

ΣΥΝΟΨΗ

Τίτλος: «Εκτίμηση του δείκτη αντίδρασης εδάφους C, μέσω μετρήσεων βύθισης σε τμήμα γραμμής του ΟΣΕ»

Όνομα: Καρτέρης Γεώργιος

Επόπτης: Λυμπέρης Κωνσταντίνος, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

2010

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο προσδιορισμός του δείκτη αντίδρασης εδάφους C. Προς τούτο γίνονται μετρήσεις βυθίσεων σε τμήμα γραμμής του ΟΣΕ 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 τάσεις σ_z κάτω από την υπό εξέταση διατομή με τη θεωρία του Odemark. Υπολογίζεται επίσης η αναμενόμενη στατική και δυναμική βύθιση καθώς και οι τάσεις που αντιστοιχούν σε αυτές. Οι παραπάνω τάσεις συγκρίνονται με τα επιτρεπόμενα όρια όπως αυτά αναφέρονται στη βιβλιογραφία.

Λέξεις κλειδιά: έρμα, δείκτης αντίδρασης εδάφους, κατά μήκος στρωτήρας, βύθιση, αναμενόμενη στατική και δυναμική βύθιση, κατακόρυφες τάσεις, επιτρεπόμενα όρια.

ABSTRACT

Title: "Determination of the ground's reaction indicator C, with deflection's measuring at the OSE railway"

Name: Karteris Georgios

Supervisor: Liberis Konstantinos, Professor of N.T.U.A.

2010

The purpose of the present dissertation is the determination of the ground's reaction indicator C. therefore the deflection's measuring takes place at OSE'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 stresses blow the sleeper using Odemark's method. The expected static and dynamic deflections are being calculated as well as the stresses that came out of those deflections. The above stresses are being compared to the permissible limits that are taken from the bibliography.

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας είναι ο προσδιορισμός του δείκτη αντίδρασης εδάφους C στη γραμμή του ΟΣΕ, 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 Zimmermann. 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 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 της υπό εξέταση διατομής κατά τη διέλευση ενός συρμού και οι τιμές απεικονίζονται στα αντίστοιχα διαγράμματα σε συνάρτηση με το χρόνο.

Στην επόμενη ενότητα υπολογίζονται οι κατακόρυφες τάσεις κάτω από κάθε υπό εξέταση διατομή 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 την υπό εξέταση διατομή και συγκρίνονται με αντίστοιχα από τη βιβλιογραφία.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΣΥΝΟΨΗ.....	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	3
1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	7
1.1 Είδη επιδομής.....	7
1.1.1 Κλασική επιδομή με έρμα.....	7
1.1.2 Σταθερή επιδομή.....	7
1.1.2.1 Πλεονεκτήματα σταθερής επιδομής.....	8
1.1.2.2 Μειονεκτήματα σταθερής επιδομής.....	8
1.2 Δυνάμεις στην επιδομή.....	8
1.2.1 Διαδικασία υπολογισμού δυνάμεων.....	10
1.3 Σύνδεσμοι.....	13
1.3.1 Σύνδεσμοι για ξύλινους στρωτήρες.....	13
1.3.2 Σύνδεσμοι για μεταλλικούς στρωτήρες.....	13
1.3.3 Σύνδεσμοι για στρωτήρες από σκυρόδεμα.....	14
1.4 Είδη επιδομής.....	15
1.4.1 Υπολογισμός του δείκτη αντίδρασης εδάφους C.....	17
1.5 Θεωρία του κατά μήκος στρωτήρα.....	18
1.6 Διακύμανση του πάχους στρώσης έρματος.....	25
1.7 Η θεωρία του Odemark.....	29
1.7.1 Υπολογισμός τάσεων σε σύστημα πολλών στρώσεων στον άξονα της φόρτισης.....	31
1.7.2 Επίδραση των γειτονικών στρωτήρων στις τάσεις του εδάφους.....	33

1.7.3 Επιτρεπόμενες τάσεις στο έδαφος.....	34
1.8 Επιδράσεις κατά τη διέλευση συρμού σε επιδομή, υποδομή και υπέδαφος.....	35
1.8.1 Μεγέθη επίδρασης κάτω από διερχόμενο συρμό.....	36
1.8.2 Αλλαγές της γραμμής από διέλευση συρμών.....	40
1.8.3 Διαδικασία για την πιθανή βελτίωση της γραμμής.....	41
1.9 Σύγκριση βυθίσεων σε πολύ μικρές και πολύ μεγάλες ταχύτητες διέλευσης συρμών.....	43
2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	44
3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ.....	46
3.1 Εγκατάσταση του οργάνου.....	46
3.2 Περιγραφή του οργάνου μέτρησης PCD-300A και του προγράμματος PCD-30A.....	46
4. ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.....	48
5. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΤΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΠΟΥ ΕΞΕΤΑΖΟΝΤΑΙ.....	50
6. ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	51
7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	55
7.1 Πίνακας ενδείξεων.....	55
7.2 Πίνακας απόλυτων μεγεθών.....	55
7.3 Πίνακες στατιστικών μεγεθών.....	56
7.3.1 Πίνακας υπολογισμού τυπικής απόκλισης βύθισης.....	56
7.3.2 Πίνακας υπολογισμού διαστήματος εμπιστοσύνης βύθισης.....	56
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	60

8.1 Παρατηρήσεις σημείου.....	82
9. ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ C.....	83
10. ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΒΥΘΙΣΗ.....	85
11. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ.....	89
11.1 Υπολογισμός τάσεων κάτω από την υπό εξέταση διατομή.....	92
11.2 Υπολογισμός της επίδρασης των γειτονικών στρωτήρων στις τάσεις κάτω από την υπό εξέταση διατομή.....	125
12 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΑΣΕΩΝ.....	199
12.1 Σύγκριση τάσεων στο έδαφος με επιτρεπόμενες τιμές τάσεων.....	199
12.2 Σχολιασμός διαγραμμάτων.....	202
13 ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	203
14 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ.....	205
15 ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ.....	206
16 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	209
17 ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	212

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

1) ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

1.1 Είδη επιδομής

1.1.1 Κλασική επιδομή με έρμα

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της επιδομής με έρμα είναι το μικρό κατασκευαστικό κόστος και η εύκολη ρύθμιση και επαναφορά της γραμμής στην αρχική της θέση με ειδικά μηχανήματα.

Τα μειονεκτήματα αυτού του είδους επιδομής είναι δύο:

- Το χαλίκι με διαβάθμιση 22,4/63 mm με την συμπύκνωση υφίσταται θραύση και θρυμματισμό, με αποτέλεσμα την αλλαγή θέσης των κόκκων και δημιουργία κενών κάτω από το στρωτήρα, κάτι που συμβαίνει και με την αύξηση της ταχύτητας ταλάντωσης στο έρμα. Ως εκ τούτου, η συντήρηση είναι συχνότερη και το κόστος αυξάνεται.
- Η χημική καταπολέμηση των φυτικών οργανισμών που διεισδύουν στο έρμα επιβαρύνει το περιβάλλον.

1.1.2 Σταθερή επιδομή

Η σταθερή επιδομή συνίσταται ουσιαστικά από ένα σύστημα άκαμπτης φέρουσας κατασκευής από σκυρόδεμα (συνήθως) και τους κατάλληλα στερεωμένους και διαμορφωμένους συνδέσμους επ' αυτής, οι οποίοι συγκρατούν τις σιδηροτροχιές. Η άκαμπτη φέρουσα κατασκευή αποτελείται από φέρουσα διαμήκη, συνεχή, δύσκαμπτη πλάκα κατά κανόνα από σκυρόδεμα κατάλληλου πάχους και πλάτους (π.χ. 20 cm και 300 cm αντίστοιχα) και εδράζεται κατά κανόνα επί στρώσεως από κατεργασμένο με τσιμέντο αμμοχάλικο, κατάλληλου πάχους (20-40 cm) και πλάτους όσο της πάνω πλάκας αυξημένου κατά το διπλάσιο του πάχους της ίδιας στρώσης. Η στρώση αυτή εδράζεται επί του κατάλληλα διαμορφωμένου και καλώς συμπυκνωμένου (σταθεροποιημένου) εδάφους, με ή χωρίς παρεμβολή αντιπαγετικής στρώσης. Σκοπός της άκαμπτης αυτής φέρουσας κατασκευής είναι να παραλάβει και να μεταβιβάσει με ασφάλεια στο έδαφος τις δράσεις που προέρχονται από τα βάρη των συρμών και τις πρόσθετες δυναμικές επιπονήσεις που προκαλεί η κίνηση τους, καθώς και οι δράσεις από θερμοκρασιακές μεταβολές.

1.1.2.1 Πλεονεκτήματα σταθερής επιδομής

- Δε στροβιλίζονται οι κόκκοι του έρματος
- Δυνατότητα χάραξης μικρότερων παραμέτρων
- Μπορούν να κινηθούν επί αυτής οδικά σωστικά οχήματα
- Δεν απαιτείται χημική καταπολέμηση φυτικών οργανισμών
- Σχεδόν καθόλου συντήρηση
- Μικρό ύψος κατασκευής
- Υπερβολική ασφάλεια
- Δυνατότητα χρήσης στροβιλικής πέδης

1.1.2.2 Μειονεκτήματα σταθερής επιδομής

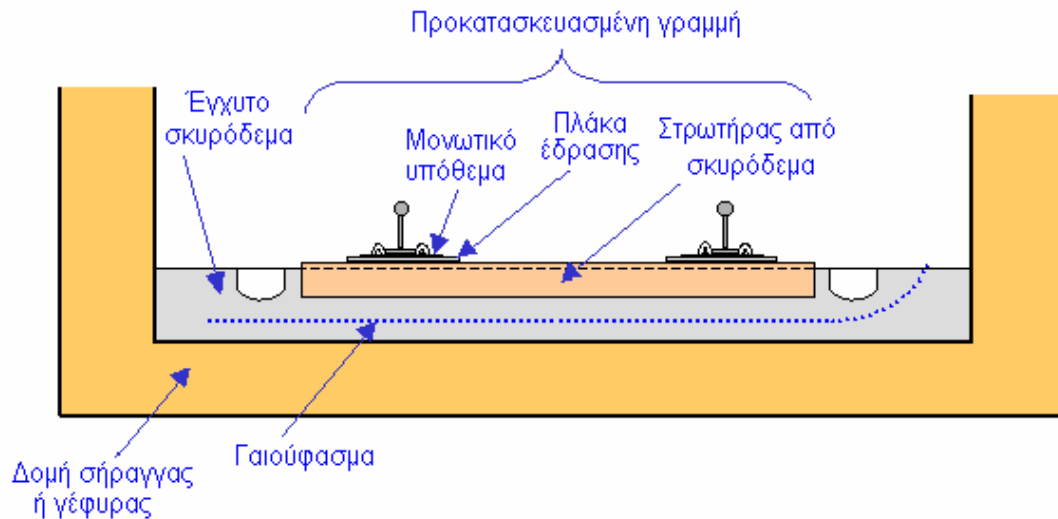
- Μεγαλύτερο κόστος κατασκευής
- Περισσότερη διαδικασία για επιδιόρθωση ή αντικατάσταση
- Απαιτείται επιπλέον αντιθορυβική στρώση

1.2 Δυνάμεις στην επιδομή

ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ (παράγοντες που επηρεάζουν την κατανομή τους)	ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ
A) Από το όχημα • Φορτίο ανά άξονα • Απόσταση αξόνων • Ανάρτηση • Ταχύτητα • Διάμετρος τροχού • Επιφάνεια επισώτρου (κατάσταση) • Δυνάμεις κατά την επιτάχυνση και την επιβράδυνση B) Από τη γραμμή • Ροπή αδράνειας σιδηροτροχιάς • Τύπος σύνδεσης σιδηροτροχιάς • Απόσταση μεταξύ των στρωτήρων • Έρμα • Υποδομή • Ακτίνα οριζοντιογραφικής καμπύλης • Υπερύψωση • Αρμοί • Αποκλίσεις από τη γεωμετρία στρώσης	Προέρχονται από τις θερμοκρασιακές μεταβολές

Όλες οι δυνάμεις που δρουν στην επιδομή ή προκαλούνται από θερμοκρασιακές μεταβολές ή ίδιες τάσεις στη σιδηροτροχιά κατατάσσονται σε τρεις κατευθύνσεις σε σχέση με τη δράση τους (σχήμα 1).

Σχήμα 1: Διατομή σταθερής επιδομής



Κατακόρυφες δυνάμεις

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

Κατά μήκος δυνάμεις

- Δυνάμεις από εμποδιζόμενη μεταβολή του μήκους της σιδηροτροχιάς που προέρχεται από θερμοκρασιακές μεταβολές (εσωτερικές δυνάμεις).
- Δυνάμεις από επιτάχυνση ή πέδηση του συρμού (εξωτερικές δυνάμεις).
- Δυνάμεις από ίδιες τάσεις της σιδηροτροχιάς ή από τάσεις στις θέσεις συγκολλήσεων (εσωτερικές δυνάμεις).
- Δυνάμεις από όδευση σιδηροτροχιών (εσωτερικές δυνάμεις).

Το μεγαλύτερο ποσοστό των δυνάμεων αυτών προέρχεται από τις θερμοκρασιακές μεταβολές.

Εγκάρσιες δυνάμεις

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

1.2.1 Διαδικασία υπολογισμού δυνάμεων

Η συνήθης επιδομή αποτελεί στην ουσία ένα περίπλοκο σύστημα περισσότερων στρώσεων με τρεις κυρίως συνιστώσες:

- τη σιδηροτροχιά
- το στρωτήρα
- τη στρώση έρματος,

Όπου πρακτικά είναι σχεδόν αδύνατη η ανάπτυξη ενός ρεαλιστικού μαθηματικού μοντέλου, το οποίο να περιλαμβάνει όλες τις παραμέτρους των στρώσεων αυτών, καθώς και αυτές των οχημάτων και του υπεδάφους. Ως εκ τούτου οι συνήθειες σήμερα υπολογισμοί της επιδομής αποτελούν προσεγγιστικές λύσεις, με τις οποίες διερευνώνται οι διάφορες επιδράσεις. Δείχνουν, όμως, μια πάρα πολύ καλή συμφωνία με τιμές που μετρήθηκαν στην πράξη παρόλες τις απλοποιήσεις που λαμβάνονται στους υπολογισμούς.

V ταχύτητα οχήματος

M μάζα οχήματος

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

I ροπή αδράνειας της σιδηροτροχιάς (σταθερή)

E χαρακτηριστικό ελατηρίου (μεταβλητές)

B πλάτος του ιδανικού στρωτήρα

Μπορεί να ειπωθεί ότι, στην κλασική επιδομή πρόκειται για μια συνεχή δοκό (σιδηροτροχιά), η οποία εδράζεται επί ελαστικών στηρίξεων.

Ανάλογα με την ποιότητα της στρώσης του έρματος και του υπεδάφους, καθώς και την ταχύτητα η επιμέρους ελαστική παραμόρφωση κατανέμεται διαφορετικά. Σε υψηλές ταχύτητες αναλαμβάνει από το 70% της ελαστικής παραμόρφωσης. Η παραμόρφωση εξαρτάται από την κατάσταση του έρματος και τις εδαφικές συνθήκες. Με την πάροδο του χρόνου μπορεί να σχηματισθούν κάτω από μεμονωμένους στρωτήρες κενά (μέχρι 2mm), έτσι ώστε η έδρασή τους στις θέσεις αυτές να είναι ανύπαρκτη με συνέπεια την μεγαλύτερη βύθιση του στρωτήρα κατά τη διέλευση φορτίου.

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

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

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

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

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

- τη διατομή της σιδηροτροχιάς
- την ελαστικότητα των συνδέσμων
- την επιφάνεια έδρασης των στρωτήρων από έρμα
- την υποχωρητικότητα της στρώσης του έρματος
- την υποχωρητικότητα του υπεδάφους.

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

Σημείο 1: στο μέσο του πέλματος της σιδηροτροχιάς εμφανίζονται

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

Σημεία 2α+2b: στην κεφαλή και στην άκρη του πέλματος της σιδηροτροχιάς εμφανίζονται

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

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

- Διατμητικές τάσεις συνέπεια συγκεντρωτικής δράσης δυνάμεων
- Τάσεις από θερμοκρασία
- ίδιες τάσεις

σημείο 4^α+4b: στις θέσεις μετάβασης από την κεφαλή της σιδηροτροχιάς στον κορμό και στο πέλμα εμφανίζονται

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

1.3 Σύνδεσμοι

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

1.3.1 Σύνδεσμοι για ξύλινους στρωτήρες

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

Σύνδεσμοι τύπου K

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

1.3.2 Σύνδεσμοι για μεταλλικούς στρωτήρες

- Στους μεταλλικούς στρωτήρες η σιδηροτροχιά στερεώνεται με ειδικά αγκύρια, που στηρίζονται σε τρύπα του στρωτήρα και εξασκούν πίεση στο πέλμα της σιδηροτροχιάς μέσω βλήτρων με δακτύλιο Grover.
- Μεταξύ πέλματος σιδηροτροχιάς και μεταλλικού στρωτήρα παρεμβάλλεται ξύλινο ή ελαστικό υπόθεμα.

- Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή και η στρώση Συνεχώς Συγκολλημένης Σιδηροτροχιάς πάνω σε μεταλλικούς στρωτήρες.

1.3.3 Σύνδεσμοι για στρωτήρες από σκυρόδεμα

- Για τους στρωτήρες από σκυρόδεμα χρησιμοποιούνται ελαστικοί σύνδεσμοι.
- Οι ελαστικοί σύνδεσμοι αποτελούν διπλά ελαστικό μέσο μεταξύ σιδηροτροχιάς και στρωτήρα, δηλαδή εμφανίζουν ελαστική αντίσταση στις σχετικές κινήσεις στην κατακόρυφη έννοια, την ίδια και προς τα πάνω και προς τα κάτω.
- Για να απορροφηθούν οι κατακόρυφες δυνάμεις που κατευθύνονται προς τα κάτω, ενδείκνυται να χρησιμοποιηθεί καουτσούκ.
- Όμως το καουτσούκ δεν μπορεί να συμπιέζεται κατά τον έναν άξονα παρά μόνο αν η παραμόρφωση του είναι ελεύθερη στον ένα ή στον άλλο από τους υπόλοιπους δύο άξονες (x,y,z τριαξονικό σύστημα).
- Σε αντίθετη περίπτωση η παρεμποδιζόμενη διαστολή μεταφράζεται σε θέρμανση που είναι ιδιαίτερα δυσμενής για την καλή διατήρηση του καουτσούκ.
- Για το λόγο αυτό τα ελαστικά υποθέματα που χρησιμοποιούνται μεταξύ πέλματος και στρωτήρα έχουν «κανάλια».
- Το «παίξιμο» σιδηροτροχιάς – στρωτήρα ή στρωτήρα – σκύρου αποσταθεροποιεί τη γραμμή και εξασκεί κρούσεις σε κάθε πέρασμα τροχού.
- Επιπλέον, οι ταλαντώσεις της σιδηροτροχιάς, που οφείλονται στην κύλιση, τείνουν να οδηγήσουν σε όδευση τη σιδηροτροχιά σε περίπτωση μη ελαστικών συνδέσμων και επιφέρουν γρήγορη αποδιοργάνωση της επιφάνειας στήριξης του στρωτήρα.
- Επιπλέον, οι ταλαντώσεις της σιδηροτροχιάς, που οφείλονται στην κύλιση τείνουν να οδηγήσουν σε όδευση τη σιδηροτροχιά σε περίπτωση μη ελαστικών συνδέσμων και επιφέρουν γρήγορη αποδιοργάνωση της επιφάνειας στήριξης του στρωτήρα.
- Μόνο ένας ισχυρός διπλά ελαστικός σύνδεσμος μπορεί να διατηρήσει τη σιδηροτροχιά, το ελαστικό υπόθεμα και το στρωτήρα σταθερά συνδεδεμένους (σε επαφή), μέσω συνεχούς δύναμης πίεσης.

- Επιπλέον, τα χαρακτηριστικά του ελαστικού συνδέσμου πρέπει να είναι ακριβώς προσαρμοσμένα προς τα χαρακτηριστικά του υποθέματος, ώστε να επιτρέπεται στο υπόθεμα η μέγιστη αποτελεσματικότητα στο ρόλο του σαν αποσβεστήρας.
- Στο σύνολο των διπλών ελαστικών συνδέσμων που χρησιμοποιεί ο ΟΣΕ, η σιδηροτροχιά συγκρατείται σταθερά μεταξύ του ελαστικού υποθέματος από κάτω και δυο χαλύβδινων αγκυρίων που λειτουργούν σαν ελατήρια προς τα πάνω.

1.4 Θεωρία του δείκτη αντίδρασης εδάφους

Η σημαντικότερη και πιο συνοπτική μέθοδος για τον υπολογισμό της κατακόρυφης καταπόνησης στο μέσο του πέλματος της σιδηροτροχιάς είναι του Zimmerman. Βασίζεται στη μέθοδο του δείκτη αντίδρασης εδάφους από την Εδαφομηχανική, αντικαθιστώντας τη σημειακά 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:

$$\gamma_M = \frac{p}{C} \text{ (mm)} \text{ ή } C = \frac{p}{\gamma} \text{ (N/mm}^3\text{)}$$

όπου:

γ_M βύθιση του στρωτήρα στο έρμα (mm)

p	πίεση στη 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 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.

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

όπου:

$$F_1 \quad \text{ενεργός επιφάνεια μετάδοσης πίεσης από το στρωτήρα} \quad (\text{mm}^2)$$

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 το υπέδαφος και το είδος του στρωτήρα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 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
$C = 0,30 - 0,60 \text{ N/mm}^3$	Πολύ καλό υπέδαφος

ΠΙΝΑΚΑΣ 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 οπλισμένο 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

1.4.1 Υπολογισμός του δείκτη αντίδρασης εδάφους

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

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

$$C = \frac{4EI}{b} \cdot \left(\frac{Q}{4\sigma W} \right)^4 \text{ (N/mm}^3\text{)}$$

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

$$C = \frac{Q}{4by} \cdot \sqrt[3]{\frac{Q}{EIy}} \text{ (N/mm}^3\text{)}$$

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

$$C = \frac{Q}{2byL} \text{ (N/mm}^3\text{)}$$

όπου:

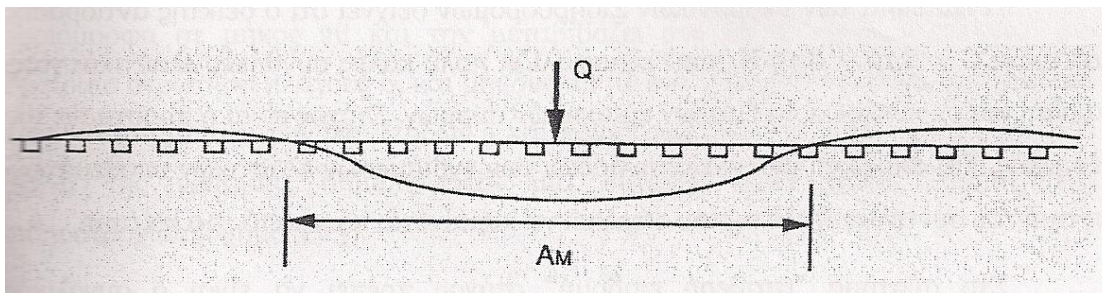
C δείκτης αντίδρασης εδάφους (N/mm³)

E_x μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα 2,1*10⁵ (N/mm²)

b πλάτος του υποθετικού κατά μήκος φορέα (mm)

I ροπή αδράνειας της σιδηροτροχιάς (mm⁴)

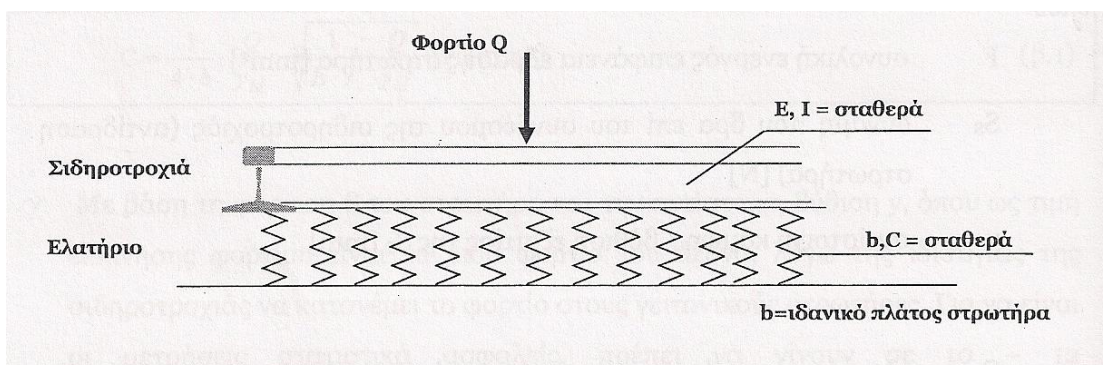
Q	φορτίο τροχού	(N)
σ_M	μέση τάση στο μέσο του πέλματος της σιδηροτροχιάς	(N/mm ²)
W_u	ροπή αντίστασης στο πέλμα της σιδηροτροχιάς	(mm ³)
γ_M	μέση τιμή μετρούμενης βύθισης σιδηροτροχιάς	(mm)
L	ελαστικό μήκος (βλέπε σχήμα 1)	(mm)



Σχήμα 2: Ελαστικό μήκος

1.5 Θεωρία του κατά μήκος στρωτήρα

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



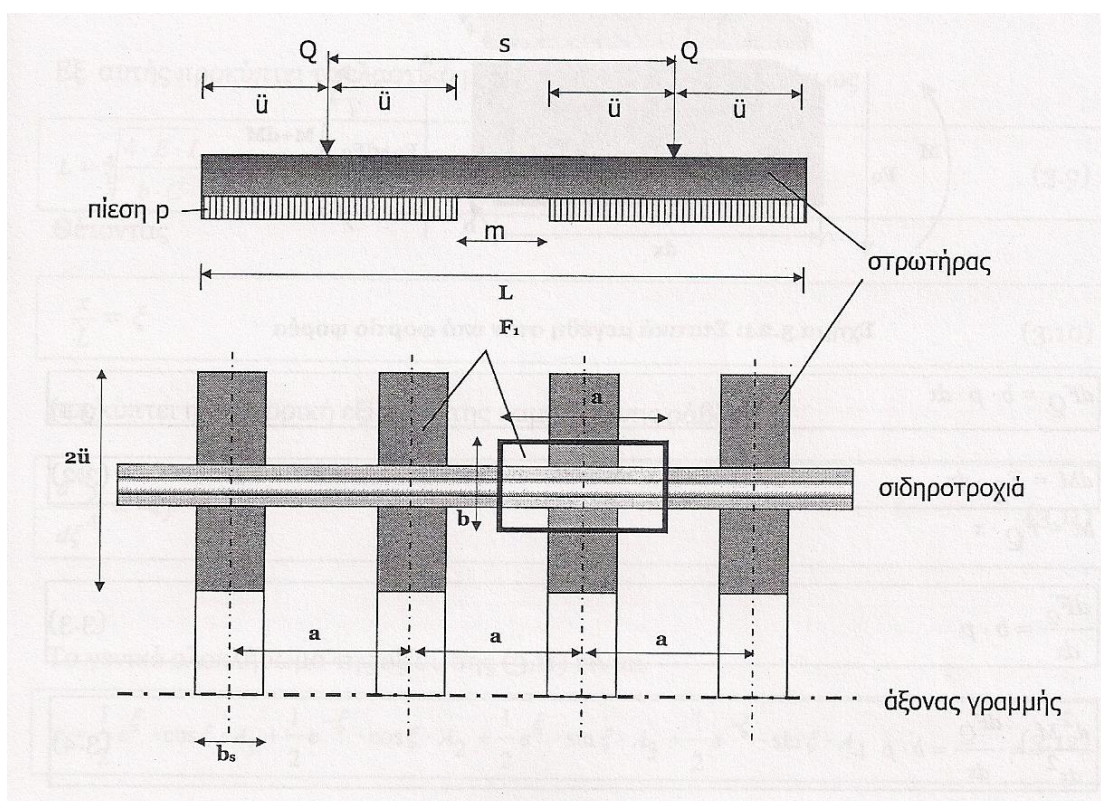
Σχήμα 3: Μοντέλο επιδομής Zimmerman

Ο Zimmerman, βασιζόμενος 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 $2u$ και τη μεταβιβάζει στο έρμα. Αντικαθιστώντας τον εγκάρσιο στρωτήρα πλάτους b_s και μήκους $2u$ με ένα τεμάχιο στρωτήρα μήκους όσο η απόσταση μεταξύ των στρωτήρων a και περιστρέφοντας το στην κατεύθυνση του άξονα της γραμμής, δημιουργείται μία συνεχής κατά μήκος έδραση της σιδηροτροχιάς, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 4: Κατά μήκος στρωτήρας

Όπου:

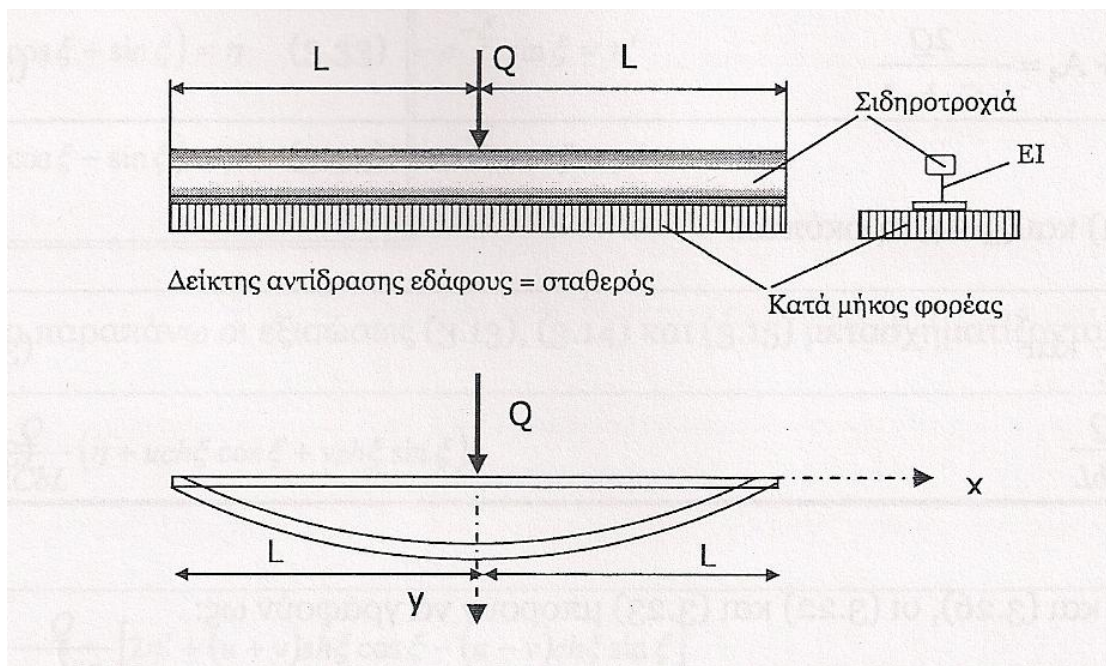
s απόσταση μεταξύ των μέσων στην κεφαλή σιδηροτροχιών (κανονικό εύρος 1500 mm) (mm)

Q	φορτίο τροχού (= μισό φορτίο άξονα)	(N)
a	απόσταση μεταξύ στρωτήρων	(mm)
l_{σ}	μήκος στρωτήρα	(mm)
b_s	πλάτος του στρωτήρα	(mm)
b	πλάτος ιδανικού στρωτήρα	(mm)
m	μεσαίο τμήμα ελεύθερο έδρασης (δεν υπολογώνεται)	(mm)
u	απόσταση άξονα σιδηροτροχιάς μέχρι την άκρη (μέτωπο) του στρωτήρα	(mm)
2u	μήκος ενεργού κάτω επιφάνειας έρματος	(mm)
p	πίεση στη διεπιφάνεια στρωτήρα έρματος	(N/mm ²)
F_1	ενεργός επιφάνεια στρωτήρα ανά σιδηροτροχιά (= 2*u*b _s)	(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

$$L = \sqrt[4]{\frac{4EI}{bC}} \quad (\text{mm})$$

Το οποίο απεικονίζεται σχηματικά στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 5: 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:

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

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:

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

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

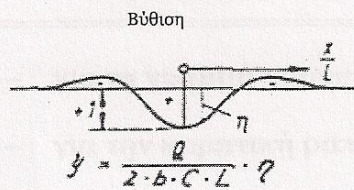
οπότε η επιπλέον κάμψη λόγω της επιρροής δίνεται από τον τύπο:

$$\gamma_{\text{επ}} = \frac{Q}{2bCL} \cdot \eta$$

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

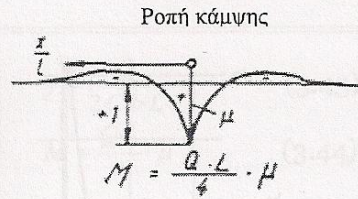
$$M_{\text{επ}} = \frac{Q \cdot L}{4} \cdot \mu$$

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



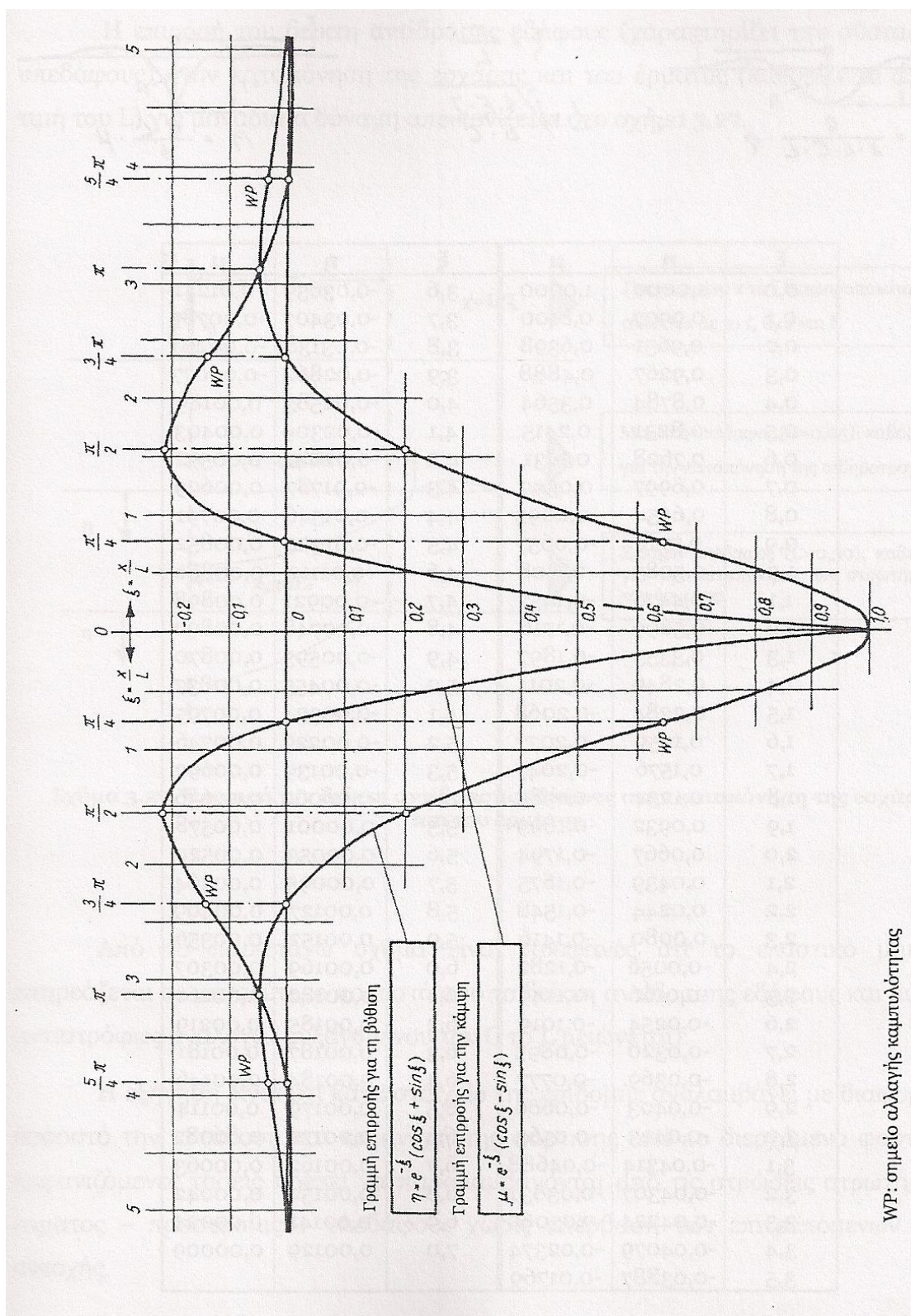
$$\xi = \frac{x}{L}$$

$$L = \sqrt[4]{\frac{4 E \cdot J}{b \cdot C}}$$



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

Πίνακας 1.3: Τιμές των συντελεστών η και μ



Σχήμα 6: Διάγραμμα επιρροής γειτονικών 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 $1,5\pi L$, 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 τν αυξημένο κίνδυνο μετατόπισης της εσχάρας.

1.6 Διακύμανση του πάχους στρώσης έρματος

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 ανάληψη των φορτίων και συνεπώς μεγαλύτερες απαιτήσεις από το έρμα. Από αυτό αναμένεται μία ταχύτερη χειροτέρευση της κατάστασης της γραμμής από πλευράς επιδομής.

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

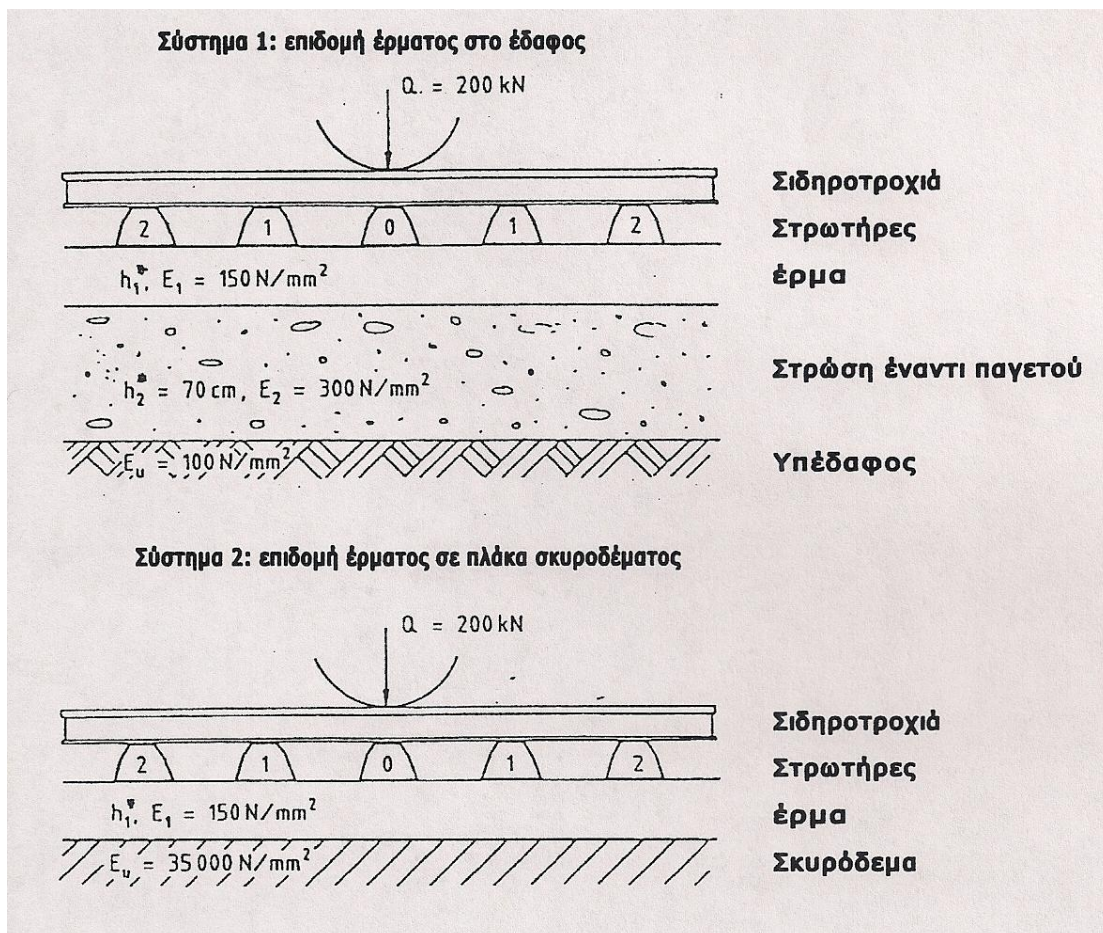
$h_1 = 200$ (mm) μειωμένο πάχος στρώσης έρματος

$h_1 = 300$ (mm) κανονικό πάχος στρώσης έρματος που αντιστοιχεί στο 100% των τιμών

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

$h_1 = 500$ (mm) μεγάλο πάχος στρώσης έρματος

μιας και 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.



Σχήμα 7: Απεικόνιση του υπό έρευνα συστήματος

Στο σύστημα 1 εξαιτίας του γεγονότος ότι τα στοιχεία των στρώσεων «αυλακώνουν» 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:

$$\gamma_{ολικη} = \gamma + \gamma_{συνολ} = \gamma + \gamma_{ελαστ} + \gamma_0 \text{ (mm)}$$

όπου

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

γ βύθιση στρωτήρα

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

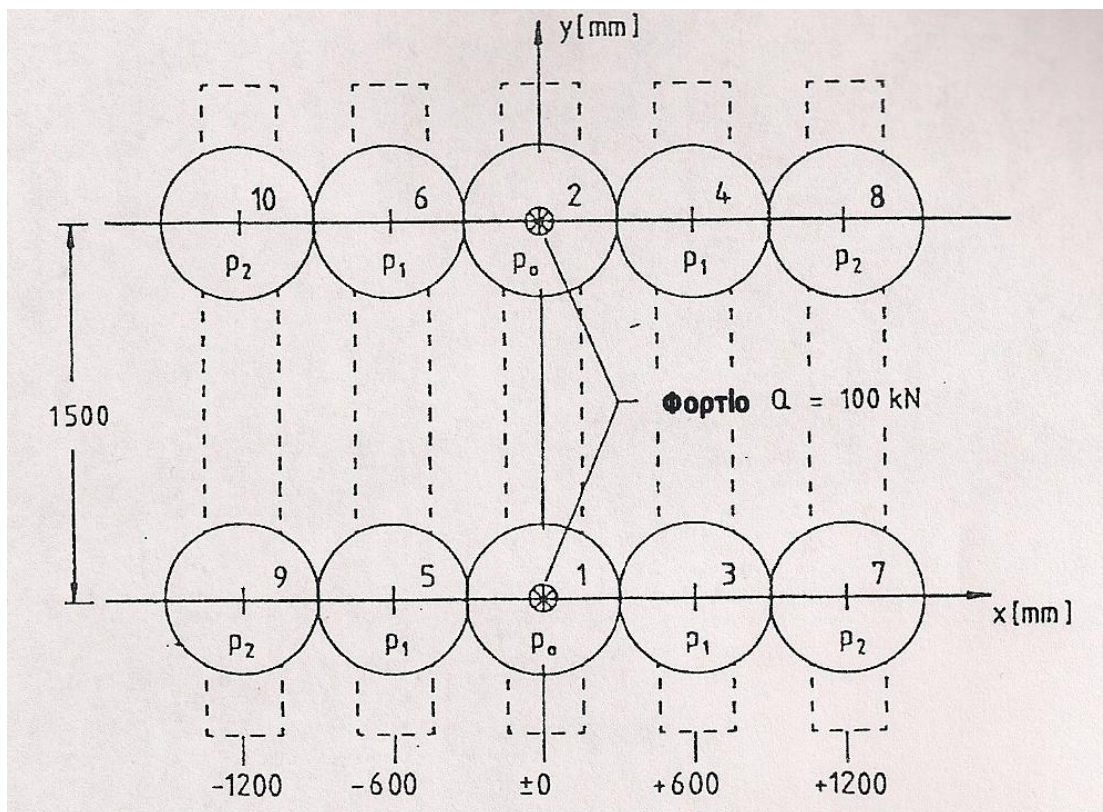
$\gamma_{\text{ελαστ}}$ βύθιση ελαστικού υποθέματος

γ_0 βύθιση λόγω κενού έρματος

σε αυτήν την έρευνα διαπιστώθηκαν επιπρόσθετες βυθίσεις της γραμμή $\gamma_{\text{συνολ}} = \gamma_{\text{ελαστ}} + \gamma_0$ που κυμαίνονται από 0 έως 0,30 (mm), οι οποίες μπορούν να ερμηνευθούν ως εξής:

- $\gamma_{\text{συνολ}} = 0$ (mm) στρωτήρες βυθισμένοι στο έρμα $\gamma_0 = 0$ με σκληρό ελαστικό ελαστικό υπόθεμα $\gamma_{\text{ελαστ}} = 0$
- $\gamma_{\text{συνολ}} = 0,10$ (mm) στρωτήρες βυθισμένοι στο έρμα $\gamma_0 = 0$ με κανονικό ελαστικό υπόθεμα $\gamma_{\text{ελαστ}} = 0,10$ (mm)
- $\gamma_{\text{συνολ}} = 0,15$ (mm) μέσο κενό έρματος $\gamma_0 = 0,15$ (mm) με σκληρό ελαστικό υπόθεμα $\gamma_{\text{ελαστ}} = 0$ ή κανονικό ελαστικό υπόθεμα $\gamma_{\text{ελαστ}} = 0,10$ (mm) με περιορισμένο κενό έρματος γ_0
- $\gamma_{\text{συνολ}} = 0,25$ (mm) μέσο κενό έρματος $\gamma_0 = 0,15$ (mm) με κανονικό ελαστικό υπόθεμα $\gamma_{\text{ελαστ}} = 0,10$ (mm)
- $\gamma_{\text{συνολ}} = 0,30$ (mm) στρωτήρες βυθισμένοι στο έρμα $\gamma_0 = 0$ με πολύ Ελαστικό υπόθεμα $\gamma_{\text{ελαστ}} = 0,30$ (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 8: Οι στρωτήρες που συμμετέχουν στην καταπόνηση του έρματος υπό μοναδιαίο φορτίο, οι οποίοι έχουν αντικατασταθεί 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 $\gamma_{ολικη}$ κατά 1% έως 4στο σύστημα 1 (έρμα) και κατά 9% έως 16% στο σύστημα 2 (σκυρόδεμα).
- Χρήση ελαστικών υποθεμάτων με $\gamma_{ελαστ} = 0,30$ (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 $\gamma_{ολικη}$ κυμαίνεται γενικά έως 3 (mm).

1.7 Η θεωρία του Odemark

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.

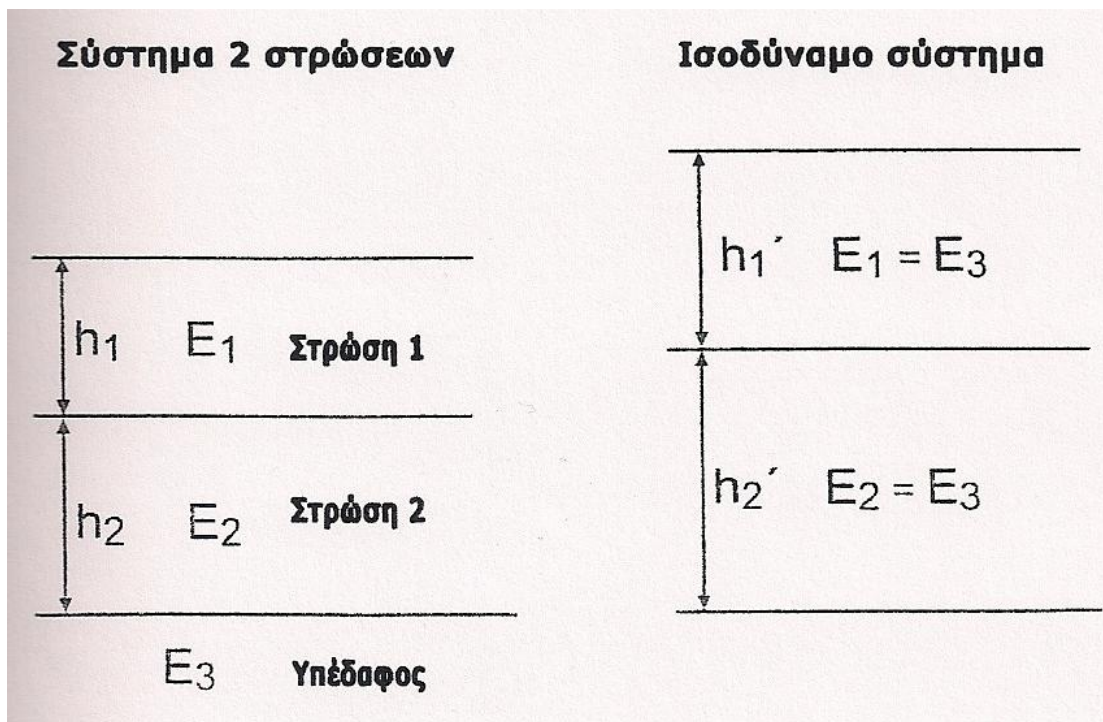
Μέτρα ελαστικότητας E:

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)
Άκαμπτο έδαφος	0,300 – 0,500 (N/mm ³)

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



Σχήμα 9: Σχηματική απεικόνιση συστήματος πολλών στρώσεων

Γνωρίζοντας την πίεση, το πάχος και το μέτρο ελαστικότητας του έρματος αλλά και των άλλων ενδιαμέσων 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 γειτονικών στρωτήρων.

Ισχύει κατά Odemark:

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

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

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

1.7.1 Υπολογισμός τάσεων σε σύστημα πολλών στρώσεων στον άξονα της φόρτισης

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

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

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

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

όπου:

σ_z κατακόρυφη τάση σε (N/mm²)

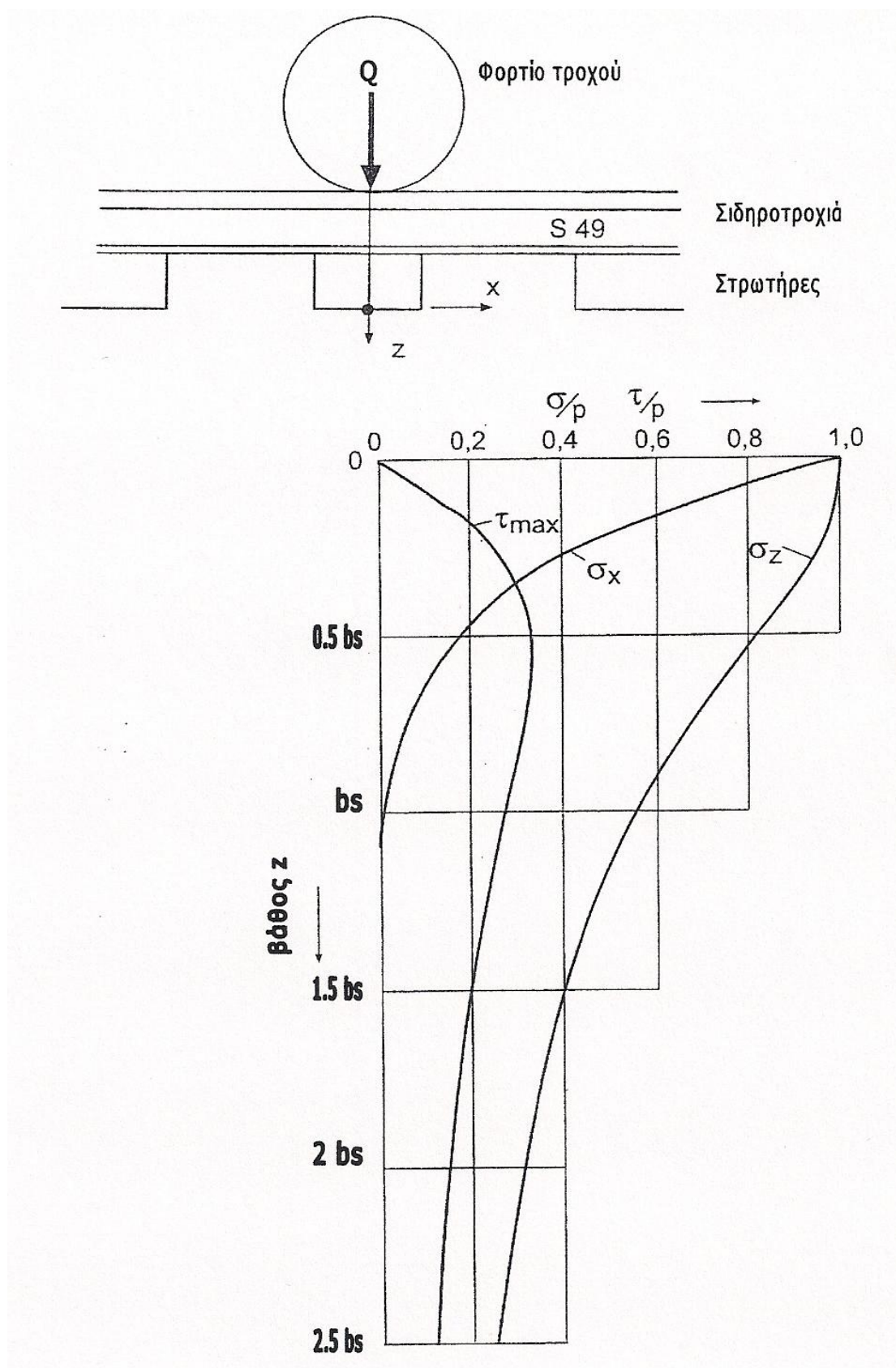
σ_x οριζόντια τάση σε (N/mm²)

$\tau_{\max}$ διατμητική τάση σε (N/mm²)

p πίεση έρματος κάτω από τον στρωτήρα σε (N/mm²)

b_s πίεση έρματος κάτω από τον στρωτήρα σε (mm)

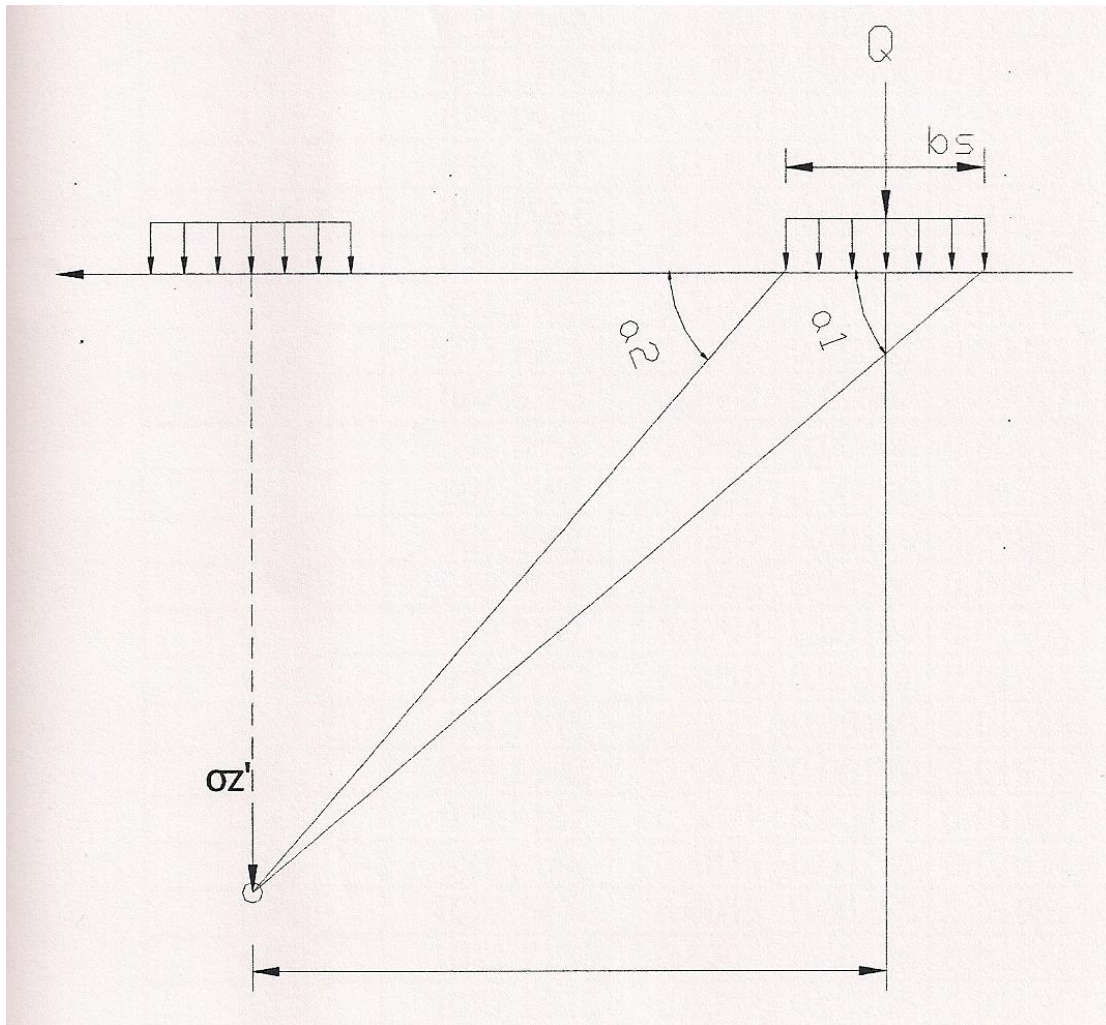
z' ισοδύναμο βάθος κάτω από τον στρωτήρα σε (mm)



Σχήμα 10: Διάγραμμα κατακόρυφων, οριζόντιων και διατμητικών τάσεων σε σχέση με την πίεση κάτω από το στρωτήρα

1.7.2 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 11: Επίδραση των γειτονικών στρωτήρων στις τάσεις κάτω

από τον υπό εξέταση στρωτήρα

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

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

όπου:

σ_x', σ_y' 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 $(^\circ)$

α_1', α_2' οι γωνίες $(^\circ)$

1.7.3 Επιτρεπόμενες τάσεις στο έδαφος

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

$$\sigma_{z, \text{επιτρ}} = \frac{0,006 \cdot E_{\delta\text{υν},u}}{1+0,7 \cdot \log n} \quad (\text{N/mm}^2)$$

όπου:

$E_{\delta\text{υν},u}$ 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 $E_{\delta\text{υν},u}$, ισχύει για το $E_{\delta\text{υν},u}$ (εδάφους):

$$E_{\delta\text{υν},u} \sim E_{v2} = 10 \text{ έως } 100 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

N πλήθος φορτίσεων κατά την κρίσιμη περίοδο

Τα αποτελέσματα των παραπάνω υπολογισμών συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.4: Επιτρεπόμενες τιμές στο έδαφος

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

1.8 Επιδράσεις κατά τη διέλευση συρμού σε επιδομή, υποδομή και υπέδαφος

Από τις έως τώρα 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 πια για να εξηγηθεί αρκετά 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 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.

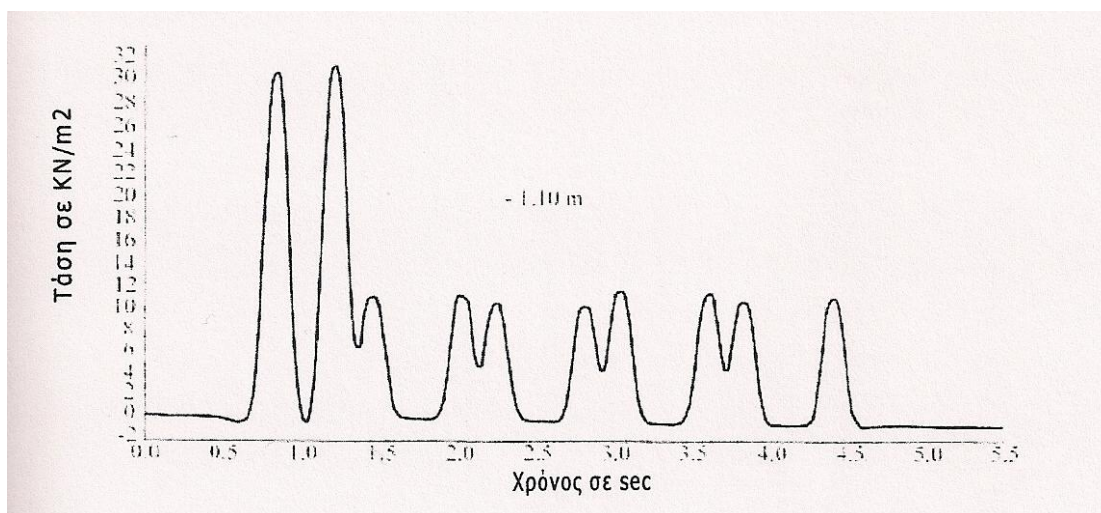
1.8.1 Μεγέθη επίδρασης κάτω από διερχόμενο συρμό

Με την έναρξη ανάπτυξης συρμών υψηλών ταχυτήτων από τους γερμανικούς σιδηρόδρομους 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 να εξομαλυνθούν. Για τη συνήθως ελεύθερη υπογείου ύδατος και όχι κορεσμένη κατώτερη στρώση 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 κορεσμένα εδάφη έχουμε μόνο λίγες τιμές μετρήσεων.

Η μέτρηση των επονομαζόμενων 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 επιφάνεια του στρωτήρα.



Σχήμα 12: Διάγραμμα τάσεων στον άξονα του φορτίου σε συνάρτηση με το χρόνο

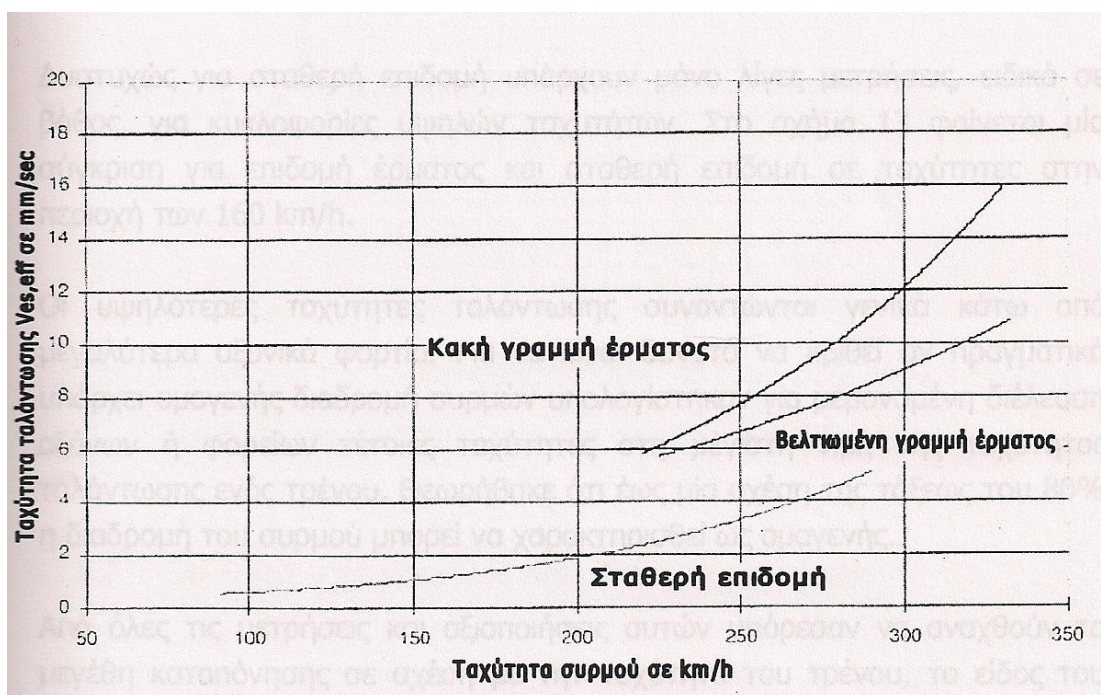
Αν παρατηρήσει κανείς τις μετρημένες ενεργές επιφάνειες του στρωτήρα στο πολυτεχνείο του Γκρατζ, οι οποίες γίνονται ορατές μετά από τις πρώτες ρωγμές στις γωνίες των στοιχείων του έρματος που βρίσκονται στην γειτονία του στρωτήρα, θα διαπιστώσει ότι βρίσκονται πολύ κάτω από το 10% της υπολογισθείσας 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):

$$k_{\text{dyn}} = \frac{\text{ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ}}{\text{ΣΤΑΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ}}$$

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 περιθώριο 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 ατέλειες από ότι σε χαμηλότερες ταχύτητες. Η σταθερή επιδομή έχει εδώ το πλεονέκτημα ότι και το επίπεδο της δύναμης ταλάντωσης είναι χαμηλότερο και οι ατέλειες συναντώνται σε περιορισμένη έκταση. Το σχήμα 12 δείχνει παραδειγματικά την υπεργραμμική αύξηση της ταχύτητας ταλάντωσης για επιδομή έρματος και για σταθερή επιδομή.



Σχήμα 13: 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 φανερή η μείωση των τάσεων και των δυνάμεων ταλάντωσης με την απομάκρυνση από το σημείο δράσης. Ενώ κατά τη μείωση των τάσεων κυριαρχεί η ζώνη εξάπλωσης, κατά τη μείωση των ταλαντώσεων ένα ποσοστό μετατρέπεται σε θερμότητα. Η μείωση των ταχυτήτων προκύπτει από πολυάριθμες μετρήσεις η εμπειρική σχέση:

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

όπου:

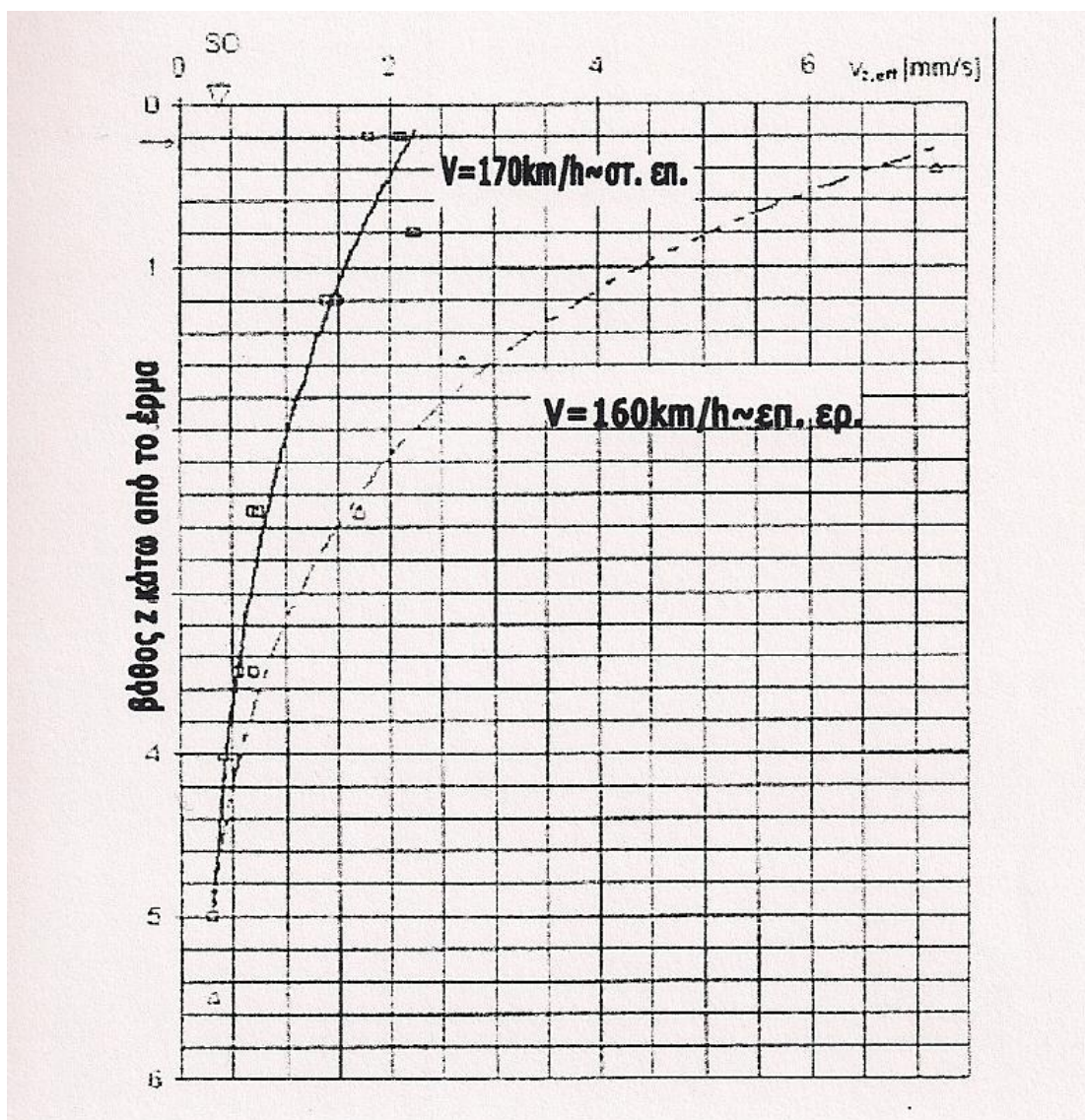
$V_{res, Anf}$ η ταχύτητα ταλάντωσης σε βάθος $z = 0$ (m)

q ο συντελεστής απόσβεσης, ο οποίος για συνηθισμένη υποδομή και υπεδάφος βρίσκεται ανάλογα με το μέγεθος της επιφάνειας δράσης (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 μεμονωμένη διέλευση αξόνων ή φορέων 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 τα μεγέθη καταπόνησης σε σχέση με την ταχύτητα του τρένου, το είδος του συρμού, το είδος επιδομής, την ελεύθερη διαδρομή και τις θέσεις ενόχλησης, τη συμπεριφορά της υποδομής και του υπεδάφους σε πρώτους οδηγούς (προσανατολισμός) για την τρέχουσα σχεδίαση που γίνεται. Όλα επιλέχθηκαν υπέρ της ασφαλείας.



Σχήμα 14: Σύγκριση της ταλάντωσης ανάμεσα σε έρμα επιδομής και σταθερή επιδομή για ταχύτητες συρμών από 160 έως 170 km/h

1.8.2 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 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 μία 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.

1.8.3 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 οδηγήσεις 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 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.

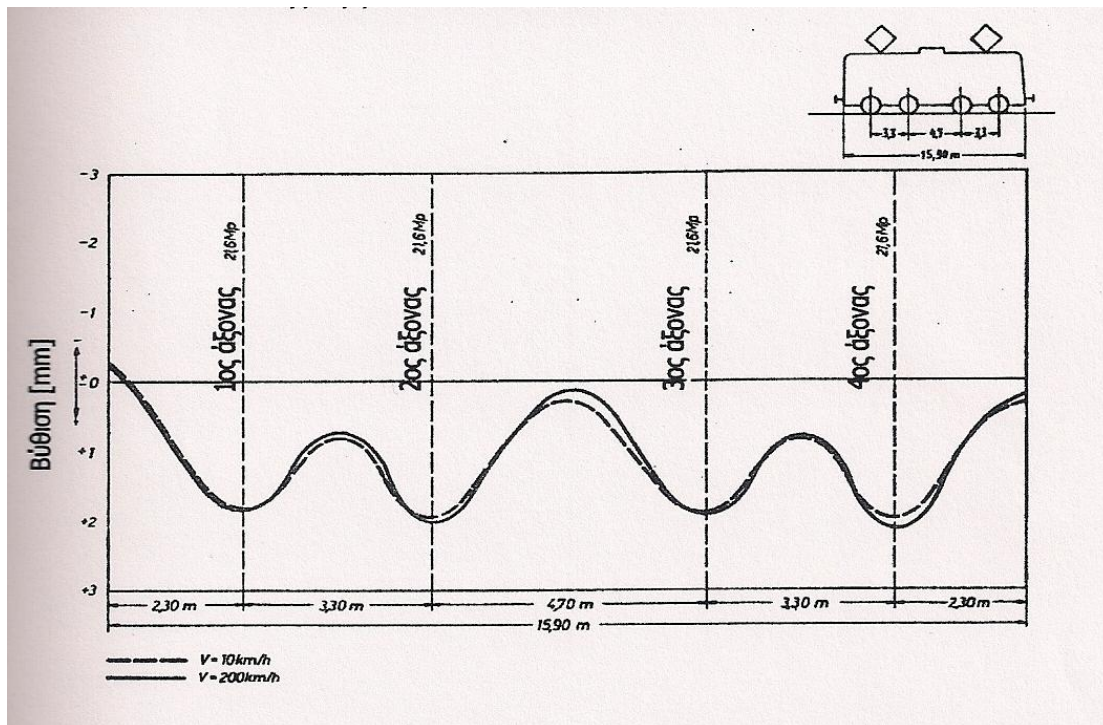
Ο μέχρι τώρα κανόνας δυνάμεων δεν ισχύει ως μοναδικό κριτήριο για την εκτίμηση του κόστους συντήρησης. Όταν υπάρχει αυξανόμενη δυναμική καταπόνηση προέχει η δυναμική έναντι της μέσης πίεσης έρματος.

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.

1.9 Σύγκριση βυθίσεων σε πολύ μικρές και πολύ μεγάλες ταχύτητες διέλευσης συρμών

Μετρήσεις βυθίσεων που έγιναν σε γραμμή ατμοκίνητων συρμών E-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 15: Σύγκριση βυθίσεων για μικρές και μεγάλες ταχύτητες διέλευσης

Η παρατήρηση αυτή αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον αν σκεφτεί κανείς ότι μετρώντας τις βυθίσεις σε πού χαμηλές ταχύτητες, ουσιαστικά λαμβάνει τιμές ταχυτήτων διέλευσης συρμών και μπορεί με τον τρόπο αυτό να εξετάσει τη συμπεριφορά της γραμμής αλλά και τους κινδύνους που επιφυλάσσει 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 τον επιβλέποντα καθηγητή, επιλέχθηκε η εκτίμηση του δείκτη αντίδρασης εδάφους (N/mm^3) στη γραμμή του ΗΣΑΠ 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 είδη μετρήσεων:

- 1) Από μέτρηση της τάσης στο μέσο πέλματος της σιδηροτροχιάς σύμφωνα με τη σχέση:

$$C = \frac{4EI}{b} \cdot \left(\frac{Q}{4\sigma W} \right)^4 \quad (N/mm^3)$$

- 2) Από μέτρηση της βύθισης της σιδηροτροχιάς σύμφωνα με τη σχέση:

$$C = \frac{Q}{4by} \cdot \sqrt[3]{\frac{Q}{EIy}} \quad (N/mm^3)$$

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

$$C = \frac{Q}{2byL} \quad (N/mm^3)$$

όπου:

C	δείκτης αντίδρασης εδάφους	(N/mm^3)
E_x	μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα $2,1 \cdot 10^5$	(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 συμπεραίνει κανείς ότι ο καλύτερος τρόπος για την πραγματοποίηση του σκοπού αυτού είναι η επί τόπου μέτρηση 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 Zimmermann αφού βεβαίως οι υπόλοιπες παράμετροι που υπεισέρχονται 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 βιβλιογραφία- ο ακριβέστερος και γι' αυτό προτιμήθηκε.

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

Μέσω του δείκτη αντίδρασης εδάφους θα γίνει δυνατός ο υπολογισμός των δυνάμεων που ασκούνται στις συνδέσεις που βρίσκονται κοντά στα σημεία αλλαγής της επιδομής.

3) ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΡΟΠΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

3.1 Εγκατάσταση του οργάνου

Η μέτρηση της βύθισης θα γίνει με τη βοήθεια του οργάνου μέτρησης PCD-300A. Το όργανο αυτό μετράει τη βύθιση της σιδηροτροχιάς κατά τη διέλευση των συρμών. Έχει τη δυνατότητα να καταγράφει, με τη βοήθεια του προγράμματος PCD-30A, όλες τις μετρήσεις κατά τη διέλευση των συρμών.

Ιδιαίτερα προβληματίσε η εύρεση του τρόπου εγκατάστασης του οργάνου μέτρησης για την ορθότερη μέτρηση της βύθισης. Αρχικά προτάθηκε η δημιουργία ενός προβόλου που θα συγκρατούσε τη βελόνα του οργάνου μέτρησης σταθερή πάνω από το στρωτήρα. Ο πρόβολος αυτός θα αποτελούνταν από δύο στελέχη, ένα οριζόντιο και ένα κατακόρυφο, συνδεδεμένα μεταξύ τους αλλά και οριζόντια με τη βελόνα με σφικτήρες διπλής υποδοχής. Για λόγους μέγιστης ακαμψίας τα στελέχη θα ήταν από συρμάτσαλο και το κατακόρυφο στέλεχος θα καρφωνόταν στο έδαφος.

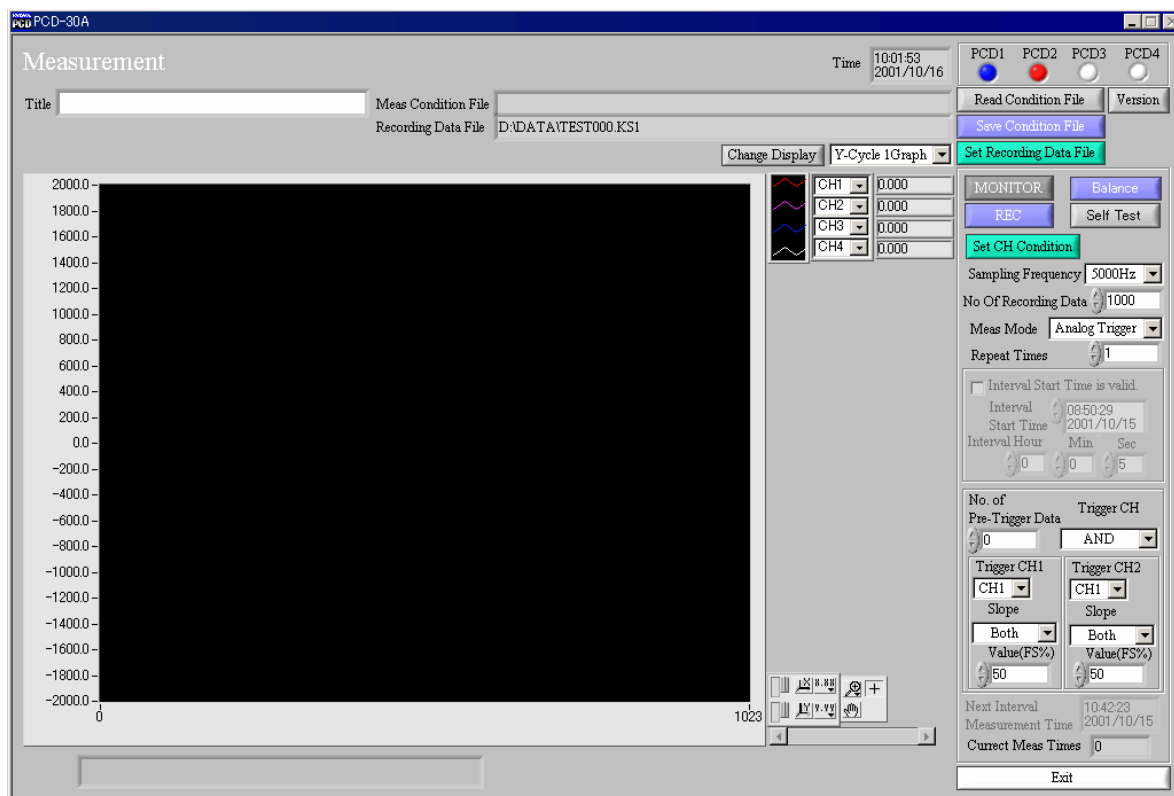
3.2 Περιγραφή του οργάνου μέτρησης PCD-300A και του προγράμματος PCD-30A

Το όργανο μέτρησης PCD-300A αποτελείται από:

- Τη βελόνα
- Τον επεξεργαστή
- Τα καλώδια σύνδεσης των οργάνων

Η βελόνα συνδέεται με τον επεξεργαστή, ο οποίος με τη σειρά του συνδέεται με έναν φορητό υπολογιστή. Στον φορητό υπολογιστή που χρησιμοποιούμε, έχουμε εγκαταστήσει το μηχάνημα και το πρόγραμμα προκειμένου να τα αναγνωρίζει ο υπολογιστής.

Στο πρόγραμμα PCD-30A (εικόνα 1) καθορίζουμε τις διάφορες σταθερές που χρειάζονται για να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις. Στην μαύρη οθόνη εμφανίζεται το διάγραμμα των βυθίσεων κατά τη διέλευση των συρμών. Εφόσον έχουν συνδεθεί τα μηχανήματα μεταξύ τους σωστά, καθορίζονται οι σταθερές αυτές και τα όργανα είναι έτοιμα να πραγματοποιήσουν τις μετρήσεις.



Εικόνα 1: PCD-30A

Οι σταθερές οι οποίες πρέπει να καθοριστούν έχουν να κάνουν με το χρόνο που θα διαρκέσει η μέτρηση, με τη μονάδα μέτρησης των μεγεθών που πρόκειται να μετρηθούν και με τη μορφή των διαγραμμάτων. Το πρόγραμμα PCD-30A δίνει τη δυνατότητα στο χειριστή του να δώσει διάφορες μορφές στα διαγράμματα και στους άξονες τους.

Πριν ξεκινήσουν οι μετρήσεις το μηχάνημα είναι απαραίτητο να παραμείνει ανοιχτό για μισή ώρα. Για να ξεκινήσει η καταγραφή πατάμε το κουμπί «MONITOR», ενώ για να αρχίσει η καταγραφή πατάμε το κουμπί «REC». Η μέτρηση που λαμβάνουμε έχει χρονική διάρκεια την οποία έχουμε ήδη καθορίσει μέσω της επιλογής «No Of Recording Data». Η μέτρηση αποθηκεύεται σε κάποιον φάκελο του φορητού υπολογιστή, τον οποίο έχουμε ανοίξει από την επιλογή «Set Recording Data File».

4) ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Οι δοκιμαστικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στις 19-7-2010 και ώρα 08:30. Ως τόπος των δοκιμαστικών μετρήσεων επιλέχθηκε ο χώρος στη διάβαση της οδού Αγίας Άννης. 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. Αφού στήθηκαν τα όργανα όπως είχε προγραμματιστεί, κατά τη διέλευση των συρμών παρατηρήθηκαν τα εξής:

- Το οριζόντιο στοιχείο περιστρεφόταν περί τον άξονά του.
- Η θέση της βελόνας έπρεπε να αλλάξει, αφού κατά τη διέλευση ενός συρμού, το μέλος ενός συρμού ακούμπησε τη βελόνα.

Τα παραπάνω προβλήματα αντιμετωπίστηκαν ως εξής:

- Η βελόνα τοποθετήθηκε πιο χαμηλά, ώστε να μην υπάρξει επαφή με συρμό.
- Σε συνεργασία με τον κύριο Λυμπέρη αποφασίστηκε τα δύο μέλη, το οριζόντιο και το κατακόρυφο να ηλεκτροκολληθούν, ώστε να αποκλείεται η στροφή του οριζόντιου μέλους.



Εικόνα 2: Διάταξη των οργάνων μέτρησης

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

Οι παραδοχές σύμφωνα με τις οποίες έγιναν οι μετρήσεις αλλά και οι διάφοροι υπολογισμοί είναι σύμφωνα και με τον Zimmermann αλλά και βάσει δικών μας παρατηρήσεων:

1. Ο αριθμός των μετρήσεων σε κάθε σημείο κυμαίνονται από 8 έως 12 λόγω διασποράς τιμών με τον Zimmermann. Με τη διεξαγωγή όμως 8 έως 10 μετρήσεων για κάθε σημείο η ακρίβεια είναι ιδιαιτέρως 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.
2. Επειδή για όλα τα σημεία μέτρησης χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος τρόπος μέτρησης θεωρείται ότι η σχετική συμπεριφορά των στρώσεων δεν αλλάζει.
3. 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).
4. Ο συντελεστής κατάστασης επιδομής ρ εκτιμάται (εξ όψεως και βάσει της πολυετούς πείρας του Κ. Λυμπέρη) ίσος με 0,25.
5. Η επίδραση των στρωτήρων στον υπολογισμό των τάσεων, μετά τον τέταρτο στρωτήρα είναι πολύ μικρή και θεωρείται αμελητέα.

6) ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

6.1 Ημέρα 1^η 30-9-2010

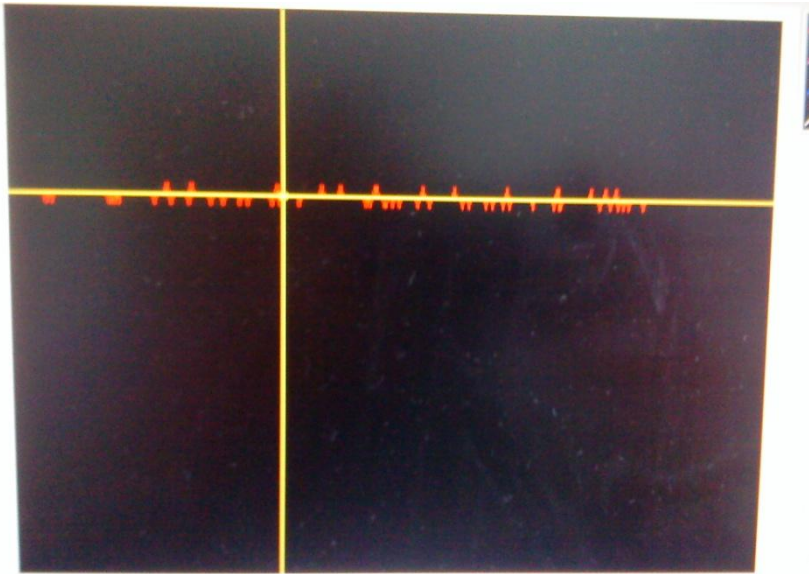
Ως τόπος μετρήσεων της πρώτης ημέρας επιλέχθηκε η ανοιχτή γραμμή Πειραιάς-Σταθμός Λαρίσης, η οποία είναι καινούργια γραμμή με ξύλινους στρωτήρες. Το συγκεκριμένο σημείο παρουσίαζε το πλεονέκτημα του χώρου, καθώς από τις τέσσερις γραμμές χρησιμοποιείται μόνο μία, με αποτέλεσμα ο χώρος που είχαμε στη διάθεσή μας να είναι μεγάλος. Έτσι διευκολύνθηκε η εγκατάσταση των οργάνων. Πραγματοποιήθηκαν 11 μετρήσεις στη Χ.Θ 4+615.

6.1.1 Χ.Θ. 4+615

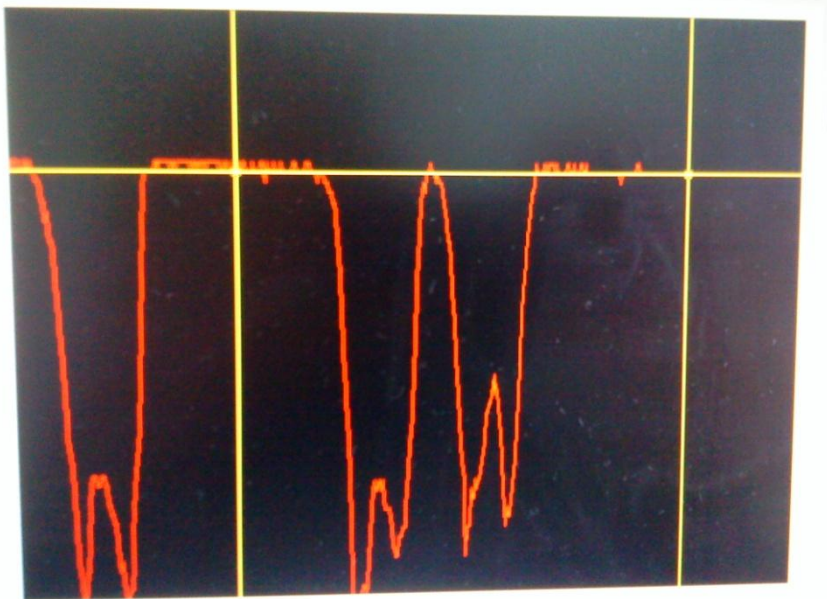
Η βελόνα τοποθετήθηκε πάνω στη σιδηροτροχιά. Στο σημείο αυτό παρατηρήθηκαν τα εξής:

- Μήκος στρωτήρα: 260 (cm)
- Πλάτος στρωτήρα: 25 (cm)
- Ύψος στρωτήρα: 15 (cm)
- Εξέχον τμήμα: 55 (cm)
- Απόσταση στρωτήρων: 70 (cm)
- Σιδηροτροχιά: S49
- Σκληρότητα έρματος: 10-12 Deval-Los Angeles

Ακολουθούν στιγμιότυπα της οθόνης του ηλεκτρονικού υπολογιστή σε χαρακτηριστικές στιγμές της τέταρτης μέτρησης του σημείου (ένδειξη σε ηρεμία, στιγμιότυπο κατά τη διέλευση του συρμού και από τη διάταξη των οργάνων).



Εικόνα 3: Ένδειξη σε ηρεμία



Εικόνα 4: Στιγμιότυπο κατά τη διέλευση του συρμού



Εικόνα 5: Διάταξη των οργάνων μέτρησης



Εικόνα 6: Διάταξη των οργάνων μέτρησης

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

7) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Η επεξεργασία 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 το σημείο τοποθέτησης της βελόνας πάνω στη σιδηροτροχιά, όπου και η σιδηροτροχιά παραμορφώνεται προς τα πάνω.

Ως «max βύθιση» αναφέρεται η ένδειξη του οργάνου κατά τη διέλευση του τροχού με το μεγαλύτερο φορτίο από τη θέση της βελόνας. Η ένδειξη αυτή είναι αριθμητικά η μικρότερη όλων.

Ως «max» ανέβασμα» αναφέρεται η μέγιστη ένδειξη του οργάνου ανάμεσα σε διελεύσεις διαδοχικών τροχών. Η ένδειξη αυτή είναι αριθμητικά η μεγαλύτερη όλων.

7.2 Πίνακας απόλυτων μεγεθών

Ως «βύθιση max» αναφέρεται η απόλυτη μέγιστη βύθιση του στρωτήρα. Προκύπτει από της 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» d_1 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 διελεύσεις 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 Πίνακες 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 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 θεώρηση μας για ημιστατικές μετρήσεις των βυθίσεων.

Η στατιστική διασπορά δίνεται από τον τύπο:

$$S_s^2 = \frac{1}{1-v} \cdot \sum (j-j_\mu)^2$$

όπου: v , πλήθος μετρήσεων

j , τιμή μέτρησης

j_μ , μέση τιμή των μετρήσεων του σημείου

7.3.1 Πίνακας υπολογισμού τυπικής απόκλισης βύθισης

Στον πίνακα αυτόν 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:

$$s_s^2 = \sqrt{SS2}$$

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 είναι μικρό (ισχύει για κάθε περίπτωση $n < 30$) θεωρείται ότι οι τιμές μας ακολουθούν κατανομή t_s του student.
- Θεωρείται ως επίπεδο εμπιστοσύνης το 90%.
- Θεωρείται ως $\gamma_{\mu 1}$ το άνω όριο του διαστήματος
- Θεωρείται ως $\gamma_{\mu 2}$ το κάτω όριο του διαστήματος.

- Ο τύπος από τον οποίον προκύπτουν οι τιμές των ορίων είναι ο εξής:
- $$Y_{\mu 1,2} = y_{\mu} \pm t_{(v-1)\alpha/2} \cdot \frac{SS}{\sqrt{v}}$$
- 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 οι τάσεις στη θέση τοποθέτησης της βελόνας) όταν η βύθιση παίρνει τις ακραίες τιμές των ορίων του διαστήματος εμπιστοσύνης. 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 ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΜΗΚΥΝΣΙΟΜΕΤΡΟΥ 1ης ΗΜΕΡΑΣ				
Μέτρηση	Αρχή (mm)	1ο ανέβασμα (mm)	max βύθιση (mm)	max ανέβασμα (mm)
1	36,85	36,9	35,85	36,9
2	36,4	36,475	35,025	36,475
3	36,05	36,375	34,875	36,475
4	35,975	36,25	34,8	36,275
5	35,975	36	34,85	36,05
6	35,975	36,125	35	36,125
7	35,975	36,3	34,95	36,3
8	35,975	36,25	34,925	36,25
9	35,975	36,3	34,725	36,3
10	35,975	36,275	35,025	36,275
11	35,975	36,025	35	36,025

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.2 ΑΠΟΛΥΤΑ ΜΕΓΕΘΗ 1ης ΗΜΕΡΑΣ

	Μέτρηση	Βύθιση max (mm)	Ανέβασμα 1ο (mm)	Ανέβασμα max d(mm)	% (ανέβ max/βύθ max)
	1	1	0,05	0,05	5
	2	1,375	0,075	0,075	5,454545455
	3	1,175	0,325	0,425	36,17021277
	4	1,175	0,275	0,3	25,53191489
Χ.Θ.4+615	5	1,125	0,025	0,075	6,666666667
	6	0,975	0,15	0,15	15,38461538
	7	1,025	0,325	0,325	31,70731707
	8	1,05	0,275	0,275	26,19047619
	9	1,25	0,325	0,325	26
	10	0,95	0,3	0,3	31,57894737
	11	1,11	0,2125	0,23	20,96846958
μέση τιμή		1,11	0,2125	0,23	20,96846958

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.3 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ 1ης ΗΜΕΡΑΣ

	Μέτρηση	διασπορά βύθισης	διασπορά ανεβάσματος 1ου	διασπορά ανεβάσματος max
		$(y - \gamma_{\mu})^2$	$(d_1 - d_{1\mu})^2$	$(d - d_{\mu})^2$
	1	0,0121	0,003136	0,068121
	2	0,070225	0,000961	0,055696
	3	0,004225	0,047961	0,012996
	4	0,004225	0,028561	0,000121
Χ.Θ.4+615	5	0,000225	0,006561	0,055696
	6	0,018225	0,001936	0,025921
	7	0,007225	0,047961	0,000196
	8	0,0036	0,028561	0,001296
	9	0,0196	0,047961	0,000196
	10	0,0256	0,037636	0,000121
	11	0	0	0
$Ss2 = \sum (j - j_{\mu})^2 / (v - 1)$		0,016525	0,0251235	0,022036

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.4 Υπολογισμού τυπικής βύθισης γ	
Μέτρηση	1ο
1	1
2	1,375
3	1,175
4	1,175
5	1,125
6	0,975
7	1,025
8	1,05
9	1,25
10	0,95
11	1,11
μέση τιμή γμ	1,11
διασπορά Ss3	0,016525
τυπική απόκλιση Ss	0,12855

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.5 Υπολογισμός διαστήματος εμπιστοσύνης βύθισης	
Σημεία μέτρησης	1ο
v	11
A	90%
ts	1,812
γμ1	1,119028
μέση τιμή γ μ	1,11
γμ2	1,100972

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.6 Εκτίμηση μεταβολής μεγεθών στο διάστημα εμπιστοσύνης της βύθισης				
Μετρήσεις		γ(mm)	C (N/mm3)	p (N/mm2)
	γμ1	1,119028	0,07	0,1016706
	γμ	1,11	0,07	0,1025188
	γμ2	1,100972	0,07	0,1033961

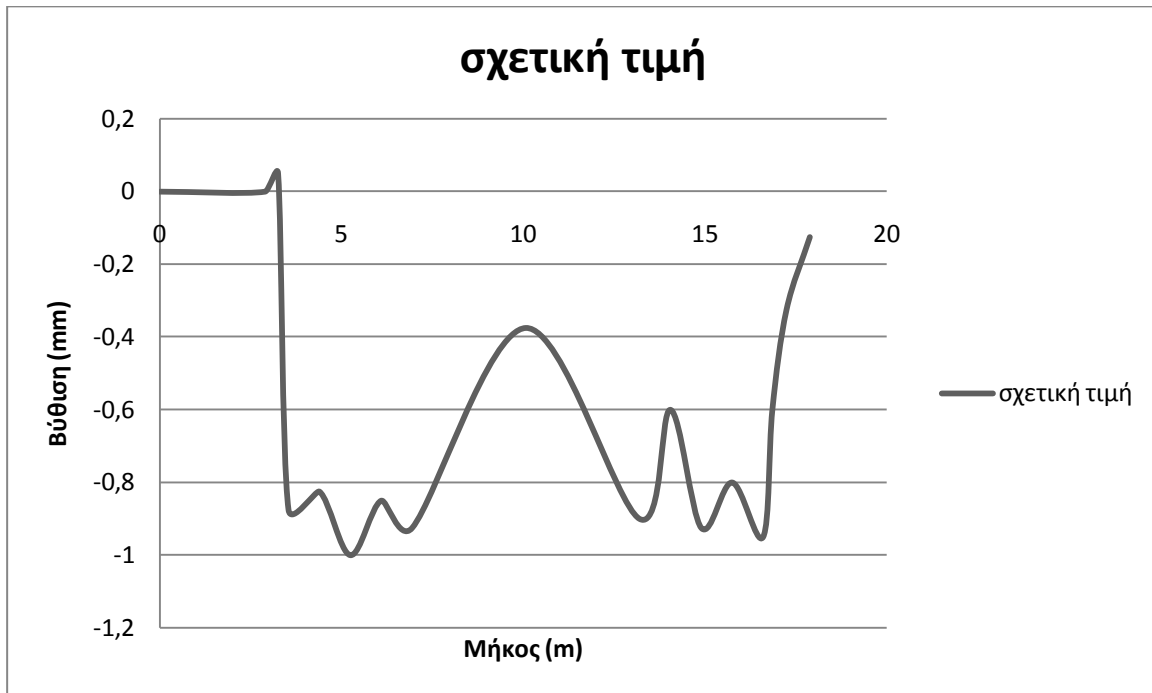
8) ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

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 της σιδηροτροχιάς για κάθε σημείο μετρήσεων.

Ακολουθούν επίσης οι πίνακες που οδήγησαν στα διαγράμματα.

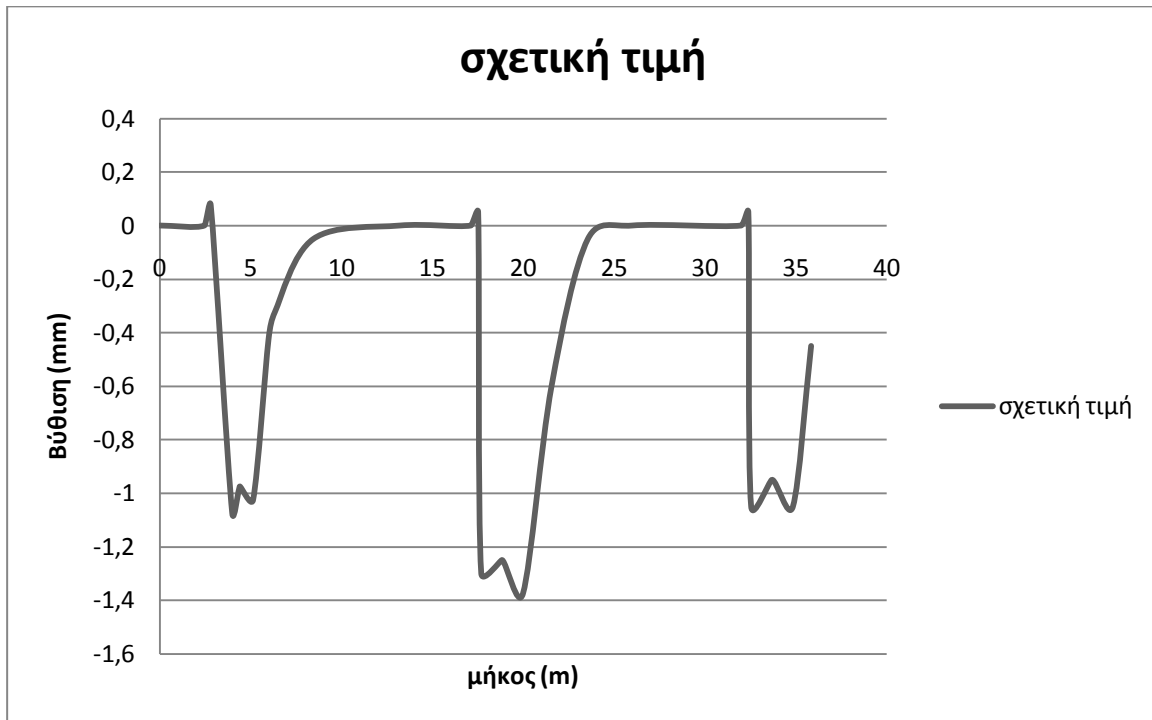
1^{ος} συρμός: MLW

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.1 Μεταβολή της βύθισης γ σε συνάρτηση με το μήκος			
Ημερομηνία: 30-9-2010			
Σημείο: 1ο			
Μέτρηση: 1η			
Χρόνος έναρξης μέτρησης: 8:59			
μήκος (m)	ένδειξη (mm)	σχετική τιμή	
0	36,85	0	
2,897	36,85	0	
3,254	36,9	0,05	
3,541	35,975	-0,875	
4,392	36,025	-0,825	
5,243	35,85	-1	
6,094	36	-0,85	
6,945	35,925	-0,925	
10,075	36,475	-0,375	
13,205	35,95	-0,9	
14,056	36,25	-0,6	
14,907	35,925	-0,925	
15,758	36,05	-0,8	
16,609	35,9	-0,95	
16,864	36,25	-0,6	
17,253	36,525	-0,325	
17,896	36,725	-0,125	



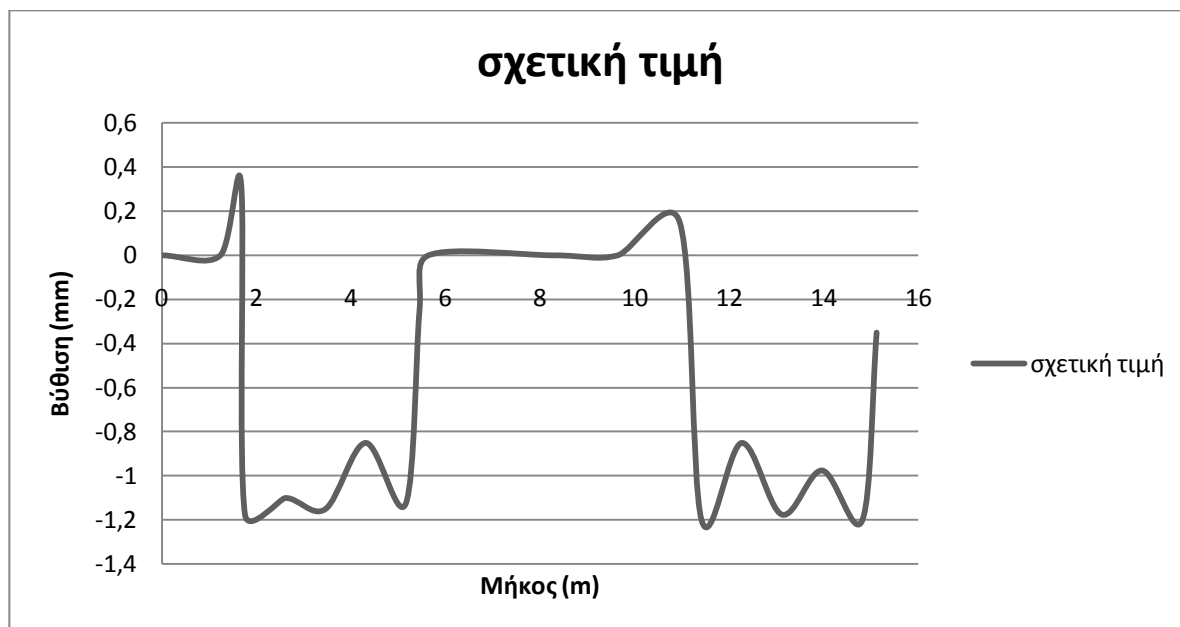
2^{ος} συρμός: GTW

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.2 Μεταβολή της βύθισης γ σε συνάρτηση με το μήκος		
Ημερομηνία: 30-9-2010		
Σημείο: 1ο		
Μέτρηση: 2η-GTW		
Χρόνος έναρξης μέτρησης: 9:08		
μήκος (m)	ένδειξη (mm)	σχετική τιμή
0	36,4	0
2,45	36,4	0
2,8	36,475	0,075
3,981	35,325	-1,075
4,392	35,425	-0,975
5,131	35,375	-1,025
5,98	35,975	-0,425
6,32	36,075	-0,325
8,45	36,35	-0,05
13,205	36,4	0
17,124	36,4	0
17,523	36,45	0,05
17,693	35,1	-1,3
18,843	35,15	-1,25
19,993	35,025	-1,375
21,564	35,8	-0,6
23,564	36,35	-0,05
26	36,4	0
32,001	36,4	0
32,401	36,45	0,05
32,555	35,35	-1,05
33,705	35,45	-0,95
34,855	35,35	-1,05
35,857	35,95	-0,45



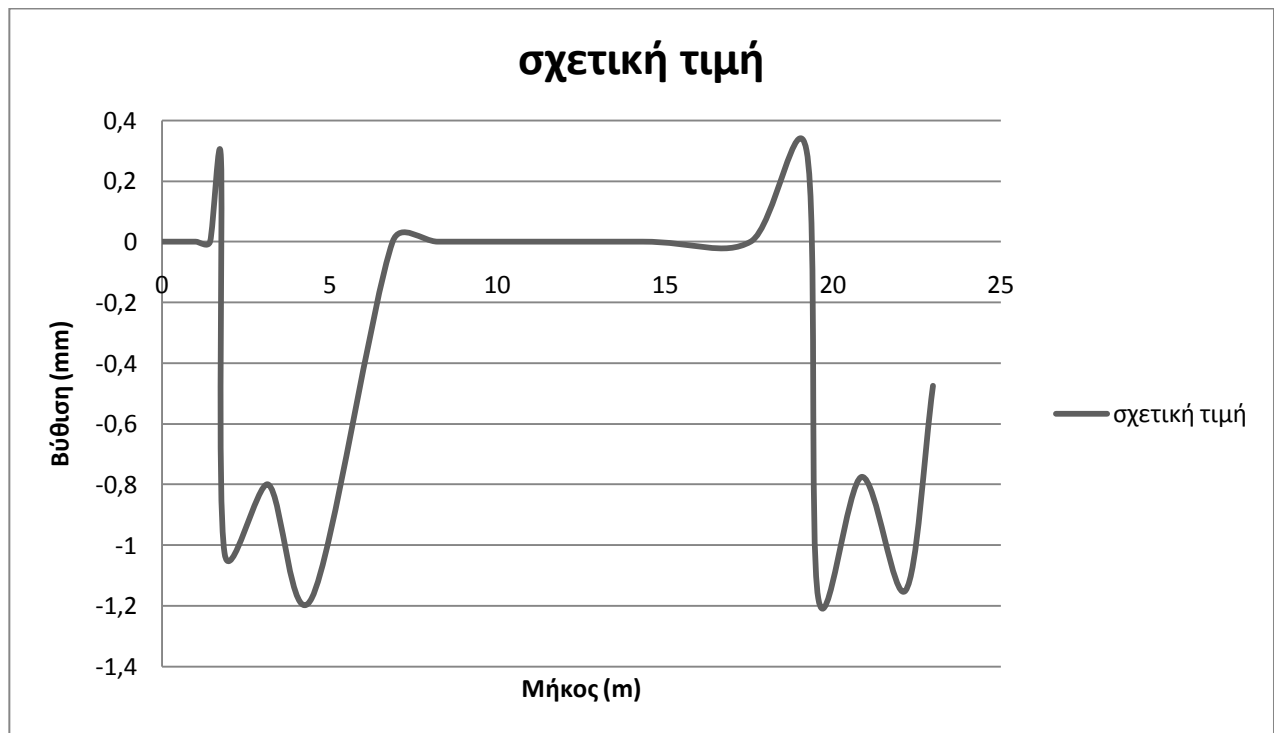
3^{ος} συρμός: MLW

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.3 Μεταβολή της βύθισης γ σε συνάρτηση με το μήκος		
Ημερομηνία: 30-9-2010		
Σημείο: 1ο		
Μέτρηση: 3 ^η -MLW		
Χρόνος έναρξης μέτρησης: 9:17		
μήκος (m)	ένδειξη (mm)	σχετική τιμή
0	36,05	0
1,236	36,05	0
1,674	36,375	0,325
1,756	34,875	-1,175
2,607	34,95	-1,1
3,458	34,9	-1,15
4,309	35,2	-0,85
5,16	34,925	-1,125
5,45	35,8	-0,25
5,64	36,05	0
8,29	36,05	0
9,645	36,05	0
10,958	36,2	0,15
11,42	34,85	-1,2
12,271	35,2	-0,85
13,122	34,875	-1,175
13,973	35,075	-0,975
14,824	34,85	-1,2
15,126	35,7	-0,35



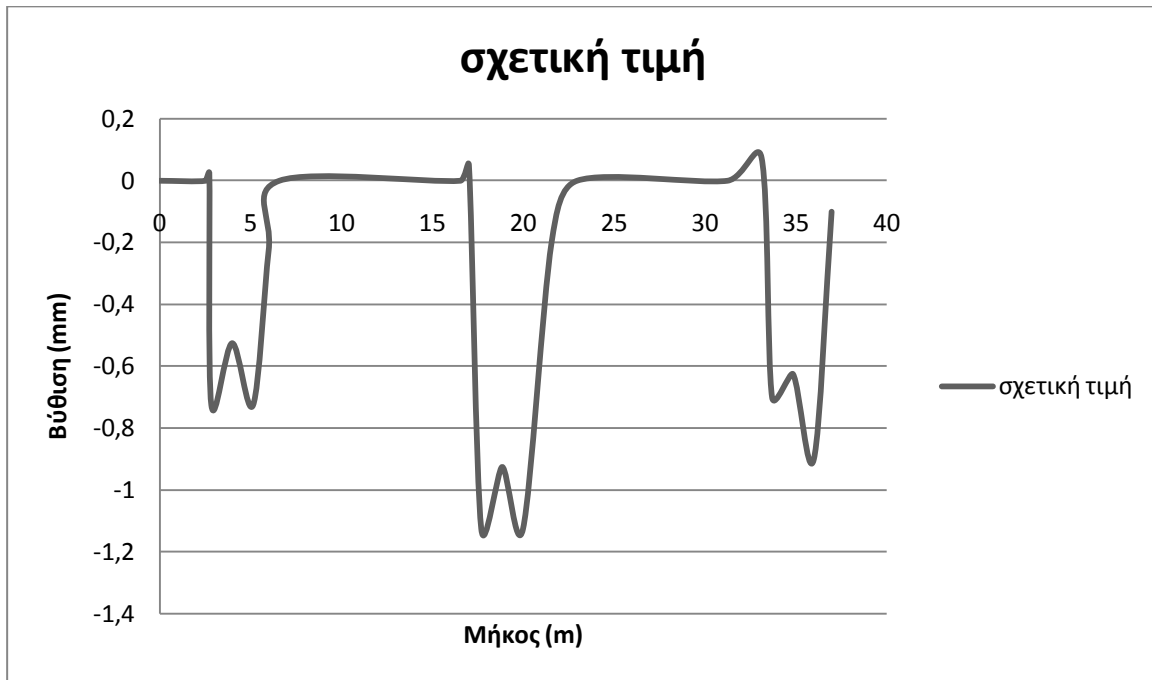
4^{ος} συρμός: IC

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.4 Μεταβολή της βύθισης γ σε συνάρτηση με το μήκος		
Ημερομηνία: 30-9-2010		
Σημείο: 1ο		
Μέτρηση: 4 ^η -IC		
Χρόνος έναρξης μέτρησης: 9:31		
μήκος (m)	ένδειξη (mm)	σχετική τιμή
0	35,975	0
1,001	35,975	0
1,432	35,975	0
1,756	36,25	0,275
1,862	34,95	-1,025
3,162	35,175	-0,8
4,462	34,8	-1,175
6,875	35,975	0
8,214	35,975	0
14,321	35,975	0
17,546	35,975	0
19,213	36,275	0,3
19,562	34,8	-1,175
20,862	35,2	-0,775
22,162	34,825	-1,15
22,982	35,5	-0,475



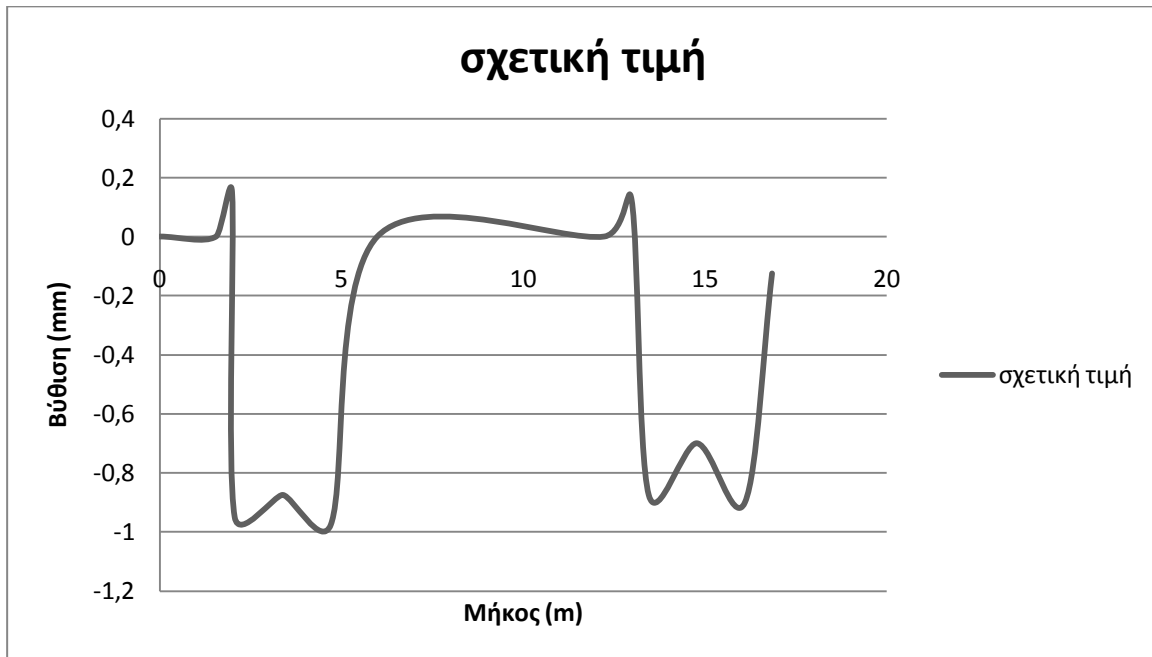
5^{ος} συρμός: GTW

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.5 Μεταβολή της βύθισης γ σε συνάρτηση με το μήκος		
Ημερομηνία: 30-9-2010		
Σημείο: 1ο		
Μέτρηση: 5η-GTW		
Χρόνος έναρξης μέτρησης: 9:56		
μήκος (m)	ένδειξη (mm)	σχετική τιμή
0	35,975	0
2,512	35,975	0
2,721	36	0,025
2,831	35,25	-0,725
3,981	35,45	-0,525
5,131	35,25	-0,725
5,987	35,75	-0,225
6,574	35,975	0
16,546	35,975	0
17,014	36,025	0,05
17,693	34,85	-1,125
18,843	35,05	-0,925
19,993	34,85	-1,125
21,564	35,775	-0,2
22,965	35,975	0
31,245	35,975	0
33,125	36,05	0,075
33,705	35,275	-0,7
34,855	35,35	-0,625
36,005	35,075	-0,9
36,984	35,875	-0,1



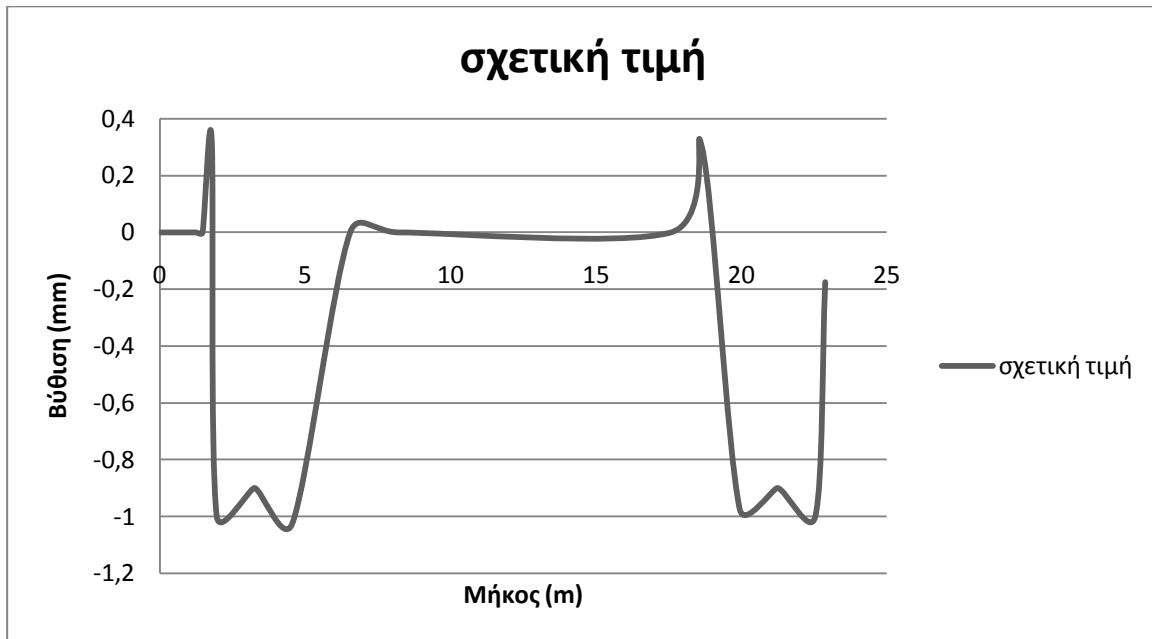
6^{ος} συρμός: ADtranz

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.6 Μεταβολή της βύθισης γ σε συνάρτηση με το μήκος		
Ημερομηνία: 30-9-2010		
Σημείο: 1ο		
Μέτρηση: 6η-ADtranz		
Χρόνος έναρξης μέτρησης: 10:01		
μήκος (m)	ένδειξη (mm)	σχετική τιμή
0	35,975	0
1,546	35,975	0
1,986	36,125	0,15
2,058	35,025	-0,95
3,383	35,1	-0,875
4,708	35	-0,975
5,987	35,975	0
12,234	35,975	0
12,985	36,1	0,125
13,458	35,1	-0,875
14,783	35,275	-0,7
16,108	35,075	-0,9
16,854	35,85	-0,125



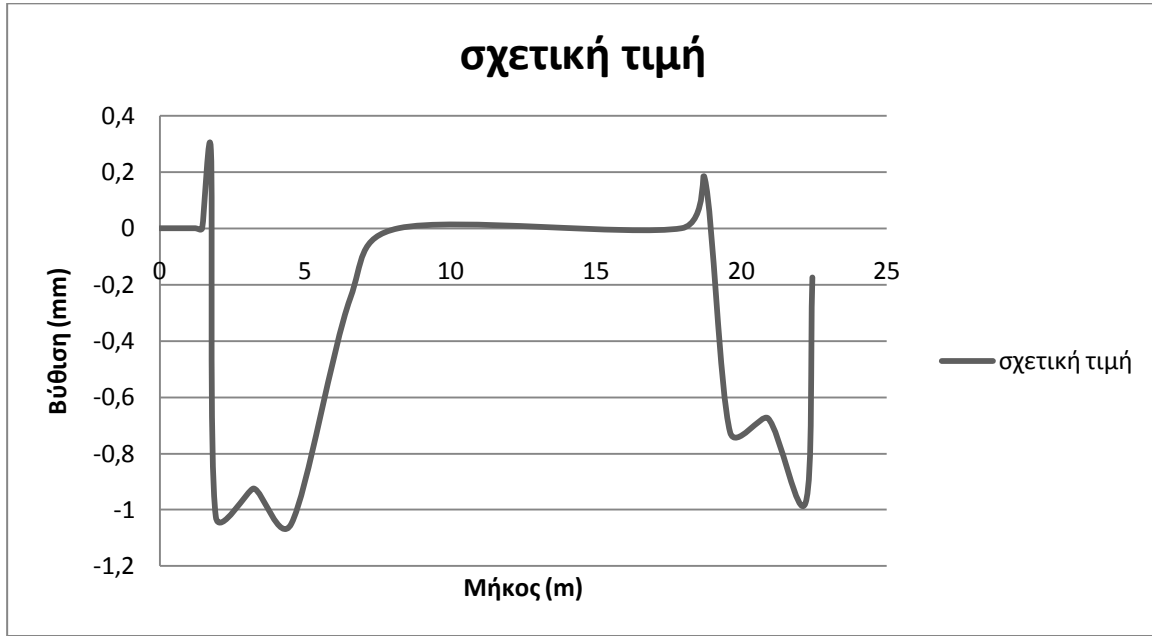
7^{ος} συρμός: Ganzmavak

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.7 Μεταβολή της βύθισης γ σε συνάρτηση με το μήκος		
Ημερομηνία: 30-9-2010		
Σημείο: 1ο		
Μέτρηση: 7η-Ganzmavak		
Χρόνος έναρξης μέτρησης: 10:04		
μήκος (m)	ένδειξη (mm)	σχετική τιμή
0	35,975	0
1,234	35,975	0
1,467	35,975	0
1,784	36,3	0,325
1,956	34,975	-1
3,256	35,075	-0,9
4,556	34,95	-1,025
6,547	35,975	0
8,214	35,975	0
17,584	35,975	0
18,654	36,275	0,3
19,956	35	-0,975
21,256	35,075	-0,9
22,556	34,975	-1
22,897	35,8	-0,175



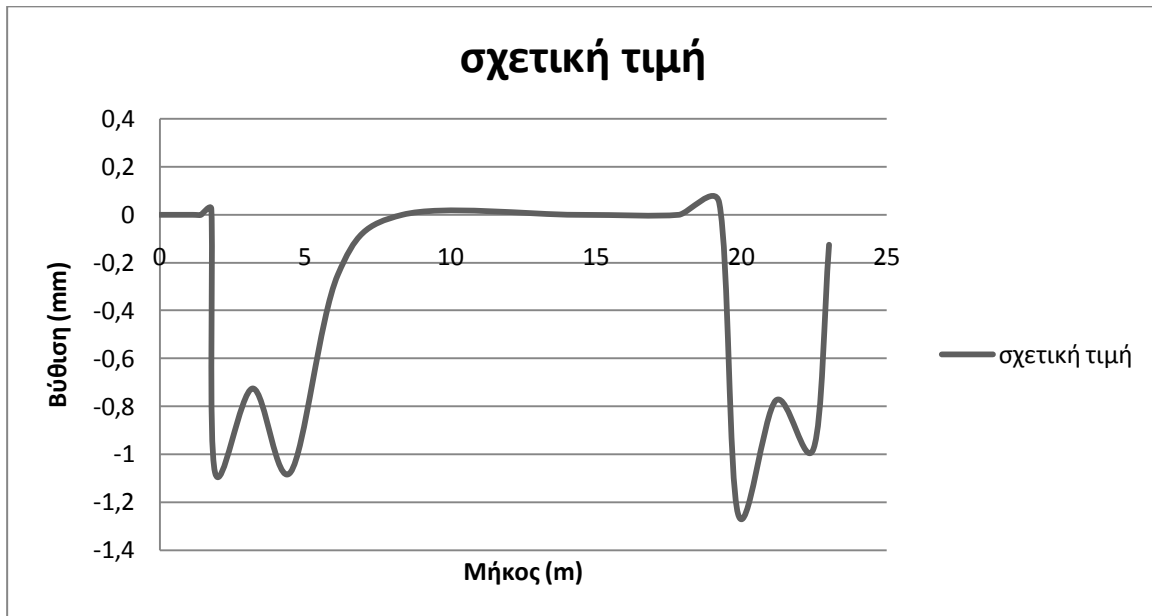
8^{ος} συρμός: Ganzmavak

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.8 Μεταβολή της βύθισης γ σε συνάρτηση με το μήκος		
Ημερομηνία: 30-9-2010		
Σημείο: 1ο		
Μέτρηση: 8η-Ganzmavak		
Χρόνος έναρξης μέτρησης: 10:12		
μήκος (m)	ένδειξη (mm)	σχετική τιμή
0	35,975	0
1,221	35,975	0
1,454	35,975	0
1,756	36,25	0,275
1,924	34,95	-1,025
3,224	35,05	-0,925
4,524	34,925	-1,05
6,547	35,725	-0,25
8,214	35,975	0
17,954	35,975	0
18,756	36,15	0,175
19,624	35,25	-0,725
20,924	35,3	-0,675
22,224	35	-0,975
22,456	35,8	-0,175



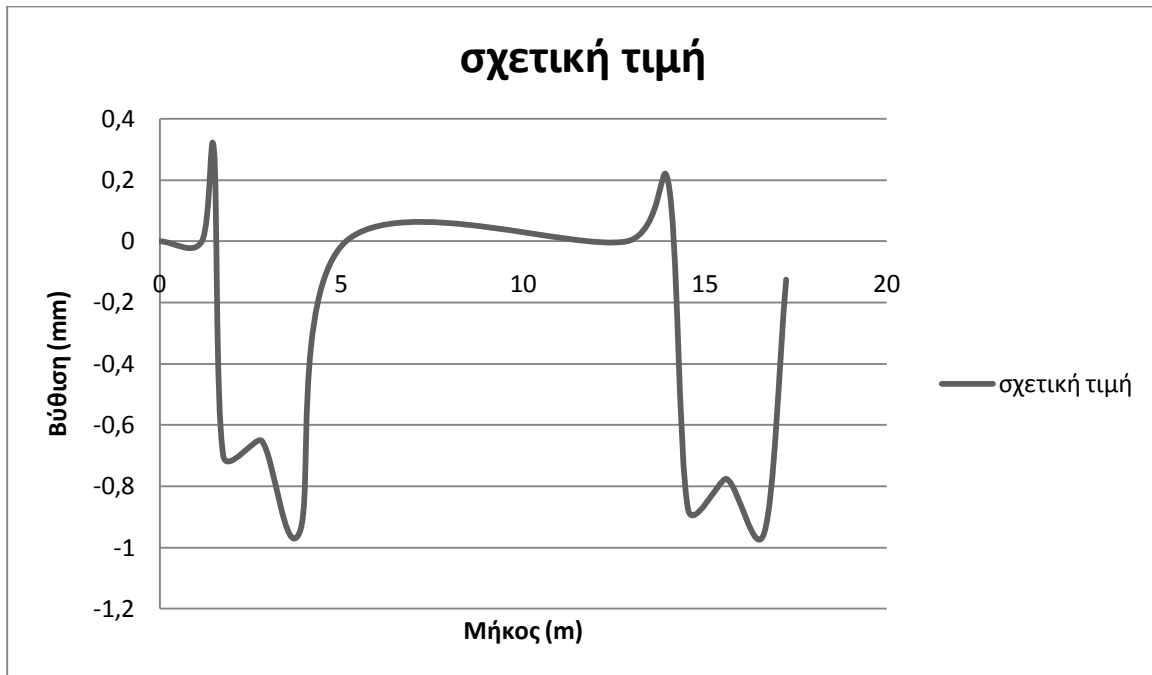
9^{ος} συρμός: IC

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.9 Μεταβολή της βύθισης γ σε συνάρτηση με το μήκος		
Ημερομηνία: 30-9-2010		
Σημείο: 1ο		
Μέτρηση: 9η-IC		
Χρόνος έναρξης μέτρησης: 10:23		
μήκος (m)	ένδειξη (mm)	σχετική τιμή
0	35,975	0
1,123	35,975	0
1,421	35,975	0
1,768	36	0,025
1,895	34,9	-1,075
3,195	35,25	-0,725
4,495	34,9	-1,075
6,123	35,725	-0,25
8,341	35,975	0
14,321	35,975	0
17,854	35,975	0
19,245	36,025	0,05
19,895	34,725	-1,25
21,195	35,2	-0,775
22,495	35	-0,975
23,025	35,85	-0,125



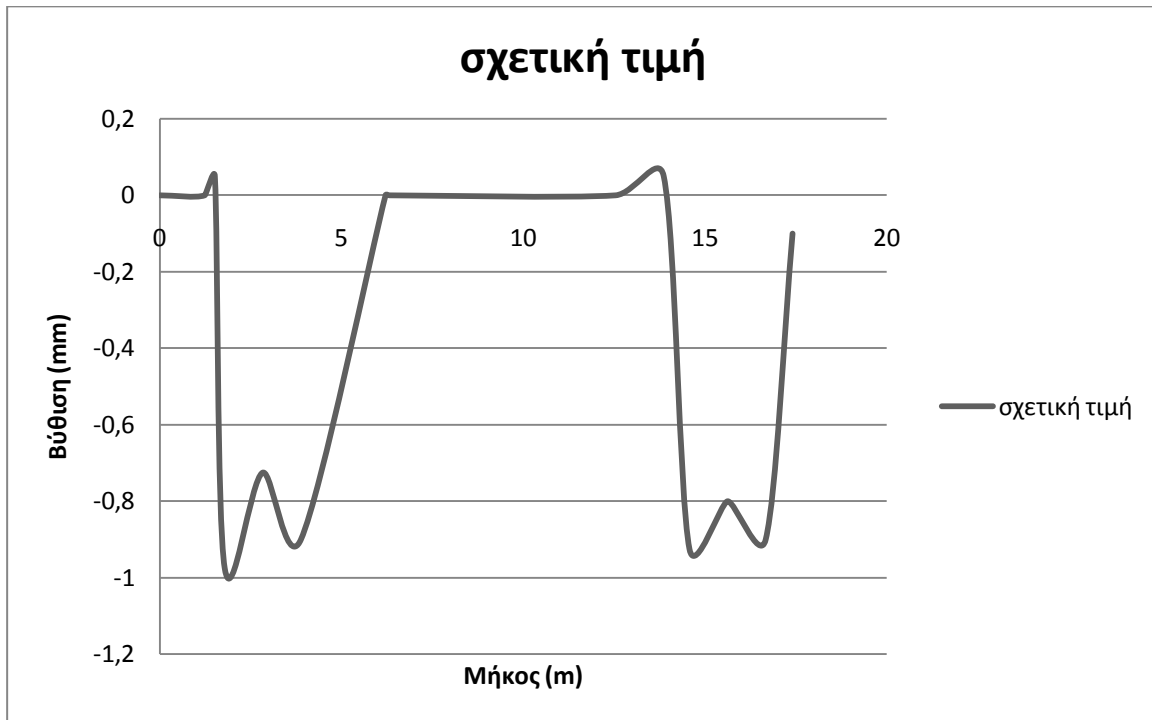
10^{ος} συρμός: Man

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.10 Μεταβολή της βύθισης γ σε συνάρτηση με το μήκος		
Ημερομηνία: 30-9-2010		
Σημείο: 1ο		
Μέτρηση: 10η-Man		
Χρόνος έναρξης μέτρησης: 10:30		
μήκος (m)	ένδειξη (mm)	σχετική τιμή
0	35,975	0
1,154	35,975	0
1,487	36,275	0,3
1,745	35,275	-0,7
2,795	35,325	-0,65
3,845	35,025	-0,95
5,124	35,975	0
12,854	35,975	0
13,986	36,175	0,2
14,545	35,1	-0,875
15,595	35,2	-0,775
16,645	35,025	-0,95
17,245	35,85	-0,125



11^{ος} συρμός: Man

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.11 Μεταβολή της βύθισης γ σε συνάρτηση με το μήκος		
Ημερομηνία: 30-9-2010		
Σημείο: 1ο		
Μέτρηση: 11η-Man		
Χρόνος έναρξης μέτρησης: 10:46		
μήκος (m)	ένδειξη (mm)	σχετική τιμή
0	35,975	0
1,234	35,975	0
1,513	36,025	0,05
1,784	35	-0,975
2,834	35,25	-0,725
3,884	35,075	-0,9
6,213	35,975	0
6,321	35,975	0
12,547	35,975	0
13,875	36,025	0,05
14,584	35,05	-0,925
15,634	35,175	-0,8
16,684	35,075	-0,9
17,423	35,875	-0,1



8.1 Παρατηρήσεις σημείου

Στο σημείο αυτό παρατηρούμε ότι η μέγιστη βύθιση για κάθε μηχανή είναι γύρω στο 1,10mm (εντός των φυσιολογικών ορίων), ενώ η ανύψωση της σιδηροτροχιάς είναι αρκετά μικρότερη (περίπου το 1/3-1/4 της βύθισης). Σε όλα τα διαγράμματα διακρίνονται καθαρά οι διαδοχικές βυθίσεις από τους δύο άξονες του κάθε φορείου, ενώ παρατηρείται και διαφορετική ανύψωση της σιδηροτροχιάς ανάμεσα σε δύο φορεία του ίδιου βαγονιού. Η μεγαλύτερη ανύψωση παρατηρείται σε κάποιους συρμούς πριν τον πρώτο άξονα του πρώτου φορείου και σε κάποιους πριν τον πρώτο άξονα του δεύτερου φορείου. Στο τέλος της μέτρησης του πρώτου συρμού (ο οποίος δεν είχε άλλα βαγόνια), παρατηρείται παραμένουσα βύθιση για κάποιο χρονικό διάστημα αμέσως μετά τη διέλευση του συρμού. Η ομοιομορφία των μετρήσεων δείχνει ότι ο τρόπος μέτρησης και το στήσιμο του οργάνου μέτρησης ήταν αρκετά καλός.

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:

$$C = \frac{Q}{4by} \cdot \sqrt[3]{\frac{Q}{EIy}} \quad (\text{N/mm}^3)$$

όπου:

Q φορτίο τροχού ($2t = 20\text{kN}$) (N)

b πλάτος υποθετικού κατά μήκος φορέα (mm)

E_x μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα (N/mm^2)

I ροπή αδράνειας της σιδηροτροχιάς (mm^4)

γ_M μέση τιμή της βύθισης της σιδηροτροχιάς (mm)

Τα παραπάνω μεγέθη προκύπτουν ως εξής:

- Φορτίο τροχού $Q = 7(t) = 70(\text{kN}) = 70000(\text{N})$
- Πλάτος υποθετικού κατά μήκος φορέα b σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$b = \frac{bs \cdot 2 \cdot u}{a} = \frac{F_1}{a} = \frac{Fa}{2 \cdot a} \quad (\text{mm})$$

όπου:

b_s πραγματικό πλάτος στρωτήρα (mm)

u εξέχον τμήμα στρωτήρα (mm)

a απόσταση μεταξύ στρωτήρων (mm)

F_1 ενεργός επιφάνεια κάτω από μία σιδηροτροχιά (mm)

Η ενεργός επιφάνεια F_1 για τους B70 είναι:

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

Μέτρο ελαστικότητας χάλυβα $E_x = 2,1 \cdot 10^5 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

Ροπή αδράνειας σιδηροτροχιάς I από πίνακες ως εξής:

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

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

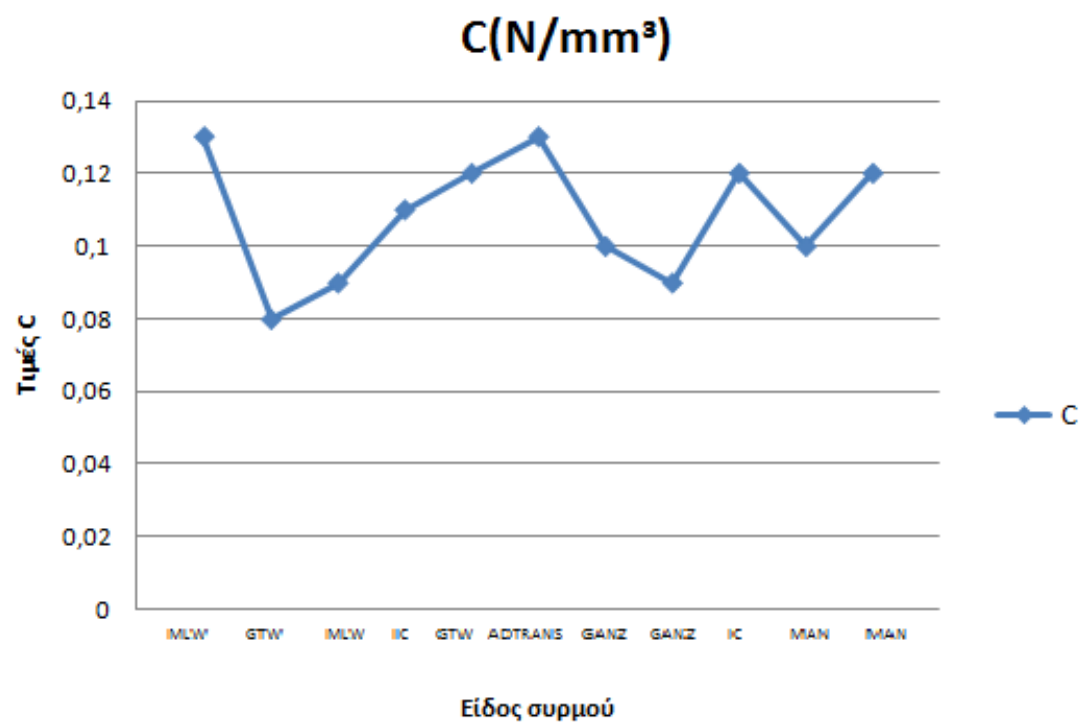
Μέση τιμή βύθισης σιδηροτροχιάς γ_M όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα

			ΠΙΝΑΚΑΣ 9.1 Βύθιση και μέσοι όροι								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	0,875	1,075	1,175	1,025	0,725	0,95	1	1,025	1,075	0,7	0,975
	1	1,025	1,15	1,175	0,725	0,975	1,025	1,05	1,075	0,95	0,9
	0,925	1,3	1,125	1,175	1,125	0,875	0,975	0,725	1,25	0,875	0,925
	0,9	1,375	1,2	1,15	1,125	0,9	1	0,975	0,975	0,95	0,9
	0,925	1,05	1,175		0,7						
	0,9	1,05	1,2		0,9						
γμ	0,9208	1,14583	1,17083	1,13125	0,88333	0,925	1	0,94375	1,09375	0,86875	0,925

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:

$$P = C \cdot \gamma_M \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 9.2 Υπολογισμός το δείκτη αντίδρασης εδάφους C για τις μετρηθείσες βυθίσεις										
μέτρηση	$\gamma(\text{mm})$	$b_s(\text{mm})$	$u(\text{mm})$	$a(\text{mm})$	$b(\text{mm})$	$Q(\text{N})$	$E_x(\text{N/mm}^2)$	$I(\text{mm}^4)$	$C(\text{N/mm}^3)$	$P(\text{N/mm}^2)$
1	0,920833	300	550	600	550	200000	210000	30550000	0,13	0,0226995
2	1,145833	300	550	600	550	172500	210000	30550000	0,08	0,0173267
3	1,170833	300	550	600	550	200000	210000	30550000	0,09	0,0209529
4	1,13125	300	550	600	550	180000	210000	30550000	0,11	0,0184168
5	0,88333	300	550	600	550	172500	210000	30550000	0,12	0,0188965
6	0,925	300	550	600	550	200000	210000	30550000	0,13	0,0226654
7	1	300	550	600	550	150500	210000	30550000	0,10	0,0151154
8	0,94375	300	550	600	550	150500	210000	30550000	0,09	0,0154099
9	1,09375	300	550	600	550	180000	210000	30550000	0,12	0,0186249
10	0,86875	300	550	600	550	165000	210000	30550000	0,10	0,0179081
11	0,925	300	550	600	550	165000	210000	30550000	0,12	0,0175375



10) ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΣΤΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΒΥΘΙΣΗ

Έχοντας προς διάθεση τις μετρήσεις των βυθίσεων είναι δυνατή η σύγκρισή τους με τις αναμενόμενες βυθίσεις που περιμένει κανείς υποθέτοντας ότι η κατάσταση του εδάφους (όπως αυτή χαρακτηρίζεται από τον δείκτη αντίδρασης εδάφους) ήταν από καλή έως ιδανική, θεωρώντας κατ' εκτίμηση τον δείκτη αντίδρασης εδάφους C αλλά και το συντελεστή κατάστασης επιδομής ρ για καλή επιδομή σε έρμα για το τμήμα Πειραιάς – Σταθμός Λαρίσης ($C = 0,16 \text{ N/mm}^3$). Ο υπολογισμός θα γίνει σύμφωνα με τη θεωρία του κατά μήκος στρωτήρα του Zimmermann και με τύπους που ακολουθούν παρακάτω.

Η θεωρία του κατά μήκος στρωτήρα στηρίζεται στη διαπίστωση (στην οποία κατέληξε ο Zimmermann βασιζόμενος στην παραδοχή 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 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 ΟΣΕ που αφορούν την εργασία η κρίσιμη αυτή απόσταση μεταξύ των αξόνων είναι:

$$X_0 = 2,1 \text{ m} = 2100 \text{ mm}$$

Ο τύπος υπολογισμού της αναμενόμενης στατικής βύθισης είναι οι εξής:

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

όπου:

Q φορτίο τροχού

b πλάτος υποθετικού κατά μήκος φορέα

C δείκτης αντίδρασης εδάφους (κατ' εκτίμηση)

L ελαστικό μήκος του κατά μήκος φορέα που δίνεται από τον τύπο:

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

Η συντελεστής που δίνεται από πίνακα σε συνάρτηση με το μέγεθος

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

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

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

όπου:

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

t_σ στατιστική ασφάλεια με $t_\sigma = 3$ 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 ΜΕΓΕΘΩΝ ΠΟΥ ΕΞΑΤΑΖΟΝΤΑΙ). Τα αποτελέσματα των παραπάνω υπολογισμών συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί στην επόμενη σελίδα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 10.1 Υπολογισμός αναμενόμενης στατικής και δυναμικής βύθισης									
για τον κατ' εκτίμηση δείκτη αντίδρασης εδάφους									
σημείο	bs(mm)	u(mm)	a(mm)	b(mm)	Ex(N/mm ²)	I(mm ⁴)	C(N/mm ³)	L(mm)	Xcr(mm)
1	300	550	600	392,8571	210000	30550000	0,15	664,4317	2100
2	300	550	600	392,8571	210000	30550000	0,15	664,4317	2100
3	300	550	600	392,8571	210000	30550000	0,15	664,4317	2100
4	300	550	600	392,8571	210000	30550000	0,15	664,4317	2100
5	300	550	600	392,8571	210000	30550000	0,15	664,4317	2100
6	300	550	600	392,8571	210000	30550000	0,15	664,4317	2100
7	300	550	600	392,8571	210000	30550000	0,15	664,4317	2100
8	300	550	600	392,8571	210000	30550000	0,15	664,4317	2100
9	300	550	600	392,8571	210000	30550000	0,15	664,4317	2100
10	300	550	600	392,8571	210000	30550000	0,15	664,4317	2100
11	300	550	600	392,8571	210000	30550000	0,15	664,4317	2100

ξ	η	ρ	θ	Q(N)	γ(mm)	γd(mm)
3,160596	-0,0431	0,25	1,75	200000	1,113	1,950
3,160596	-0,0431	0,25	1,75	172500	0,900	1,575
3,160596	-0,0431	0,25	1,75	200000	1,124	1,967
3,160596	-0,0431	0,25	1,75	180000	1,020	1,785
3,160596	-0,0431	0,25	1,75	172500	1,041	1,822
3,160596	-0,0431	0,25	1,75	200000	1,260	2,205
3,160596	-0,0431	0,25	1,75	150500	0.870	1,523
3,160596	-0,0431	0,25	1,75	150500	0,950	1,663
3,160596	-0,0431	0,25	1,75	180000	1,058	1,852
3,160596	-0,0431	0,25	1,75	165000	0,985	1,724
3,160596	-0,0431	0,25	1,75	165000	1,004	1,757

Από τα αποτελέσματα που περιλαμβάνονται στον πίνακα παρατηρούμε τα εξής:

Ο δείκτης αντίδρασης εδάφους C είναι κοντά σε αυτούς που υπολογίστηκαν, ενώ και η αναμενόμενη στατική βύθιση πλησιάζει τη μετρηθείσα. Θα ήταν δόκιμο να ειπωθεί ότι η πραγματικά αναμενόμενη βύθιση κυμαίνεται στο διάστημα ανάμεσα στην αναμενόμενη στατική και τη δυναμική βύθιση (αφού πρόκειται για ημιστατική βύθιση). Η υπόθεση που έγινε για τις τιμές του δείκτη αντίδρασης εδάφους αφορά μια ιδανική κατάσταση επιδομής, ομοιόμορφη κατανομή του έρματος και φυσικά αφορά άκαμπτο έδαφος, το οποίο δεν υφίσταται.

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 ενδιαφέρον οι οριζόντιες σ_x και οι διατμητικές $\tau_{\max}$, μιας και το έδαφος κινδυνεύει να αστοχήσει έναντι θλίψεως. Για τον υπολογισμό των τάσεων αυτών είναι απαραίτητο να θεωρηθούν βάσει βιβλιογραφίας και παρατήρησης τα πάχη h και τα μέτρα ελαστικότητας E των στρώσεων που αποτελούν την επιδομή και το έδαφος. Στον υπολογισμό αυτό θα υποτεθεί επίσης και μια ενδιάμεση στρώση προκειμένου να διαπιστώσουμε όσο χρήσιμη θα ήταν η τοποθέτηση της. Έτσι, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, τις παρατηρήσεις και τις μετρήσεις μας οι αναμενόμενες τιμές για το έρμα, την ενδιάμεση στρώση και το έδαφος είναι οι εξής:

- Έρμα: $h = 300 \text{ mm}$, $E = 150 \text{ N/mm}^2$
- Ενδιάμεση στρώση: $h = 350 \text{ mm}$, $E = 100 \text{ N/mm}^2$
- Έδαφος: $h = +$, $E = 10 - 95 \text{ mm}^2$

Το μέτρο ελαστικότητας του εδάφους κυμαίνεται από 10 έως 95 N/mm^2 ανάλογα με τον δείκτη αντίδρασης εδάφους C που έχει υπολογιστεί, σύμφωνα με τον πίνακα. 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 αντιστοιχεί σε $E = 100 \text{ N/mm}^2$ εμείς θεωρούμε $E = 95 \text{ N/mm}^2$ έτσι ώστε να διατηρείται η παραπάνω συνθήκη. Το ισοδύναμο πάχος μιας στρώσης δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

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

όπου:

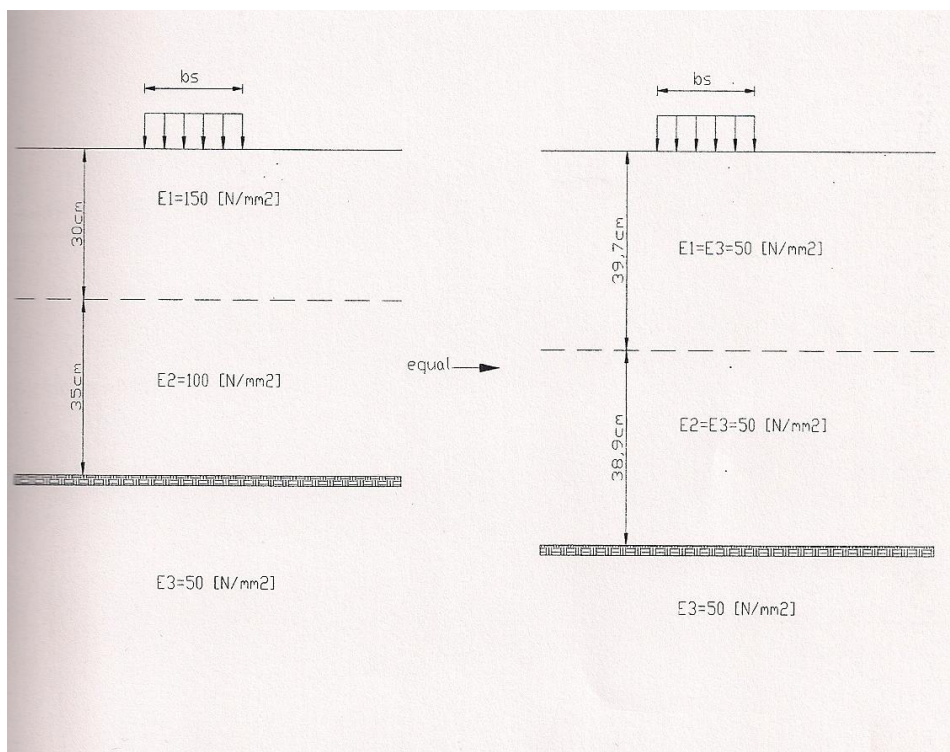
h' : ισοδύναμο πάχος της υπό εξέτασης στρώσης σε (mm)

h : πραγματικό πάχος της υπό εξέτασης στρώσης σε (mm)

E_n : μέτρο ελαστικότητας της υπό εξέτασης στρώσης σε (N/mm²)

E_3 : 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 $E_3 = 95 \text{ N/mm}^2$).



Σχήμα 16: Εδαφικές στρώσεις κατά Odemark

ΠΙΝΑΚΑΣ 11.1 Υπολογισμός ισοδύναμων βαθών κατά Odemark

	h1=301	h2=351
	E3=95	
	z(mm)	z'(mm)
E1=150	0	0
	25	26,20023
	50	52,40046
	75	78,60068
	100	104,8009
	125	131,0011
	150	157,2014
	175	183,4016
	200	209,6018
	225	235,8021
	250	262,0023
	275	288,2025
	300	314,4027
E2=100	325	297,5441
	350	320,4321
	375	343,3201
	400	366,2081
	425	389,0961
	450	411,9841
	475	434,8721
	500	457,7601
	525	480,6482
	550	503,5362
	575	526,4242
	600	549,3122
	625	572,2002
	650	595,0882

11.1.1 Υπολογισμός τάσεων κάτω από την υπό εξέταση διατομή

Οι υπολογισμοί των τάσεων θα γίνουν 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).

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

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

όπου:

σ_z κατακόρυφη τάση σε (N/mm^2)

p πίεση έρματος κάτω από τον στρωτήρα σε (N/mm^2)

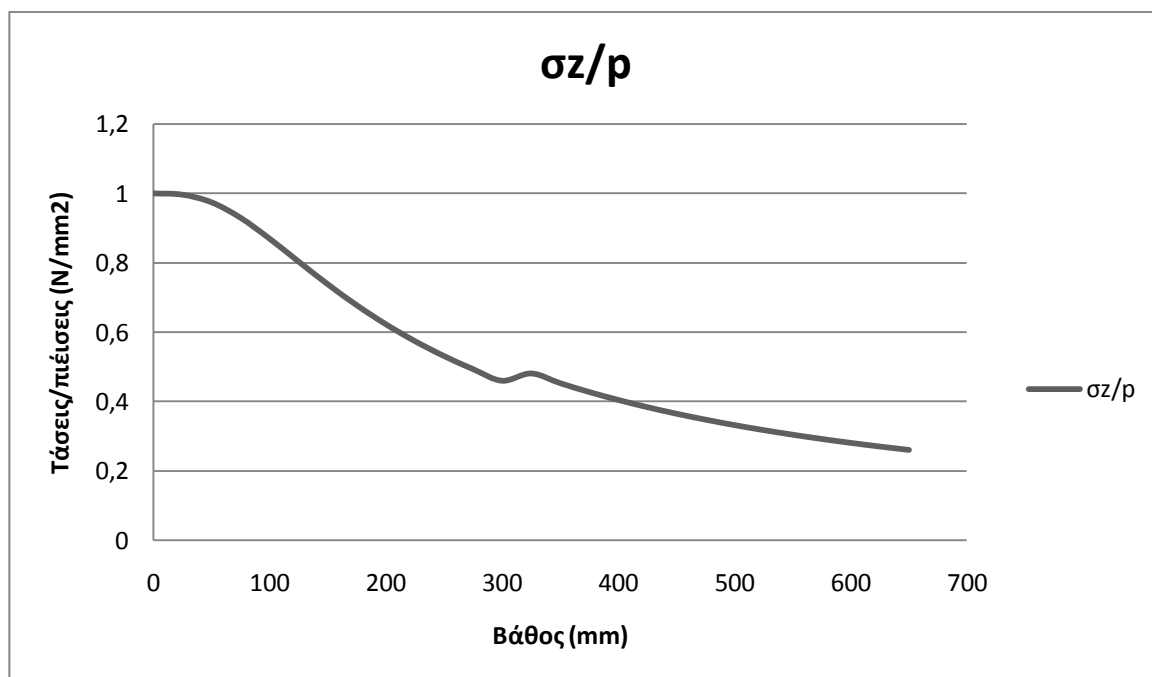
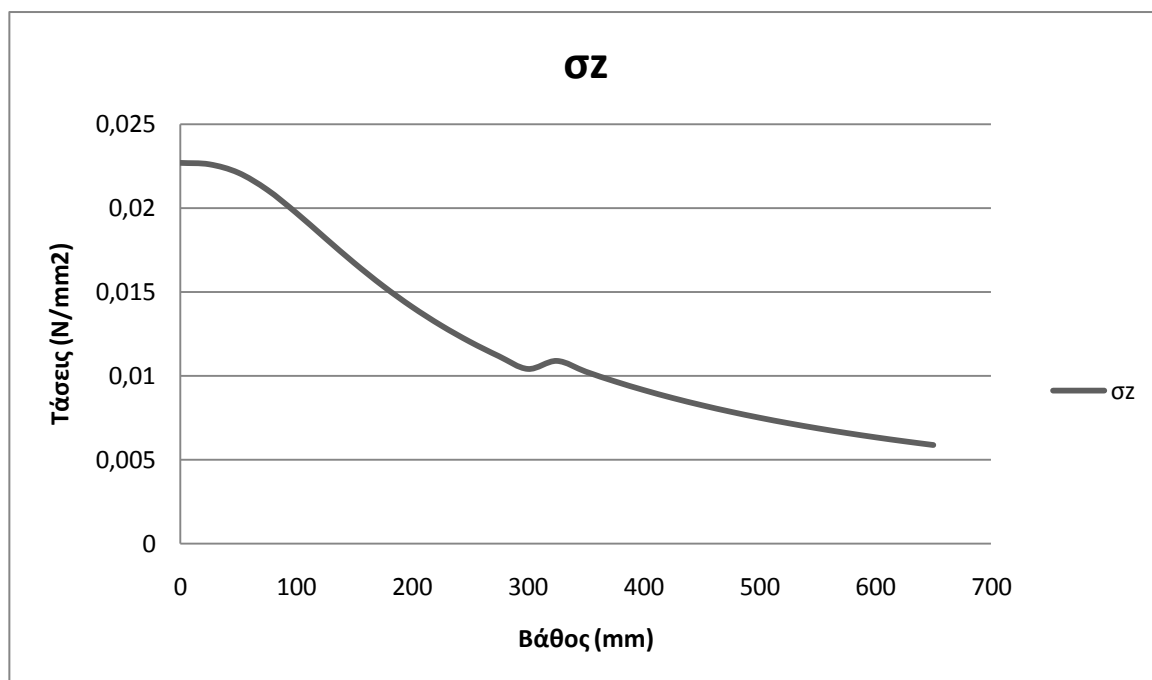
b_s πραγματικό πλάτος στρωτήρα σε (mm)

z' ισοδύναμο βάθος κάτω από το στρωτήρα σε (mm)

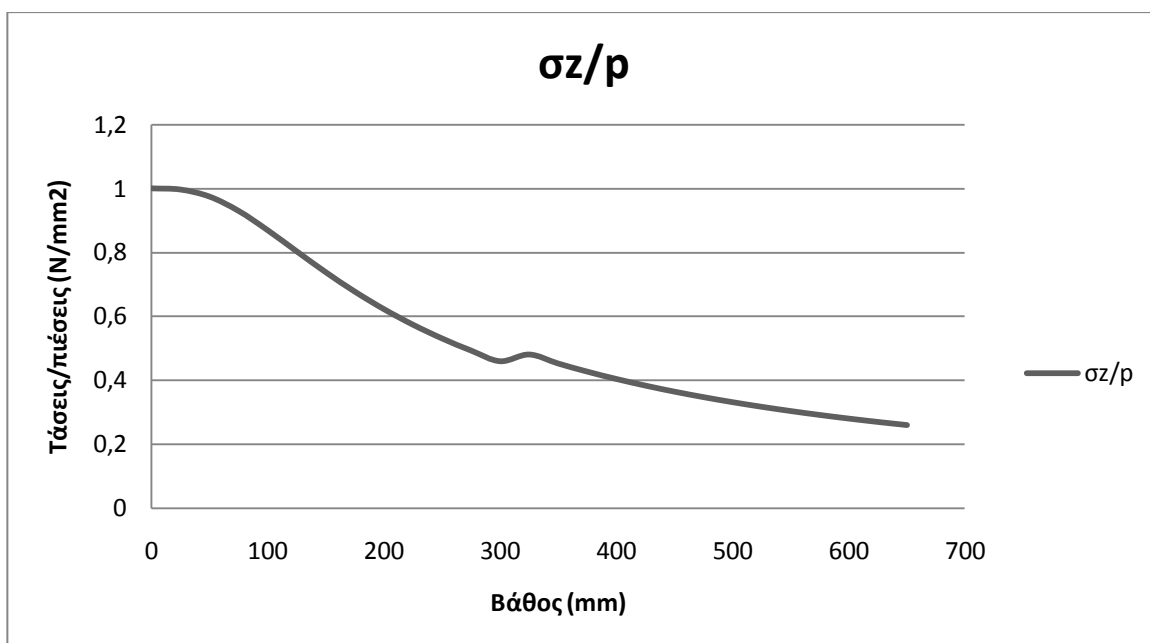
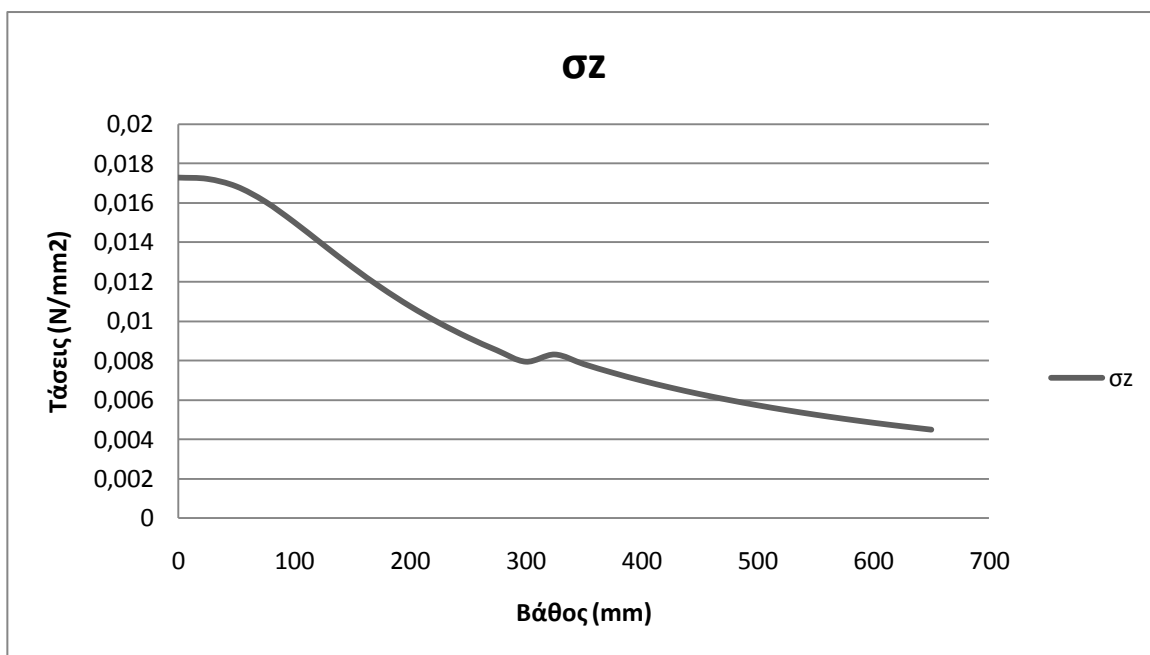
Οι υπολογισμοί γίνονται με τα ισοδύναμα βάθη (μιας και δεν είναι δυνατό να γίνουν με τα πραγματικά) αλλά με τα τελικά αποτελέσματα των υπολογισμών καθώς και τα αντίστοιχα γραφήματα παρουσιάζονται για τα πραγματικά βάθη κάτω από το στρωτήρα αφού αυτά ενδιαφέρουν.

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 αστοχήσει μόνο έναντι θλίψης.

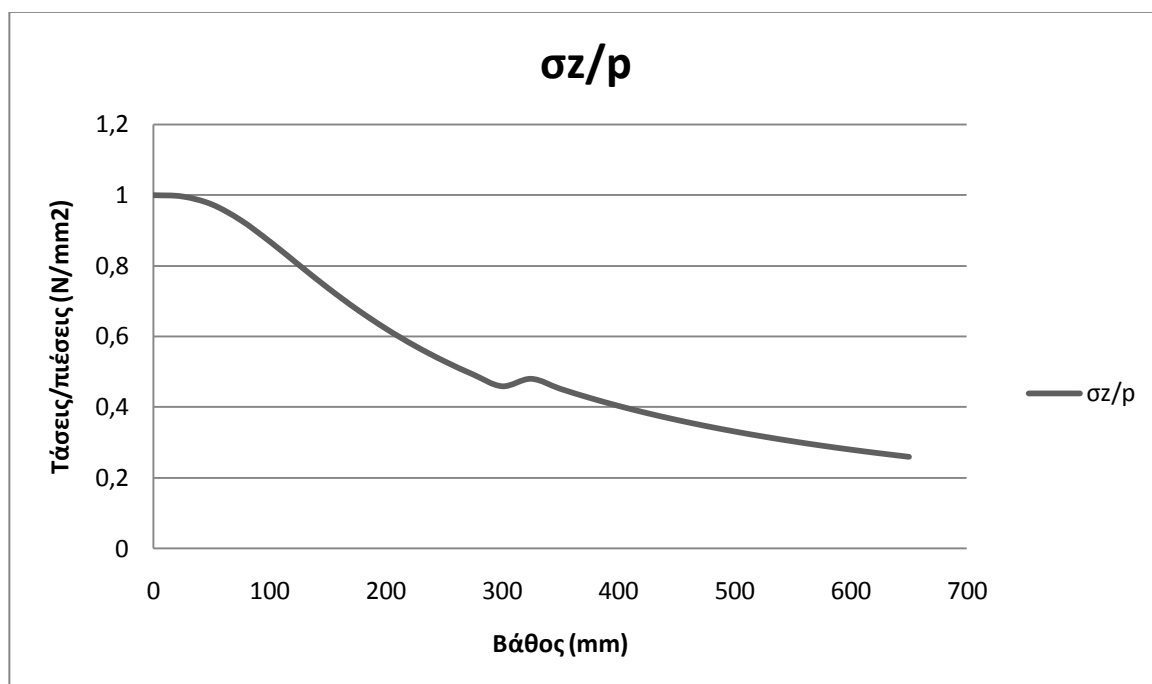
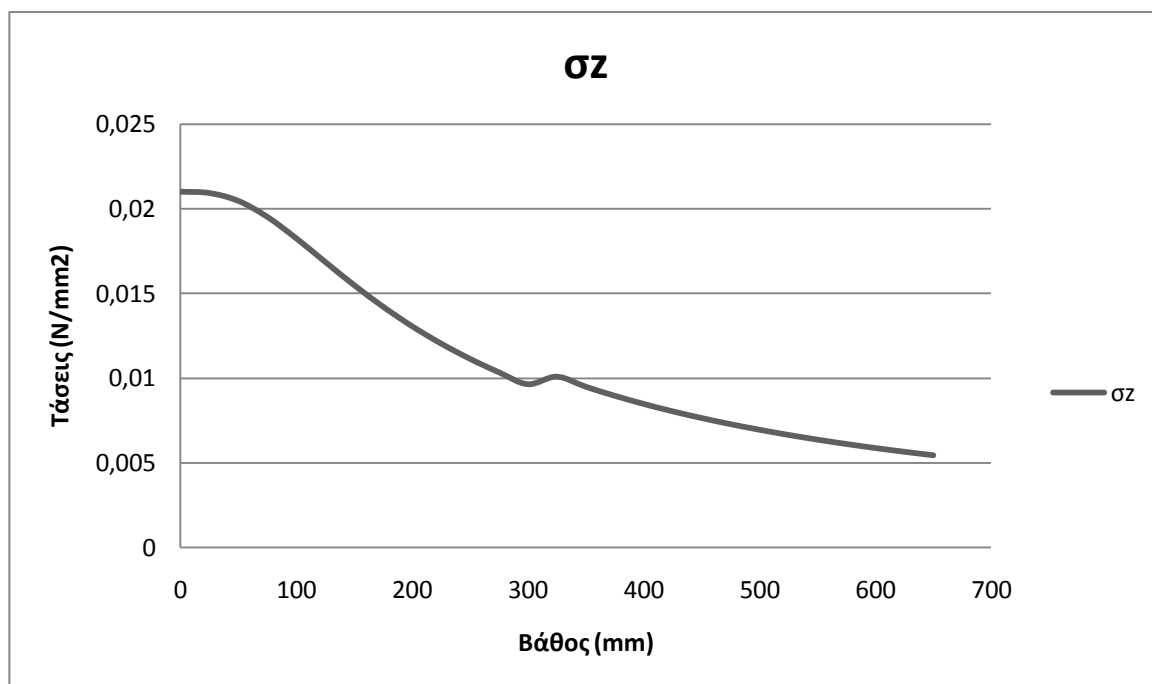
ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2 Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων-πιέσεων για τις μετρηθείσες βυθίσεις 1ος συρμός-MLW			
	π	bs	$p(N/mm^2)$
	3,141593	250	0,0227
z	z'	σ_z	σ_z/p
0	0	0,0227	1
25	26,200228	0,02261575	0,996288476
50	52,400456	0,02211611	0,974278018
75	78,600684	0,02110021	0,929524454
100	104,80091	0,01973182	0,869243206
125	131,00114	0,01822899	0,803039344
150	157,20137	0,01674799	0,737796773
175	183,4016	0,01537075	0,677125651
200	209,60182	0,01412838	0,622395688
225	235,80205	0,01302433	0,573759187
250	262,00228	0,01204933	0,530807532
275	288,20251	0,01118942	0,492926192
300	314,40274	0,01042991	0,459467486
325	297,54409	0,01090785	0,480522016
350	320,4321	0,01026786	0,452328724
375	343,32011	0,00969173	0,426948399
400	366,20812	0,00917153	0,404032203
425	389,09612	0,00870033	0,383274641
450	411,98413	0,00827212	0,364410785
475	434,87214	0,00788171	0,34721201
500	457,76015	0,00752463	0,331481386
525	480,64815	0,00719702	0,317049272
550	503,53616	0,00689556	0,303769352
575	526,42417	0,00661739	0,291515155
600	549,31217	0,00636002	0,280177084
625	572,20018	0,00612128	0,269659885
650	595,08819	0,00589929	0,259880515



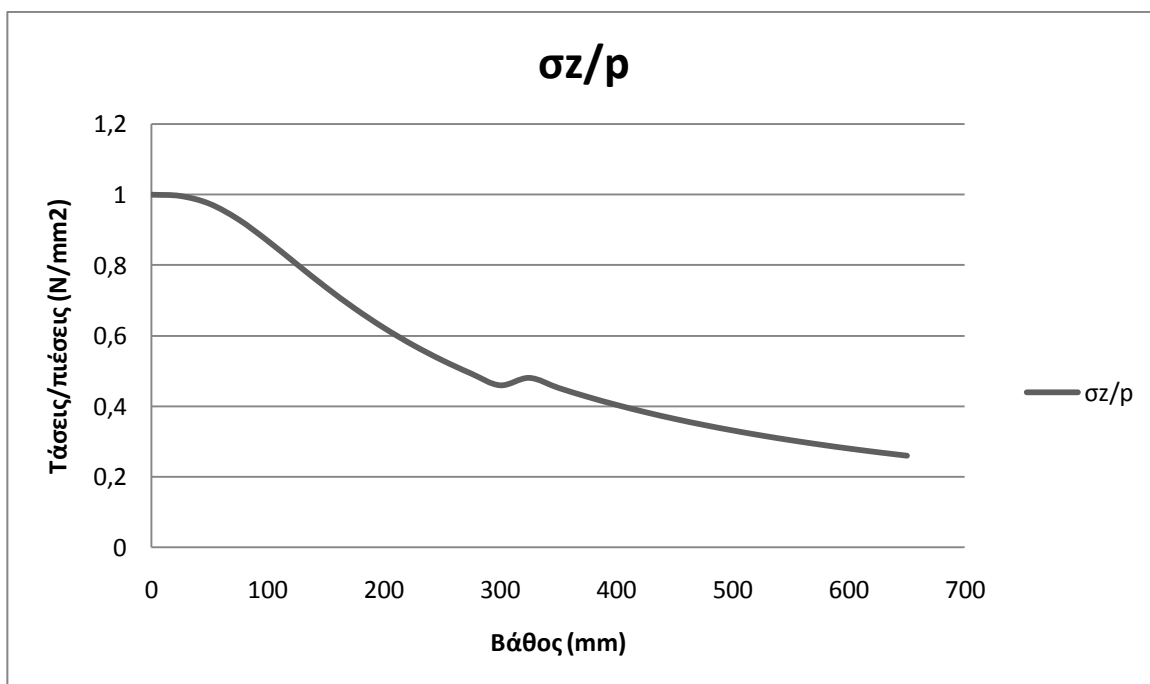
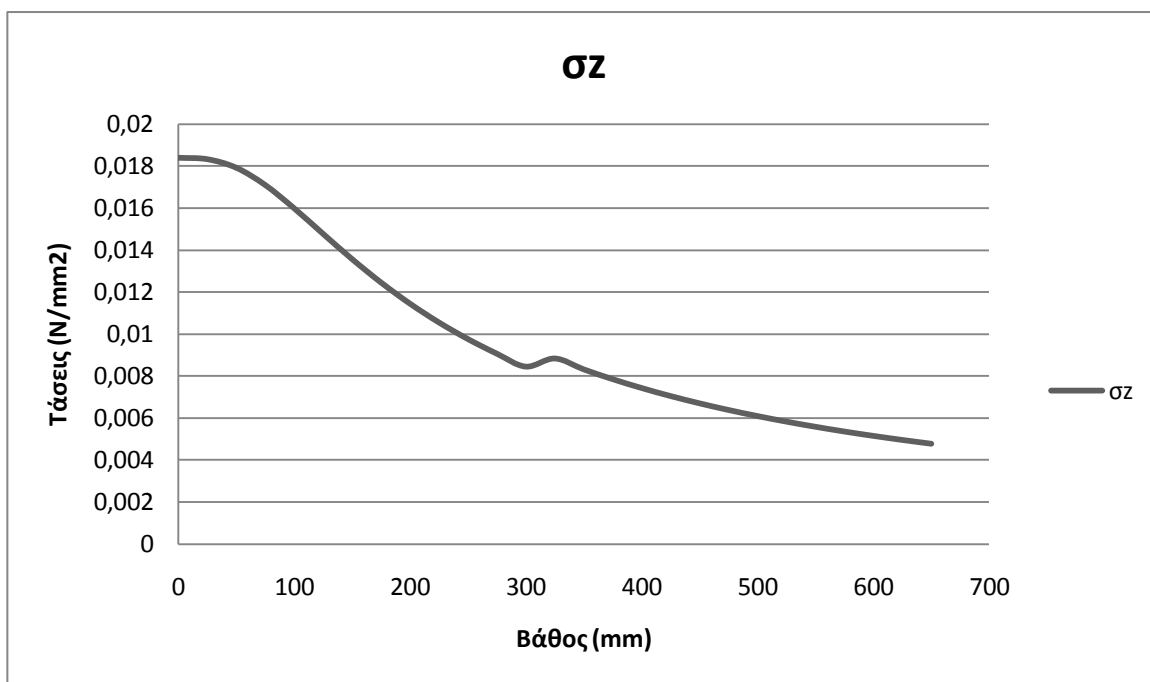
ΠΙΝΑΚΑΣ 11.3 Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων-πιέσεων για τις μετρηθείσες βυθίσεις			
2ος συρμός-GTW			
	π	bs	$p(N/mm^2)$
	3,141593	250	0,0173
z	z'	σ_z	σ_z/p
0	0	0,0173	1
25	26,200228	0,01723579	0,996288476
50	52,400456	0,01685501	0,974278018
75	78,600684	0,01608077	0,929524454
100	104,80091	0,01503791	0,869243206
125	131,00114	0,01389258	0,803039344
150	157,20137	0,01276388	0,737796773
175	183,4016	0,01171427	0,677125651
200	209,60182	0,01076745	0,622395688
225	235,80205	0,00992603	0,573759187
250	262,00228	0,00918297	0,530807532
275	288,20251	0,00852762	0,492926192
300	314,40274	0,00794879	0,459467486
325	297,54409	0,00831303	0,480522016
350	320,4321	0,00782529	0,452328724
375	343,32011	0,00738621	0,426948399
400	366,20812	0,00698976	0,404032203
425	389,09612	0,00663065	0,383274641
450	411,98413	0,00630431	0,364410785
475	434,87214	0,00600677	0,34721201
500	457,76015	0,00573463	0,331481386
525	480,64815	0,00548495	0,317049272
550	503,53616	0,00525521	0,303769352
575	526,42417	0,00504321	0,291515155
600	549,31217	0,00484706	0,280177084
625	572,20018	0,00466512	0,269659885
650	595,08819	0,00449593	0,259880515



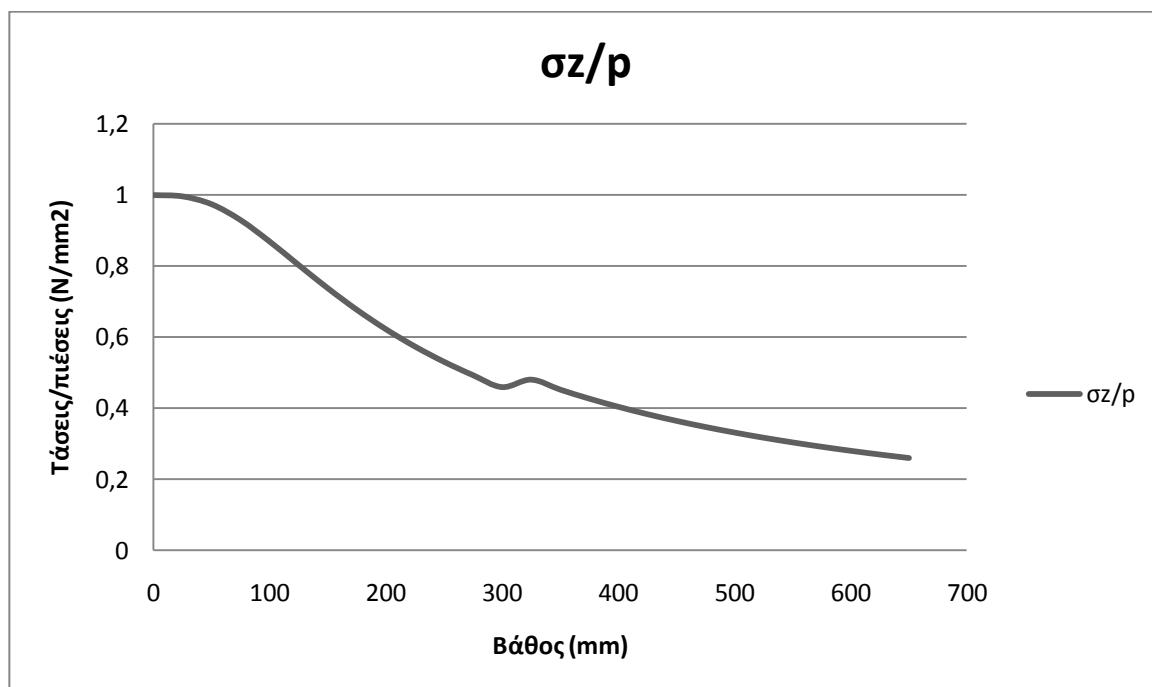
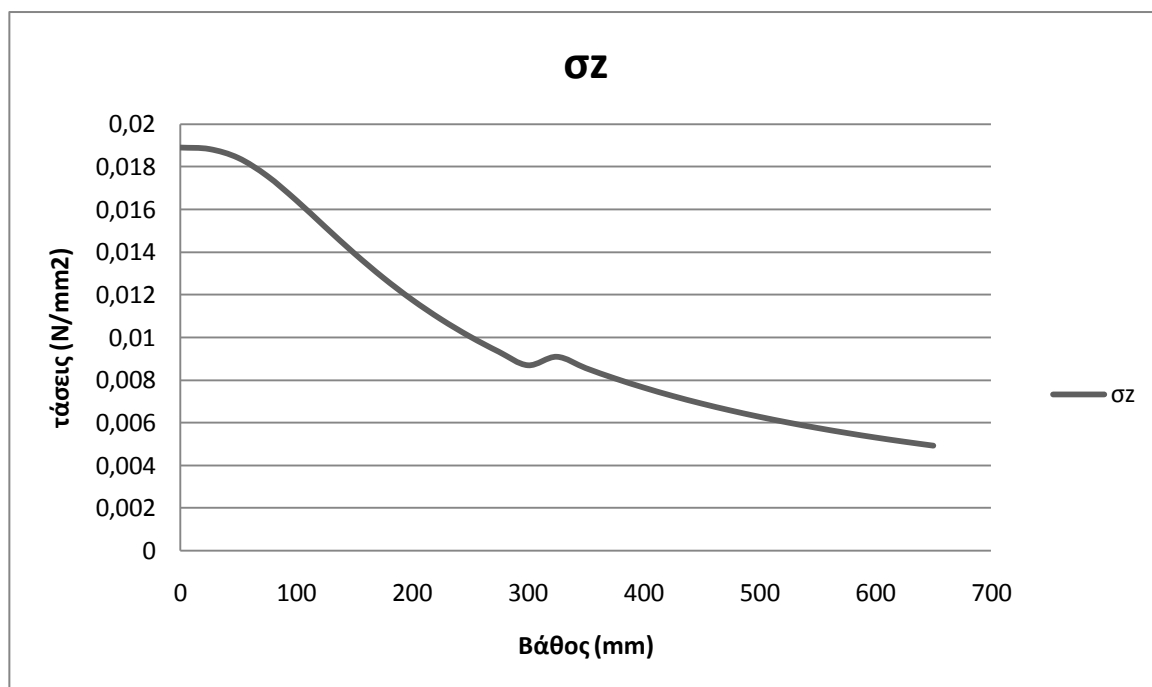
ΠΙΝΑΚΑΣ 11.4 Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων-πιέσεων για τις μετρηθείσες βυθίσεις 3ος συρμός-MLW			
	π	bs	$p(N/mm^2)$
	3,141593	250	0,021
z	z'	σ_z	σ_z/p
0	0	0,021	1
25	26,200228	0,02092206	0,996288476
50	52,400456	0,02045984	0,974278018
75	78,600684	0,01952001	0,929524454
100	104,80091	0,01825411	0,869243206
125	131,00114	0,01686383	0,803039344
150	157,20137	0,01549373	0,737796773
175	183,4016	0,01421964	0,677125651
200	209,60182	0,01307031	0,622395688
225	235,80205	0,01204894	0,573759187
250	262,00228	0,01114696	0,530807532
275	288,20251	0,01035145	0,492926192
300	314,40274	0,00964882	0,459467486
325	297,54409	0,01009096	0,480522016
350	320,4321	0,0094989	0,452328724
375	343,32011	0,00896592	0,426948399
400	366,20812	0,00848468	0,404032203
425	389,09612	0,00804877	0,383274641
450	411,98413	0,00765263	0,364410785
475	434,87214	0,00729145	0,34721201
500	457,76015	0,00696111	0,331481386
525	480,64815	0,00665803	0,317049272
550	503,53616	0,00637916	0,303769352
575	526,42417	0,00612182	0,291515155
600	549,31217	0,00588372	0,280177084
625	572,20018	0,00566286	0,269659885
650	595,08819	0,00545749	0,259880515



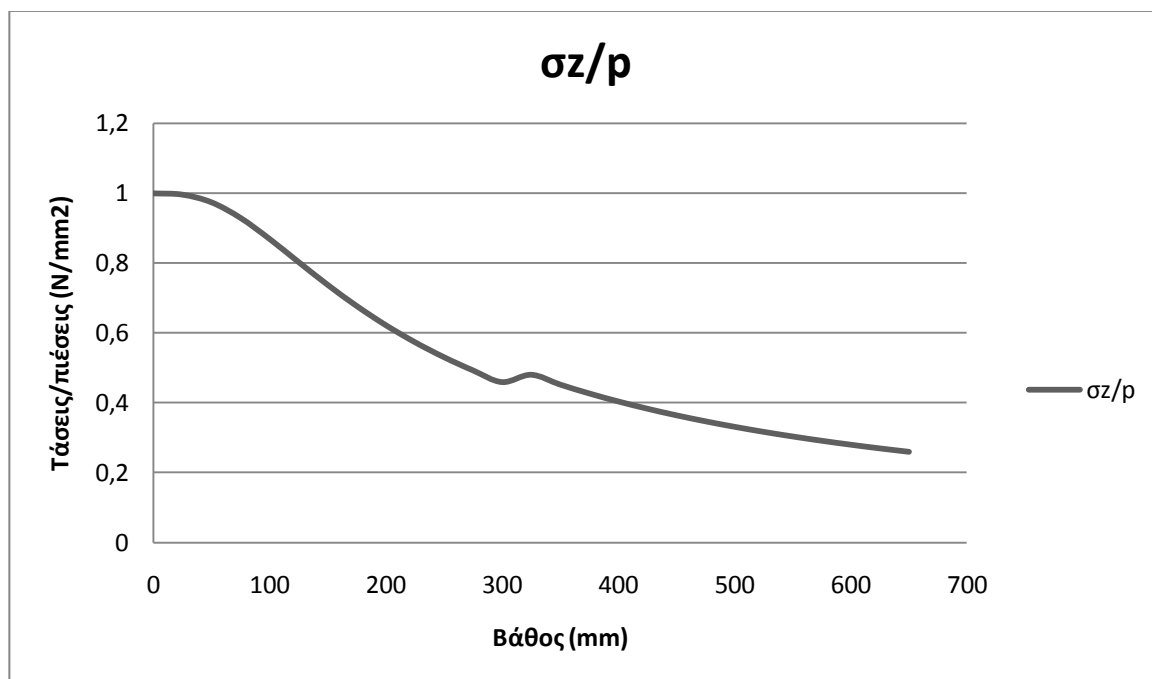
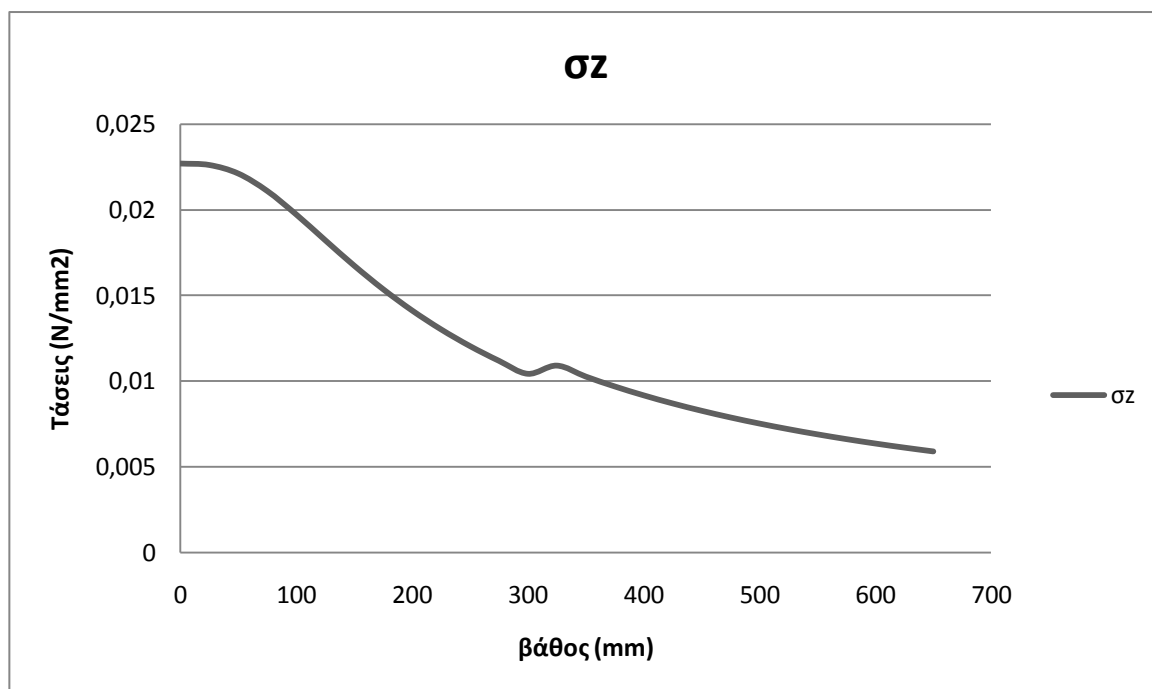
ΠΙΝΑΚΑΣ 11.5 Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων-πιέσεων για τις μετρηθείσες βυθίσεις 4ος συρμός-IC			
	π	bs	$p(N/mm^2)$
	3,141593	250	0,0184
z	z'	σz	$\sigma z/p$
0	0	0,0184	1
25	26,200228	0,01833171	0,996288476
50	52,400456	0,01792672	0,974278018
75	78,600684	0,01710325	0,929524454
100	104,80091	0,01599407	0,869243206
125	131,00114	0,01477592	0,803039344
150	157,20137	0,01357546	0,737796773
175	183,4016	0,01245911	0,677125651
200	209,60182	0,01145208	0,622395688
225	235,80205	0,01055717	0,573759187
250	262,00228	0,00976686	0,530807532
275	288,20251	0,00906984	0,492926192
300	314,40274	0,0084542	0,459467486
325	297,54409	0,00884161	0,480522016
350	320,4321	0,00832285	0,452328724
375	343,32011	0,00785585	0,426948399
400	366,20812	0,00743419	0,404032203
425	389,09612	0,00705225	0,383274641
450	411,98413	0,00670516	0,364410785
475	434,87214	0,0063887	0,34721201
500	457,76015	0,00609926	0,331481386
525	480,64815	0,00583371	0,317049272
550	503,53616	0,00558936	0,303769352
575	526,42417	0,00536388	0,291515155
600	549,31217	0,00515526	0,280177084
625	572,20018	0,00496174	0,269659885
650	595,08819	0,0047818	0,259880515



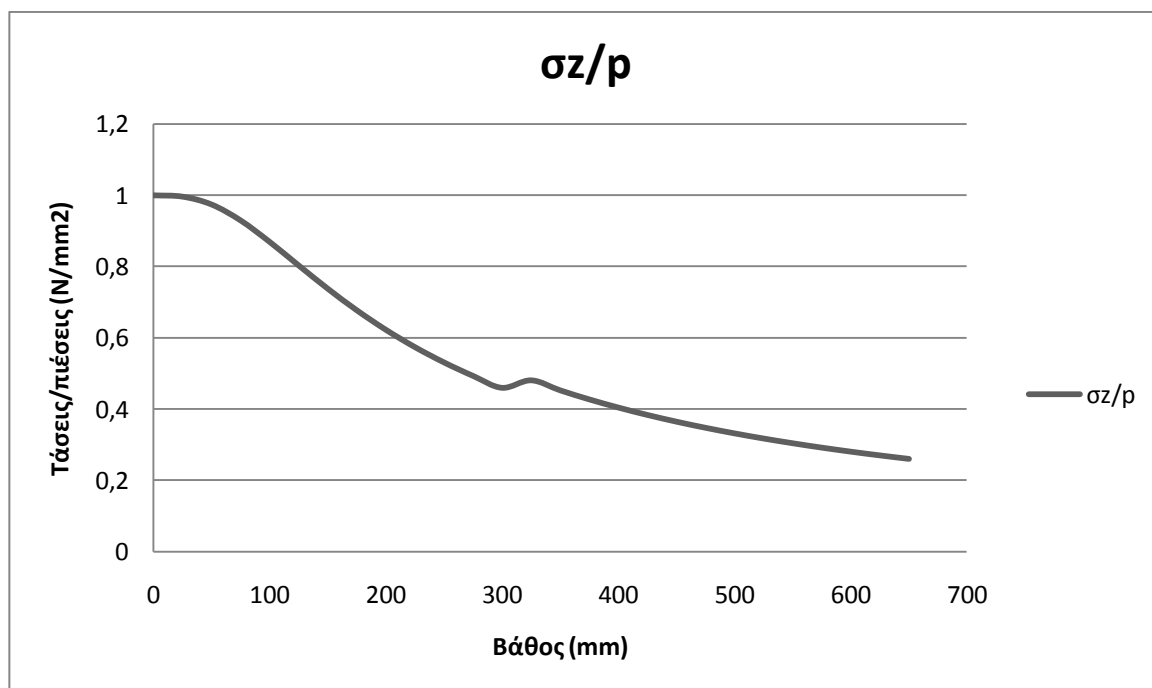
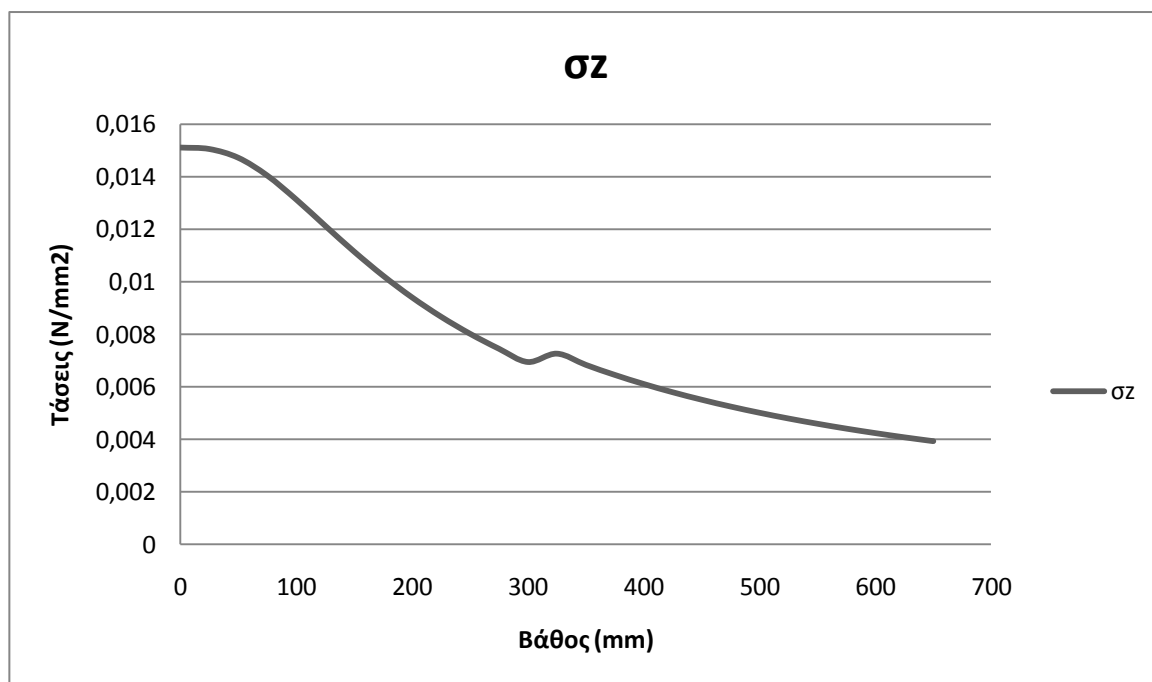
ΠΙΝΑΚΑΣ 11.6 Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων-πιέσεων για τις μετρηθείσες βυθίσεις 5ος συρμός-GTW			
	π	bs	$p(N/mm^2)$
	3,141593	250	0,0189
z	z'	σ_z	σ_z/p
0	0	0,0189	1
25	26,200228	0,01882985	0,996288476
50	52,400456	0,01841385	0,974278018
75	78,600684	0,01756801	0,929524454
100	104,80091	0,0164287	0,869243206
125	131,00114	0,01517744	0,803039344
150	157,20137	0,01394436	0,737796773
175	183,4016	0,01279767	0,677125651
200	209,60182	0,01176328	0,622395688
225	235,80205	0,01084405	0,573759187
250	262,00228	0,01003226	0,530807532
275	288,20251	0,00931631	0,492926192
300	314,40274	0,00868394	0,459467486
325	297,54409	0,00908187	0,480522016
350	320,4321	0,00854901	0,452328724
375	343,32011	0,00806932	0,426948399
400	366,20812	0,00763621	0,404032203
425	389,09612	0,00724389	0,383274641
450	411,98413	0,00688736	0,364410785
475	434,87214	0,00656231	0,34721201
500	457,76015	0,006265	0,331481386
525	480,64815	0,00599223	0,317049272
550	503,53616	0,00574124	0,303769352
575	526,42417	0,00550964	0,291515155
600	549,31217	0,00529535	0,280177084
625	572,20018	0,00509657	0,269659885
650	595,08819	0,00491174	0,259880515



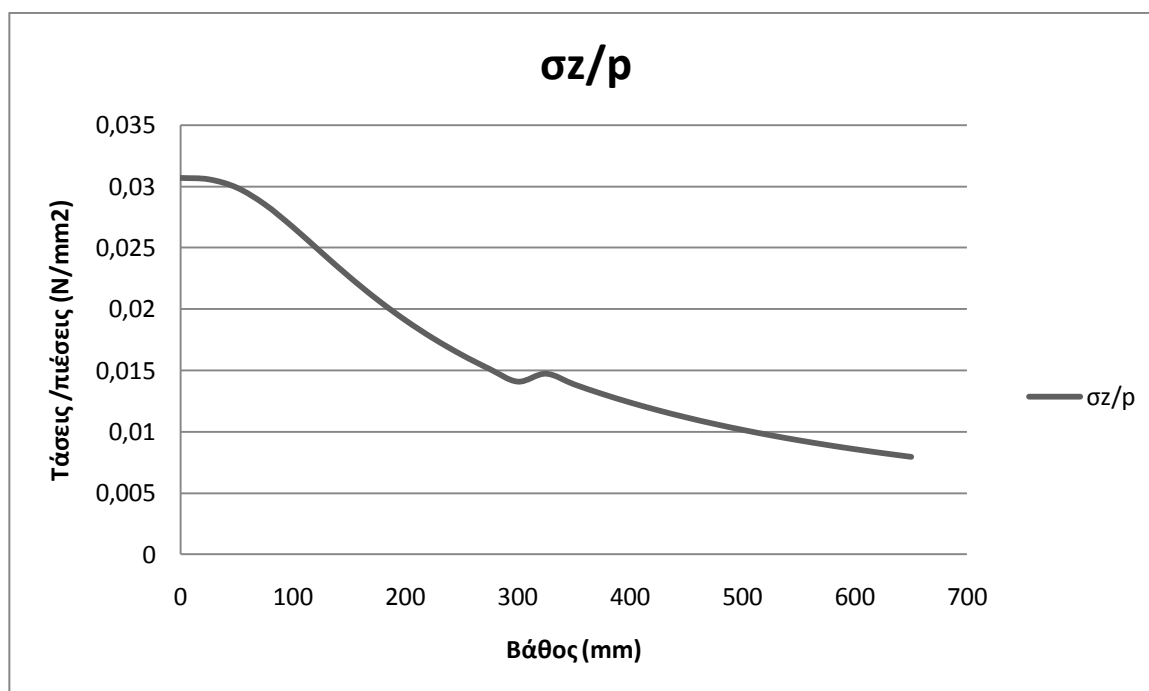
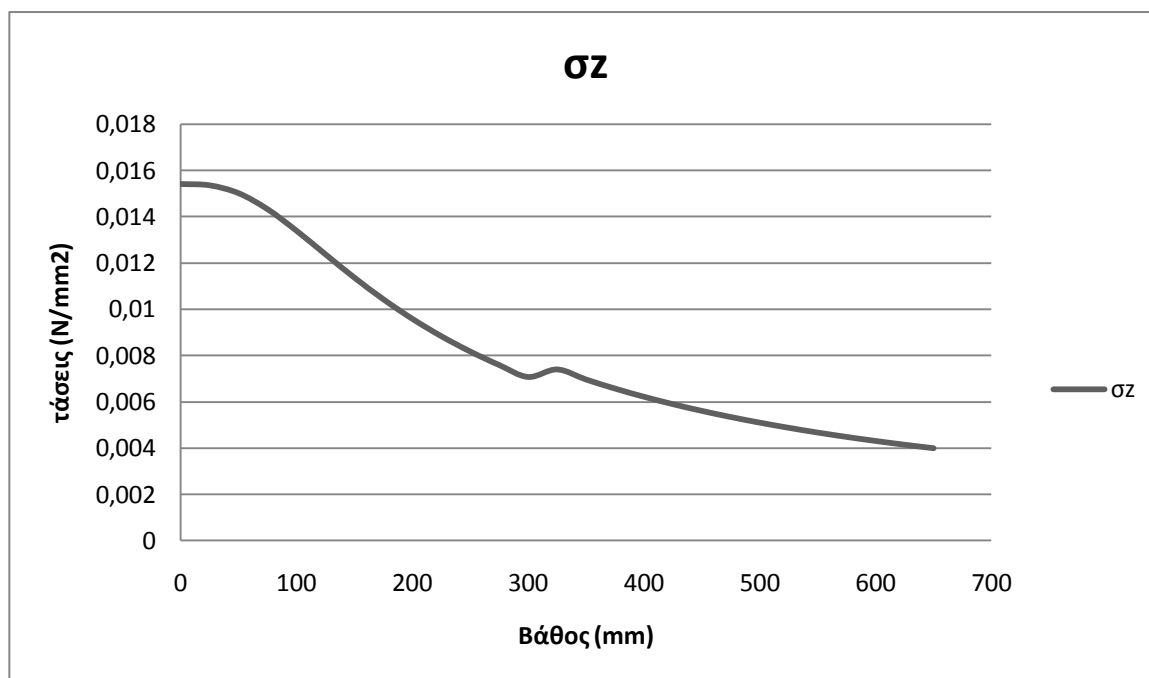
ΠΙΝΑΚΑΣ 11.7 Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων-πιέσεων για τις μετρηθείσες βυθίσεις 6ος συρμός-Adtranz			
	π	bs	$p(N/mm^2)$
	3,141593	250	0,0227
z	z'	σ_z	σ_z/p
0	0	0,0227	1
25	26,200228	0,02261575	0,996288476
50	52,400456	0,02211611	0,974278018
75	78,600684	0,02110021	0,929524454
100	104,80091	0,01973182	0,869243206
125	131,00114	0,01822899	0,803039344
150	157,20137	0,01674799	0,737796773
175	183,4016	0,01537075	0,677125651
200	209,60182	0,01412838	0,622395688
225	235,80205	0,01302433	0,573759187
250	262,00228	0,01204933	0,530807532
275	288,20251	0,01118942	0,492926192
300	314,40274	0,01042991	0,459467486
325	297,54409	0,01090785	0,480522016
350	320,4321	0,01026786	0,452328724
375	343,32011	0,00969173	0,426948399
400	366,20812	0,00917153	0,404032203
425	389,09612	0,00870033	0,383274641
450	411,98413	0,00827212	0,364410785
475	434,87214	0,00788171	0,34721201
500	457,76015	0,00752463	0,331481386
525	480,64815	0,00719702	0,317049272
550	503,53616	0,00689556	0,303769352
575	526,42417	0,00661739	0,291515155
600	549,31217	0,00636002	0,280177084
625	572,20018	0,00612128	0,269659885
650	595,08819	0,00589929	0,259880515



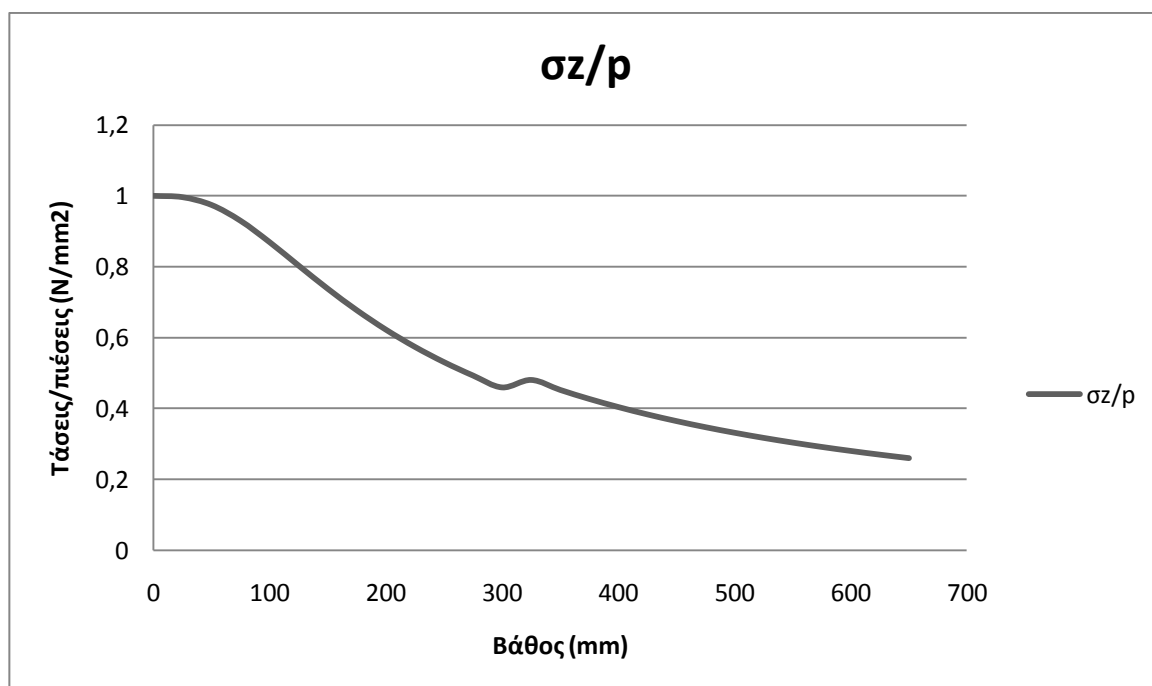
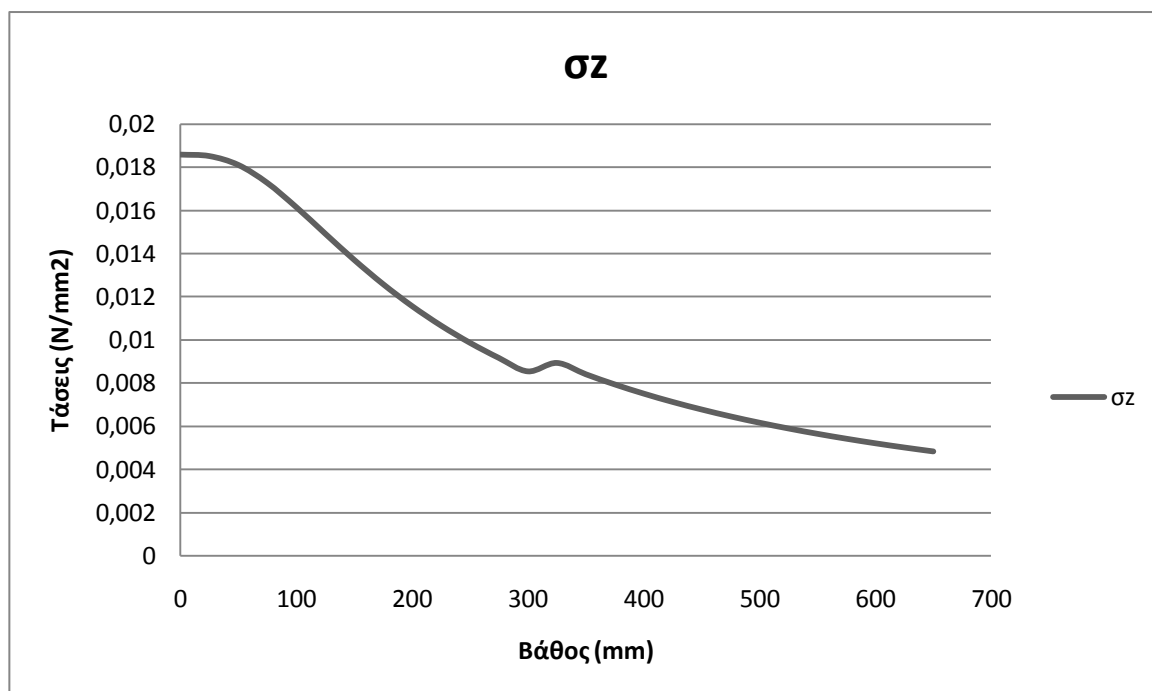
ΠΙΝΑΚΑΣ 11.8 Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων-πιέσεων για τις μετρηθείσες βυθίσεις 7ος συρμός-Ganzmanak			
	π	bs	$p(N/mm^2)$
	3,141593	250	0,0151
z	z'	σ_z	σ_z/p
0	0	0,0151	1
25	26,200228	0,01504396	0,996288476
50	52,400456	0,0147116	0,974278018
75	78,600684	0,01403582	0,929524454
100	104,80091	0,01312557	0,869243206
125	131,00114	0,01212589	0,803039344
150	157,20137	0,01114073	0,737796773
175	183,4016	0,0102246	0,677125651
200	209,60182	0,00939817	0,622395688
225	235,80205	0,00866376	0,573759187
250	262,00228	0,00801519	0,530807532
275	288,20251	0,00744319	0,492926192
300	314,40274	0,00693796	0,459467486
325	297,54409	0,00725588	0,480522016
350	320,4321	0,00683016	0,452328724
375	343,32011	0,00644692	0,426948399
400	366,20812	0,00610089	0,404032203
425	389,09612	0,00578745	0,383274641
450	411,98413	0,0055026	0,364410785
475	434,87214	0,0052429	0,34721201
500	457,76015	0,00500537	0,331481386
525	480,64815	0,00478744	0,317049272
550	503,53616	0,00458692	0,303769352
575	526,42417	0,00440188	0,291515155
600	549,31217	0,00423067	0,280177084
625	572,20018	0,00407186	0,269659885
650	595,08819	0,0039242	0,259880515



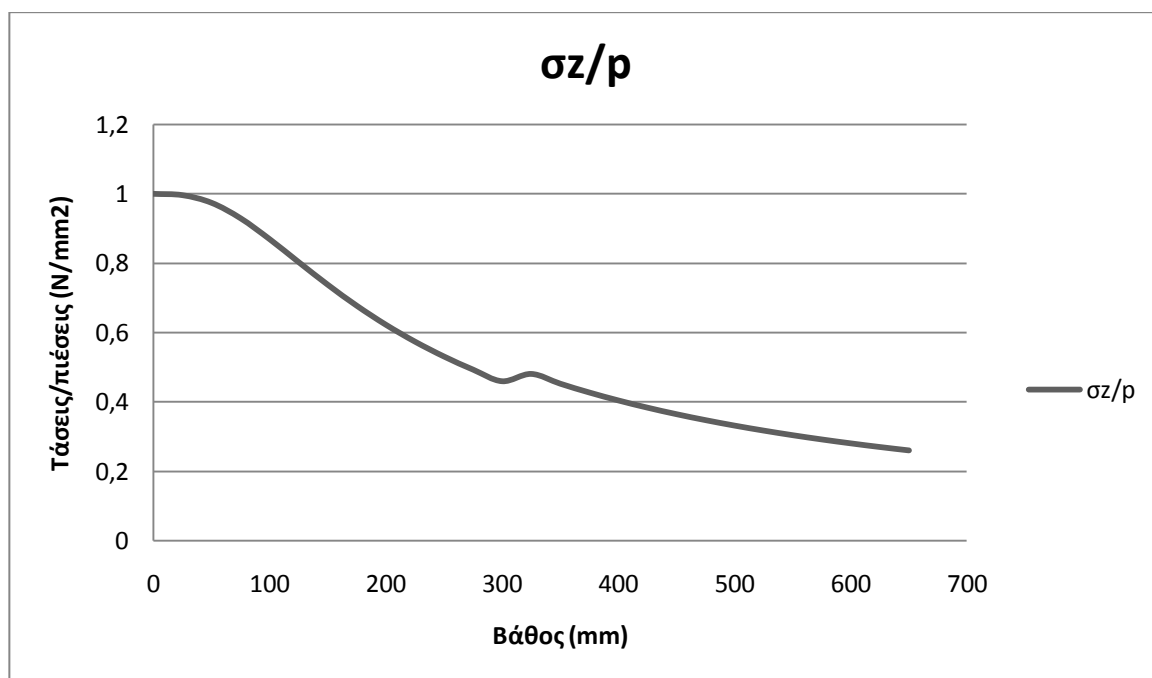
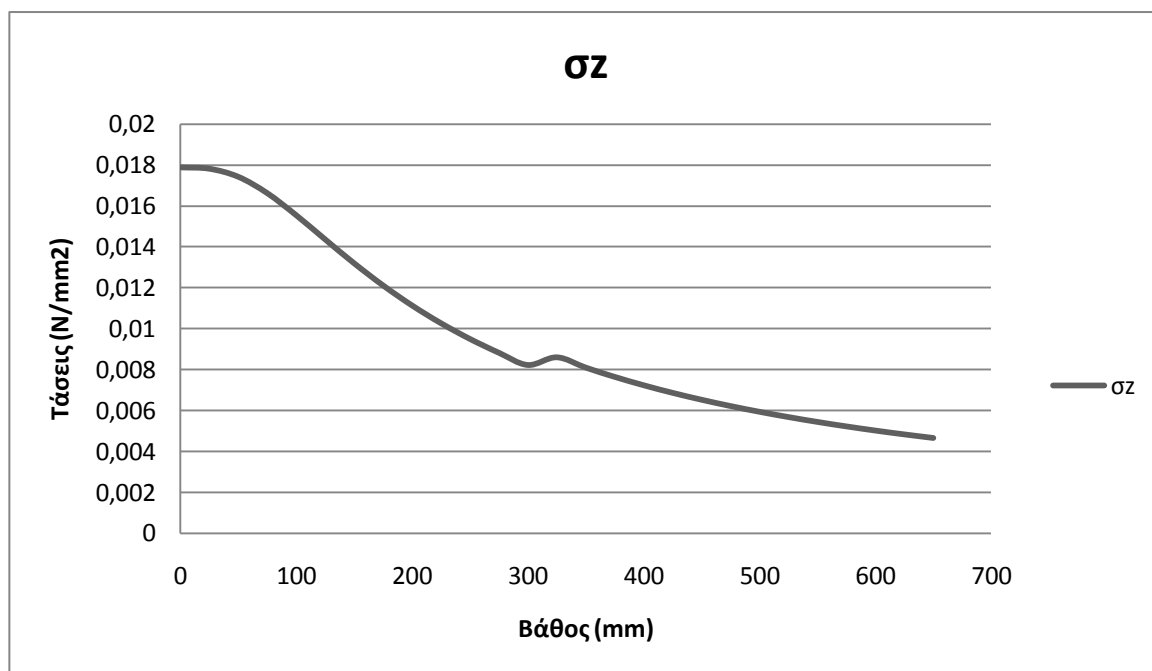
ΠΙΝΑΚΑΣ 11.9 Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων-πιέσεων για τις μετρηθείσες βυθίσεις 8ος συρμός-Ganzmanak			
	π	bs	$p(N/mm^2)$
	3,141593	250	0,0154
z	z'	σ_z	σ_z/p
0	0	0,0154	0,030705427
25	26,200228	0,01534284	0,030591463
50	52,400456	0,01500388	0,029915623
75	78,600684	0,01431468	0,028541446
100	104,80091	0,01338635	0,026690484
125	131,00114	0,01236681	0,024657666
150	157,20137	0,01136207	0,022654365
175	183,4016	0,01042774	0,020791432
200	209,60182	0,00958489	0,019110926
225	235,80205	0,00883589	0,017617521
250	262,00228	0,00817444	0,016298672
275	288,20251	0,00759106	0,015135509
300	314,40274	0,0070758	0,014108145
325	297,54409	0,00740004	0,014754634
350	320,4321	0,00696586	0,013888947
375	343,32011	0,00657501	0,013109633
400	366,20812	0,0062221	0,012405981
425	389,09612	0,00590243	0,011768612
450	411,98413	0,00561193	0,011189389
475	434,87214	0,00534706	0,010661293
500	457,76015	0,00510481	0,010178278
525	480,64815	0,00488256	0,009735133
550	503,53616	0,00467805	0,009327368
575	526,42417	0,00448933	0,008951097
600	549,31217	0,00431473	0,008602957
625	572,20018	0,00415276	0,008280022
650	595,08819	0,00400216	0,007979742



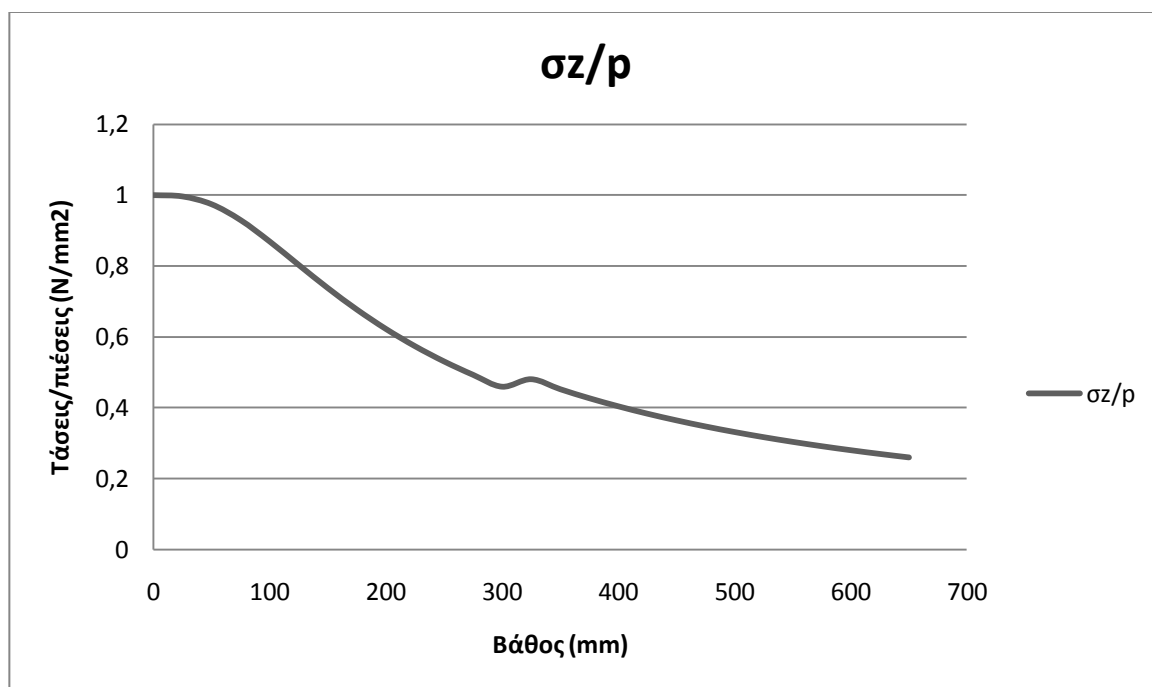
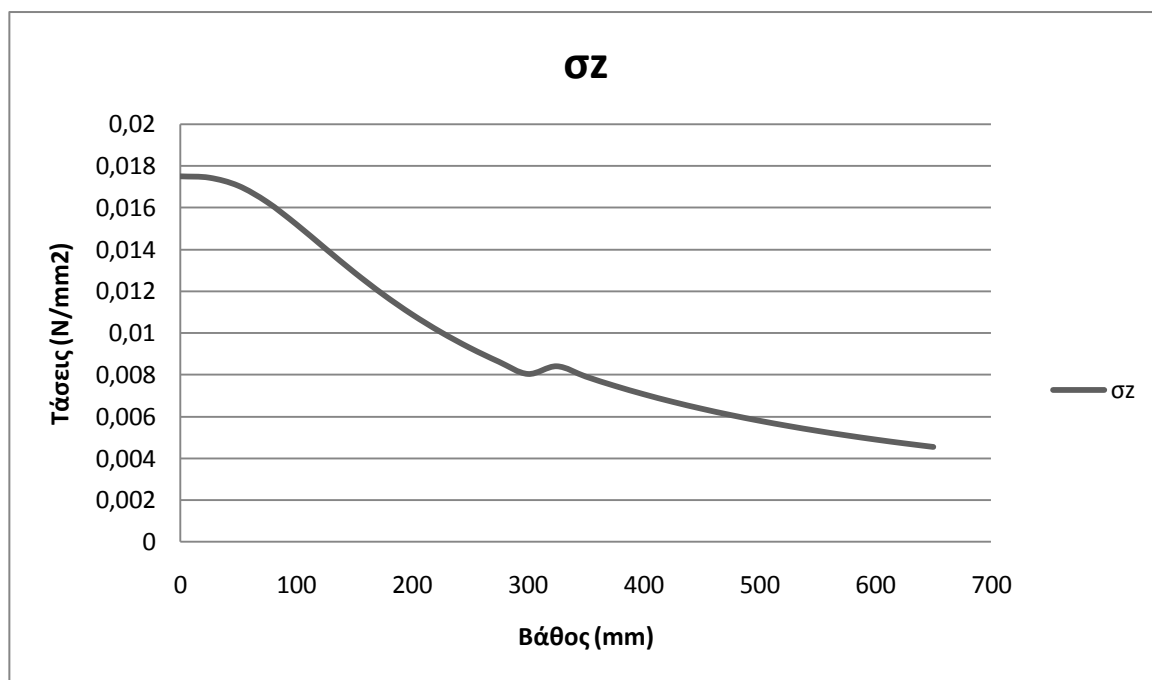
ΠΙΝΑΚΑΣ 11.10 Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων-πιέσεων για τις μετρηθείσες βυθίσεις 9ος συρμός-IC			
	π	bs	$p(N/mm^2)$
	3,141593	250	0,0186
z	z'	σz	$\sigma z/p$
0	0	0,0186	1
25	26,200228	0,01853097	0,996288476
50	52,400456	0,01812157	0,974278018
75	78,600684	0,01728915	0,929524454
100	104,80091	0,01616792	0,869243206
125	131,00114	0,01493653	0,803039344
150	157,20137	0,01372302	0,737796773
175	183,4016	0,01259454	0,677125651
200	209,60182	0,01157656	0,622395688
225	235,80205	0,01067192	0,573759187
250	262,00228	0,00987302	0,530807532
275	288,20251	0,00916843	0,492926192
300	314,40274	0,0085461	0,459467486
325	297,54409	0,00893771	0,480522016
350	320,4321	0,00841331	0,452328724
375	343,32011	0,00794124	0,426948399
400	366,20812	0,007515	0,404032203
425	389,09612	0,00712891	0,383274641
450	411,98413	0,00677804	0,364410785
475	434,87214	0,00645814	0,34721201
500	457,76015	0,00616555	0,331481386
525	480,64815	0,00589712	0,317049272
550	503,53616	0,00565011	0,303769352
575	526,42417	0,00542218	0,291515155
600	549,31217	0,00521129	0,280177084
625	572,20018	0,00501567	0,269659885
650	595,08819	0,00483378	0,259880515



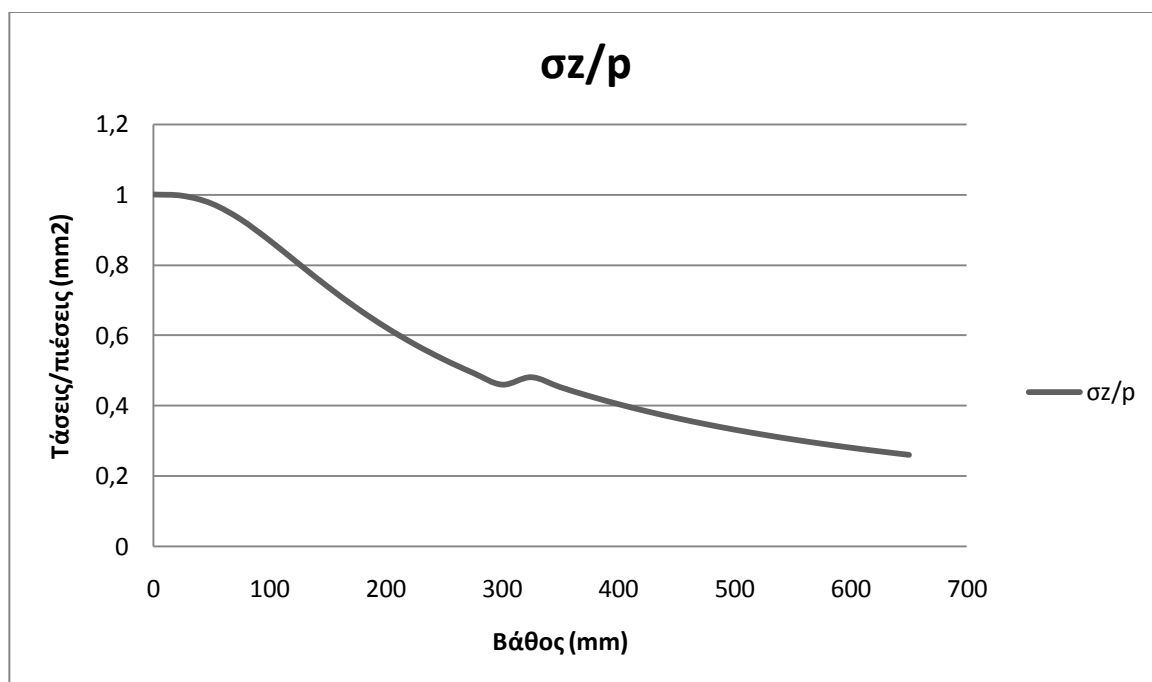
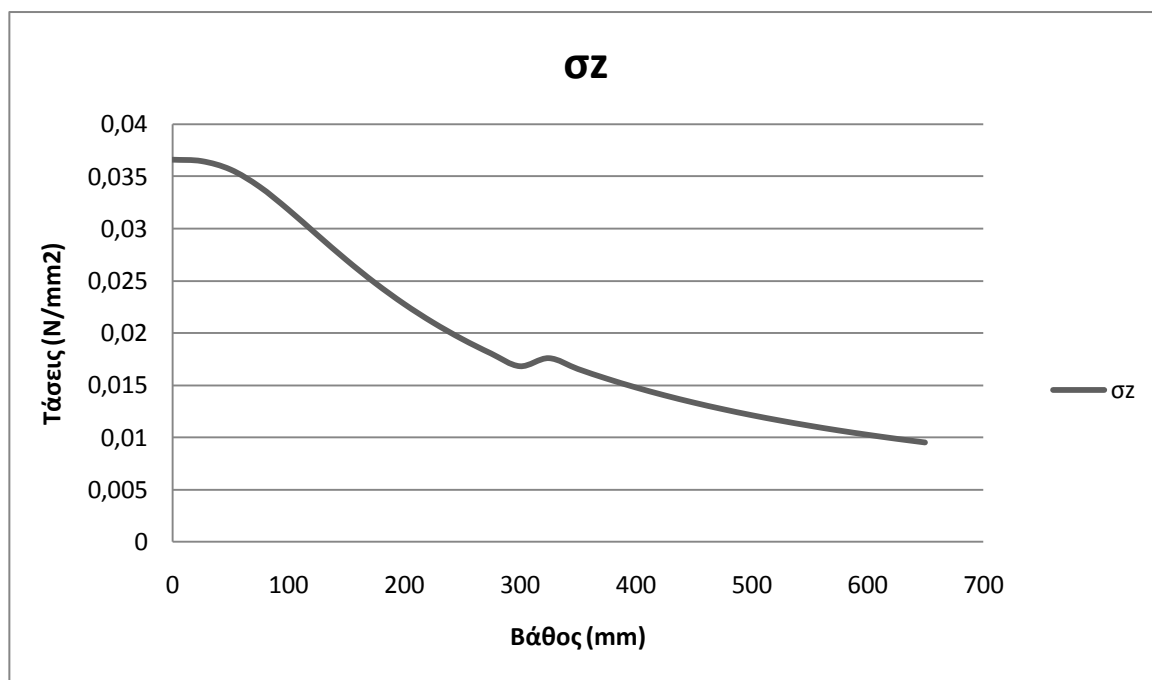
ΠΙΝΑΚΑΣ 11.11 Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων-πιέσεων για τις μετρηθείσες βυθίσεις 10ος συρμός-Man			
	π	bs	$p(N/mm^2)$
	3,141593	250	0,0179
z	z'	σ_z	σ_z/p
0	0	0,0179	1
25	26,200228	0,01783356	0,996288476
50	52,400456	0,01743958	0,974278018
75	78,600684	0,01663849	0,929524454
100	104,80091	0,01555945	0,869243206
125	131,00114	0,0143744	0,803039344
150	157,20137	0,01320656	0,737796773
175	183,4016	0,01212055	0,677125651
200	209,60182	0,01114088	0,622395688
225	235,80205	0,01027029	0,573759187
250	262,00228	0,00950145	0,530807532
275	288,20251	0,00882338	0,492926192
300	314,40274	0,00822447	0,459467486
325	297,54409	0,00860134	0,480522016
350	320,4321	0,00809668	0,452328724
375	343,32011	0,00764238	0,426948399
400	366,20812	0,00723218	0,404032203
425	389,09612	0,00686062	0,383274641
450	411,98413	0,00652295	0,364410785
475	434,87214	0,00621509	0,34721201
500	457,76015	0,00593352	0,331481386
525	480,64815	0,00567518	0,317049272
550	503,53616	0,00543747	0,303769352
575	526,42417	0,00521812	0,291515155
600	549,31217	0,00501517	0,280177084
625	572,20018	0,00482691	0,269659885
650	595,08819	0,00465186	0,259880515



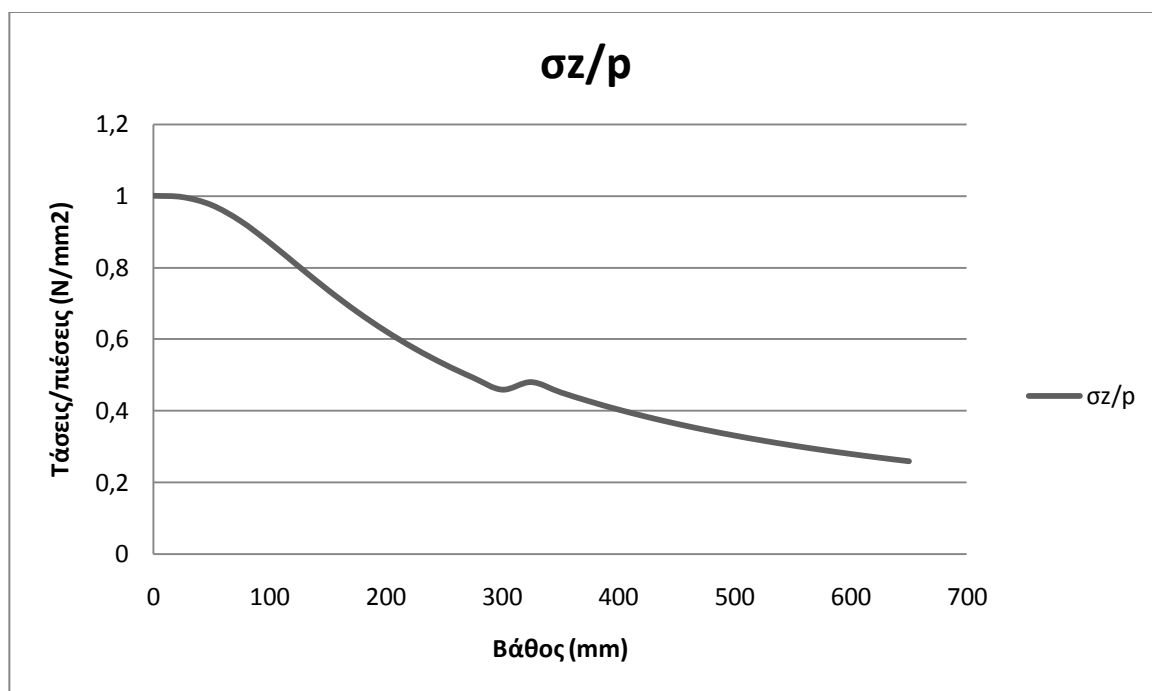
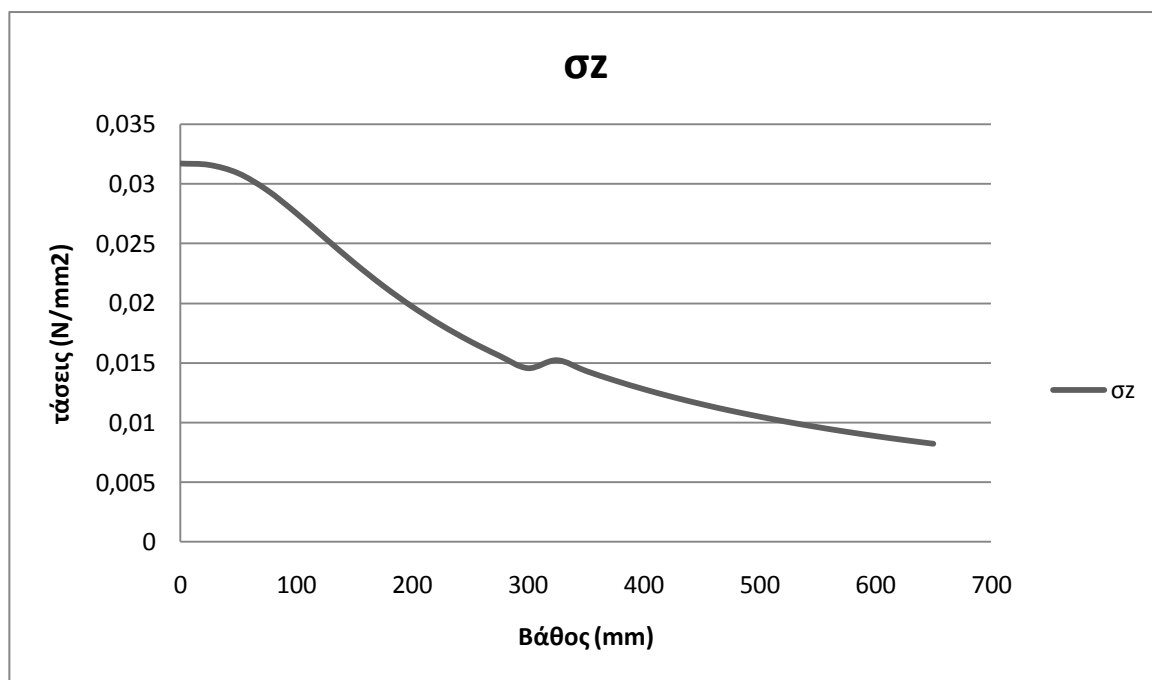
ΠΙΝΑΚΑΣ 11.12 Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων-πιέσεων για τις μετρηθείσες βυθίσεις 11ος συρμός-Man			
	π	bs	$p(N/mm^2)$
	3,141593	250	0,0175
z	z'	σ_z	σ_z/p
0	0	0,0175	1
25	26,200228	0,01743505	0,996288476
50	52,400456	0,01704987	0,974278018
75	78,600684	0,01626668	0,929524454
100	104,80091	0,01521176	0,869243206
125	131,00114	0,01405319	0,803039344
150	157,20137	0,01291144	0,737796773
175	183,4016	0,0118497	0,677125651
200	209,60182	0,01089192	0,622395688
225	235,80205	0,01004079	0,573759187
250	262,00228	0,00928913	0,530807532
275	288,20251	0,00862621	0,492926192
300	314,40274	0,00804068	0,459467486
325	297,54409	0,00840914	0,480522016
350	320,4321	0,00791575	0,452328724
375	343,32011	0,0074716	0,426948399
400	366,20812	0,00707056	0,404032203
425	389,09612	0,00670731	0,383274641
450	411,98413	0,00637719	0,364410785
475	434,87214	0,00607621	0,34721201
500	457,76015	0,00580092	0,331481386
525	480,64815	0,00554836	0,317049272
550	503,53616	0,00531596	0,303769352
575	526,42417	0,00510152	0,291515155
600	549,31217	0,0049031	0,280177084
625	572,20018	0,00471905	0,269659885
650	595,08819	0,00454791	0,259880515



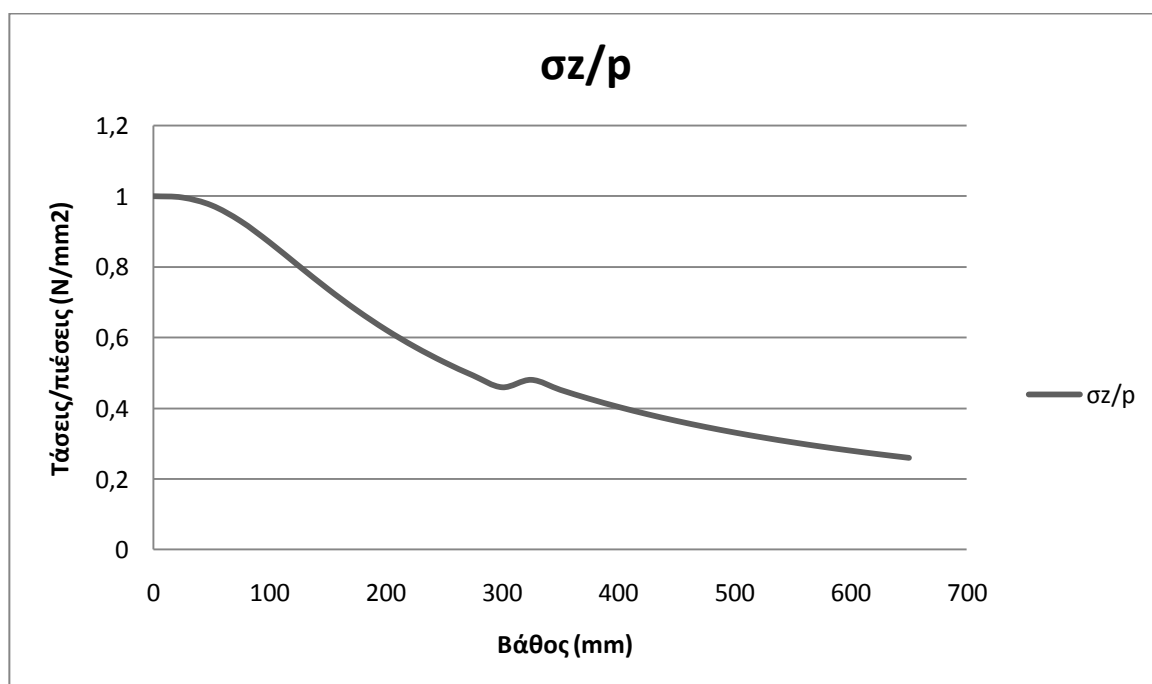
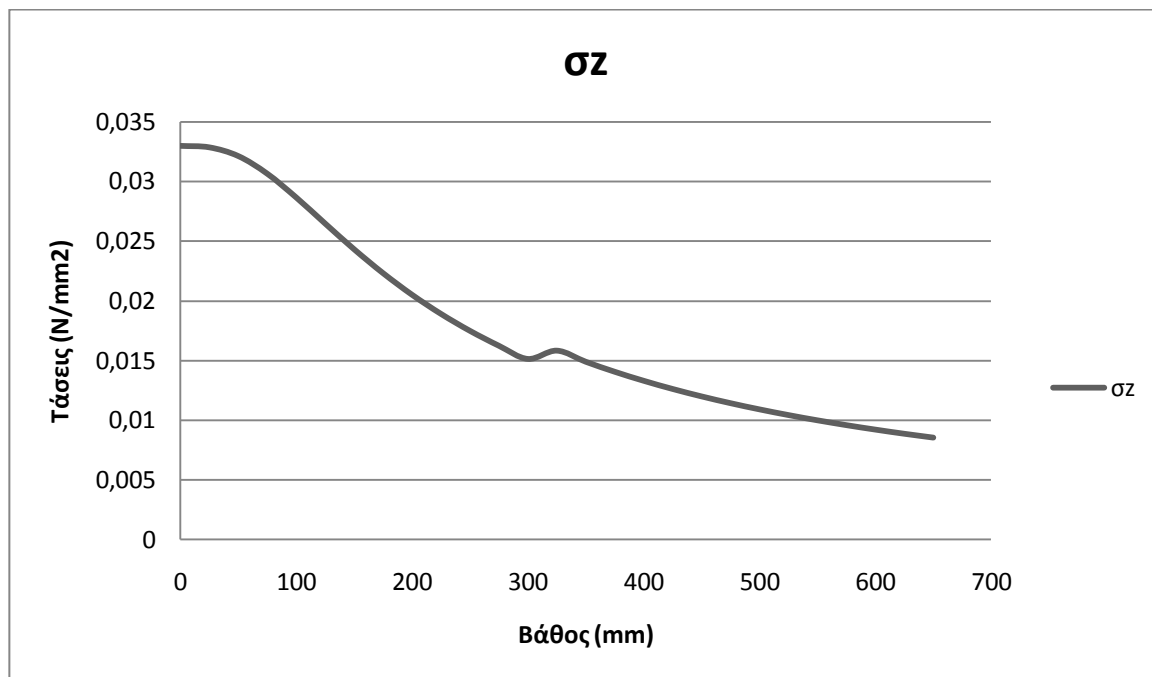
ΠΙΝΑΚΑΣ 11.13 Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων-πιέσεων για τις αναμενόμενες βυθίσεις			
Συρμοί 1-3-6			
	π	bs	$p(N/mm^2)$
	3,141593	250	0,0366
z	z'	σ_z	σ_z/p
0	0	0,0366	1
25	26,200228	0,03646416	0,996288476
50	52,400456	0,03565858	0,974278018
75	78,600684	0,0340206	0,929524454
100	104,80091	0,0318143	0,869243206
125	131,00114	0,02939124	0,803039344
150	157,20137	0,02700336	0,737796773
175	183,4016	0,0247828	0,677125651
200	209,60182	0,02277968	0,622395688
225	235,80205	0,02099959	0,573759187
250	262,00228	0,01942756	0,530807532
275	288,20251	0,0180411	0,492926192
300	314,40274	0,01681651	0,459467486
325	297,54409	0,01758711	0,480522016
350	320,4321	0,01655523	0,452328724
375	343,32011	0,01562631	0,426948399
400	366,20812	0,01478758	0,404032203
425	389,09612	0,01402785	0,383274641
450	411,98413	0,01333743	0,364410785
475	434,87214	0,01270796	0,34721201
500	457,76015	0,01213222	0,331481386
525	480,64815	0,011604	0,317049272
550	503,53616	0,01111796	0,303769352
575	526,42417	0,01066945	0,291515155
600	549,31217	0,01025448	0,280177084
625	572,20018	0,00986955	0,269659885
650	595,08819	0,00951163	0,259880515



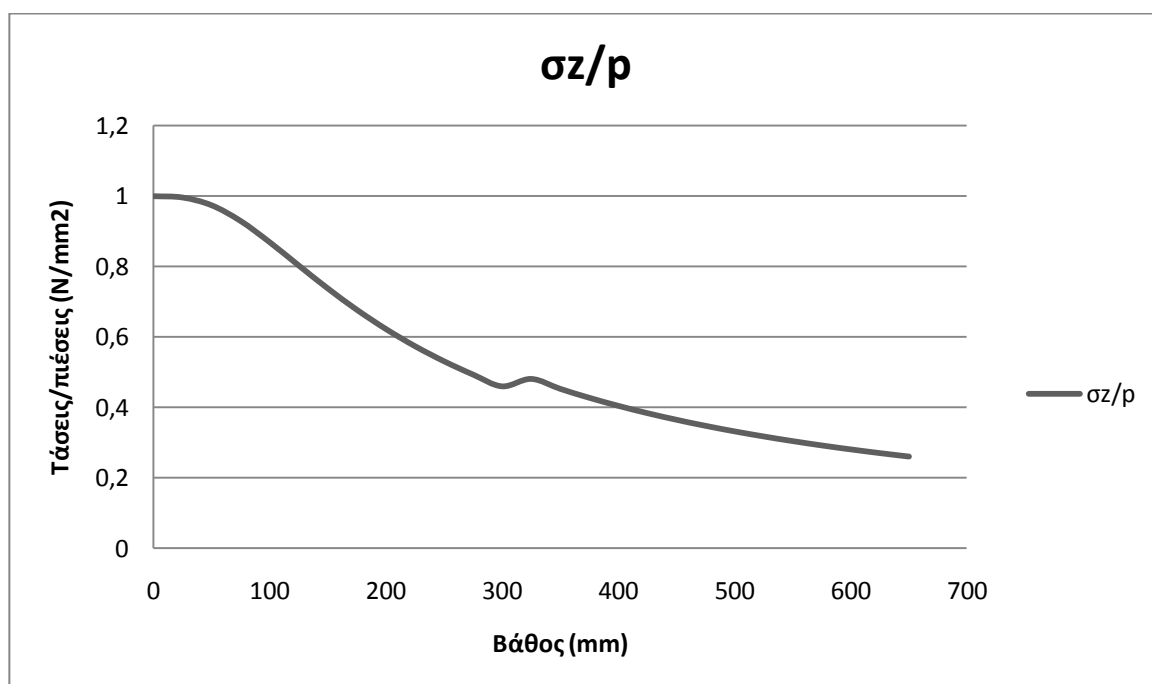
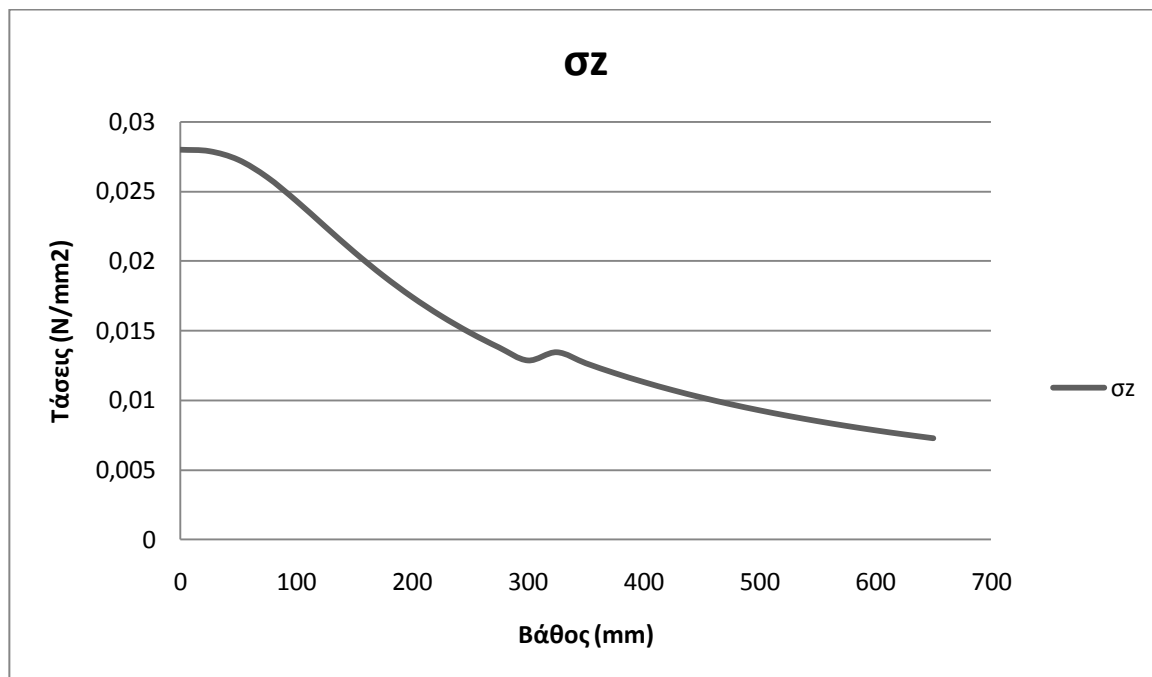
ΠΙΝΑΚΑΣ 11.14 Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων-πιέσεων για τις αναμενόμενες βυθίσεις			
Συρμοί 2-5			
	π	bs	$p(N/mm^2)$
	3,141593	250	0,0317
z	z'	σ_z	σ_z/p
0	0	0,0317	1
25	26,200228	0,03158234	0,996288476
50	52,400456	0,03088461	0,974278018
75	78,600684	0,02946593	0,929524454
100	104,80091	0,02755501	0,869243206
125	131,00114	0,02545635	0,803039344
150	157,20137	0,02338816	0,737796773
175	183,4016	0,02146488	0,677125651
200	209,60182	0,01972994	0,622395688
225	235,80205	0,01818817	0,573759187
250	262,00228	0,0168266	0,530807532
275	288,20251	0,01562576	0,492926192
300	314,40274	0,01456512	0,459467486
325	297,54409	0,01523255	0,480522016
350	320,4321	0,01433882	0,452328724
375	343,32011	0,01353426	0,426948399
400	366,20812	0,01280782	0,404032203
425	389,09612	0,01214981	0,383274641
450	411,98413	0,01155182	0,364410785
475	434,87214	0,01100662	0,34721201
500	457,76015	0,01050796	0,331481386
525	480,64815	0,01005046	0,317049272
550	503,53616	0,00962949	0,303769352
575	526,42417	0,00924103	0,291515155
600	549,31217	0,00888161	0,280177084
625	572,20018	0,00854822	0,269659885
650	595,08819	0,00823821	0,259880515



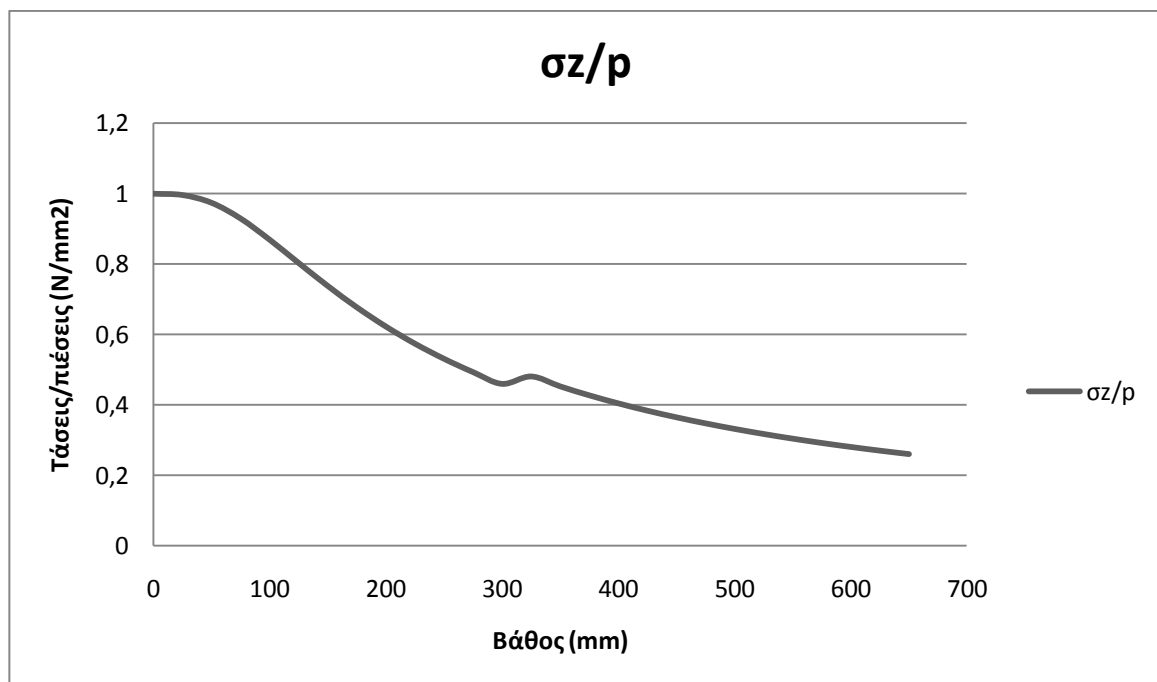
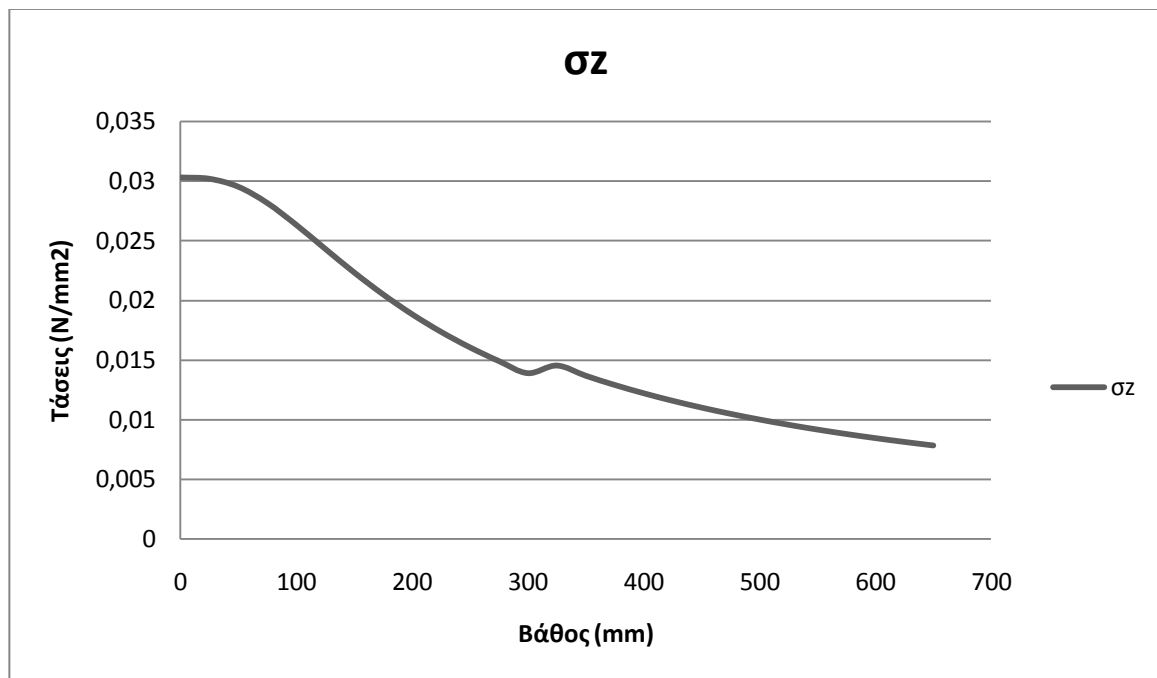
ΠΙΝΑΚΑΣ 11.15 Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων-πιέσεων για τις αναμενόμενες βυθίσεις			
Συρμοί 4-9			
	π	bs	$p(N/mm^2)$
	3,141593	250	0,033
z	z'	σ_z	σ_z/p
0	0	0,033	1
25	26,200228	0,03287752	0,996288476
50	52,400456	0,03215117	0,974278018
75	78,600684	0,03067431	0,929524454
100	104,80091	0,02868503	0,869243206
125	131,00114	0,0265003	0,803039344
150	157,20137	0,02434729	0,737796773
175	183,4016	0,02234515	0,677125651
200	209,60182	0,02053906	0,622395688
225	235,80205	0,01893405	0,573759187
250	262,00228	0,01751665	0,530807532
275	288,20251	0,01626656	0,492926192
300	314,40274	0,01516243	0,459467486
325	297,54409	0,01585723	0,480522016
350	320,4321	0,01492685	0,452328724
375	343,32011	0,0140893	0,426948399
400	366,20812	0,01333306	0,404032203
425	389,09612	0,01264806	0,383274641
450	411,98413	0,01202556	0,364410785
475	434,87214	0,011458	0,34721201
500	457,76015	0,01093889	0,331481386
525	480,64815	0,01046263	0,317049272
550	503,53616	0,01002439	0,303769352
575	526,42417	0,00962	0,291515155
600	549,31217	0,00924584	0,280177084
625	572,20018	0,00889878	0,269659885
650	595,08819	0,00857606	0,259880515



ΠΙΝΑΚΑΣ 11.16 Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων-πιεσών για τις αναμενόμενες βυθίσεις			
Συρμοί 7-8			
	π	bs	$p(N/mm^2)$
	3,141593	250	0,028
z	z'	σz	$\sigma z/p$
0	0	0,028	1
25	26,200228	0,02789608	0,996288476
50	52,400456	0,02727978	0,974278018
75	78,600684	0,02602668	0,929524454
100	104,80091	0,02433881	0,869243206
125	131,00114	0,0224851	0,803039344
150	157,20137	0,02065831	0,737796773
175	183,4016	0,01895952	0,677125651
200	209,60182	0,01742708	0,622395688
225	235,80205	0,01606526	0,573759187
250	262,00228	0,01486261	0,530807532
275	288,20251	0,01380193	0,492926192
300	314,40274	0,01286509	0,459467486
325	297,54409	0,01345462	0,480522016
350	320,4321	0,0126652	0,452328724
375	343,32011	0,01195456	0,426948399
400	366,20812	0,0113129	0,404032203
425	389,09612	0,01073169	0,383274641
450	411,98413	0,0102035	0,364410785
475	434,87214	0,00972194	0,34721201
500	457,76015	0,00928148	0,331481386
525	480,64815	0,00887738	0,317049272
550	503,53616	0,00850554	0,303769352
575	526,42417	0,00816242	0,291515155
600	549,31217	0,00784496	0,280177084
625	572,20018	0,00755048	0,269659885
650	595,08819	0,00727665	0,259880515



ΠΙΝΑΚΑΣ 11.17 Υπολογισμός τάσεων και λόγου τάσεων-πιέσεων για τις αναμενόμενες βυθίσεις			
Συρμοί 10-11			
	π	b_s	$p(N/mm^2)$
	3,141593	250	0,0303
z	z'	σ_z	σ_z/p
0	0	0,0303	1
25	26,200228	0,03018754	0,996288476
50	52,400456	0,02952062	0,974278018
75	78,600684	0,02816459	0,929524454
100	104,80091	0,02633807	0,869243206
125	131,00114	0,02433209	0,803039344
150	157,20137	0,02235524	0,737796773
175	183,4016	0,02051691	0,677125651
200	209,60182	0,01885859	0,622395688
225	235,80205	0,0173849	0,573759187
250	262,00228	0,01608347	0,530807532
275	288,20251	0,01493566	0,492926192
300	314,40274	0,01392186	0,459467486
325	297,54409	0,01455982	0,480522016
350	320,4321	0,01370556	0,452328724
375	343,32011	0,01293654	0,426948399
400	366,20812	0,01224218	0,404032203
425	389,09612	0,01161322	0,383274641
450	411,98413	0,01104165	0,364410785
475	434,87214	0,01052052	0,34721201
500	457,76015	0,01004389	0,331481386
525	480,64815	0,00960659	0,317049272
550	503,53616	0,00920421	0,303769352
575	526,42417	0,00883291	0,291515155
600	549,31217	0,00848937	0,280177084
625	572,20018	0,00817069	0,269659885
650	595,08819	0,00787438	0,259880515



11.1.2 Υπολογισμός της επίδρασης των γειτονικών στρωτήρων στις τάσεις κάτω από την υπό εξέταση διατομή

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

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

όπου:

x_{in} 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 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 11.18 Υπολογισμός αριθμού επιδρώντων στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις											
Μέτρηση	L(mm)	π	χιν(mm)	1 στρωτήρας	2 στρωτήρες	3 στρωτήρες	4 στρωτήρες	5 στρωτήρες	6 στρωτήρες	7 στρωτήρες	στρωτήρες
1	1121,365	3,14159	5284,304	950	1900	2850	3800	4750	5700	6650	5
2	1268,169	3,14159	5976,099	950	1900	2850	3800	4750	5700	6650	6
3	1215,369	3,14159	5727,284	950	1900	2850	3800	4750	5700	6650	6
4	1244,155	3,14159	5862,935	950	1900	2850	3800	4750	5700	6650	6
5	1162,299	3,14159	5477,199	950	1900	2850	3800	4750	5700	6650	5
6	1123,647	3,14159	5295,055	950	1900	2850	3800	4750	5700	6650	5
7	1268,169	3,14159	5976,099	950	1900	2850	3800	4750	5700	6650	6
8	1244,155	3,14159	5862,935	950	1900	2850	3800	4750	5700	6650	6
9	1231,144	3,14159	5801,627	950	1900	2850	3800	4750	5700	6650	6
10	1173,423	3,14159	5529,619	950	1900	2850	3800	4750	5700	6650	5
11	1197,382	3,14159	5642,526	950	1900	2850	3800	4750	5700	6650	5

ΠΙΝΑΚΑΣ 11.19 Υπολογισμός αριθμού επιδρώντων στρωτήρων για τις αναμενόμενες βυθίσεις									
Μέτρηση	L(mm)	π	χιν(mm)	1 στρωτήρας	2 στρωτήρες	3 στρωτήρες	4 στρωτήρες	στρωτήρες	στρωτήρες
1	664,4317	3,141593	3131,061	950	1900	2850	3800	3	3
2	664,4317	3,141593	3131,061	950	1900	2850	3800	3	3
3	664,4317	3,141593	3131,061	950	1900	2850	3800	3	3
4	664,4317	3,141593	3131,061	950	1900	2850	3800	3	3
5	664,4317	3,141593	3131,061	950	1900	2850	3800	3	3
6	664,4317	3,141593	3131,061	950	1900	2850	3800	3	3
7	664,4317	3,141593	3131,061	950	1900	2850	3800	3	3
8	664,4317	3,141593	3131,061	950	1900	2850	3800	3	3
9	664,4317	3,141593	3131,061	950	1900	2850	3800	3	3
10	664,4317	3,141593	3131,061	950	1900	2850	3800	3	3
11	664,4317	3,141593	3131,061	950	1900	2850	3800	3	3

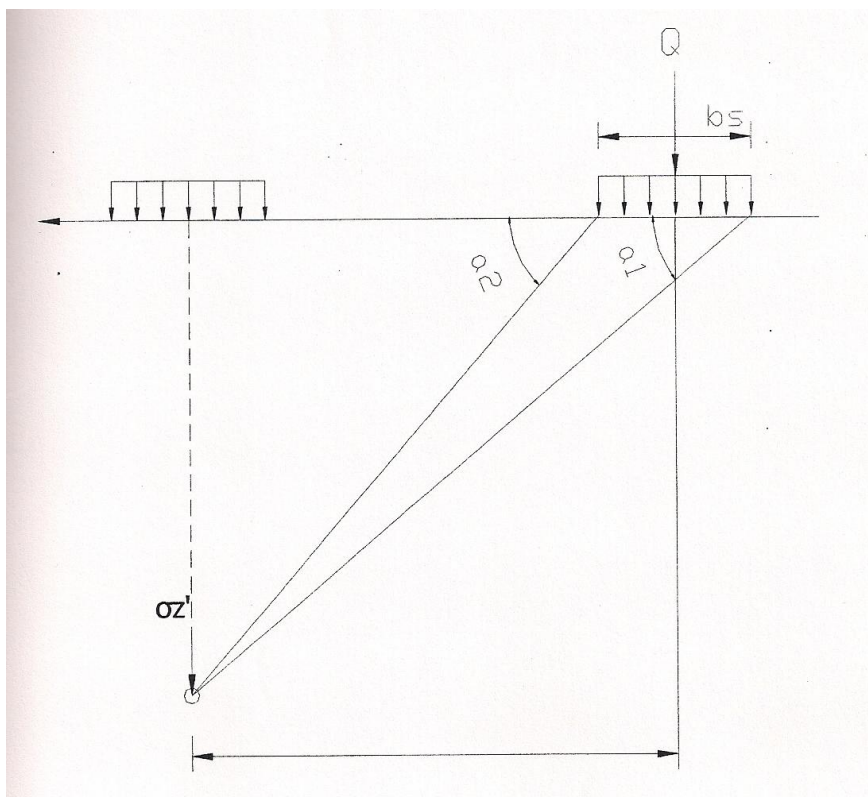
Η επίδραση του κάθε στρωτήρα στις τάσεις κάτω από τον υπό εξέταση στρωτήρα δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

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

όπου:

σ_z' οι επιπρόσθετες τάσεις σε βάθος z κάτω από τον υπό εξέταση στρωτήρα (N/mm²)

α_1, α_2 οι γωνίες όπως φαίνονται στο παρακάτω σχήμα σε (°)



$\alpha' = \alpha^0 \cdot \pi/180$ οι γωνίες σε rad

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

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

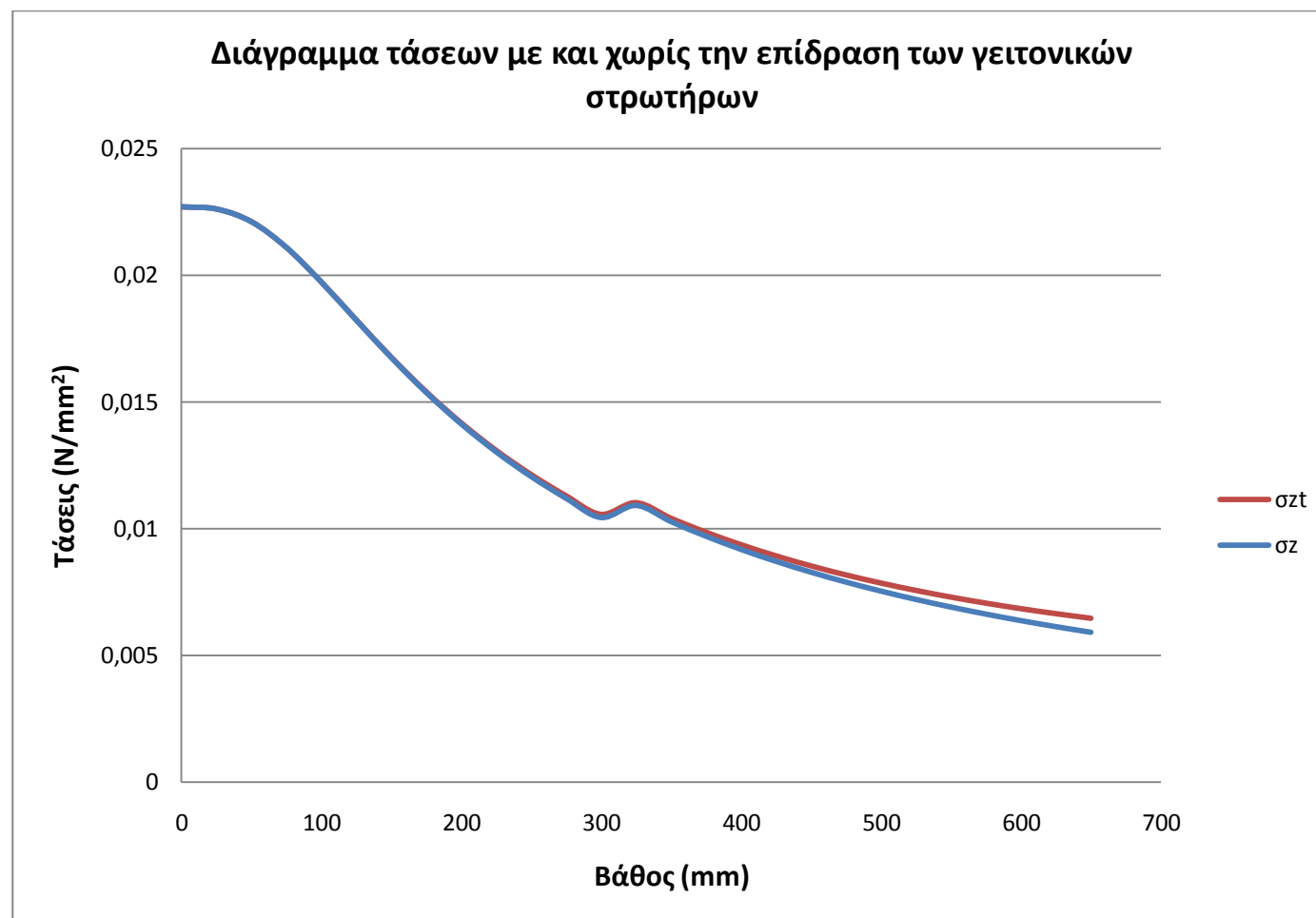
Ο συντελεστής 2 μπροστά από το άθροισμα των επιπρόσθετων τάσεων μπαίνει γιατί οι στρωτήρες που επηρεάζουν στη δυσμενέστερη περίπτωση είναι εκατέρωθεν του σημείου μέτρησης άρα οι επιπρόσθετες τάσεις είναι από τους στρωτήρες που βρίσκονται και από τις δύο πλευρές εντός του μήκους x_{in} . Τα αποτελέσματα 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 τάσεις σ_z για πραγματικά βάθη.

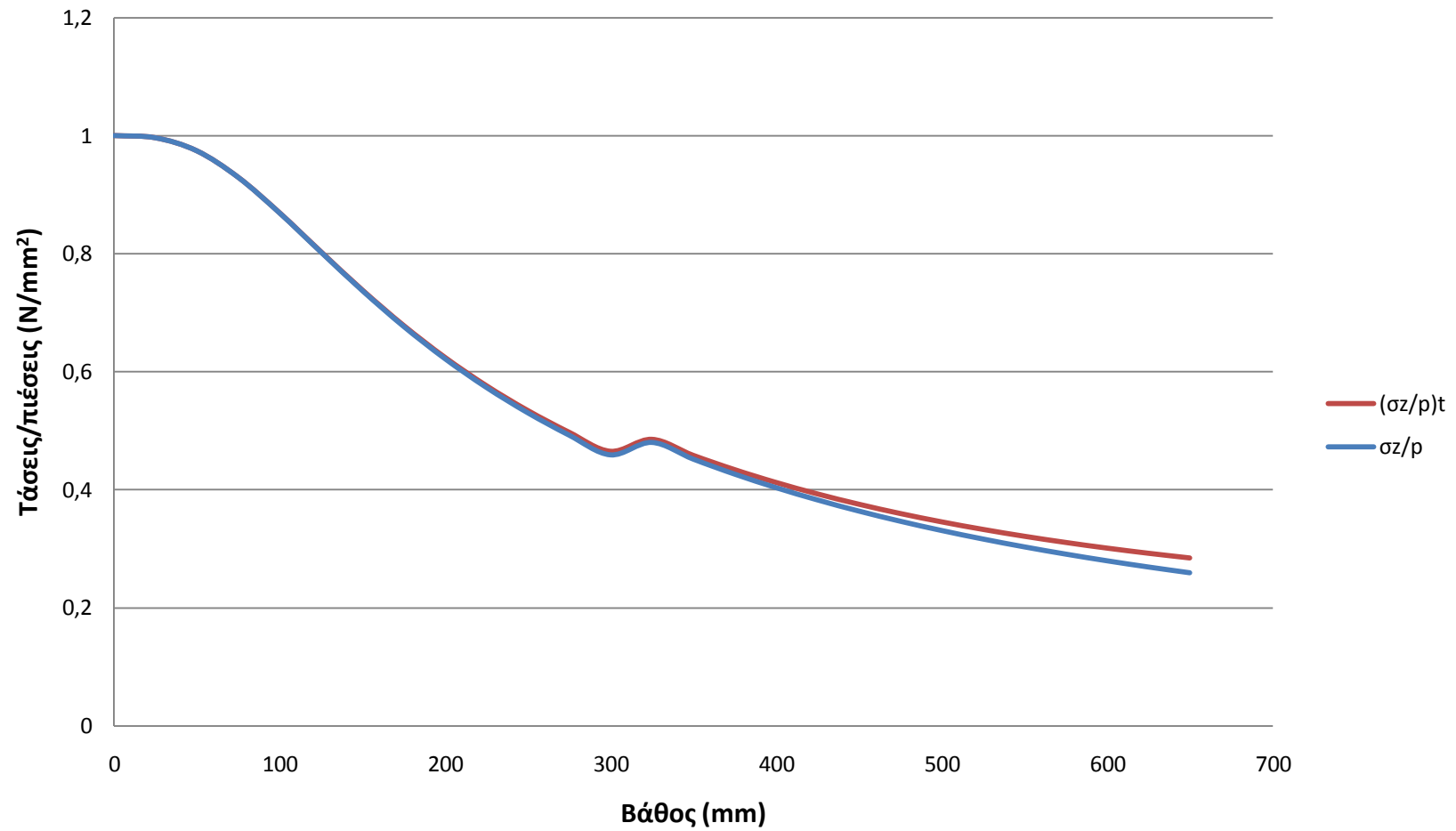
ΠΙΝΑΚΑΣ 11.20 Τάσεις και σ _z και λόγος τάσεων/πιέσεων σ _z /ρ με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις-1ος συρμός												
	π	bs	ρ(N/mm ²)							a(mm)	700	
	3,141593	250	0,0227			ορ. Απόσταση	1075		825			
z	z'	σ _z	σ _z /ρ		z	z'	a1	α1	a2	α2	σ'z	σ'z/ρ
0	0	0,0227	1		0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000
25	26,20023	0,022616	0,99628848		25	26,20023	0,02437	1,3962	0,031747	1,8190	0,0000	0,0000
50	52,40046	0,022116	0,97427802		50	52,40046	0,04871	2,7907	0,063430	3,6343	0,0000	0,0000
75	78,60068	0,021100	0,92952445		75	78,60068	0,07299	4,1819	0,094987	5,4424	0,0000	0,0001
100	104,80091	0,019732	0,86924321		100	104,80091	0,09718	5,5681	0,126355	7,2396	0,0000	0,0002
125	131,00114	0,018229	0,80303934		125	131,00114	0,12126	6,9479	0,157475	9,0226	0,0000	0,0004
150	157,20137	0,016748	0,73779677		150	157,20137	0,14520	8,3196	0,188290	10,7882	0,0000	0,0008
175	183,40160	0,015371	0,67712565		175	183,40160	0,16898	9,6818	0,218748	12,5333	0,0000	0,0012
200	209,60182	0,014128	0,62239569		200	209,60182	0,19256	11,0330	0,248799	14,2551	0,0000	0,0017
225	235,80205	0,013024	0,57375919		225	235,80205	0,21593	12,3719	0,278398	15,9510	0,0001	0,0024
250	262,00228	0,012049	0,53080753		250	262,00228	0,23906	13,6973	0,307505	17,6187	0,0001	0,0032
275	288,20251	0,011189	0,49292619	στρωτήρας	275	288,20251	0,26194	15,0078	0,336083	19,2562	0,0001	0,0041
300	314,40274	0,010430	0,45946749	1	300	314,40274	0,28453	16,3025	0,364103	20,8616	0,0001	0,0052
325	297,54409	0,010908	0,48052202		325	297,54409	0,27003	15,4713	0,346139	19,8323	0,0001	0,0045
350	320,43210	0,010268	0,45232872		350	320,43210	0,28969	16,5981	0,370469	21,2263	0,0001	0,0054
375	343,32011	0,009692	0,4269484		375	343,32011	0,30913	17,7118	0,394347	22,5944	0,0001	0,0065
400	366,20812	0,009172	0,4040322		400	366,20812	0,32833	18,8119	0,417760	23,9359	0,0002	0,0076
425	389,09612	0,008700	0,38327464		425	389,09612	0,34728	19,8977	0,440696	25,2501	0,0002	0,0088
450	411,98413	0,008272	0,36441079		450	411,98413	0,36598	20,9689	0,463147	26,5364	0,0002	0,0101
475	434,87214	0,007882	0,34721201		475	434,87214	0,38441	22,0249	0,485106	27,7945	0,0003	0,0114
500	457,76015	0,007525	0,33148139		500	457,76015	0,40257	23,0655	0,506567	29,0242	0,0003	0,0128
525	480,64815	0,007197	0,31704927		525	480,64815	0,42045	24,0901	0,527530	30,2253	0,0003	0,0142
550	503,53616	0,006896	0,30376935		550	503,53616	0,43805	25,0987	0,547993	31,3977	0,0004	0,0157
575	526,42417	0,006617	0,29151516		575	526,42417	0,45537	26,0909	0,567957	32,5416	0,0004	0,0172
600	549,31217	0,006360	0,28017708		600	549,31217	0,47240	27,0665	0,587425	33,6570	0,0004	0,0187
625	572,20018	0,006121	0,26965988		625	572,20018	0,48914	28,0255	0,606402	34,7443	0,0005	0,0203
650	595,08819	0,005899	0,25988052		650	595,08819	0,50558	28,9676	0,624891	35,8037	0,0005	0,0218

		ορ. Απόσταση	2025	1775			ορ. Απόσταση	2975	2725		
z	z'		a1	a2	σ'z	σ'z/p		a1	a2	σ'z	σ'z/p
0	0		0	0	0,00000	0,00000		0	0	0,00000	0,00000
25	26,20023		0,01294	0,0148	0,00000	0,00000		0,00881	0,00961	0,00000	0,00000
50	52,40046		0,02587	0,0295	0,00000	0,00000		0,01761	0,01923	0,00000	0,00000
75	78,60068		0,03880	0,0443	0,00000	0,00001		0,02641	0,02884	0,00000	0,00000
100	104,8009		0,05171	0,0590	0,00000	0,00001		0,03521	0,03844	0,00000	0,00000
125	131,0011		0,06460	0,0737	0,00000	0,00003		0,04401	0,04804	0,00000	0,00001
150	157,2014		0,07747	0,0883	0,00000	0,00005		0,05279	0,05762	0,00000	0,00001
175	183,4016		0,09032	0,1030	0,00000	0,00008		0,06157	0,06720	0,00000	0,00001
200	209,6018		0,10314	0,1175	0,00000	0,00011		0,07034	0,07677	0,00000	0,00002
225	235,8021		0,11592	0,1321	0,00000	0,00016		0,07910	0,08632	0,00000	0,00003
250	262,0023		0,12867	0,1465	0,00000	0,00021		0,08784	0,09585	0,00000	0,00004
275	288,2025	στρωτήρας	0,14137	0,1610	0,00001	0,00028	στρωτήρας	0,09657	0,10537	0,00000	0,00006
300	314,4027	2	0,15403	0,1753	0,00001	0,00036	3	0,10529	0,11487	0,00000	0,00007
325	297,5441		0,14589	0,1661	0,00001	0,00031		0,09968	0,10876	0,00000	0,00006
350	320,4321		0,15694	0,1786	0,00001	0,00039		0,10729	0,11705	0,00000	0,00008
375	343,3201		0,16794	0,1911	0,00001	0,00047		0,11489	0,12533	0,00000	0,00010
400	366,2081		0,17891	0,2035	0,00001	0,00057		0,12248	0,13359	0,00000	0,00012
425	389,0961		0,18983	0,2158	0,00002	0,00067		0,13005	0,14183	0,00000	0,00014
450	411,9841		0,20071	0,2281	0,00002	0,00079		0,13761	0,15005	0,00000	0,00016
475	434,8721		0,21154	0,2403	0,00002	0,00092		0,14515	0,15825	0,00000	0,00019
500	457,7601		0,22232	0,2524	0,00002	0,00106		0,15267	0,16643	0,00001	0,00022
525	480,6482		0,23304	0,2644	0,00003	0,00121		0,16018	0,17459	0,00001	0,00025
550	503,5362		0,24372	0,2764	0,00003	0,00138		0,16767	0,18272	0,00001	0,00029
575	526,4242		0,25433	0,2883	0,00004	0,00156		0,17514	0,19083	0,00001	0,00033
600	549,3122		0,26489	0,3001	0,00004	0,00174		0,18259	0,19892	0,00001	0,00037
625	572,2002		0,27539	0,3118	0,00004	0,00195		0,19002	0,20697	0,00001	0,00042
650	595,0882		0,28582	0,3235	0,00005	0,00216		0,19742	0,21501	0,00001	0,00047

Συνολικές τάσεις		
z	σ _{zt}	(σ _z /ρ)t
0	0,0227	1
25	0,022616	0,996292
50	0,022117	0,97431
75	0,021103	0,929631
100	0,019737	0,869492
125	0,01824	0,80352
150	0,016767	0,738613
175	0,0154	0,678397
200	0,014171	0,624253
225	0,013083	0,57634
250	0,012128	0,534253
275	0,011291	0,49738
300	0,010557	0,465071
325	0,011018	0,48537
350	0,010402	0,458216
375	0,009851	0,433978
400	0,009359	0,412303
425	0,008918	0,392878
450	0,008522	0,375432
475	0,008166	0,359729
500	0,007844	0,345563
525	0,007554	0,332757
550	0,00729	0,321156
575	0,007051	0,310624
600	0,006834	0,301044
625	0,006635	0,292313
650	0,006454	0,284338



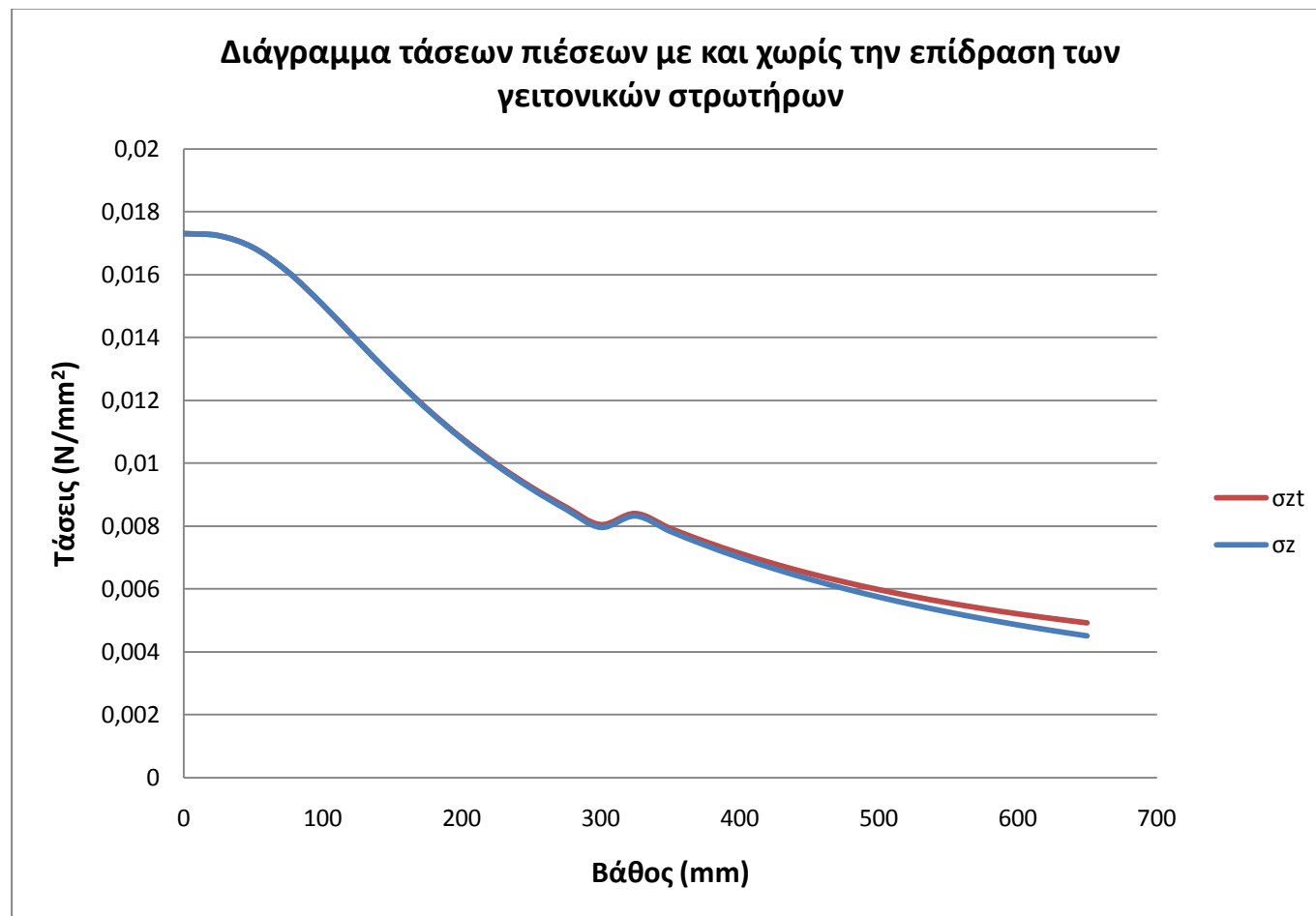
Διάγραμμα τάσεων/πιέσεων με και χωρίς την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων



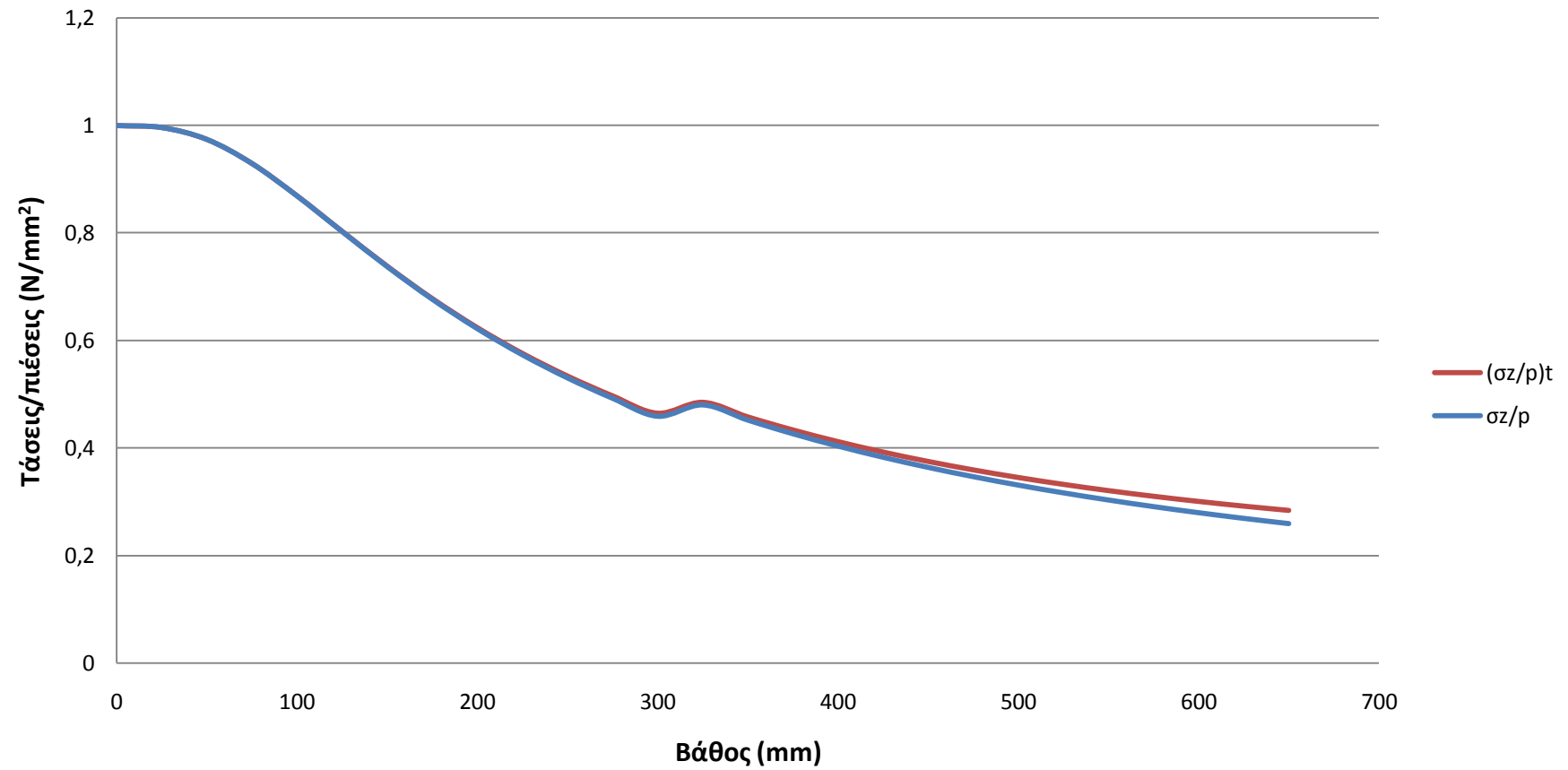
ΠΙΝΑΚΑΣ 11.21 Τάσεις και σ _z και λόγος τάσεων/πιέσεων σ _z /ρ με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις-2ος συρμός												
	π	bs	ρ(N/mm ²)							a(mm)	700	
	3,141593	250	0,0173			ορ. Απόσταση	1075		825			
z	z'	σ _z	σ _z /ρ		z	z'	a1	α1	a2	α2	σ'z	σ'z/ρ
0	0	0,0173	1		0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000
25	26,20023	0,017236	0,99628848		25	26,20023	0,02437	1,3962	0,031747	1,8190	0,0000	0,0000
50	52,40046	0,016855	0,97427802		50	52,40046	0,04871	2,7907	0,063430	3,6343	0,0000	0,0000
75	78,60068	0,016081	0,92952445		75	78,60068	0,07299	4,1819	0,094987	5,4424	0,0000	0,0001
100	104,80091	0,015038	0,86924321		100	104,80091	0,09718	5,5681	0,126355	7,2396	0,0000	0,0002
125	131,00114	0,013893	0,80303934		125	131,00114	0,12126	6,9479	0,157475	9,0226	0,0000	0,0004
150	157,20137	0,012764	0,73779677		150	157,20137	0,14520	8,3196	0,188290	10,7882	0,0000	0,0008
175	183,40160	0,011714	0,67712565		175	183,40160	0,16898	9,6818	0,218748	12,5333	0,0000	0,0012
200	209,60182	0,010767	0,62239569		200	209,60182	0,19256	11,0330	0,248799	14,2551	0,0000	0,0017
225	235,80205	0,009926	0,57375919		225	235,80205	0,21593	12,3719	0,278398	15,9510	0,0000	0,0024
250	262,00228	0,009183	0,53080753		250	262,00228	0,23906	13,6973	0,307505	17,6187	0,0001	0,0032
275	288,20251	0,008528	0,49292619	στρωτήρας	275	288,20251	0,26194	15,0078	0,336083	19,2562	0,0001	0,0041
300	314,40274	0,007949	0,45946749	1	300	314,40274	0,28453	16,3025	0,364103	20,8616	0,0001	0,0052
325	297,54409	0,008313	0,48052202		325	297,54409	0,27003	15,4713	0,346139	19,8323	0,0001	0,0045
350	320,43210	0,007825	0,45232872		350	320,43210	0,28969	16,5981	0,370469	21,2263	0,0001	0,0054
375	343,32011	0,007386	0,4269484		375	343,32011	0,30913	17,7118	0,394347	22,5944	0,0001	0,0065
400	366,20812	0,006990	0,4040322		400	366,20812	0,32833	18,8119	0,417760	23,9359	0,0001	0,0076
425	389,09612	0,006631	0,38327464		425	389,09612	0,34728	19,8977	0,440696	25,2501	0,0002	0,0088
450	411,98413	0,006304	0,36441079		450	411,98413	0,36598	20,9689	0,463147	26,5364	0,0002	0,0101
475	434,87214	0,006007	0,34721201		475	434,87214	0,38441	22,0249	0,485106	27,7945	0,0002	0,0114
500	457,76015	0,005735	0,33148139		500	457,76015	0,40257	23,0655	0,506567	29,0242	0,0002	0,0128
525	480,64815	0,005485	0,31704927		525	480,64815	0,42045	24,0901	0,527530	30,2253	0,0002	0,0142
550	503,53616	0,005255	0,30376935		550	503,53616	0,43805	25,0987	0,547993	31,3977	0,0003	0,0157
575	526,42417	0,005043	0,29151516		575	526,42417	0,45537	26,0909	0,567957	32,5416	0,0003	0,0172
600	549,31217	0,004847	0,28017708		600	549,31217	0,47240	27,0665	0,587425	33,6570	0,0003	0,0187
625	572,20018	0,004665	0,26965988		625	572,20018	0,48914	28,0255	0,606402	34,7443	0,0004	0,0203
650	595,08819	0,004496	0,25988052		650	595,08819	0,50558	28,9676	0,624891	35,8037	0,0004	0,0218

		ορ. Απόσταση	2025	1775			ορ. Απόσταση	2975	2725		
z	z'		a1	a2	σ'z	σ'z/p		a1	a2	σ'z	σ'z/p
0	0		0	0	0,00000	0,00000		0	0	0,00000	0,00000
25	26,20023		0,01294	0,0148	0,00000	0,00000		0,00881	0,00961	0,00000	0,00000
50	52,40046		0,02587	0,0295	0,00000	0,00000		0,01761	0,01923	0,00000	0,00000
75	78,60068		0,03880	0,0443	0,00000	0,00001		0,02641	0,02884	0,00000	0,00000
100	104,8009		0,05171	0,0590	0,00000	0,00001		0,03521	0,03844	0,00000	0,00000
125	131,0011		0,06460	0,0737	0,00000	0,00003		0,04401	0,04804	0,00000	0,00001
150	157,2014		0,07747	0,0883	0,00000	0,00005		0,05279	0,05762	0,00000	0,00001
175	183,4016		0,09032	0,1030	0,00000	0,00008		0,06157	0,06720	0,00000	0,00001
200	209,6018		0,10314	0,1175	0,00000	0,00011		0,07034	0,07677	0,00000	0,00002
225	235,8021		0,11592	0,1321	0,00000	0,00016		0,07910	0,08632	0,00000	0,00003
250	262,0023		0,12867	0,1465	0,00000	0,00021		0,08784	0,09585	0,00000	0,00004
275	288,2025	στρωτήρας	0,14137	0,1610	0,00000	0,00028	στρωτήρας	0,09657	0,10537	0,00000	0,00006
300	314,4027	2	0,15403	0,1753	0,00001	0,00036	3	0,10529	0,11487	0,00000	0,00007
325	297,5441		0,14589	0,1661	0,00001	0,00031		0,09968	0,10876	0,00000	0,00006
350	320,4321		0,15694	0,1786	0,00001	0,00039		0,10729	0,11705	0,00000	0,00008
375	343,3201		0,16794	0,1911	0,00001	0,00047		0,11489	0,12533	0,00000	0,00010
400	366,2081		0,17891	0,2035	0,00001	0,00057		0,12248	0,13359	0,00000	0,00012
425	389,0961		0,18983	0,2158	0,00001	0,00067		0,13005	0,14183	0,00000	0,00014
450	411,9841		0,20071	0,2281	0,00001	0,00079		0,13761	0,15005	0,00000	0,00016
475	434,8721		0,21154	0,2403	0,00002	0,00092		0,14515	0,15825	0,00000	0,00019
500	457,7601		0,22232	0,2524	0,00002	0,00106		0,15267	0,16643	0,00000	0,00022
525	480,6482		0,23304	0,2644	0,00002	0,00121		0,16018	0,17459	0,00000	0,00025
550	503,5362		0,24372	0,2764	0,00002	0,00138		0,16767	0,18272	0,00001	0,00029
575	526,4242		0,25433	0,2883	0,00003	0,00156		0,17514	0,19083	0,00001	0,00033
600	549,3122		0,26489	0,3001	0,00003	0,00174		0,18259	0,19892	0,00001	0,00037
625	572,2002		0,27539	0,3118	0,00003	0,00195		0,19002	0,20697	0,00001	0,00042
650	595,0882		0,28582	0,3235	0,00004	0,00216		0,19742	0,21501	0,00001	0,00047

Συνολικές τάσεις		
z	σzt	(σz/p)t
0	0,0173	1
25	0,017236	0,996292
50	0,016856	0,97431
75	0,016083	0,929631
100	0,015042	0,869492
125	0,013901	0,80352
150	0,012778	0,738613
175	0,011736	0,678397
200	0,0108	0,624253
225	0,009971	0,57634
250	0,009243	0,534253
275	0,008605	0,49738
300	0,008046	0,465071
325	0,008397	0,48537
350	0,007927	0,458216
375	0,007508	0,433978
400	0,007133	0,412303
425	0,006797	0,392878
450	0,006495	0,375432
475	0,006223	0,359729
500	0,005978	0,345563
525	0,005757	0,332757
550	0,005556	0,321156
575	0,005374	0,310624
600	0,005208	0,301044
625	0,005057	0,292313
650	0,004919	0,284338



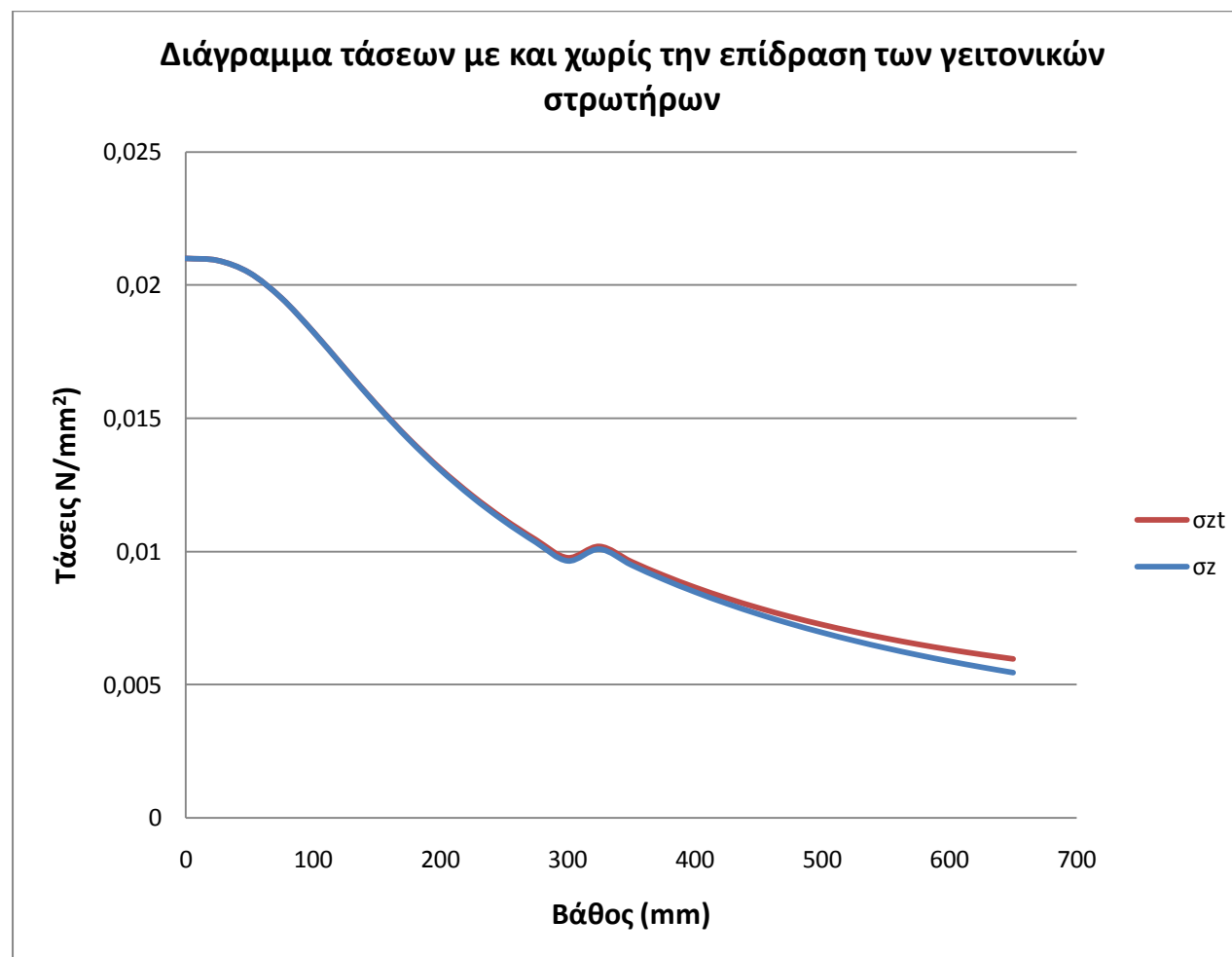
Διάγραμμα τάσεων/πιέσεων με και χωρίς την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων

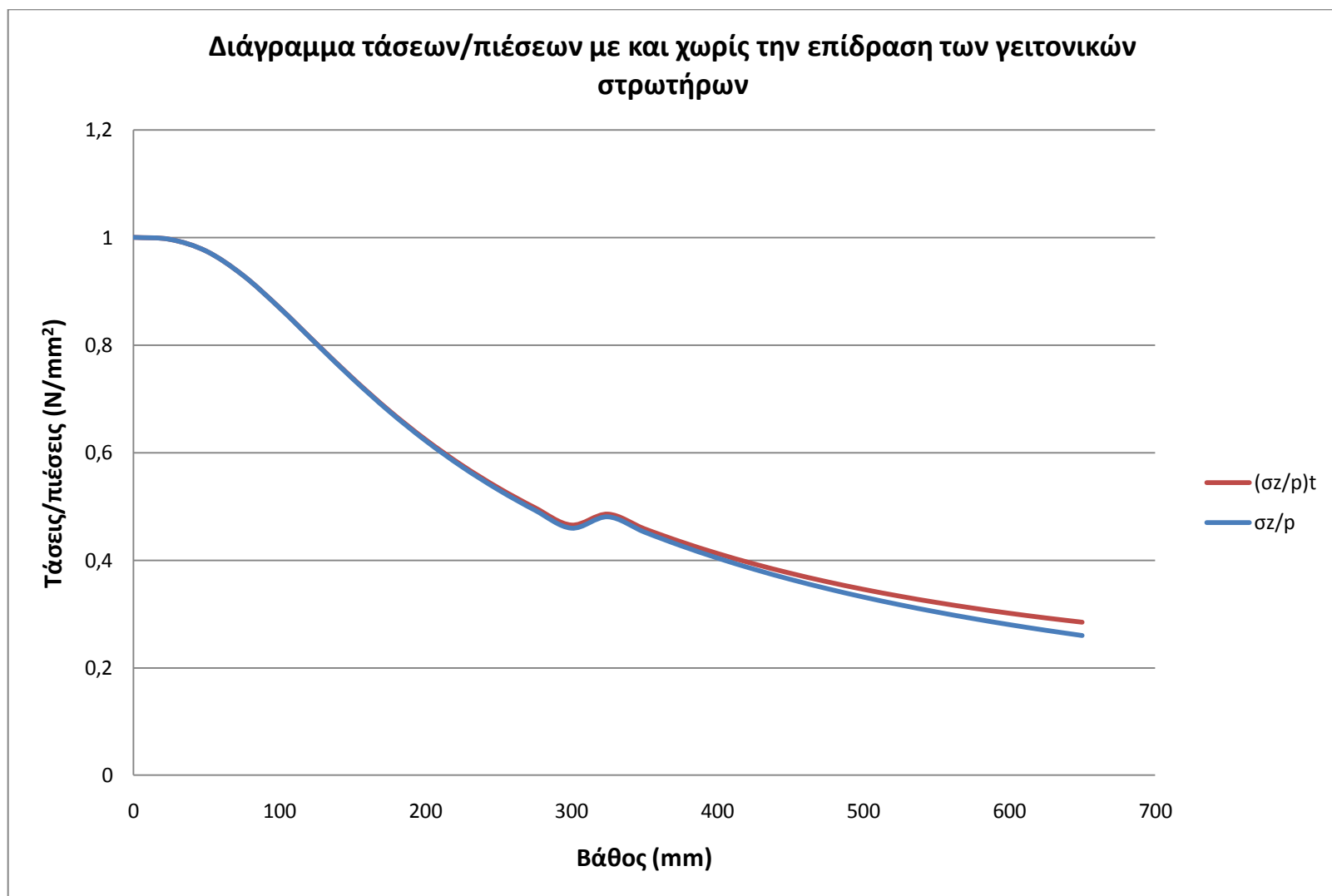


ΠΙΝΑΚΑΣ 11.22 Τάσεις και σ _z και λόγος τάσεων/πιέσεων σ _z /ρ με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις-3ος συρμός												
	π	bs	ρ(N/mm ²)							a(mm)	700	
	3,141593	250	0,021			ορ. Απόσταση	1075		825			
z	z'	σ _z	σ _z /ρ		z	z'	a1	α1	a2	α2	σ'z	σ'z/ρ
0	0	0,021	1		0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000
25	26,20023	0,020922	0,99628848		25	26,20023	0,02437	1,3962	0,031747	1,8190	0,0000	0,0000
50	52,40046	0,020460	0,97427802		50	52,40046	0,04871	2,7907	0,063430	3,6343	0,0000	0,0000
75	78,60068	0,019520	0,92952445		75	78,60068	0,07299	4,1819	0,094987	5,4424	0,0000	0,0001
100	104,80091	0,018254	0,86924321		100	104,80091	0,09718	5,5681	0,126355	7,2396	0,0000	0,0002
125	131,00114	0,016864	0,80303934		125	131,00114	0,12126	6,9479	0,157475	9,0226	0,0000	0,0004
150	157,20137	0,015494	0,73779677		150	157,20137	0,14520	8,3196	0,188290	10,7882	0,0000	0,0008
175	183,40160	0,014220	0,67712565		175	183,40160	0,16898	9,6818	0,218748	12,5333	0,0000	0,0012
200	209,60182	0,013070	0,62239569		200	209,60182	0,19256	11,0330	0,248799	14,2551	0,0000	0,0017
225	235,80205	0,012049	0,57375919		225	235,80205	0,21593	12,3719	0,278398	15,9510	0,0001	0,0024
250	262,00228	0,011147	0,53080753		250	262,00228	0,23906	13,6973	0,307505	17,6187	0,0001	0,0032
275	288,20251	0,010351	0,49292619	στρωτήρας	275	288,20251	0,26194	15,0078	0,336083	19,2562	0,0001	0,0041
300	314,40274	0,009649	0,45946749	1	300	314,40274	0,28453	16,3025	0,364103	20,8616	0,0001	0,0052
325	297,54409	0,010091	0,48052202		325	297,54409	0,27003	15,4713	0,346139	19,8323	0,0001	0,0045
350	320,43210	0,009499	0,45232872		350	320,43210	0,28969	16,5981	0,370469	21,2263	0,0001	0,0054
375	343,32011	0,008966	0,4269484		375	343,32011	0,30913	17,7118	0,394347	22,5944	0,0001	0,0065
400	366,20812	0,008485	0,4040322		400	366,20812	0,32833	18,8119	0,417760	23,9359	0,0002	0,0076
425	389,09612	0,008049	0,38327464		425	389,09612	0,34728	19,8977	0,440696	25,2501	0,0002	0,0088
450	411,98413	0,007653	0,36441079		450	411,98413	0,36598	20,9689	0,463147	26,5364	0,0002	0,0101
475	434,87214	0,007291	0,34721201		475	434,87214	0,38441	22,0249	0,485106	27,7945	0,0002	0,0114
500	457,76015	0,006961	0,33148139		500	457,76015	0,40257	23,0655	0,506567	29,0242	0,0003	0,0128
525	480,64815	0,006658	0,31704927		525	480,64815	0,42045	24,0901	0,527530	30,2253	0,0003	0,0142
550	503,53616	0,006379	0,30376935		550	503,53616	0,43805	25,0987	0,547993	31,3977	0,0003	0,0157
575	526,42417	0,006122	0,29151516		575	526,42417	0,45537	26,0909	0,567957	32,5416	0,0004	0,0172
600	549,31217	0,005884	0,28017708		600	549,31217	0,47240	27,0665	0,587425	33,6570	0,0004	0,0187
625	572,20018	0,005663	0,26965988		625	572,20018	0,48914	28,0255	0,606402	34,7443	0,0004	0,0203
650	595,08819	0,005457	0,25988052		650	595,08819	0,50558	28,9676	0,624891	35,8037	0,0005	0,0218

		ορ. Απόσταση	2025	1775			ορ. Απόσταση	2975	2725		
z	z'		a1	a2	σ'z	σ'z/p		a1	a2	σ'z	σ'z/p
0	0		0	0	0,00000	0,00000		0	0	0,00000	0,00000
25	26,20023		0,01294	0,0148	0,00000	0,00000		0,00881	0,00961	0,00000	0,00000
50	52,40046		0,02587	0,0295	0,00000	0,00000		0,01761	0,01923	0,00000	0,00000
75	78,60068		0,03880	0,0443	0,00000	0,00001		0,02641	0,02884	0,00000	0,00000
100	104,8009		0,05171	0,0590	0,00000	0,00001		0,03521	0,03844	0,00000	0,00000
125	131,0011		0,06460	0,0737	0,00000	0,00003		0,04401	0,04804	0,00000	0,00001
150	157,2014		0,07747	0,0883	0,00000	0,00005		0,05279	0,05762	0,00000	0,00001
175	183,4016		0,09032	0,1030	0,00000	0,00008		0,06157	0,06720	0,00000	0,00001
200	209,6018		0,10314	0,1175	0,00000	0,00011		0,07034	0,07677	0,00000	0,00002
225	235,8021		0,11592	0,1321	0,00000	0,00016		0,07910	0,08632	0,00000	0,00003
250	262,0023		0,12867	0,1465	0,00000	0,00021		0,08784	0,09585	0,00000	0,00004
275	288,2025	στρωτήρας	0,14137	0,1610	0,00001	0,00028	στρωτήρας	0,09657	0,10537	0,00000	0,00006
300	314,4027	2	0,15403	0,1753	0,00001	0,00036	3	0,10529	0,11487	0,00000	0,00007
325	297,5441		0,14589	0,1661	0,00001	0,00031		0,09968	0,10876	0,00000	0,00006
350	320,4321		0,15694	0,1786	0,00001	0,00039		0,10729	0,11705	0,00000	0,00008
375	343,3201		0,16794	0,1911	0,00001	0,00047		0,11489	0,12533	0,00000	0,00010
400	366,2081		0,17891	0,2035	0,00001	0,00057		0,12248	0,13359	0,00000	0,00012
425	389,0961		0,18983	0,2158	0,00001	0,00067		0,13005	0,14183	0,00000	0,00014
450	411,9841		0,20071	0,2281	0,00002	0,00079		0,13761	0,15005	0,00000	0,00016
475	434,8721		0,21154	0,2403	0,00002	0,00092		0,14515	0,15825	0,00000	0,00019
500	457,7601		0,22232	0,2524	0,00002	0,00106		0,15267	0,16643	0,00000	0,00022
525	480,6482		0,23304	0,2644	0,00003	0,00121		0,16018	0,17459	0,00001	0,00025
550	503,5362		0,24372	0,2764	0,00003	0,00138		0,16767	0,18272	0,00001	0,00029
575	526,4242		0,25433	0,2883	0,00003	0,00156		0,17514	0,19083	0,00001	0,00033
600	549,3122		0,26489	0,3001	0,00004	0,00174		0,18259	0,19892	0,00001	0,00037
625	572,2002		0,27539	0,3118	0,00004	0,00195		0,19002	0,20697	0,00001	0,00042
650	595,0882		0,28582	0,3235	0,00005	0,00216		0,19742	0,21501	0,00001	0,00047

Συνολικές τάσεις		
z	σzt	(σz/ρ)t
0	0,021	1
25	0,020922	0,996292
50	0,020461	0,97431
75	0,019522	0,929631
100	0,018259	0,869492
125	0,016874	0,80352
150	0,015511	0,738613
175	0,014246	0,678397
200	0,013109	0,624253
225	0,012103	0,57634
250	0,011219	0,534253
275	0,010445	0,49738
300	0,009766	0,465071
325	0,010193	0,48537
350	0,009623	0,458216
375	0,009114	0,433978
400	0,008658	0,412303
425	0,00825	0,392878
450	0,007884	0,375432
475	0,007554	0,359729
500	0,007257	0,345563
525	0,006988	0,332757
550	0,006744	0,321156
575	0,006523	0,310624
600	0,006322	0,301044
625	0,006139	0,292313
650	0,005971	0,284338

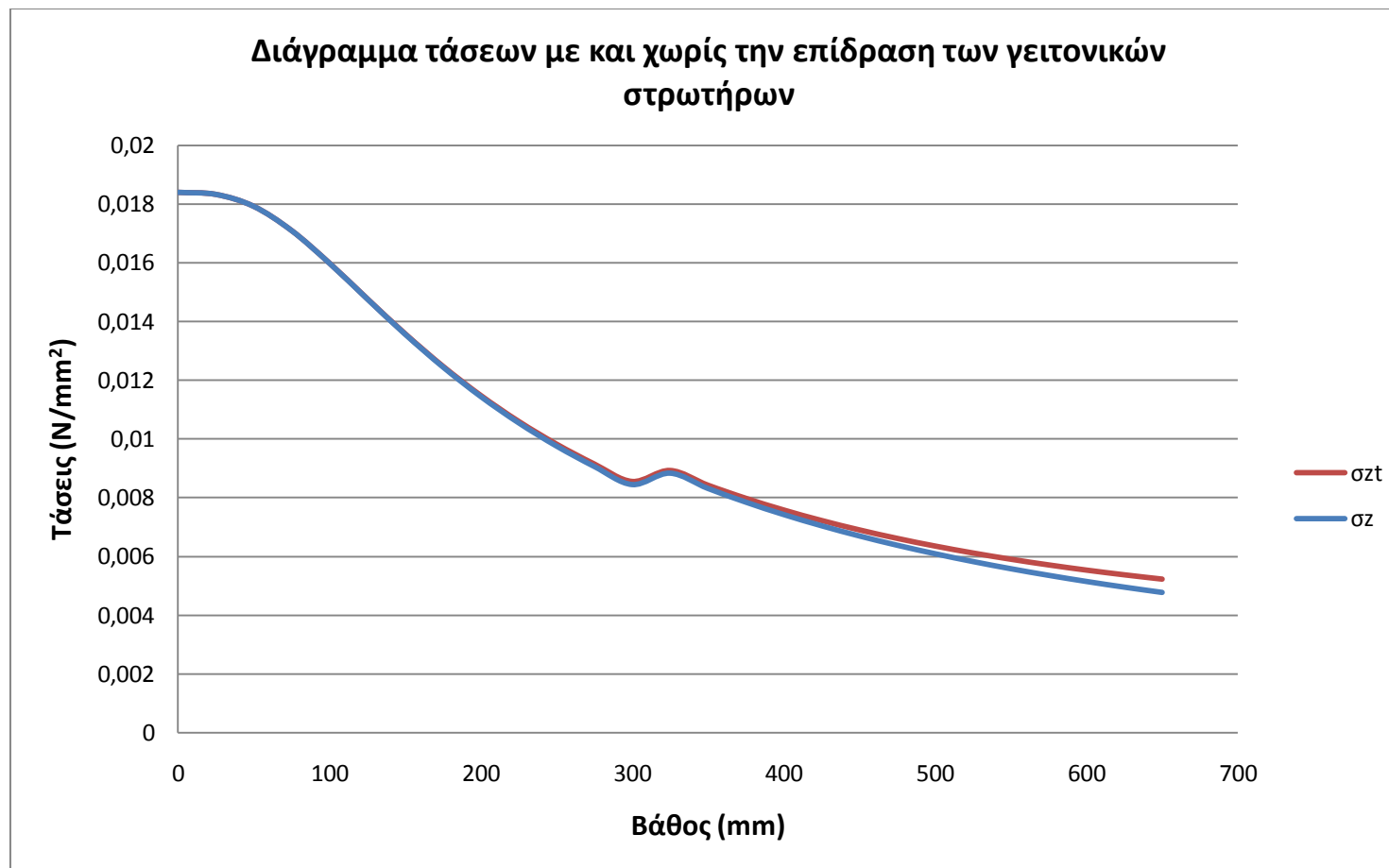


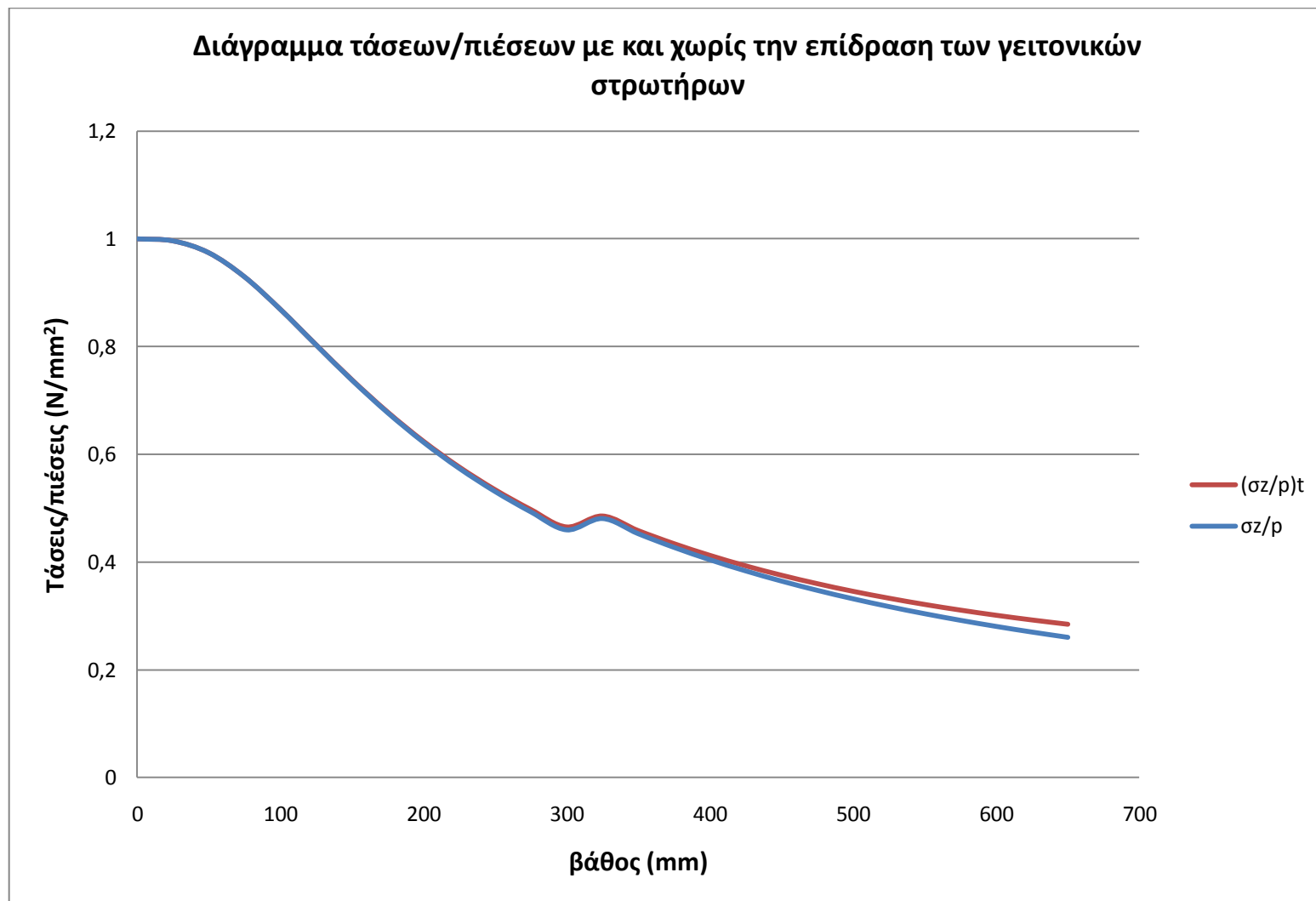


ΠΙΝΑΚΑΣ 11.23 Τάσεις και σ _z και λόγος τάσεων/πιέσεων σ _z /ρ με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις-4ος συρμός												
	π	bs	ρ(N/mm2)							a(mm)	700	
	3,141593	250	0,0184			ορ. Απόσταση	1075		825			
z	z'	σ _z	σ _z /ρ		z	z'	a1	α1	a2	α2	σ'z	σ'z/ρ
0	0	0,0184	1		0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000
25	26,20023	0,018332	0,99628848		25	26,20023	0,02437	1,3962	0,031747	1,8190	0,0000	0,0000
50	52,40046	0,017927	0,97427802		50	52,40046	0,04871	2,7907	0,063430	3,6343	0,0000	0,0000
75	78,60068	0,017103	0,92952445		75	78,60068	0,07299	4,1819	0,094987	5,4424	0,0000	0,0001
100	104,80091	0,015994	0,86924321		100	104,80091	0,09718	5,5681	0,126355	7,2396	0,0000	0,0002
125	131,00114	0,014776	0,80303934		125	131,00114	0,12126	6,9479	0,157475	9,0226	0,0000	0,0004
150	157,20137	0,013575	0,73779677		150	157,20137	0,14520	8,3196	0,188290	10,7882	0,0000	0,0008
175	183,40160	0,012459	0,67712565		175	183,40160	0,16898	9,6818	0,218748	12,5333	0,0000	0,0012
200	209,60182	0,011452	0,62239569		200	209,60182	0,19256	11,0330	0,248799	14,2551	0,0000	0,0017
225	235,80205	0,010557	0,57375919		225	235,80205	0,21593	12,3719	0,278398	15,9510	0,0000	0,0024
250	262,00228	0,009767	0,53080753		250	262,00228	0,23906	13,6973	0,307505	17,6187	0,0001	0,0032
275	288,20251	0,009070	0,49292619	στρωτήρας	275	288,20251	0,26194	15,0078	0,336083	19,2562	0,0001	0,0041
300	314,40274	0,008454	0,45946749	1	300	314,40274	0,28453	16,3025	0,364103	20,8616	0,0001	0,0052
325	297,54409	0,008842	0,48052202		325	297,54409	0,27003	15,4713	0,346139	19,8323	0,0001	0,0045
350	320,43210	0,008323	0,45232872		350	320,43210	0,28969	16,5981	0,370469	21,2263	0,0001	0,0054
375	343,32011	0,007856	0,4269484		375	343,32011	0,30913	17,7118	0,394347	22,5944	0,0001	0,0065
400	366,20812	0,007434	0,4040322		400	366,20812	0,32833	18,8119	0,417760	23,9359	0,0001	0,0076
425	389,09612	0,007052	0,38327464		425	389,09612	0,34728	19,8977	0,440696	25,2501	0,0002	0,0088
450	411,98413	0,006705	0,36441079		450	411,98413	0,36598	20,9689	0,463147	26,5364	0,0002	0,0101
475	434,87214	0,006389	0,34721201		475	434,87214	0,38441	22,0249	0,485106	27,7945	0,0002	0,0114
500	457,76015	0,006099	0,33148139		500	457,76015	0,40257	23,0655	0,506567	29,0242	0,0002	0,0128
525	480,64815	0,005834	0,31704927		525	480,64815	0,42045	24,0901	0,527530	30,2253	0,0003	0,0142
550	503,53616	0,005589	0,30376935		550	503,53616	0,43805	25,0987	0,547993	31,3977	0,0003	0,0157
575	526,42417	0,005364	0,29151516		575	526,42417	0,45537	26,0909	0,567957	32,5416	0,0003	0,0172
600	549,31217	0,005155	0,28017708		600	549,31217	0,47240	27,0665	0,587425	33,6570	0,0003	0,0187
625	572,20018	0,004962	0,26965988		625	572,20018	0,48914	28,0255	0,606402	34,7443	0,0004	0,0203
650	595,08819	0,004782	0,25988052		650	595,08819	0,50558	28,9676	0,624891	35,8037	0,0004	0,0218

		ορ. Απόσταση	2025	1775			ορ. Απόσταση	2975	2725		
z	z'		a1	a2	σ'z	σ'z/p		a1	a2	σ'z	σ'z/p
0	0		0	0	0,00000	0,00000		0	0	0,00000	0,00000
25	26,20023		0,01294	0,0148	0,00000	0,00000		0,00881	0,00961	0,00000	0,00000
50	52,40046		0,02587	0,0295	0,00000	0,00000		0,01761	0,01923	0,00000	0,00000
75	78,60068		0,03880	0,0443	0,00000	0,00001		0,02641	0,02884	0,00000	0,00000
100	104,8009		0,05171	0,0590	0,00000	0,00001		0,03521	0,03844	0,00000	0,00000
125	131,0011		0,06460	0,0737	0,00000	0,00003		0,04401	0,04804	0,00000	0,00001
150	157,2014		0,07747	0,0883	0,00000	0,00005		0,05279	0,05762	0,00000	0,00001
175	183,4016		0,09032	0,1030	0,00000	0,00008		0,06157	0,06720	0,00000	0,00001
200	209,6018		0,10314	0,1175	0,00000	0,00011		0,07034	0,07677	0,00000	0,00002
225	235,8021		0,11592	0,1321	0,00000	0,00016		0,07910	0,08632	0,00000	0,00003
250	262,0023		0,12867	0,1465	0,00000	0,00021		0,08784	0,09585	0,00000	0,00004
275	288,2025	στρωτήρας	0,14137	0,1610	0,00001	0,00028	στρωτήρας	0,09657	0,10537	0,00000	0,00006
300	314,4027	2	0,15403	0,1753	0,00001	0,00036	3	0,10529	0,11487	0,00000	0,00007
325	297,5441		0,14589	0,1661	0,00001	0,00031		0,09968	0,10876	0,00000	0,00006
350	320,4321		0,15694	0,1786	0,00001	0,00039		0,10729	0,11705	0,00000	0,00008
375	343,3201		0,16794	0,1911	0,00001	0,00047		0,11489	0,12533	0,00000	0,00010
400	366,2081		0,17891	0,2035	0,00001	0,00057		0,12248	0,13359	0,00000	0,00012
425	389,0961		0,18983	0,2158	0,00001	0,00067		0,13005	0,14183	0,00000	0,00014
450	411,9841		0,20071	0,2281	0,00001	0,00079		0,13761	0,15005	0,00000	0,00016
475	434,8721		0,21154	0,2403	0,00002	0,00092		0,14515	0,15825	0,00000	0,00019
500	457,7601		0,22232	0,2524	0,00002	0,00106		0,15267	0,16643	0,00000	0,00022
525	480,6482		0,23304	0,2644	0,00002	0,00121		0,16018	0,17459	0,00000	0,00025
550	503,5362		0,24372	0,2764	0,00003	0,00138		0,16767	0,18272	0,00001	0,00029
575	526,4242		0,25433	0,2883	0,00003	0,00156		0,17514	0,19083	0,00001	0,00033
600	549,3122		0,26489	0,3001	0,00003	0,00174		0,18259	0,19892	0,00001	0,00037
625	572,2002		0,27539	0,3118	0,00004	0,00195		0,19002	0,20697	0,00001	0,00042
650	595,0882		0,28582	0,3235	0,00004	0,00216		0,19742	0,21501	0,00001	0,00047

Συνολικές τάσεις		
z	σ _{zt}	(σ _z /ρ)t
0	0,0184	1
25	0,018332	0,996292
50	0,017927	0,97431
75	0,017105	0,929631
100	0,015999	0,869492
125	0,014785	0,80352
150	0,01359	0,738613
175	0,012483	0,678397
200	0,011486	0,624253
225	0,010605	0,57634
250	0,00983	0,534253
275	0,009152	0,49738
300	0,008557	0,465071
325	0,008931	0,48537
350	0,008431	0,458216
375	0,007985	0,433978
400	0,007586	0,412303
425	0,007229	0,392878
450	0,006908	0,375432
475	0,006619	0,359729
500	0,006358	0,345563
525	0,006123	0,332757
550	0,005909	0,321156
575	0,005715	0,310624
600	0,005539	0,301044
625	0,005379	0,292313
650	0,005232	0,284338

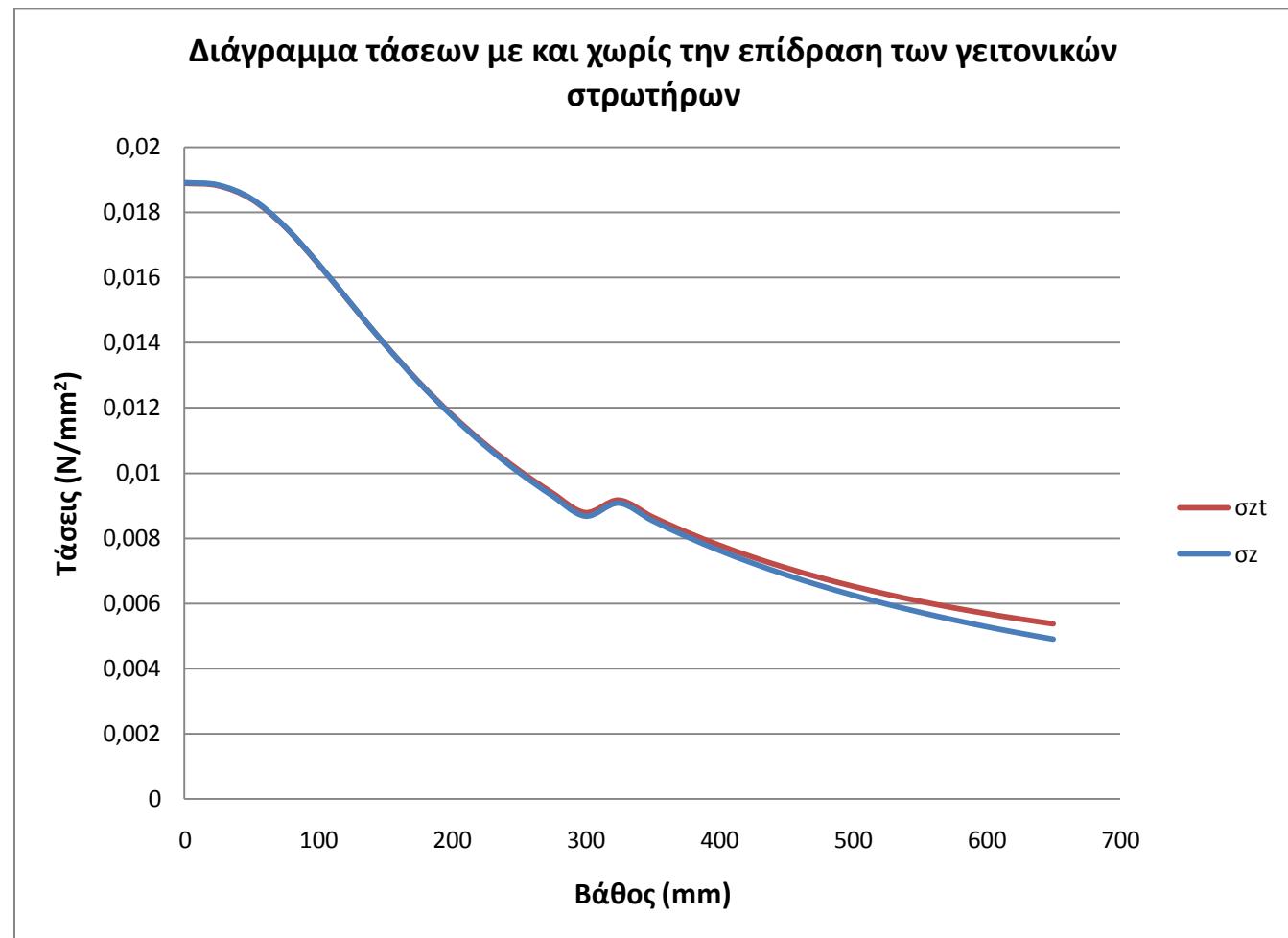




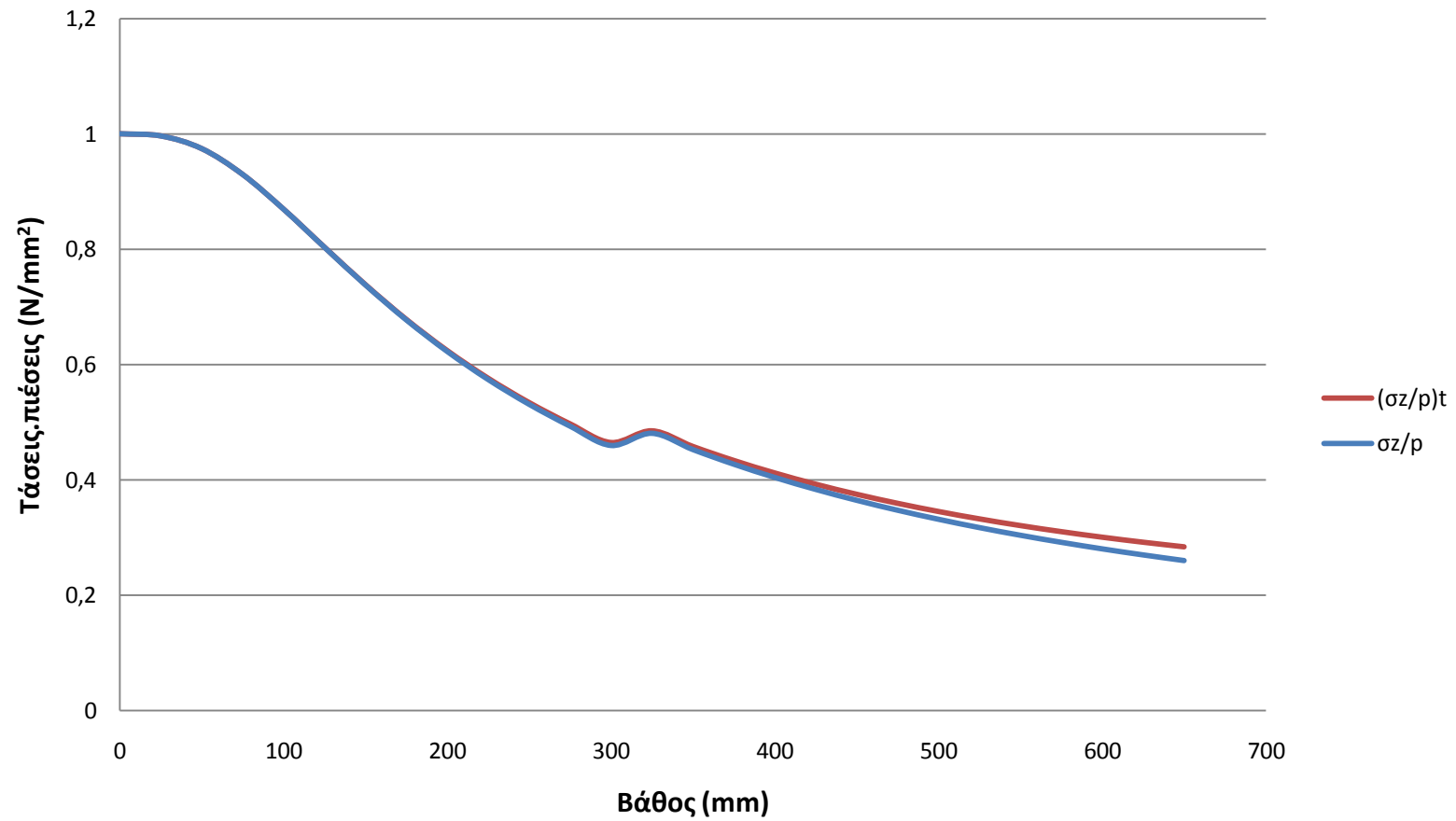
ΠΙΝΑΚΑΣ 11.24 Τάσεις και σ _z και λόγος τάσεων/πιέσεων σ _z /ρ με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις-5ος συρμός												
	π	bs	ρ(N/mm2)							a(mm)	700	
	3,141593	250	0,0189			ορ. Απόσταση	1075		825			
z	z'	σ _z	σ _z /ρ		z	z'	a1	α1	a2	α2	σ'z	σ'z/ρ
0	0	0,0189	1		0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000
25	26,20023	0,018830	0,99628848		25	26,20023	0,02437	1,3962	0,031747	1,8190	0,0000	0,0000
50	52,40046	0,018414	0,97427802		50	52,40046	0,04871	2,7907	0,063430	3,6343	0,0000	0,0000
75	78,60068	0,017568	0,92952445		75	78,60068	0,07299	4,1819	0,094987	5,4424	0,0000	0,0001
100	104,80091	0,016429	0,86924321		100	104,80091	0,09718	5,5681	0,126355	7,2396	0,0000	0,0002
125	131,00114	0,015177	0,80303934		125	131,00114	0,12126	6,9479	0,157475	9,0226	0,0000	0,0004
150	157,20137	0,013944	0,73779677		150	157,20137	0,14520	8,3196	0,188290	10,7882	0,0000	0,0008
175	183,40160	0,012798	0,67712565		175	183,40160	0,16898	9,6818	0,218748	12,5333	0,0000	0,0012
200	209,60182	0,011763	0,62239569		200	209,60182	0,19256	11,0330	0,248799	14,2551	0,0000	0,0017
225	235,80205	0,010844	0,57375919		225	235,80205	0,21593	12,3719	0,278398	15,9510	0,0000	0,0024
250	262,00228	0,010032	0,53080753		250	262,00228	0,23906	13,6973	0,307505	17,6187	0,0001	0,0032
275	288,20251	0,009316	0,49292619	στρωτήρας	275	288,20251	0,26194	15,0078	0,336083	19,2562	0,0001	0,0041
300	314,40274	0,008684	0,45946749	1	300	314,40274	0,28453	16,3025	0,364103	20,8616	0,0001	0,0052
325	297,54409	0,009082	0,48052202		325	297,54409	0,27003	15,4713	0,346139	19,8323	0,0001	0,0045
350	320,43210	0,008549	0,45232872		350	320,43210	0,28969	16,5981	0,370469	21,2263	0,0001	0,0054
375	343,32011	0,008069	0,4269484		375	343,32011	0,30913	17,7118	0,394347	22,5944	0,0001	0,0065
400	366,20812	0,007636	0,4040322		400	366,20812	0,32833	18,8119	0,417760	23,9359	0,0001	0,0076
425	389,09612	0,007244	0,38327464		425	389,09612	0,34728	19,8977	0,440696	25,2501	0,0002	0,0088
450	411,98413	0,006887	0,36441079		450	411,98413	0,36598	20,9689	0,463147	26,5364	0,0002	0,0101
475	434,87214	0,006562	0,34721201		475	434,87214	0,38441	22,0249	0,485106	27,7945	0,0002	0,0114
500	457,76015	0,006265	0,33148139		500	457,76015	0,40257	23,0655	0,506567	29,0242	0,0002	0,0128
525	480,64815	0,005992	0,31704927		525	480,64815	0,42045	24,0901	0,527530	30,2253	0,0003	0,0142
550	503,53616	0,005741	0,30376935		550	503,53616	0,43805	25,0987	0,547993	31,3977	0,0003	0,0157
575	526,42417	0,005510	0,29151516		575	526,42417	0,45537	26,0909	0,567957	32,5416	0,0003	0,0172
600	549,31217	0,005295	0,28017708		600	549,31217	0,47240	27,0665	0,587425	33,6570	0,0004	0,0187
625	572,20018	0,005097	0,26965988		625	572,20018	0,48914	28,0255	0,606402	34,7443	0,0004	0,0203
650	595,08819	0,004912	0,25988052		650	595,08819	0,50558	28,9676	0,624891	35,8037	0,0004	0,0218

		ορ. Απόσταση	2025	1775			ορ. Απόσταση	2975	2725		
z	z'		a1	a2	σ'z	σ'z/p		a1	a2	σ'z	σ'z/p
0	0		0	0	0,00000	0,00000		0	0	0,00000	0,00000
25	26,20023		0,01294	0,0148	0,00000	0,00000		0,00881	0,00961	0,00000	0,00000
50	52,40046		0,02587	0,0295	0,00000	0,00000		0,01761	0,01923	0,00000	0,00000
75	78,60068		0,03880	0,0443	0,00000	0,00001		0,02641	0,02884	0,00000	0,00000
100	104,8009		0,05171	0,0590	0,00000	0,00001		0,03521	0,03844	0,00000	0,00000
125	131,0011		0,06460	0,0737	0,00000	0,00003		0,04401	0,04804	0,00000	0,00001
150	157,2014		0,07747	0,0883	0,00000	0,00005		0,05279	0,05762	0,00000	0,00001
175	183,4016		0,09032	0,1030	0,00000	0,00008		0,06157	0,06720	0,00000	0,00001
200	209,6018		0,10314	0,1175	0,00000	0,00011		0,07034	0,07677	0,00000	0,00002
225	235,8021		0,11592	0,1321	0,00000	0,00016		0,07910	0,08632	0,00000	0,00003
250	262,0023		0,12867	0,1465	0,00000	0,00021		0,08784	0,09585	0,00000	0,00004
275	288,2025	στρωτήρας	0,14137	0,1610	0,00001	0,00028	στρωτήρας	0,09657	0,10537	0,00000	0,00006
300	314,4027	2	0,15403	0,1753	0,00001	0,00036	3	0,10529	0,11487	0,00000	0,00007
325	297,5441		0,14589	0,1661	0,00001	0,00031		0,09968	0,10876	0,00000	0,00006
350	320,4321		0,15694	0,1786	0,00001	0,00039		0,10729	0,11705	0,00000	0,00008
375	343,3201		0,16794	0,1911	0,00001	0,00047		0,11489	0,12533	0,00000	0,00010
400	366,2081		0,17891	0,2035	0,00001	0,00057		0,12248	0,13359	0,00000	0,00012
425	389,0961		0,18983	0,2158	0,00001	0,00067		0,13005	0,14183	0,00000	0,00014
450	411,9841		0,20071	0,2281	0,00001	0,00079		0,13761	0,15005	0,00000	0,00016
475	434,8721		0,21154	0,2403	0,00002	0,00092		0,14515	0,15825	0,00000	0,00019
500	457,7601		0,22232	0,2524	0,00002	0,00106		0,15267	0,16643	0,00000	0,00022
525	480,6482		0,23304	0,2644	0,00002	0,00121		0,16018	0,17459	0,00000	0,00025
550	503,5362		0,24372	0,2764	0,00003	0,00138		0,16767	0,18272	0,00001	0,00029
575	526,4242		0,25433	0,2883	0,00003	0,00156		0,17514	0,19083	0,00001	0,00033
600	549,3122		0,26489	0,3001	0,00003	0,00174		0,18259	0,19892	0,00001	0,00037
625	572,2002		0,27539	0,3118	0,00004	0,00195		0,19002	0,20697	0,00001	0,00042
650	595,0882		0,28582	0,3235	0,00004	0,00216		0,19742	0,21501	0,00001	0,00047

Συνολικές τάσεις		
z	σzt	(σz/p)t
0	0,0189	1
25	0,01883	0,996292
50	0,018414	0,97431
75	0,01757	0,929631
100	0,016433	0,869492
125	0,015187	0,80352
150	0,01396	0,738613
175	0,012822	0,678397
200	0,011798	0,624253
225	0,010893	0,57634
250	0,010097	0,534253
275	0,0094	0,49738
300	0,00879	0,465071
325	0,009173	0,48537
350	0,00866	0,458216
375	0,008202	0,433978
400	0,007793	0,412303
425	0,007425	0,392878
450	0,007096	0,375432
475	0,006799	0,359729
500	0,006531	0,345563
525	0,006289	0,332757
550	0,00607	0,321156
575	0,005871	0,310624
600	0,00569	0,301044
625	0,005525	0,292313
650	0,005374	0,284338



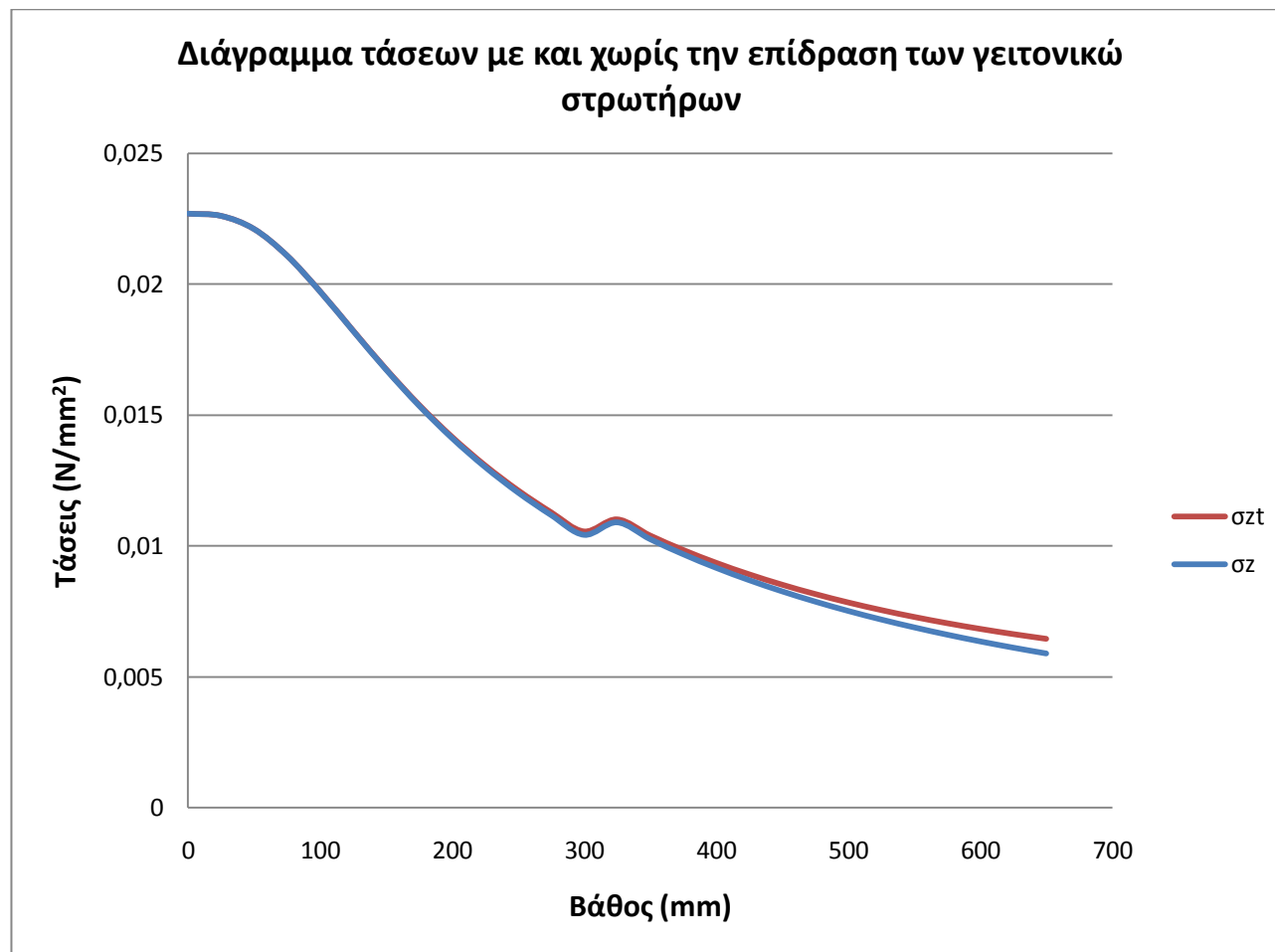
Διάγραμμα τάσεων/πιέσεων με και χωρίς την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων

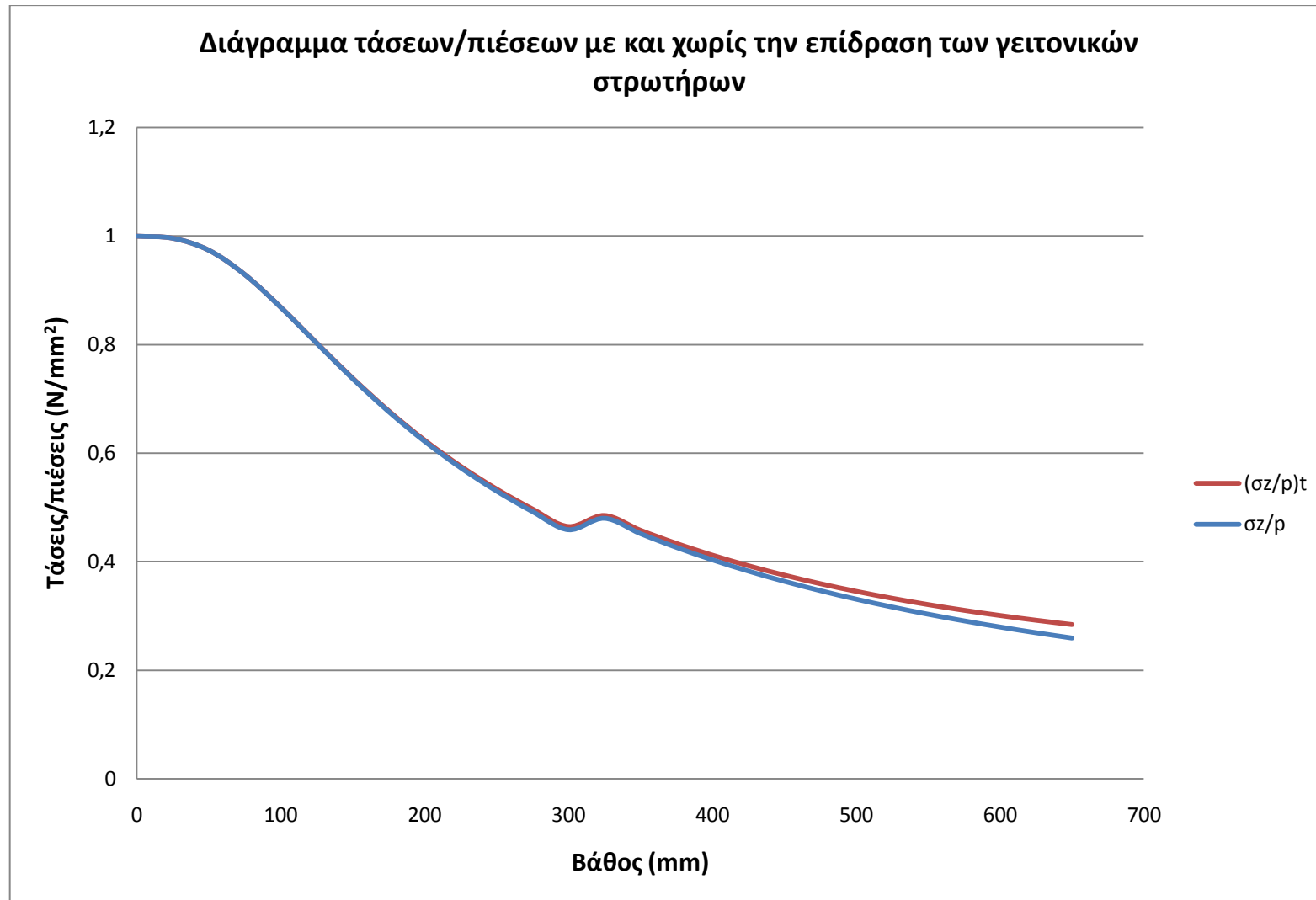


ΠΙΝΑΚΑΣ 11.25 Τάσεις και σ _z και λόγος τάσεων/πιέσεων σ _z /ρ με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις-6ος συρμός												
	π	bs	ρ(N/mm ²)							a(mm)	700	
	3,141593	250	0,0227			ορ. Απόσταση	1075		825			
z	z'	σ _z	σ _z /ρ		z	z'	a1	α1	a2	α2	σ'z	σ'z/ρ
0	0	0,0227	1		0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000
25	26,20023	0,022616	0,99628848		25	26,20023	0,02437	1,3962	0,031747	1,8190	0,0000	0,0000
50	52,40046	0,022116	0,97427802		50	52,40046	0,04871	2,7907	0,063430	3,6343	0,0000	0,0000
75	78,60068	0,021100	0,92952445		75	78,60068	0,07299	4,1819	0,094987	5,4424	0,0000	0,0001
100	104,80091	0,019732	0,86924321		100	104,80091	0,09718	5,5681	0,126355	7,2396	0,0000	0,0002
125	131,00114	0,018229	0,80303934		125	131,00114	0,12126	6,9479	0,157475	9,0226	0,0000	0,0004
150	157,20137	0,016748	0,73779677		150	157,20137	0,14520	8,3196	0,188290	10,7882	0,0000	0,0008
175	183,40160	0,015371	0,67712565		175	183,40160	0,16898	9,6818	0,218748	12,5333	0,0000	0,0012
200	209,60182	0,014128	0,62239569		200	209,60182	0,19256	11,0330	0,248799	14,2551	0,0000	0,0017
225	235,80205	0,013024	0,57375919		225	235,80205	0,21593	12,3719	0,278398	15,9510	0,0001	0,0024
250	262,00228	0,012049	0,53080753		250	262,00228	0,23906	13,6973	0,307505	17,6187	0,0001	0,0032
275	288,20251	0,011189	0,49292619	στρωτήρας	275	288,20251	0,26194	15,0078	0,336083	19,2562	0,0001	0,0041
300	314,40274	0,010430	0,45946749	1	300	314,40274	0,28453	16,3025	0,364103	20,8616	0,0001	0,0052
325	297,54409	0,010908	0,48052202		325	297,54409	0,27003	15,4713	0,346139	19,8323	0,0001	0,0045
350	320,43210	0,010268	0,45232872		350	320,43210	0,28969	16,5981	0,370469	21,2263	0,0001	0,0054
375	343,32011	0,009692	0,4269484		375	343,32011	0,30913	17,7118	0,394347	22,5944	0,0001	0,0065
400	366,20812	0,009172	0,4040322		400	366,20812	0,32833	18,8119	0,417760	23,9359	0,0002	0,0076
425	389,09612	0,008700	0,38327464		425	389,09612	0,34728	19,8977	0,440696	25,2501	0,0002	0,0088
450	411,98413	0,008272	0,36441079		450	411,98413	0,36598	20,9689	0,463147	26,5364	0,0002	0,0101
475	434,87214	0,007882	0,34721201		475	434,87214	0,38441	22,0249	0,485106	27,7945	0,0003	0,0114
500	457,76015	0,007525	0,33148139		500	457,76015	0,40257	23,0655	0,506567	29,0242	0,0003	0,0128
525	480,64815	0,007197	0,31704927		525	480,64815	0,42045	24,0901	0,527530	30,2253	0,0003	0,0142
550	503,53616	0,006896	0,30376935		550	503,53616	0,43805	25,0987	0,547993	31,3977	0,0004	0,0157
575	526,42417	0,006617	0,29151516		575	526,42417	0,45537	26,0909	0,567957	32,5416	0,0004	0,0172
600	549,31217	0,006360	0,28017708		600	549,31217	0,47240	27,0665	0,587425	33,6570	0,0004	0,0187
625	572,20018	0,006121	0,26965988		625	572,20018	0,48914	28,0255	0,606402	34,7443	0,0005	0,0203
650	595,08819	0,005899	0,25988052		650	595,08819	0,50558	28,9676	0,624891	35,8037	0,0005	0,0218

		ορ. Απόσταση	2025	1775			ορ. Απόσταση	2975	2725		
z	z'		a1	a2	σ' z	σ' z/p		a1	a2	σ' z	σ' z/p
0	0		0	0	0,00000	0,00000		0	0	0,00000	0,00000
25	26,20023		0,01294	0,0148	0,00000	0,00000		0,00881	0,00961	0,00000	0,00000
50	52,40046		0,02587	0,0295	0,00000	0,00000		0,01761	0,01923	0,00000	0,00000
75	78,60068		0,03880	0,0443	0,00000	0,00001		0,02641	0,02884	0,00000	0,00000
100	104,8009		0,05171	0,0590	0,00000	0,00001		0,03521	0,03844	0,00000	0,00000
125	131,0011		0,06460	0,0737	0,00000	0,00003		0,04401	0,04804	0,00000	0,00001
150	157,2014		0,07747	0,0883	0,00000	0,00005		0,05279	0,05762	0,00000	0,00001
175	183,4016		0,09032	0,1030	0,00000	0,00008		0,06157	0,06720	0,00000	0,00001
200	209,6018		0,10314	0,1175	0,00000	0,00011		0,07034	0,07677	0,00000	0,00002
225	235,8021		0,11592	0,1321	0,00000	0,00016		0,07910	0,08632	0,00000	0,00003
250	262,0023		0,12867	0,1465	0,00000	0,00021		0,08784	0,09585	0,00000	0,00004
275	288,2025	στρωτήρας	0,14137	0,1610	0,00001	0,00028	στρωτήρας	0,09657	0,10537	0,00000	0,00006
300	314,4027	2	0,15403	0,1753	0,00001	0,00036	3	0,10529	0,11487	0,00000	0,00007
325	297,5441		0,14589	0,1661	0,00001	0,00031		0,09968	0,10876	0,00000	0,00006
350	320,4321		0,15694	0,1786	0,00001	0,00039		0,10729	0,11705	0,00000	0,00008
375	343,3201		0,16794	0,1911	0,00001	0,00047		0,11489	0,12533	0,00000	0,00010
400	366,2081		0,17891	0,2035	0,00001	0,00057		0,12248	0,13359	0,00000	0,00012
425	389,0961		0,18983	0,2158	0,00002	0,00067		0,13005	0,14183	0,00000	0,00014
450	411,9841		0,20071	0,2281	0,00002	0,00079		0,13761	0,15005	0,00000	0,00016
475	434,8721		0,21154	0,2403	0,00002	0,00092		0,14515	0,15825	0,00000	0,00019
500	457,7601		0,22232	0,2524	0,00002	0,00106		0,15267	0,16643	0,00001	0,00022
525	480,6482		0,23304	0,2644	0,00003	0,00121		0,16018	0,17459	0,00001	0,00025
550	503,5362		0,24372	0,2764	0,00003	0,00138		0,16767	0,18272	0,00001	0,00029
575	526,4242		0,25433	0,2883	0,00004	0,00156		0,17514	0,19083	0,00001	0,00033
600	549,3122		0,26489	0,3001	0,00004	0,00174		0,18259	0,19892	0,00001	0,00037
625	572,2002		0,27539	0,3118	0,00004	0,00195		0,19002	0,20697	0,00001	0,00042
650	595,0882		0,28582	0,3235	0,00005	0,00216		0,19742	0,21501	0,00001	0,00047

Συνολικές τάσεις		
z	σzt	(σz/p)t
0	0,0189	1
25	0,01883	0,996292
50	0,018414	0,97431
75	0,01757	0,929631
100	0,016433	0,869492
125	0,015187	0,80352
150	0,01396	0,738613
175	0,012822	0,678397
200	0,011798	0,624253
225	0,010893	0,57634
250	0,010097	0,534253
275	0,0094	0,49738
300	0,00879	0,465071
325	0,009173	0,48537
350	0,00866	0,458216
375	0,008202	0,433978
400	0,007793	0,412303
425	0,007425	0,392878
450	0,007096	0,375432
475	0,006799	0,359729
500	0,006531	0,345563
525	0,006289	0,332757
550	0,00607	0,321156
575	0,005871	0,310624
600	0,00569	0,301044
625	0,005525	0,292313
650	0,005374	0,284338

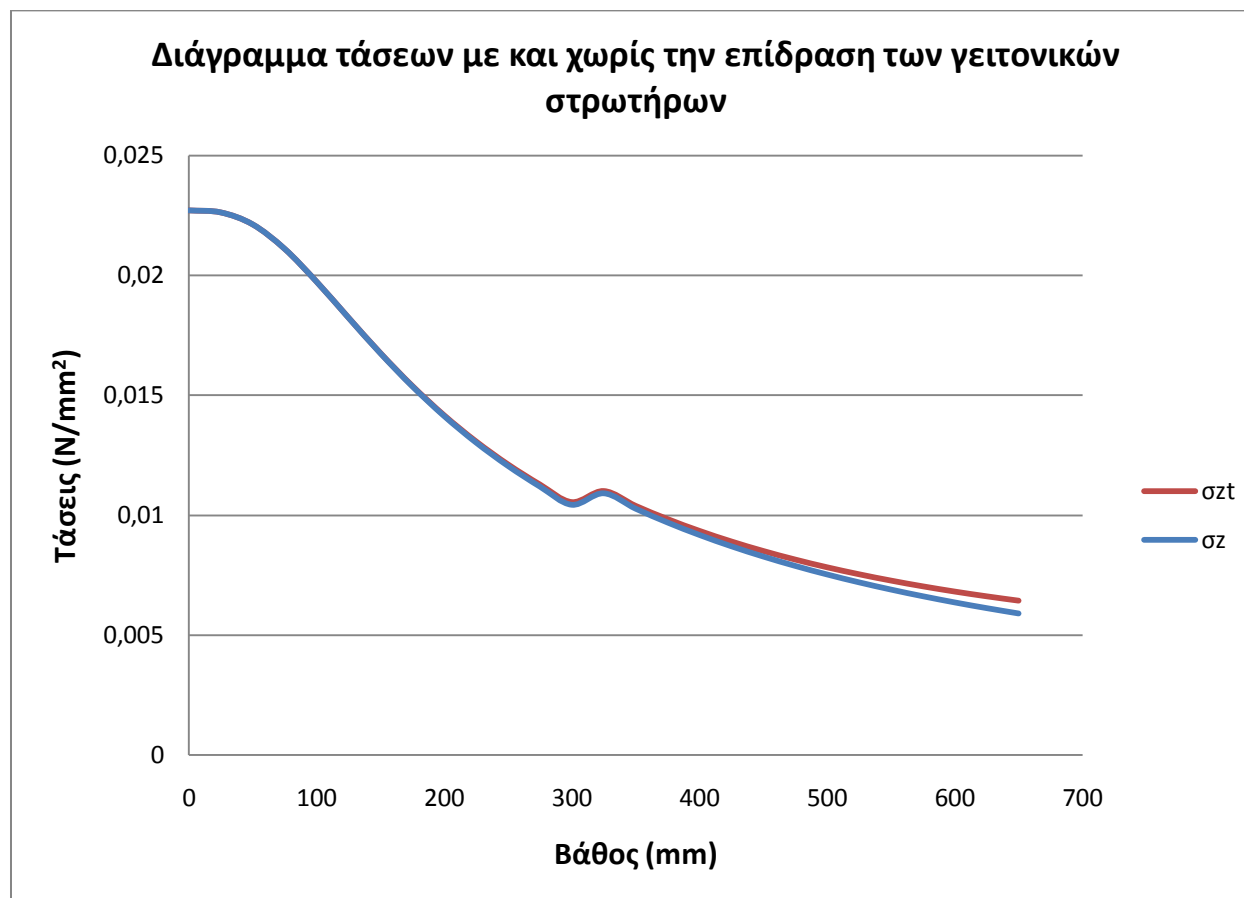


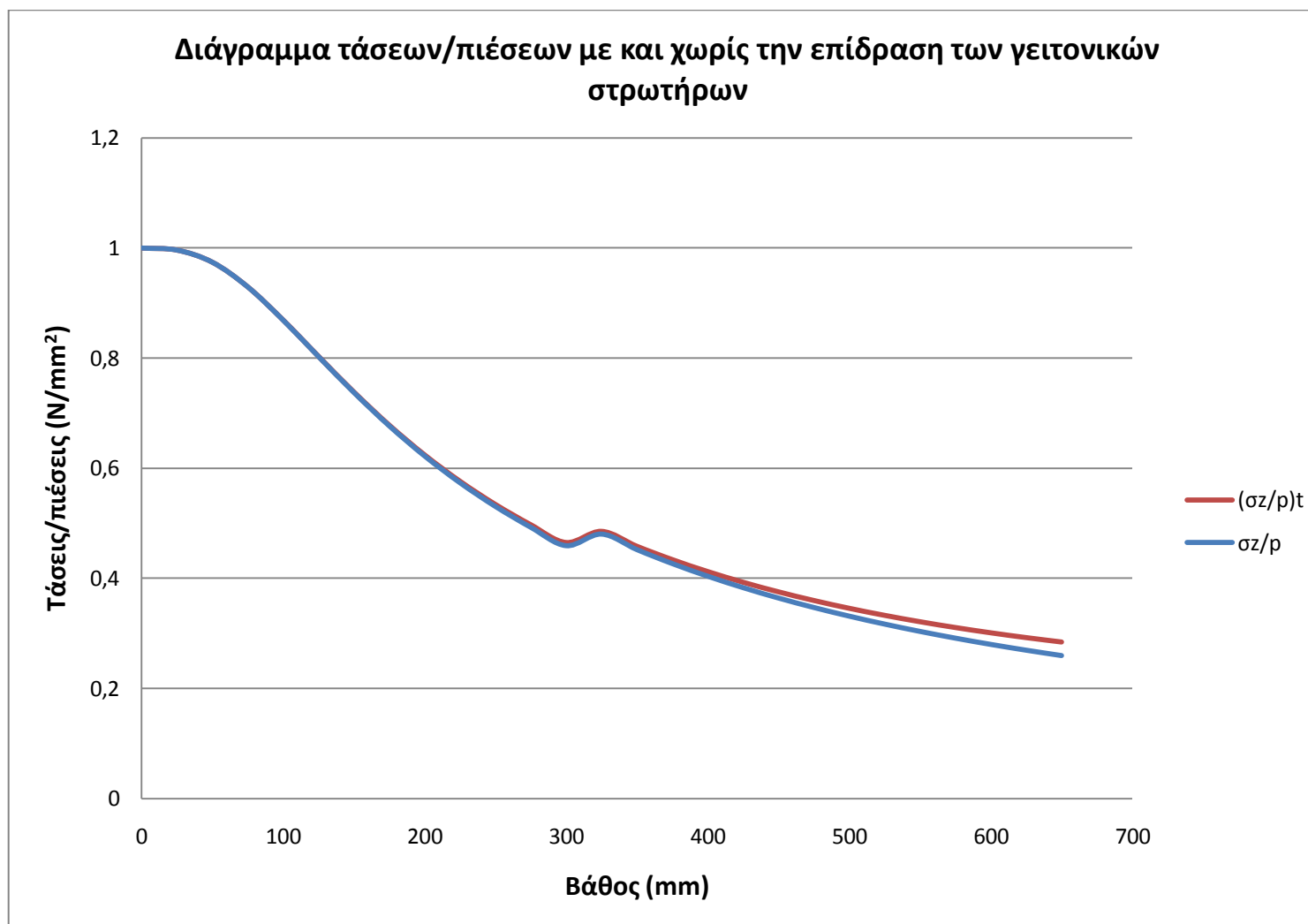


ΠΙΝΑΚΑΣ 11.26 Τάσεις και σ _z και λόγος τάσεων/πιέσεων σ _z /ρ με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις-6ος συρμός												
	π	bs	ρ(N/mm ²)							a(mm)	700	
	3,141593	250	0,0227			ορ. Απόσταση	1075		825			
z	z'	σ _z	σ _z /ρ		z	z'	a1	α1	a2	α2	σ'z	σ'z/ρ
0	0	0,0227	1		0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000
25	26,20023	0,022616	0,99628848		25	26,20023	0,02437	1,3962	0,031747	1,8190	0,0000	0,0000
50	52,40046	0,022116	0,97427802		50	52,40046	0,04871	2,7907	0,063430	3,6343	0,0000	0,0000
75	78,60068	0,021100	0,92952445		75	78,60068	0,07299	4,1819	0,094987	5,4424	0,0000	0,0001
100	104,80091	0,019732	0,86924321		100	104,80091	0,09718	5,5681	0,126355	7,2396	0,0000	0,0002
125	131,00114	0,018229	0,80303934		125	131,00114	0,12126	6,9479	0,157475	9,0226	0,0000	0,0004
150	157,20137	0,016748	0,73779677		150	157,20137	0,14520	8,3196	0,188290	10,7882	0,0000	0,0008
175	183,40160	0,015371	0,67712565		175	183,40160	0,16898	9,6818	0,218748	12,5333	0,0000	0,0012
200	209,60182	0,014128	0,62239569		200	209,60182	0,19256	11,0330	0,248799	14,2551	0,0000	0,0017
225	235,80205	0,013024	0,57375919		225	235,80205	0,21593	12,3719	0,278398	15,9510	0,0001	0,0024
250	262,00228	0,012049	0,53080753		250	262,00228	0,23906	13,6973	0,307505	17,6187	0,0001	0,0032
275	288,20251	0,011189	0,49292619	στρωτήρας	275	288,20251	0,26194	15,0078	0,336083	19,2562	0,0001	0,0041
300	314,40274	0,010430	0,45946749	1	300	314,40274	0,28453	16,3025	0,364103	20,8616	0,0001	0,0052
325	297,54409	0,010908	0,48052202		325	297,54409	0,27003	15,4713	0,346139	19,8323	0,0001	0,0045
350	320,43210	0,010268	0,45232872		350	320,43210	0,28969	16,5981	0,370469	21,2263	0,0001	0,0054
375	343,32011	0,009692	0,4269484		375	343,32011	0,30913	17,7118	0,394347	22,5944	0,0001	0,0065
400	366,20812	0,009172	0,4040322		400	366,20812	0,32833	18,8119	0,417760	23,9359	0,0002	0,0076
425	389,09612	0,008700	0,38327464		425	389,09612	0,34728	19,8977	0,440696	25,2501	0,0002	0,0088
450	411,98413	0,008272	0,36441079		450	411,98413	0,36598	20,9689	0,463147	26,5364	0,0002	0,0101
475	434,87214	0,007882	0,34721201		475	434,87214	0,38441	22,0249	0,485106	27,7945	0,0003	0,0114
500	457,76015	0,007525	0,33148139		500	457,76015	0,40257	23,0655	0,506567	29,0242	0,0003	0,0128
525	480,64815	0,007197	0,31704927		525	480,64815	0,42045	24,0901	0,527530	30,2253	0,0003	0,0142
550	503,53616	0,006896	0,30376935		550	503,53616	0,43805	25,0987	0,547993	31,3977	0,0004	0,0157
575	526,42417	0,006617	0,29151516		575	526,42417	0,45537	26,0909	0,567957	32,5416	0,0004	0,0172
600	549,31217	0,006360	0,28017708		600	549,31217	0,47240	27,0665	0,587425	33,6570	0,0004	0,0187
625	572,20018	0,006121	0,26965988		625	572,20018	0,48914	28,0255	0,606402	34,7443	0,0005	0,0203
650	595,08819	0,005899	0,25988052		650	595,08819	0,50558	28,9676	0,624891	35,8037	0,0005	0,0218

		ορ. Απόσταση	2025	1775			ορ. Απόσταση	2975	2725		
z	z'		a1	a2	σ'z	σ'z/p		a1	a2	σ'z	σ'z/p
0	0		0	0	0,00000	0,00000		0	0	0,00000	0,00000
25	26,20023		0,01294	0,0148	0,00000	0,00000		0,00881	0,00961	0,00000	0,00000
50	52,40046		0,02587	0,0295	0,00000	0,00000		0,01761	0,01923	0,00000	0,00000
75	78,60068		0,03880	0,0443	0,00000	0,00001		0,02641	0,02884	0,00000	0,00000
100	104,8009		0,05171	0,0590	0,00000	0,00001		0,03521	0,03844	0,00000	0,00000
125	131,0011		0,06460	0,0737	0,00000	0,00003		0,04401	0,04804	0,00000	0,00001
150	157,2014		0,07747	0,0883	0,00000	0,00005		0,05279	0,05762	0,00000	0,00001
175	183,4016		0,09032	0,1030	0,00000	0,00008		0,06157	0,06720	0,00000	0,00001
200	209,6018		0,10314	0,1175	0,00000	0,00011		0,07034	0,07677	0,00000	0,00002
225	235,8021		0,11592	0,1321	0,00000	0,00016		0,07910	0,08632	0,00000	0,00003
250	262,0023		0,12867	0,1465	0,00000	0,00021		0,08784	0,09585	0,00000	0,00004
275	288,2025	στρωτήρας	0,14137	0,1610	0,00001	0,00028	στρωτήρας	0,09657	0,10537	0,00000	0,00006
300	314,4027	2	0,15403	0,1753	0,00001	0,00036	3	0,10529	0,11487	0,00000	0,00007
325	297,5441		0,14589	0,1661	0,00001	0,00031		0,09968	0,10876	0,00000	0,00006
350	320,4321		0,15694	0,1786	0,00001	0,00039		0,10729	0,11705	0,00000	0,00008
375	343,3201		0,16794	0,1911	0,00001	0,00047		0,11489	0,12533	0,00000	0,00010
400	366,2081		0,17891	0,2035	0,00001	0,00057		0,12248	0,13359	0,00000	0,00012
425	389,0961		0,18983	0,2158	0,00002	0,00067		0,13005	0,14183	0,00000	0,00014
450	411,9841		0,20071	0,2281	0,00002	0,00079		0,13761	0,15005	0,00000	0,00016
475	434,8721		0,21154	0,2403	0,00002	0,00092		0,14515	0,15825	0,00000	0,00019
500	457,7601		0,22232	0,2524	0,00002	0,00106		0,15267	0,16643	0,00001	0,00022
525	480,6482		0,23304	0,2644	0,00003	0,00121		0,16018	0,17459	0,00001	0,00025
550	503,5362		0,24372	0,2764	0,00003	0,00138		0,16767	0,18272	0,00001	0,00029
575	526,4242		0,25433	0,2883	0,00004	0,00156		0,17514	0,19083	0,00001	0,00033
600	549,3122		0,26489	0,3001	0,00004	0,00174		0,18259	0,19892	0,00001	0,00037
625	572,2002		0,27539	0,3118	0,00004	0,00195		0,19002	0,20697	0,00001	0,00042
650	595,0882		0,28582	0,3235	0,00005	0,00216		0,19742	0,21501	0,00001	0,00047

Συνολικές τάσεις		
z	σ _{zt}	(σ _z /p)t
0	0,0227	1
25	0,022616	0,996292
50	0,022117	0,97431
75	0,021103	0,929631
100	0,019737	0,869492
125	0,01824	0,80352
150	0,016767	0,738613
175	0,0154	0,678397
200	0,014171	0,624253
225	0,013083	0,57634
250	0,012128	0,534253
275	0,011291	0,49738
300	0,010557	0,465071
325	0,011018	0,48537
350	0,010402	0,458216
375	0,009851	0,433978
400	0,009359	0,412303
425	0,008918	0,392878
450	0,008522	0,375432
475	0,008166	0,359729
500	0,007844	0,345563
525	0,007554	0,332757
550	0,00729	0,321156
575	0,007051	0,310624
600	0,006834	0,301044
625	0,006635	0,292313
650	0,006454	0,284338

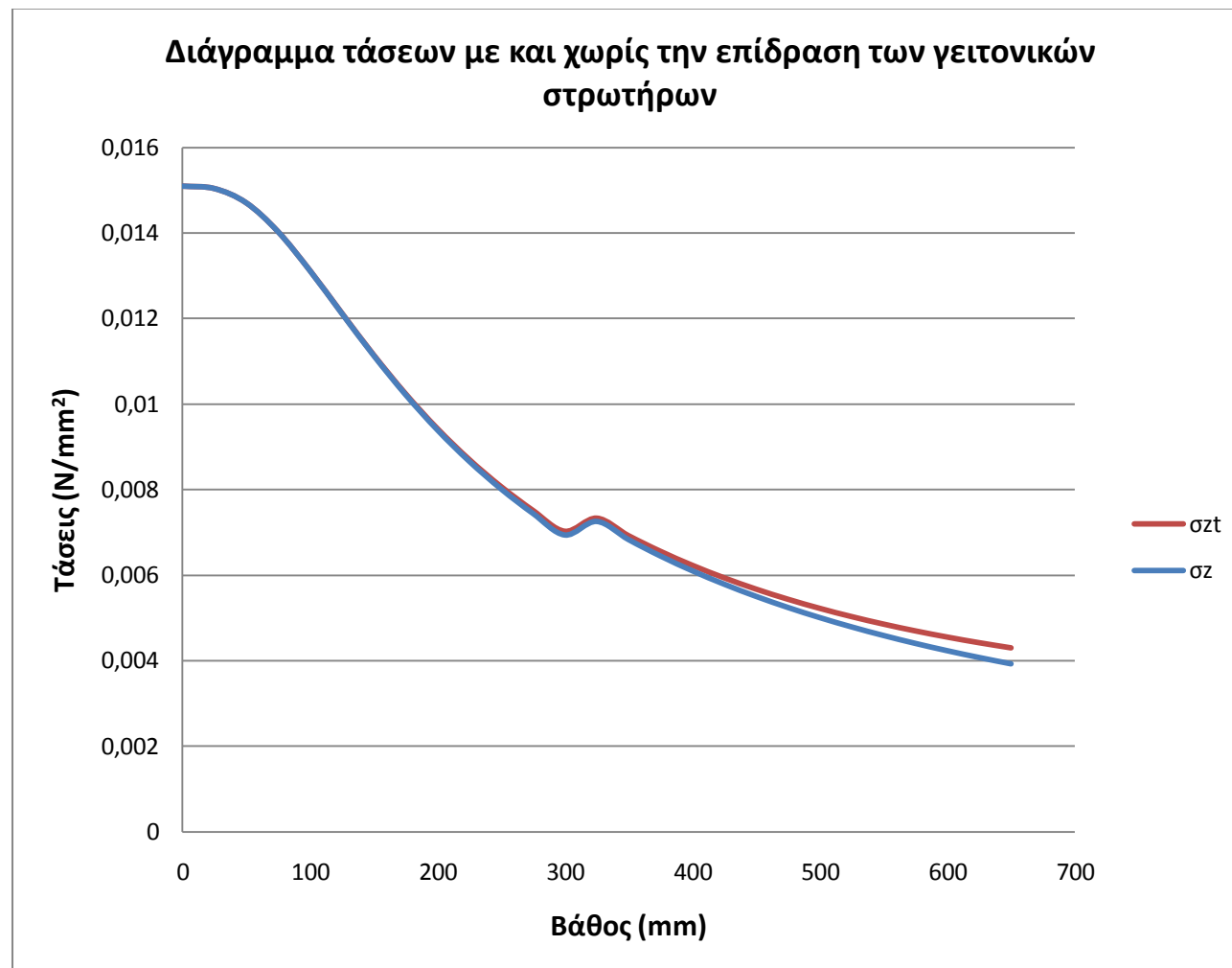


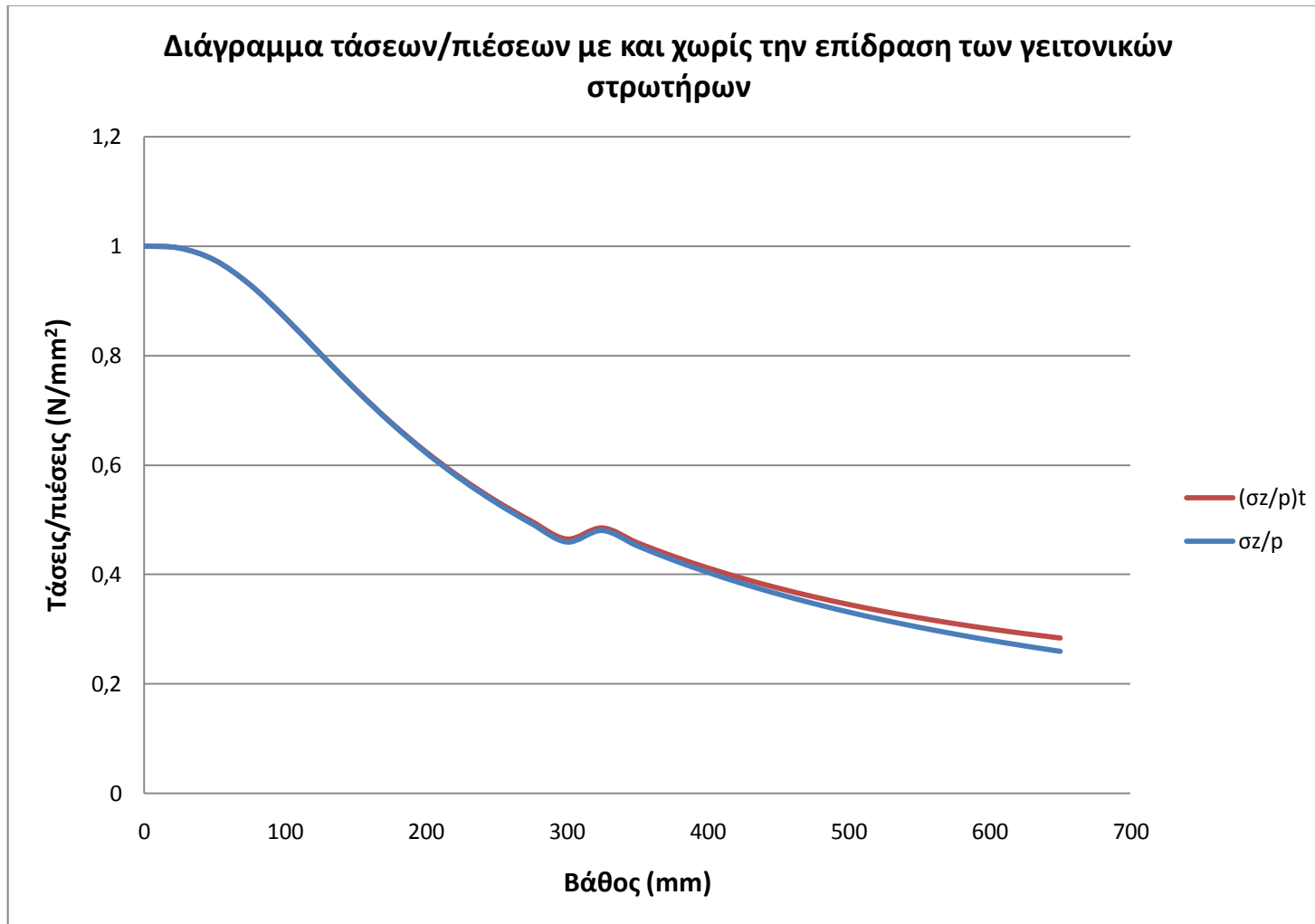


ΠΙΝΑΚΑΣ 11.27 Τάσεις και σ _z και λόγος τάσεων/πιέσεων σ _z /ρ με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις-7ος συρμός												
	π	bs	p(N/mm2)							a(mm)	700	
	3,141593	250	0,0151			ορ. Απόσταση	1075		825			
z	z'	σ _z	σ _z /ρ		z	z'	a1	α1	a2	α2	σ'z	σ'z/ρ
0	0	0,0151	1		0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000
25	26,20023	0,015044	0,99628848		25	26,20023	0,02437	1,3962	0,031747	1,8190	0,0000	0,0000
50	52,40046	0,014712	0,97427802		50	52,40046	0,04871	2,7907	0,063430	3,6343	0,0000	0,0000
75	78,60068	0,014036	0,92952445		75	78,60068	0,07299	4,1819	0,094987	5,4424	0,0000	0,0001
100	104,80091	0,013126	0,86924321		100	104,80091	0,09718	5,5681	0,126355	7,2396	0,0000	0,0002
125	131,00114	0,012126	0,80303934		125	131,00114	0,12126	6,9479	0,157475	9,0226	0,0000	0,0004
150	157,20137	0,011141	0,73779677		150	157,20137	0,14520	8,3196	0,188290	10,7882	0,0000	0,0008
175	183,40160	0,010225	0,67712565		175	183,40160	0,16898	9,6818	0,218748	12,5333	0,0000	0,0012
200	209,60182	0,009398	0,62239569		200	209,60182	0,19256	11,0330	0,248799	14,2551	0,0000	0,0017
225	235,80205	0,008664	0,57375919		225	235,80205	0,21593	12,3719	0,278398	15,9510	0,0000	0,0024
250	262,00228	0,008015	0,53080753		250	262,00228	0,23906	13,6973	0,307505	17,6187	0,0000	0,0032
275	288,20251	0,007443	0,49292619	στρωτήρας	275	288,20251	0,26194	15,0078	0,336083	19,2562	0,0001	0,0041
300	314,40274	0,006938	0,45946749	1	300	314,40274	0,28453	16,3025	0,364103	20,8616	0,0001	0,0052
325	297,54409	0,007256	0,48052202		325	297,54409	0,27003	15,4713	0,346139	19,8323	0,0001	0,0045
350	320,43210	0,006830	0,45232872		350	320,43210	0,28969	16,5981	0,370469	21,2263	0,0001	0,0054
375	343,32011	0,006447	0,4269484		375	343,32011	0,30913	17,7118	0,394347	22,5944	0,0001	0,0065
400	366,20812	0,006101	0,4040322		400	366,20812	0,32833	18,8119	0,417760	23,9359	0,0001	0,0076
425	389,09612	0,005787	0,38327464		425	389,09612	0,34728	19,8977	0,440696	25,2501	0,0001	0,0088
450	411,98413	0,005503	0,36441079		450	411,98413	0,36598	20,9689	0,463147	26,5364	0,0002	0,0101
475	434,87214	0,005243	0,34721201		475	434,87214	0,38441	22,0249	0,485106	27,7945	0,0002	0,0114
500	457,76015	0,005005	0,33148139		500	457,76015	0,40257	23,0655	0,506567	29,0242	0,0002	0,0128
525	480,64815	0,004787	0,31704927		525	480,64815	0,42045	24,0901	0,527530	30,2253	0,0002	0,0142
550	503,53616	0,004587	0,30376935		550	503,53616	0,43805	25,0987	0,547993	31,3977	0,0002	0,0157
575	526,42417	0,004402	0,29151516		575	526,42417	0,45537	26,0909	0,567957	32,5416	0,0003	0,0172
600	549,31217	0,004231	0,28017708		600	549,31217	0,47240	27,0665	0,587425	33,6570	0,0003	0,0187
625	572,20018	0,004072	0,26965988		625	572,20018	0,48914	28,0255	0,606402	34,7443	0,0003	0,0203
650	595,08819	0,003924	0,25988052		650	595,08819	0,50558	28,9676	0,624891	35,8037	0,0003	0,0218

		ορ. Απόσταση	2025	1775			ορ. Απόσταση	2975	2725		
z	z'		a1	a2	σ'z	σ'z/p		a1	a2	σ'z	σ'z/p
0	0		0	0	0,00000	0,00000		0	0	0,00000	0,00000
25	26,20023		0,01294	0,0148	0,00000	0,00000		0,00881	0,00961	0,00000	0,00000
50	52,40046		0,02587	0,0295	0,00000	0,00000		0,01761	0,01923	0,00000	0,00000
75	78,60068		0,03880	0,0443	0,00000	0,00001		0,02641	0,02884	0,00000	0,00000
100	104,8009		0,05171	0,0590	0,00000	0,00001		0,03521	0,03844	0,00000	0,00000
125	131,0011		0,06460	0,0737	0,00000	0,00003		0,04401	0,04804	0,00000	0,00001
150	157,2014		0,07747	0,0883	0,00000	0,00005		0,05279	0,05762	0,00000	0,00001
175	183,4016		0,09032	0,1030	0,00000	0,00008		0,06157	0,06720	0,00000	0,00001
200	209,6018		0,10314	0,1175	0,00000	0,00011		0,07034	0,07677	0,00000	0,00002
225	235,8021		0,11592	0,1321	0,00000	0,00016		0,07910	0,08632	0,00000	0,00003
250	262,0023		0,12867	0,1465	0,00000	0,00021		0,08784	0,09585	0,00000	0,00004
275	288,2025	στρωτήρας	0,14137	0,1610	0,00000	0,00028	στρωτήρας	0,09657	0,10537	0,00000	0,00006
300	314,4027	2	0,15403	0,1753	0,00001	0,00036	3	0,10529	0,11487	0,00000	0,00007
325	297,5441		0,14589	0,1661	0,00000	0,00031		0,09968	0,10876	0,00000	0,00006
350	320,4321		0,15694	0,1786	0,00001	0,00039		0,10729	0,11705	0,00000	0,00008
375	343,3201		0,16794	0,1911	0,00001	0,00047		0,11489	0,12533	0,00000	0,00010
400	366,2081		0,17891	0,2035	0,00001	0,00057		0,12248	0,13359	0,00000	0,00012
425	389,0961		0,18983	0,2158	0,00001	0,00067		0,13005	0,14183	0,00000	0,00014
450	411,9841		0,20071	0,2281	0,00001	0,00079		0,13761	0,15005	0,00000	0,00016
475	434,8721		0,21154	0,2403	0,00001	0,00092		0,14515	0,15825	0,00000	0,00019
500	457,7601		0,22232	0,2524	0,00002	0,00106		0,15267	0,16643	0,00000	0,00022
525	480,6482		0,23304	0,2644	0,00002	0,00121		0,16018	0,17459	0,00000	0,00025
550	503,5362		0,24372	0,2764	0,00002	0,00138		0,16767	0,18272	0,00000	0,00029
575	526,4242		0,25433	0,2883	0,00002	0,00156		0,17514	0,19083	0,00000	0,00033
600	549,3122		0,26489	0,3001	0,00003	0,00174		0,18259	0,19892	0,00001	0,00037
625	572,2002		0,27539	0,3118	0,00003	0,00195		0,19002	0,20697	0,00001	0,00042
650	595,0882		0,28582	0,3235	0,00003	0,00216		0,19742	0,21501	0,00001	0,00047

Συνολικές τάσεις		
z	σzt	(σz/ρ)t
0	0,0151	1
25	0,015044	0,996292
50	0,014712	0,97431
75	0,014037	0,929631
100	0,013129	0,869492
125	0,012133	0,80352
150	0,011153	0,738613
175	0,010244	0,678397
200	0,009426	0,624253
225	0,008703	0,57634
250	0,008067	0,534253
275	0,00751	0,49738
300	0,007023	0,465071
325	0,007329	0,48537
350	0,006919	0,458216
375	0,006553	0,433978
400	0,006226	0,412303
425	0,005932	0,392878
450	0,005669	0,375432
475	0,005432	0,359729
500	0,005218	0,345563
525	0,005025	0,332757
550	0,004849	0,321156
575	0,00469	0,310624
600	0,004546	0,301044
625	0,004414	0,292313
650	0,004294	0,284338

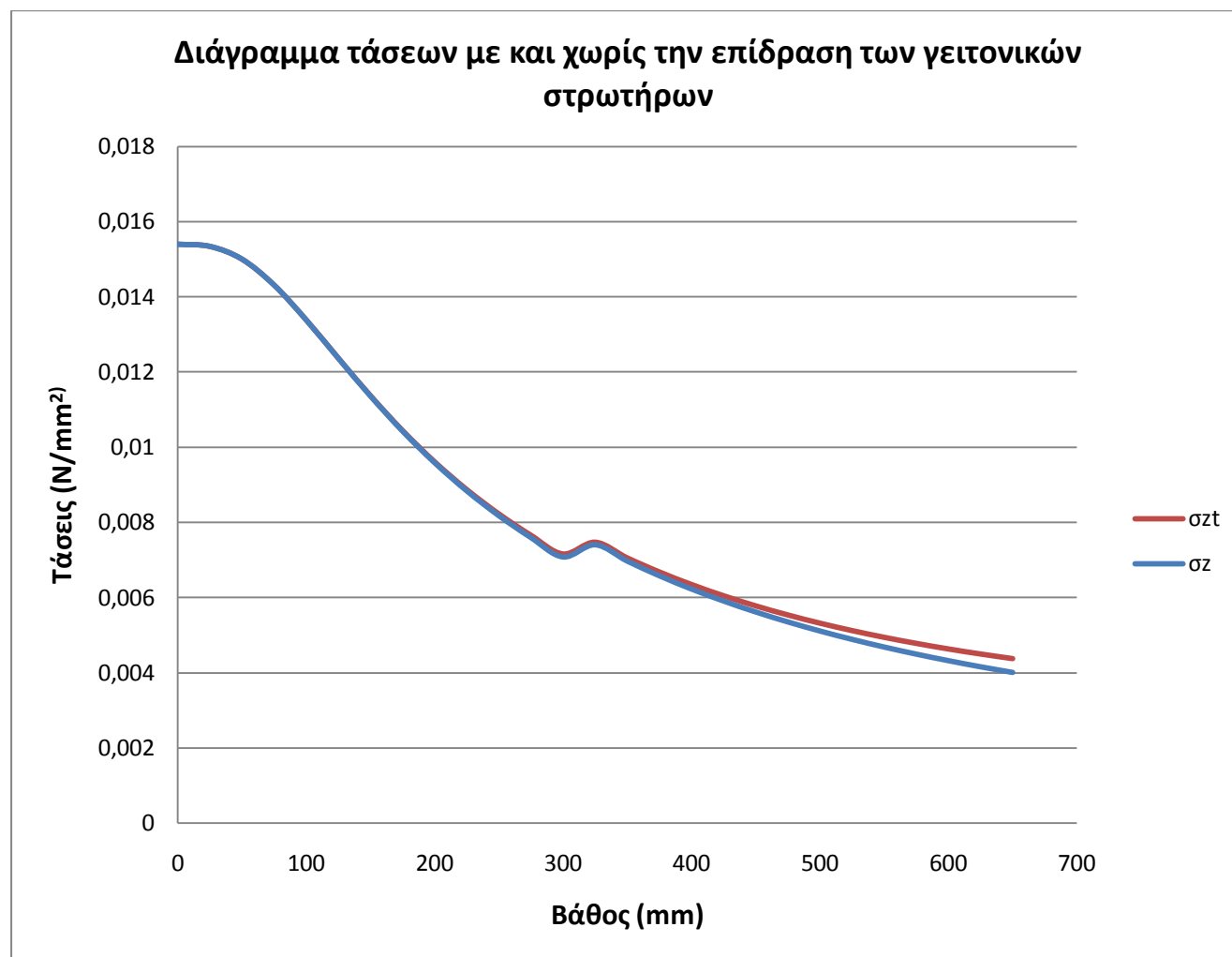


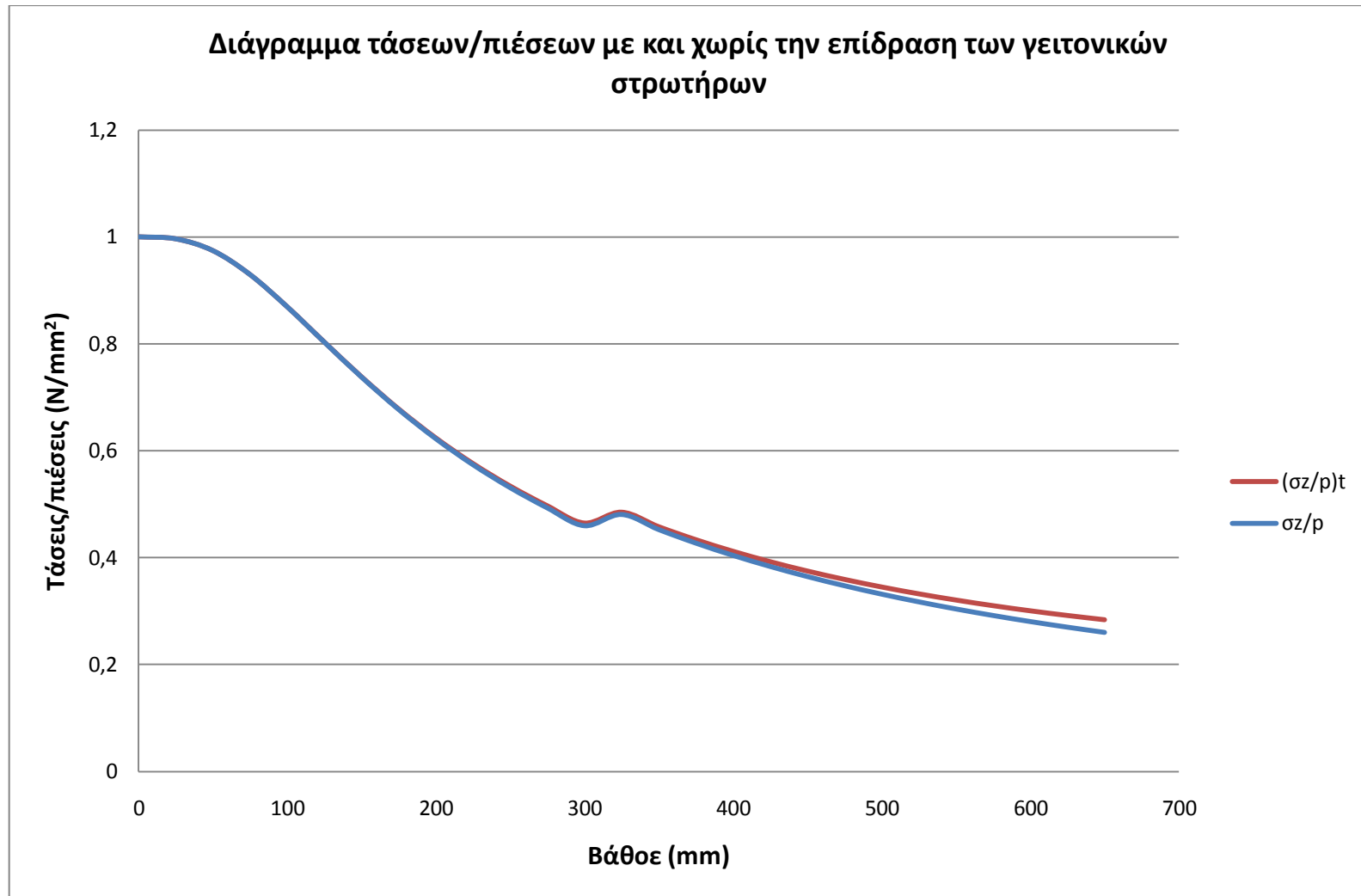


ΠΙΝΑΚΑΣ 11.28 Τάσεις και σ _z και λόγος τάσεων/πιέσεων σ _z /ρ με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις-8ος συρμός												
	π	bs	ρ(N/mm ²)							a(mm)	700	
	3,141593	250	0,0154			ορ. Απόσταση	1075		825			
z	z'	σ _z	σ _z /ρ		z	z'	a1	α1	a2	α2	σ'z	σ'z/ρ
0	0	0,0154	1		0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000
25	26,20023	0,015343	0,99628848		25	26,20023	0,02437	1,3962	0,031747	1,8190	0,0000	0,0000
50	52,40046	0,015004	0,97427802		50	52,40046	0,04871	2,7907	0,063430	3,6343	0,0000	0,0000
75	78,60068	0,014315	0,92952445		75	78,60068	0,07299	4,1819	0,094987	5,4424	0,0000	0,0001
100	104,80091	0,013386	0,86924321		100	104,80091	0,09718	5,5681	0,126355	7,2396	0,0000	0,0002
125	131,00114	0,012367	0,80303934		125	131,00114	0,12126	6,9479	0,157475	9,0226	0,0000	0,0004
150	157,20137	0,011362	0,73779677		150	157,20137	0,14520	8,3196	0,188290	10,7882	0,0000	0,0008
175	183,40160	0,010428	0,67712565		175	183,40160	0,16898	9,6818	0,218748	12,5333	0,0000	0,0012
200	209,60182	0,009585	0,62239569		200	209,60182	0,19256	11,0330	0,248799	14,2551	0,0000	0,0017
225	235,80205	0,008836	0,57375919		225	235,80205	0,21593	12,3719	0,278398	15,9510	0,0000	0,0024
250	262,00228	0,008174	0,53080753		250	262,00228	0,23906	13,6973	0,307505	17,6187	0,0000	0,0032
275	288,20251	0,007591	0,49292619	στρωτήρας	275	288,20251	0,26194	15,0078	0,336083	19,2562	0,0001	0,0041
300	314,40274	0,007076	0,45946749	1	300	314,40274	0,28453	16,3025	0,364103	20,8616	0,0001	0,0052
325	297,54409	0,007400	0,48052202		325	297,54409	0,27003	15,4713	0,346139	19,8323	0,0001	0,0045
350	320,43210	0,006966	0,45232872		350	320,43210	0,28969	16,5981	0,370469	21,2263	0,0001	0,0054
375	343,32011	0,006575	0,4269484		375	343,32011	0,30913	17,7118	0,394347	22,5944	0,0001	0,0065
400	366,20812	0,006222	0,4040322		400	366,20812	0,32833	18,8119	0,417760	23,9359	0,0001	0,0076
425	389,09612	0,005902	0,38327464		425	389,09612	0,34728	19,8977	0,440696	25,2501	0,0001	0,0088
450	411,98413	0,005612	0,36441079		450	411,98413	0,36598	20,9689	0,463147	26,5364	0,0002	0,0101
475	434,87214	0,005347	0,34721201		475	434,87214	0,38441	22,0249	0,485106	27,7945	0,0002	0,0114
500	457,76015	0,005105	0,33148139		500	457,76015	0,40257	23,0655	0,506567	29,0242	0,0002	0,0128
525	480,64815	0,004883	0,31704927		525	480,64815	0,42045	24,0901	0,527530	30,2253	0,0002	0,0142
550	503,53616	0,004678	0,30376935		550	503,53616	0,43805	25,0987	0,547993	31,3977	0,0002	0,0157
575	526,42417	0,004489	0,29151516		575	526,42417	0,45537	26,0909	0,567957	32,5416	0,0003	0,0172
600	549,31217	0,004315	0,28017708		600	549,31217	0,47240	27,0665	0,587425	33,6570	0,0003	0,0187
625	572,20018	0,004153	0,26965988		625	572,20018	0,48914	28,0255	0,606402	34,7443	0,0003	0,0203
650	595,08819	0,004002	0,25988052		650	595,08819	0,50558	28,9676	0,624891	35,8037	0,0003	0,0218

		ορ. Απόσταση	2025	1775			ορ. Απόσταση	2975	2725		
z	z'		a1	a2	σ'z	σ'z/p		a1	a2	σ'z	σ'z/p
0	0		0	0	0,00000	0,00000		0	0	0,00000	0,00000
25	26,20023		0,01294	0,0148	0,00000	0,00000		0,00881	0,00961	0,00000	0,00000
50	52,40046		0,02587	0,0295	0,00000	0,00000		0,01761	0,01923	0,00000	0,00000
75	78,60068		0,03880	0,0443	0,00000	0,00001		0,02641	0,02884	0,00000	0,00000
100	104,8009		0,05171	0,0590	0,00000	0,00001		0,03521	0,03844	0,00000	0,00000
125	131,0011		0,06460	0,0737	0,00000	0,00003		0,04401	0,04804	0,00000	0,00001
150	157,2014		0,07747	0,0883	0,00000	0,00005		0,05279	0,05762	0,00000	0,00001
175	183,4016		0,09032	0,1030	0,00000	0,00008		0,06157	0,06720	0,00000	0,00001
200	209,6018		0,10314	0,1175	0,00000	0,00011		0,07034	0,07677	0,00000	0,00002
225	235,8021		0,11592	0,1321	0,00000	0,00016		0,07910	0,08632	0,00000	0,00003
250	262,0023		0,12867	0,1465	0,00000	0,00021		0,08784	0,09585	0,00000	0,00004
275	288,2025	στρωτήρας	0,14137	0,1610	0,00000	0,00028	στρωτήρας	0,09657	0,10537	0,00000	0,00006
300	314,4027	2	0,15403	0,1753	0,00001	0,00036	3	0,10529	0,11487	0,00000	0,00007
325	297,5441		0,14589	0,1661	0,00000	0,00031		0,09968	0,10876	0,00000	0,00006
350	320,4321		0,15694	0,1786	0,00001	0,00039		0,10729	0,11705	0,00000	0,00008
375	343,3201		0,16794	0,1911	0,00001	0,00047		0,11489	0,12533	0,00000	0,00010
400	366,2081		0,17891	0,2035	0,00001	0,00057		0,12248	0,13359	0,00000	0,00012
425	389,0961		0,18983	0,2158	0,00001	0,00067		0,13005	0,14183	0,00000	0,00014
450	411,9841		0,20071	0,2281	0,00001	0,00079		0,13761	0,15005	0,00000	0,00016
475	434,8721		0,21154	0,2403	0,00001	0,00092		0,14515	0,15825	0,00000	0,00019
500	457,7601		0,22232	0,2524	0,00002	0,00106		0,15267	0,16643	0,00000	0,00022
525	480,6482		0,23304	0,2644	0,00002	0,00121		0,16018	0,17459	0,00000	0,00025
550	503,5362		0,24372	0,2764	0,00002	0,00138		0,16767	0,18272	0,00000	0,00029
575	526,4242		0,25433	0,2883	0,00002	0,00156		0,17514	0,19083	0,00001	0,00033
600	549,3122		0,26489	0,3001	0,00003	0,00174		0,18259	0,19892	0,00001	0,00037
625	572,2002		0,27539	0,3118	0,00003	0,00195		0,19002	0,20697	0,00001	0,00042
650	595,0882		0,28582	0,3235	0,00003	0,00216		0,19742	0,21501	0,00001	0,00047

Συνολικές τάσεις		
z	σ _{zt}	(σ _z /ρ)t
0	0,0154	1
25	0,015343	0,996292
50	0,015004	0,97431
75	0,014316	0,929631
100	0,01339	0,869492
125	0,012374	0,80352
150	0,011375	0,738613
175	0,010447	0,678397
200	0,009613	0,624253
225	0,008876	0,57634
250	0,008228	0,534253
275	0,00766	0,49738
300	0,007162	0,465071
325	0,007475	0,48537
350	0,007057	0,458216
375	0,006683	0,433978
400	0,006349	0,412303
425	0,00605	0,392878
450	0,005782	0,375432
475	0,00554	0,359729
500	0,005322	0,345563
525	0,005124	0,332757
550	0,004946	0,321156
575	0,004784	0,310624
600	0,004636	0,301044
625	0,004502	0,292313
650	0,004379	0,284338

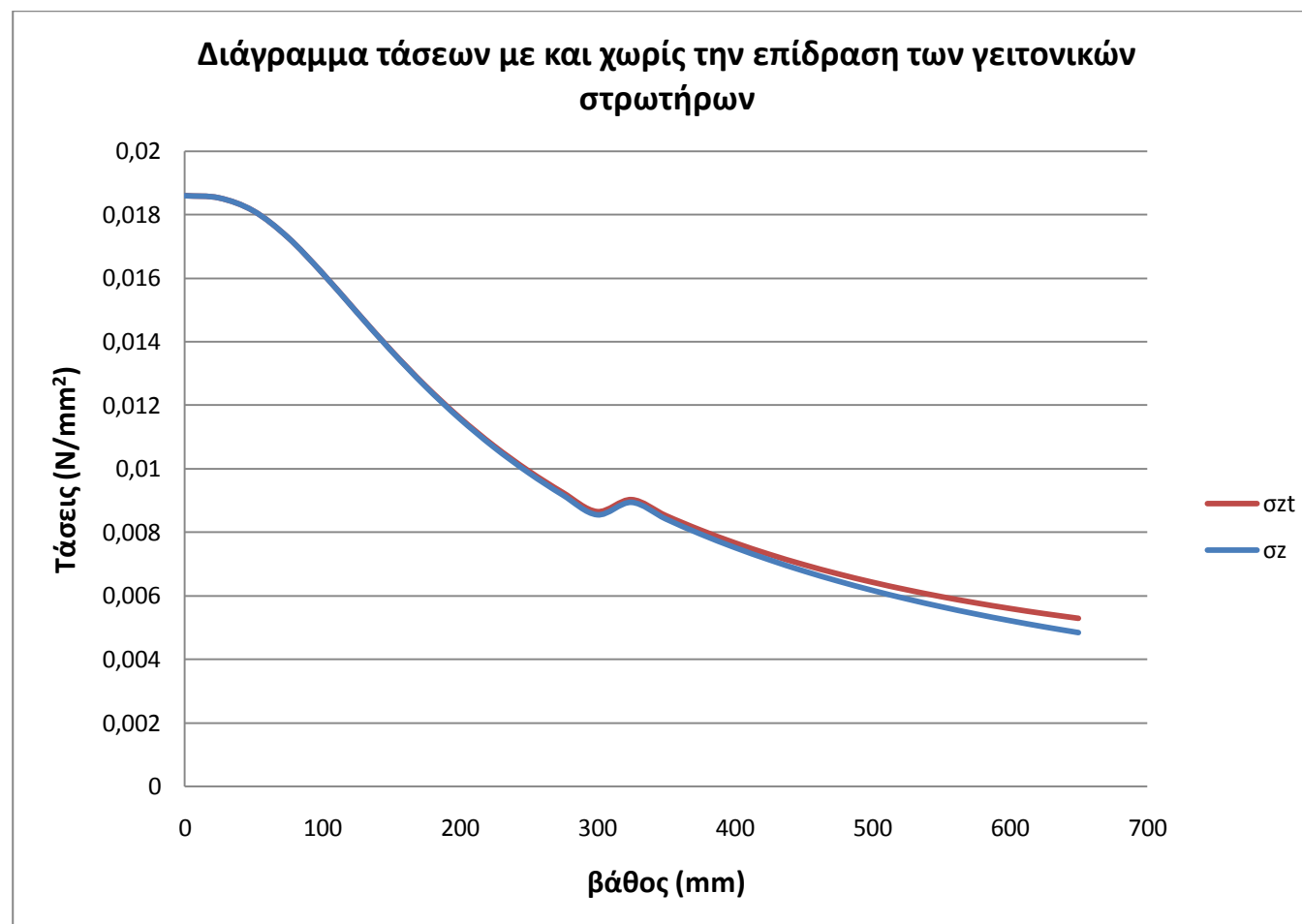


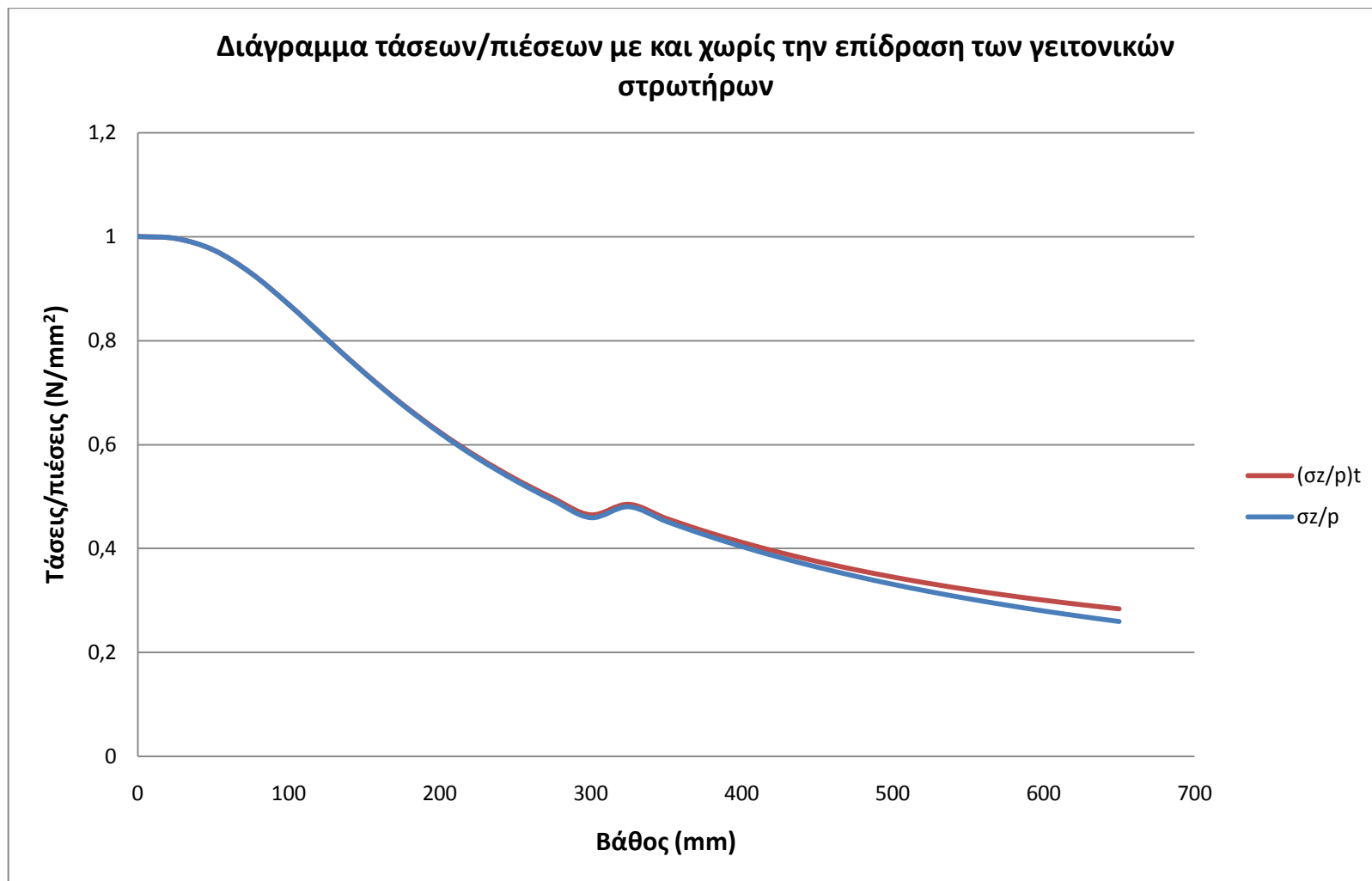


ΠΙΝΑΚΑΣ 11.29 Τάσεις και σ _z και λόγος τάσεων/πιέσεων σ _z /ρ με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις-9ος συρμός												
	π	bs	ρ(N/mm ²)							a(mm)	700	
	3,141593	250	0,0186			ορ. Απόσταση	1075		825			
z	z'	σ _z	σ _z /ρ		z	z'	a1	α1	a2	α2	σ'z	σ'z/ρ
0	0	0,0186	1		0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000
25	26,20023	0,018531	0,99628848		25	26,20023	0,02437	1,3962	0,031747	1,8190	0,0000	0,0000
50	52,40046	0,018122	0,97427802		50	52,40046	0,04871	2,7907	0,063430	3,6343	0,0000	0,0000
75	78,60068	0,017289	0,92952445		75	78,60068	0,07299	4,1819	0,094987	5,4424	0,0000	0,0001
100	104,80091	0,016168	0,86924321		100	104,80091	0,09718	5,5681	0,126355	7,2396	0,0000	0,0002
125	131,00114	0,014937	0,80303934		125	131,00114	0,12126	6,9479	0,157475	9,0226	0,0000	0,0004
150	157,20137	0,013723	0,73779677		150	157,20137	0,14520	8,3196	0,188290	10,7882	0,0000	0,0008
175	183,40160	0,012595	0,67712565		175	183,40160	0,16898	9,6818	0,218748	12,5333	0,0000	0,0012
200	209,60182	0,011577	0,62239569		200	209,60182	0,19256	11,0330	0,248799	14,2551	0,0000	0,0017
225	235,80205	0,010672	0,57375919		225	235,80205	0,21593	12,3719	0,278398	15,9510	0,0000	0,0024
250	262,00228	0,009873	0,53080753		250	262,00228	0,23906	13,6973	0,307505	17,6187	0,0001	0,0032
275	288,20251	0,009168	0,49292619	στρωτήρας	275	288,20251	0,26194	15,0078	0,336083	19,2562	0,0001	0,0041
300	314,40274	0,008546	0,45946749	1	300	314,40274	0,28453	16,3025	0,364103	20,8616	0,0001	0,0052
325	297,54409	0,008938	0,48052202		325	297,54409	0,27003	15,4713	0,346139	19,8323	0,0001	0,0045
350	320,43210	0,008413	0,45232872		350	320,43210	0,28969	16,5981	0,370469	21,2263	0,0001	0,0054
375	343,32011	0,007941	0,4269484		375	343,32011	0,30913	17,7118	0,394347	22,5944	0,0001	0,0065
400	366,20812	0,007515	0,4040322		400	366,20812	0,32833	18,8119	0,417760	23,9359	0,0001	0,0076
425	389,09612	0,007129	0,38327464		425	389,09612	0,34728	19,8977	0,440696	25,2501	0,0002	0,0088
450	411,98413	0,006778	0,36441079		450	411,98413	0,36598	20,9689	0,463147	26,5364	0,0002	0,0101
475	434,87214	0,006458	0,34721201		475	434,87214	0,38441	22,0249	0,485106	27,7945	0,0002	0,0114
500	457,76015	0,006166	0,33148139		500	457,76015	0,40257	23,0655	0,506567	29,0242	0,0002	0,0128
525	480,64815	0,005897	0,31704927		525	480,64815	0,42045	24,0901	0,527530	30,2253	0,0003	0,0142
550	503,53616	0,005650	0,30376935		550	503,53616	0,43805	25,0987	0,547993	31,3977	0,0003	0,0157
575	526,42417	0,005422	0,29151516		575	526,42417	0,45537	26,0909	0,567957	32,5416	0,0003	0,0172
600	549,31217	0,005211	0,28017708		600	549,31217	0,47240	27,0665	0,587425	33,6570	0,0003	0,0187
625	572,20018	0,005016	0,26965988		625	572,20018	0,48914	28,0255	0,606402	34,7443	0,0004	0,0203
650	595,08819	0,004834	0,25988052		650	595,08819	0,50558	28,9676	0,624891	35,8037	0,0004	0,0218

		ορ. Απόσταση	2025	1775			ορ. Απόσταση	2975	2725		
z	z'		a1	a2	σ'z	σ'z/p		a1	a2	σ'z	σ'z/p
0	0		0	0	0,00000	0,00000		0	0	0,00000	0,00000
25	26,20023		0,01294	0,0148	0,00000	0,00000		0,00881	0,00961	0,00000	0,00000
50	52,40046		0,02587	0,0295	0,00000	0,00000		0,01761	0,01923	0,00000	0,00000
75	78,60068		0,03880	0,0443	0,00000	0,00001		0,02641	0,02884	0,00000	0,00000
100	104,8009		0,05171	0,0590	0,00000	0,00001		0,03521	0,03844	0,00000	0,00000
125	131,0011		0,06460	0,0737	0,00000	0,00003		0,04401	0,04804	0,00000	0,00001
150	157,2014		0,07747	0,0883	0,00000	0,00005		0,05279	0,05762	0,00000	0,00001
175	183,4016		0,09032	0,1030	0,00000	0,00008		0,06157	0,06720	0,00000	0,00001
200	209,6018		0,10314	0,1175	0,00000	0,00011		0,07034	0,07677	0,00000	0,00002
225	235,8021		0,11592	0,1321	0,00000	0,00016		0,07910	0,08632	0,00000	0,00003
250	262,0023		0,12867	0,1465	0,00000	0,00021		0,08784	0,09585	0,00000	0,00004
275	288,2025	στρωτήρας	0,14137	0,1610	0,00001	0,00028	στρωτήρας	0,09657	0,10537	0,00000	0,00006
300	314,4027	2	0,15403	0,1753	0,00001	0,00036	3	0,10529	0,11487	0,00000	0,00007
325	297,5441		0,14589	0,1661	0,00001	0,00031		0,09968	0,10876	0,00000	0,00006
350	320,4321		0,15694	0,1786	0,00001	0,00039		0,10729	0,11705	0,00000	0,00008
375	343,3201		0,16794	0,1911	0,00001	0,00047		0,11489	0,12533	0,00000	0,00010
400	366,2081		0,17891	0,2035	0,00001	0,00057		0,12248	0,13359	0,00000	0,00012
425	389,0961		0,18983	0,2158	0,00001	0,00067		0,13005	0,14183	0,00000	0,00014
450	411,9841		0,20071	0,2281	0,00001	0,00079		0,13761	0,15005	0,00000	0,00016
475	434,8721		0,21154	0,2403	0,00002	0,00092		0,14515	0,15825	0,00000	0,00019
500	457,7601		0,22232	0,2524	0,00002	0,00106		0,15267	0,16643	0,00000	0,00022
525	480,6482		0,23304	0,2644	0,00002	0,00121		0,16018	0,17459	0,00000	0,00025
550	503,5362		0,24372	0,2764	0,00003	0,00138		0,16767	0,18272	0,00001	0,00029
575	526,4242		0,25433	0,2883	0,00003	0,00156		0,17514	0,19083	0,00001	0,00033
600	549,3122		0,26489	0,3001	0,00003	0,00174		0,18259	0,19892	0,00001	0,00037
625	572,2002		0,27539	0,3118	0,00004	0,00195		0,19002	0,20697	0,00001	0,00042
650	595,0882		0,28582	0,3235	0,00004	0,00216		0,19742	0,21501	0,00001	0,00047

Συνολικές τάσεις		
z	σzt	(σz/p)t
0	0,0186	1
25	0,018531	0,996292
50	0,018122	0,97431
75	0,017291	0,929631
100	0,016173	0,869492
125	0,014945	0,80352
150	0,013738	0,738613
175	0,012618	0,678397
200	0,011611	0,624253
225	0,01072	0,57634
250	0,009937	0,534253
275	0,009251	0,49738
300	0,00865	0,465071
325	0,009028	0,48537
350	0,008523	0,458216
375	0,008072	0,433978
400	0,007669	0,412303
425	0,007308	0,392878
450	0,006983	0,375432
475	0,006691	0,359729
500	0,006427	0,345563
525	0,006189	0,332757
550	0,005973	0,321156
575	0,005778	0,310624
600	0,005599	0,301044
625	0,005437	0,292313
650	0,005289	0,284338

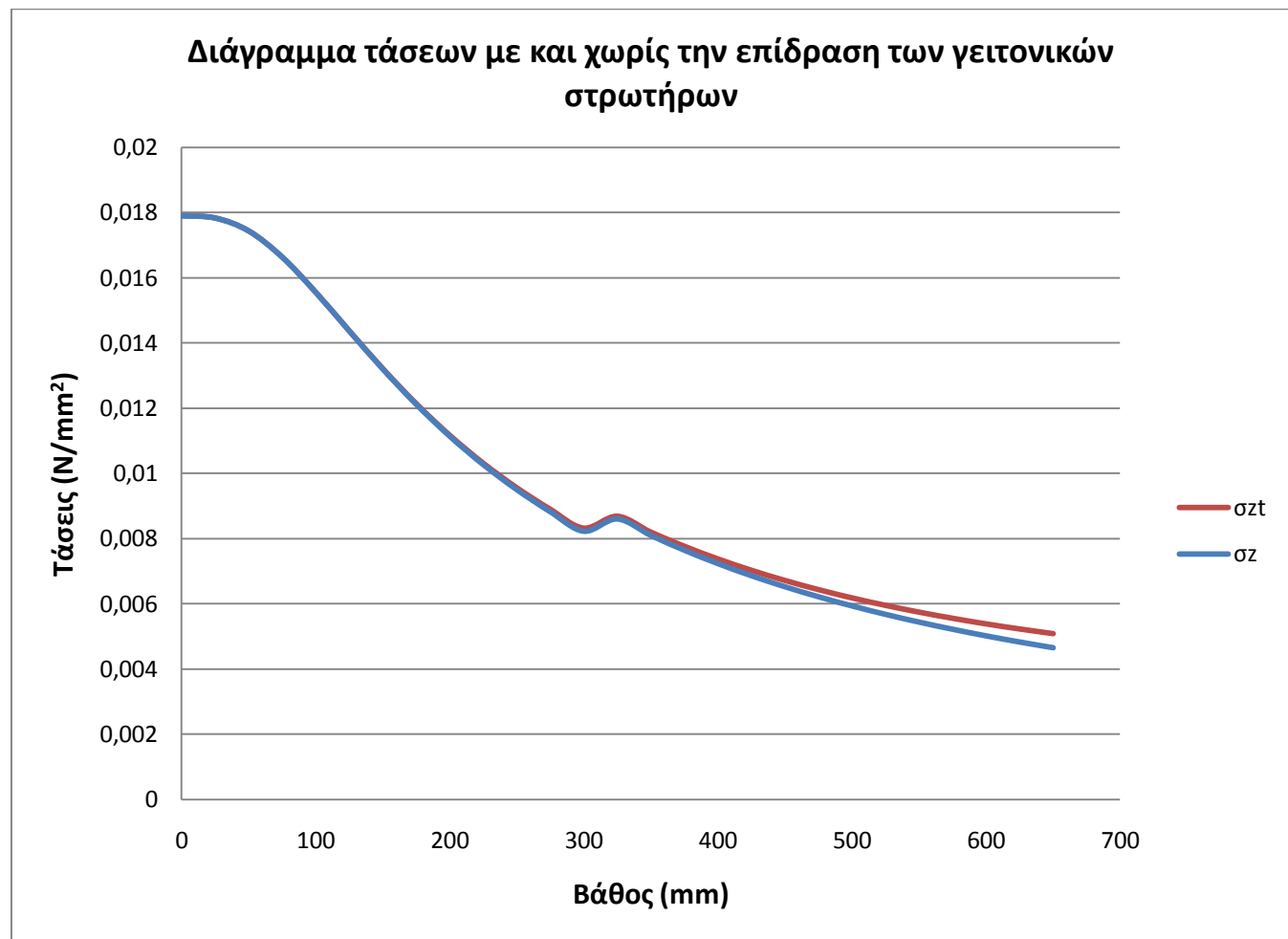


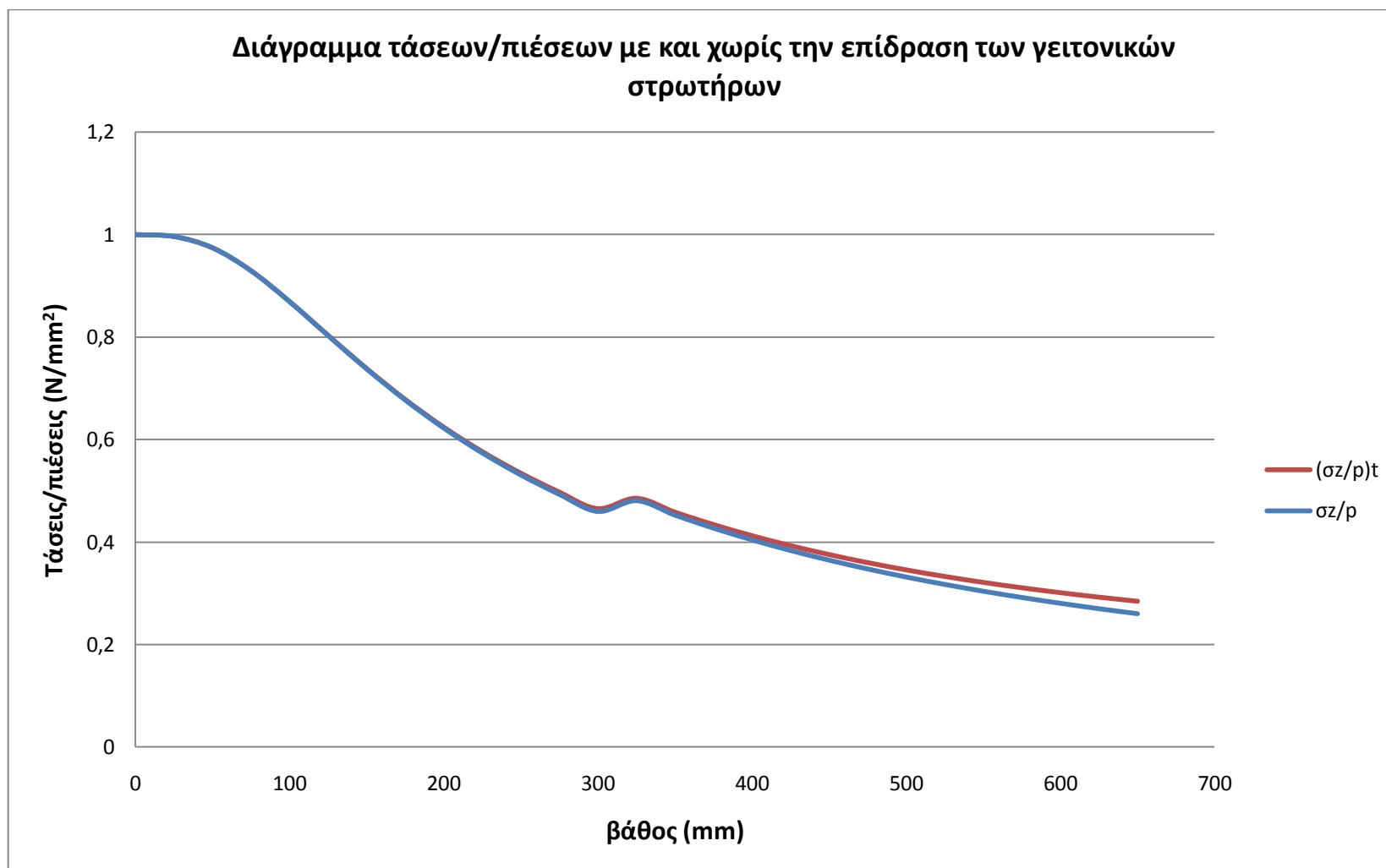


ΠΙΝΑΚΑΣ 11.30 Τάσεις και σζ και λόγος τάσεων/πιέσεων σζ/ρ με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις-10ος συρμός												
	π	bs	ρ(N/mm2)							a(mm)	700	
	3,141593	250	0,0179			ορ. Απόσταση	1075		825			
z	z'	σζ	σζ/ρ		z	z'	a1	α1	a2	α2	σ'z	σ'z/ρ
0	0	0,0179	1		0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000
25	26,20023	0,017834	0,99628848		25	26,20023	0,02437	1,3962	0,031747	1,8190	0,0000	0,0000
50	52,40046	0,017440	0,97427802		50	52,40046	0,04871	2,7907	0,063430	3,6343	0,0000	0,0000
75	78,60068	0,016638	0,92952445		75	78,60068	0,07299	4,1819	0,094987	5,4424	0,0000	0,0001
100	104,80091	0,015559	0,86924321		100	104,80091	0,09718	5,5681	0,126355	7,2396	0,0000	0,0002
125	131,00114	0,014374	0,80303934		125	131,00114	0,12126	6,9479	0,157475	9,0226	0,0000	0,0004
150	157,20137	0,013207	0,73779677		150	157,20137	0,14520	8,3196	0,188290	10,7882	0,0000	0,0008
175	183,40160	0,012121	0,67712565		175	183,40160	0,16898	9,6818	0,218748	12,5333	0,0000	0,0012
200	209,60182	0,011141	0,62239569		200	209,60182	0,19256	11,0330	0,248799	14,2551	0,0000	0,0017
225	235,80205	0,010270	0,57375919		225	235,80205	0,21593	12,3719	0,278398	15,9510	0,0000	0,0024
250	262,00228	0,009501	0,53080753		250	262,00228	0,23906	13,6973	0,307505	17,6187	0,0001	0,0032
275	288,20251	0,008823	0,49292619	στρωτήρας	275	288,20251	0,26194	15,0078	0,336083	19,2562	0,0001	0,0041
300	314,40274	0,008224	0,45946749	1	300	314,40274	0,28453	16,3025	0,364103	20,8616	0,0001	0,0052
325	297,54409	0,008601	0,48052202		325	297,54409	0,27003	15,4713	0,346139	19,8323	0,0001	0,0045
350	320,43210	0,008097	0,45232872		350	320,43210	0,28969	16,5981	0,370469	21,2263	0,0001	0,0054
375	343,32011	0,007642	0,4269484		375	343,32011	0,30913	17,7118	0,394347	22,5944	0,0001	0,0065
400	366,20812	0,007232	0,4040322		400	366,20812	0,32833	18,8119	0,417760	23,9359	0,0001	0,0076
425	389,09612	0,006861	0,38327464		425	389,09612	0,34728	19,8977	0,440696	25,2501	0,0002	0,0088
450	411,98413	0,006523	0,36441079		450	411,98413	0,36598	20,9689	0,463147	26,5364	0,0002	0,0101
475	434,87214	0,006215	0,34721201		475	434,87214	0,38441	22,0249	0,485106	27,7945	0,0002	0,0114
500	457,76015	0,005934	0,33148139		500	457,76015	0,40257	23,0655	0,506567	29,0242	0,0002	0,0128
525	480,64815	0,005675	0,31704927		525	480,64815	0,42045	24,0901	0,527530	30,2253	0,0003	0,0142
550	503,53616	0,005437	0,30376935		550	503,53616	0,43805	25,0987	0,547993	31,3977	0,0003	0,0157
575	526,42417	0,005218	0,29151516		575	526,42417	0,45537	26,0909	0,567957	32,5416	0,0003	0,0172
600	549,31217	0,005015	0,28017708		600	549,31217	0,47240	27,0665	0,587425	33,6570	0,0003	0,0187
625	572,20018	0,004827	0,26965988		625	572,20018	0,48914	28,0255	0,606402	34,7443	0,0004	0,0203
650	595,08819	0,004652	0,25988052		650	595,08819	0,50558	28,9676	0,624891	35,8037	0,0004	0,0218

		ορ. Απόσταση	2025	1775			ορ. Απόσταση	2975	2725		
z	z'		a1	a2	σ'z	σ'z/p		a1	a2	σ'z	σ'z/p
0	0		0	0	0,00000	0,00000		0	0	0,00000	0,00000
25	26,20023		0,01294	0,0148	0,00000	0,00000		0,00881	0,00961	0,00000	0,00000
50	52,40046		0,02587	0,0295	0,00000	0,00000		0,01761	0,01923	0,00000	0,00000
75	78,60068		0,03880	0,0443	0,00000	0,00001		0,02641	0,02884	0,00000	0,00000
100	104,8009		0,05171	0,0590	0,00000	0,00001		0,03521	0,03844	0,00000	0,00000
125	131,0011		0,06460	0,0737	0,00000	0,00003		0,04401	0,04804	0,00000	0,00001
150	157,2014		0,07747	0,0883	0,00000	0,00005		0,05279	0,05762	0,00000	0,00001
175	183,4016		0,09032	0,1030	0,00000	0,00008		0,06157	0,06720	0,00000	0,00001
200	209,6018		0,10314	0,1175	0,00000	0,00011		0,07034	0,07677	0,00000	0,00002
225	235,8021		0,11592	0,1321	0,00000	0,00016		0,07910	0,08632	0,00000	0,00003
250	262,0023		0,12867	0,1465	0,00000	0,00021		0,08784	0,09585	0,00000	0,00004
275	288,2025	στρωτήρας	0,14137	0,1610	0,00001	0,00028	στρωτήρας	0,09657	0,10537	0,00000	0,00006
300	314,4027	2	0,15403	0,1753	0,00001	0,00036	3	0,10529	0,11487	0,00000	0,00007
325	297,5441		0,14589	0,1661	0,00001	0,00031		0,09968	0,10876	0,00000	0,00006
350	320,4321		0,15694	0,1786	0,00001	0,00039		0,10729	0,11705	0,00000	0,00008
375	343,3201		0,16794	0,1911	0,00001	0,00047		0,11489	0,12533	0,00000	0,00010
400	366,2081		0,17891	0,2035	0,00001	0,00057		0,12248	0,13359	0,00000	0,00012
425	389,0961		0,18983	0,2158	0,00001	0,00067		0,13005	0,14183	0,00000	0,00014
450	411,9841		0,20071	0,2281	0,00001	0,00079		0,13761	0,15005	0,00000	0,00016
475	434,8721		0,21154	0,2403	0,00002	0,00092		0,14515	0,15825	0,00000	0,00019
500	457,7601		0,22232	0,2524	0,00002	0,00106		0,15267	0,16643	0,00000	0,00022
525	480,6482		0,23304	0,2644	0,00002	0,00121		0,16018	0,17459	0,00000	0,00025
550	503,5362		0,24372	0,2764	0,00002	0,00138		0,16767	0,18272	0,00001	0,00029
575	526,4242		0,25433	0,2883	0,00003	0,00156		0,17514	0,19083	0,00001	0,00033
600	549,3122		0,26489	0,3001	0,00003	0,00174		0,18259	0,19892	0,00001	0,00037
625	572,2002		0,27539	0,3118	0,00003	0,00195		0,19002	0,20697	0,00001	0,00042
650	595,0882		0,28582	0,3235	0,00004	0,00216		0,19742	0,21501	0,00001	0,00047

Συνολικές τάσεις		
z	σzt	(σz/p)t
0	0,0179	1
25	0,017834	0,996292
50	0,01744	0,97431
75	0,01664	0,929631
100	0,015564	0,869492
125	0,014383	0,80352
150	0,013221	0,738613
175	0,012143	0,678397
200	0,011174	0,624253
225	0,010316	0,57634
250	0,009563	0,534253
275	0,008903	0,49738
300	0,008325	0,465071
325	0,008688	0,48537
350	0,008202	0,458216
375	0,007768	0,433978
400	0,00738	0,412303
425	0,007033	0,392878
450	0,00672	0,375432
475	0,006439	0,359729
500	0,006186	0,345563
525	0,005956	0,332757
550	0,005749	0,321156
575	0,00556	0,310624
600	0,005389	0,301044
625	0,005232	0,292313
650	0,00509	0,284338

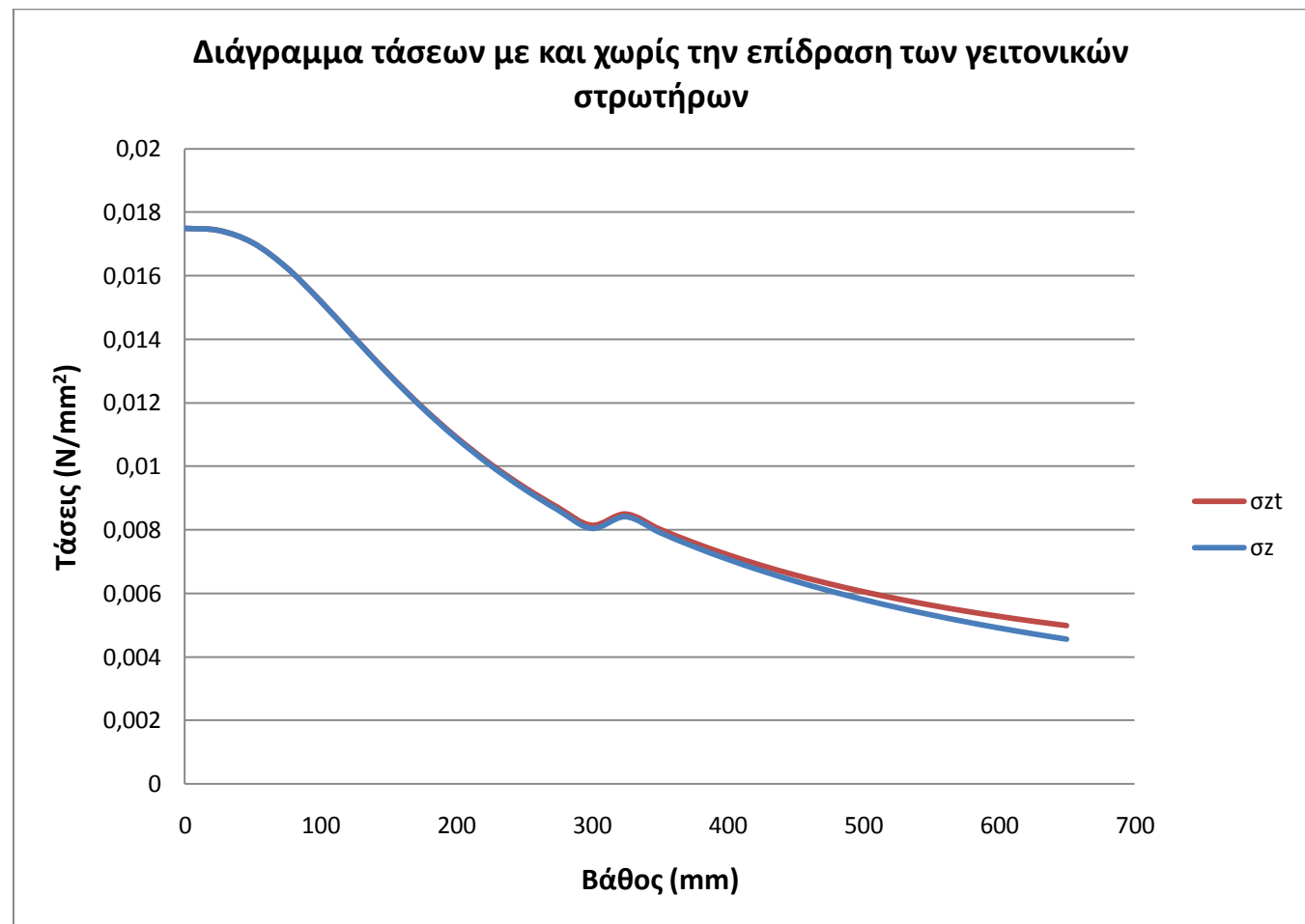


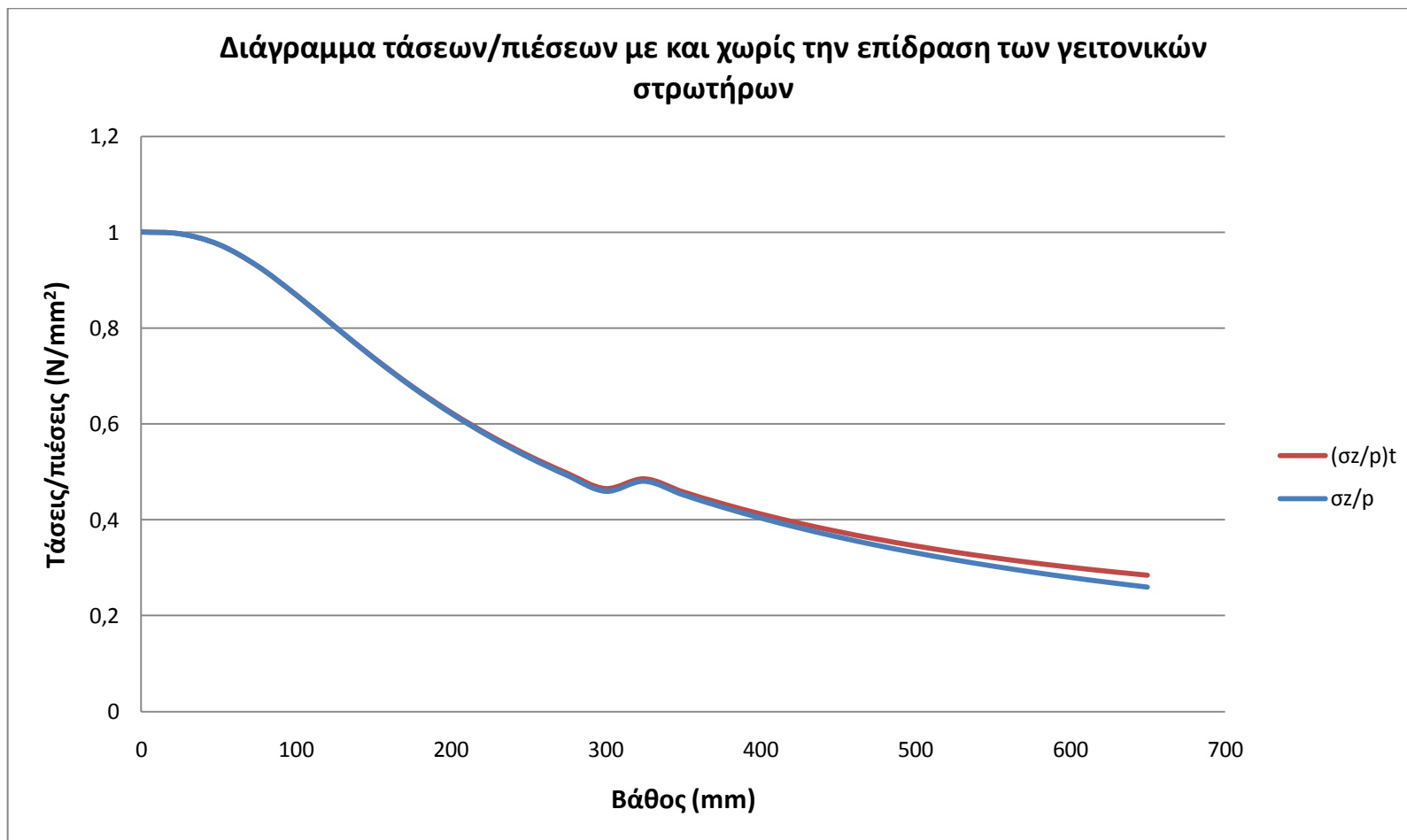


ΠΙΝΑΚΑΣ 11.31 Τάσεις και σz και λόγος τάσεων/πιέσεων σz/ρ με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις μετρηθείσες βυθίσεις-11ος συρμός												
	π	bs	ρ(N/mm2)							a(mm)	700	
	3,141593	250	0,0175			ορ. Απόσταση	1075		825			
z	z'	σz	σz/ρ		z	z'	a1	α1	a2	α2	σ'z	σ'z/ρ
0	0	0,0175	1		0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000
25	26,20023	0,017435	0,99628848		25	26,20023	0,02437	1,3962	0,031747	1,8190	0,0000	0,0000
50	52,40046	0,017050	0,97427802		50	52,40046	0,04871	2,7907	0,063430	3,6343	0,0000	0,0000
75	78,60068	0,016267	0,92952445		75	78,60068	0,07299	4,1819	0,094987	5,4424	0,0000	0,0001
100	104,80091	0,015212	0,86924321		100	104,80091	0,09718	5,5681	0,126355	7,2396	0,0000	0,0002
125	131,00114	0,014053	0,80303934		125	131,00114	0,12126	6,9479	0,157475	9,0226	0,0000	0,0004
150	157,20137	0,012911	0,73779677		150	157,20137	0,14520	8,3196	0,188290	10,7882	0,0000	0,0008
175	183,40160	0,011850	0,67712565		175	183,40160	0,16898	9,6818	0,218748	12,5333	0,0000	0,0012
200	209,60182	0,010892	0,62239569		200	209,60182	0,19256	11,0330	0,248799	14,2551	0,0000	0,0017
225	235,80205	0,010041	0,57375919		225	235,80205	0,21593	12,3719	0,278398	15,9510	0,0000	0,0024
250	262,00228	0,009289	0,53080753		250	262,00228	0,23906	13,6973	0,307505	17,6187	0,0001	0,0032
275	288,20251	0,008626	0,49292619	στρωτήρας	275	288,20251	0,26194	15,0078	0,336083	19,2562	0,0001	0,0041
300	314,40274	0,008041	0,45946749	1	300	314,40274	0,28453	16,3025	0,364103	20,8616	0,0001	0,0052
325	297,54409	0,008409	0,48052202		325	297,54409	0,27003	15,4713	0,346139	19,8323	0,0001	0,0045
350	320,43210	0,007916	0,45232872		350	320,43210	0,28969	16,5981	0,370469	21,2263	0,0001	0,0054
375	343,32011	0,007472	0,4269484		375	343,32011	0,30913	17,7118	0,394347	22,5944	0,0001	0,0065
400	366,20812	0,007071	0,4040322		400	366,20812	0,32833	18,8119	0,417760	23,9359	0,0001	0,0076
425	389,09612	0,006707	0,38327464		425	389,09612	0,34728	19,8977	0,440696	25,2501	0,0002	0,0088
450	411,98413	0,006377	0,36441079		450	411,98413	0,36598	20,9689	0,463147	26,5364	0,0002	0,0101
475	434,87214	0,006076	0,34721201		475	434,87214	0,38441	22,0249	0,485106	27,7945	0,0002	0,0114
500	457,76015	0,005801	0,33148139		500	457,76015	0,40257	23,0655	0,506567	29,0242	0,0002	0,0128
525	480,64815	0,005548	0,31704927		525	480,64815	0,42045	24,0901	0,527530	30,2253	0,0002	0,0142
550	503,53616	0,005316	0,30376935		550	503,53616	0,43805	25,0987	0,547993	31,3977	0,0003	0,0157
575	526,42417	0,005102	0,29151516		575	526,42417	0,45537	26,0909	0,567957	32,5416	0,0003	0,0172
600	549,31217	0,004903	0,28017708		600	549,31217	0,47240	27,0665	0,587425	33,6570	0,0003	0,0187
625	572,20018	0,004719	0,26965988		625	572,20018	0,48914	28,0255	0,606402	34,7443	0,0004	0,0203
650	595,08819	0,004548	0,25988052		650	595,08819	0,50558	28,9676	0,624891	35,8037	0,0004	0,0218

		ορ. Απόσταση	2025	1775			ορ. Απόσταση	2975	2725		
z	z'		a1	a2	σ'z	σ'z/p		a1	a2	σ'z	σ'z/p
0	0		0	0	0,00000	0,00000		0	0	0,00000	0,00000
25	26,20023		0,01294	0,0148	0,00000	0,00000		0,00881	0,00961	0,00000	0,00000
50	52,40046		0,02587	0,0295	0,00000	0,00000		0,01761	0,01923	0,00000	0,00000
75	78,60068		0,03880	0,0443	0,00000	0,00001		0,02641	0,02884	0,00000	0,00000
100	104,8009		0,05171	0,0590	0,00000	0,00001		0,03521	0,03844	0,00000	0,00000
125	131,0011		0,06460	0,0737	0,00000	0,00003		0,04401	0,04804	0,00000	0,00001
150	157,2014		0,07747	0,0883	0,00000	0,00005		0,05279	0,05762	0,00000	0,00001
175	183,4016		0,09032	0,1030	0,00000	0,00008		0,06157	0,06720	0,00000	0,00001
200	209,6018		0,10314	0,1175	0,00000	0,00011		0,07034	0,07677	0,00000	0,00002
225	235,8021		0,11592	0,1321	0,00000	0,00016		0,07910	0,08632	0,00000	0,00003
250	262,0023		0,12867	0,1465	0,00000	0,00021		0,08784	0,09585	0,00000	0,00004
275	288,2025	στρωτήρας	0,14137	0,1610	0,00000	0,00028	στρωτήρας	0,09657	0,10537	0,00000	0,00006
300	314,4027	2	0,15403	0,1753	0,00001	0,00036	3	0,10529	0,11487	0,00000	0,00007
325	297,5441		0,14589	0,1661	0,00001	0,00031		0,09968	0,10876	0,00000	0,00006
350	320,4321		0,15694	0,1786	0,00001	0,00039		0,10729	0,11705	0,00000	0,00008
375	343,3201		0,16794	0,1911	0,00001	0,00047		0,11489	0,12533	0,00000	0,00010
400	366,2081		0,17891	0,2035	0,00001	0,00057		0,12248	0,13359	0,00000	0,00012
425	389,0961		0,18983	0,2158	0,00001	0,00067		0,13005	0,14183	0,00000	0,00014
450	411,9841		0,20071	0,2281	0,00001	0,00079		0,13761	0,15005	0,00000	0,00016
475	434,8721		0,21154	0,2403	0,00002	0,00092		0,14515	0,15825	0,00000	0,00019
500	457,7601		0,22232	0,2524	0,00002	0,00106		0,15267	0,16643	0,00000	0,00022
525	480,6482		0,23304	0,2644	0,00002	0,00121		0,16018	0,17459	0,00000	0,00025
550	503,5362		0,24372	0,2764	0,00002	0,00138		0,16767	0,18272	0,00001	0,00029
575	526,4242		0,25433	0,2883	0,00003	0,00156		0,17514	0,19083	0,00001	0,00033
600	549,3122		0,26489	0,3001	0,00003	0,00174		0,18259	0,19892	0,00001	0,00037
625	572,2002		0,27539	0,3118	0,00003	0,00195		0,19002	0,20697	0,00001	0,00042
650	595,0882		0,28582	0,3235	0,00004	0,00216		0,19742	0,21501	0,00001	0,00047

Συνολικές τάσεις		
z	$\sigma_z t$	$(\sigma_z/\rho)t$
0	0,0175	1
25	0,017435	0,996292
50	0,01705	0,97431
75	0,016269	0,929631
100	0,015216	0,869492
125	0,014062	0,80352
150	0,012926	0,738613
175	0,011872	0,678397
200	0,010924	0,624253
225	0,010086	0,57634
250	0,009349	0,534253
275	0,008704	0,49738
300	0,008139	0,465071
325	0,008494	0,48537
350	0,008019	0,458216
375	0,007595	0,433978
400	0,007215	0,412303
425	0,006875	0,392878
450	0,00657	0,375432
475	0,006295	0,359729
500	0,006047	0,345563
525	0,005823	0,332757
550	0,00562	0,321156
575	0,005436	0,310624
600	0,005268	0,301044
625	0,005115	0,292313
650	0,004976	0,284338

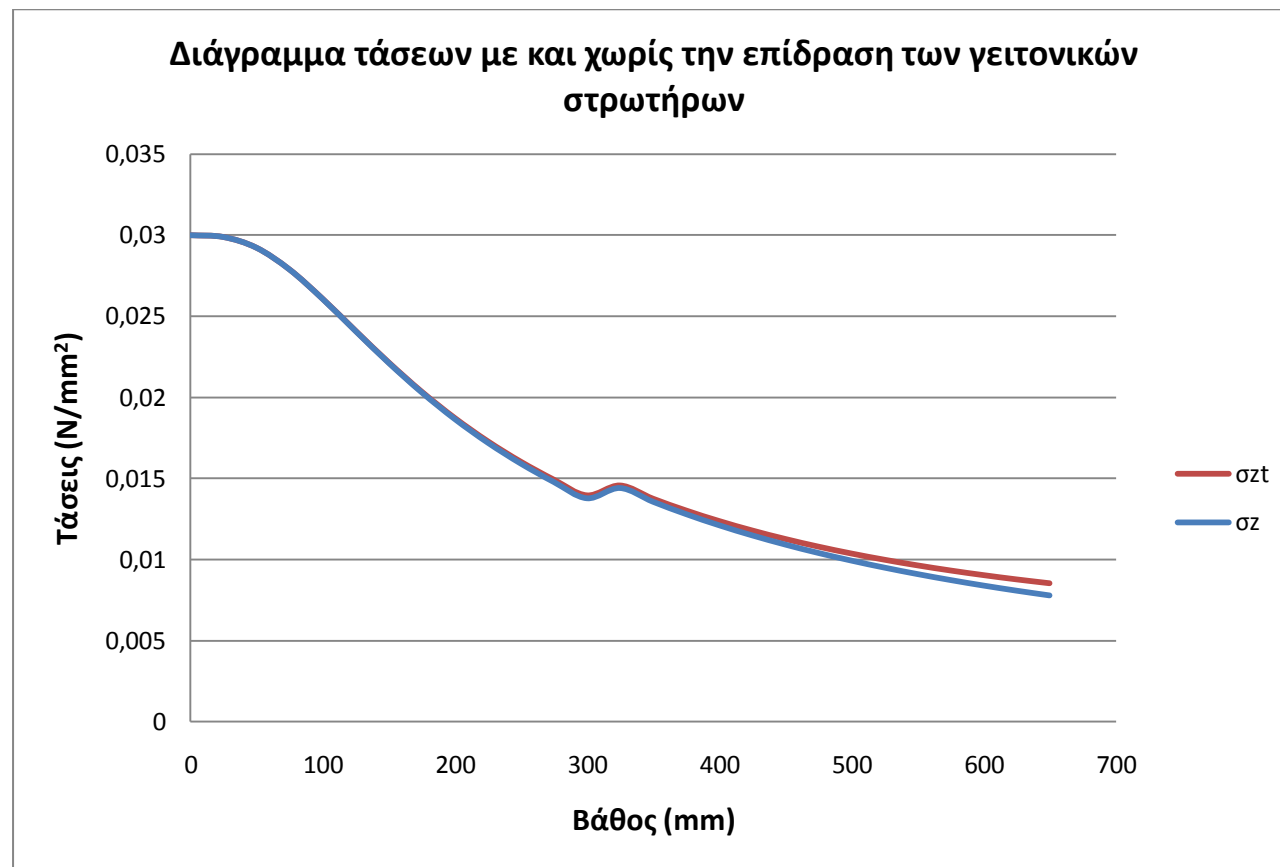


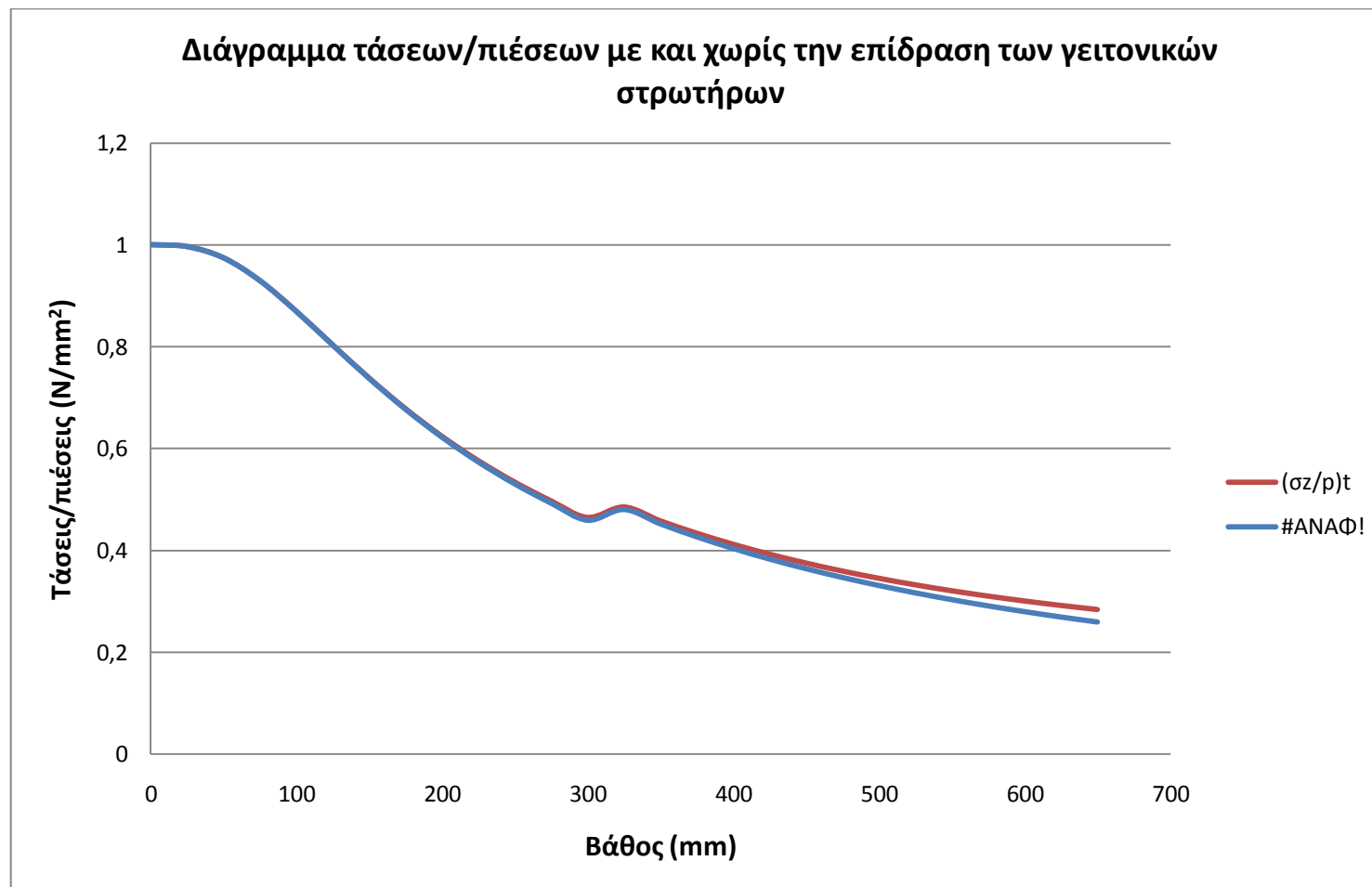


ΠΙΝΑΚΑΣ 11.32 Τάσεις και σ _z και λόγος τάσεων/πιέσεων σ _z /ρ με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις αναμενόμενες βυθίσεις-συρμοί 1-3-6												
	π	bs	ρ(N/mm ²)							a(mm)	700	
	3,141593	250	0,0366			ορ. Απόσταση	1075		825			
z	z'	σ _z	σ _z /ρ		z	z'	a1	α1	a2	α2	σ'z	σ'z/ρ
0	0	0,0366	1		0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000
25	26,20023	0,036464	0,99628848		25	26,20023	0,02437	1,3962	0,031747	1,8190	0,0000	0,0000
50	52,40046	0,035659	0,97427802		50	52,40046	0,04871	2,7907	0,063430	3,6343	0,0000	0,0000
75	78,60068	0,034021	0,92952445		75	78,60068	0,07299	4,1819	0,094987	5,4424	0,0000	0,0001
100	104,80091	0,031814	0,86924321		100	104,80091	0,09718	5,5681	0,126355	7,2396	0,0000	0,0002
125	131,00114	0,029391	0,80303934		125	131,00114	0,12126	6,9479	0,157475	9,0226	0,0000	0,0004
150	157,20137	0,027003	0,73779677		150	157,20137	0,14520	8,3196	0,188290	10,7882	0,0000	0,0008
175	183,40160	0,024783	0,67712565		175	183,40160	0,16898	9,6818	0,218748	12,5333	0,0000	0,0012
200	209,60182	0,022780	0,62239569		200	209,60182	0,19256	11,0330	0,248799	14,2551	0,0001	0,0017
225	235,80205	0,021000	0,57375919		225	235,80205	0,21593	12,3719	0,278398	15,9510	0,0001	0,0024
250	262,00228	0,019428	0,53080753		250	262,00228	0,23906	13,6973	0,307505	17,6187	0,0001	0,0032
275	288,20251	0,018041	0,49292619	στρωτήρας	275	288,20251	0,26194	15,0078	0,336083	19,2562	0,0002	0,0041
300	314,40274	0,016817	0,45946749	1	300	314,40274	0,28453	16,3025	0,364103	20,8616	0,0002	0,0052
325	297,54409	0,017587	0,48052202		325	297,54409	0,27003	15,4713	0,346139	19,8323	0,0002	0,0045
350	320,43210	0,016555	0,45232872		350	320,43210	0,28969	16,5981	0,370469	21,2263	0,0002	0,0054
375	343,32011	0,015626	0,4269484		375	343,32011	0,30913	17,7118	0,394347	22,5944	0,0002	0,0065
400	366,20812	0,014788	0,4040322		400	366,20812	0,32833	18,8119	0,417760	23,9359	0,0003	0,0076
425	389,09612	0,014028	0,38327464		425	389,09612	0,34728	19,8977	0,440696	25,2501	0,0003	0,0088
450	411,98413	0,013337	0,36441079		450	411,98413	0,36598	20,9689	0,463147	26,5364	0,0004	0,0101
475	434,87214	0,012708	0,34721201		475	434,87214	0,38441	22,0249	0,485106	27,7945	0,0004	0,0114
500	457,76015	0,012132	0,33148139		500	457,76015	0,40257	23,0655	0,506567	29,0242	0,0005	0,0128
525	480,64815	0,011604	0,31704927		525	480,64815	0,42045	24,0901	0,527530	30,2253	0,0005	0,0142
550	503,53616	0,011118	0,30376935		550	503,53616	0,43805	25,0987	0,547993	31,3977	0,0006	0,0157
575	526,42417	0,010669	0,29151516		575	526,42417	0,45537	26,0909	0,567957	32,5416	0,0006	0,0172
600	549,31217	0,010254	0,28017708		600	549,31217	0,47240	27,0665	0,587425	33,6570	0,0007	0,0187
625	572,20018	0,009870	0,26965988		625	572,20018	0,48914	28,0255	0,606402	34,7443	0,0007	0,0203
650	595,08819	0,009512	0,25988052		650	595,08819	0,50558	28,9676	0,624891	35,8037	0,0008	0,0218

		ορ. Απόσταση	2025	1775			ορ. Απόσταση	2975	2725		
z	z'		a1	a2	σ'z	σ'z/p		a1	a2	σ'z	σ'z/p
0	0		0	0	0,00000	0,00000		0	0	0,00000	0,00000
25	26,20023		0,01294	0,0148	0,00000	0,00000		0,00881	0,00961	0,00000	0,00000
50	52,40046		0,02587	0,0295	0,00000	0,00000		0,01761	0,01923	0,00000	0,00000
75	78,60068		0,03880	0,0443	0,00000	0,00001		0,02641	0,02884	0,00000	0,00000
100	104,8009		0,05171	0,0590	0,00000	0,00001		0,03521	0,03844	0,00000	0,00000
125	131,0011		0,06460	0,0737	0,00000	0,00003		0,04401	0,04804	0,00000	0,00001
150	157,2014		0,07747	0,0883	0,00000	0,00005		0,05279	0,05762	0,00000	0,00001
175	183,4016		0,09032	0,1030	0,00000	0,00008		0,06157	0,06720	0,00000	0,00001
200	209,6018		0,10314	0,1175	0,00000	0,00011		0,07034	0,07677	0,00000	0,00002
225	235,8021		0,11592	0,1321	0,00001	0,00016		0,07910	0,08632	0,00000	0,00003
250	262,0023		0,12867	0,1465	0,00001	0,00021		0,08784	0,09585	0,00000	0,00004
275	288,2025	στρωτήρας	0,14137	0,1610	0,00001	0,00028	στρωτήρας	0,09657	0,10537	0,00000	0,00006
300	314,4027	2	0,15403	0,1753	0,00001	0,00036	3	0,10529	0,11487	0,00000	0,00007
325	297,5441		0,14589	0,1661	0,00001	0,00031		0,09968	0,10876	0,00000	0,00006
350	320,4321		0,15694	0,1786	0,00001	0,00039		0,10729	0,11705	0,00000	0,00008
375	343,3201		0,16794	0,1911	0,00002	0,00047		0,11489	0,12533	0,00000	0,00010
400	366,2081		0,17891	0,2035	0,00002	0,00057		0,12248	0,13359	0,00000	0,00012
425	389,0961		0,18983	0,2158	0,00002	0,00067		0,13005	0,14183	0,00001	0,00014
450	411,9841		0,20071	0,2281	0,00003	0,00079		0,13761	0,15005	0,00001	0,00016
475	434,8721		0,21154	0,2403	0,00003	0,00092		0,14515	0,15825	0,00001	0,00019
500	457,7601		0,22232	0,2524	0,00004	0,00106		0,15267	0,16643	0,00001	0,00022
525	480,6482		0,23304	0,2644	0,00004	0,00121		0,16018	0,17459	0,00001	0,00025
550	503,5362		0,24372	0,2764	0,00005	0,00138		0,16767	0,18272	0,00001	0,00029
575	526,4242		0,25433	0,2883	0,00006	0,00156		0,17514	0,19083	0,00001	0,00033
600	549,3122		0,26489	0,3001	0,00006	0,00174		0,18259	0,19892	0,00001	0,00037
625	572,2002		0,27539	0,3118	0,00007	0,00195		0,19002	0,20697	0,00002	0,00042
650	595,0882		0,28582	0,3235	0,00008	0,00216		0,19742	0,21501	0,00002	0,00047

Συνολικές τάσεις		
z	σ _{zt}	(σ _z /p)t
0	0,0366	1
25	0,036464	0,996292
50	0,03566	0,97431
75	0,034024	0,929631
100	0,031823	0,869492
125	0,029409	0,80352
150	0,027033	0,738613
175	0,024829	0,678397
200	0,022848	0,624253
225	0,021094	0,57634
250	0,019554	0,534253
275	0,018204	0,49738
300	0,017022	0,465071
325	0,017765	0,48537
350	0,016771	0,458216
375	0,015884	0,433978
400	0,01509	0,412303
425	0,014379	0,392878
450	0,013741	0,375432
475	0,013166	0,359729
500	0,012648	0,345563
525	0,012179	0,332757
550	0,011754	0,321156
575	0,011369	0,310624
600	0,011018	0,301044
625	0,010699	0,292313
650	0,010407	0,284338

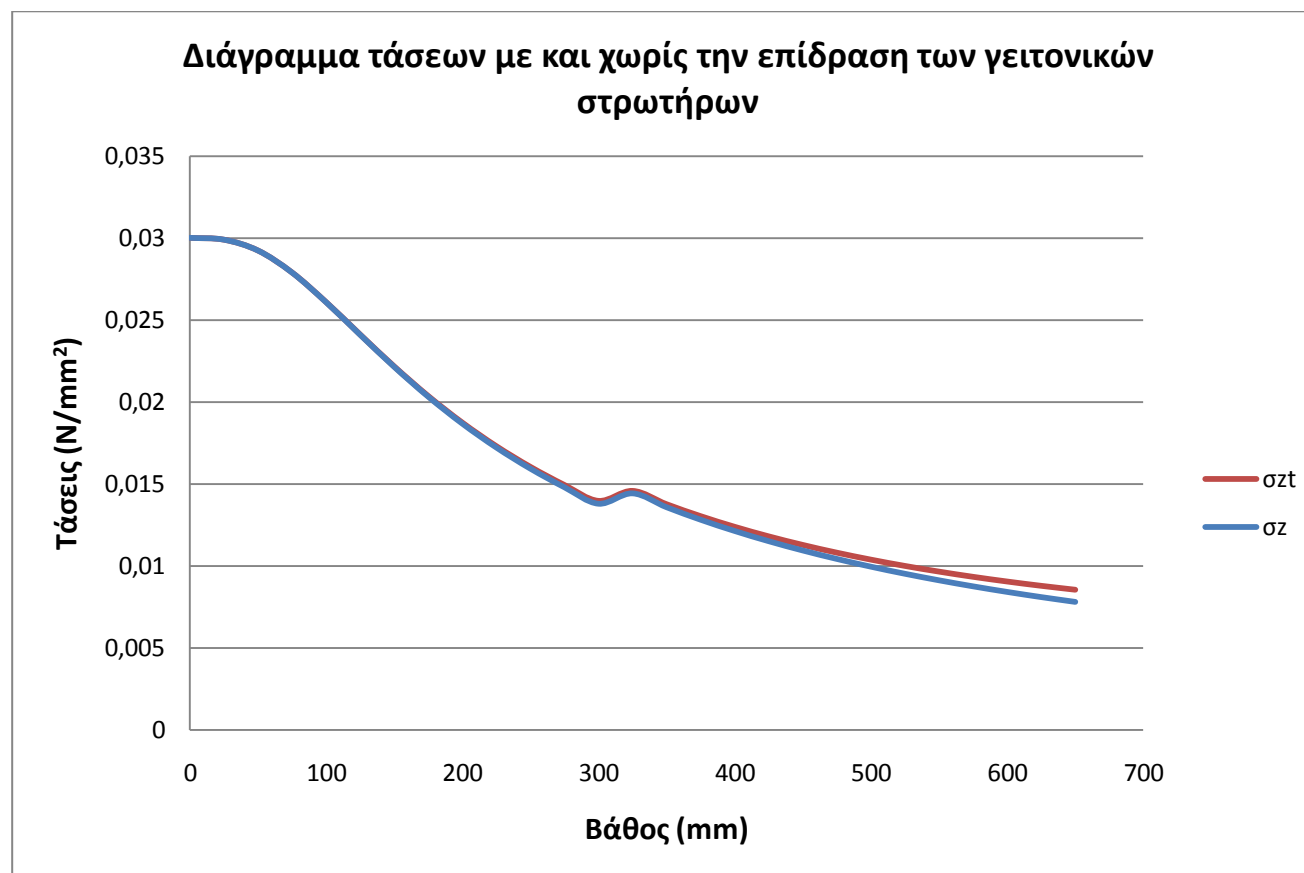


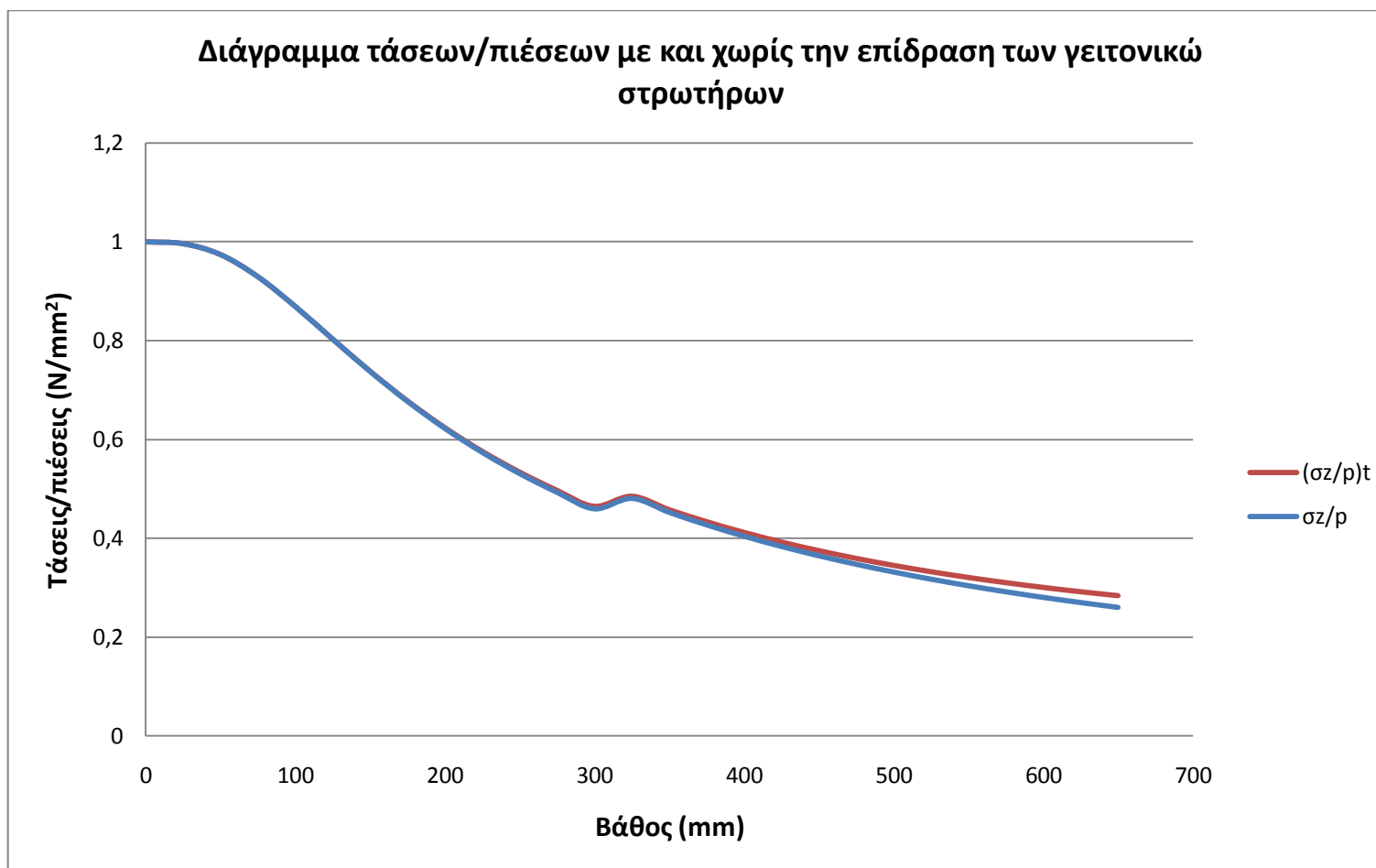


ΠΙΝΑΚΑΣ 11.33 Τάσεις και σ _z και λόγος τάσεων/πιέσεων σ _z /ρ με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις αναμενόμενες βυθίσεις-συρμοί 2-5												
	π	bs	ρ(N/mm2)							a(mm)	700	
	3,141593	250	0,0316			ορ. Απόσταση	1075		825			
z	z'	σ _z	σ _z /ρ		z	z'	a1	α1	a2	α2	σ'z	σ'z/ρ
0	0	0,0316	1		0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000
25	26,20023	0,031483	0,99628848		25	26,20023	0,02437	1,3962	0,031747	1,8190	0,0000	0,0000
50	52,40046	0,030787	0,97427802		50	52,40046	0,04871	2,7907	0,063430	3,6343	0,0000	0,0000
75	78,60068	0,029373	0,92952445		75	78,60068	0,07299	4,1819	0,094987	5,4424	0,0000	0,0001
100	104,80091	0,027468	0,86924321		100	104,80091	0,09718	5,5681	0,126355	7,2396	0,0000	0,0002
125	131,00114	0,025376	0,80303934		125	131,00114	0,12126	6,9479	0,157475	9,0226	0,0000	0,0004
150	157,20137	0,023314	0,73779677		150	157,20137	0,14520	8,3196	0,188290	10,7882	0,0000	0,0008
175	183,40160	0,021397	0,67712565		175	183,40160	0,16898	9,6818	0,218748	12,5333	0,0000	0,0012
200	209,60182	0,019668	0,62239569		200	209,60182	0,19256	11,0330	0,248799	14,2551	0,0001	0,0017
225	235,80205	0,018131	0,57375919		225	235,80205	0,21593	12,3719	0,278398	15,9510	0,0001	0,0024
250	262,00228	0,016774	0,53080753		250	262,00228	0,23906	13,6973	0,307505	17,6187	0,0001	0,0032
275	288,20251	0,015576	0,49292619	στρωτήρας	275	288,20251	0,26194	15,0078	0,336083	19,2562	0,0001	0,0041
300	314,40274	0,014519	0,45946749	1	300	314,40274	0,28453	16,3025	0,364103	20,8616	0,0002	0,0052
325	297,54409	0,015184	0,48052202		325	297,54409	0,27003	15,4713	0,346139	19,8323	0,0001	0,0045
350	320,43210	0,014294	0,45232872		350	320,43210	0,28969	16,5981	0,370469	21,2263	0,0002	0,0054
375	343,32011	0,013492	0,4269484		375	343,32011	0,30913	17,7118	0,394347	22,5944	0,0002	0,0065
400	366,20812	0,012767	0,4040322		400	366,20812	0,32833	18,8119	0,417760	23,9359	0,0002	0,0076
425	389,09612	0,012111	0,38327464		425	389,09612	0,34728	19,8977	0,440696	25,2501	0,0003	0,0088
450	411,98413	0,011515	0,36441079		450	411,98413	0,36598	20,9689	0,463147	26,5364	0,0003	0,0101
475	434,87214	0,010972	0,34721201		475	434,87214	0,38441	22,0249	0,485106	27,7945	0,0004	0,0114
500	457,76015	0,010475	0,33148139		500	457,76015	0,40257	23,0655	0,506567	29,0242	0,0004	0,0128
525	480,64815	0,010019	0,31704927		525	480,64815	0,42045	24,0901	0,527530	30,2253	0,0004	0,0142
550	503,53616	0,009599	0,30376935		550	503,53616	0,43805	25,0987	0,547993	31,3977	0,0005	0,0157
575	526,42417	0,009212	0,29151516		575	526,42417	0,45537	26,0909	0,567957	32,5416	0,0005	0,0172
600	549,31217	0,008854	0,28017708		600	549,31217	0,47240	27,0665	0,587425	33,6570	0,0006	0,0187
625	572,20018	0,008521	0,26965988		625	572,20018	0,48914	28,0255	0,606402	34,7443	0,0006	0,0203
650	595,08819	0,008212	0,25988052		650	595,08819	0,50558	28,9676	0,624891	35,8037	0,0007	0,0218

		ορ. Απόσταση	2025	1775			ορ. Απόσταση	2975	2725		
z	z'		a1	a2	σ'z	σ'z/p		a1	a2	σ'z	σ'z/p
0	0		0	0	0,00000	0,00000		0	0	0,00000	0,00000
25	26,20023		0,01294	0,0148	0,00000	0,00000		0,00881	0,00961	0,00000	0,00000
50	52,40046		0,02587	0,0295	0,00000	0,00000		0,01761	0,01923	0,00000	0,00000
75	78,60068		0,03880	0,0443	0,00000	0,00001		0,02641	0,02884	0,00000	0,00000
100	104,8009		0,05171	0,0590	0,00000	0,00001		0,03521	0,03844	0,00000	0,00000
125	131,0011		0,06460	0,0737	0,00000	0,00003		0,04401	0,04804	0,00000	0,00001
150	157,2014		0,07747	0,0883	0,00000	0,00005		0,05279	0,05762	0,00000	0,00001
175	183,4016		0,09032	0,1030	0,00000	0,00008		0,06157	0,06720	0,00000	0,00001
200	209,6018		0,10314	0,1175	0,00000	0,00011		0,07034	0,07677	0,00000	0,00002
225	235,8021		0,11592	0,1321	0,00000	0,00016		0,07910	0,08632	0,00000	0,00003
250	262,0023		0,12867	0,1465	0,00001	0,00021		0,08784	0,09585	0,00000	0,00004
275	288,2025	στρωτήρας	0,14137	0,1610	0,00001	0,00028	στρωτήρας	0,09657	0,10537	0,00000	0,00006
300	314,4027	2	0,15403	0,1753	0,00001	0,00036	3	0,10529	0,11487	0,00000	0,00007
325	297,5441		0,14589	0,1661	0,00001	0,00031		0,09968	0,10876	0,00000	0,00006
350	320,4321		0,15694	0,1786	0,00001	0,00039		0,10729	0,11705	0,00000	0,00008
375	343,3201		0,16794	0,1911	0,00001	0,00047		0,11489	0,12533	0,00000	0,00010
400	366,2081		0,17891	0,2035	0,00002	0,00057		0,12248	0,13359	0,00000	0,00012
425	389,0961		0,18983	0,2158	0,00002	0,00067		0,13005	0,14183	0,00000	0,00014
450	411,9841		0,20071	0,2281	0,00002	0,00079		0,13761	0,15005	0,00001	0,00016
475	434,8721		0,21154	0,2403	0,00003	0,00092		0,14515	0,15825	0,00001	0,00019
500	457,7601		0,22232	0,2524	0,00003	0,00106		0,15267	0,16643	0,00001	0,00022
525	480,6482		0,23304	0,2644	0,00004	0,00121		0,16018	0,17459	0,00001	0,00025
550	503,5362		0,24372	0,2764	0,00004	0,00138		0,16767	0,18272	0,00001	0,00029
575	526,4242		0,25433	0,2883	0,00005	0,00156		0,17514	0,19083	0,00001	0,00033
600	549,3122		0,26489	0,3001	0,00006	0,00174		0,18259	0,19892	0,00001	0,00037
625	572,2002		0,27539	0,3118	0,00006	0,00195		0,19002	0,20697	0,00001	0,00042
650	595,0882		0,28582	0,3235	0,00007	0,00216		0,19742	0,21501	0,00001	0,00047

Συνολικές τάσεις		
z	σzt	(σz/ρ)t
0	0,0316	1
25	0,031483	0,996292
50	0,030788	0,97431
75	0,029376	0,929631
100	0,027476	0,869492
125	0,025391	0,80352
150	0,02334	0,738613
175	0,021437	0,678397
200	0,019726	0,624253
225	0,018212	0,57634
250	0,016882	0,534253
275	0,015717	0,49738
300	0,014696	0,465071
325	0,015338	0,48537
350	0,01448	0,458216
375	0,013714	0,433978
400	0,013029	0,412303
425	0,012415	0,392878
450	0,011864	0,375432
475	0,011367	0,359729
500	0,01092	0,345563
525	0,010515	0,332757
550	0,010149	0,321156
575	0,009816	0,310624
600	0,009513	0,301044
625	0,009237	0,292313
650	0,008985	0,284338

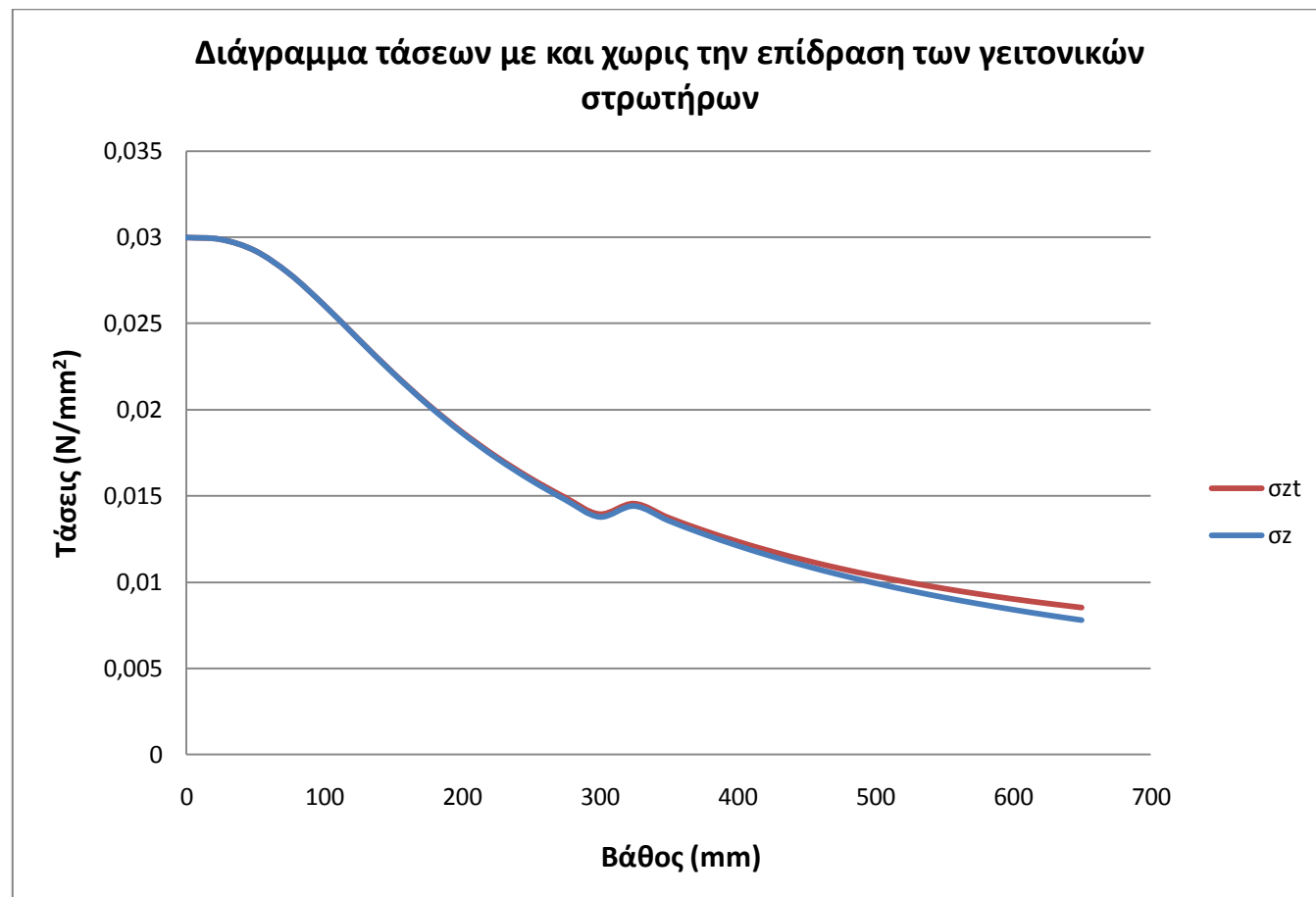


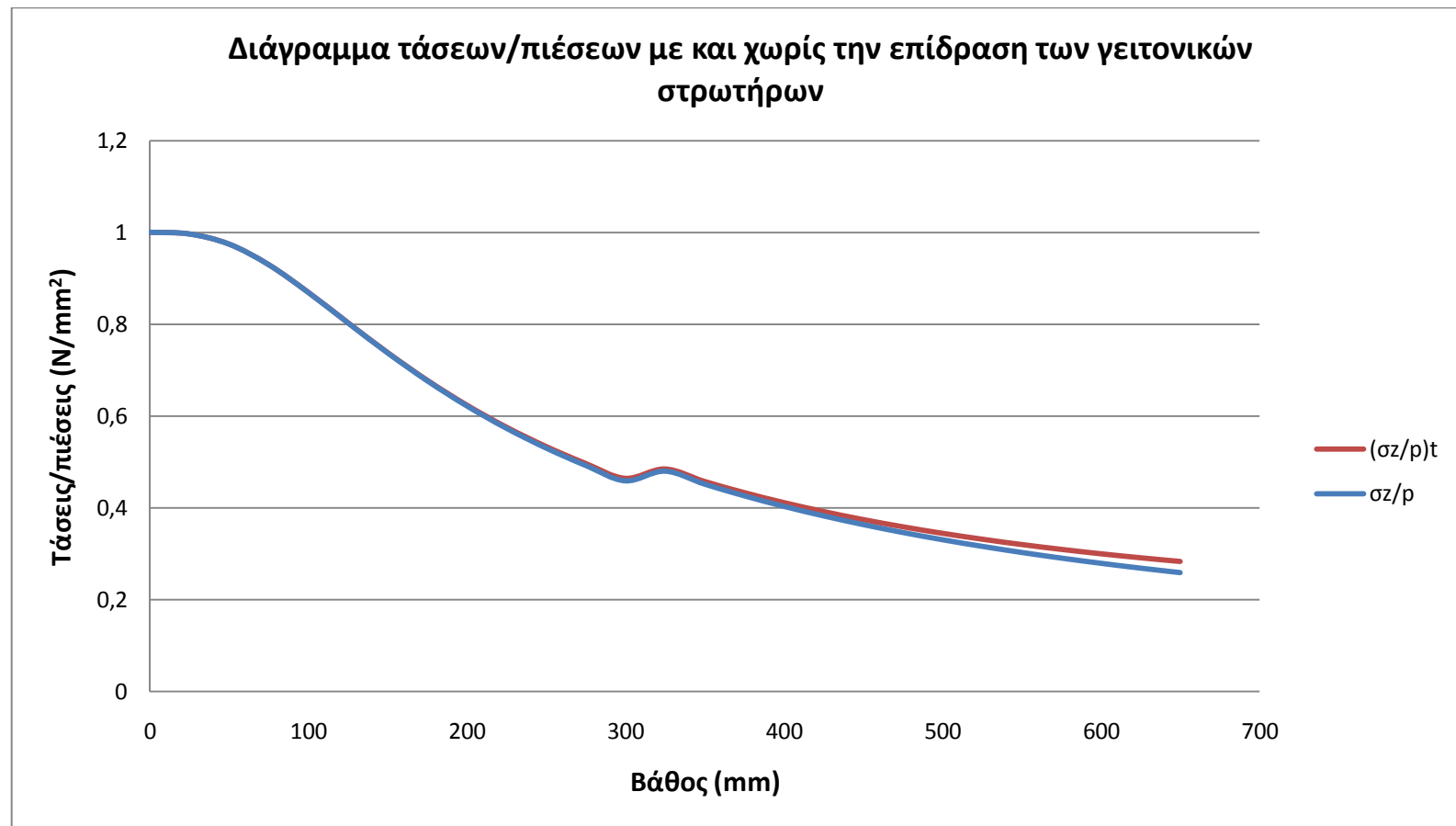


ΠΙΝΑΚΑΣ 11.34 Τάσεις και σ _z και λόγος τάσεων/πιέσεων σ _z /ρ με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις αναμενόμενες βυθίσεις-συρμοί 4-9												
	π	bs	ρ(N/mm ²)							a(mm)	700	
	3,141593	250	0,033			ορ. Απόσταση	1075		825			
z	z'	σ _z	σ _z /ρ		z	z'	a1	α1	a2	α2	σ'z	σ'z/ρ
0	0	0,033	1		0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000
25	26,20023	0,032878	0,99628848		25	26,20023	0,02437	1,3962	0,031747	1,8190	0,0000	0,0000
50	52,40046	0,032151	0,97427802		50	52,40046	0,04871	2,7907	0,063430	3,6343	0,0000	0,0000
75	78,60068	0,030674	0,92952445		75	78,60068	0,07299	4,1819	0,094987	5,4424	0,0000	0,0001
100	104,80091	0,028685	0,86924321		100	104,80091	0,09718	5,5681	0,126355	7,2396	0,0000	0,0002
125	131,00114	0,026500	0,80303934		125	131,00114	0,12126	6,9479	0,157475	9,0226	0,0000	0,0004
150	157,20137	0,024347	0,73779677		150	157,20137	0,14520	8,3196	0,188290	10,7882	0,0000	0,0008
175	183,40160	0,022345	0,67712565		175	183,40160	0,16898	9,6818	0,218748	12,5333	0,0000	0,0012
200	209,60182	0,020539	0,62239569		200	209,60182	0,19256	11,0330	0,248799	14,2551	0,0001	0,0017
225	235,80205	0,018934	0,57375919		225	235,80205	0,21593	12,3719	0,278398	15,9510	0,0001	0,0024
250	262,00228	0,017517	0,53080753		250	262,00228	0,23906	13,6973	0,307505	17,6187	0,0001	0,0032
275	288,20251	0,016267	0,49292619	στρωτήρας	275	288,20251	0,26194	15,0078	0,336083	19,2562	0,0001	0,0041
300	314,40274	0,015162	0,45946749	1	300	314,40274	0,28453	16,3025	0,364103	20,8616	0,0002	0,0052
325	297,54409	0,015857	0,48052202		325	297,54409	0,27003	15,4713	0,346139	19,8323	0,0001	0,0045
350	320,43210	0,014927	0,45232872		350	320,43210	0,28969	16,5981	0,370469	21,2263	0,0002	0,0054
375	343,32011	0,014089	0,4269484		375	343,32011	0,30913	17,7118	0,394347	22,5944	0,0002	0,0065
400	366,20812	0,013333	0,4040322		400	366,20812	0,32833	18,8119	0,417760	23,9359	0,0003	0,0076
425	389,09612	0,012648	0,38327464		425	389,09612	0,34728	19,8977	0,440696	25,2501	0,0003	0,0088
450	411,98413	0,012026	0,36441079		450	411,98413	0,36598	20,9689	0,463147	26,5364	0,0003	0,0101
475	434,87214	0,011458	0,34721201		475	434,87214	0,38441	22,0249	0,485106	27,7945	0,0004	0,0114
500	457,76015	0,010939	0,33148139		500	457,76015	0,40257	23,0655	0,506567	29,0242	0,0004	0,0128
525	480,64815	0,010463	0,31704927		525	480,64815	0,42045	24,0901	0,527530	30,2253	0,0005	0,0142
550	503,53616	0,010024	0,30376935		550	503,53616	0,43805	25,0987	0,547993	31,3977	0,0005	0,0157
575	526,42417	0,009620	0,29151516		575	526,42417	0,45537	26,0909	0,567957	32,5416	0,0006	0,0172
600	549,31217	0,009246	0,28017708		600	549,31217	0,47240	27,0665	0,587425	33,6570	0,0006	0,0187
625	572,20018	0,008899	0,26965988		625	572,20018	0,48914	28,0255	0,606402	34,7443	0,0007	0,0203
650	595,08819	0,008576	0,25988052		650	595,08819	0,50558	28,9676	0,624891	35,8037	0,0007	0,0218

		ορ. Απόσταση	2025	1775			ορ. Απόσταση	2975	2725		
z	z'		a1	a2	σ'z	σ'z/p		a1	a2	σ'z	σ'z/p
0	0		0	0	0,00000	0,00000		0	0	0,00000	0,00000
25	26,20023		0,01294	0,0148	0,00000	0,00000		0,00881	0,00961	0,00000	0,00000
50	52,40046		0,02587	0,0295	0,00000	0,00000		0,01761	0,01923	0,00000	0,00000
75	78,60068		0,03880	0,0443	0,00000	0,00001		0,02641	0,02884	0,00000	0,00000
100	104,8009		0,05171	0,0590	0,00000	0,00001		0,03521	0,03844	0,00000	0,00000
125	131,0011		0,06460	0,0737	0,00000	0,00003		0,04401	0,04804	0,00000	0,00001
150	157,2014		0,07747	0,0883	0,00000	0,00005		0,05279	0,05762	0,00000	0,00001
175	183,4016		0,09032	0,1030	0,00000	0,00008		0,06157	0,06720	0,00000	0,00001
200	209,6018		0,10314	0,1175	0,00000	0,00011		0,07034	0,07677	0,00000	0,00002
225	235,8021		0,11592	0,1321	0,00001	0,00016		0,07910	0,08632	0,00000	0,00003
250	262,0023		0,12867	0,1465	0,00001	0,00021		0,08784	0,09585	0,00000	0,00004
275	288,2025	στρωτήρας	0,14137	0,1610	0,00001	0,00028	στρωτήρας	0,09657	0,10537	0,00000	0,00006
300	314,4027	2	0,15403	0,1753	0,00001	0,00036	3	0,10529	0,11487	0,00000	0,00007
325	297,5441		0,14589	0,1661	0,00001	0,00031		0,09968	0,10876	0,00000	0,00006
350	320,4321		0,15694	0,1786	0,00001	0,00039		0,10729	0,11705	0,00000	0,00008
375	343,3201		0,16794	0,1911	0,00002	0,00047		0,11489	0,12533	0,00000	0,00010
400	366,2081		0,17891	0,2035	0,00002	0,00057		0,12248	0,13359	0,00000	0,00012
425	389,0961		0,18983	0,2158	0,00002	0,00067		0,13005	0,14183	0,00000	0,00014
450	411,9841		0,20071	0,2281	0,00003	0,00079		0,13761	0,15005	0,00001	0,00016
475	434,8721		0,21154	0,2403	0,00003	0,00092		0,14515	0,15825	0,00001	0,00019
500	457,7601		0,22232	0,2524	0,00003	0,00106		0,15267	0,16643	0,00001	0,00022
525	480,6482		0,23304	0,2644	0,00004	0,00121		0,16018	0,17459	0,00001	0,00025
550	503,5362		0,24372	0,2764	0,00005	0,00138		0,16767	0,18272	0,00001	0,00029
575	526,4242		0,25433	0,2883	0,00005	0,00156		0,17514	0,19083	0,00001	0,00033
600	549,3122		0,26489	0,3001	0,00006	0,00174		0,18259	0,19892	0,00001	0,00037
625	572,2002		0,27539	0,3118	0,00006	0,00195		0,19002	0,20697	0,00001	0,00042
650	595,0882		0,28582	0,3235	0,00007	0,00216		0,19742	0,21501	0,00002	0,00047

Συνολικές τάσεις		
z	σ _{zt}	(σ _z /ρ)t
0	0,033	1
25	0,032878	0,996292
50	0,032152	0,97431
75	0,030678	0,929631
100	0,028693	0,869492
125	0,026516	0,80352
150	0,024374	0,738613
175	0,022387	0,678397
200	0,0206	0,624253
225	0,019019	0,57634
250	0,01763	0,534253
275	0,016414	0,49738
300	0,015347	0,465071
325	0,016017	0,48537
350	0,015121	0,458216
375	0,014321	0,433978
400	0,013606	0,412303
425	0,012965	0,392878
450	0,012389	0,375432
475	0,011871	0,359729
500	0,011404	0,345563
525	0,010981	0,332757
550	0,010598	0,321156
575	0,010251	0,310624
600	0,009934	0,301044
625	0,009646	0,292313
650	0,009383	0,284338

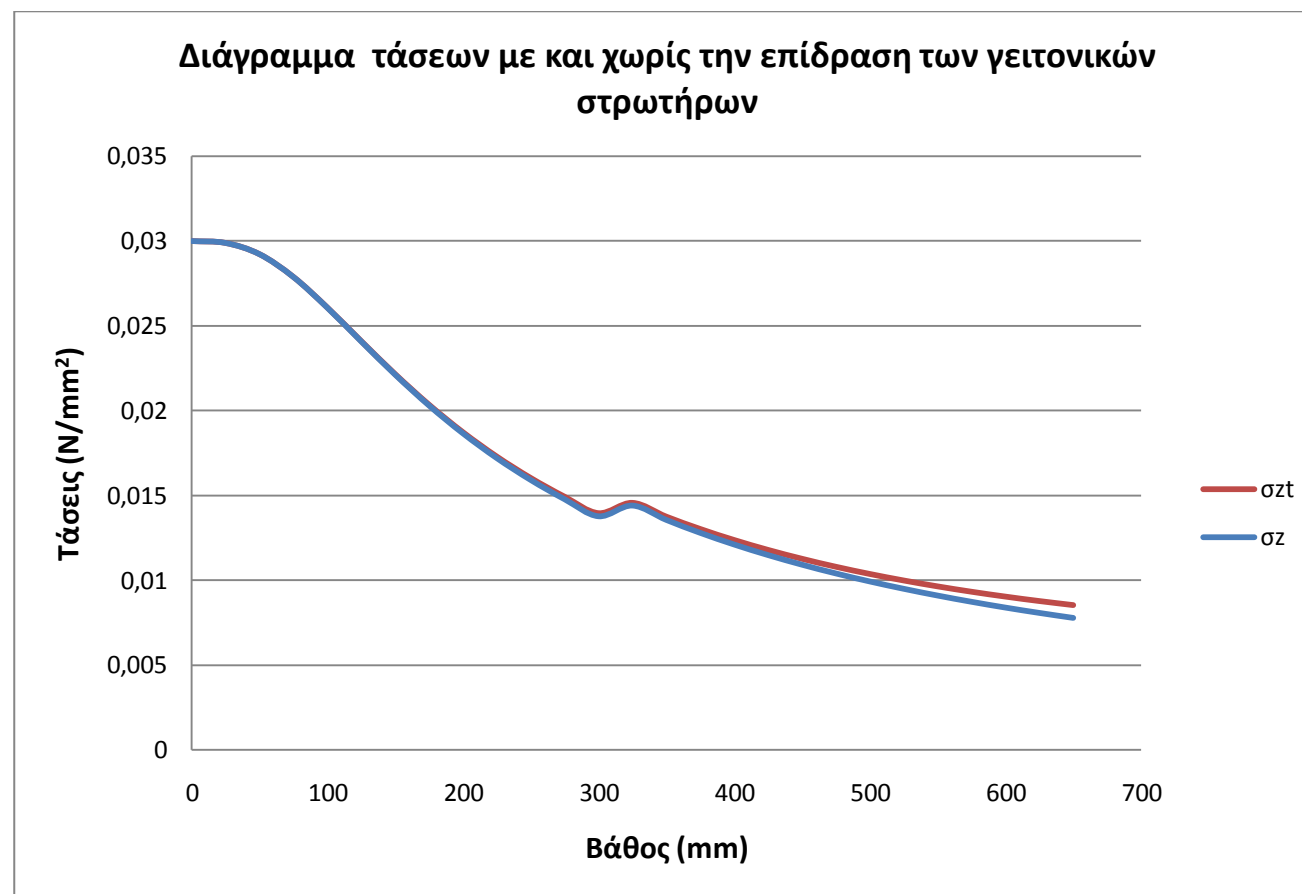


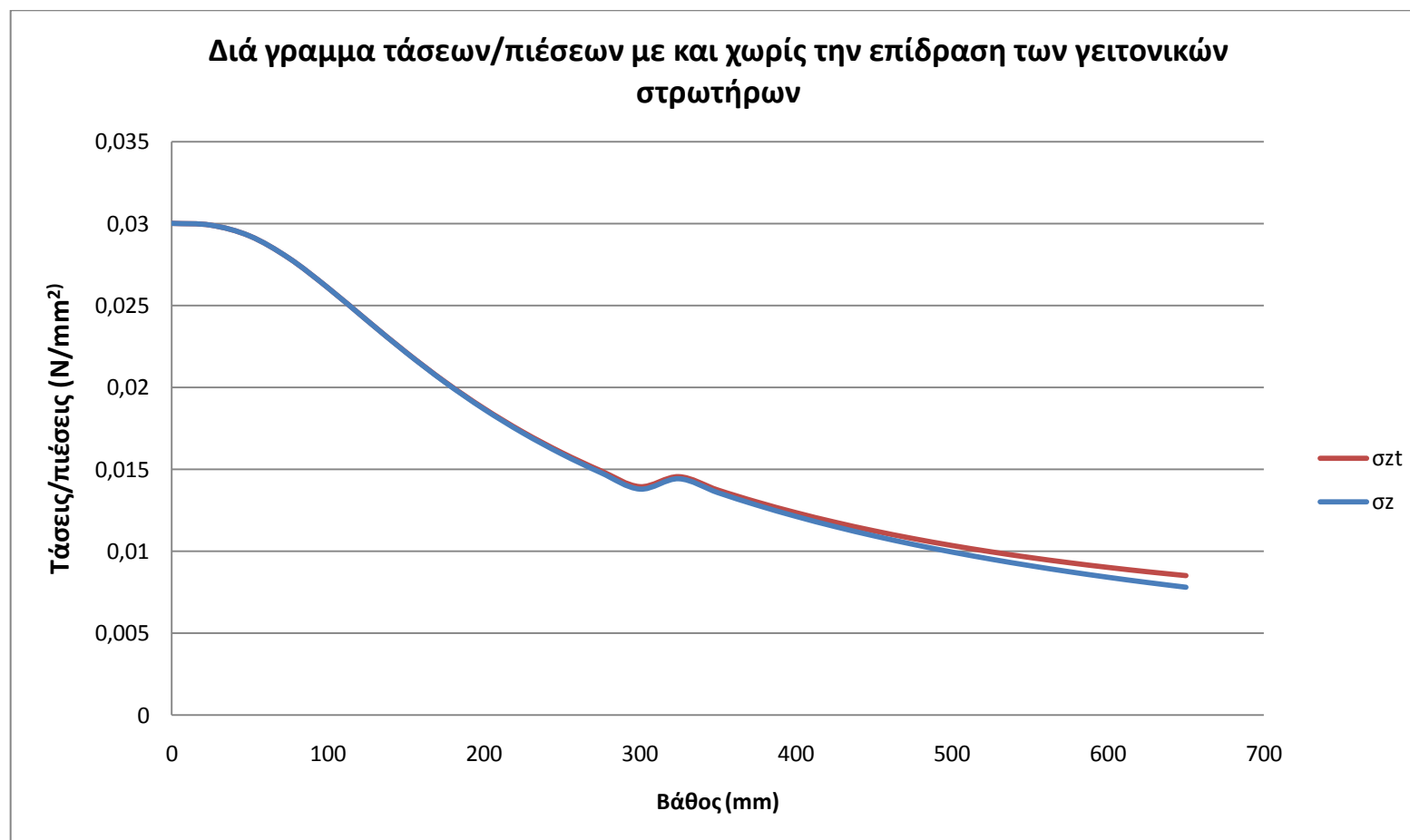


ΠΙΝΑΚΑΣ 11.35 Τάσεις και σz και λόγος τάσεων/πιέσεων σz/ρ με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις αναμενόμενες βυθίσεις-συρμοί 7-8												
	π	bs	p(N/mm2)							a(mm)	700	
	3,141593	250	0,028			ορ. Απόσταση	1075		825			
z	z'	σz	σz/ρ		z	z'	a1	α1	a2	α2	σ'z	σ'z/ρ
0	0	0,028	1		0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000
25	26,20023	0,027896	0,99628848		25	26,20023	0,02437	1,3962	0,031747	1,8190	0,0000	0,0000
50	52,40046	0,027280	0,97427802		50	52,40046	0,04871	2,7907	0,063430	3,6343	0,0000	0,0000
75	78,60068	0,026027	0,92952445		75	78,60068	0,07299	4,1819	0,094987	5,4424	0,0000	0,0001
100	104,80091	0,024339	0,86924321		100	104,80091	0,09718	5,5681	0,126355	7,2396	0,0000	0,0002
125	131,00114	0,022485	0,80303934		125	131,00114	0,12126	6,9479	0,157475	9,0226	0,0000	0,0004
150	157,20137	0,020658	0,73779677		150	157,20137	0,14520	8,3196	0,188290	10,7882	0,0000	0,0008
175	183,40160	0,018960	0,67712565		175	183,40160	0,16898	9,6818	0,218748	12,5333	0,0000	0,0012
200	209,60182	0,017427	0,62239569		200	209,60182	0,19256	11,0330	0,248799	14,2551	0,0000	0,0017
225	235,80205	0,016065	0,57375919		225	235,80205	0,21593	12,3719	0,278398	15,9510	0,0001	0,0024
250	262,00228	0,014863	0,53080753		250	262,00228	0,23906	13,6973	0,307505	17,6187	0,0001	0,0032
275	288,20251	0,013802	0,49292619	στρωτήρας	275	288,20251	0,26194	15,0078	0,336083	19,2562	0,0001	0,0041
300	314,40274	0,012865	0,45946749	1	300	314,40274	0,28453	16,3025	0,364103	20,8616	0,0001	0,0052
325	297,54409	0,013455	0,48052202		325	297,54409	0,27003	15,4713	0,346139	19,8323	0,0001	0,0045
350	320,43210	0,012665	0,45232872		350	320,43210	0,28969	16,5981	0,370469	21,2263	0,0002	0,0054
375	343,32011	0,011955	0,4269484		375	343,32011	0,30913	17,7118	0,394347	22,5944	0,0002	0,0065
400	366,20812	0,011313	0,4040322		400	366,20812	0,32833	18,8119	0,417760	23,9359	0,0002	0,0076
425	389,09612	0,010732	0,38327464		425	389,09612	0,34728	19,8977	0,440696	25,2501	0,0002	0,0088
450	411,98413	0,010204	0,36441079		450	411,98413	0,36598	20,9689	0,463147	26,5364	0,0003	0,0101
475	434,87214	0,009722	0,34721201		475	434,87214	0,38441	22,0249	0,485106	27,7945	0,0003	0,0114
500	457,76015	0,009281	0,33148139		500	457,76015	0,40257	23,0655	0,506567	29,0242	0,0004	0,0128
525	480,64815	0,008877	0,31704927		525	480,64815	0,42045	24,0901	0,527530	30,2253	0,0004	0,0142
550	503,53616	0,008506	0,30376935		550	503,53616	0,43805	25,0987	0,547993	31,3977	0,0004	0,0157
575	526,42417	0,008162	0,29151516		575	526,42417	0,45537	26,0909	0,567957	32,5416	0,0005	0,0172
600	549,31217	0,007845	0,28017708		600	549,31217	0,47240	27,0665	0,587425	33,6570	0,0005	0,0187
625	572,20018	0,007550	0,26965988		625	572,20018	0,48914	28,0255	0,606402	34,7443	0,0006	0,0203
650	595,08819	0,007277	0,25988052		650	595,08819	0,50558	28,9676	0,624891	35,8037	0,0006	0,0218

		ορ. Απόσταση	2025	1775			ορ. Απόσταση	2975	2725		
z	z'		a1	a2	σ'z	σ'z/p		a1	a2	σ'z	σ'z/p
0	0		0	0	0,00000	0,00000		0	0	0,00000	0,00000
25	26,20023		0,01294	0,0148	0,00000	0,00000		0,00881	0,00961	0,00000	0,00000
50	52,40046		0,02587	0,0295	0,00000	0,00000		0,01761	0,01923	0,00000	0,00000
75	78,60068		0,03880	0,0443	0,00000	0,00001		0,02641	0,02884	0,00000	0,00000
100	104,8009		0,05171	0,0590	0,00000	0,00001		0,03521	0,03844	0,00000	0,00000
125	131,0011		0,06460	0,0737	0,00000	0,00003		0,04401	0,04804	0,00000	0,00001
150	157,2014		0,07747	0,0883	0,00000	0,00005		0,05279	0,05762	0,00000	0,00001
175	183,4016		0,09032	0,1030	0,00000	0,00008		0,06157	0,06720	0,00000	0,00001
200	209,6018		0,10314	0,1175	0,00000	0,00011		0,07034	0,07677	0,00000	0,00002
225	235,8021		0,11592	0,1321	0,00000	0,00016		0,07910	0,08632	0,00000	0,00003
250	262,0023		0,12867	0,1465	0,00001	0,00021		0,08784	0,09585	0,00000	0,00004
275	288,2025	στρωτήρας	0,14137	0,1610	0,00001	0,00028	στρωτήρας	0,09657	0,10537	0,00000	0,00006
300	314,4027	2	0,15403	0,1753	0,00001	0,00036	3	0,10529	0,11487	0,00000	0,00007
325	297,5441		0,14589	0,1661	0,00001	0,00031		0,09968	0,10876	0,00000	0,00006
350	320,4321		0,15694	0,1786	0,00001	0,00039		0,10729	0,11705	0,00000	0,00008
375	343,3201		0,16794	0,1911	0,00001	0,00047		0,11489	0,12533	0,00000	0,00010
400	366,2081		0,17891	0,2035	0,00002	0,00057		0,12248	0,13359	0,00000	0,00012
425	389,0961		0,18983	0,2158	0,00002	0,00067		0,13005	0,14183	0,00000	0,00014
450	411,9841		0,20071	0,2281	0,00002	0,00079		0,13761	0,15005	0,00000	0,00016
475	434,8721		0,21154	0,2403	0,00003	0,00092		0,14515	0,15825	0,00001	0,00019
500	457,7601		0,22232	0,2524	0,00003	0,00106		0,15267	0,16643	0,00001	0,00022
525	480,6482		0,23304	0,2644	0,00003	0,00121		0,16018	0,17459	0,00001	0,00025
550	503,5362		0,24372	0,2764	0,00004	0,00138		0,16767	0,18272	0,00001	0,00029
575	526,4242		0,25433	0,2883	0,00004	0,00156		0,17514	0,19083	0,00001	0,00033
600	549,3122		0,26489	0,3001	0,00005	0,00174		0,18259	0,19892	0,00001	0,00037
625	572,2002		0,27539	0,3118	0,00005	0,00195		0,19002	0,20697	0,00001	0,00042
650	595,0882		0,28582	0,3235	0,00006	0,00216		0,19742	0,21501	0,00001	0,00047

Συνολικές τάσεις		
z	σ_z	$(\sigma_z/\rho)t$
0	0,028	1
25	0,027896	0,996292
50	0,027281	0,97431
75	0,02603	0,929631
100	0,024346	0,869492
125	0,022499	0,80352
150	0,020681	0,738613
175	0,018995	0,678397
200	0,017479	0,624253
225	0,016138	0,57634
250	0,014959	0,534253
275	0,013927	0,49738
300	0,013022	0,465071
325	0,01359	0,48537
350	0,01283	0,458216
375	0,012151	0,433978
400	0,011544	0,412303
425	0,011001	0,392878
450	0,010512	0,375432
475	0,010072	0,359729
500	0,009676	0,345563
525	0,009317	0,332757
550	0,008992	0,321156
575	0,008697	0,310624
600	0,008429	0,301044
625	0,008185	0,292313
650	0,007961	0,284338

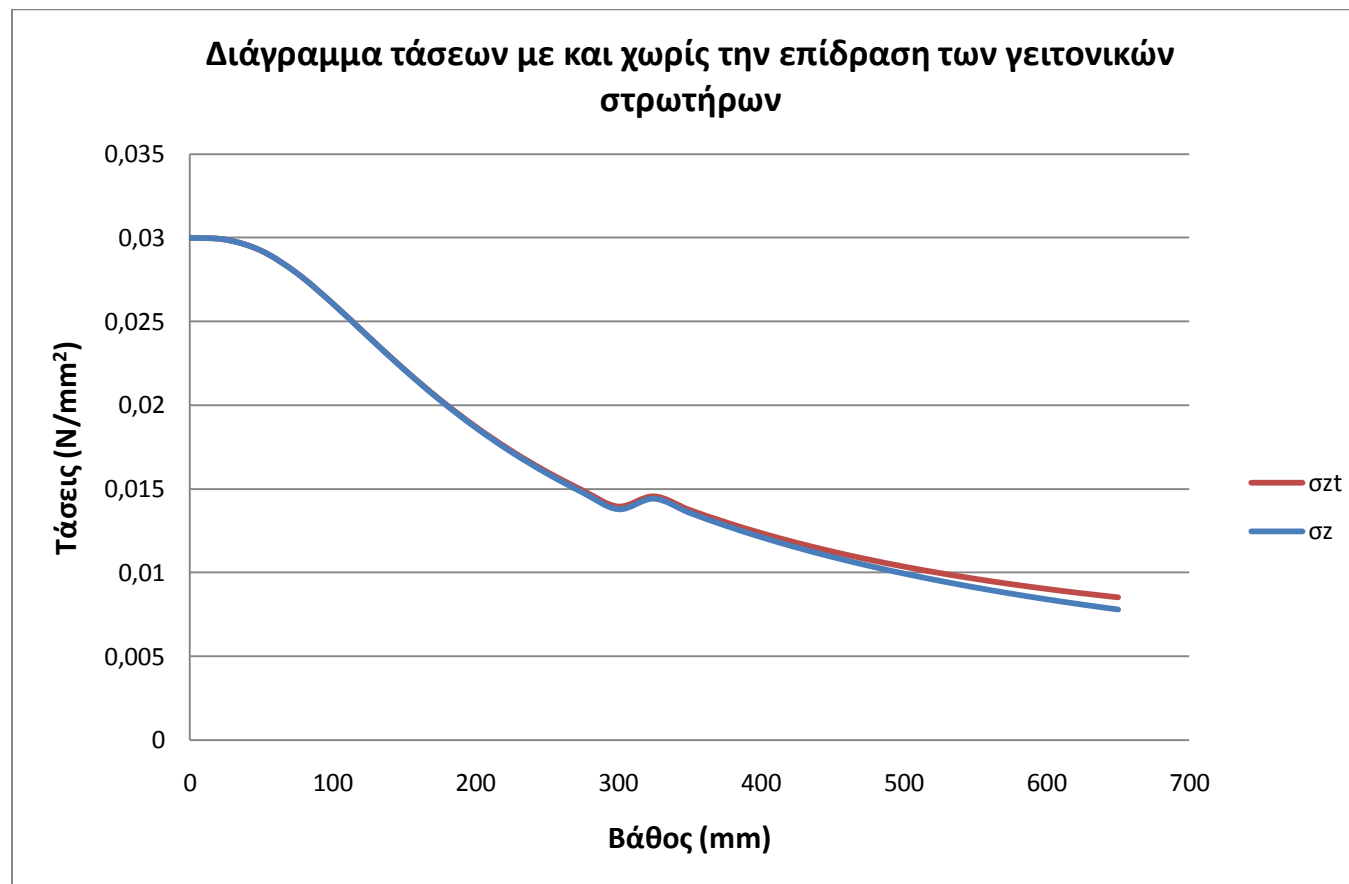


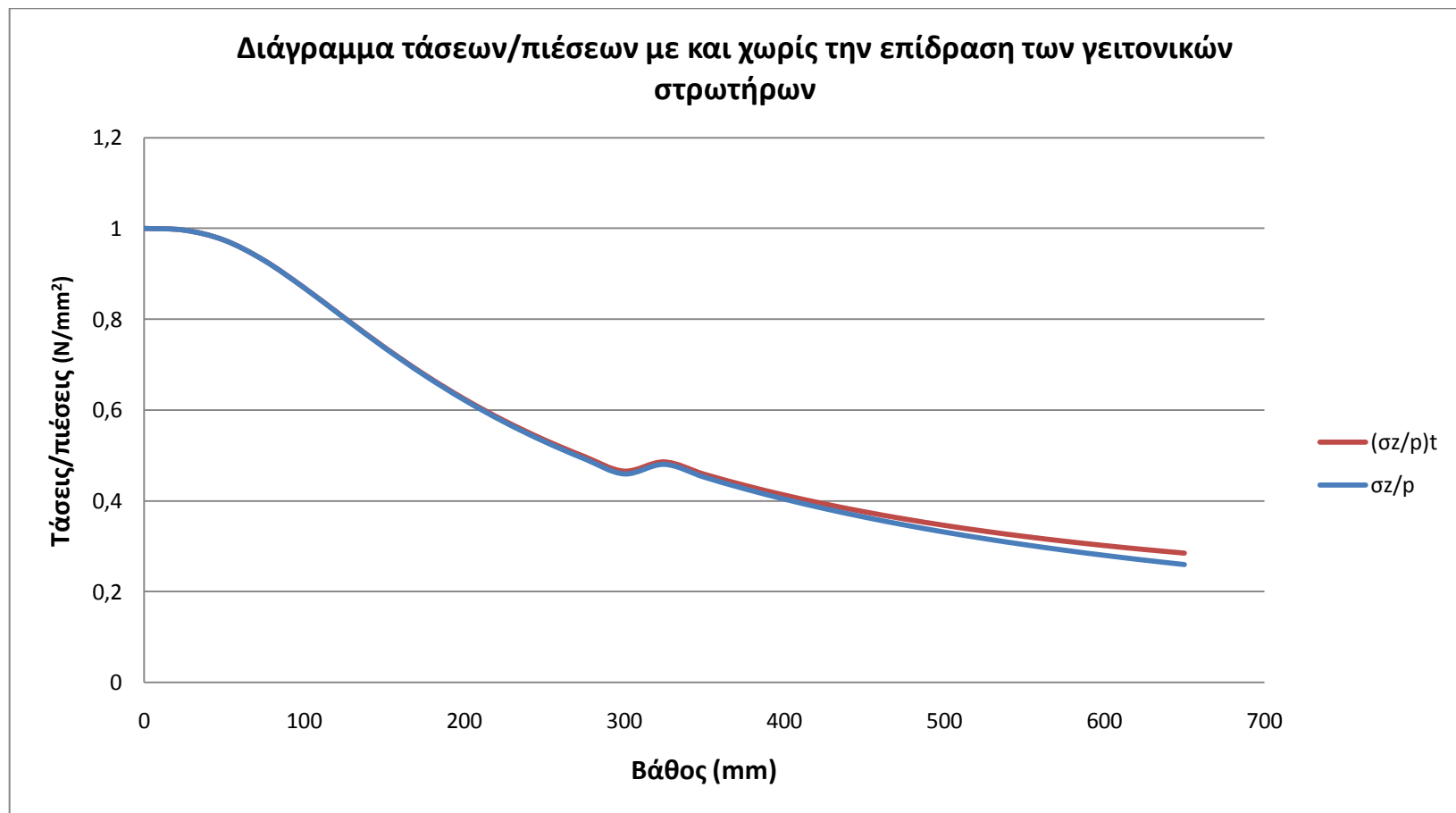


ΠΙΝΑΚΑΣ 11.36 Τάσεις και σ _z και λόγος τάσεων/πιέσεων σ _z /ρ με την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων για τις αναμενόμενες βυθίσσεις-συρμοί 10-11												
	π	bs	ρ(N/mm ²)							a(mm)	700	
	3,141593	250	0,03			ορ. Απόσταση	1075		825			
z	z'	σ _z	σ _z /ρ		z	z'	a1	α1	a2	α2	σ'z	σ'z/ρ
0	0	0,03	1		0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000
25	26,20023	0,029889	0,99628848		25	26,20023	0,02437	1,3962	0,031747	1,8190	0,0000	0,0000
50	52,40046	0,029228	0,97427802		50	52,40046	0,04871	2,7907	0,063430	3,6343	0,0000	0,0000
75	78,60068	0,027886	0,92952445		75	78,60068	0,07299	4,1819	0,094987	5,4424	0,0000	0,0001
100	104,80091	0,026077	0,86924321		100	104,80091	0,09718	5,5681	0,126355	7,2396	0,0000	0,0002
125	131,00114	0,024091	0,80303934		125	131,00114	0,12126	6,9479	0,157475	9,0226	0,0000	0,0004
150	157,20137	0,022134	0,73779677		150	157,20137	0,14520	8,3196	0,188290	10,7882	0,0000	0,0008
175	183,40160	0,020314	0,67712565		175	183,40160	0,16898	9,6818	0,218748	12,5333	0,0000	0,0012
200	209,60182	0,018672	0,62239569		200	209,60182	0,19256	11,0330	0,248799	14,2551	0,0001	0,0017
225	235,80205	0,017213	0,57375919		225	235,80205	0,21593	12,3719	0,278398	15,9510	0,0001	0,0024
250	262,00228	0,015924	0,53080753		250	262,00228	0,23906	13,6973	0,307505	17,6187	0,0001	0,0032
275	288,20251	0,014788	0,49292619	στρωτήρας	275	288,20251	0,26194	15,0078	0,336083	19,2562	0,0001	0,0041
300	314,40274	0,013784	0,45946749	1	300	314,40274	0,28453	16,3025	0,364103	20,8616	0,0002	0,0052
325	297,54409	0,014416	0,48052202		325	297,54409	0,27003	15,4713	0,346139	19,8323	0,0001	0,0045
350	320,43210	0,013570	0,45232872		350	320,43210	0,28969	16,5981	0,370469	21,2263	0,0002	0,0054
375	343,32011	0,012808	0,4269484		375	343,32011	0,30913	17,7118	0,394347	22,5944	0,0002	0,0065
400	366,20812	0,012121	0,4040322		400	366,20812	0,32833	18,8119	0,417760	23,9359	0,0002	0,0076
425	389,09612	0,011498	0,38327464		425	389,09612	0,34728	19,8977	0,440696	25,2501	0,0003	0,0088
450	411,98413	0,010932	0,36441079		450	411,98413	0,36598	20,9689	0,463147	26,5364	0,0003	0,0101
475	434,87214	0,010416	0,34721201		475	434,87214	0,38441	22,0249	0,485106	27,7945	0,0003	0,0114
500	457,76015	0,009944	0,33148139		500	457,76015	0,40257	23,0655	0,506567	29,0242	0,0004	0,0128
525	480,64815	0,009511	0,31704927		525	480,64815	0,42045	24,0901	0,527530	30,2253	0,0004	0,0142
550	503,53616	0,009113	0,30376935		550	503,53616	0,43805	25,0987	0,547993	31,3977	0,0005	0,0157
575	526,42417	0,008745	0,29151516		575	526,42417	0,45537	26,0909	0,567957	32,5416	0,0005	0,0172
600	549,31217	0,008405	0,28017708		600	549,31217	0,47240	27,0665	0,587425	33,6570	0,0006	0,0187
625	572,20018	0,008090	0,26965988		625	572,20018	0,48914	28,0255	0,606402	34,7443	0,0006	0,0203
650	595,08819	0,007796	0,25988052		650	595,08819	0,50558	28,9676	0,624891	35,8037	0,0007	0,0218

		ορ. Απόσταση	2025	1775			ορ. Απόσταση	2975	2725		
z	z'		a1	a2	σ'z	σ'z/p		a1	a2	σ'z	σ'z/p
0	0		0	0	0,00000	0,00000		0	0	0,00000	0,00000
25	26,20023		0,01294	0,0148	0,00000	0,00000		0,00881	0,00961	0,00000	0,00000
50	52,40046		0,02587	0,0295	0,00000	0,00000		0,01761	0,01923	0,00000	0,00000
75	78,60068		0,03880	0,0443	0,00000	0,00001		0,02641	0,02884	0,00000	0,00000
100	104,8009		0,05171	0,0590	0,00000	0,00001		0,03521	0,03844	0,00000	0,00000
125	131,0011		0,06460	0,0737	0,00000	0,00003		0,04401	0,04804	0,00000	0,00001
150	157,2014		0,07747	0,0883	0,00000	0,00005		0,05279	0,05762	0,00000	0,00001
175	183,4016		0,09032	0,1030	0,00000	0,00008		0,06157	0,06720	0,00000	0,00001
200	209,6018		0,10314	0,1175	0,00000	0,00011		0,07034	0,07677	0,00000	0,00002
225	235,8021		0,11592	0,1321	0,00000	0,00016		0,07910	0,08632	0,00000	0,00003
250	262,0023		0,12867	0,1465	0,00001	0,00021		0,08784	0,09585	0,00000	0,00004
275	288,2025	στρωτήρας	0,14137	0,1610	0,00001	0,00028	στρωτήρας	0,09657	0,10537	0,00000	0,00006
300	314,4027	2	0,15403	0,1753	0,00001	0,00036	3	0,10529	0,11487	0,00000	0,00007
325	297,5441		0,14589	0,1661	0,00001	0,00031		0,09968	0,10876	0,00000	0,00006
350	320,4321		0,15694	0,1786	0,00001	0,00039		0,10729	0,11705	0,00000	0,00008
375	343,3201		0,16794	0,1911	0,00001	0,00047		0,11489	0,12533	0,00000	0,00010
400	366,2081		0,17891	0,2035	0,00002	0,00057		0,12248	0,13359	0,00000	0,00012
425	389,0961		0,18983	0,2158	0,00002	0,00067		0,13005	0,14183	0,00000	0,00014
450	411,9841		0,20071	0,2281	0,00002	0,00079		0,13761	0,15005	0,00000	0,00016
475	434,8721		0,21154	0,2403	0,00003	0,00092		0,14515	0,15825	0,00001	0,00019
500	457,7601		0,22232	0,2524	0,00003	0,00106		0,15267	0,16643	0,00001	0,00022
525	480,6482		0,23304	0,2644	0,00004	0,00121		0,16018	0,17459	0,00001	0,00025
550	503,5362		0,24372	0,2764	0,00004	0,00138		0,16767	0,18272	0,00001	0,00029
575	526,4242		0,25433	0,2883	0,00005	0,00156		0,17514	0,19083	0,00001	0,00033
600	549,3122		0,26489	0,3001	0,00005	0,00174		0,18259	0,19892	0,00001	0,00037
625	572,2002		0,27539	0,3118	0,00006	0,00195		0,19002	0,20697	0,00001	0,00042
650	595,0882		0,28582	0,3235	0,00006	0,00216		0,19742	0,21501	0,00001	0,00047

Συνολικές τάσεις		
z	σzt	(σz/ρ)t
0	0,03	1
25	0,029889	0,996292
50	0,029229	0,97431
75	0,027889	0,929631
100	0,026085	0,869492
125	0,024106	0,80352
150	0,022158	0,738613
175	0,020352	0,678397
200	0,018728	0,624253
225	0,01729	0,57634
250	0,016028	0,534253
275	0,014921	0,49738
300	0,013952	0,465071
325	0,014561	0,48537
350	0,013746	0,458216
375	0,013019	0,433978
400	0,012369	0,412303
425	0,011786	0,392878
450	0,011263	0,375432
475	0,010792	0,359729
500	0,010367	0,345563
525	0,009983	0,332757
550	0,009635	0,321156
575	0,009319	0,310624
600	0,009031	0,301044
625	0,008769	0,292313
650	0,00853	0,284338





12) ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΑΣΕΩΝ

12.1 Σύγκριση 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 με τις επιτρεπόμενες τάσεις στο έδαφος βάσει φορτίσεων όπως αυτές αναφέρονται στη βιβλιογραφία. Οι επιτρεπόμενες αυτές τάσεις ακολουθούν στον παρακάτω πίνακα. Στον παρακάτω πίνακα οι τιμές αντιστοιχούν στον δείκτη αντίδρασης εδάφους C που έχει εκτιμηθεί και στο μέτρο ελαστικότητας E_v (για τους υπολογισμούς των ισοδύναμων παχών κατά Odemark) του εδάφους που έχει θεωρηθεί στους υπολογισμούς βάσει του C .

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.1

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

όπου:

n αριθμός φορτίσεων κατά την κρίσιμη περίοδο του έτους

$\sigma_{\text{επιτρ}1}$ επιτρεπόμενη τάση για $n = 10^6$ φορτίσεις

$\sigma_{\text{επιτρ}2}$ επιτρεπόμενη τάση για $n = 10^7$ φορτίσεις

εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω τιμές έχουν προκύψει από πειραματικές μετρήσεις των γερμανικών σιδηροδρόμων 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.

Μετρηθείσες βυθίσεις

Όπως φαίνεται από τους πίνακες οι κατακόρυφες τάσεις που μεταβιβάζονται στο έδαφος στην περίπτωση αυτή είναι:

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

- $\sigma_{z1} = 0,008041(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,0247$) $<0,010(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ1}}$
- $\sigma_{z2} = 0,008224(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,0151$) $<0,010(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ1}}$
- $\sigma_{z3} = 0,008546(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,0179$) $<0,010(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ1}}$
- $\sigma_{z4} = 0,007076(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,0163$) $<0,010(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ1}}$
- $\sigma_{z5} = 0,006938(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,0210$) $<0,010(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ1}}$
- $\sigma_{z6} = 0,010430(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,0245$) $<0,012(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ2}}$
- $\sigma_{z7} = 0,008684(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,0151$) $<0,010(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ1}}$
- $\sigma_{z8} = 0,008454(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,0163$) $<0,010(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ1}}$
- $\sigma_{z9} = 0,009649(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,0170$) $<0,010(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ1}}$
- $\sigma_{z10} = 0,007649(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,0206$) $<0,010(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ1}}$
- $\sigma_{z11} = 0,010420(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,0190$) $<0,010(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ2}}$

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

- $\sigma_{z1} = 0,008139(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,0247$) $<0,010(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ1}}$
- $\sigma_{z2} = 0,008325(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,0151$) $<0,010(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ1}}$
- $\sigma_{z3} = 0,008650(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,0179$) $<0,010(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ1}}$
- $\sigma_{z4} = 0,007162(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,0163$) $<0,010(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ1}}$
- $\sigma_{z5} = 0,007023(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,0210$) $<0,010(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ1}}$
- $\sigma_{z6} = 0,010560(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,0245$) $<0,012(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ2}}$
- $\sigma_{z7} = 0,008790(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,0151$) $<0,010(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ1}}$
- $\sigma_{z8} = 0,008557(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,0163$) $<0,010(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ1}}$
- $\sigma_{z9} = 0,009767(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,0170$) $<0,010(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ1}}$
- $\sigma_{z10} = 0,008048(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,0206$) $<0,010(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ1}}$
- $\sigma_{z11} = 0,010550(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,0190$) $<0,012(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ2}}$

Αναμενόμενες βυθίσεις

Όπως φαίνεται από τους πίνακες οι κατακόρυφες τάσεις που μεταβιβάζονται στο έδαφος στην περίπτωση αυτή είναι:

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

- $\sigma_{z1} = 0,016817(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,15$) $< 0,102(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ}1}$
- $\sigma_{z1} = 0,014512(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,15$) $< 0,102(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ}1}$
- $\sigma_{z1} = 0,015162(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,15$) $< 0,102(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ}1}$
- $\sigma_{z1} = 0,012865(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,15$) $< 0,102(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ}1}$
- $\sigma_{z1} = 0,013922(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,15$) $< 0,102(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ}1}$

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

- $\sigma_{z1} = 0,017022(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,15$) $< 0,102(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ}1}$
- $\sigma_{z1} = 0,014696(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,15$) $< 0,102(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ}1}$
- $\sigma_{z1} = 0,015347(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,15$) $< 0,102(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ}1}$
- $\sigma_{z1} = 0,013022(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,15$) $< 0,102(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ}1}$
- $\sigma_{z1} = 0,013952(\text{N/mm}^2)$ ($C=0,15$) $< 0,102(\text{N/mm}^2) = \sigma_{z,\text{επιτρ}1}$

Από τα παραπάνω συμπεραίνονται τα εξής:

Και στις δύο περιπτώσεις, οι τάσεις που μεταβιβάζονται στο έδαφος είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων, οπότε το έδαφος δεν κινδυνεύει έναντι αστοχίας. Πρέπει να παρατηρήσει κανείς ότι τα αποτελέσματα των αναμενόμενων βυθίσεων προέκυψαν με βάση την εκτίμηση που έγινε για το δείκτη αντίδρασης εδάφους θεωρώντας μια πολύ καλή κατάσταση επιδομής και υποδομής. Η εκτίμηση αυτή φαίνεται να ανταποκρίνεται πολύ ικανοποιητικά. Αυτό όμως είναι απαραίτητο να διαπιστωθεί με μεγαλύτερο πλήθος μετρήσεων, το οποίο όμως δεν ήταν εφικτό στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

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 τάση αυξάνεται λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων αναλογικά σε σχέση με το βάθος.

Σε όλα τα διαγράμματα παρατηρείται μια ομοιογένεια, δηλαδή τα αποτελέσματα είναι ίδια σχεδόν για όλους τους συρμούς που μετρήθηκαν, γεγονός το οποίο είναι αναμενόμενο. Όλα τα μεγέθη που υπολογίστηκαν είναι παρόμοια και οι τιμές τους διαφέρουν πολύ λίγο.

Υπολογίζοντας το μήκος επίδρασης x_{in} των γειτονικών στρωτήρων είναι σαφές ότι το μήκος είναι ανάλογο του ελαστικού μήκους L . από τον τύπο υπολογισμού του ελαστικού μήκους L 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 αριθμό γειτονικών στρωτήρων και συνεπώς η αύξηση της τάσης στα σημεία αυτά είναι πιο σημαντική από ότι στα άλλα σημεία.

Είναι σαφές ότι η αναγκαιότητα για υπολογισμό των τάσεων στο έδαφος λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση των γειτονικών στρωτήρων είναι μεγάλη στα σημεία που παρουσιάζουν μεγάλες βυθίσεις.

Η κατάσταση της γραμμής στο σημείο μέτρησης είναι αρκετά καλή. Παρουσιάζεται μεγάλη ομοιομορφία για όλους τους συρμούς που μετρήθηκαν. Όλα αυτά επιβεβαιώνονται από το γεγονός ότι η γραμμή είναι καινούργια.

Οι τάσεις που μεταβιβάζονται στο έδαφος είναι όλες εντός των επιτρεπόμενων ορίων, γεγονός που επιβεβαιώνει τη καλή κατάσταση της γραμμής.

13) ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

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

- Η ανάλυση και η καταγραφή των ενδείξεων του οργάνου επιτυγχάνεται εξίσου καλά είτε σε μικρότερες είτε σε μεγαλύτερες ταχύτητες.
- Η ακρίβεια των μετρήσεων κρίνεται 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 δυνατή η λήψη μεγάλου δείγματος μετρήσεων.

Από τη επεξεργασία των μετρήσεων προκύπτουν τα παρακάτω:

- Η μέγιστη ανύψωση της σιδηροτροχιάς λαμβάνει χώρα είτε πριν τη διέλευση του πρώτου άξονα του φορείου είτε ανάμεσα στον δεύτερο άξονα του πρώτου φορείου και του πρώτου άξονα του δεύτερου φορείου του ίδιου βαγονιού.
- Μετά τη διέλευση του πρώτου συρμού (μηχανή χωρίς βαγόνια, παρατηρείται στο στρωτήρα παραμένουσα βύθιση, η οποία αποσβένεται μετά από χρονικό διάστημα t , ανάλογο με την ελαστικότητα της γραμμής, γεγονός που συμφωνεί με τη βιβλιογραφία.
- Το ποσοστό της ανύψωσης ως προς τη βύθιση είναι γενικά μεγάλο και κυμαίνεται από 5% έως 37% με μέση τιμή περίπου το 28%. Το ποσοστό αυτό δεν απέχει πολύ από το φυσιολογικό –το οποίο είναι γύρω στο 4%- γεγονός που οδηγεί σε μικρή αντίσταση έναντι πλευρικής μετατόπισης.

Από τον υπολογισμό των τάσεων συμπεραίνονται τα εξής:

- Για τις μετρηθείσες βυθίσεις οι τάσεις είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων. Η επίδραση των γειτονικών 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 τις αναμενόμενες βυθίσεις και για το θεωρούμενο δείκτη αντίδρασης εδάφους, οι κατακόρυφες τάσεις είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων.
- Η κατάσταση της γραμμής είναι πού καλή, μιας και παρουσιάζεται ομοιομορφία στα αποτελέσματα, γεγονός που οφείλεται εν μέρει στο ότι η γραμμή είναι καινούργια.

14) ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάστηκε έλλειψη δυνατότητας λήψης μετρήσεων σε πολλά σημεία της γραμμής ώστε να υπάρχει μία ολοκληρωμένη εικόνα της κατάστασης της επιδομής και υποδομής του δικτύου του ΟΣΕ 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. Οι μετρήσεις αυτές καλό θα ήταν 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.

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 ΟΣΕ με τη χρησιμοποίηση του κατάλληλου εξοπλισμού που διαθέτει το εργαστήριο οδοστρωμάτων του τομέα μεταφορών και συγκοινωνιακής υποδομής του Ε.Μ.Π.

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 αποτελέσματά της σε καμία περίπτωση δεν μπορούν να δώσουν αντιπροσωπευτικά συμπεράσματα για την κατάσταση της γραμμής του ΟΣΕ αλλά μόνο μία πρώτη προσέγγιση του αντικειμένου.

15) ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

α	η γωνία σε
α'	η γωνία σε
a	απόσταση μεταξύ στρωτήρων
A	επίπεδο εμπιστοσύνης
b	πλάτος του υποθετικού κατά μήκος φορέα
b_s	πλάτος του στρωτήρα
C	δείκτης αντίδρασης εδάφους
D	συντελεστής βύθισης στρωτήρα
d	max ανέβασμα στρωτήρα
d_1	πρώτο ανέβασμα στρωτήρα
E_v	μέτρο ελαστικότητας στρώσης n
E_x	μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα $2,1 \cdot 10^5$
E_{v2}	μέτρο ελαστικότητας εδάφους
$E_{δυν,μ}$	δυναμικό μέτρο ελαστικότητας των προστατευτικών στρώσεων / υποδομής / εδάφους
F_1	ενεργός επιφάνεια στρωτήρα ανά σιδηροτροχιά
h	πάχος στρώσης
h'	ισοδύναμο πάχος στρώσης
η	συντελεστής που χαρακτηρίζει την επιρροή στην κάμψη της γραμμή σε δεδομένη απόσταση από τη διερευνούμενη διατομή
θ	δυναμικός συντελεστής
I	ροπή αδράνειας της σιδηροτροχιάς
j	τιμή μέτρησης μεγέθους

j_μ	μέση τιμή μέτρησης μεγέθους
k_{dyn}	δυναμικός συντελεστής
L	ελαστικό μήκος
l	μήκος στρωτήρα
m	μεσαίο τμήμα ελεύθερο έδρασης (δεν υπολογώνεται)
$M_{επ}$	επιπλέον καμπτική ροπή λόγω επιρροής 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 στη διεπιφάνεια στρωτήρα έρματος
Q	φορτίο τροχού
q	ο συντελεστής απόσβεσης
π	συντελεστής κατάστασης επιδομής
s	απόσταση μεταξύ των μέσων στην κεφαλή σιδηροτροχιών (κανονικό εύρος 1500mm)
s_s	τυπική απόκλιση
s_s^2	στατιστική διασπορά
σ_M	μέση τιμή στο μέσο του πέλματος της σιδηροτροχιάς
σ_x	οριζόντια τάση σε
σ_z', σ_x'	οι επιπρόσθετες τάσεις στο έδαφος
$\sigma_{z,επιτρ1}$	επιτρεπόμενη τάση για $n=10^6$ διελεύσεις
$\sigma_{z,επιτρ}$	επιτρεπόμενη τάση για $n=10^7$ διελεύσεις
τ_{max}	διατμητική τάση σε

t	χρόνος σε
t_s	συντελεστής κατανομής student
t_σ	στατιστική ασφάλεια
u	απόσταση άξονα σιδηροτροχιάς μέχρι την άκρη (μέτωπο) του στρωτήρα
$2u$	μήκος ενεργού στρωτήρα κάτω από επιφάνειας στρωτήρα
$V_{res, Anf}$	η ταχύτητα ταλάντωσης σε βάθος $z=0$
W_u	ροπή αντίστασης στο πέλμα της σιδηροτροχιάς
Φ	συντελεστής ταχύτητας
X	η απόσταση από τη διερευνούμενη διατομή
X_{cr}	κρίσιμη απόσταση μεταξύ των αξόνων του φορείου (μεταξόνιο)
X_{in}	απόσταση από τον υπό εξέταση στρωτήρα έτσι ώστε η επίδραση των γειτονικών στρωτήρων να είναι σημαντική
γ	βύθιση του στρωτήρα στο έρμα (μέγιστη)
$\gamma_{\epsilon\lambda\alpha\sigma\tau}$	βύθιση ελαστικού υποθέματος
$\gamma_{\epsilon\pi}$	επιπλέον κάμψη (βύθιση) λόγω επιρροής των διπλανών στρωτήρων
$\gamma_{\mu 1,2}$	όρια διαστήματος εμπιστοσύνης βύθισης
γ_M	μέση τιμή μετρούμενης βύθισης σιδηροτροχιάς
γ_o	βύθιση λόγω κενού έρματος
$\gamma_{ολικ\eta}$	συνολική βύθιση (ή αλλιώς γ_M)
$\gamma_{\sigma\upsilon\nu\omicron\lambda}$	$=\gamma_{\epsilon\lambda\alpha\sigma\tau} + \gamma_o$
z	πραγματικό βάθος κάτω από το στρωτήρα
z'	ισοδύναμο βάθος κάτω από το στρωτήρα σε

16) ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- {1} Λυμπέρης Κ.:
«Σημειώσεις από το μάθημα των Σιδηροδρόμων»
Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Ε.Μ.Π.,
2007
- {2} Lichtberger, B.:
“Handbuch Gleis”, “Unterbau, Oberbau Instandhaltung,
Wirtschaftlichkeit”,
Tetzlaff Verlag, 2003
- {3} IVT, ETH Zurich:
“Optimierung des Oberbaus bei Meterspurbahnen”
Teil 2, Schriftenreihe des IVT Nr. 100/2,
Zurich, Juni 1994
- {4} Wilhelm E., Sohn:
“Forschungsarbeiten auf dem Gebiet des Eisenbahn- und
Strassenoberbaues”
Verlag von Wilhelm Ernst und Sohn,
Berlin – Munchen – Dusseldorf, 1974
- {5} Rehfeld E.:
“Wirkungen der Zuguberfahrt auf Oberbau, Unterbau und
Untergrund”
EI, Dezember 2000
- {6} Muller-Borattau F., Rosenthal V., Breitsamter N.:
“So tragt der Schotter Lasten ab – Mnssungen in situ am

Oberbau, SYSTEME GROTZ BSO/MK"

ETR, November 2001

{7} Muller-Buruttau F.:

"Elastische Gleiskomponenten verringern die dynamische
Unterbau – und Untergrundbeanspruchung"

EI, Januar 2001

{8} Muller-Boruttau F., Breitsametr 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",

"Wetung der Bauarten der Feste Fahrbahn"

EI, April 1998

{13} Riessberger R., Schilder R., Plika P.:

“Das Rahmenschwellengleis – Stand der Entwicklung”

ZEV, Juni 2000

{14} VOEST-ALPINE:

“Oberbau – Profile, Oberbau – Fertigteile”

{15} Κοκολάκης Γ., Σπηλιώτης Ι.:

«Εισαγωγή στη θεωρία των πιθανοτήτων και στατιστική»

Εκδόσεις Συμεών, 2004

17) ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

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

- Κα Ασημακοπούλου Αναστασία, από τη διεύθυνση γραμμής του ΟΣΕ για την εξασφάλιση άδειας εισόδου στη γραμμή.
- Κα Τάκη Μαρία, από τη διεύθυνση γραμμής του ΟΣΕ, για την πολύτιμη βοήθειά της για την πραγματοποίηση των μετρήσεων, καθώς και για την προσωπική της παρουσία κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων και για την εξασφάλιση της ασφάλειάς μας.
- Κο Κοραντζάνη Γεώργιο, από τους οδηγούς του ΟΣΕ, για την βοήθεια του στην επιλογή του σημείου μέτρησης.
- Κο Σωτηρόπουλο Δημήτριο, από τη διεύθυνση παραγωγής του ΟΣΕ, για την παρουσία του κατά τη διάρκεια των δοκιμαστικών μετρήσεων.
- Κο Σουρμελή Κωνσταντίνο, από τη διεύθυνση παραγωγής του ΟΣΕ, για την παρουσία του κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.
- Κο Λυμπέρη Κωνσταντίνο για την βοήθειά του καθ' όλη την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.
- Ξαδέρφες μου, Ελένη, Καίτη, Γεωργία, Παναγιώτα, Γιώργο, για την παραχώρηση τραπεζιού για την τοποθέτηση του ηλεκτρονικού υπολογιστή κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

