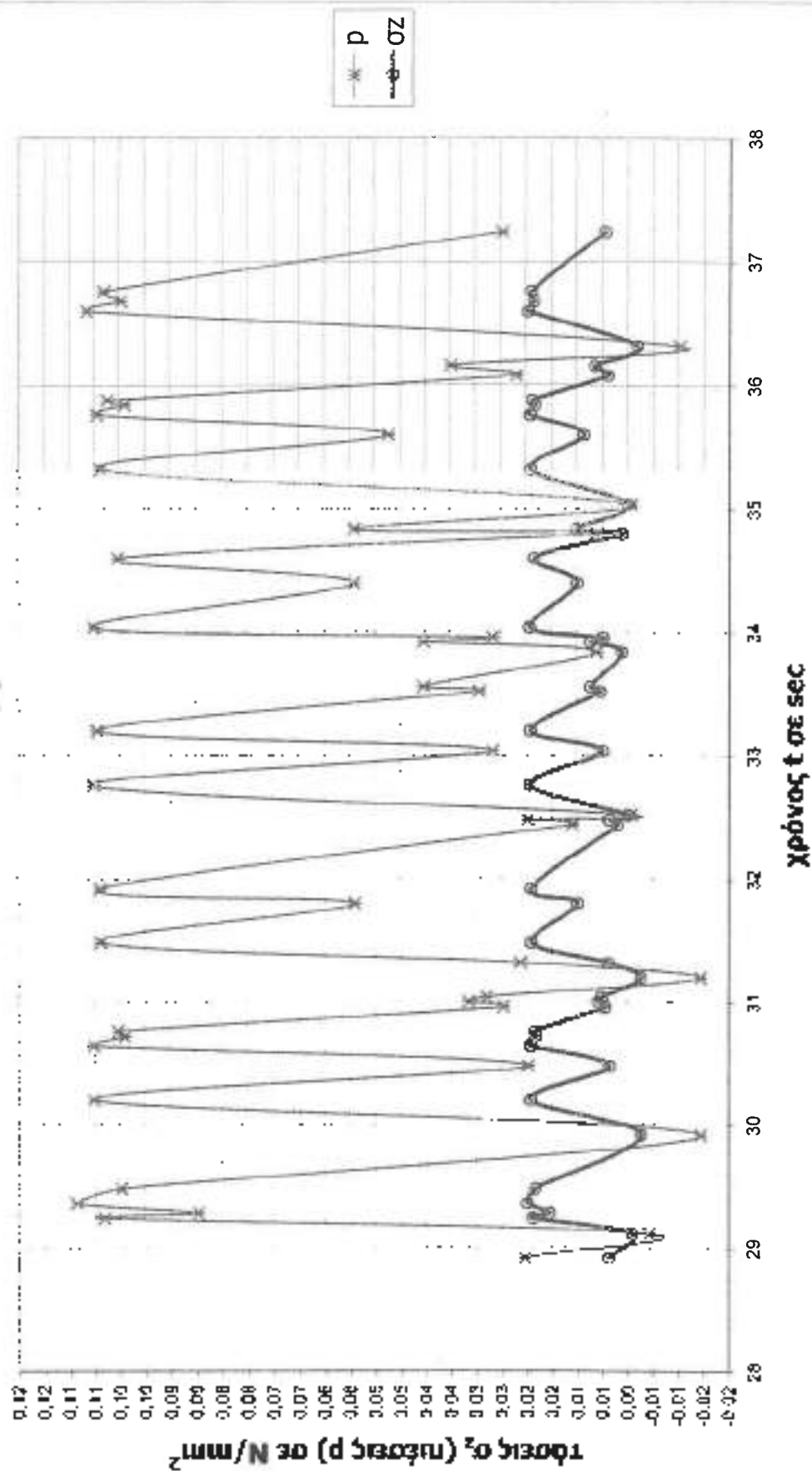
ΠΙΝΑΚΑΣ 13_1												
Μεταβολή της θλιπτικής τάσης σε (και της πίεσης p) στο έδαφος (κάτω από το στρώτηρα) σε συνάρτηση με το χρόνο t												
Ημερομηνία: 19/08												
Σημείο: 1δ												
Μέτρηση: 2η												
Χρόνος έναρξης μέτρησης: 3:06.24												
χρόνος t (sec)	ζ (N/mm ²)	n	bs (mm)	σ_1 (N/mm ²)	σ_2 (N/mm ²)	χρόνος t (sec)	γ	$\gamma + 0,3$	ρ (N/mm ²)	σ_1 (N/mm ²)	σ_2 (N/mm ²)	
6,24	0,1753	3,141592654	250	314,4027351		17,68	0,3	0,6	0,10519854	0,02316		
6,64	-0,08	0,22	0,05259927	0,011579496		17,84	0,14	0,44	0,077145596	0,01698		
7,40	0,34	0,64	0,112211776	0,024702925		17,88	0,3	0,6	0,10519854	0,02316		
7,56	0,29	0,59	0,103445231	0,022773009		18,08	-0,03	0,27	0,047339343	0,01042		
7,64	0,34	0,64	0,112211776	0,024702925		18,32	0,32	0,62	0,108705158	0,02393		
8,92	-0,28	0,02	0,003506618	0,000771966		18,52	0,07	0,37	0,064872433	0,01428		
9,76	0,36	0,66	0,115718394	0,025474891		18,56	0,36	0,66	0,115718394	0,02547		
9,92	0,28	0,58	0,101691922	0,022387026		19,16	-0,33	-0,03	-0,005259927	-0,00116		
10,04	0,32	0,62	0,108705158	0,023930959		19,44	0,19	0,49	0,085912141	0,01891		
10,36	0,02	0,32	0,056105888	0,012351462		19,48	0,02	0,32	0,056105888	0,01235		
10,80	0,3	0,6	0,10519854	0,023158992		19,52	0,36	0,66	0,115718394	0,02547		
11,04	0,36	0,66	0,115718394	0,025474891		19,72	0,02	0,32	0,056105888	0,01235		
12,20	-0,25	0,05	0,008766545	0,001929916		19,76	0,52	0,82	0,143771338	0,03165		
12,88	0,3	0,6	0,10519854	0,023158992		20,04	-0,28	0,02	0,003506618	0,00077		
13,00	0,19	0,49	0,085912141	0,018913177		20,88	0,04	0,34	0,059612506	0,01312		
13,04	0,31	0,61	0,106951849	0,023544975								
13,36	-0,01	0,29	0,050845961	0,011193513								
13,88	0,31	0,61	0,106951849	0,023544975								
13,96	0,26	0,56	0,096185304	0,021615059								
14,00	0,32	0,62	0,108705158	0,023930959								
14,88	-0,29	0,01	0,001753309	0,000385983								
15,48	0,32	0,62	0,108705158	0,023930959								
15,60	0,2	0,5	0,08766545	0,01929916								
15,68	0,32	0,62	0,108705158	0,023930959								
15,92	-0,16	0,14	0,024546326	0,005403765								
16,24	0,31	0,61	0,106951849	0,023544975								
16,44	0,15	0,45	0,078898905	0,017369244								
16,48	0,34	0,64	0,112211776	0,024702925								
17,20	-0,28	0,02	0,003506618	0,000771966								

Σημείο 1ο
 τάσεις (πιέσεις) στο έδαφος (κάτω από το στρώτηρα) κατά τη διέλευση του συρμού



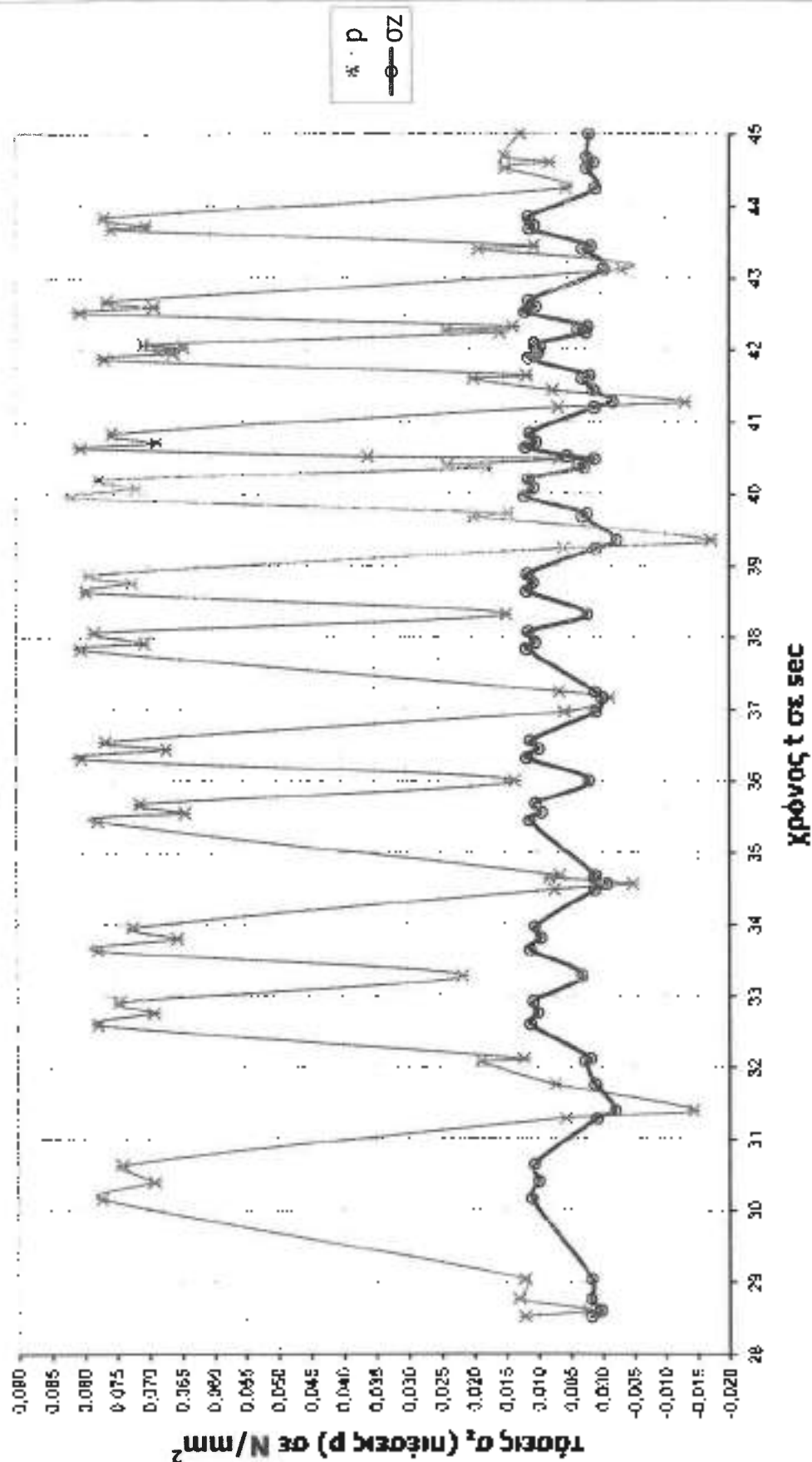
ΠΙΝΑΚΑΣ 13_2												
Μεταβολή της θλιπτικής τάσης σ _z (και της πίεσης p) στο έδαφος (κάτω από το στρωτήρα) σε συνάρτηση με το χρόνο t												
Ημερομηνία: 19/08												
Σημείο: Z0												
Μέτρηση: 6η												
Εναρξη μέτρησης: 11:28.92												
	C(N/mm ²)	n	bs(mm)	z'(mm)	χρόνος t (sec)	γ	γ+0,3	p(N/mm ²)	σ _z (N/mm ²)	σ _z (N/mm ²)		
28,92	0,0683	3,141592654	250	396,8751307	33,92	0,29	0,59	0,040324076	0,003765951	0,00741		
29,12					33,96	0,09	0,39	0,026654897	0,00490			
29,24					34,04	1,24	1,54	0,105252672	0,01933			
29,28					34,40	0,49	0,79	0,053993254	0,00992			
29,36					34,60	1,17	1,47	0,100468459	0,01845			
29,48					34,80	-0,21	0,09	0,00615113	0,00113			
29,92					34,84	0,49	0,79	0,053993254	0,00992			
30,20					35,04	-0,31	-0,01	-0,000683459	-0,00013			
30,48					35,32	1,22	1,52	0,103885754	0,01908			
30,64					35,60	0,39	0,69	0,047158665	0,00866			
30,72					35,76	1,23	1,53	0,104569213	0,01921			
30,76					35,84	1,15	1,45	0,099101542	0,01820			
30,96					35,88	1,2	1,5	0,102518836	0,01883			
31,00					36,08	0,02	0,32	0,021870685	0,00402			
31,04					36,16	0,21	0,51	0,034856404	0,00640			
31,20					36,32	-0,45	-0,15	-0,010251884	-0,00188			
31,32					36,60	1,26	1,56	0,10661959	0,01958			
31,48					36,68	1,16	1,46	0,099785001	0,01833			
31,80					36,76	1,21	1,51	0,103202295	0,01896			
31,92					37,24	0,06	0,36	0,024604521	0,00452			
32,44												
32,48												
32,52												
32,76												
33,04												
33,20												
33,52												
33,56												
33,84												

Σημείο 2ο
τάσεις (πίεσεις) στο έδαφος (κάτω από το στρώτηρα) κατά τη διέλευση του συρμού



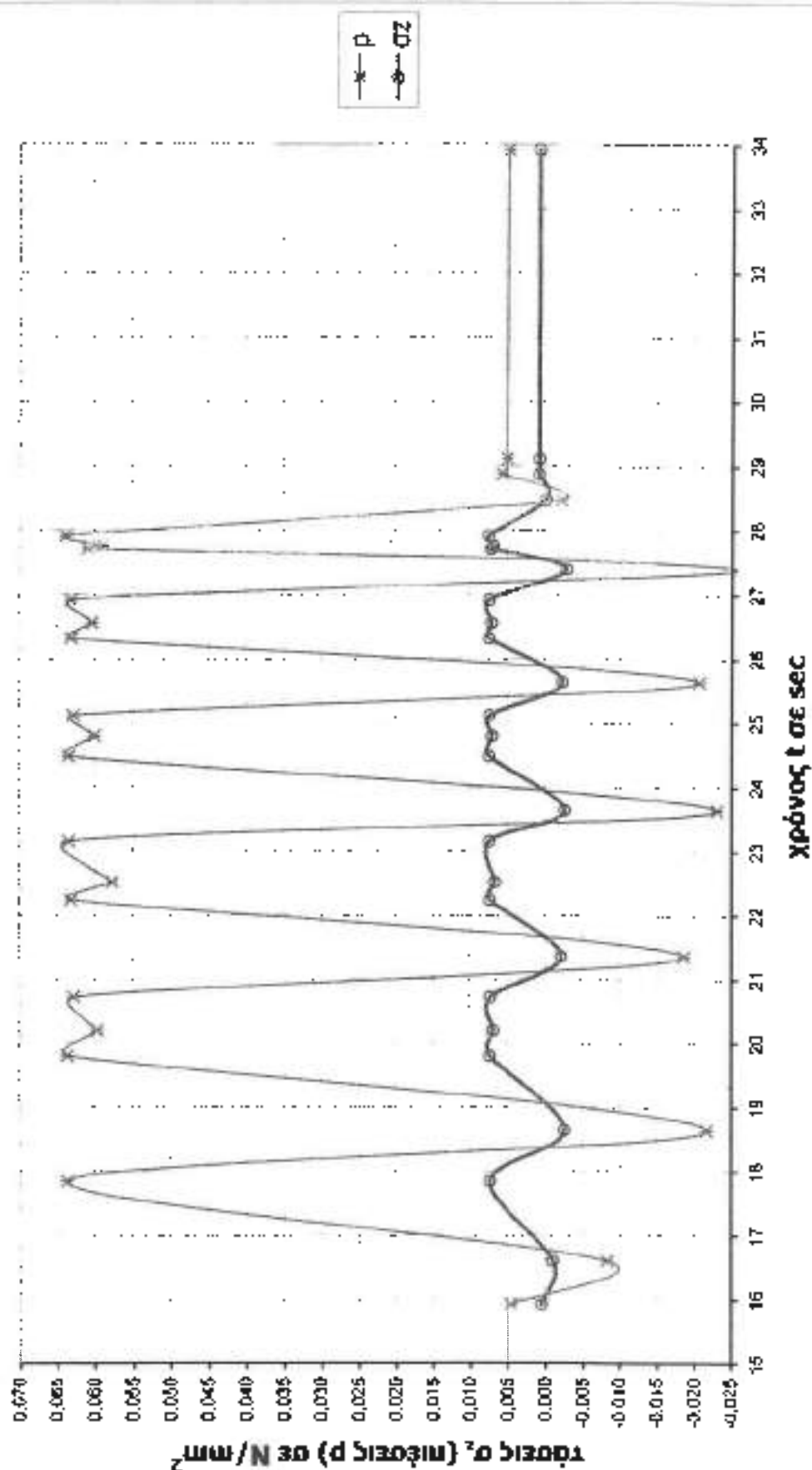
ΠΑΡΑΚΑΤ 13_3											
Μεταβολή της ελαστικής τάσης στ (κατ της πίεσης p) στα έδαφος (αέριο στρώ το στρώμα) σε συνάρτηση με το χρόνο t											
Ημερομηνία: 27/08											
Σημείο 30											
Μετρήσεις 2η											
Εναρξη μέτρησης 2:28:52											
Χρόνος t (sec)	C (N/mm ²)	r	bs (mm)	z (mm)	Χρόνος t (sec)	γ	γ+0,3	α ₁ (N/mm ²)	α ₂ (N/mm ²)	ρ ₁ (N/mm ²)	ρ ₂ (N/mm ²)
28,52	0,0407	3,141592654	250	528,5071316	39,24	-0,16	0,14	0,005702435	0,00082	0,005702435	0,00082
28,60	-0,24	0,06	0,002443901	0,000350792	39,36	-0,72	-0,42	-0,012107306	-0,00246	-0,012107306	-0,00246
28,76	0,02	0,32	0,013134138	0,001870885	39,66	0,18	0,48	0,019551207	0,00281	0,019551207	0,00281
29,04	0	0,3	0,012219504	0,001733935	39,72	0,05	0,35	0,014256088	0,00205	0,014256088	0,00205
30,16	1,6	1,9	0,077390193	0,011108381	39,96	1,7	2	0,081463361	0,01169	0,081463361	0,01169
30,40	1,4	1,7	0,069243857	0,009931076	40,08	1,46	1,76	0,071687758	0,01029	0,071687758	0,01029
30,64	1,32	1,62	0,074137659	0,01064066	40,20	1,6	1,9	0,077390193	0,01111	0,077390193	0,01111
31,28	-0,16	0,14	0,005702435	0,000350792	40,36	0,13	0,43	0,012107306	0,00251	0,012107306	0,00251
31,40	-0,65	-0,36	-0,014256088	-0,002046281	40,40	0,28	0,58	0,023524375	0,00339	0,023524375	0,00339
31,76	-0,12	0,18	0,007331703	0,001052375	40,48	-0,14	0,16	0,006517069	0,00094	0,006517069	0,00094
32,06	0,16	0,46	0,018736573	0,002688398	40,52	0,58	0,88	0,035843879	0,00514	0,035843879	0,00514
32,32	0	0,3	0,012219504	0,001733935	40,64	1,67	1,97	0,080241411	0,01152	0,080241411	0,01152
32,60	1,61	1,91	0,077390193	0,011108381	40,72	1,38	1,68	0,066429223	0,00862	0,066429223	0,00862
32,76	1,4	1,7	0,069243857	0,009931076	40,84	1,55	1,85	0,075353659	0,01082	0,075353659	0,01082
32,92	1,53	1,83	0,074536975	0,01069125	41,20	-0,14	0,16	0,006517069	0,00094	0,006517069	0,00094
33,28	0,23	0,53	0,021587791	0,002098654	41,28	-0,62	-0,32	-0,013024138	-0,00187	-0,013024138	-0,00187
33,64	1,61	1,91	0,077390193	0,011108381	41,44	-0,12	0,18	0,007331703	0,00105	0,007331703	0,00105
33,80	1,31	1,61	0,065576036	0,009412892	41,60	-0,8	0,48	0,019551207	0,00281	0,019551207	0,00281
33,96	1,40	1,78	0,072502391	0,010406799	41,64	-0,02	0,28	0,011404871	0,00164	0,011404871	0,00164
34,48	-0,12	0,18	0,007331703	0,001052375	41,88	1,58	1,88	0,065755559	0,01099	0,065755559	0,01099
34,56	-0,42	-0,12	-0,004687802	-0,000701582	41,96	1,32	1,62	0,065985323	0,00947	0,065985323	0,00947
34,64	-0,1	0,2	0,008146336	0,001189303	42,00	1,36	1,66	0,068429223	0,00962	0,068429223	0,00962
34,68	-0,14	0,16	0,006517069	0,000935443	42,04	1,28	1,58	0,064356055	0,00914	0,064356055	0,00914
35,44	1,61	1,91	0,077390193	0,011108381	42,08	1,43	1,73	0,070465807	0,01011	0,070465807	0,01011
35,56	1,28	1,58	0,064356055	0,009237496	42,24	0,08	0,38	0,015474039	0,00222	0,015474039	0,00222
35,68	1,45	1,75	0,071280441	0,010231404	42,26	0,28	0,58	0,023624375	0,00339	0,023624375	0,00339
36,00	0,03	0,33	0,013441455	0,00192335	42,32	0,03	0,33	0,013441455	0,00193	0,013441455	0,00193
36,32	1,67	1,97	0,080241411	0,011517638	42,52	1,67	1,97	0,080241411	0,01152	0,080241411	0,01152
36,44	1,35	1,65	0,067207273	0,009646752	42,60	1,39	1,69	0,06883654	0,00968	0,06883654	0,00968
36,56	1,58	1,88	0,076575559	0,010991451	42,68	1,57	1,87	0,076168243	0,01093	0,076168243	0,01093
36,96	-0,16	0,14	0,005702435	0,00082	43,12	-0,38	-0,08	-0,013258534	-0,00147	-0,013258534	-0,00147
37,16	-0,31	-0,03	-0,00372145	-0,000175395	43,40	0,16	0,46	0,018736573	0,00269	0,018736573	0,00269
37,24	-0,14	0,16	0,006517069	0,000935443	43,44	-0,05	0,25	0,01018292	0,00146	0,01018292	0,00146
37,84	1,57	1,97	0,080241411	0,011517638	43,68	1,55	1,85	0,075353659	0,01082	0,075353659	0,01082
37,92	1,43	1,73	0,070465807	0,010114474	43,72	1,42	1,72	0,070080491	0,01006	0,070080491	0,01006
38,08	1,62	1,92	0,078204827	0,011225312	43,84	1,68	1,98	0,076575559	0,01099	0,076575559	0,01099
38,32	0,06	0,36	0,014663405	0,002104746	44,24	-0,17	0,13	0,005293518	0,00076	0,005293518	0,00076
38,64	1,65	1,95	0,079426772	0,011400707	44,52	0,66	0,96	0,014663405	0,00210	0,014663405	0,00210
38,76	1,48	1,78	0,072502391	0,010406799	44,60	-0,11	0,19	0,007739019	0,00111	0,007739019	0,00111
38,88	1,64	1,94	0,079301946	0,011342242	44,66	0,06	0,36	0,014663405	0,00210	0,014663405	0,00210
					45,00	0	0,3	0,012219504	0,00175	0,012219504	0,00175

Σημείο 3ο
τάσεις (πίεσεις) στο έδαφος (κάτω από τον στρωτήρα) κατά τη διέλευση του συρμού



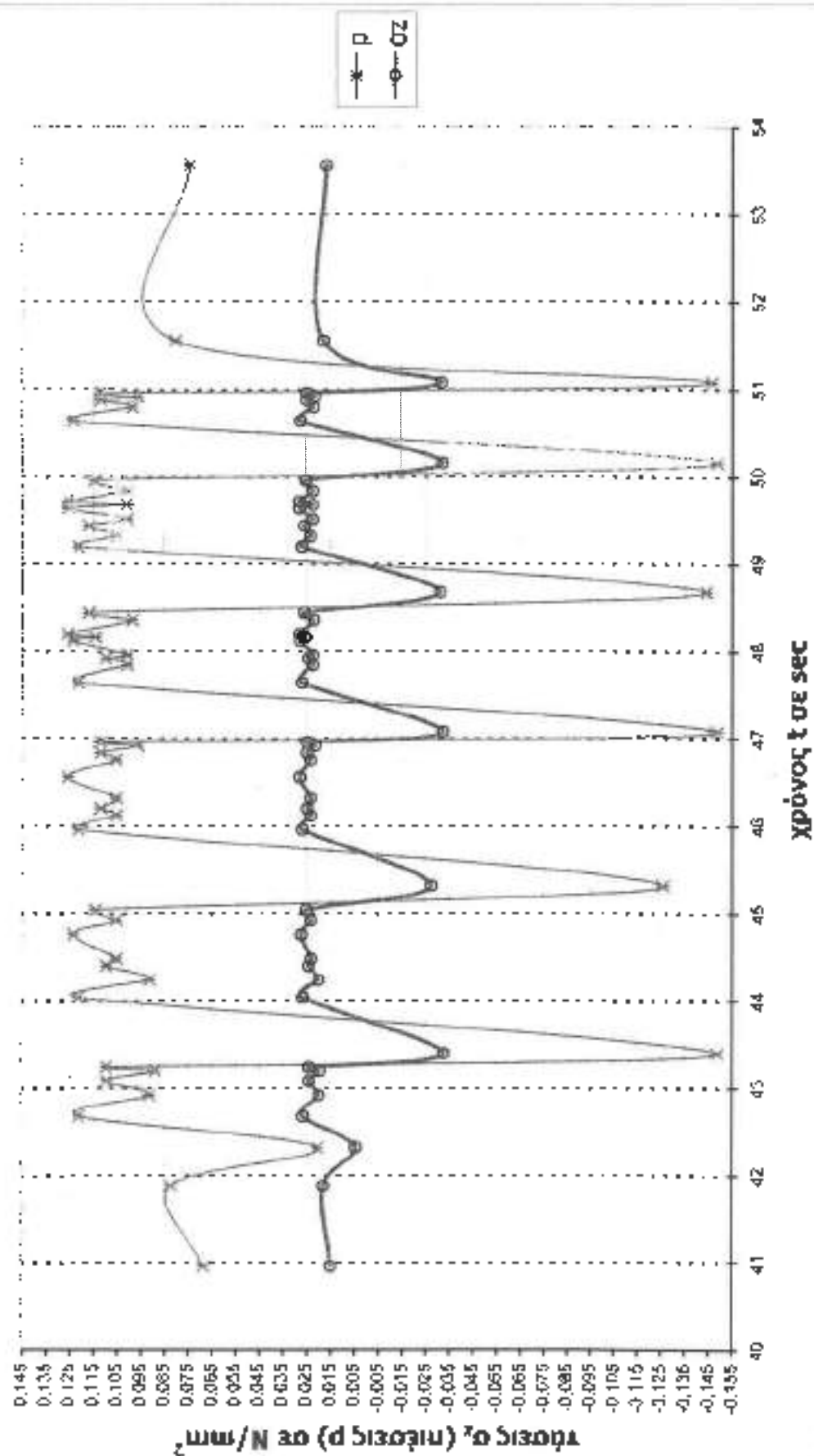
ΠΙΝΑΚΑΣ 13_4				
Μεταβολή της θλιπτικής τάσης σ_z (και της πίεσης p) στο				
έδαφος (κάτω από το στρώτηρα) σε συνάρτηση με το χρόνο t				
Ημερομηνία: 27/08				
Σημείο: 4ο				
Μέτρηση: 4η				
ένανξη μέτρησης: 9:15.92				
	$C(N/mm^3)$	n	$bs(mm)$	$z'(mm)$
	0,0155	3,141592654	250	665,8772601
χρόνος t (sec)	γ	$\gamma+0,3$	$\rho(N/mm^2)$	$\sigma_z(N/mm^2)$
15,92	0	0,3	0,004659155	0,000541341
16,60	-0,83	-0,53	-0,008231174	-0,000956369
17,84	3,8	4,1	0,063675121	0,007398326
18,64	-1,69	-1,39	-0,021587419	-0,002508213
19,80	3,8	4,1	0,063675121	0,007398326
20,20	3,55	3,85	0,059792491	0,006947208
20,72	3,75	4,05	0,062898595	0,007308102
21,36	-1,49	-1,19	-0,018481315	-0,002147319
22,24	3,77	4,07	0,063209205	0,007344192
22,52	3,42	3,72	0,057773524	0,006712627
23,16	3,79	4,09	0,063519815	0,007380281
23,64	-1,78	-1,48	-0,022985165	-0,002670615
24,48	3,79	4,09	0,063519815	0,007380281
24,80	3,57	3,87	0,060103102	0,006983298
25,12	3,75	4,05	0,062898595	0,007308102
25,64	-1,63	-1,33	-0,020655588	-0,002399945
26,32	3,77	4,07	0,063209205	0,007344192
26,56	3,59	3,89	0,060413712	0,007019387
26,92	3,77	4,07	0,063209205	0,007344192
27,40	-1,96	-1,66	-0,025780659	-0,00299542
27,72	3,63	3,93	0,061034933	0,007091566
27,76	3,5	3,8	0,059015965	0,006856985
27,92	3,81	4,11	0,063830426	0,00741637
28,48	-0,45	-0,15	-0,002329578	-0,00027067
28,88	0,06	0,36	0,005590986	0,000649609
29,11	0,02	0,32	0,004969766	0,00057743
33,92	0	0,3	0,004659155	0,000541341

Σημείο 4ο
τάσεις (πιέσεις) στο έδαφος (κάτω από το στρώτηρα) κατά τη διέλευση του συρμού



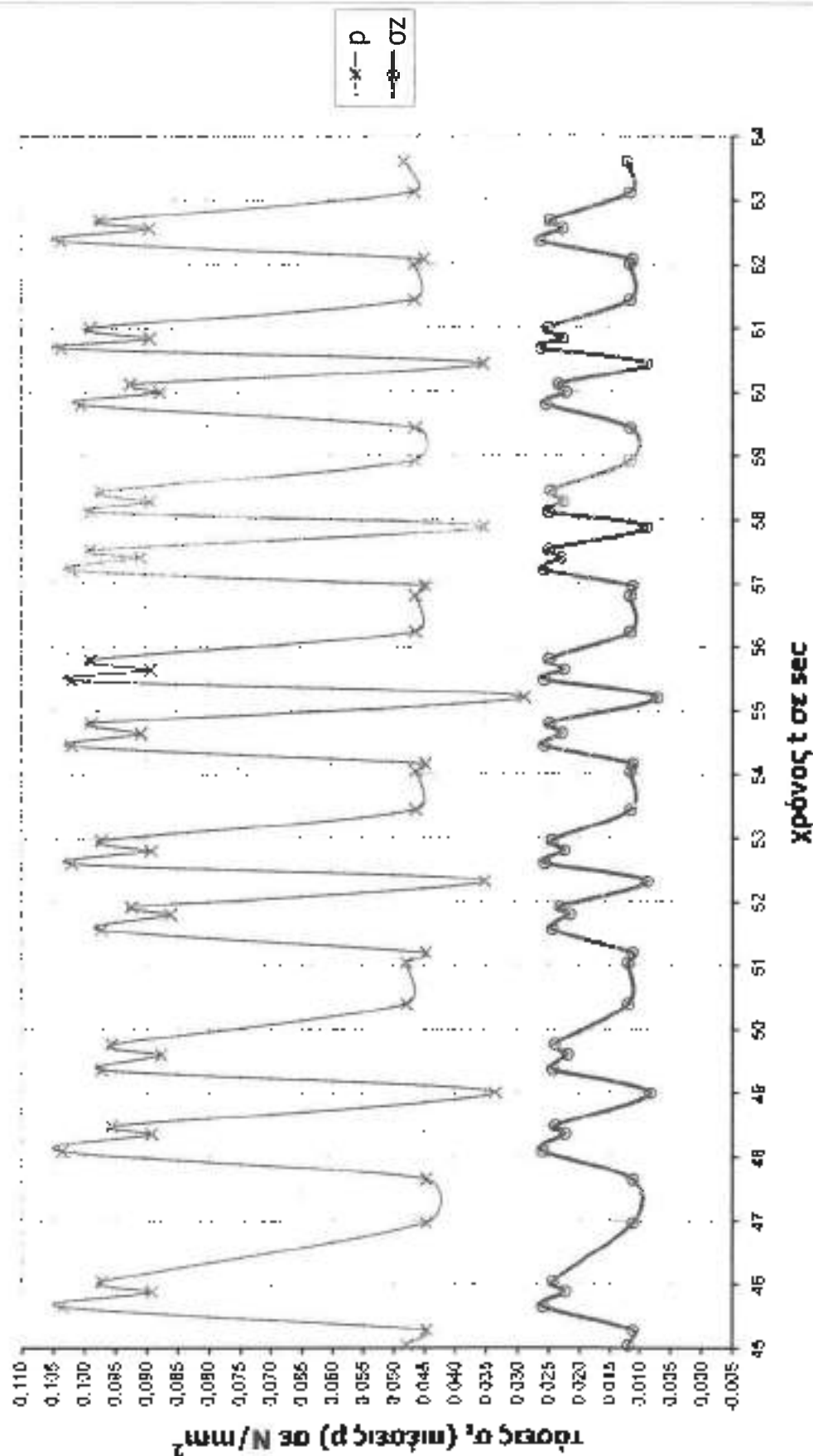
ΠΙΝΑΚΑΣ 13_5													
Μεταβολή της θλιπτικής τάσης σε (και της πίεσης p) στο έδαφος (κάτω από το στρώτηρα) σε συνάρτηση με το χρόνο t													
Ημερομηνία: 27/08													
Σημείο: 50													
Μέτρηση: 1η													
έναντι μέτρησης: 13:40:96													
	$C(N/mm^2)$	n	bs(mm)	$\sigma'_s(N/mm^2)$	$\sigma'_s(N/mm^2)$	γ	$\gamma+0,3$	χρόνος t (sec)	$\rho(N/mm^2)$	$\rho(N/mm^2)$	$\sigma_s(N/mm^2)$		
χρόνος t (sec)	γ	$\gamma+0,3$	$\rho(N/mm^2)$	$\sigma'_s(N/mm^2)$	$\sigma'_s(N/mm^2)$	γ	$\gamma+0,3$	χρόνος t (sec)	$\rho(N/mm^2)$	$\rho(N/mm^2)$	$\sigma_s(N/mm^2)$		
40,96	0	0,3	0,068625187	0,015107531	0,015107531	0,18	0,48	47,92	0,109800299	0,109800299	0,02417		
41,88	0,06	0,36	0,082350224	0,018129037	0,018129037	0,14	0,44	47,96	0,100650274	0,100650274	0,02216		
42,32	-0,21	0,09	0,020587556	0,004532259	0,004532259	0,24	0,54	48,12	0,123525336	0,123525336	0,02719		
42,68	0,23	0,53	0,12133783	0,026689971	0,026689971	0,2	0,5	48,16	0,114375311	0,114375311	0,02518		
42,92	0,1	0,4	0,091500249	0,020143374	0,020143374	0,25	0,55	48,20	0,125812842	0,125812842	0,02770		
43,08	0,18	0,48	0,109800299	0,024172049	0,024172049	0,13	0,43	48,36	0,098362768	0,098362768	0,02165		
43,20	0,09	0,39	0,089212743	0,01963979	0,01963979	0,21	0,51	48,44	0,116662817	0,116662817	0,02568		
43,24	0,18	0,48	0,109800299	0,024172049	0,024172049	-0,93	-0,63	48,68	-0,144112892	-0,144112892	-0,03173		
43,40	-0,95	-0,65	-0,148687905	-0,032732983	-0,032732983	0,23	0,53	49,20	0,12123783	0,12123783	0,02669		
44,04	0,23	0,53	0,12123783	0,026689971	0,026689971	0,16	0,46	49,32	0,105225286	0,105225286	0,02316		
44,24	0,1	0,4	0,091500249	0,020143374	0,020143374	0,21	0,51	49,44	0,116662817	0,116662817	0,02568		
44,40	0,18	0,48	0,109800299	0,024172049	0,024172049	0,14	0,44	49,52	0,100650274	0,100650274	0,02216		
44,48	0,16	0,46	0,105225286	0,02316488	0,02316488	0,25	0,55	49,64	0,125812842	0,125812842	0,02770		
44,76	0,24	0,54	0,123525336	0,027193555	0,027193555	0,14	0,44	49,66	0,100650274	0,100650274	0,02216		
44,92	0,16	0,46	0,105225286	0,02316488	0,02316488	0,25	0,55	49,72	0,125812842	0,125812842	0,02770		
45,04	0,2	0,5	0,114375311	0,025179218	0,025179218	0,14	0,44	49,84	0,100650274	0,100650274	0,02216		
45,32	-0,85	-0,55	-0,125812842	-0,027697139	-0,027697139	0,2	0,5	49,96	0,114375311	0,114375311	0,02518		
45,96	0,23	0,53	0,12123783	0,026689971	0,026689971	-0,95	-0,65	50,16	-0,148687905	-0,148687905	-0,03273		
46,12	0,16	0,46	0,105225286	0,02316488	0,02316488	0,24	0,54	50,64	0,123525336	0,123525336	0,02719		
46,20	0,19	0,49	0,112087805	0,024675633	0,024675633	0,13	0,43	50,80	0,098362768	0,098362768	0,02165		
46,32	0,16	0,46	0,105225286	0,02316488	0,02316488	0,19	0,49	50,88	0,112087805	0,112087805	0,02468		
46,56	0,25	0,55	0,125812842	0,027697139	0,027697139	0,12	0,42	50,92	0,096075261	0,096075261	0,02115		
46,76	0,16	0,46	0,105225286	0,02316488	0,02316488	0,19	0,49	50,96	0,112087805	0,112087805	0,02468		
46,84	0,19	0,49	0,112087805	0,024675633	0,024675633	-0,94	-0,64	51,08	-0,146400398	-0,146400398	-0,03223		
46,92	0,12	0,42	0,096075261	0,021150543	0,021150543	0,05	0,35	51,56	0,080062718	0,080062718	0,01763		
46,96	0,19	0,49	0,112087805	0,024675633	0,024675633	0,02	0,32	53,56	0,073200199	0,073200199	0,01611		
47,08	-0,95	-0,65	-0,148687905	-0,032732983	-0,032732983								
47,64	0,23	0,53	0,12123783	0,026689971	0,026689971								
47,84	0,14	0,44	0,100650274	0,022157712	0,022157712								

Σημείο 5ο
τάσεις (πίεσεις) στο έδαφος (κάτω από το στρωτήρα) κατά τη διέλευση του συρμού

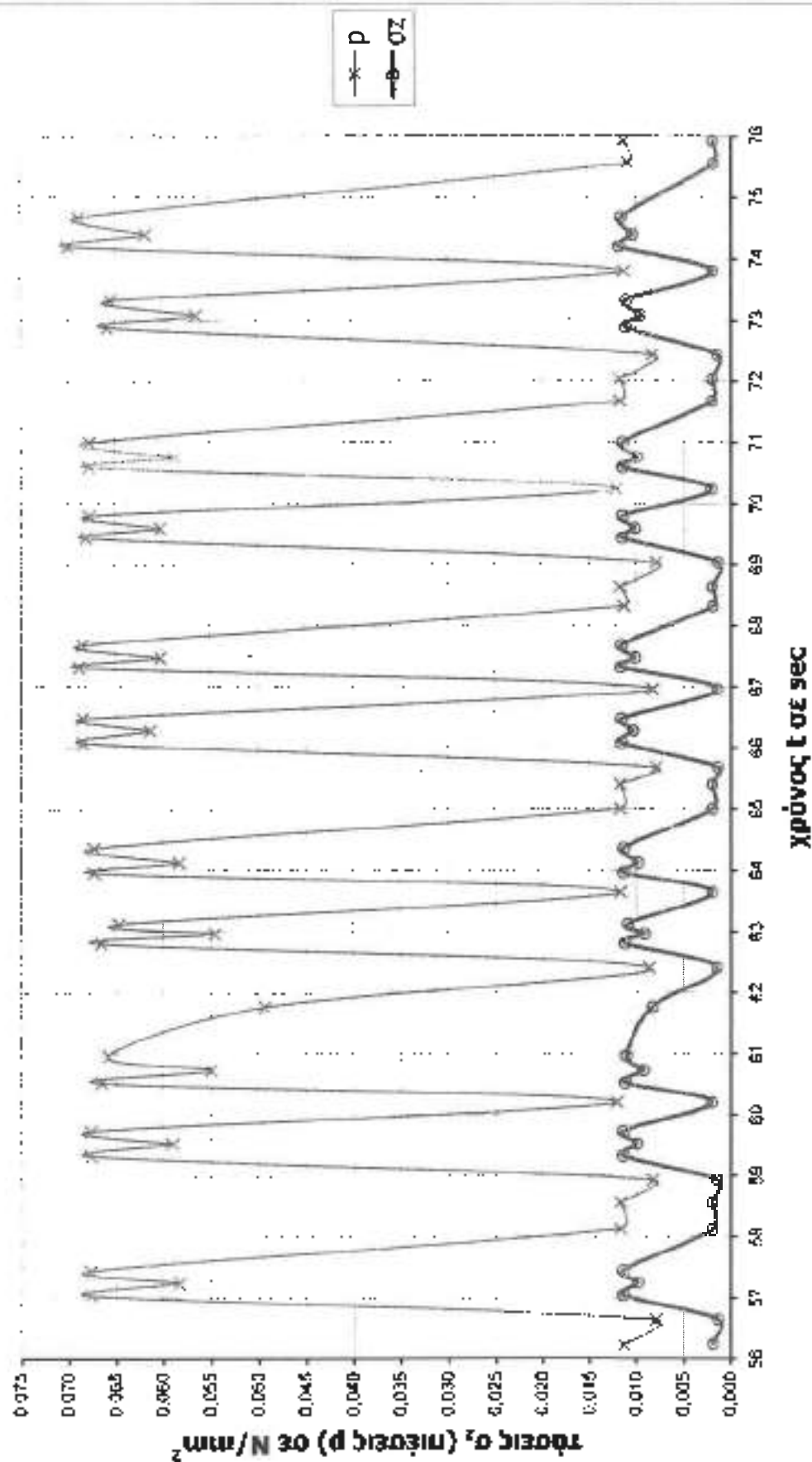


ΠΙΝΑΚΑΣ 13.6												
Μεταβολή της θαλπτικής τάσης σε (και της πίεσης p) στο έδαφος (από το στρωτήρα) σε συνάρτηση με το χρόνο t												
Ημερομηνία: 09/10												
Σημείο: 60												
Μέτρηση: 2η												
Έναρξη μέτρησης: 00:45:04												
χρόνος t (sec)	γ	$\gamma+0,3$	h	bs(mm)	$\sigma_z(N/mm^2)$	$z'(mm)$	χρόνος t (sec)	γ	$\gamma+0,3$	$\rho(N/mm^2)$	$\sigma_z(N/mm^2)$	
45,04	0	0,3	3,141592654	300	0,047802398	0,011902759	55,20	-0,12	0,18	0,028681439	0,00714	
45,28	-0,02	0,28			0,044615571	0,011109241	55,48	0,34	0,64	0,101978448	0,02539	
45,64	0,35	0,65			0,103571861	0,02578931	55,64	0,26	0,56	0,089231142	0,02222	
45,88	0,26	0,56			0,089231142	0,022218483	55,80	0,32	0,62	0,098791622	0,02460	
46,04	0,31	0,61			0,097198208	0,024202276	56,24	-0,01	0,29	0,046208984	0,01151	
46,96	-0,02	0,28			0,044615571	0,011109241	56,80	-0,01	0,29	0,046208984	0,01151	
47,64	-0,02	0,28			0,044615571	0,011109241	56,96	-0,02	0,28	0,044615571	0,01111	
48,08	0,35	0,65			0,103571861	0,02578931	57,20	0,34	0,64	0,101978448	0,02539	
48,36	0,26	0,56			0,089231142	0,022218483	57,40	0,27	0,57	0,090824555	0,02262	
48,48	0,3	0,6			0,095604795	0,023805517	57,52	0,32	0,62	0,098791622	0,02460	
49,00	-0,09	0,21			0,033461678	0,008331931	57,98	-0,08	0,22	0,035055092	0,00873	
49,36	0,31	0,61			0,097198208	0,024202276	58,12	0,32	0,62	0,098791622	0,02460	
49,60	0,25	0,55			0,087637729	0,021821724	58,28	0,26	0,56	0,089231142	0,02222	
49,76	0,3	0,6			0,095604795	0,023805517	58,44	0,31	0,61	0,097198208	0,02420	
50,40	0	0,3			0,047802398	0,011902759	58,92	-0,01	0,29	0,046208984	0,01151	
51,04	0	0,3			0,047802398	0,011902759	59,44	-0,01	0,29	0,046208984	0,01151	
51,20	-0,02	0,28			0,044615571	0,011109241	59,80	0,33	0,63	0,100385035	0,02500	
51,56	0,31	0,61			0,097198208	0,024202276	60,00	0,25	0,55	0,087637729	0,02182	
51,80	0,24	0,54			0,086044316	0,021424966	60,12	0,28	0,58	0,092417969	0,02301	
51,92	0,28	0,58			0,092417969	0,023012	60,44	-0,08	0,22	0,035055092	0,00873	
52,32	-0,08	0,22			0,035055092	0,00872869	60,68	0,35	0,65	0,103571861	0,02579	
52,60	0,34	0,64			0,101978448	0,025392552	60,84	0,26	0,56	0,089231142	0,02222	
52,80	0,26	0,56			0,089231142	0,022218483	61,00	0,32	0,62	0,098791622	0,02460	
52,96	0,31	0,61			0,097198208	0,024202276	61,44	-0,01	0,29	0,046208984	0,01151	
53,44	-0,01	0,29			0,046208984	0,011506	62,00	-0,01	0,29	0,046208984	0,01151	
54,04	-0,01	0,29			0,046208984	0,011506	62,08	-0,02	0,28	0,044615571	0,01111	
54,16	-0,02	0,28			0,044615571	0,011109241	62,36	0,35	0,65	0,103571861	0,02579	
54,44	0,34	0,64			0,101978448	0,025392552	62,56	0,26	0,56	0,089231142	0,02222	
54,64	0,27	0,57			0,090824555	0,022615241	62,68	0,31	0,61	0,097198208	0,02420	
54,80	0,32	0,62			0,098791622	0,02460	63,12	-0,01	0,29	0,046208984	0,01151	
							63,60	0	0,3	0,047802398	0,01190	

Σημείο 60
 τάσεις (πιέσεις) στο έδαφος (κάτω από το στρωτήρα) κατά τη διέλευση του συρμού



Σημείο 7ο
 τάσεις (πιέσεις) στο έδαφος (κάτω από το στρωτήρα) κατά τη διέλευση του συρμού



Συγκρίνοντας τα διαγράμματα που προέκυψαν από τους υπολογισμούς με το διάγραμμα του σχήματος 5 από το θεωρητικό υπόβαθρο, παρατηρούνται τα εξής:

- Στο διάγραμμα του σχήματος 5 στη διέλευση των δύο πρώτων αξόνων παρατηρείται αιχμή του διαγράμματος, δηλαδή μία δυσανάλογη αύξηση των τάσεων κάτω από τον υπό εξέταση στρωτήρα. Αυτό οφείλεται στο μεγάλο βάρος το πρώτου φορείου που φέρει τη μηχανή έλξης. Το γεγονός αυτό δεν παρατηρείται στις μετρήσεις της εργασίας αυτής εξαιτίας του διαφορετικού είδους των συρμών, οι οποίοι δεν έχουν αισθητή διαφορά βάρους ανάμεσα στα κινητήρια και τα ιθυντήρια βαγόνια.
- Στο διάγραμμα του σχήματος 5 παρατηρείται ότι οι τάσεις δεν προλαβαίνουν να μηδενιστούν ανάμεσα στους ακραίους τροχούς δύο διαδοχικών φορέων εξαιτίας της μικρής απόστασης μεταξύ τους και της επιρροής που έχουν σε τόση μικρή απόσταση, όπως ακριβώς παρατηρείται και στα διαγράμματα που προκύπτουν από τους υπολογισμούς.
- Οι τιμές των τάσεων στο διάγραμμα του σχήματος 5 κυμαίνονται στα ίδια περίπου επίπεδα με αυτά των διαγραμμάτων που προκύπτουν από τους υπολογισμούς αν λάβει κανείς υπόψη του την κοδυναμία $1[\text{kN}/\text{m}^2] = 10^{-3}[\text{N}/\text{mm}^2]$.
- Στα διαγράμματα που προέκυψαν από τους υπολογισμούς περιλαμβάνεται επίσης και η συνάρτηση της πίεσης κάτω από το στρωτήρα με το χρόνο, έτσι ώστε να είναι δυνατή η επικάλυψη της αναλογίας της πίεσης ακριβώς κάτω από το στρωτήρα με την τάση στο έδαφος.

14. ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.

Σχετικά με τη μέθοδο μέτρησης των βυθίσεων που αναπτύχθηκε κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας παρατηρούνται τα εξής:

- Η ανάλυση και η καταγραφή των ενδείξεων του οργάνου επιτυγχάνεται καλύτερα με μέση ταχύτητα 20 [km/h] διότι με μικρότερες ταχύτητες οι ταλαντώσεις του στρωτήρα καθιστούν αδύνατη τη διάκριση των βυθίσεων όταν αυτές είναι πολύ μικρές, ενώ σε πιο μεγάλες ταχύτητες δεν προλαβαίνει η βιντεοκάμερα να καταγράψει όλες τις βυθίσεις.
- Η ακρίβεια των μετρήσεων είναι ικανοποιητική, όπως προκύπτει από τη στατιστική επεξεργασία.
- Τα διαγράμματα που προκύπτουν από την επεξεργασία των μετρήσεων ποιοτικά ταυτίζονται με παρόμοια διαγράμματα από τη βιβλιογραφία.
- Με τη συγκεκριμένη μέθοδο είναι αδύνατη η λήψη μεγάλου δείγματος μετρήσεων.

Από την επεξεργασία των μετρήσεων προκύπτουν τα παρακάτω:

- Η μέγιστη ανύψωση της σιδηροτροχιάς λαμβάνει χώρα ανάμεσα στη διέλευση του δεύτερου άξονα του πρώτου φορείου και του πρώτου άξονα του δεύτερου φορείου του ίδιου βαγονιού.
- Μετά τη διέλευση του συρμού παρατηρείται στο στρωτήρα παραμένουσα βύθιση, η οποία αποσβένεται μετά από χρονικό διάστημα t ανάλογα με την ελαστικότητα της γραμμής.
- Το ποσοστό της ανύψωσης ως προς τη βύθιση είναι γενικά μεγάλο και κυμαίνεται από 7% έως 400% με μέση τιμή περίπου το 40%. Το ποσοστό αυτό είναι πολύ πάνω από το φυσιολογικό – το οποίο είναι περί το 4% - γεγονός που οδηγεί σε μικρή αντίσταση έναντι πλευρικής μετατόπισης.

- Οι μπετονένιοι στρωτήρες δίνουν γενικά καλύτερα αποτελέσματα στις μετρήσεις, αν και η συμπεριφορά τους χαρακτηρίζεται παρόμοια με αυτή των ξύλινων.

Από τον υπολογισμό των τάσεων συμπεραίνονται τα εξής:

- Για τις μετρηθείσες βυθίσεις οι τάσεις σε τρία σημεία μετρήσεων είναι εκτός επιτρεπόμενων ορίων, πρόβλημα που δεν αντιμετωπίζεται αποτελεσματικά με την προσθήκη ενδιάμεσης στρώσης. Στα σημεία αυτά – πρόκειται για τα σημεία με μεγάλη μετρούμενη βύθιση και μικρό δείκτη αντίδρασης εδάφους – η επίδραση των γετονικών στρωτήρων είναι μεγάλη και η αγνόησή τους είναι δυνατό να οδηγήσει σε σημαντικά λάθη. Η επίδραση αυτή αυξάνεται αναλογικά με το βάθος στο οποίο γίνεται ο υπολογισμός.
- Για αναμενόμενες βυθίσεις, ακόμα και με το μικρότερο θεωρούμενο δείκτη αντίδρασης εδάφους, οι κατακόρυφες θλιπτικές τάσεις είναι εντός ορίων. Ο δείκτης αντίδρασης εδάφους αυτός είναι εφικτός αλλά και απαραίτητος να επιτευχθεί.
- Η κατάσταση της γραμμής είναι ανησυχητική, μιας και παρουσιάζεται έντονη ανομοιομορφία, γεγονός που κατά μεγάλο ποσοστό οφείλεται στην κακή συντήρησή της.

15. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ.

1. Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάστηκε έλλειψη δυνατότητας λήψης μετρήσεων σε πολλά σημεία της γραμμής ώστε να υπάρξει μία ολοκληρωμένη εικόνα της κατάστασης της επιδομής και υποδομής του δικτύου του Η.Σ.Α.Π. και να μπορούν να εντοπιστούν και να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά τα προβλήματα που παρουσιάζονται. Για το σκοπό αυτό είναι απαραίτητο να γίνουν μετρήσεις σε όλο το μήκος της γραμμής με δίκτυο ηλεκτρονικών οργάνων καταγραφής που καθιστούν το πλήθος των μετρήσεων αυτών εφικτό. Οι μετρήσεις αυτές καλό είναι να επαναλαμβάνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα ώστε να μπορεί να αξιολογηθεί τόσο η φθορά της γραμμής με το πέρασμα του χρόνου όσο και η αποτελεσματικότητα των έργων βελτίωσης της γραμμής που τυχόν λαμβάνουν χώρα.
2. Η δεύτερη δυσκολία που παρουσίασε η εργασία αυτή (και που αντιμετωπίστηκε με τη θεώρηση κάποιων παραδοχών) ήταν η άγνοια σχετικά με το ακριβές πάχος αλλά και το μέτρο ελαστικότητας των στρώσεων της επιδομής αλλά και του εδάφους. Για το λόγο αυτό απαραίτητο θα ήταν να γίνει ένας προσδιορισμός των στρώσεων και των ιδιοτήτων τους στη γραμμή του Η.Σ.Α.Π. με τη χρησιμοποίηση του κατάλληλου εξοπλισμού που διαθέτει το εργαστήριο οδοστρωμάτων του τομέα μεταφορών και συγκοινωνιακής υποδομής του Ε.Μ.Π.
3. Σημαντικό είναι επίσης να γίνουν δοκιμαστικές φορτίσεις στη γραμμή ώστε να προκύψουν όρια επιτρεπόμενων τάσεων που μεταβιβάζονται στο έδαφος, με τα οποία να μπορούν να συγκριθούν οι τάσεις που μετρώνται κάθε φορά.

Για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι σαφές ότι τα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας περιορίστηκαν σε δειγματοληπτικές μετρήσεις και τα αποτελέσματα αυτής σε καμία περίπτωση δεν μπορούν να δώσουν αντιπροσωπευτικά συμπεράσματα για την κατάσταση της γραμμής του Η.Σ.Α.Π. αλλά μόνο μία πρώτη προσέγγιση του αντικείμενου. Το σαφές συμπέρασμα που προκύπτει από την εργασία αυτή είναι η έντονη

ανομοιομορφία της επιδομής και υποδομής του δικτύου αλλά και η αναγκαιότητα για μία πιο επιστομένη έρευνα.

16. ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

α	η γωνία σε	[$^{\circ}$]
α'	η γωνία σε	[rad]
a	απόσταση μεταξύ στρωτήρων	[mm]
A	επίπεδο εμπιστοσύνης	
b	πλάτος του υποθετικού κατά μήκος φορέα	[mm]
b_s	πλάτος του στρωτήρα	[mm]
C	δείκτης αντίδρασης εδάφους	[N/mm ³]
D	συντελεστής βύθισης στρωτήρα	[N/mm]
d	max ανέβασμα στρωτήρα	[mm]
d_1	πρώτο ανέβασμα στρωτήρα	[mm]
E_n	μέτρο ελαστικότητας στρώσης n	[N/mm ²]
E_x	μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα $2,1 \cdot 10^5$	[N/mm ²]
E_{v2}	μέτρο ελαστικότητας εδάφους	[N/mm ²]
$E_{dyn,\mu}$	δυναμικό μέτρο ελαστικότητας των προστατευτικών στρώσεων / υποδομής / εδάφους.	[N/mm ²]
F_1	ενεργός επιφάνεια στρωτήρα ανά σιδηροτροχιά	[mm ²]
h	πάχος στρώσης	[mm]
h'	ισοδύναμο πάχος στρώσης	[mm]

η	συντελεστής που χαρακτηρίζει την επιρροή στην κάμψη της γραμμής σε δεδομένη απόσταση από τη διερευνούμενη διατομή	
θ	δυναμικός συντελεστής	
I	ροπή αδράνειας της σιδηροτροχιάς	$[mm^4]$
J	τιμή μέτρησης μεγέθους	
j_{μ}	μέση τιμή μετρούμενου μεγέθους	
$k_{\theta n}$	δυναμικός συντελεστής	
L	ελαστικό μήκος	$[mm]$
l	μήκος στρωτήρα	$[mm]$
m	μεσαίο τμήμα ελεύθερο έδρασης (δεν υπογομώνεται)	$[mm]$
M_{en}	επιπλέον καμπτική ροπή λόγω επιρροής των διπλανών στρωτήρων	$[Nmm]$
μ	συντελεστής που χαρακτηρίζει την επιρροή στην καμπτική ροπή σε δεδομένη απόσταση από τη διερευνούμενη διατομή	
n	πλήθος μετρήσεων	
n	πλήθος φορτίσεων κατά την κρίσιμη περίοδο για υγρά και ευαίσθητα στον παγετό εδάφη	
ξ	συντελεστής εξαρτώμενος από η και μ	
p	πίεση στην διεπικάνεια στρωτήρα έρματος	$[N/mm^2]$
Q	φορτίο τροχού	$[N]$

q	ο συντελεστής απόσβεσης	
ρ	συντελεστής κατάστασης επιδομής	
s	απόσταση μεταξύ των μέσων στην κεφαλή σιδηροτροχιών (κανονικό εύρος 1500 mm)	[mm]
s_s	τυπική απόκλιση	
s_s^2	στατιστική διασπορά	
σ_m	μέση τάση στο μέσο του πέλματος της σιδηροτροχιάς	[N/mm ²]
σ_x	οριζόντια τάση σε	[N/mm ²]
σ_z	κατακόρυφη τάση σε	[N/mm ²]
σ_z', σ_z''	οι επιπρόσθετες τάσεις σε βάθος z κάτω από τον υπό εξέταση στρωτήρα	[N/mm ²]
$\sigma_{z,t}$	τελική κατακόρυφη τάση	[N/mm ²]
$\sigma_{z,σπρ}$	επιτρεπόμενες τάσεις στο έδαφος	[N/mm ²]
$\sigma_{z,σπρ1}$	επιτρεπόμενη τάση για $n=10^6$ διελεύσεις	[N/mm ²]
$\sigma_{z,σπρ2}$	επιτρεπόμενη τάση για $n=10^7$ διελεύσεις	[N/mm ²]
τ_{max}	διατμητική τάση σε	[N/mm ²]
t	χρόνος σε	[sec]
t_s	συντελεστής κατανομής student	
t_o	στατιστική ασφάλεια	

$\bar{u}$	απόσταση άξονα σιδηροτροχιάς μέχρι την άκρη (μέτωπο) του στρωτήρα	[mm]
$2\bar{u}$	μήκος ενεργού κάτω επιφάνειας στρωτήρα	[mm]
$V_{res, Anf}$	η ταχύτητα ταλάντωσης σε βάθος $z=0$	[m/sec]
W_d	ροπή αντίστασης στο πέλμα της σιδηροτροχιάς	[mm ²]
ϕ	συντελεστής ταχύτητας	
x	η απόσταση από τη διερευνούμενη διατομή	[mm]
x_{cr}	κρίσιμη απόσταση μεταξύ των αξόνων του φορείου (μεταξόνιο)	[mm]
x_n	απόσταση από τον υπό εξέταση στρωτήρα έτσι ώστε η επίδραση των γεγονικών στρωτήρων να είναι σημαντική.	[mm]
y	βύθιση του στρωτήρα στο έρμα (μέγιστη)	[mm]
$y_{ελαστ}$	βύθιση ελαστικού υποθέματος	[mm]
$y_{ελ}$	επιπλέον κάμψη (βύθιση) λόγω επιρροής των διπλανών στρωτήρων	[mm]
y_{μ}	μέση τιμή βύθισης στρωτήρα	[mm]
$y_{\mu 1,2}$	όρια διαστήματος εμπιστοσύνης βύθισης	[mm]
y_m	μέση τιμή μετρούμενης βύθισης σιδηροτροχιάς	[mm]
y_n	βύθιση λόγω κενού έρματος	[mm]
$y_{ολοκ}$	συνολική βύθιση (ή αλλιώς y_n)	[mm]

$\gamma_{\text{ολοκλ}}$	$= \gamma_{\text{ελαστ}} + \gamma_0$	[mm]
z	πραγματικό βάθος κάτω από το στρωτήρα	[mm]
z'	ισοδύναμο βάθος κάτω από το στρωτήρα σε	[mm]

17. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- {1} Λυμπέρης Κ.:
"Σημειώσεις από τα μαθήματα των Σιδηροδρόμων"
Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Ε.Μ.Π.,
2003
- {2} Lichtberger, B.:
"Handbuch Gleis", "Unterbau, Oberbau Instandhaltung,
Wirtschaftlichkeit"
Teitzlaff Verlag
2003
- {3} IVT, ETH Zürich:
"Optimierung des Oberbaus bei Meterspurbahnen"
Teil 2, Schriftenreihe des IVT Nr. 100/2,
Zürich, Juni 1994
- {4} Wilhelm E. & Sohn:
**"Forschungsarbeiten auf dem Gebiet des Eisenbahn- und
Strassenoberbaues"**
Verlag von Wilhelm Ernst und Sohn,
Berlin - München - Düsseldorf, 1974
- {5} Rehfeld E.:
**"Wirkungen der Zugüberfahrt auf Oberbau, Unterbau und
Untergrund"**
EI, Dezember 2000
- {6} Müller-Boruttau F., Rosenthal V., Breitsamter N.:
**"So trägt der Schotter Lasten ab - Messungen in situ am
Oberbau, SYSTEME GRÖTZ BSO/MK"**
ETR, November 2001
- {7} Müller-Boruttau F.:
**"Elastische Gleiskomponenten verringern die dynamische
Unterbau- und Untergrundbeanspruchung"**

EI, Januar 2001

- {8} Müller-Borutta F., Breitsamter N.:
"Elastische Elemente verringern die Fahrwegbeanspruchung"
ETR, September 2000
- {9} Hubal H.:
"Geotextilien im Eisenbahnbau", "Einsatzbereiche, Erfahrungen
und Entwicklungen"
EI, April 2000
- {10} Eisenmann J., Rump R.:
"Ein Schotteroberbau für hohe Geschwindigkeiten"
ETR, März 1997
- {11} Stahl W.:
"Schotteroberbau für Hochgeschwindigkeitverkehr"
ETR, November 1999
- {12} Darr E.:
"Systemvergleich Schotteroberbau – Feste Fahrbahn",
"Wertung der Bauarten der Feste Fahrbahn"
EI, April 1998
- {13} Riessberger R., Schilder R., Plika P.:
"Das Rahmenschwellengleis – Stand der Entwicklung"
ZEV, Juni 2000
- {14} Γεωργίου Χ.:
**"Εγχειρίδιο λειτουργίας συρμών 8^{ης} και 10^{ης} παραλαβής
Η.Σ.Α.Π. Α.Ε., διεύθυνση έλεγχος και αποκλεισμού γραμμής
συντήρηση οχημάτων"**
- {15} Γεωργίου Χ.:
**"Οχήματα 11^{ης} παραλαβής Η.Σ.Α.Π Α.Ε., διεύθυνση έλεγχος και
αποκλεισμού γραμμής"**

{16} VOEST-ALPINE:

"Oberbau – Profile, Oberbau – Fertigteile"

{17} Κοκολάκης Γ., Σπηλιώτης Ι.:

"Εισαγωγή στη θεωρία πιθανοτήτων και στατιστική"

Εκδόσεις Συμεών, 1999

18. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.

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

- Επιβλέποντες της διπλωματικής εργασίας.
- Κ^ο Μπαλλή, Λέκτορα του τομέα μεταφορών και συγκοινωνιακής υποδομής του Ε.Μ.Π. για τη συμβολή του στην εύρεση τρόπου διεξαγωγής των μετρήσεων.
- Κ^ο Καραχάλιο, υποψήφιο Διδάκτορα του τομέα μεταφορών και συγκοινωνιακής υποδομής για τη συμβολή του στην εύρεση τρόπου διεξαγωγής των μετρήσεων.
- Κ^ο Γκόλια, Επικ. Καθηγητή του τομέα μεταφορών και συγκοινωνιακής υποδομής του Ε.Μ.Π., για τη βοήθειά του στο μέρος της στατιστικής επεξεργασίας των μετρήσεων.
- Κ^ο Ρίζο, διευθυντή γραμμής του Η.Σ.Α.Π. για την παραχώρηση άδειας εισόδου στη γραμμή αλλά και χρόνου εργαζομένου του Η.Σ.Α.Π. για να εξασφαλιστεί η ασφάλειά μας.
- Κ^ο Αυμπέρη Αντώνιο για την παραχώρηση της ψηφιακής του βιντεοκάμερας με την οποία έγιναν οι μετρήσεις.
- Κ^ο Κιτσαντώνη, εργαζόμενο στον Η.Σ.Α.Π. για τη βοήθειά του στην εγκατάσταση της διάταξης των μετρήσεων όλων των ημερών αλλά και στην ασφαλή διέλευσή μας στη γραμμή.
- Δίδα Αδομοπούλου Ηλιάνα, φοιτήτρια του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. για τη βοήθειά της τόσο στη διεξαγωγή των μετρήσεων όσο και στη μορφοποίηση της διπλωματικής εργασίας καθ'όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της.

- Κ^ο Κρηπικίδη Ιωάννη, φοιτητή του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. για την παραχώρηση του προγράμματος επεξεργασίας της ταινίας των μετρήσεων και τη βοήθειά του κατά τη χρησιμοποίησή του.
- Δίδα Γιαννάκη Στεφανία – Τερέζα, φοιτήτρια του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. για τη βοήθειά της στις μεταφράσεις των γερμανικών κειμένων.