



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ & ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : Σ. ΚΟΛΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Θέμα : « Μηχανικά χαρακτηριστικά αμμοχάλικων κατεργασμένων με
συνδυασμό γαλακτώματος και μικρών ποσοτήτων τσιμέντου »**

ΜΠΟΥΝΤΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
ΤΣΕΡΕΠΑΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

ΑΘΗΝΑ , ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2003



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ & ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

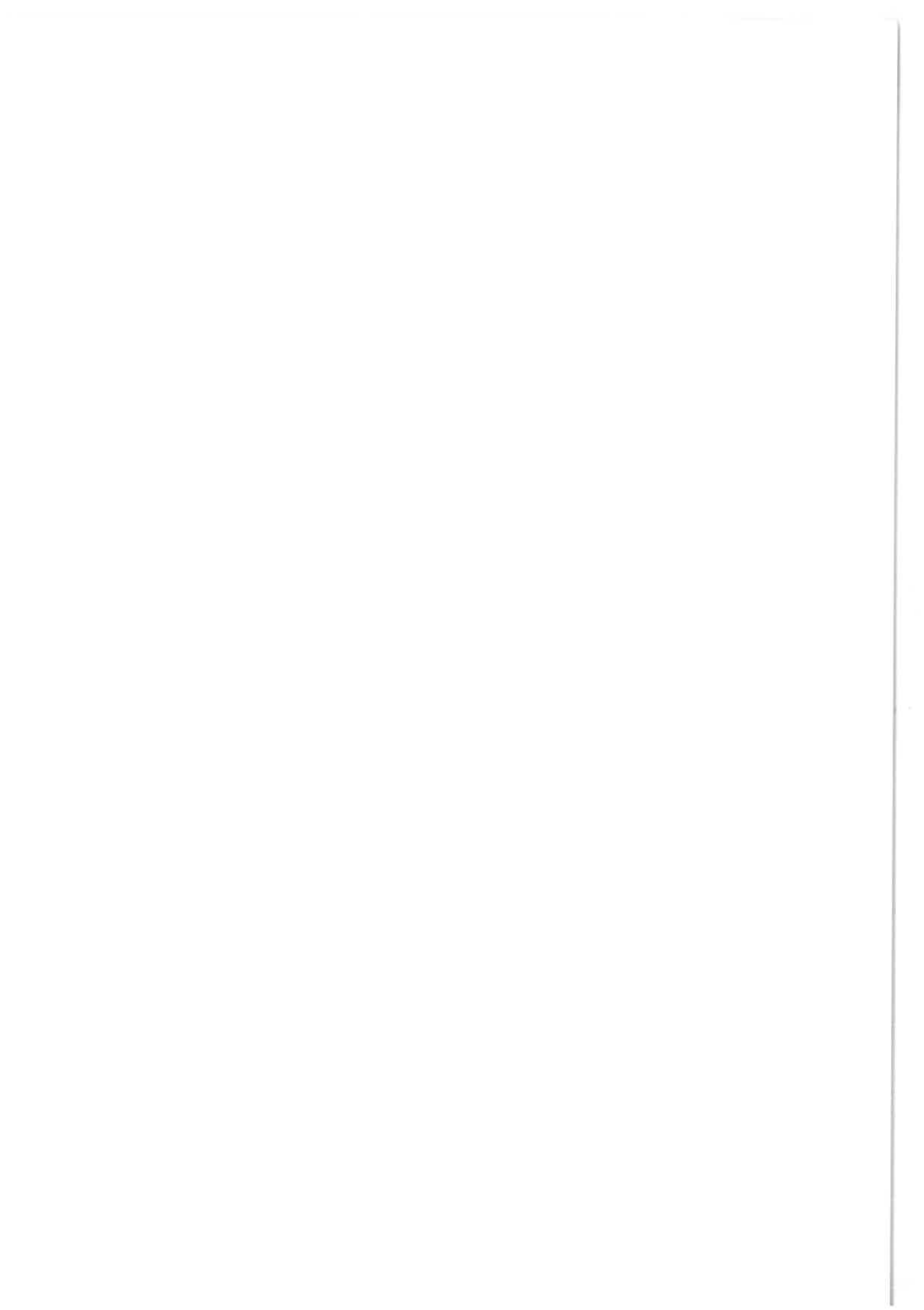
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : Σ. ΚΟΛΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θέμα : « Μηχανικά χαρακτηριστικά αμμοχάλικων κατεργασμένων με συνδυασμό γαλακτώματος και μικρών ποσοτήτων τσιμέντου »

ΜΠΟΥΝΤΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
ΤΣΕΡΕΠΑΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

ΑΘΗΝΑ , ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2003





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ & ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΠΟΥΝΤΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
ΤΣΕΡΕΠΑΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

**Θέμα : « Μηχανικά χαρακτηριστικά αμμοχάλικων κατεργασμένων με
συνδυασμό γαλακτώματος και μικρών ποσοτήτων τσιμέντου »**

ΑΘΗΝΑ ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2003

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Γενικά.....	1
1.2 Είδη οδοστρωμάτων.....	2
1.2.1 Εύκαμπτα οδοστρώματα.....	2
1.2.2 Διαστασιολόγηση εύκαμπτων οδοστρωμάτων.....	7
1.2.3 Δύσκαμπτα οδοστρώματα.....	9
1.3 Συντήρηση και ενίσχυση οδοστρωμάτων.....	9
1.4 Συστήματα διαχείρισης οδοστρωμάτων.....	10
2. ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΑ.....	14
2.1 Γενικά.....	14
2.1.1 Αδρανή υλικά.....	16
2.1.2 Συνδετικά υλικά.....	16
2.2 Ασφαλτικά διαλύματα.....	17
2.3 Ασφαλτικά γαλακτώματα.....	18
2.3.1 Γενικά.....	18
2.3.2 Ταξινόμηση.....	18
2.3.3 Παραγωγή ασφαλτικών γαλακτωμάτων.....	20
2.3.4 Ιδιότητες ασφαλτικού γαλακτώματος.....	21
2.3.5 Χρήσεις των γαλακτωμάτων.....	26
2.3.6 Σύγκριση ασφαλτικών γαλακτωμάτων με άλλα σταθεροποιητικά μέσα.....	28
2.4 Ψυχρά ασφαλτομίγματα.....	29
2.4.1 Γενικά.....	29
2.4.2 Τύποι ψυχρών ασφαλτομιγμάτων.....	29
2.5 Παραγωγή ψυχρών ασφαλτομιγμάτων.....	36
2.5.1 Παραγωγή σε μόνιμο συγκρότημα.....	36
2.5.2 Παραγωγή σε ειδικό αυτοκινούμενο μηχάνημα.....	37
2.5.3 Τροφοδοσία από σειράδιο.....	38
2.5.4 Παραγωγή επί του έργου με ανάμιξη επί της οδού.....	39
2.6 Ψυχρά μίγματα Slurry Seal.....	40
2.6.1 Υλικά παραγωγής.....	40
2.6.2 Σύνθεση μίγματος Slurry Seal.....	42
2.6.3 Κατασκευή λεπτοτάπητα.....	42
3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ.....	45
3.1 Υλικά.....	45
3.2 Εργαστηριακός εξοπλισμός.....	45
3.3 Παρασκευή δοκιμών.....	47
3.4 Είδη δοκιμών που παρασκευάστηκαν.....	50
3.5 Συντήρηση δοκιμών.....	52

4. ΔΟΚΙΜΗ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ.....	53
4.1 Θλίψη πρισμάτων.....	53
4.1.1 Διαγράμματα τάσης ανηγμένης παραμόρφωσης.....	55
4.1.2 Μέτρα ελαστικότητας E_s σε θλίψη.....	62
4.1.3 Αντοχή f_{comp} των πρισμάτων σε θλίψη.....	65
4.1.4 Διαγράμματα μεταβολής της αντοχής f σε θλίψη των πρισμάτων με το ποσοστό τσιμέντου για διάφορα ποσοστά γαλακτώματος.....	66
4.1.5 Διαγράμματα μεταβολής της αντοχής f σε θλίψη των πρισμάτων με το ποσοστό γαλακτώματος για διάφορα ποσοστά τσιμέντου.....	68
4.2 Θλίψη κυλίνδρων.....	70
5. ΑΝΤΙΔΙΑΜΕΤΡΙΚΗ ΘΛΙΨΗ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.....	75
5.1 Αντοχή f των κυλίνδρων σε αντιδιαμετρική θλίψη.....	76
6. ΘΛΙΨΗ ΠΡΙΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΣΕ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΒΟΥ.....	77
6.1 Αντοχή f των πρισμάτων σε θλίψη ισοδύναμου κύβου.....	79
6.2 Σύγκριση πρισμάτων σε θλίψη ισοδύναμου κύβου και μονοαξονική θλίψη.....	79
6.3 Σύγκριση πρισμάτων σε θλίψη ισοδύναμου κύβου και κάμψη.....	81
7. ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ.....	82
7.1 Στατική φόρτιση των δοκιμίων.....	83
7.1.1 Μέτρα ελαστικότητας E_s σε κάμψη.....	91
7.1.2 Αντοχή f δοκιμίων σε κάμψη.....	92
7.1.3 Σύγκριση του λόγου αντοχής / μέτρου ελαστικότητας των διαφόρων μηγμάτων.....	93
7.2 Δυναμική φόρτιση των δοκιμίων.....	94
7.2.1 Διαγράμματα τάσης – βέλους κάμψης.....	95
7.2.2 Μεταβολή του μέτρου ελαστικότητας E_s – κύκλου φόρτισης.....	96
7.2.3 Παρατηρήσεις επί των διαγραμμάτων E_s – κύκλου φόρτισης.....	105
7.2.4 Διαγράμματα επιβαλλόμενου φορτίου – χρόνου.....	109
7.2.5 Διάγραμμα E_s δυναμικής φόρτισης – E_s κάμψης.....	111
7.2.6 Διαγράμματα μεταβολής του E_s δυναμικής φόρτισης με το ποσοστό τσιμέντου για διάφορα ποσοστά γαλακτώματος.....	114
7.2.7 Διάγραμμα μεταβολής του E_s κάμψης με το ποσοστό τσιμέντου, για τα διάφορα ποσοστά γαλακτώματος.....	116
7.2.8 Διαγράμματα μεταβολής του E_s δυναμικής φόρτισης με το ποσοστό γαλακτώματος, για τα διάφορα ποσοστά τσιμέντου.....	119
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	123
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	144

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από επτά κεφάλαια. Στα Κεφάλαια 1 και 2 γίνεται αναφορά γενικά στα οδοστρώματα (είδη οδοστρωμάτων, συντήρηση, ενίσχυση και συστήματα διαχείρισης των οδοστρωμάτων) και στα ασφαλτομίγματα (σύνθεση, κατηγορίες ασφαλτομίγματος κ.α). Ακολουθεί εκτεταμένη αναφορά στο ασφαλτικό γαλάκτωμα (τύποι γαλακτώματος, παραγωγή, ιδιότητες και χρήσεις των ασφαλτικών γαλακτωμάτων) -που αποτέλεσε το κύριο σταθεροποιητικό μέσο των ασφαλτομιγμάτων που παρασκευάστηκαν-, και συγκρίνεται με τα άλλα σταθεροποιητικά μέσα

Στο Κεφάλαιο 3 αναφέρεται ο τρόπος παρασκευής και συντήρησης των δοκιμών μαζί με τον εργαστηριακό εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε.

Στα τέσσερα κεφάλαια που ακολουθούν (§4, §5, §6 και §7), περιγράφονται αντίστοιχα οι τέσσερις διαφορετικές εργαστηριακές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν. Σε κάθε κεφάλαιο δίνονται σχηματικές διατάξεις και πληροφορίες για τον τρόπο πραγματοποίησης της αντίστοιχης δοκιμής και στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών και γίνεται ο σχολιασμός τους.

Τέλος, και πριν την παράθεση της βιβλιογραφίας που χρησιμοποιήθηκε, παρεμβάλλεται το Παράρτημα με εκτενή στοιχεία από τις δοκιμές που έγιναν (αναλυτικοί πίνακες και παραπομπές από τα αντίστοιχα κεφάλαια πραγματοποίησης των δοκιμών).

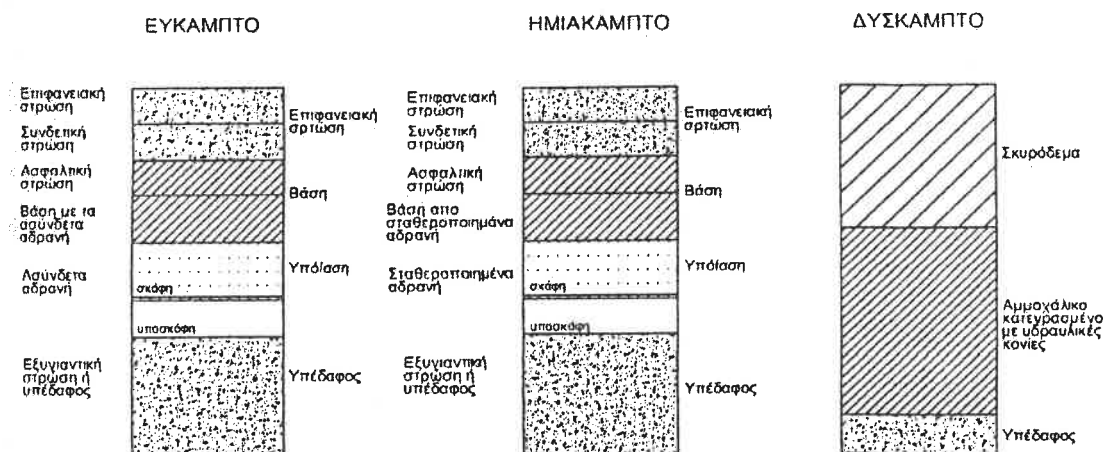
1.2 ΕΙΔΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Οδόστρωμα ορίζεται το σύνολο των επαλλήλων στρώσεων που είναι τοποθετημένες πάνω από το φυσικό έδαφος για τη δημιουργία της οδού. Το οδόστρωμα είναι μια σύνθετη κατασκευή που έχει να επιτελέσει διάφορες λειτουργίες οι οποίες είναι ανόμοιες μεταξύ τους. Το γεγονός αυτό κάνει την κατασκευή αρκετά πολύπλοκη.

Γενικά έχει καθιερωθεί να διακρίνονται τα οδοστρώματα σε δύο κατηγορίες, τα εύκαμπτα (ασφαλτικά) και τα δύσκαμπτα (σκυρόδεμα), αν και σήμερα η διάκριση αυτή, με την σημαντική αύξηση της χρησιμοποίησης στρώσεων από σταθεροποιημένα ή κατεργασμένα με υδραυλικές κονίες υλικά, δεν είναι πάντοτε σαφής.

Η περίπτωση των ημιάκαμπτων οδοστρώματων αποτελεί ενδιάμεση κατηγορία, που συνδυάζει τα τεχνικά χαρακτηριστικά και των δύο παραπάνω κατηγοριών, αλλά έχει και τα δικά της ιδιαίτερα χαρακτηριστικά.

Στο Σχήμα 1.1 φαίνονται οι τυπικές κατασκευαστικές διατομές για κάθε μια κατηγορία οδοστρώματων. [1]



Σχήμα 1. 1 Τυπικές διατομές για κάθε κατηγορία οδοστρώματων

1.2.1 Εύκαμπτα οδοστρώματα

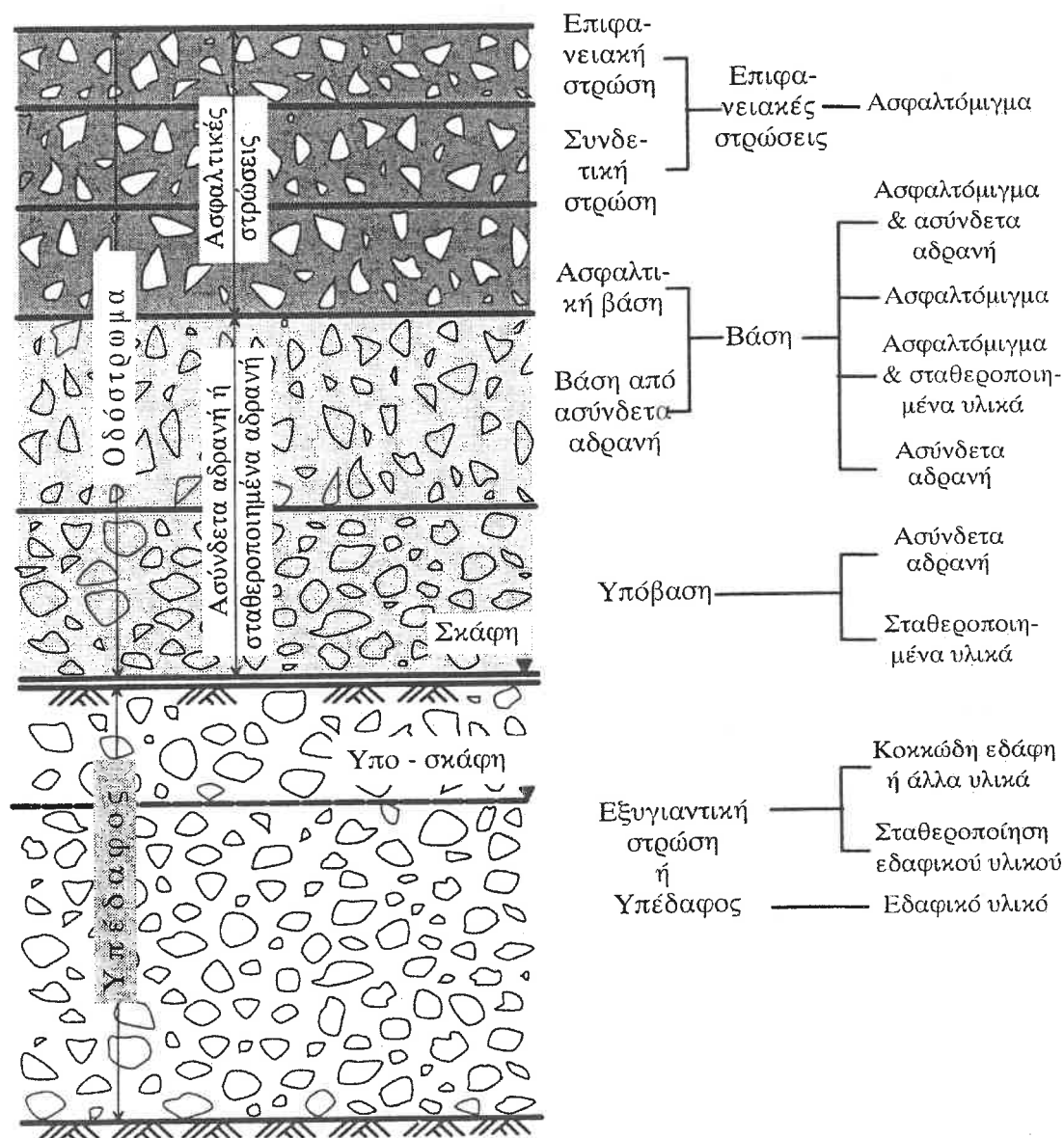
Ο αντικειμενικός σκοπός ενός οδοστρώματος είναι να παραλάβει τα φορτία της κυκλοφορίας και να τα κατανέμει στο υπέδαφος. Βασική επιδίωξη είναι οι μεταβιβαζόμενες στο υπέδαφος τάσεις να μειώνονται σε τέτοιο βαθμό έτσι ώστε να μην επιφέρουν ουσιαστικές παραμορφώσεις ή μετατοπίσεις στην εδαφική στρώση του υπεδάφους. Επιπρόσθετα, η δομή του οδοστρώματος θα πρέπει να είναι σχεδόν αδιαπέραστη από το νερό έτσι ώστε να προστατεύεται το έδαφος έδρασης αλλά και οι στρώσεις από τα ασύνδετα αδρανή (μη σταθεροποιημένες στρώσεις). Τέλος, η επιφάνεια του οδοστρώματος θα πρέπει να παρέχει μια αντιολισθηρή και ανθεκτική, στη λειαντική δράση των ελαστικών, ομαλή επιφάνεια κύλισης. Έτσι, κάθε στρώση ή ομάδα στρώσεων έχει να επιτελέσει ένα ξεχωριστό ρόλο.

Η δομή του εύκαμπτου οδοστρώματος, γενικότερα, αποτελείται από δύο

χαρακτηριστικές ομάδες στρώσεων με διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες και συμπεριφορά. Την ομάδα των στρώσεων από ασύνδετα ή/ και σταθεροποιημένα αδρανή, που εδράζεται πάνω στο υπέδαφος, και την ομάδα των στρώσεων από ασφαλτομίγματα, που εδράζεται πάνω στην προηγούμενη ομάδα.

Ο παραπάνω διαχωρισμός της δομής του εύκαμπτου οδοστρώματος βασίζεται στη διαφορετική μηχανική συμπεριφορά των στρώσεων, ομαδοποιημένων, και χρησιμοποιείται σήμερα ως βάση για την ανάπτυξη όλων των μεθοδολογιών διαστασιολόγησης των εύκαμπτων οδοστρώματων.

Κατασκευαστικά το εύκαμπτο οδόστρωμα διακρίνεται σε τρεις ομάδες στρώσεων, την επιφανειακή στρώση, τη βάση και την υπόβαση. Ορισμένες φορές λόγω ύπαρξης πολύ ασθενούς υπεδάφους, κατασκευάζεται και εξυγιαντική στρώση μεταξύ υποβάσεως και υπεδάφους. Τυπική κατασκευαστική διατομή εύκαμπτου οδοστρώματος δίνεται στο Σχήμα 1.2. [1]



Σχήμα 1.2 Τυπική κατασκευαστική διατομή εύκαμπτου οδοστρώματος

- **Υπέδαφος**

Το υπέδαφος (subgrade) είναι το διαμορφωμένο και συμπυκνωμένο έδαφος πάνω από το οποίο θα κατασκευαστεί το οδόστρωμα, εκτεινόμενο μέχρι βάθους τόσο όσο θα επηρεάσει τη διαστασιολόγηση του οδοστρώματος. Το βάθος αυτό συνήθως είναι 600 χιλιοστά, δεδομένου ότι περισσότερες προδιαγραφές απαιτούν επαρκή συμπύκνωση μέχρι τέτοιο βάθος.

Ελάχιστες φορές, όταν δεν χρειάζεται καμιά διαμόρφωση ή προπαρασκευή του εδάφους, η επιφάνεια του υπεδάφους ταυτίζεται με την επιφάνεια του φυσικού εδάφους.

Η φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους είναι καθοριστικής σημασίας, δεδομένου ότι από αυτήν εξαρτώνται άμεσα τα πάχη των υπερκείμενων στρώσεων και είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων όπως, του μεγέθους των κόκκων και της συνεκτικότητας, της φυσικής υγρασίας και του βαθμού συμπύκνωσης του εδάφους ή του εδαφικού υλικού που χρησιμοποιείται.

Η πλέον γνωστή έκφραση της φέρουσας ικανότητας του υπεδάφους είναι ο Καλιφορνιακός δείκτης (CBR) που χρησιμοποιείται σε όλες τις εμπειρικές ή ημιεμπειρικές μεθοδολογίες διαστασιολόγησης εύκαμπτων οδοστρωμάτων.

- **Εξυγιαντική στρώση**

Κατασκευάζεται μεταξύ υπόβασης και εδάφους, όταν αυτό είναι πολύ ασθενές, με σκοπό να εξυγιάνει και να βελτιώσει τη φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους και να προετοιμάσει μια ανεκτή επιφάνεια πάνω στην οποία θα κατασκευασθεί το οδόστρωμα. Συνήθως χρησιμοποιείται όταν το CBR του υπεδάφους είναι μικρότερο από 5%.

Η εξυγιαντική στρώση είναι συνήθως μια επιπλέον στρώση από κοκκώδη εδαφικά υλικά, άνευ απομάκρυνσης του ασθενούς εδαφικού υλικού. Απομάκρυνση του πολύ ασθενούς εδαφικού υλικού και αντικατάσταση αυτού με καλύτερης ποιότητας υλικό συνίσταται μόνο όταν το υπέδαφος είναι πολύ φτωχής ποιότητας. Στις περιπτώσεις αυτές το πάχος της στρώσης πρέπει να είναι συνήθως μεταξύ 500 και 1000mm. Το πάχος της εξυγιαντικής στρώσης καθορίζεται στο στάδιο της μελέτης διαστασιολόγησης του οδοστρώματος. Στις περισσότερες μεθοδολογίες αφήνεται στην κρίση και εμπειρία του μελετητή να το καθορίσει, χωρίς να του παρέχονται περισσότερες πληροφορίες.

Η εξυγιάνση του υπεδάφους επιτυγχάνεται και με σταθεροποίηση του συνήθως με τσιμέντο ή ασβέστη. Η προσθήκη και ανάμιξη των συνδετικών υλικών και του νερού γίνεται επί του έργου, αφού προηγουμένως το εδαφικό υλικό κονιορτοποιηθεί με ειδικά μηχανήματα. Ακολουθεί η συμπύκνωση σε στρώσεις, μέγιστου συμπυκνωμένου πάχους 250 χιλιοστά. Ο βαθμός συμπύκνωσης, που στην πράξη εκφράζεται σε αριθμό διελεύσεων του μηχανήματος που χρησιμοποιείται, είναι τόσοσ ώστε, στην προκαθορισμένη υγρασία του υλικού, να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή συμπύκνωση.

Η χρήση γεωφασμάτων συνίσταται όταν το υπέδαφος είναι πολύ ασθενές (CBR<2) και μπορεί να αντικαταστήσει ένα μέρος της εξυγιαντικής στρώσης ή όταν το CBR είναι 2%-5%, οπότε αντικαθιστά πλήρως την εξυγιαντική στρώση και πιθανόν ένα μέρος της υπόβασης. Η χρήση των γεωφασμάτων γίνεται κυρίως για τον διαχωρισμό και προστασία των υπερκείμενων του υπεδάφους στρώσεων, παρόλο που η αρκετά υψηλή εφελκυστική αντοχή τους συμβάλλει στην μείωση των τάσεων που αναπτύσσονται στο υπέδαφος και έτσι έμμεσα στην αύξηση της φέρουσας

ικανότητας του υπεδάφους.

• Υπόβαση

Η υπόβαση είναι η πρώτη στρώση που τοποθετείται, εάν κριθεί αναγκαία, πάνω στο υπέδαφος ή την εξυγιαντική στρώση και επιτελεί τις εξής βασικές λειτουργίες:

- μεταβιβάζει τα φορτία στο υπέδαφος
- εξασφαλίζει την άνετη κυκλοφορία των εργοταξιακών οχημάτων
- προστατεύει τα υλικά της βάσης από "μόλυνση" αυτών με εδαφικό υλικό (άργιλος, ιλύς, οργανικά υλικά κτλ)
- δρα ως αντιπαγετική προστατευτική στρώση στην περίπτωση που το έδαφος είναι παγοπληκτικό
- μπορεί να λειτουργήσει και ως στρώση αποστράγγισης των υδάτων που πιθανόν να διαπεράσουν τις υπερκείμενες στρώσεις προστατεύοντας το υπέδαφος (πιθανόν να συμβεί όταν οι υπερκείμενες στρώσεις είναι πολύ μικρού πάχους ή όταν τα χρησιμοποιηθέντα ασφαλτομίγματα είναι όχι τόσο κλειστής υφής).

Στην περίπτωση που η υπόβαση λειτουργεί ως στραγγιστική στρώση είναι απαραίτητη η χρήση υγρομονωτικής μεμβράνης στη διεπιφάνεια με το υπέδαφος. Ο ρόλος της μεμβράνης είναι καθαρά προστατευτικός και στεγανωτικός.

Το πάχος της υπόβασης θα πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να μην αναπτύσσονται υψηλές θλιπτικές και διατμητικές τάσεις στο υπέδαφος, υπό την Έπίδραση των φορτίων των εργοταξιακών οχημάτων, ικανές να προκαλέσουν αισθητές παραμορφώσεις. Το ακριβές πάχος καθορίζεται ανάλογα με την μεθοδολογία διαστασιολόγησης.

Για υπέδαφος αρκετά καλό (περίπου $CBR > 7\%$) συνήθως η υπόβαση παραλείπεται και κατασκευάζεται μόνο η βάση από τα ασύνδετα αδρανή.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την υπόβαση είναι συνήθως επιλεγμένα κοκκώδη εδαφικά υλικά (αμμοχάλικα). Ορισμένες φορές χρησιμοποιούνται εδαφικά υλικά σταθεροποιημένα με συνδετικό υλικό το τσιμέντο (κυρίως) ή τον ασβέστη.

• Βάση

Αποτελεί την βασικότερη δομική στρώση ενός εύκαμπτου οδοστρώματος και κατασκευάζεται μεταξύ της υπόβασης ή του υπεδάφους και των επιφανειακών ασφαλτικών στρώσεων.

Αναλυτικότερα επιτελεί τις εξής βασικές λειτουργίες:

- παρέχει τη βασική δομική στρώση η οποία παραλαμβάνει και κατανέμει τα φορτία της κυκλοφορίας στις υποκείμενες στρώσεις
- μειώνει τις κάθετες θλιπτικές τάσεις που εξασκούνται στο υπέδαφος (και διαμέσου της υπόβασης, εάν υπάρχει) σε τέτοιο βαθμό ώστε να μπορούν αν παραληφθούν από την φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους και να μην προκαλούν ανεπίτρεπτα μεγάλες παραμορφώσεις

- παρέχει στο οδόστρωμα τη δυσκαμψία και την αντοχή αυτού στην κόπωση
- παρέχει μια καλή επιφάνεια έτοιμη να δεχθεί τις επιφανειακές ασφατικές στρώσεις
- οι στρώσεις της βάσης από ασύνδετα αδρανή ή σταθεροποιημένα αδρανή συμβάλλουν στην αποτελεσματικότερη συμπίκνωση των υπερκείμενων στρώσεων.

Η βάση του οδοστρώματος αποτελείται από ένα αριθμό στρώσεων, των οποίων τα υλικά μπορεί να είναι από αδρανή χωρίς συνδετικό υλικό (ασύνδετα αδρανή) ή από αδρανή με συνδετικό υλικό την ασφαλτο (ασφαλτόμιγμα) ή από αδρανή με συνδετικό υλικό το τσιμέντο.

Ο κλασικός συνδυασμός των στρώσεων της βάσης για εύκαμπτα οδοστρώματα είναι : στρώση ή στρώσεις από ασύνδετα αδρανή (οι κάτω στρώσεις) και στρώση ή στρώσεις από ασφαλτόμιγμα (οι άνω στρώσεις). Ορισμένες φορές η στρώση από ασύνδετα αδρανή σταθεροποιείται με τσιμέντο ή ασφατικό υλικό.

Ένας άλλος συνδυασμός μπορεί να είναι : μέρος της βάσης (κάτω στρώση) από σκυρόδεμα και η υπόλοιπη βάση από ασφαλτόμιγμα. Το οδόστρωμα στην περίπτωση αυτή χαρακτηρίζεται ως μικτό εύκαμπτο οδόστρωμα.

Τέλος, η βάση μπορεί να είναι εξ ολοκλήρου από ασφαλτόμιγμα (η αρχή αυτή υιοθετείται από τη Βρετανική μεθοδολογία κατασκευής εύκαμπτων οδοστρωμάτων).

Τα αδρανή υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της βάσης (θραυστά) είναι πάντα καλύτερης ποιότητας από αυτά, που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της υπόβασης. Τα θραυστά αδρανή μπορεί να είναι από πετρώματα ή φυσικές αποθέσεις ή σκωρίες ή υλικά που προέρχονται από ανακύκλωση οδοστρωμάτων, αντικείμενο που αφορά και τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, με την προϋπόθεση ότι πληρούν τις απαιτήσεις των προδιαγραφών.

Η κοκκομετρική καμπύλη του μίγματος των αδρανών είναι ουσιαστικής σημασίας και θα πρέπει να είναι εντός συγκεκριμένων ορίων. Ο καθορισμός της απαιτούμενης υγρασίας των αδρανών κατά την συμπίκνωση καθορίζεται εργαστηριακά με τη μέθοδο προσδιορισμού σχέσεως υγρασίας-πυκνότητας κατά Proctor. Η υγρασία του μίγματος επιτρέπεται να αποκλίνει από την βέλτιστη κατά $+0.5\%$, σύμφωνα με Βρετανικές προδιαγραφές.

Η επαρκής συμπίκνωση είναι συνάρτηση του πάχους της στρώσης και της ενέργειας που θα επιβληθεί. Για πάχη μεγαλύτερα από 250 χιλιοστά η συμπίκνωση γίνεται σε περισσότερες από μία στρώσεις, με ελάχιστο όριο 100 χιλιοστά. Η ενέργεια συμπίκνωσης είναι συνάρτηση του βάρους ανά τρέχον πλάτος συμπίκνωσης, του τύπου του οδοστρωτήρα καθώς και του αριθμού των διελεύσεων.

• Επιφανειακές στρώσεις

Οι επιφανειακές στρώσεις συνίστανται από τον **τάπητα κυκλοφορίας** ή την επιφανειακή στρώση και τη **συνδετική στρώση**.

Ο **τάπητας κυκλοφορίας**, είναι η ασφατική στρώση που έρχεται σε άμεση επαφή με τους τροχούς των οχημάτων και πρέπει να παρέχει άριστη και ασφαλή επιφάνεια κύλισης. Έτσι η στρώση αυτή θα πρέπει να ικανοποιεί τις παρακάτω απαιτήσεις:

- να είναι ανθεκτική στην καταστροφική δράση της κυκλοφορίας και των καιρικών συνθηκών
- να μην παραμορφώνεται από την κυκλοφορία
- να ανθίσταται την ρηγμάτωση που επέρχεται από θερμοκρασιακές συστολοδιαστολές και αναπτυσσόμενες εφελκυστικές τάσεις.
- να παρέχει καλή αντιολισθηρή επιφάνεια κύλισης είτε από μόνη της είτε με την προσθήκη προεπαλειμμένων αδρανών ή αντιολισθηρού λεπτοτάπητα slurry seal ή ασφαλτικών επαλείψεων ή άλλης επιφανειακής επεξεργασίας
- να παρέχει καλή επιτεδότητα για υψηλή ποιότητας και ασφάλειας οδήγηση
- να παρέχει επιφάνεια κύλισης με χαμηλό επίπεδο θορύβου
- να συνεισφέρει στην αντοχή του οδοστρώματος
- και τέλος να είναι σχεδόν αδιαπέρατη από το νερό έτσι ώστε να μην επιτρέπεται η διείσδυση του νερού στις υποκείμενες στρώσεις. Εξαίρεση αποτελεί η χρήση τάπητα ανοιχτού τύπου (πορώδες ασφαλτος).

Η **συνδετική στρώση** είναι μια ενδιάμεση στρώση μεταξύ τάπητα κυκλοφορίας και ασφαλτικής βάσης και κατασκευάζεται για να παρέχει μια καλή επίπεδη επιφάνεια -με τις επιθυμητές κλίσεις- επί της οποίας θα διαστρωθεί ο τάπητας κυκλοφορίας. Θα πρέπει να μην παραμορφώνεται, να μην ρηγματώνεται εύκολα και να είναι σχεδόν αδιαπέρατη από το νερό.

Η συνδετική στρώση σήμερα, σε πολλές χώρες, παραλείπεται δεδομένου ότι η καλή επιφάνεια για την περαιτέρω διάστρωση του τάπητα κυκλοφορίας επιτυγχάνεται με την κατασκευή της **ασφαλτικής βάσης**.

Η **ασφαλτική βάση** είναι ανώτερη και σημαντικότερη στρώση της βάσης των οδοστρωμάτων. Ουσιαστικά παραλαμβάνει και κατανέμει τα φορτία της κυκλοφορίας στις υποκείμενες στρώσεις και προσδίδει στο οδόστρωμα δυσκαμψία και αντοχή σε κόπωση. Η στρώση θα πρέπει:

- να έχει μεγάλη δυσκαμψία
- να έχει υψηλή αντοχή σε κόπωση
- να μην παραμορφώνεται εύκολα
- να έχει μικρή διαπερατότητα προστατεύοντας τις υποκείμενες στρώσεις, ιδίως όταν τάπητας κυκλοφορίας είναι ανοιχτού τύπου και δεν υπάρχει συνδετική στρώση.
- και να μην επηρεάζεται από την καταστρεπτική δράση του νερού.

[1]

1.2.2 Διαστασιολόγηση εύκαμπτων οδοστρωμάτων

Η διαστασιολόγηση των οδοστρωμάτων συνίσταται στον καθορισμό του πάχους της κάθε στρώσης που όλες μαζί συνθέτουν το οδόστρωμα. Σκοπός κατά τη διαστασιολόγηση είναι να κατανεμηθούν τα φορτία του κυκλοφοριακού φόρτου κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι τάσεις που μεταβιβάζονται στο υπεδάφος να μπορούν να παραληφθούν από τη φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους. Παράλληλα, θα πρέπει οι τάσεις και οι παραμορφώσεις που αναπτύσσονται σε οποιαδήποτε στρώση να μην υπερβαίνουν τις τάσεις που δύνανται να παραλάβουν τα υλικά που συνθέτουν την κάθε στρώση.

Ο καθορισμός του πάχους κάθε στρώσης εξαρτάται άμεσα από το μέγεθος και την συχνότητα του επιβαλλόμενου φορτίου (κυκλοφοριακός φόρτος), τα μηχανικά χαρακτηριστικά της κάθε στρώσης, τη φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους και τις κλιματολογικές συνθήκες (κυρίως θερμοκρασία και υγρασία). Επίσης θα πρέπει πάντοτε να λαμβάνονται υπόψη παράγοντες όπως: το κόστος, η κατασκευή, η συντήρηση και η διάρκεια ζωής. Κατά συνέπεια ο σχεδιασμός ενός οδοστρώματος αποτελεί τέχνο-οικονομική διαδικασία αρκετά πολύπλοκη.

Στα εύκαμπτα οδοστρώματα χρησιμοποιείται κυρίως η θεωρία του ελαστικού και ισότροπου ημίχωρου (Boussinesq) καθώς και η θεωρία των πολλαπλών επάλληλων ελαστικών στρώσεων εδραζομένων επί ελαστικού εδαφικού ημίχωρου (Burmister). Το μοντέλο του Boussinesq ορίζεται πλήρως αν είναι γνωστό το μέτρο ελαστικότητας, ο λόγος του Poisson και το πάχος της κάθε στρώσης. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι στρώσεις θεωρούμε ότι έχουν άπειρες διαστάσεις κατά την οριζόντια έννοια, αλλά και δεδομένο πάχος. Το πρότυπο μπορεί να απλοποιηθεί σε σύστημα τριών στρώσεων αν τα υλικά τις βάσης και της υπόβασης δεν διαφέρουν κατά πολύ ποιοτικά (π.χ αν χρησιμοποιηθούν αμμοχάλικα) οπότε οι στρώσεις αυτές μπορούν να θεωρηθούν σαν μία στρώση. Όταν η βάση κατασκευάζεται από αμμοχάλικο κατεργασμένο με ασφαλτο τότε η στρώση κυκλοφορίας και η βάση μπορούν να θεωρηθούν ενιαίες και να απλοποιηθεί το πρότυπο σε σύστημα τριών στρώσεων. Μεγαλύτερη απλοποίηση θα μπορούσε να γίνει αν όλα τα μη κατεργασμένα υλικά της βάσης και της υποβάσεως θεωρηθούν ότι αποτελούν μέρος της στρώσης του εδάφους οπότε προκύπτει σύστημα δύο στρώσεων.

Το σύστημα των επάλληλων στρώσεων που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των τάσεων και παραμορφώσεων βασίζεται στην παραδοχή ότι τα υλικά είναι ελαστικά ομογενή και ισότροπα. Στην πραγματικότητα καμία από αυτές τις παραδοχές δεν είναι απολύτως αληθής. Έχει όμως αποδειχθεί πειραματικά ότι, υπό τις δυναμικές συνθήκες φόρτισης των οδοστρωμάτων, από τα αυτοκίνητα που κυκλοφορούν, τα υλικά συμπεριφέρονται με αρκετή προσέγγιση σαν ελαστικά στρώματα.

Ένα εύκαμπτο οδόστρωμα θεωρείται ότι αστόχησε όταν παρατηρηθούν ρωγμές στην ασφαλτική στρώση, ή όταν παραμορφωθεί η επιφάνεια κύλισης. Ο λόγος που ρηγματώνεται ένα εύκαμπτο οδόστρωμα είναι συνήθως η υπέρβαση της αντοχής σε κόπωση από κάμψη.

Κατά καιρούς έχουν προταθεί αρκετοί νόμοι κόπωσης ασφαλτομιγμάτων, όμως διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους κυρίως λόγω της διαφορετικής σύνθεσης του ασφαλτομίγματος και της διαφορετικής προέλευσης του ασφαλτικού συνδετικού υλικού.

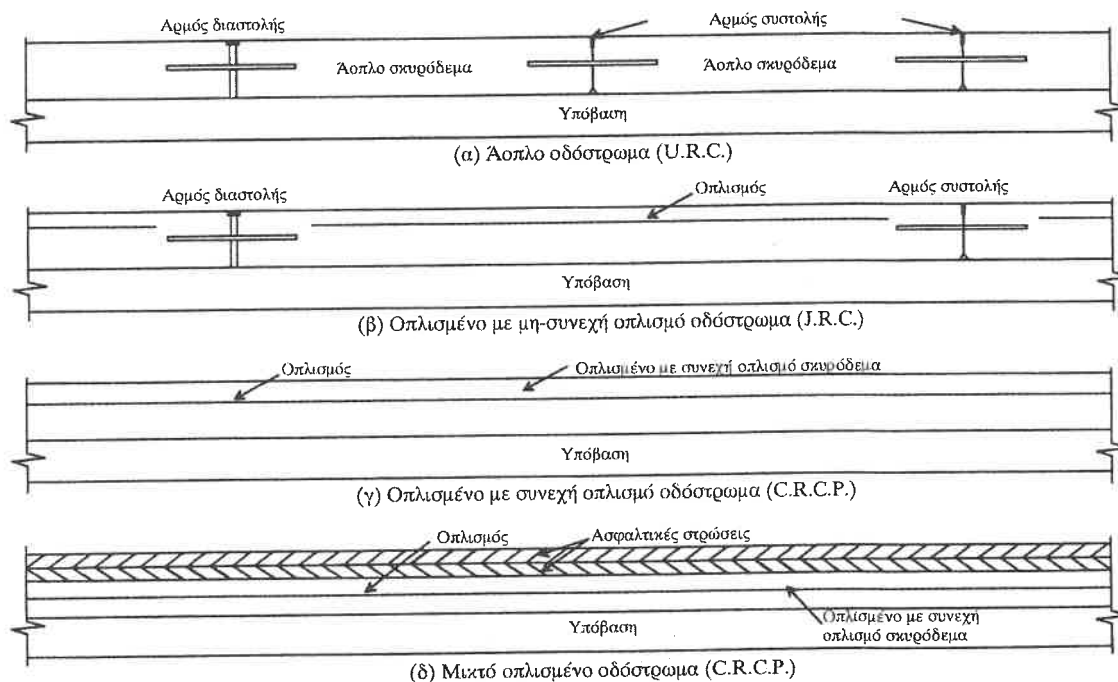
Κατά τον υπολογισμό ενός εύκαμπτου οδοστρώματος τα κρίσιμα σημεία που θα πρέπει να εξεταστούν είναι:

- Στο πυθμένα τις ασφαλτικής στρώσης, το κρίσιμο παραμορφωσιακό μέγεθος είναι η οριζόντια ανηγμένη εφελκυστική παραμόρφωση, που καθορίζει την αστοχία της ασφαλτικής στρώσης σε κόπωση από κάμψη.
- Στην επιφάνεια της στρώσης έδρασης, το κρίσιμο μέγεθος είναι η κατακόρυφη ανηγμένη παραμόρφωση, που καθορίζει την αστοχία του οδοστρώματος από υπερβολική παραμόρφωση.

1.2.3 Δύσκαμπτα οδοστρώματα

Στα δύσκαμπτα οδοστρώματα λόγω της μεγάλης ακαμψίας που διαθέτουν, οι τοπικές καθιζήσεις που πιθανόν να εμφανιστούν κάτω από αυτά δεν ανακλώνται στην επιφάνεια κύλισης. Ανάλογα με την κατασκευή της πλάκας του σκυροδέματος και με τον τύπο του οπλισμού που διαθέτει χωρίζονται στις κατηγορίες που παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.3.

Θα μπορούσε να ειπωθεί ότι η κατασκευή άοπλου οδοστρώματος είναι απλούστερη και σε απόλυτες τιμές κόστους φθηνότερη, με βασικό μειονέκτημα την συχνή εμφάνιση εγκάρσιων αρμών (μείωση άνεσης κατά την οδήγηση, πιθανότητα κατασκευαστικών αστοχιών και διαφορικών καθιζήσεων). Το μειονέκτημα αυτό περιορίζεται με την χρήση του σιδηρού οπλισμού.



Σχήμα 1. 3 Χαρακτηριστικοί τύποι δύσκαμπτων οδοστρώματων

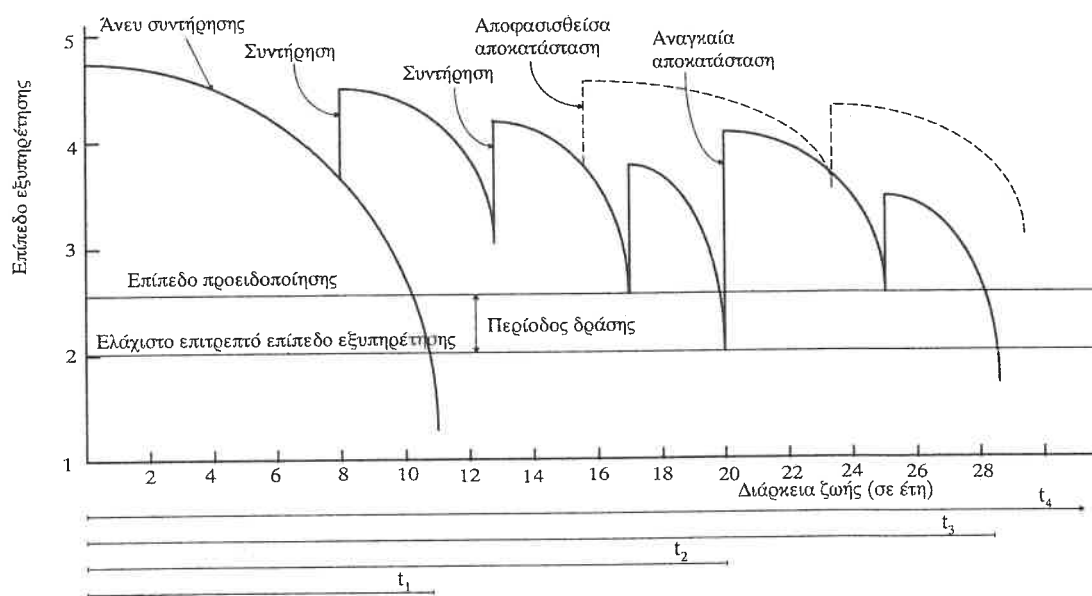
Στην Ελλάδα η χρήση των δύσκαμπτων οδοστρώματων έχει περιορισμένη εφαρμογή σε ειδικές περιπτώσεις όπως, σε δάπεδα στάθμευσης αεροσκαφών (υψηλά στατικά φορτία), σταθμούς διοδίων και σε μικρούς δρόμους σε ανωφέρειες όπου δεν είναι δυνατό να διαστρωθεί θερμό ασφαλτόμιγμα ή ακριτικές περιοχές όπου δεν υπάρχουν συγκροτήματα παραγωγής ασφαλτομίγματος. [1]

1.3 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Η κατασκευή ενός νέου οδοστρώματος θα πρέπει να λαμβάνεται πάντοτε σαν μια επένδυση του κοινωνικού συνόλου. Ο διαχειριστής του κεφαλαίου που επενδύθηκε για την κατασκευή του οδοστρώματος, δηλαδή το κράτος, έχει την ευθύνη να το

διατηρήσει αλλά και να το διαχειριστεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αποδώσει κέρδος. Το κέρδος αυτό είναι άμεσο (μείωση του χρόνου και του κόστους μετακίνησης, μείωση των ατυχημάτων, μείωση του κόστους συντήρησης των οχημάτων κτλ.) και έμμεσο (κοινωνικό όφελος όπως άνετη και ασφαλής μετακίνηση του κοινωνικού συνόλου για τις κοινωνικές και εμπορικές του δραστηριότητες).

Κάθε οδόστρωμα σχεδιάζεται για μια συγκεκριμένη διάρκεια ζωής. Με την απόδοση του οδοστρώματος στην κυκλοφορία το επίπεδο εξυπηρέτησης συνεχώς μειώνεται, έτσι για να διατηρηθεί σε κάποιο επιθυμητό επίπεδο γίνονται επεμβάσεις για την αποκατάστασή του. (Σχήμα 1.4)



Σχήμα 1.4 Επίδραση συντήρησης και αποκατάστασης οδοστρώματος στο επίπεδο εξυπηρέτησης και στη διάρκεια ζωής αυτού.

Δομικές αστοχίες σε εύκαμπτα οδοστρώματα οφείλονται σε κόπωση της επιφάνειας, στερεοποίηση ή διάτμηση, που αναπτύσσονται στο έδαφος, την υπόβαση, τη βάση ή την επιφανειακή στρώση. Όλες οι φθορές που εμφανίζονται στα εύκαμπτα οδοστρώματα μπορούν να ταξινομηθούν σε, ρηγματώσεις, παραμορφώσεις, αποσαθρώσεις και λείανση της επιφάνειας κύλισης. [1]

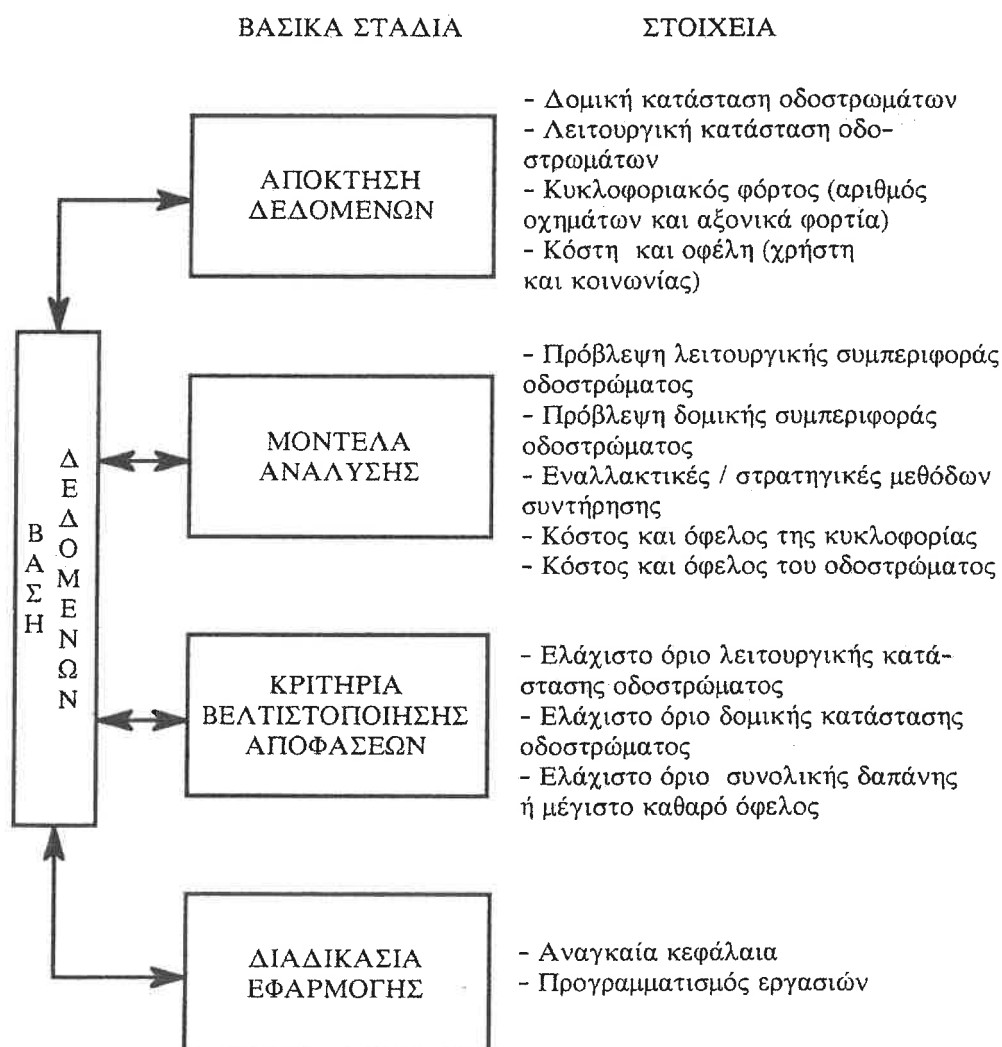
1.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Η αναγκαιότητα συστήματος διαχείρισης των οδοστρωμάτων γίνεται επιτακτική από τους παρακάτω παράγοντες:

- η ραγδαία ανάπτυξη του οδικού δικτύου, η γήρανση αυτού και η ανάγκη διατήρησής του σε ένα επίπεδο λειτουργικότητας,
- η ανάπτυξη νέων μεθόδων και υλικών για την συντήρηση των οδοστρωμάτων,
- η απαίτηση γενικότερα για εξοικονόμηση ενέργειας στα έργα οδοποιίας,

- ο η απαίτηση επαναχρησιμοποίησης των υλικών οδοστρωσίας με σκοπό την προστασία των φυσικών αποθεμάτων αλλά και τη μείωση του κόστους κατασκευής
- ο η αύξηση του κόστους συντήρησης σε συνδυασμό με τη δυσκολία εξεύρεσης του αναγκαίου κεφαλαίου, τη δεδομένη χρονική στιγμή που χρειάζεται,
- ο η αναγνώριση της σχέσης που υφίσταται μεταξύ της κατάστασης του οδοστρώματος και του κόστους χρήσης της οδού,
- ο η συνειδητοποίηση ότι οι κοινωνικές δραστηριότητες και το περιβάλλον επηρεάζονται άμεσα από την κατάσταση του οδοστρώματος,
- ο η ανάπτυξη μηχανημάτων προηγμένης τεχνολογίας για την αντικειμενική καταγραφή της κατάστασης του οδοστρώματος και
- ο η συνειδητοποίηση της εφαρμογής μεθόδων διαχείρισης και στην οδοποιία.

Ένα σύστημα διαχείρισης οδοστρωμάτων περιλαμβάνει μια κεντρική βάση δεδομένων και τέσσερα βασικά στάδια. (Σχήμα 1.5)



Σχήμα 1. 5 Στοιχεία ενός Συστήματος Διαχείρισης Οδοστρωμάτων

Τα συστήματα διαχείρισης οδοστρωμάτων χαρακτηρίζονται από τα βασικά επίπεδα αναφοράς τους: το επίπεδο δικτύου (όλο το οδικό δίκτυο μιας χώρας) και το επίπεδο έργου (τμήματα του οδικού δικτύου).

Σκοπός ενός συστήματος διαχείρισης θα πρέπει να είναι η μεγιστοποίηση των καθαρών οικονομικών ωφελειών σε σχέση με του οικονομικούς περιορισμούς που επιβάλλονται, με:

- την κατάλληλη διαχείριση του διαθέσιμου κεφαλαίου,
- τον προγραμματισμό των έργων βελτίωσης σύμφωνα με το διαθέσιμο κεφάλαιο,
- τον καθορισμό των επιδράσεων των διαφόρων εναλλακτικών τρόπων συντήρησης/ βελτίωσης του δικτύου στο κόστος του ιδιοκτήτη (το δημόσιο) και στο κόστος του χρήστη,
- τον καθορισμό στην επίδραση στο κόστος του χρήστη της ενδεχόμενης καλής ή μη καλής ποιότητας κατασκευής και
- την αντικειμενική επιλογή/ αξιολόγηση της προσφορότερης εναλλακτικής λύσης, βασισμένη καθαρά στη σύγκριση του κόστους και του οφέλους.

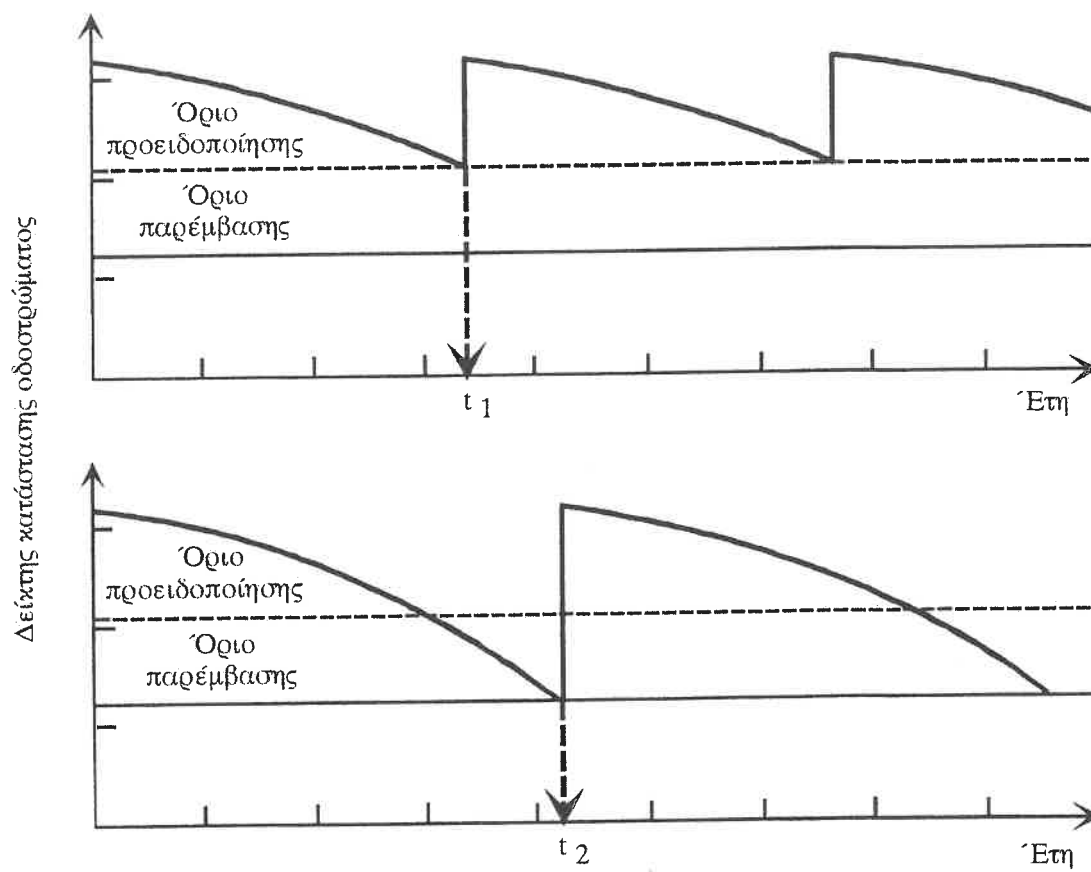
Για να υπάρχουν τεχνικά οφέλη απαιτείται:

- να συνίσταται από μια εκτεταμένη και πλήρη βάση (τράπεζα) πληροφοριών - δεδομένων, η οποία θα ενημερώνεται συνεχώς,
- να αναμορφώνεται από τη εμπειρία του παρελθόντος και τις τεχνολογικές εξελίξεις του παρόντος, βελτιώνοντας τις τεχνικές συντήρησης και κατασκευής και αποφεύγοντας τα ίδια λάθη,
- να επιλέγει την καταλληλότερη μέθοδο συντήρησης/ βελτίωσης,
- να εμπεριέχει αξιόπιστα μοντέλα πρόβλεψης της συμπεριφοράς του οδοστρώματος και αξιόπιστα μοντέλα εκτίμησης του κόστους/ οφέλους και ακόμα,
- να δημιουργεί ή να εμπεριέχει κριτήρια με ουσιαστική σημασία που θα βοηθούν στη λήψη αποφάσεων, όπως: επιθυμητό επίπεδο κατάστασης οδοστρώματος, επίπεδο προειδοποίησης και επίπεδο επέμβασης.

Επίσης ως στόχο του συστήματος διαχείρισης θα πρέπει να αποτελέσουν ορισμένα οργανωτικά οφέλη με:

- το να είναι σε θέση να καθορίζει ορθολογιστικά την κατάσταση του οδικού δικτύου σε εθνικό επίπεδο,
- να σχεδιάζει και να προγραμματίζει τις δραστηριότητες συντήρησης τόσο του παρόντος όσο και του μέλλοντος,
- να χρησιμοποιεί την πλέον αποτελεσματική και αποδοτική μεθοδολογία συστηματικής παρακολούθησης της κατάστασης του οδοστρώματος,
- να προβλέπει τα επακόλουθα που θα προκύπτουν από διαφορετικά μεγέθη χρηματοδότησης και
- να παρέχει μια αντικειμενική βάση για πολιτικές αποφάσεις.

Για να αποφασιστούν οι κατάλληλες ενέργειες-επεμβάσεις, για την αποκατάσταση ενός οδοστρώματος, θα πρέπει να οριστεί ένα σύνολο από οριακές τιμές παρέμβασης (επίπεδα παρέμβασης), ανάλογα με τα στοιχεία που έχουν συλλεγεί. Στο Σχήμα 1.6 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα δύο διαφορετικών στρατηγικών επέμβασης. [2]



Σχήμα 1.6 Παράδειγμα δύο διαφορετικών στρατηγικών βελτίωσης οδοστρωμάτων

2 ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΑ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Τα ασφαλτομίγματα αποτελούνται από αδρανή υλικά και ασφαλτικό συνδετικό υλικό.

Τα αδρανή υλικά είναι θραυστά υλικά από πετρώματα ή από φυσικές αποθέσεις ποταμών ή χειμάρρων με κατάλληλες μηχανικές ιδιότητες για έργα οδοποιίας. Άθραυστα αμμοχάλικα ή χαλίκια μπορούν να χρησιμοποιηθούν, εφ' όσον ικανοποιείται η κοκκομετρική διαβάθμιση του μίγματος, αλλά καλό είναι να αποφεύγονται, ιδιαίτερα σε δρόμους με μέση ή υψηλή κυκλοφορία.

Το συνδετικό υλικό είναι σχεδόν κατ' αποκλειστικότητα στη χώρα μας η Πετρελαϊκή Ασφαλτος, η οποία πρέπει να πληροί τις απαιτήσεις των εκάστοτε προδιαγραφών. Τέλος, τα τελευταία χρόνια, σε αρκετές χώρες τα ασφαλτομίγματα παράγονται με τροποποιημένη ασφαλτο, δηλαδή ασφαλτο της οποίας οι ιδιότητες τροποποιήθηκαν-βελτιώθηκαν με την προσθήκη διαφόρων υλικών (πολυμερή, ίνες κ.α). Η ασφαλτος ενσωματώνεται με τα αδρανή «δια θερμάνσεως» ή «εν ψυχρώ» σε μορφή γαλακτώματος δημιουργώντας έτσι θερμά και ψυχρά ασφαλτομίγματα αντίστοιχα.

2.1.1 Αδρανή υλικά

Το σύνολο των αδρανών υλικών ενός ασφαλτομίγματος διακρίνεται σε χονδρόκοκκο υλικό, λεπτόκοκκο υλικό και παιπάλη ή φύλλερ.

Τα αδρανή που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για ασφαλτομίγματα πρέπει να είναι καθαρά, απαλλαγμένα από αποσθρωμένα υλικά, άργιλο, φυτική ύλη ή οργανικά υλικά που επηρεάζουν την καλή κάλυψη των αδρανών με ασφαλτο και κατ' επέκταση τη ευστάθεια και αντοχή των ασφαλτομιγμάτων. Επίσης το σχήμα των κόκκων πρέπει να είναι κυβοειδούς μορφής.

Οι σπουδαιότερες ιδιότητες των αδρανών σ' ένα ασφαλτόμιγμα είναι το ειδικό βάρος, η απορροφητικότητα σε νερό, η κοκκομετρική διαβάθμιση, οι μηχανικές ιδιότητες, το σχήμα και η καθαρότητα αυτών.

Μηχανικές ιδιότητες των αδρανών

A) Χονδρόκοκκα αδρανή

Οι μηχανικές ιδιότητες και το σχήμα των αδρανών είναι βασικότατοι παράγοντες για τον καθορισμό της ποιότητας και διάρκειας ζωής του ασφαλτικού τάπητα.

Οι κυριότερες μηχανικές ιδιότητες των χονδρόκοκκων αδρανών για έργα Οδοποιίας είναι η αντοχή σε τριβή και κρούση κατά LOS ANGELES, η αντοχή σε στύλωση ή λείανση (δείκτης PSV, Polished Stone Value), και η αντοχή σε απότριψη (δείκτης AAV, Aggregate Abrasion Value). Οι δυο τελευταίες ιδιότητες είναι απαραίτητες για τον καθορισμό της καταλληλότητας των αδρανών σε αντιολισθηρούς τάπητες. Ανάλογα με τον κυκλοφοριακό φορτίο υπάρχουν αντίστοιχες τιμές PSV και AAV έτσι ώστε τα αδρανή να είναι κατάλληλα για τάπητες κυκλοφορίας ή γενικότερα για επιφανειακές στρώσεις.

Ο έλεγχος της αντοχής σε τριβή και κρούση κατά Los Angeles είναι απαραίτητοι για τον καθορισμό της καταλληλότητας των αδρανών σε ασφαλτόμιγμα γενικά. Η μέγιστη επιτρεπτή τιμή είναι 40%. [1]

Αρκετές φορές εξετάζεται και η αντοχή των αδρανών σε θλίψη και η αντοχή σε κρούση. Με τους ελέγχους αυτούς εξετάζεται η αντοχή των αδρανών σε επίπεδο δυναμικό και κρουστικό.

Β) Λεπτόκοκα αδρανή

Συνήθως σε λεπτόκοκα αδρανή γίνεται ο έλεγχος του ισοδύναμου της άμμου. Γίνεται δηλαδή μια γρήγορη εξακρίβωση της ποσότητας, της λεπτότητας και του χαρακτήρα των πολύ λεπτόκοκκων υλικών του μίγματος (διαμέτρου μικρότερης των 75mm).

Ορισμένη ποσότητα λεπτόκοκκου αδρανούς ανακατεύεται καλά με διάλυμα χλωριούχου ασβεστίου και κατόπιν αφήνεται να ηρεμήσει (να κατασταλάξει). Η αναλογία ύψους (στον ογκομετρικό σωλήνα) της άμμου προς το ύψος του αργιλικού κατάλοιπου επί τοις εκατό είναι το ισοδύναμο της άμμου. Η τιμή αυτή δεν πρέπει να είναι μικρότερη του 45%. [1]

Γ) Παιπάλη ή φύλλερ

Η παιπάλη είναι το λεπτό υλικό (υλικό που διέρχεται από το κόσκινο No200, δηλαδή άνοιγμα κοσκινού τετραγωνικές οπής 75μm) που προστίθεται στο ασφαλτόμιγμα σαν ξεχωριστό υλικό για να συμπληρώσει την απαιτούμενη κοκκομετρική διαβάθμιση του μίγματος.

Η παιπάλη πρέπει να προέρχεται από υγιές και καθαρό μητρικό πέτρωμα κατάλληλο για την παραγωγή χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων αδρανών. Σε ορισμένες περιπτώσεις που απαιτείται επιπλέον προσθήκη παιπάλης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και τσιμέντο σε μέγιστο ποσοστό 2% κατά βάρος μίγματος. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως παιπάλη και κάθε άλλο υλικό που πληροί τις απαιτήσεις της προδιαγραφής AASHTO M17-77.

Η παιπάλη χρησιμεύει κυρίως στην πλήρωση των κενών του ασφαλτομίγματος. Παράλληλα επιδρά τόσο στην ευστάθεια του ασφαλτομίγματος, όσο και στις ιδιότητες της ασφάλτου. Τέλος, το σχήμα της παιπάλης μπορεί επίσης να επιδράσει στην εργασιότητα και συμπίκνωση τους μίγματος. [1]

Για την εκτίμηση της λεπτότητας και του σχήματος της παιπάλης στο ασφαλτόμιγμα εκτελούνται συνήθως δυο έλεγχοι, ο έλεγχος για τον καθορισμό του σχετικού ειδικού βάρους σε τουλονόλιο και ο έλεγχος για τον καθορισμό των κενών σε ξηρή συμπεπυκνωμένη παιπάλη (κατά B5812/19750).

Θα πρέπει να τονιστεί ότι είναι αναγκαίο το ποσοστό της παιπάλης να μην είναι εκτός των προτεινόμενων προδιαγραφών. Η περίσσεια παιπάλης συνοδεύεται πάντοτε με αύξηση της περιεκτικότητας σε άσφαλτο, σκλήρυνση του ασφαλτομίγματος και αλλαγής της ευστάθειας του μίγματος. Αντίθετα, έλλειψη παιπάλης έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των κενών αέρος του μίγματος και μείωση της ευστάθειας του μίγματος.

2.1.2 Συνδετικά υλικά

Υπάρχουν δυο τύποι συνδετικών υλικών, που χρησιμοποιούνται διεθνώς στην κατασκευή των ασφαλικών επιστρώσεων : **οι άσφαλτοι και οι πίσσες**. Στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται μόνο οι άσφαλτοι και ειδικά οι άσφαλτοι που παράγονται από την απόσταξη του αργού πετρελαίου και όχι αυτές που προέρχονται από φυσικά ασφατικά κοιτάσματα που δεν υπάρχουν στη χώρα μας. Επίσης δεν χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα, άσφαλτοι που είναι προϊόντα απόσταξης ανθράκων για την παραγωγή φωταερίου.

Η άσφαλτος που χρησιμοποιείται στην κατασκευή των ασφαλικών επιστρώσεων, ή και στη σταθεροποίηση βάσεων, λέγεται **άσφαλτος οδοστρωσίας ή καθαρή άσφαλτος** και όπως αναφέραμε παράγεται κατά τη κλασματική απόσταξη του πετρελαίου.

Κατά την παρασκευή της στο διυλιστήριο ανάλογα με τις ειδικές ιδιότητες που θέλουμε να έχουμε για κάθε χρήση της, γίνεται η αντίστοιχη επεξεργασία και έτσι προκύπτουν οι διάφορες κατηγορίες ασφάλτου

Τα ασφατικά υλικά γενικά είναι θερμοπλαστικά υλικά και για την εκτίμηση της καταλληλότητας τους έχουν ιδιαίτερη σημασία τα χαρακτηριστικά, και ιδιότητες αυτών, που αφορούν την συνεκτικότητα όπως και ορισμένες άλλες ιδιότητες οι οποίες αναφέρονται παρακάτω :

- εργαστηριακή δοκιμή είσδυσης (penetration) σε ασφατικό υλικό (Bitumen)

Προσδιορίζεται το βάθος διείσδυσης, ακίδος βάρους 100gr μέσα στη μάζα του υλικού, για θερμοκρασία 25 °C και μέσα σε χρόνο 5 sec.

Ο τύπος της ασφάλτου που χρησιμοποιείται ευρέως στην Ελλάδα είναι 80/100 pen, δηλ. αυτό σημαίνει «δυνατότητα διείσδυσης» στο χρησιμοποιούμενο ασφατικό υλικό κατασκευής 8-10 mm (κατώτερο και ανώτερο όριο). Δηλαδή είσδυση 1 χιλιοστού της βελόνας αντιστοιχεί σε 10 βαθμούς εισδυτικότητας.

- Προσδιορισμός σημείου θραύσεως κατά FRAASS

Προσδιορίζεται η θερμοκρασία για την οποία θραύεται στρώση ασφατικού υλικού που έχει επικολληθεί σε χαλύβδινη λεπίδα, η οποία κατά τη δοκιμή κάμπτεται κατά καθορισμένο τρόπο.

- Ολκιμότητα

Γίνεται μέτρηση της επιμήκυνσης δοκιμίου από το υλικό όταν αυτό εφελκύεται κατά καθορισμένο τρόπο (ταχύτητα επιμήκυνσης) μέχρι θραύσεως.

- Προσδιορισμός του σημείου μάλθωσης T

Με τον έλεγχο αυτό υπολογίζεται η θερμοκρασία για την οποία στρώση ασφατικού υλικού ελεγχόμενη από ειδική συσκευή στο εργαστήριο παραμορφώνεται κατά ορισμένο τρόπο. Γίνεται δηλαδή ταυτόχρονα προσδιορισμός του βαθμού σκληρότητας.

Η άσφαλτος ενώνεται «εν ψυχρώ» με τα αδρανή είτε με τη μορφή **διαλύματος** ή με τη μορφή **γαλακτώματος**.

Τέλος πολλές φορές, για τη βελτίωση της πρόσφυσης των αδρανών με την άσφαλτο, χρησιμοποιούνται και τα λεγόμενα **αντιϋδρόφιλα υλικά**, υλικά που απομακρύνουν το νερό από την επιφάνεια των αδρανών και έτσι επιτυγχάνεται η ικανοποιητική πρόσφυση του ασφαλτικού υλικού στα αδρανή. [1]

2.2 ΑΣΦΑΛΤΙΚΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ

Τα ασφαλτικά διαλύματα είναι προϊόντα ανάμειξης συνηθισμένων ασφάλτων οδοστρωσίας με ορισμένους διαλύτες. Ανήκουν στη κατηγορία των ρευστών ασφαλτικών υλικών και προορίζονται για χρήση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Το ιξώδες της καθαρής ασφάλτου ελαττώνεται σημαντικά με τη προσθήκη και ανάμειξη λίγο ή πολύ πτητικών διαλυτών (βενζίνη, ακάθαρτο πετρέλαιο κ.λ.π). Ο διαλύτης έχει σκοπό να κάνει το ασφαλτικό υλικό εργάσιμο σε χαμηλές θερμοκρασίες. Όταν το ασφαλτικό διάλυμα εκτεθεί στον ατμοσφαιρικό αέρα, ο διαλύτης εξατμίζεται και αφήνει την άσφαλτο σαν συνδετικό μέσο.

Ανάλογα με την πτητικότητα του διαλύτη τα ασφαλτικά διαλύματα διακρίνονται σε ταχείας, μέσης και βραδείας εξατμίσεως. Τα ασφαλτικά διαλύματα χρησιμοποιούνται κυρίως για τον εμποτισμό συμπυκνωμένων στρώσεων βάσης, καθώς και για επιφανειακές επαλείψεις.

Στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται ασφαλτικά διαλύματα μέσης εξατμίσεως με διαλύτη φωτιστικό πετρέλαιο και άσφαλτο 80/100 pen. Για την επιτυχημένη εφαρμογή του διαλύτη πολύ μεγάλη σημασία έχει η εκλογή του τόσο από άποψη εξατμίσεως όσο και η διαλυτική ικανότητά του στην άσφαλτο.

Η χρήση ακάθαρτου πετρελαίου (ντίζελ) , σαν διαλύτη, πολλές φορές αποτελεί αιτία κακοτεχνιών στην κατασκευή, διότι η παραμονή των βαρέων κλασμάτων στο ασφαλτικό συνδετικό διατηρεί την πλαστικότητα των ασφαλτομιγμάτων για πολύ μεγάλο διάστημα, με δυσμενή επίδραση στην ευστάθεια της κατασκευής και στην μείωση της προσφύσεως του συνδετικού στα αδρανή.

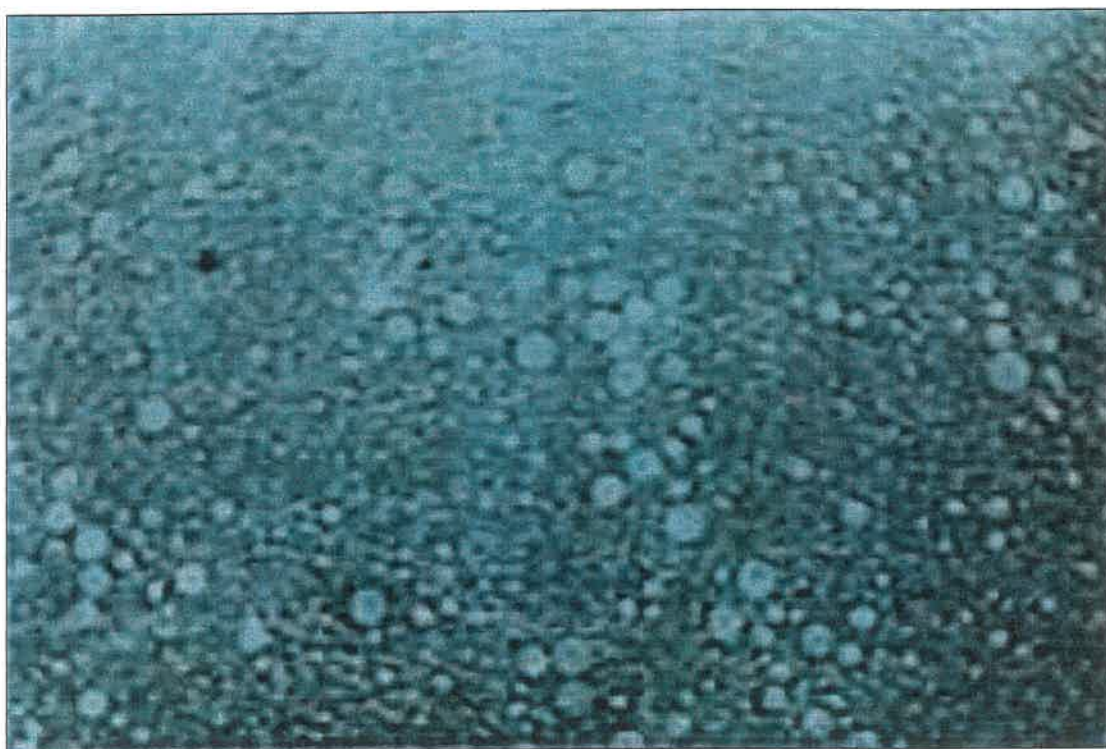
Στις ασφαλτικές κατασκευές οδοστρωσίας χρησιμοποιούνται επίσης οι ασφαλτικές επαλείψεις(προεπαλείψεις , συγκολλητικές επαλείψεις και σφραγιστικές επαλείψεις) αλλά κυρίως τα **ασφαλτικά γαλακτώματα**. [2]

2.3 ΑΣΦΑΛΤΙΚΑ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΑ

2.3.1 Γενικά

Τα ασφαλτικά γαλακτώματα είναι προϊόντα γαλακτωματοποίησης της ασφάλτου με νερό. Το νερό είναι η συνεχής ή εσωτερική φάση και η άσφαλτος η ασυνεχής ή εξωτερική φάση. Τα σωματίδια της ασφάλτου, μεγέθους 0.1-10μm περίπου, βρίσκονται σε μόνιμη αιώρηση μέσα στο νερό, Εικόνα 2.1.

Η αιώρηση των σωματιδίων της ασφάλτου επιτυγχάνεται με την ομοιόμορφη φόρτιση αυτών κατά το στάδιο της γαλακτωματοποίησης με την προσθήκη χημικού πρόσθετου που ονομάζεται «γαλακτωματοποιητής». Η τυπική αναλογία ασφάλτου και νερού είναι 60%40%, κατά βάρος, αντίστοιχα.



Εικόνα 2.1 Ασφαλτικό γαλάκτωμα- φωτογραφία από μικροσκόπιο

2.3.2 Ταξινόμηση και τύποι γαλακτωμάτων

Ανάλογα με την επιφανειακή φόρτιση των σωματιδίων, τα ασφαλτικά γαλακτώματα χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: τα **κατιονικά** (ή όξινα), όπου τα σωματίδια είναι φορτισμένα θετικά και τα **ανιονικά** (ή αλκαλικά), όπου τα σωματίδια της ασφάλτου είναι φορτισμένα αρνητικά. Η ονομασία κατιονικά προέρχεται από το γεγονός ότι τα φορτισμένα με θετικό επιφανειακό φορτίο σωματίδια της ασφάλτου, όταν διέλθει ηλεκτρικό ρεύμα, οδεύουν και επικάθονται στην κάθοδο. Αντίστοιχη είναι η ονομασία των ανιονικών όπου τα αρνητικά φορτισμένα σωματίδια της ασφάλτου οδεύουν και επικάθονται στην άνοδο. Η εναλλακτική ονομασία όξινα ή αλκαλικά προέρχεται από το γεγονός ότι τα σωματίδια της ασφάλτου βρίσκονται σε αιώρηση σε όξινο ή αλκαλικό υδατικό περιβάλλον.

Τέλος υπάρχουν και τα μη ιονικά ασφαλτικά γαλακτώματα, όπου τα σωματίδια της ασφάλτου βρίσκονται σε αιώρηση σε ουδέτερο υδατικό περιβάλλον (pH περίπου 7). Τα γαλακτώματα αυτά δε χρησιμοποιούνται στην οδοποιία, πλην όμως η χρήση τους μπορεί να είναι πιο ευρεία καθώς βελτιώνεται η τεχνολογία των γαλακτωμάτων.

Εκτός της βασικής ταξινόμησης, με βάση το είδος της επιφανειακής φόρτισης των σωματιδίων της ασφάλτου, τα ασφαλτικά γαλακτώματα διακρίνονται και σε τρεις άλλες κατηγορίες αναλόγως του ρυθμού διάσπασης. Οι τρεις κατηγορίες είναι τα **βραδείας, μέσης και ταχείας διάσπασης** γαλακτώματα.

Επίσης τα γαλακτώματα χαρακτηρίζονται από το ποσοστό ασφάλτου που περιέχουν, από το ιξώδες αυτών και από την σκληρότητα της ασφάλτου. Το κάθε γαλάκτωμα, αναλόγως του τύπου αυτού, θα πρέπει να πληροί και άλλες ιδιότητες όπως καθίζηση, διαστάσεις σωματιδίων ασφάλτου, καλυπτικότητα κλπ., έτσι ώστε να μπορούν να καλύψουν κατάλληλα τα αδρανή, να αποθηκεύονται δίχως να διασπώνται, και να έχουν την κατάλληλη ποιότητα και περιεκτικότητα σε άσφαλτο. Επίσης, έλεγχοι, όπως μάλθωσης και διαλυτότητας του συνδετικού υλικού, πρέπει να γίνονται και επί του υπολείμματος.

Στην Ελλάδα τα ασφαλτικά γαλακτώματα προδιαγράφονται από την Πρότυπος Τεχνική Προδιαγραφή Α-202, για ανιονικού τύπου, και από την ΠΤΠ Α-203, για κατιονικού τύπου. Η ταξινόμηση των ασφαλτικών γαλακτωμάτων στην Ελλάδα γίνεται με τα γράμματα ΑΕ για ανιονικά και ΚΕ για κατιονικά γαλακτώματα αντίστοιχα. Ο αριθμός που ακολουθεί στην ταξινόμηση των γαλακτωμάτων κατά τις ελληνικές προδιαγραφές δηλώνει τόσο το βαθμό διάσπασης αυτών όσο και της περιοχές εφαρμογής και την περιεκτικότητα σε άσφαλτο. Οι αριθμοί είναι από 1 έως 5, με το 1 να δηλώνει γαλάκτωμα ταχείας διάσπασης και το 5 γαλάκτωμα βραδείας διάσπασης. Ο πίνακας ταξινόμησης μαζί με τις αντίστοιχες ιδιότητες των κατιονικών γαλακτωμάτων δίνεται στον Πίνακα 2.1. [3]

Πίνακας 2.1 Τύποι και απαιτήσεις κατιονικών ασφαλτικών γαλακτωμάτων κατά ΠΤΠ Α203

Χαρακτηριστικά	Τύποι κατιονικών γαλακτωμάτων									
	KF - 1		KF - 2		KF - 3		KF - 4		KF - 5	
	Ελάχ.	Μέγ.	Ελάχ.	Μέγ.	Ελάχ.	Μέγ.	Ελάχ.	Μέγ.	Ελάχ.	Μέγ.
Δοκιμές επί του γαλακτώματος										
- Ιξώδες Furol στους 25° C, sec	20	100	-	-	20	100	20	100	20	100
- Ιξώδες Furol στους 50° C, sec	-	-	75	400	-	-	-	-	-	-
- Υπόλειμμα αποστάξεως, (%)	55	-	60	-	55	-	55	-	55	-
- Καθίζηση 5 ημερών, (%) ^(α)	-	3	-	3	-	3	-	5	-	5
- Δοκιμή κοσκίνου, συγκρατ/νο (%)	-	0.10	-	0.10	-	0.10	-	0.10	-	0.10
- Δοκιμή περιβολής ^(β)	-	-	-	-	θετική	θετική	θετική	θετική	θετική	θετική
- Δείκτης pH γαλακτώματος	3	7	3	7	3	7	3	7	3	7
Δοκιμές επί του υπολείμματος										
Διεισδυτικότητα, 25°C, rep	80	320	80	320	80	320	100	320	100	320
Διαλυτ/τα σε τετραχλωράνθ/κα (%)	97.5	-	97.5	-	97.5	-	97.5	-	97.5	-
Τέφρα (%)	-	2	-	2	-	2	-	2	-	2
Ολκιμότητα στους 25°C, (cm)	40	-	40	-	40	-	(γ)	-	(γ)	-
Δοκιμή πρόσφυσης επικάλυψης, (%)	95	-	95	-	95	-	95	-	95	-
Θερμοκρασία εφαρμογής, (°C)	< 60	< 60	< 60	< 60	< 60	< 60	< 60	< 60	2'60	2'60

^(α) Οι απαιτήσεις της δοκιμής αυτής δύνανται να παραληφθούν αν το γαλάκτωμα χρησιμοποιηθεί σε διάστημα μικρότερο των 5 ημερών

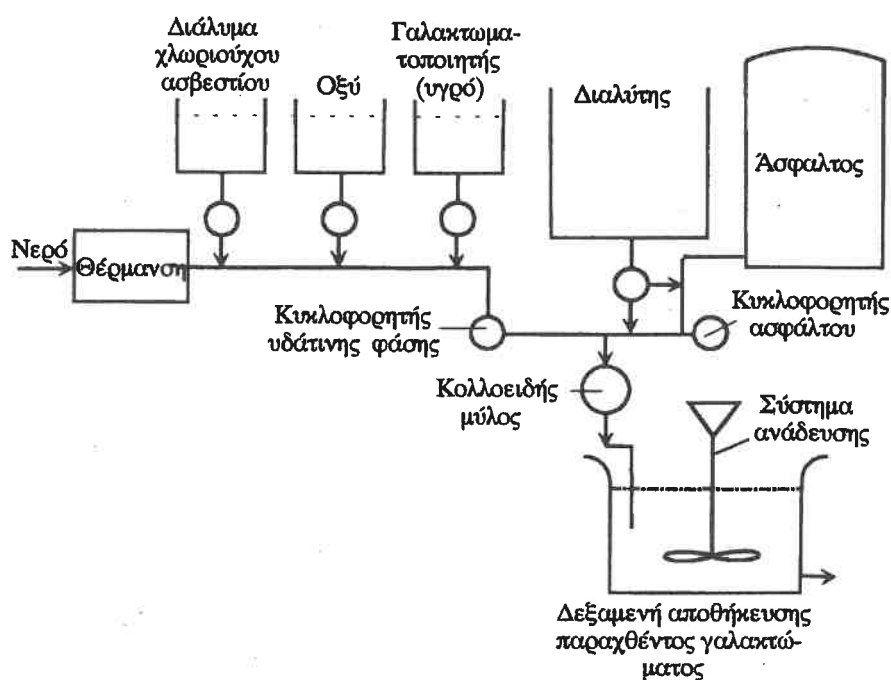
^(β) Το γαλάκτωμα πρέπει να δύναται να περιβάλλει πλήρως αδρανή ασβεστολιθικής ή πυριτικής προέλευσης ανοιχτής τουλάχιστον υφής

^(γ) Εάν η διεισδυτικότητα του υπολείμματος είναι μεγαλύτερη του 200 και η ολκιμότητα στους 25°C είναι μικρότερη του 100, το υλικό γίνεται αποδεκτό εάν η ολκιμότητα στους 15°C είναι μικρότερη του 100

2.3.3 Παραγωγή ασφατικών γαλακτωμάτων

Τα ασφατικά γαλακτώματα παράγονται σε ειδική βιομηχανική μονάδα παραγωγής γαλακτωμάτων η οποία συνίσταται από αποθηκευτικούς χώρους (δεξαμενές) πρώτων υλών, αντλίες παροχής και δίκτυο σωληνώσεως, σύστημα γαλακτωματοποίησης (κολλοειδή μύλο ή υψηλόστροφο αναμίκτη) και δεξαμενές, με δυνατότητα ανάδευσης, για την αποθήκευση του τελικού προϊόντος. Σχηματική παράσταση παραγωγής ασφατικού γαλακτώματος συνεχούς ροής δίνεται στο Σχήμα 2.1.

Ως πρώτες ύλες χρησιμοποιούνται άσφαλτος (συνήθως τύπων 80/100 ή 60/70 pen), νερό, γαλακτωματοποιητής, χημικό για την επίτευξη της υδατοδιαλυτότητας του γαλακτωματοποιητή, σταθεροποιητής και σε πολύ μικρή ποσότητα ειδικά έλαια και διαλύτες.



Σχήμα 2.1 Σχηματική παράσταση παραγωγής ασφατικού γαλακτώματος

Η άσφαλτος θερμαίνεται σε κατάλληλη θερμοκρασία (110-140° c) έτσι ώστε να αποκτήσει χαμηλό ιξώδες και διοχετεύεται στο κολλοειδή μύλο. Στο νερό αφού θερμανθεί, προστίθεται ο γαλακτωματοποιητής αφού προηγουμένως αναμιχθεί με χημικό για την επίτευξη της υδατοδιαλυτότητας αυτού, που στην περίπτωση των κατιονικών γαλακτωμάτων είναι ένα οξύ (συνήθως το υδροχλωρικό), καθώς και όλα τα άλλα χημικά πρόσθετα. Το θερμό υδατικό διάλυμα διοχετεύεται και αυτό, ταυτόχρονα με την θερμή άσφαλτο, στο κολλοειδή μύλο. Ο μύλος είναι υψηλόστροφος (έως και 6000 στροφές ανά λεπτό) και αποτελείται από ένα κωνικό ρότορα και αντίστοιχο στάτορα. Το διάκενο μεταξύ του ρότορα και στάτορα ρυθμίζεται ανάλογα. Για την παραγωγή των ασφατικών γαλακτωμάτων, το διάκενο είναι της τάξεως των 0.25-0.50mm. Οποιαδήποτε αυξομείωση του διακένου επηρεάζει τις διαστάσεις των σφαιριδίων της ασφάλτου. Η άσφαλτος και το υδατικό διάλυμα του γαλακτωματοποιητή εισέρχονται στο κολλοειδή μύλο και υπόκεινται σε υψηλές διατμητικές τάσεις οι οποίες διαχωρίζουν την άσφαλτο σε μικροσκοπικά

σωματίδια (διαμέτρου 0.5 έως 15μm). Τα σωματίδια αυτά λόγω της παρουσίας του γαλακτωματοποιητή φορτίζονται ομοιόμορφα με το αυτό ηλεκτρικό φορτίο. Το ασφατικό γαλάκτωμα που παράχθηκε και έχει θερμοκρασίες περίπου 80-90°C αντλείται στις δεξαμενές αποθήκευσης για να κρυώσει.

Πλην των μονάδων παραγωγής συνεχούς ροής υπάρχουν και οι μονάδες παραγωγής ανά παρτίδα. Η διάταξή τους είναι παρόμοια με μόνη τη διαφορά ότι οι ποσότητες του νερού, του γαλακτωματοποιητή και όλων των άλλων χημικών είναι συγκεκριμένες για κάθε παρτίδα παραγωγής και αναμιγνύονται σε ξεχωριστή δεξαμενή πριν τη διοχέτευση του υδατικού διαλύματος στον κολλοειδή μύλο ή υψηλόστροφο αναμίκτη. Κατά κανόνα η ωριαία παραγωγή του συστήματος αυτού είναι χαμηλότερη του συστήματος παραγωγής συνεχούς ροής.

2.3.4 Ιδιότητες ασφατικού γαλακτώματος

Το παραχθέν ασφατικό γαλάκτωμα θα πρέπει να είναι «σταθερό» ώστε να μπορεί να αποθηκευθεί για κάποιο χρονικό διάστημα αλλά και να μεταφερθεί στο έργο δίχως να διασπασθεί. Επίσης, θα πρέπει να έχει το κατάλληλο ιξώδες ώστε να μπορεί να ψεκασθεί σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος και χωρίς ιδιαίτερη θέρμανση. Τέλος, θα πρέπει να επικολλάται καλά επί των αδρανών και να διασπάται με τον επιθυμητό ρυθμό διάσπασης. Είναι φανερό ότι ορισμένες από τις ιδιότητες του γαλακτώματος όπως η «ευστάθεια» και «διάσπαση» αυτών φαίνονται να είναι σε αντίθεση. Ουσιαστικά έτσι είναι, μόνο που οι δυο προαναφερθείσες ιδιότητες απαιτούνται σε διαφορετικά στάδια χρήσης του γαλακτώματος. Η πρώτη ιδιότητα απαιτείται κατά την αποθήκευση ενώ η δεύτερη κατά την εφαρμογή αυτού.

I. Αποθηκευτική ευστάθεια γαλακτώματος

Η αποθηκευτική ευστάθεια του γαλακτώματος είναι ουσιαστικής σημασίας διότι άλλως το παραχθέν και αποθηκευθέν γαλάκτωμα δεν θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ικανοποιητικά ή θα ήταν τελείως ακατάλληλο προς χρήση. Η αποθηκευτική ευστάθεια του γαλακτώματος επηρεάζεται κυρίως από το μέγεθος των σφαιριδίων της ασφάλτου που βρίσκονται σε αιώρηση στην υδάτινη φάση αλλά και από την κατανομή μεγέθους των σφαιριδίων. Όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος των σφαιριδίων τόσο μεγαλύτερο είναι το ίδιο βάρος τους με αποτέλεσμα τα σφαιρίδια να μην μπορούν να κρατηθούν σε αιώρηση και να αρχίζουν να καθιζάνουν και να συσσωρεύονται στο πυθμένα της δεξαμενής ή του βαρελιού. Όσο πιο ανομοιόμορφη είναι η κατανομή μεγέθους των σφαιριδίων τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα καθίζησης (μικρότερη πυκνότητα σωματιδίων). Κατά την πτώση τους τα σωματίδια αυτά πιθανόν να παρασύρουν στο πυθμένα και άλλα σωματίδια με αποτέλεσμα να επέλθει μεγαλύτερη συσσώρευση όγκου σφαιριδίων. Έτσι, δημιουργείται μια περιοχή, η κατώτερη, πλούσια σε άσφαλτο και μια περιοχή, η ανώτερη, φτωχή σε άσφαλτο. Στο στάδιο αυτό μια απλή ανάδευση επαναφέρει το σύστημα στην αρχική του μορφή. Έτσι, μπορεί να ειπωθεί ότι το φαινόμενο της συσσώρευσης είναι αναστρέψιμο. Με την περαιτέρω συσσώρευση των ασφατικών σφαιριδίων στο πυθμένα και λόγω τόσο του ιδίου βάρους του σχηματισθέντος «σωρού» των σφαιριδίων όσο και των υπερκείμενων υδροστατικών πιέσεων επέρχεται συγκόλληση και συγχώνευση αυτών σε μια ενιαία ασφατική μάζα. Το φαινόμενο της συγκόλλησης και συγχώνευσης είναι μη αναστρέψιμο. Η περιεκτικότητα του γαλακτώματος σε άσφαλτο έχει μειωθεί δραστικά δεδομένου ότι αυτή μετά από

κάποιο χρονικό διάστημα βρίσκεται, πιθανότατα σχεδόν στο σύνολό της, συγκολλημένη στο πυθμένα του βαρελιού ή της δεξαμενής. Στην περίπτωση αυτή το γαλάκτωμα είναι ακατάλληλο για χρήση.

Το μέγεθος των σφαιριδίων, που κανονικά θα πρέπει να είναι της τάξεως 0.5 έως 15μm για το 85% τουλάχιστον του αριθμού αυτών, επηρεάζεται κυρίως από την απόσταση του διάκενου μεταξύ του ρότορα και του στάτορα. Εάν για κάποιο λόγο το διάκενο μεγαλώσει, το παραγόμενο γαλάκτωμα θα είναι περισσότερο «χονδρόκοκκο». Το μέγεθος των σφαιριδίων μπορεί επίσης να επηρεασθεί από τη χαμηλή θερμοκρασία της ασφάλτου και του υδάτινου διαλύματος κατά τη γαλακτωματοποίηση.

Η αποθηκευτική ευστάθεια του γαλακτώματος μπορεί επίσης να επηρεαστεί από το ιξώδες του γαλακτώματος, από το ειδικό βάρος της ασφάλτου και από την περιεκτικότητα του γαλακτώματος σε γαλακτωματοποιητή.

Γαλακτώματα με μικρό σχετικό ιξώδες και γαλακτώματα που παράχθηκαν από ασφαλτο με μεγάλο σχετικά ειδικό βάρος είναι περισσότερο επιρρεπή σε καθίζηση από αυτά με υψηλό ιξώδες και με ασφαλτο μικρότερου ειδικού βάρους. Η παρουσία μεγαλύτερης ποσότητας γαλακτωματοποιητή στο σύστημα επιβραδύνει το ρυθμό καθίζησης. Πλην όμως, δε θα πρέπει να προτιμάται ως λύση διότι αφενός ο γαλακτωματοποιητής είναι το ακριβότερο συστατικό του γαλακτώματος και αφετέρου θα επιφέρει και άλλες επιπτώσεις, κυρίως αύξηση του χρόνου διάσπασης του γαλακτώματος.

Η διαπίστωση της αποθηκευτικής ευστάθειας του γαλακτώματος ελέγχεται γρήγορα με την εκτέλεση της απλούστατης δοκιμής καθίζησης των 24ωρών. Το μέγεθος των ασφαλικών σφαιριδίων καθώς και η κατανομή του μεγέθους αυτών μπορεί να καθοριστεί χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικά μικροσκόπια ή καλύτερα ειδικά ηλεκτρονικά μηχανήματα κοκκομετρικής ανάλυσης. Για τις ανάγκες του έργου και για μια γρήγορη και μη δαπανηρή εκτίμηση των διαστάσεων των σφαιριδίων χρησιμοποιείται η δοκιμή του κόσκινου.

Κατά την αποθήκευση ή μεταφορά των γαλακτωμάτων δε θα πρέπει να παραβλέπεται η καθαρότητα των δεξαμενών ή βαρελιών. Σε περίπτωση ύπαρξης καταλοίπων ή ξένων στερεών σωματιδίων είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα επηρεάσουν την ευστάθεια και τη γενικότερη συμπεριφορά αυτού. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να ειπωθεί ότι ανεξάρτητα της καθαρότητας του αποθηκευτικού χώρου, το γαλάκτωμα δε θα πρέπει να εκτίθεται για μεγάλο χρονικό διάστημα στον αέρα του περιβάλλοντος. Και αυτό διότι λόγω της μερικής εξάτμισης του ύδατος στην επιφάνεια αλλά και της επαφής με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας επέρχεται επιφανειακή διάσπαση αυτού. Η τοποθέτηση επίσης των βαρελιών ή των δεξαμενών είναι το προτιμότερο να είναι κατά την κάθετη διεύθυνση.

Τονίζεται ιδιαίτερα ότι, δε θα πρέπει να αναμιγνύεται ανιονικό και κατιονικό γαλάκτωμα, διότι λόγω της αντίθεσης ηλεκτροστατικής τους φόρτισης επέρχεται στιγμιαία διάσπαση αυτών. Σε περίπτωση που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν δεξαμενές ή βαρέλια που στο παρελθόν είχαν χρησιμοποιηθεί για το αντίθετο τύπο γαλακτώματος θα πρέπει να καθαρίζονται σχολαστικότερα με άφθονο νερό ή με διαλύτη έτσι ώστε να μην υπάρχει ίχνος γαλακτώματος αντίθετου τύπου. Δεξαμενές που χρησιμοποιήθηκαν στο παρελθόν για την αποθήκευση ασφάλτου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση γαλακτωμάτων αφού εξετασθούν ως προς τη μη ύπαρξη ξένων σωμάτων ή αποκολλημένων κομματιών παλαιάς ασφάλτου.

II. Ιξώδες γαλακτώματος

Τα ασφατικά γαλακτώματα χρησιμοποιούνται σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος και συνεπώς μια ουσιαστική μεταβολή στο ιξώδες αυτών πιθανόν να επιφέρει αρνητικά αποτελέσματα ή απαίτηση για μερική θέρμανση τους. Το ιξώδες του γαλακτώματος επηρεάζει κυρίως την ικανότητά του να ψεκάζεται επιτυχώς σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος αλλά και επικαλύπτει επιτυχώς τα αδρανή με ασφαλτο καθώς και την εργασιμότητα του ψυχρού ασφατομίγματος στο στάδιο της ανάμειξης και της συμπίκνωσης

Το ιξώδες του γαλακτώματος μεταβάλλεται κυρίως με την αυξομείωση της περιεκτικότητας αυτού σε ασφαλτο. Καθώς αυξάνει η περιεκτικότητα της ασφάλτου στο γαλάκτωμα, αυξάνει και το ιξώδες αυτού. Εμφανέστερη είναι η επίδραση της αύξησης όταν η περιεκτικότητα ασφάλτου ξεπεράσει το ποσοστό του 65%. Πτώση της θερμοκρασίας αυξάνει το ιξώδες του γαλακτώματος. Η αύξηση αυτή είναι περισσότερο αισθητή στα γαλακτώματα με περιεκτικότητα ασφάλτου πάνω από 65%. Το ιξώδες του γαλακτώματος επηρεάζεται επίσης από το ιξώδες της ασφάλτου κατά τη γαλακτωματοποίηση, την οξύτητα του υδατικού διαλύματος και την περιεκτικότητα σε γαλακτωματοποιητή. Όταν μειωθεί το ιξώδες της ασφάλτου που εισέρχεται στον κολλοειδή μύλο η μέση διάμετρος των σωματιδίων μειώνεται και το ιξώδες του γαλακτώματος ελαφρώς αυξάνεται. Επίσης σχετική αύξηση του ιξώδους παρατηρείται όταν μειώνεται η οξύτητα του υδατικού διαλύματος και αυξάνεται η περιεκτικότητα του γαλακτώματος.

Ο τύπος (σκληρότητα) της ασφάλτου που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του γαλακτώματος επηρεάζει επίσης το ιξώδες αυτού αλλά σε μικρότερο βαθμό. Ο βαθμός επηρεασμού εξαρτάται από το τύπο του γαλακτωματοποιητή. Κατιονικά γαλακτώματα στο σύνολο τους έχουν ιξώδες χαμηλότερο από αυτό των ανιονικών, για την ίδια περιεκτικότητα ασφάλτου.

III. Συγκολλητικότητα γαλακτώματος / ασφάλτου

Σε όλες τις περιπτώσεις που χρησιμοποιείται ασφαλτος, η ανάγκη καλής συγκόλλησης αυτής με την επιφάνεια των αδρανών είναι πρώτιστης σημασίας. Στα γαλακτώματα με την έναρξη της διάσπασης αρχίζει η εναπόθεση της ασφάλτου πάνω στα αδρανή, η πρόσφυση της οποίας είναι δεδομένη διότι οι γαλακτωματοποιητές που χρησιμοποιούνται είναι στο σύνολο τους αντιϋδρόφιλα υλικά. Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί ότι ιδιαίτερα τα κατιονικά γαλακτώματα, λόγω της φύσης του γαλακτωματοποιητή (αμίνες ή πολυαμίνες) και του ισχυρού δεσμού που αναπτύσσεται, προσφύονται ισχυρότερα από τα ανιονικά γαλακτώματα. Επίσης, λόγω του γεγονότος ότι τα κατιονικά γαλακτώματα αποβάλλουν γρηγορότερα το νερό, η συνεκτικότητα τόσο μεταξύ της ασφάλτου και των αδρανών όσο και του ασφατομίγματος αναπτύσσεται πολύ πιο γρήγορα. Βεβαίως η συνεκτικότητα του μίγματος επηρεάζεται πάρα πολύ από την ομοιόμορφη κάλυψη των αδρανών με ασφαλτο η οποία συσχετίζεται με το ρυθμό διάσπασης του γαλακτώματος.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη συγκολλητικότητα του γαλακτώματος και κατ'επέκταση της ασφάλτου με τα αδρανή είναι: ο τύπος και η ποσότητα του γαλακτωματοποιητή, η ποσότητα και ο τύπος της ασφάλτου, το pH του υδατικού διαλύματος του γαλακτωματοποιητή και ο τύπος των αδρανών. Επαρκής ποσότητα του επιλεγέντος γαλακτωματοποιητή πρέπει να εμπεριέχεται στο γαλάκτωμα έτσι ώστε να υπάρχει ο απαιτούμενος και επαρκής αριθμός ελεύθερων μορίων γαλακτωματοποιητή. Το pH του υδατικού διαλύματος του γαλακτωματοποιητή θα

πρέπει να αυξομειώνεται συναρτήσει κυρίως της χημικής σύστασης της ασφάλτου και του τύπου των αδρανών.

Όσον αφορά την επίδραση της ποιότητας των αδρανών στη συγκολλητικότητα του γαλακτώματος /ασφάλτου, θα πρέπει να ειπωθεί ότι τα κατιονικά γαλακτώματα προσφύονται άριστα με όλα τα αδρανή κατάλληλα για ασφαλομίγματα σε αντίθεση με τα ανιονικά γαλακτώματα τα οποία ανεξαρτήτως της σχετικής βραδύτητας ανάπτυξης του δεσμού, προσφύονται ικανοποιητικότερα σε ασβεστολιθικά αδρανή μόνο.

IV. Ρυθμός διάσπασης γαλακτώματος

Ο ρυθμός διάσπασης του γαλακτώματος είναι ένας από τους σοβαρότερους παράγοντες για την καλή συμπεριφορά του γαλακτώματος και την επιτυχία της κατασκευής. Θα πρέπει να είναι τέτοιος ώστε, στην περίπτωση παραγωγής ψυχρών ασφαλομιγμάτων, να παρέχει τον απαιτούμενο χρόνο για την ομοιόμορφη και πλήρη διασπορά της ασφάλτου στην επιφάνεια των αδρανών και παράλληλα να επιταχύνει τη γρήγορη ανάπτυξη της συνεκτικότητας του μίγματος, ώστε να δύναται να δοθεί στην κυκλοφορία όσον το δυνατόν συντομότερα. Το αιτούμενο, φαινομενικά είναι δύσκολο, πλην όμως στην πράξη είναι δυνατόν να επιτευχθεί. Ο χρόνος που απαιτείται για τη διασπορά του γαλακτώματος/ ασφάλτου στην επιφάνεια των αδρανών είναι ο χρόνος ανάμιξης που στην περίπτωση παραγωγής του μείγματος σε μόνιμη ή αυτοκινούμενη εγκατάσταση δεν ξεπερνά το ένα λεπτό. Στην περίπτωση που το μίγμα αναμιγνύεται επί της οδού με μη-μηχανικά μέσα, ο χρόνος διάσπασης θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος. Τέλος, στην περίπτωση που το ασφαλικό γαλάκτωμα ψεκάζεται, για εργασίες όπως ασφαλικές επαλείψεις, ο ρυθμός διάσπασης θα πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να αναπτύσσεται το δυνατόν συντομότερα. Ανάλογες είναι οι απαιτήσεις του ρυθμού διάσπασης και για άλλες εφαρμογές.

Ο ρυθμός διάσπασης του γαλακτώματος εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες :

- τη σύνθεση του γαλακτώματος,
- το ρυθμό εξάτμισης του ύδατος – κλιματολογικές συνθήκες,
- την απορροφητικότητα των αδρανών,
- τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των αδρανών, και
- την παρενόχληση του συστήματος γαλάκτωμα /αδρανή κατά τη διάρκεια της ανάμιξης του ασφαλομίγματος και τη διάσπρωση του τάπητα

Ο ρυθμός διάσπασης του κατιονικού γαλακτώματος μπορεί να τροποποιηθεί από τη σύνθεση του γαλακτώματος, δηλαδή όταν αλλάζει το ποσοστό του γαλακτωματοποιητή, της ασφάλτου και του οξέως στο γαλάκτωμα καθώς και η αναλογία οξέως /γαλακτωματοποιητή. Μείωση της πρώτης και της δεύτερης ή αύξηση της τρίτης και τέταρτης από τις προαναφερθείσες παραμέτρους, αντίστοιχα, επιφέρουν μείωση του ρυθμού διάσπασης του γαλακτώματος. Επίσης, μείωση των διαστάσεων των σφαιριδίων της ασφάλτου και της κατανομής των κόκκων μειώνει το χρόνο διάσπασης. Αντίστροφες θα πρέπει να είναι οι αυξομειώσεις σε περίπτωση απαίτησης αύξησης του ρυθμού διάσπασης.

Ο ρυθμός εξάτμισης του ύδατος επιδρά άμεσα στο ρυθμό διάσπασης του γαλακτώματος. Επειδή ο ρυθμός εξάτμισης συνδυάζεται με τις κλιματολογικές συνθήκες, ο ρυθμός διάσπασης του γαλακτώματος αυξάνεται όταν: η θερμοκρασία

περιβάλλοντος αυξάνεται, όταν αυξάνεται η ένταση του ανέμου ή όταν μειώνεται η σχετική υγρασία του περιβάλλοντος. Έτσι, θα πρέπει το γαλάκτωμα που χρησιμοποιείται να είναι όσο το δυνατόν λιγότερο ευαίσθητο στους παραπάνω παράγοντες. Τα κατιονικά γαλακτώματα φαίνεται να είναι περισσότερο ευαίσθητα στις παραπάνω μεταβολές.

Η απορροφητικότητα των αδρανών συσχετίζεται με την απώλεια ύδατος από το γαλάκτωμα. Έτσι, για το ίδιο γαλάκτωμα, όταν χρησιμοποιούνται πορώδη αδρανή ο ρυθμός διάσπασης του γαλακτώματος αναμένεται να είναι ταχύτερος. Η αύξηση του ρυθμού διάσπασης στην περίπτωση χρήσης πορωδών αδρανών μπορεί να ελαχιστοποιηθεί, αν είναι επιθυμητό, με την προ-ύγρανση αυτών με νερό (3-5% νερό κατά βάρος αδρανών). Καλό είναι, εξαιρετικά πορώδη αδρανή (μεγαλύτερη του 3% απορρόφηση σε νερό) να αποφεύγονται.

Τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των αδρανών που επηρεάζουν το ρυθμό διάσπασης είναι: η κοκκομετρική διαβάθμιση και ο μέγιστος κόκκος του μίγματος των αδρανών (σχετική επιφάνεια αδρανών), το ποσοστό και είδος του φίλλερ, η σχετική υγρασία, η υφή της επιφάνειας και το είδος του μητρικού πετρώματος.

Όταν αυξηθεί η ειδική επιφάνεια των αδρανών, ύπαρξη περισσότερων λεπτόκοκκων αδρανών υλικών-στο μίγμα, ο ρυθμός διάσπασης του γαλακτώματος αυξάνει. Επίσης, αύξηση του ρυθμού διάσπασης παρατηρείται όταν το ποσοστό του φίλλερ αυξηθεί. Διαφορετικός είναι ο ρυθμός διάσπασης εάν το φίλλερ είναι τσιμέντο, ή ασβεστόλιθο, ή από ασβέστη και ανάλογος του γαλακτώματος που χρησιμοποιείται. Θα πρέπει να τονισθεί ότι μεγαλύτερη είναι η επίδραση της αυξομείωσης του ποσοστού του φίλλερ από αυτήν της αλλαγής του είδους του φίλλερ.

Αύξηση της σχετικής υγρασίας των αδρανών επιβραδύνει το ρυθμό διάσπασης του γαλακτώματος. Σχεδόν πάντοτε, ακόμη και με τη χρήση γαλακτωμάτων βραδείας διάσπασης, η διαβροχή των αδρανών με μικρή ποσότητα ύδατος (1-3% περίπου) επιβάλλεται. Η διαβροχή των αδρανών έχει ως αποτέλεσμα να ουδετεροποιούνται κατά ένα βαθμό τα επιφανειακά ιόντα του πετρώματος με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η βίαιη διάσπαση του γαλακτώματος που οδηγεί μετά βεβαιότητας στην ανομοιόμορφη διασπορά της ασφάλτου στο μίγμα.

Τέλος, ο ρυθμός διάσπασης του γαλακτώματος διαφέρει λόγω του αν θα χρησιμοποιηθεί ειδικό μηχάνημα παραγωγής και διάστρωσης ή η ανάμιξη και διάστρωση θα γίνει επί της οδού με grader. Στην πρώτη περίπτωση αυξάνεται λόγω του γεγονότος ότι εξασκούνται υψηλότερες δυνάμεις στο σύστημα γαλάκτωμα /αδρανή. Για τον ίδιο λόγο, ο ρυθμός διάσπασης αυξάνεται όταν το μίγμα υποβάλλεται σε κυλίνδρωση. Έτσι, συνιστάται όπως κυλινδρώνεται η οποιαδήποτε κατασκευή διότι έτσι υποβοηθείται η ταχύτητα ανάπτυξης της συνεκτικότητας του μείγματος και διασφαλίζεται η γρηγορότερη απόδοση του έργου στην κυκλοφορία.

Θα πρέπει τέλος να αναφερθεί ότι ο ρυθμός διάσπασης του γαλακτώματος μπορεί να τροποποιηθεί και από επιπρόσθετες χημικές ουσίες. Στην περίπτωση των ασφαλικών επαλείψεων ο ρυθμός διάσπασης του γαλακτώματος επιταχύνεται με τον ψεκασμό, επί της ήδη ψεκασθείσας επιφάνειας με γαλάκτωμα και λίγο πριν τη διασπορά των αδρανών, ειδικής χημικής ουσίας. Οι ουσίες αυτές έχουν συνήθως διπλό ρόλο. Να επιταχύνουν τη διάσπαση του γαλακτώματος και να βελτιώσουν περαιτέρω την πρόσφυση ασφάλτου και αδρανών. Πρόσφατα δε, ανακοινώθηκε η παρασκευή προσθετικού που ελέγχει πλήρως το ρυθμό διάσπασης αναλόγως της εφαρμογής. Το προσθετικό αυτό, που είναι υδατικό διάλυμα (εξουδετερωτής) σε έλαιο (αντίστροφο γαλάκτωμα) και προστίθεται στο γαλάκτωμα λίγο πριν τη χρήση

του γαλακτώματος, έδωσε άριστα αποτελέσματα τόσο σε ασφατικές επαλείψεις όσο και σε ψυχρά ασφαλτομίγματα παντός τύπου. [3] [4]

2.3.5 Χρήσεις των γαλακτωμάτων

Σήμερα, τόσο διεθνώς όσο και στην Ελλάδα, τα ασφατικά γαλακτώματα χρησιμοποιούνται σε όλο το φάσμα των έργων οδοποιίας, όπως: παραγωγή ψυχρών ασφατικών μιγμάτων παντός τύπου σε μόνιμη ή αυτοκινούμενη μονάδα παραγωγής, ασφατικές επαλείψεις, συγκολλητικές επαλείψεις, προεπάλειψη, εμποτισμό σκυρωτών, ψυχρά ασφαλτομίγματα με δυνατότητα αποθήκευσης για πλήρωση λάκκων, πλήρωση επιφανειακών ρωγμών οδοστρωμάτων, σταθεροποίηση πρανών κλπ.

Το που εφαρμόζονται τα ταχείας ή μέσης ή βραδείας διάσπασης γαλακτώματα είναι κυρίως συνάρτηση του μείγματος των αδρανών που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί και ειδικότερα της σχετικής επιφάνειας των αδρανών (μικρή σχετική επιφάνεια αδρανών) χρησιμοποιούνται ταχείας διάσπασης γαλακτώματα. Αντίστοιχα, με κλειστού τύπου μίγματα αδρανών (μεγάλη σχετική επιφάνεια αδρανών) χρησιμοποιούνται τα βραδείας διάσπασης γαλακτώματα. Για ενδιάμεσα μίγματα, όπως ημίκλειστου τύπου, χρησιμοποιούνται τα μέσης διάσπασης γαλακτώματα, δίχως ο διαχωρισμός αυτός να είναι απόλυτος. Για άλλες εργασίες, όπως η συγκολλητική, χρησιμοποιούνται τα μέσης ή βραδείας διάσπασης γαλακτώματα, ενώ για προεπάλειψη τα βραδείας διάσπασης μόνο. Θα πρέπει να τονισθεί ότι ειδικότερα για τις εργασίες συγκολλητικής ο χρόνος διάσπασης όλων των κατιονικών γαλακτωμάτων ανεξαρτήτως ρυθμού διάσπασης διαφέρει μεταξύ ολίγων λεπτών και είναι σε όλες τις περιπτώσεις περίπου 5-15λεπτά. Στις εργασίες ιδιαίτερα της προεπάλειψης επιζητείται ο μέγιστος δυνατός χρόνος διάσπασης έτσι ώστε το ασφατικό γαλάκτωμα να μπορέσει να διεισδύσει σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο βάθος.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονισθεί ότι η χρήση των ασφατικών γαλακτωμάτων στην Ελλάδα σε σύγκριση με άλλες χώρες του εξωτερικού, λαμβανομένων υπόψη των πλεονεκτημάτων που έχουν ιδιαίτερα σε ορισμένες εφαρμογές, υπολείπεται κατά πολύ σε αναλογία χρήσης της ασφάλτου σε έργα οδοποιίας. Στην Γαλλία, παραδείγματος χάριν, το 1993 στα έργα οδοποιίας χρησιμοποιήθηκαν 1.2 εκατομμύρια τόνοι ασφατικών γαλακτωμάτων έναντι 2.2 εκατομμυρίων τόννων ασφάλτου, ήτοι ποσοστό 54.5%. Στην Ελλάδα το 1994 οι αντίστοιχες ποσότητες ήταν 6.000 τόνοι ασφατικών γαλακτωμάτων και 300.000 τόνοι ασφάλτου, ήτοι ποσοστό μόνο 0.02%.

Τα ασφατικά γαλακτώματα συγκρινόμενα με τα ασφατικά διαλύματα αλλά και με την άσφαλτο έχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- ο είναι από άποψη δαπάνης ενέργειας ή εξοικονόμησης αυτής συμφερότερα
- ο συμβάλλουν στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης καθιστούν τις ασφατικές εργασίες ασφαλέστερες
- ο έχουν τη δυνατότητα να επικαλύπτουν, επιτυχώς, με άσφαλτο υγρά αδρανή ή υγρές επιφάνειες
- ο επιταχύνουν την πρόοδο των εργασιών και βελτιώνουν την παραγωγικότητα του συνεργείου κατασκευής

- αποτρέπουν ορισμένες κατασκευαστικές αστοχίες όπως ολίσθηση ταπήτων, ανάδυση ασφάλτου και περαιτέρω οξείδωση της ασφάλτου από παρατεταμένη θέρμανση αυτής, και
- επιφέρουν καλύτερα αποτελέσματα στις εργασίες συγκολλητικής και προεπάλειψης.

Τα παραπάνω πλεονεκτήματα απορρέουν από το γεγονός ότι λόγω του πολύ χαμηλού ιξώδους σε σύγκριση με την άσφαλτο αλλά και τα ασφατικά διαλύματα, η χρήση των γαλακτωμάτων δεν προϋποθέτει τη χρήση θερμότητας σε κανένα στάδιο εφαρμογής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι ασφατικές εργασίες να είναι ασφαλέστερες αλλά και να συνεχίζονται και με χαμηλότερες περιβαλλοντικές θερμοκρασίες από αυτές που απαιτούνται για τα θερμά ασφαλτομίγματα. Επίσης, το χαμηλό ιξώδες επιτυγχάνεται με την προσθήκη νερού και όχι διαλύτη. Έτσι εξατμίζεται νερό και όχι υλικό υψηλής θερμικής ενέργειας και συναλλαγματικής αξίας. Επίσης, η εξάτμιση ύδατος δεν επιβαρύνει την ατμοσφαιρική ρύπανση, σε αντίθεση με τους διαλύτες. Τέλος, οι γαλακτωματοποιητές για την παραγωγή κατιονικών γαλακτωμάτων έχουν από τη φύση τους συγκολλητικές ιδιότητες οι οποίες προστιθέμενες σε αυτήν της ασφάλτου αυξάνουν περαιτέρω τη συγκολλητική ικανότητα αυτής. [2]

2.3.6 Σύγκριση ασφαλικών γαλακτωμάτων με άλλα σταθεροποιητικά μέσα

Παρακάτω παρουσιάζονται τα βασικότερα χαρακτηριστικά των πιο συνηθισμένων σταθεροποιητικών μέσων που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή οδοστρωμάτων και γίνεται σύγκρισή τους σε σχέση με το ασφαλικό γαλάκτωμα.

• ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Το τσιμέντο είναι ένα φθινό υλικό, αξιόπιστο, ευρύτατα διαδεδομένο στον κατασκευαστικό τομέα και υπάρχει σε μεγάλη διαθεσιμότητα σε όλο τον κόσμο σε χύμα ή συσκευασμένη μορφή. Έχει μεγάλη ευκολία στην εφαρμογή αφού μπορεί εύκολα να διασκορπιστεί με το χέρι, χωρίς τη παρουσία μηχανικού εξοπλισμού.

Στα οδοστρώματα χρησιμοποιείται για την κατασκευή είτε δύσκαμπτων οδοστρωμάτων είτε σαν 'σταθεροποιητής' που είναι και η πιο συνηθισμένη περίπτωση, με σκοπό τη βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών αυτών. Μεγαλώνει το μέτρο ελαστικότητας E_s μειώνοντας τις αναπτυσσόμενες τάσεις σε μεγάλο βαθμό. Επίσης υλικά κατεργασμένα με υδραυλικές κόνιες όπως και το σκυρόδεμα έχουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα σε επαναλαμβανόμενες φορτίσεις από τα ασφαλομίγματα. Στα θετικά μπορεί να σημειωθεί η ραγδαία βελτίωση της θλιπτικής αντοχής στα περισσότερα υλικά, όπως και η βελτίωση της αντοχής του υλικού στο νερό.

Υπάρχουν βέβαια και μειονεκτήματα όπως η εμφάνιση ρωγμών που είναι αναπόφευκτη αλλά μπορεί να περιοριστεί και αύξηση της ακαμψίας η οποία μειώνει τα χαρακτηριστικά κόπωσης. Επίσης η γρήγορη απόδοση στην κυκλοφορία μπορεί να προκαλέσει ζημιές στην επιφανειακή στρώση.

• ΑΦΡΩΔΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΣ

Η αφρώδης άσφαλτος είναι ένα υλικό που χρησιμοποιείται σαν σταθεροποιητικό μέσο εν ψυχρό και παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με το ασφαλικό γαλάκτωμα. Έχει μεγάλη ευκολία στην εφαρμογή και χαμηλό χρόνο απόδοσης της κυκλοφορίας μετά την επίστρωση. Η αφρώδης άσφαλτος δημιουργεί ένα ισχυρό εύκαμπτο οδόστρωμα με πολύ καλή σύνδεση μεταξύ των χονδρόκοκκων αδρανών, με μεγάλη αντοχή σε παραμόρφωση και κόπωση. Στα θετικά επίσης συγκαταλέγεται το μειωμένο κόστος αφού για την παρασκευή της απαιτείται συγκεκριμένου βαθμού διεύθυνσης (pen) γαλάκτωμα.

Η αφρώδης άσφαλτος όμως απαιτεί το γαλάκτωμα να είναι ζεστό, τυπικά στους 170°C , έτσι χρειάζονται ειδικές εγκαταστάσεις θέρμανσης και κανόνες ασφαλείας. Επίσης δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε υλικά με υψηλή υγρασία και με χαμηλή κοκκομετρική σύνδεση.[4]

2.4 ΨΥΧΡΑ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΑ

2.4.1 Γενικά

Ψυχρά ασφαλτομίγματα καλούνται, όπως ήδη έχουμε αναφέρει, τα ασφαλτομίγματα στα οποία το συνδετικό υλικό είναι ασφαλτικό γαλάκτωμα. Η δε ονομασία τους απορρέει από το γεγονός ότι η παραγωγή τους γίνεται σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος, σε αντίθεση με τα θερμά ασφαλτομίγματα στα οποία η θέρμανση της ασφάλτου και των αδρανών είναι απολύτως αναγκαία.

Ακριβώς λόγω του ότι τα ψυχρά ασφαλτομίγματα παράγονται, αλλά και διαστρώνονται, σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος, είναι περισσότερο ευέλικτα από τα θερμά. Η ευελιξία τους συνίσταται στο γεγονός ότι είναι δυνατόν να μεταφέρονται σε μεγαλύτερες αποστάσεις, συγκριτικά με τα θερμά ασφαλτομίγματα, και να διαστρώνονται /συμπυκνώνονται επιτυχώς ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία του μίγματος.

Η χρήση του ασφαλτικού γαλακτώματος, ως συνδετικού υλικού, προσδίδει και άλλα πλεονεκτήματα έναντι των θερμών ασφαλτομιγμάτων. Τα πλεονεκτήματα αυτά συνοψίζονται : α) στην εξοικονόμηση ενέργειας, β) στην προστασία του περιβάλλοντος (μηδενική ατμοσφαιρική ρύπανση) και γ) στη βελτίωση των συνθηκών εργασίας και ασφάλειας των εργαζομένων.

2.4.2 Τύποι ψυχρών ασφαλτομιγμάτων

Τα ψυχρά ασφαλτομίγματα διαιρούνται σε δύο βασικές κατηγορίες. Στην *πρώτη κατηγορία* ανήκουν αυτά που χρησιμοποιούνται για τάπητες κυκλοφορίας, ισοπεδωτικές στρώσεις, ασφαλτικές βάσεις ή την πλήρωση λακκουβών. Οι κοκκομετρικές διαβαθμίσεις των αδρανών είναι παρόμοιες με αυτές των θερμών μιγμάτων και μπορεί να είναι κλειστού τύπου με συνεχή ή μη συνεχή κοκκομετρική διαβάθμιση, ή ανοιχτού τύπου. Στην *δεύτερη κατηγορία* ανήκουν αυτά που χρησιμοποιούνται για αντιολισθηρές και σφραγιστικές στρώσεις (λεπτοτάπητες). Τα μίγματα αυτά είναι κλειστού τύπου με συνεχή κοκκομετρική διαβάθμιση, περιέχουν αρκετά μεγάλη περιεκτικότητα νερού συγκριτικά με τα πρώτα και ονομάζονται **Slurry seal**.

Τα ψυχρά ασφαλτομίγματα άρχισαν να χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα από το 1984. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν τα μίγματα Slurry seal ως αντιολισθηροί λεπτοτάπητες και το 1993 τα ψυχρά ασφαλτομίγματα κλειστού τύπου ως τάπητες κυκλοφορίας. Η επιτυχής εφαρμογή των ψυχρών ασφαλτομιγμάτων είχε ως αποτέλεσμα την έκδοση σχετικών εγκυκλίων από το ΥΠΕΧΩΔΕ (τόσο για τα μίγματα slurry όσο και για ψυχρά ασφαλτομίγματα κλειστού ή ανοιχτού τύπου), οι οποίες διευκολύνουν το έργο των Υπηρεσιών για τη μελέτη και δημοπράτηση έργων με ψυχρά ασφαλτομίγματα.

Τα ψυχρά ασφαλτομίγματα ανάλογα με τη κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών διακρίνονται και σε δύο επιμέρους κατηγορίες :

α) τα **Κλειστού Τύπου Ψυχρά Ασφαλτομίγματα (ΚΤΨΑ)** με κοκκομετρική διαβάθμιση τέτοια που να παράγεται ασφαλτόμιγμα πυκνής υφής.

β) τα Ανοικτού Τύπου Ψυχρά Ασφαλτομίγματα (ΑΤΨΑ) με υψηλό ποσοστό κενών

Παρακάτω παρατίθενται οι σημαντικότερες διαφοροποιήσεις των Κλειστών και Ανοικτών τύπων ασφαλτομίγματος μεταξύ των, καθώς και από τις γενικές ιδιότητες των ασφαλτομιγμάτων, όπως αυτές έχουν αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο.

ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΤΥΠΟΥ

- Οι κοκκομετρικές διαβαθμίσεις μπορεί να είναι συνεχούς ή μη συνεχούς διαβάθμισης.
- Παρουσιάζουν μεγάλη ευστάθεια και είναι κατά πολύ λιγότερο διαπερατά από το νερό.

ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΤΥΠΟΥ

- Παρουσιάζουν υψηλή αντίσταση στην κόπωση και στην ανακλώμενη ρηγμάτωση.
- Παρουσιάζουν μεγάλη διαπερατότητα

Χρήσεις ψυχρών ασφαλτομιγμάτων

- Τα ΚΤΨΑ μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλες τις στρώσεις οδοστρώσας, όπως βάση, συνδετική στρώση, τάπητα κυκλοφορίας καθώς και στην κατασκευή επιστρώσεων για την αποκατάσταση /ενίσχυση των οδοστρωμάτων.

- Όταν χρησιμοποιούνται τα ΑΤΨΑ, θα πρέπει η υποκείμενη στρώση να είναι από κλειστού τύπου ασφαλτόμιγμα ή να προστατεύεται η βάση ή η υποβάση με στεγανωτική στρώση (στεγανωτική μεμβράνη, ή μίγμα αμμοσφαλτού). Στην περίπτωση που τα ΑΤΨΑ χρησιμοποιούνται για την κατασκευή επιφανειακής στρώσης, καλύπτεται με μονή ασφατική επάλειψη.

Αδρανή Υλικά

- Το τελικό μίγμα των αδρανών για τάπητες κυκλοφορίας συνίσταται να έχει απορροφητικότητα σε νερό όχι μεγαλύτερη του 1,7%.
- Ασφαλτομίγματα από αδρανή με υψηλή απορροφητικότητα αναμένεται να παρουσιάσουν μεγαλύτερη ευαισθησία στην κόπωση, εάν δε ληφθεί υπόψη η απορροφητικότητα αυτών.

- Τα αδρανή υλικά (μηχανικές και φυσικές ιδιότητες) που χρησιμοποιούνται είναι όμοια με αυτά του κλειστού τύπου με μόνη διαφορά την κοκκομετρική τους διαβάθμιση.
- Οι κοκκομετρικές διαβαθμίσεις των μιγμάτων των αδρανών είναι όμοιες με αυτές των θερμών μιγμάτων ανοικτού τύπου.

ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΤΥΠΟΥ	ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΤΥΠΟΥ
Αδρανή Υλικά	
Παιπάλη ή φίλλερ	
• Σε περίπτωση που ο καθορισμός της απορροφητικότητας των αδρανών σε ασφαλτο δεν είναι εφικτός, μπορεί κατ' εκτίμηση να ληφθεί το 40% της απορροφητικότητας σε νερό.	• Στα ανοικτού τύπου μίγματα δεν απαιτείται η προσθήκη χημικών προσθέτων ή φίλλερ στο μίγμα.
• Η παιπάλη πρέπει να προέρχεται από υγιές και καθαρό πέτρωμα κατάλληλο για την παραγωγή χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων αδρανών. • Σε ορισμένες περιπτώσεις που απαιτείται επιπλέον προσθήκη παιπάλης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και τσιμέντο σε μέγιστο ποσοστό 2% κατά βάρος μίγματος. • Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως παιπάλη και κάθε άλλο υλικό που πληροί τις απαιτήσεις της προδιαγραφής AASHTO M17-77.	

ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΤΥΠΟΥ	ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΤΥΠΟΥ
Συνδετικό Υλικό	
• Ως συνδετικό υλικό στα ΚΤΨΑ χρησιμοποιείται αποκλειστικά και μόνο το ασφαλτικό γαλάκτωμα, κατά προτίμηση κατιονικού τύπου, με ενδεικτική περιεκτικότητα ασφάλτου στο γαλάκτωμα 60-65% κατά βάρος. • Το γαλάκτωμα μπορεί να είναι με κοινή ή τροποποιημένη ασφαλτο-κατά κανόνα βραδείας διάσπασης.	• Το ασφαλτικό γαλάκτωμα μπορεί να είναι και εδώ, όπως και στα ΑΤΨΑ, κατιονικού ή ανιονικού τύπου με κοινή ή τροποποιημένη ασφαλτο. • Η μόνη διαφορά με τα γαλακτώματα που χρησιμοποιούνται στα ΚΤΨΑ είναι ότι τα γαλακτώματα για ΑΤΨΑ είναι μέσης ή ταχείας διάσπασης, λόγω της μικρής σχετικής επιφάνειας του μίγματος των αδρανών.
Προσθήκη Ύδατος	
• Στα πυκνά ασφαλτομίγματα, κυρίως όταν τα αδρανή είναι στεγνά, απαιτείται πάντοτε η προσθήκη ύδατος για τη βελτίωση του ποσοστού κάλυψης των αδρανών με ασφαλτο • Το νερό που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να είναι καθαρό και πόσιμο • Το απαιτούμενο ποσοστό ύδατος κυμαίνεται μεταξύ 1,5% έως 4%	• Στα ανοικτού τύπου ψυχρά μίγματα η προσθήκη νερού στα αδρανή, πριν την ανάμειξη για τη διαβροχή αυτών δεν είναι αναγκαία. • Σε περίπτωση που απαιτηθεί κάποια μικρή ποσότητα, το νερό θα είναι καθαρό και πόσιμο • Η απαιτούμενη ποσότητα κυμαίνεται μεταξύ 0,5% και 2,0%.

Στη συνέχεια παρατίθενται τα όρια των κοκκομετρικών διαβαθμίσεων όπως αυτά καθορίζονται στον Πίνακα 2.2 για τα κλειστού τύπου ψυχρά ασφαλτομίγματα .

Πίνακας 2.2 Όρια κοκκομετρικών διαβαθμίσεων ψυχρών ασφαλτομιγμάτων κλειστού τύπου

ΚΟΣΚΙΝΑ	Τύποι Ψυχρών Ασφαλτομιγμάτων Κλειστού Τύπου								
	Διερχόμενο ποσοστό (% κατά βάρος)								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	VI
50 mm (2")	100	-	-	-	-	-	-	-	-
38.1 (1 1/2")	90-100	-	-	-	-	100	-	-	-
25.4 (1")	-	90-100	100	-	-	90-100	100	100	-
19.1 (3/4")	60-80	-	90-100	100	-	65-98	97-100	97-100	-
12.7 (1/2")	-	60-80	-	90-100	100	50-75	70-100	77-98	100
9.52 (3/8")	-	-	60-80	-	90-100	40-60	56-80	67-85	-
4.76 (No. 4)	20-55	25-60	35-65	45-70	60-80	35-50	50-60	60-70	75-100
2.36 (No. 8)	10-40	15-45	20-50	25-55	35-65	30-48	45-60	55-70	60-80
0.6 (No. 30)	-	-	-	-	-	10-45	15-60	18-70	-
0.030 (No. 50)	4-15	5-18	5-20	5-20	5-25	-	-	-	15-65
0.074 (No. 200)	0-5	0-5	3-8	3-8	3-11	3-6	3-8	3-8	5-20
Ισοδύναμο άμμου	>45%	>45%	>45%	>45%	>45%	>45%	>45%	>45%	>45%
Δείκτ. πλαστικότητας, PI	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP

Οι τύποι των μιγμάτων που προτείνονται στον Πίνακα 1 συνοπτικά είναι :

Τύποι ασφαλτομιγμάτων Κατηγορίας I έως V

Τα ψυχρά ασφαλτομίγματα των κατηγοριών I έως V είναι παρόμοιων κοκκομετρικών διαβαθμίσεων με αυτών των ασφαλτικών σκυροδεμάτων. Ο τύπος I είναι το περισσότερο χονδρόκοκκο ασφαλτόμιγμα συνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης και χρησιμοποιείται κυρίως ως σταθεροποιημένη υπόβαση. Ο τύπος V είναι το λεπτότερο μίγμα συνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης και χρησιμοποιείται ως τάπητας κυκλοφορίας. Οι ενδιάμεσες κατηγορίες χρησιμοποιούνται επίσης ως υποβάσεις, ή βάσεις, ή τάπητες κυκλοφορίας, αναλόγως των συνθηκών.

Τύποι ασφαλτομιγμάτων Κατηγορίας VI έως VIII

Τα ψυχρά ασφαλτομίγματα των κατηγοριών VI έως VIII είναι μίγματα μη-συνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης. Διακρίνονται για τη χαμηλή αερική τους διαπερατότητα (μικρότερη των μιγμάτων I έως V και μεγαλύτερη του τύπου VI), την υψηλότερη περιεκτικότητα λεπτόκοκκων αδρανών και συνεπώς τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα ασφάλτου έναντι των μιγμάτων κατηγορίας I έως V. Το τελευταίο έχει σαν αποτέλεσμα τα μίγματα αυτά να παρουσιάζουν καλύτερη συμπεριφορά όσον αφορά τη γήρανση της ασφάλτου. Τα γαλακτώματα που χρησιμοποιούνται στα μίγματα αυτά είναι πάντοτε αργής διάσπασης.

Ο τύπος μίγματος VI είναι ο πλέον χονδρόκοκκος των μιγμάτων μη συνεχούς διαβάθμισης και χρησιμοποιείται κυρίως σε στρώσεις βάσεων. Ο τύπος VIII είναι ο πλέον λεπτόκοκκος της σειράς και χρησιμοποιείται για στρώσεις κυκλοφορίας. Ο ενδιάμεσος τύπος VII χρησιμοποιείται τόσο για στρώσεις κυκλοφορίας όσο και για στρώσεις βάσης.

Τύπος IX, Ψυχρή Αμμάσφαλτος

Το μίγμα αυτό χρησιμοποιείται ως μονωτική στρώση, λόγω της πολύ χαμηλής αερικής διαπερατότητας, σε δρόμους με μικρή έως μέση κυκλοφορία. Σε όλες τις περιπτώσεις θα πρέπει να καλύπτεται με στρώση από θερμό ασφαλτόμιγμα.

Στην Ελλάδα έχουν προσφάτως υιοθετηθεί οι κοκκομετρικές καμπύλες των ASTM D3515 που προτείνονται για θερμά και ψυχρά ασφαλτομίγματα ανοιχτού τύπου (Πίνακας 2.3). [2]

Πίνακας 2.3 Όρια κοκκομετρικών καμπυλών ψυχρών ασφαλτομιγμάτων ανοιχτού τύπου

Κόσκινα	Διερχόμενα ποσοστά (%)		
	Βάσεις	Επιφανειακές στρώσεις	
38.1 mm	100	-	-
25.0	95-100	100	-
19.0	-	90-100	-
12.5	25-60	-	100
9.5	-	20-55	85-100
4.75	0-10	0-10	-
2.36	0-5	0-5	-
1.18	-	-	0-5
0.075	0-2	0-2	0-2

2.5 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΨΥΧΡΩΝ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΩΝ

Η παραγωγή των ψυχρών ασφαλτομιγμάτων μπορεί να γίνει τόσο σε μόνιμο συγκρότημα παραγωγής ψυχρών ασφαλτομιγμάτων όσο και σε ειδικό αυτοκινούμενο μηχάνημα. Επίσης, παραγωγή ψυχρών ασφαλτομιγμάτων μπορεί να γίνει και επί του έργου με ανάμιξη επί της οδού.

2.5.1 Παραγωγή σε μόνιμο συγκρότημα

Το συγκρότημα παραγωγής σε μόνιμη εγκατάσταση είναι απλούστερο του αντιστοίχου για θερμά ασφαλτομίγματα διότι δεν απαιτείται να διαθέτει σύστημα ξήρανσης των αδρανών υλικών και θέρμανσης του συνδετικού υλικού. Ένα τυπικό συγκρότημα παραγωγής αποτελείται από : σιλό αποθήκευσης των κλασμάτων των αδρανών, σύστημα τροφοδοσίας αναλογίων/ ποσοτήτων των αδρανών (συνήθως με θυρίδες), μεταφορική ταινία για την τροφοδοσία των αδρανών στον αναμικτήρα, δεξαμενή(-ες) αποθήκευσης γαλακτώματος, αντλία παροχής και μέτρησης της ποσότητας του γαλακτώματος, δεξαμενή ύδατος και χημικών προσθέτων μετά αντλίας παροχής και μέτρησης της ποσότητας και τέλος, αναμικτήρα με δύο οριζόντιους πτερυγιοφόρους άξονες. Τυπικό συγκρότημα παραγωγής ψυχρού ασφαλτομίγματος δίνεται στη Εικόνα 2.2 που ακολουθεί.



Εικόνα 2.2 Συγκρότημα παραγωγής ψυχρών ασφαλτομιγμάτων σε μόνιμη εγκατάσταση

Η τροφοδοσία των αδρανών, με τη βοήθεια μεταφορικής ταινίας, γίνεται απευθείας από τα σιλό στον αναμικτήρα για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα έως ότου συγκεντρωθεί η απαιτούμενη ανά παρτίδα ποσότητα αδρανών στον αναμικτήρα. Εναλλακτικά, υπάρχουν και συγκροτήματα όπου η παροχή των αδρανών είναι συνεχούς ροής. Το παραγόμενο ασφαλτόμιγμα εκφορτώνεται απευθείας επί αμάξης

και κατόπιν μεταφέρεται στο έργο, ή σε ελάχιστες περιπτώσεις συγκεντρώνεται σε σωρό. Τα ψυχρά ασφαλτομίγματα έχουν τη δυνατότητα, για ορισμένες ώρες, να διατηρηθούν σε σωρό και κατόπιν να μεταφερθούν στο έργο. Η περίπτωση αυτή καλό είναι να αποφεύγεται.

Στην περίπτωση κατά την οποία τα αδρανή περιέχουν υγρασία περισσότερη από όση απαιτείται, θα πρέπει, πριν την ανάμιξη, να αερίζονται με τη βοήθεια φορτωτή έτσι ώστε να εξατμίζεται η πλεονάζουσα περιεκτικότητα υγρασίας. Η ανάμιξη των αδρανών με περισσότερη από την απαιτούμενη υγρασία, όπως καθορίστηκε στο στάδιο σύνθεσης, είναι απαγορευτική διότι στην περίπτωση αυτή εμφανίζεται το φαινόμενο της απορροής του γαλακτώματος από το μίγμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ποσότητας της ασφάλτου στο μίγμα.

2.5.2 Παραγωγή σε ειδικό αυτοκινούμενο μηχάνημα

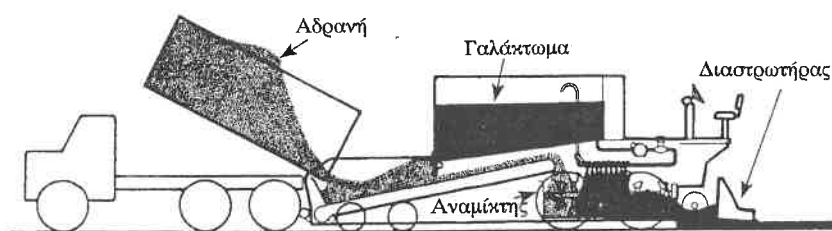
Τα ψυχρά ασφαλτομίγματα μπορούν να παραχθούν και επί του έργου με τη βοήθεια ειδικού αυτοκινούμενου μηχανήματος. Το μηχάνημα αυτό, που έχει τη δυνατότητα τόσο της παραγωγής όσο και της διάστρωσης, είναι εξοπλισμένο με : χοάνη υποδοχής αδρανών, δεξαμενή γαλακτώματος, δεξαμενή ύδατος, κατάλληλο σύστημα μεταφορικών ταινιών για τη τροφοδοσία των αδρανών στον αναμικτήρα, αντλία τροφοδοσίας και μέτρησης παροχής γαλακτώματος, αντλία και σύστημα διαβροχής των αδρανών, οριζόντιο αναμικτήρα και υδραυλικό διαστρωτήρα με κοχλίες. Αυτοκινούμενο μηχάνημα παραγωγής φαίνεται στη Εικόνα 2.3 που ακολουθεί.



Εικόνα 2.3 Αυτοκινούμενο μηχάνημα παραγωγής και διάστρωσης ψυχρών ασφαλτομιγμάτων

Η τροφοδοσία των αδρανών υλικών για την παραγωγή του μίγματος είναι συνεχής και γίνεται από ανατρεπόμενα φορτηγά που προσαρμόζονται στη χοάνη

υποδοχής. Σχηματική παράσταση λειτουργίας του μηχανήματος δίνεται παρακάτω (Σχήμα 2.2)



Σχήμα 2.2 Σχηματική παράσταση λειτουργίας αυτοκινούμενου μηχανήματος παραγωγής ψυχρών ασφαλτομιγμάτων

Το σύστημα μέτρησης των αναλογιών του μίγματος, που αποτελείται από αδρανή, γαλάκτωμα και νερό (αν απαιτείται), είναι ανεξάρτητο της ταχύτητας κίνησης του μηχανήματος. Η μεν ποσότητα αδρανών καθορίζεται από το άνοιγμα θυρίδας, οι δε ποσότητες γαλακτώματος και νερού από ειδικές αντλίες με στροφόμετρο. Το βασικό πλεονέκτημα των μηχανημάτων παραγωγής εν κινήσει σε σύγκριση με τα μηχανήματα παραγωγής σε μόνιμη εγκατάσταση είναι η ευελιξία μεταφοράς των από έργο σε έργο και η μείωση του κόστους μεταφοράς του μίγματος. Το πρώτο έχει ως αποτέλεσμα να παρέχει τη δυνατότητα διάστρωσης ασφαλτικών ταπήτων ακόμη και στα πιο απομακρυσμένα σημεία του οδικού δικτύου.

Για τη διασφάλιση της καλής ποιότητας παραγωγής μιγμάτων και με τις δύο μεθόδους παραγωγής, απαιτείται περιοδική και επιμελής βαθμονόμηση των συστημάτων τροφοδοσίας και καθορισμού των ποσοτήτων των υλικών, περιοδική συντήρηση και γενικότερα διατήρηση του όλου συγκροτήματος ή μηχανήματος σε καλή κατάσταση λειτουργίας.

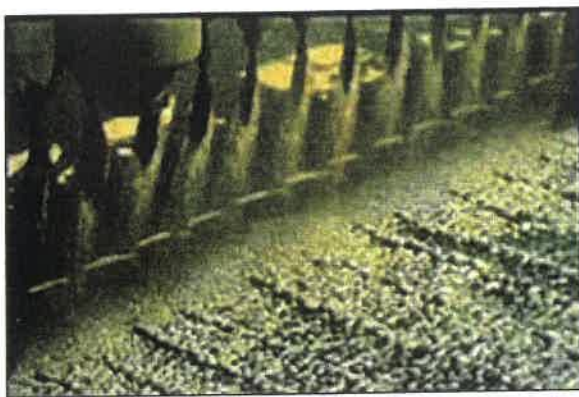
2.5.3 Τροφοδοσία από σειράδιο

Μια παραλλαγή του αυτοκινούμενου μηχανήματος παραγωγής είναι αυτό στο οποίο η τροφοδοσία των αδρανών γίνεται από σειράδιο αδρανών σταθερής διατομής. Το μηχάνημα αυτό είναι κατά πολύ απλούστερο του προαναφερθέντος. Δε διαθέτει δικές του δεξαμενές, το γαλάκτωμα ψεκάζεται στον αναμικτήρα από βυτίο γαλακτώματος που προπορεύεται και το παραγόμενο μίγμα βγαίνει και πάλι υπό μορφή σειράδιου. Εάν απαιτηθεί η διαβροχή του μίγματος με νερό, αυτό γίνεται με βυτίο νερού στο στάδιο διαμόρφωσης των σειράδιων. Εάν απαιτηθεί διαβροχή του μίγματος με νερό, αυτό γίνεται με βυτίο νερού στο στάδιο διαμόρφωσης των σειράδιων. Η διάστρωση του τελικού μίγματος στο επιθυμητό πάχος γίνεται με μηχανικό διαμορφωτήρα (grader).

Με βάση τα παραπάνω είναι φανερό ότι στην περίπτωση αυτή δεν είναι δυνατόν να υπάρξει μεγάλη ακρίβεια και σταθερότητα στις αναλογίες του μίγματος αλλά ούτε και σταθερότητα και ομοιομορφία του πάχους της διαστρωθείσης στρώσης. Για τους λόγους αυτούς, ο παραπάνω τρόπος ανάμιξης και διάστρωσης δε χρησιμοποιείται πλέον, εκτός ελαχίστων περιπτώσεων, για την κατασκευή βάσεων ή και υποβάσεων σε οδούς μικρής κυκλοφορίας.

2.5.4 Παραγωγή επί του έργου με ανάμιξη επί της οδού

Η παραγωγή επί του έργου με ανάμιξη επί της οδού επιτυγχάνεται με τη χρήση διαστρωτήρα (grader) και διανομέα ασφάλτου/ γαλακτώματος (federal). Κατά την ανάμιξη επί της οδού, τα αδρανή διαστρώνονται σε σειράδια και επί αυτών ψεκάζεται αρχικά μέρος της απαιτούμενης ποσότητας του ασφατικού γαλακτώματος. Κατόπιν, ακολουθεί η ανάμιξη με το grader δι' αναμοχλεύσεως και δημιουργίας νέων σειραδίων επί των οποίων ψεκάζεται διαδοχικά η υπόλοιπη ποσότητα του συνδετικού υλικού. Ο αριθμός των αναμοχλεύσεων είναι τόσος όσος χρειάζεται για να κατανεμηθεί το γαλάκτωμα/ άσφαλτος όσο το δυνατό πιο ομοιόμορφα στο μίγμα. Στη συνέχεια παρατίθενται φωτογραφίες ψεκασμού γαλακτώματος επί των αδρανών (Εικόνες 2.4, 2.5) καθώς και του διανομέα (Εικόνα 2.6).



Εικόνα 2.4 Ψεκασμός γαλακτώματος επί των αδρανών.



Εικόνα 2.5 Λωρίδα αδρανών ψεκασμένα με γαλάκτωμα.



Εικόνα 2.6 Διανομέας (ψεκαστήρας) γαλακτώματος

Ένα επιπλέον μειονέκτημα αυτής της μεθόδου έναντι της προηγούμενης είναι ότι δε συνιστάται για την ανάμιξη μιγμάτων κλειστού τύπου. Έτσι, σήμερα και αυτή χρησιμοποιείται αποκλειστικά και μόνο για την κατασκευή στρώσεων βάσεων ή και υποβάσεων σε οδούς μικρής κυκλοφορίας. [2]

2.6 ΨΥΧΡΑ ΜΙΓΜΑΤΑ SLURRY SEAL

Τα μίγματα Slurry seal χρησιμοποιούνται για συντήρηση της επιφάνειας του οδοστρώματος και την παροχή άριστης αντιολισθηρής και σφραγιστικής στρώσης. Τα μίγματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλες τις κατηγορίες των οδών καθώς και σε διαδρόμους και τροχοδρόμους αεροδρομίων.

Το πάχος του λεπτοτάπητα που διαστρώνεται είναι συνήθως από 4 έως 10mm (σε μια στρώση). Το μίγμα παράγεται και διαστρώνεται επί του έργου με ειδικό αυτοκινούμενο μηχάνημα παραγωγής και διάστρωσης. Το μηχάνημα, όπως επεξηγείτε, παρακάτω είναι σε θέση να καθορίζει τις σωστές αναλογίες των αδρανών του γαλακτώματος, του νερού, των χημικών προσθετικών και του φίλλερ και αναπαράγει σε συνεχή ροή ψυχρό ασφαλτόμιγμα.

Τα μίγματα slurry έχουν τα εξής πλεονεκτήματα και ιδιότητες:

α) διαστρώνονται γρήγορα

β) παρέχουν άριστη αντιολισθηρή επιφάνεια με σφραγιστική ικανότητα

γ) δεν ανεβάζουν τη στάθμη του οδοστρώματος (συνεπώς δεν απαιτείται και ρύθμιση των καλυμμάτων των φρεατίων της οδού)

δ) επιδιορθώνουν μικρές ανωμαλίες της επιφάνειας

ε) παρέχουν ασφαλέστερες συνθήκες εργασίας

στ) δεν προκαλούν ατμοσφαιρική ρύπανση και

ζ) υπό κανονικές συνθήκες αγοράς παρέχουν την οικονομικότερη λύση παροχής αντιολισθηρής επιφάνειας σε υφιστάμενο οδόστρωμα.

Τα μίγματα Slurry seal προδιαγράφονται από διεθνείς προδιαγραφές και Ελληνικές Τεχνικές Οδηγίες.

2.6.1 Υλικά παραγωγής

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των μιγμάτων slurry seal είναι, όπως σε κάθε ψυχρό ασφαλτόμιγμα, το ασφατικό γαλάκτωμα, κατάλληλα διαβαθμισμένα αδρανή, νερό, διάλυμα χημικού επιβραδυντή και φίλλερ.

Το γαλάκτωμα είναι προτιμότερο να είναι κατιονικού τύπου με ελαστομερή άσφαλτο και ημιβραδείας ή ταχείας διάσπασης. Έτσι επιτυγχάνεται καλύτερη πρόσφυση των αδρανών, καλύτερη κατασκευή και γρηγορότερη απόδοση της επιφανείας στη κυκλοφορία.

Τα αδρανή θα πρέπει να είναι από σκληρά πετρώματα κατάλληλα για επιφανειακές επιστρώσεις ή τάπητες κυκλοφορίας. Σε πολύ λίγες περιπτώσεις θα πρέπει να επιτρέπεται η χρήση ασβεστολιθικών πετρωμάτων (μόνο σε περιοχές με πολύ μικρό κυκλοφοριακό φόρτο). Τα αδρανή θα πρέπει να είναι κατάλληλα διαβαθμισμένα έτσι ώστε να είναι σύμφωνα με τις προτεινόμενες διαβαθμίσεις των

προδιαγραφών, Πίνακας 2.4. Επίσης θα πρέπει να είναι καθαρά, απαλλαγμένα από άργιλο ή αργιλικά κατάλοιπα, με τιμή ισοδύναμου άμμου μεγαλύτερη του 45 και απορροφητικότητας αδρανούς μικρότερη του 1,25% για το 50% τουλάχιστον των αδρανών του μίγματος.

Ο Τύπος I είναι κατάλληλος για τη σφράγιση τριχοειδών ρωγμών και επιδιόρθωση φθαρμένων επιφανειών.

Ο Τύπος II είναι κατάλληλος για την επιδιόρθωση σοβαρότερα φθαρμένων επιφανειών και τη δημιουργία αντισιστηρίδας επιφάνειας κόλλησης. Ο τύπος αυτός χρησιμοποιείται τόσο στα αεροδρόμια όσο και στην οδοποιία.

Ο Τύπος III είναι περισσότερο χονδρόκοκκος των άλλων και χρησιμοποιείται μόνο στην οδοποιία για την επιδιόρθωση σοβαρών επιφανειακών φθορών και τη δημιουργία κατάλληλης αντισιστηρίδας επιφάνειας σε περιοχές όπου συνυπάρχουν μεγάλες ταχύτητες και υψηλός κυκλοφοριακός φόρτος.

Ο Τύπος IV είναι ο πλέον χονδρόκοκκος των μιγμάτων, χρησιμοποιείται όπου και ο III και σε περιπτώσεις όπου επιζητείται μεγαλύτερη μακρο-υφή τις επιφανείας. Με τον τύπο αυτό το τελικό πάχος του λεπτοτάπητα είναι 10-12mm.

Το χημικό πρόσθετο αλλά και το φύλλερ πολλές φορές χρησιμοποιούνται για να αυξομειώσουν την ταχύτητα διάσπασης του ασφαλτομίγματος έτσι ώστε να επιτυγχάνεται το βέλτιστο της κατασκευής.

Πίνακας 2.4 Διαβαθμίσεις και ενδεικτικές ποσότητες ασφάλτου και αδρανών μιγμάτων Slurry Seal σύμφωνα με τις Ελληνικές τεχνικές οδηγίες

Κόσκινο	Τύποι Μιγμάτων Slurry seal				Επιτρεπτές αποκλίσεις ^(α)
	I	II	III	IV	
12.5 mm	-	-	-	100	±5%
9.5mm	-	100	100	85-100	±5%
4.75mm	100	90-100	70-90	60-87	±5%
2.36mm	90-100	65-90	45-70	40-60	±5%
1.18mm	65-90	45-70	28-50	28-45	±5%
600μm	40-65	30-50	19-34	19-34	±%
300μm	25-42	18-30	12-25	12-25	±4%
150μm	15-30	10-21	7-18	8-17	±3%
75μm	10-20	5-15	5-15	4-8	±2%
Ενδεικτικά όρια % ασφάλτου, κ.β. Ξηρών αδρανών (%)	7.5 - 16	6 - 11.5	5.5 - 10.5	5 - 8.5	από το βέλτιστο % max ±1%
Βάρος Ξηρών αδρανών (kg/m ²)	3.3 - 5.4	5.4 - 9.0	9 - 14	14 - 18	-

^(α) Από βιβλιογραφία⁽¹⁵⁾

2.6.2 Σύνθεση μίγματος Slurry Seal

Η σύνθεση του μίγματος Slurry seal (σφραγιστικός ασφαλτοπολτός) γίνεται σύμφωνα με τις τεχνικές οδηγίες του ΥΠΕΧΩΔΕ. Η σύνθεση του μίγματος συνίσταται από τις δοκιμές: ροής μίγματος (εργασιμότητας), χρόνου πήξης, χρόνου σταθεροποίησης (ωρίμανσης) και απώλεια βάρους μετά από υγρή απότριψη (δοκιμή φθοράς). Η κυριότερη των δοκιμών που εκτελούνται είναι αυτή της απώλειας βάρους μετά από υγρή απότριψη, η οποία καθορίζει το βέλτιστο ποσοστό ασφάλτου στο μίγμα. Αναλυτική περιγραφή των δοκιμών δίνεται στις τεχνικές οδηγίες.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι, ανεξαρτήτως του αποτελέσματος των εργαστηριακών δοκιμών όσον αφορά την εργασιμότητα το χρόνο πήξης και το χρόνο σταθεροποίησης, καλό είναι το τελικό μίγμα να δοκιμάζεται στο έργο με το μηχανήμα που πρόκειται να το διαστρώσει. Τα παραπάνω μεγέθη πιθανότατα να χρειαστούν κάποια μικρή τροποποίηση, λόγω των διαφορετικών κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν στο έργο από αυτές του εργαστηρίου, έτσι ώστε η ανάμιξη, η διάστρωση και η απόδοση του λεπτοτάπητα στη κυκλοφορία να είναι η βέλτιστη και η συντομότερη, αντίστοιχα. Οι τροποποιήσεις αυτές, δηλαδή η αύξηση της εργασιμότητας και η αυξομείωση του χρόνου πήξης και του χρόνου σταθεροποίησης, μπορούν να γίνουν με την προσθήκη μικρής ποσότητας κατάλληλου χημικού διαλύματος ή και παιπάλης(φύλλερ).

Πριν τη διάστρωση του ψυχρού μίγματος εξετάζεται εάν χρειάζεται συγκολλητική στρώση γαλακτώματος έτσι ώστε να επιτευχθεί άριστη πρόσφυση μεταξύ του παλαιού οδοστρώματος και του νέου λεπτοτάπητα. Περιπτώσεις στις οποίες χρειάζεται απαραίτητα συγκολλητική (0,25-0,4 περίπου lt/m²) είναι όταν πρόκειται να διαστρωθεί πάνω από πολύ λείες επιφάνειες ή επιφάνειες με σχετικά μεγάλη κλίση.

2.6.3 Κατασκευή λεπτοτάπητα

Πριν από τη διάστρωση του λεπτοτάπητα απαιτείται σχολαστικός καθαρισμός της επιφάνειας του οδοστρώματος από σκόνες, λάδια, φυτικές ύλες κλπ., καθώς και επιδιόρθωση των μικροφθορών του οδοστρώματος. Σε ορισμένες περιπτώσεις για την επιδιόρθωση των μικροφθορών μπορεί να χρησιμοποιηθεί τοπικά και το ίδιο το Slurry seal. Συγκολλητική στρώση συνήθως δε χρειάζεται, εκτός και αν η παλαιά επιφάνεια είναι λεία ή η κατασκευή γίνεται σε ανωφέρεια/ κατωφέρεια. Η υπάρχουσα διαγράμμιση του οδοστρώματος θα πρέπει οπωσδήποτε να ψεκάζεται με ασφατικό γαλάκτωμα όμοιο με αυτό που χρησιμοποιείται για συγκολλητική. Οι ποσότητες του ασφατικού γαλακτώματος –ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας- για τον ψεκασμό των διαγραμμίσεων ή της πιθανής συγκολλητικής είναι περίπου 250-400ml/m², αφού προηγούμενος αραιωθεί με νερό έτσι ώστε το γαλάκτωμα να περιέχει άσφαλτο 30-35%.

Η ανάμιξη και διάστρωση του αντιολισθηρού και σφραγιστικού μίγματος γίνεται αποκλειστικά και μόνο με ειδικό μηχανήμα για αυτού του είδους τα μίγματα. Το μηχανήμα αυτό φέρει κάδο αδρανών, δεξαμενές γαλακτώματος, νερού και χημικών προσθέτων, αντλία με μετρητή για την παροχή γαλακτώματος, αναμικτήρα με μονό ή διπλό περυγιοφόρο άξονα, αντλία με ροόμετρο για την παροχή νερού και διαστρωτήρα μεταβλητού πλάτους. Τα πλέον σύγχρονα μηχανήματα διαθέτουν και ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου παροχής του γαλακτώματος καθώς και σύστημα

ψεκασμού των ελαστικών των τροχών και ανεξάρτητη παροχή νερού υπό πίεση. Ένα τυπικό μηχάνημα Slurry φαίνεται στην Εικόνα 2.7 που ακολουθεί.



Εικόνα 2.7 Μηχάνημα παραγωγής και διάστρωσης μιγμάτων *slurry*

Τα διαβαθμισμένα αδρανή σε συγκεκριμένη ποσότητα, η οποία καθορίζεται από θυρίδα, διοχετεύονται στον αναμικτήρα με τη βοήθεια μεταφορικής ταινίας. Στον αναμικτήρα τροφοδοτείται ασφαλτικό γαλάκτωμα και νερό σε προκαθορισμένες αναλογίες και μετά από σύντομο χρόνο ανάμιξης (περίπου 10 δευτερόλεπτα) το μίγμα εκρέει από τον αναμικτήρα στο διαστρωτήρα. Ο διαστρωτήρας φέρει δύο σειρές (συνήθως) πτερυγίων για τη μεταφορά του μίγματος στα άκρα του διαστρωτήρα. Η ανάμιξη και διάστρωση είναι συνεχούς ροής μέχρι να τελειώσουν τα αδρανή υλικά ή το ασφαλτικό γαλάκτωμα. Ο ανεφοδιασμός του μηχανήματος γίνεται συνήθως στο εργοτάξιο πλησίον του έργου. Ο εν κινήσει ανεφοδιασμός προϋποθέτει διαθεσιμότητα πλευρικού χώρου, πράγμα αδύνατο να εξευρεθεί όταν η διάστρωση γίνεται σε οδικό δίκτυο. Εν κινήσει ανεφοδιασμός είναι εφικτός μόνο σε έργα αεροδρομίων. Πλην του μηχανήματος που φαίνεται στη φωτογραφία υπάρχουν και μηχανήματα που δε διαθέτουν κάδο αδρανών με αποτέλεσμα οι δεξαμενές γαλακτώματος και νερού να είναι μεγαλύτερες σε όγκο. Στα μηχανήματα αυτά η παροχή των αδρανών γίνεται από ανατρεπόμενα φορτηγά που εκφορτώνονται αδρανή σε χοάνη υποδοχής. Τα μηχανήματα αυτά έχουν τη δυνατότητα μεγαλύτερης ημερήσιας παραγωγής αλλά δεν είναι τόσο ευέλικτα μέσα στην πόλη.

Η διάστρωση γίνεται πάνω σε ξηρή ή υγρή (αλλά δίχως στάσιμα νερά) επιφάνεια οδοστρώματος. Ο λεπτοτάπητας που διαστρώνεται συνήθως δε χρειάζεται κυλίνδρωση, εκτός εάν πρόκειται για διάδρομο ή τροχόδρομο αεροδρομίου ή γενικότερα για οδούς με πολύ μικρό κυκλοφοριακό φόρτο ή με μεγάλη κλίση. η κυλίνδρωση που συνίσταται στις παραπάνω περιπτώσεις σκοπό δεν έχει να συμπυκνώσει το λεπτοτάπητα αλλά να βοηθήσει το μίγμα να αποβάλλει ένα μεγάλο μέρος του νερού που περιέχει. Η κυλίνδρωση ή η απόδοση του λεπτοτάπητα στην κυκλοφορία μπορεί να γίνει αμέσως μετά τη διάσπαση του γαλακτώματος (συνήθως 10-30 λεπτά για κατιονικά γαλακτώματα). Η διάσπαση του γαλακτώματος χαρακτηρίζεται από αλλαγή χρώματος του μίγματος από καφέ σε μαύρο και ταυτόχρονη εμφάνιση καθαρού νερού στα άκρα της λωρίδας διάστρωσης.

Τα μίγματα slurry συνίσταται όπως διαστρώνονται σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος πάνω από 7 °C και έχοντας την ημέρα μπροστά, δηλαδή η θερμοκρασία να αναμένεται να αυξηθεί και όχι να μειωθεί. Η σχετική υγρασία κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών θα πρέπει να είναι τέτοια, που να μην καθυστερεί την ωρίμανση του μίγματος πάνω από ένα λογικό χρονικό διάστημα (συνήθως όχι πάνω από μία ώρα).

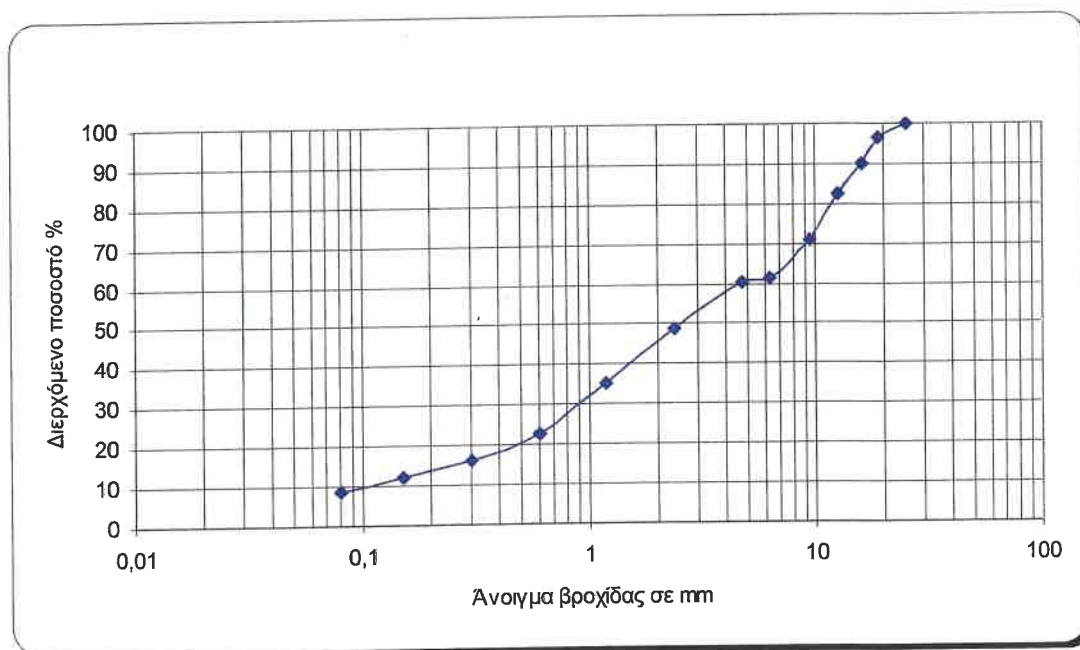
Τέλος, κατά την κατασκευή του λεπτοτάπητα, όπως και σε κάθε ασφαλική εργασία, θα πρέπει να λαμβάνονται όλα τα κατάλληλα μέτρα ρύθμισης της κυκλοφορίας έτσι ώστε να αποφεύγονται καθυστερήσεις και ατυχήματα. [2]

3 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

3.1 ΥΛΙΚΑ

Για την κατασκευή των δοκιμών χρησιμοποιήθηκε 100% καθαρό θραυστό αμμοχάλικο λατομείου.

Το υλικό αυτό διαχωρίστηκε σε τρία κλάσματα (άμμο, γαρμπίλι και χαλίκι) χρησιμοποιώντας τα αντίστοιχα κόσκινα των 20, 15 και 10 χιλιοστών. Για να καθοριστεί η σωστή κοκκομετρική ανάλυση του μίγματος των τριών κλασμάτων των αδρανών έγιναν δοκιμές από τις οποίες προέκυψε αναλογία **60 / 20 / 20** τοις εκατό σε **άμμο / γαρμπίλι / χαλίκι** αντίστοιχα. Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3.1) παρουσιάζεται η κοκκομετρική ανάλυση του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί στις δοκιμές. Στο παράρτημα παρατίθενται οι πίνακες της κοκκομετρικής διαβάθμισης από τους οποίους προέκυψε η παρακάτω καμπύλη (Πίνακες I2, I3, I4, I5).



Σχήμα 3.1 Κοκκομετρική καμπύλη καθαρού θραυστού αμμοχάλικου

Στις δοκιμές μας χρησιμοποιήθηκε ανιονικού τύπου (αλκαλικό) ασφαλτικό γαλάκτωμα **ΑΕ-5** βραδείας διάσπασης, αυξημένου ιξώδους περιεκτικότητας σε άσφαλτο 60-65 %. Αν και τα ανιονικά γαλακτώματα παρουσιάζουν αρκετά μειονεκτήματα σε σχέση με τα κατιονικά, στη περίπτωση μας προτιμήθηκαν λόγω του ότι προσφύονται ικανοποιητικότερα σε ασβεστολιθικά αδρανή.

Ακόμη χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο **CEM II /B-M 32,5 N** και νερό από το υδραγωγείο.

3.2 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

- ✓ Χρησιμοποιήθηκαν δυο ειδών μεταλλικοί τύποι (μήτρες), κυλινδρικού και πρισματικού σχήματος διαστάσεων 10cm*20cm (διάμετρος και ύψος αντίστοιχα) και 10cm*10cm*50cm αντίστοιχα (Εικόνα 3.2).

- ✓ Μια ηλεκτρόσφυρα (Εικόνα 3.2).
- ✓ Δυο ζυγαριές ανάγνωσης η μια 7 kg και ανάγνωσης ως $\pm 0,1$ gr. Και η άλλη 40 kg ανάγνωσης ± 10 gr (Εικόνα 3.3).
- ✓ Διάφορα εργαλεία ανάμιξης, μυστρί, σπάτουλα κλπ.
- ✓ Η ανάμιξη των υλικών πραγματοποιήθηκε μέσα σε ειδικό αναμικτήρα που υπάρχει στο εργαστήριο οδοστρωμάτων του Ε.Μ.Π. (Εικόνα 3.1).



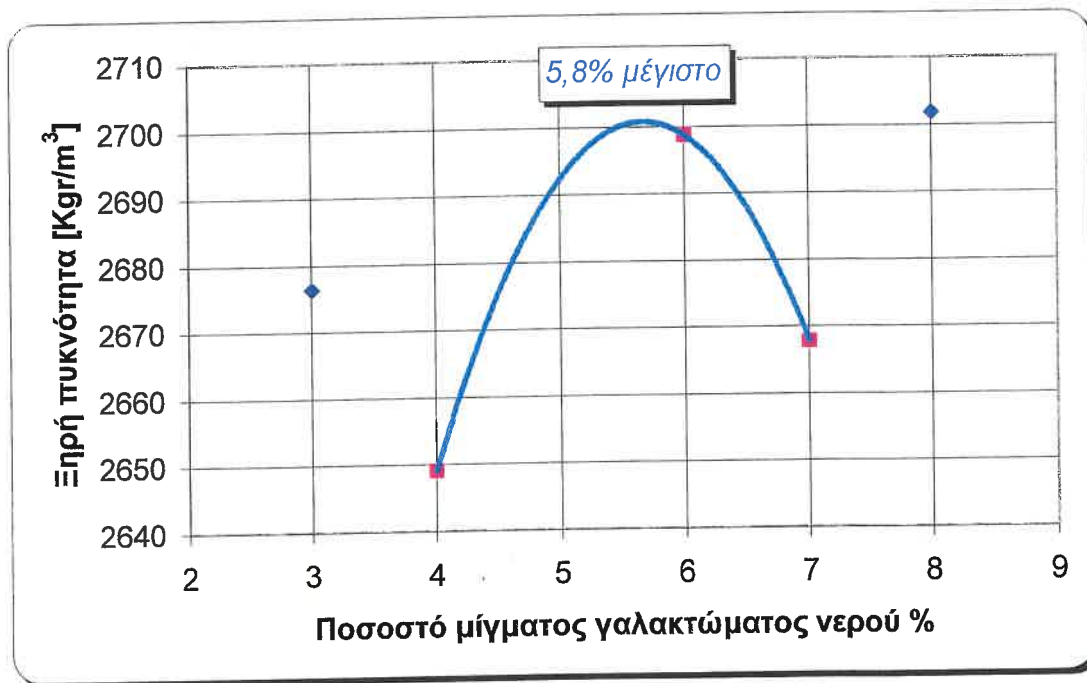
Εικόνα 3.1 Αναμικτήρας



Εικόνες 3.2, 3.3 Ηλεκτρόσφυρα, μήτρες και ζυγαριά

3.3 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Ως βέλτιστη υγρασία για τη συμπύκνωση θεωρήθηκε ποσοστό 5,8 %, όπως αυτό προέκυψε μέσω της τροποποιημένης μεθόδου Proctor. Για υγρασία θεωρήθηκε μίγμα γαλακτώματος νερού με αναλογία 1:1. Η αναλογία αυτή, αποτελεί μια καλή προσέγγιση ως προς το θέμα της υγρασίας που πρόκειται να μεταβληθεί ανάλογα με το ποσοστό του γαλακτώματος στο μίγμα (Σχήμα 3.1). [1]



Σχήμα 3.2 Αποτέλεσμα δοκιμής Proctor

Παρασκευάστηκαν συνολικά πέντε μίγματα για διάφορα ποσοστά υγρού (3-4-6-7 και 8 %), προκειμένου να ευρεθεί η σχέση μεταξύ της περιεχόμενης υγρασίας και της πυκνότητας.



Η συμπύκνωση των δοκιμίων έγινε με ηλεκτρόσφουρα, προκειμένου να υπάρξει σύμπτωση με τον τρόπο παρασκευής των δοκιμίων της παρούσας διπλωματικής. Στην Εικόνα 3.4 παρατίθενται τα δοκίμια που παρασκευάστηκαν, καθώς και η μηχανή εξόλκευσης.

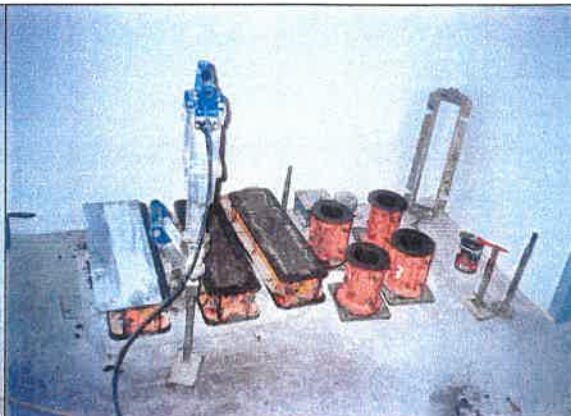
Εικόνα 3.4 Μηχανή εξόλκευσης των δοκιμίων

Παρακάτω περιγράφονται τα στάδια που ακολουθήθηκαν για την παρασκευή των κυλινδρικών και πρισματικών δοκιμίων :

1. Προετοιμάζεται επαρκής ποσότητα μίγματος ξηρών αδρανών για την παραγωγή των δοκιμίων. Ζυγίζονται τα αδρανή, οι ποσότητες του τσιμέντου και του γαλακτώματος που θα αναμιχθούν, και τοποθετούνται στο δοχείο ανάμιξης. (Πίνακας ΙΙ του παραρτήματος)
2. Τοποθετείται το μίγμα στον αναμικτήρα και ξεκινάει η ανάμιξή του. Στη συνέχεια προστίθεται ποσότητα νερού που προκύπτει επί ξηρών υλικών, ως υπόλοιπο αν αφαιρεθεί από την συνολική βέλτιστη υγρασία (5,8%) το ποσοστό του γαλακτώματος.
3. Αναμιγνύονται πολύ καλά έως ότου το νερό κατανεμηθεί ομοιόμορφα στο μίγμα των αδρανών. Η ανάμιξη μπορεί να διακοπεί για να εξεταστεί εάν τα λεπτόκκοκα αδρανή έχουν κολλήσει στα τοιχώματα του κάδου. Αν έχουν κολλήσει αποκολλούνται με τη βοήθεια κατάλληλου μηχανικού μέσου (σπάτουλα ή μυστρί) και συνεχίζεται η ανάμιξη.
4. Προστίθεται η απαιτούμενη ποσότητα γαλακτώματος και ανακατεύεται πολύ καλά σε θερμοκρασία δωματίου. Η ανάμιξη μπορεί να διακοπεί για να εξεταστεί αν παρέμειναν μη επικαλυμμένα αδρανή στα τοιχώματα και στο πάτο του κάδου. Χρησιμοποιείται μυστρί ή σπάτουλα για να αποκολληθούν τα αδρανή και συνεχίζεται η ανάμιξη. Θα πρέπει να αποφευχθεί η παρατεταμένη ανάμιξη διότι θα εμφανιστεί διάσπαση του γαλακτώματος (Εικόνα 3.5).



Εικόνα 3.5 Μίγμα μετά την ανάμιξη

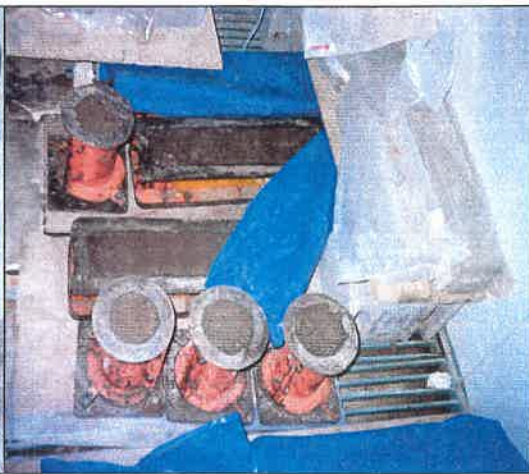


Εικόνα 3.6 Πλήρωση τύπων με υλικό

5. Μετά την ανάμιξη το μίγμα σκεπάζεται με μια σακούλα και αφήνεται στο κάδο του αναμικτήρα για μερικά λεπτά. Στο διάστημα αυτό τα αδρανή απορροφούν νερό, ενώ προετοιμάζονται οι τύποι, με τον καθαρισμό τους, σφίξιμο των κοχλίων και την προεπάλειψη της εσωτερικής τους επιφάνειας με γράσο, προκειμένου το ξεκαλούπωμα των δοκιμίων να είναι ευκολότερο.
6. Έτσι ξεκινάει η πλήρωση των τύπων με υλικό (Εικόνα 3.6). Το υλικό τοποθετείται με τη βοήθεια μιας κουτάλας και ενός χωνιού (για την αποφυγή απώλειας υλικού), με πολύ προσοχή έτσι ώστε η κατανομή των αδρανών να είναι κατά το δυνατόν ομοιόμορφη. Να μην συγκεντρώνονται δηλαδή σε ένα σημείο πολύ χονδρόκοκκο ή πολύ λεπτόκοκκο υλικό. Στη συνέχεια γίνεται η συμπίκνωσή τους με τη βοήθεια ηλεκτροσφύρας (δυναμικός τρόπος) κατά τη μικρή διάσταση καθώς τα δοκίμια βρίσκονται σε οριζόντια θέση. Αντίθετα τα κυλινδρικά συμπυκνώθηκαν κατά την μεγάλη διάσταση και με στατικό τρόπο (Εικόνα 3.7).



Εικόνα 3.7 Συμπύκνωση δοκιμίων



Εικόνα 3.8 Συντήρηση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος

7. Μετά τη συμπίκνωση τα δοκίμια συντηρήθηκαν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 24 ώρες (Εικόνα 3.8) και κατόπιν ακολούθησε το ξεκαλούπωμά τους.

3.4 ΕΙΔΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΠΟΥ ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣΤΗΚΑΝ

Παρακάτω παρατίθενται οι πίνακες πρισματικών και κυλινδρικών δοκιμίων ανάλογα με τα ποσοστά γαλακτώματος και τσιμέντου που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και τα βάρη και οι πυκνότητές τους.

Πίνακας 3.1 Χαρακτηριστικά μιγμάτων και πρισματικών δοκιμίων που παρασκευάστηκαν

ΔΟΚΑΡΙΑ	ποσοστό τσιμέντου	ποσοστό γαλακτώματος	Αριθμός δοκιμίου	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (kg/m ³)
ΜΙΓΜΑ	2%	4%	B1	11460	229,2
			B2	11560	231,2
			B3	11100	222,0
ΜΙΓΜΑ	2%	3%	B4	11640	232,8
			B5	11820	236,4
			B6	11800	236,0
ΜΙΓΜΑ	0%	3%	B7	11880	237,6
			B8	11680	233,6
			B9	11580	231,6
ΜΙΓΜΑ	0%	4%	B10	11240	224,8
			B11	11060	221,2
			(σπασμένο)B12 (σπασμένο)		
ΜΙΓΜΑ	1%	3%	B13	11580	231,6
			B14	11860	237,2
			B15	12000	240,0
ΜΙΓΜΑ	1%	4%	B16	11380	227,6
			B17	11320	226,4
			B18	11240	224,8
ΜΙΓΜΑ	0%	5%	B19	10940	218,8
			B20	11120	222,4
			B21	11240	224,8

Πίνακας 3.2 Χαρακτηριστικά μιγμάτων και κυλινδρικών δοκιμών που παρασκευάστηκαν

Κύλινδροι	ποσοστό τσιμέντου	ποσοστό γαλακτώματος	Αριθμός δοκιμίου	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (kg/m ³)
ΜΙΓΜΑ	2%	4%	B1	3604	229,4
			B2	3520	224,1
			B3	3575	227,6
			B4	3747	238,5
ΜΙΓΜΑ	2%	3%	B5	3596	228,9
			B6	3619	230,4
			B7	3627	230,9
			B8	3604	229,4
ΜΙΓΜΑ	0%	3%	B9	3750	238,7
			(σπασμένο)B10	3560	226,6
			B11	3560	226,6
			B12	3580	227,9
ΜΙΓΜΑ	0%	4%	B13	3553	226,2
			B14	3479	221,5
			B15	3516	223,8
			B16	3414	217,3
ΜΙΓΜΑ	1%	3%	B17	3670	233,6
			B18	3646	232,1
			B19	3640	231,7
			B20	3649	232,3
ΜΙΓΜΑ	1%	4%	B21	3511	223,5
			B22	3500	222,8
			B23	3499	222,8
			B24	3483	221,7
ΜΙΓΜΑ	0%	5%	B25	3392	215,9
			B26	3654	232,6
			B27	3490	222,2
			B28	3405	216,8

3.5 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Μετά την παρασκευή τους τα δοκίμια μεταφέρθηκαν στο θάλαμο συντήρησης χωρίς να εξολκευτούν από τα καλούπια τους, σκεπάστηκαν με νάιλον σακούλες και τσουβάλια για την αποφυγή απώλειας υγρασίας και έμειναν εκεί για 24 ώρες (Εικόνα 3.9).



Εικόνα 3.9 Συντήρηση δοκιμίων



Εικόνα 3.10 Δοκίμια στο θάλαμο συντήρησης

Την επόμενη μέρα έγινε η εξόλκευσή τους με μεγάλη προσοχή (Εικόνα 3.11) από τους τύπους (μήτρες), ζυγίστηκαν (Εικόνα 3.12) και τοποθετήθηκαν σε νάιλον σακούλες και αφήνονται σε θερμοκρασία δωματίου για 24 ώρες. Έπειτα επανατοποθετούνται στο θάλαμο συντήρησης (Εικόνα 3.10) όπου επικρατεί θερμοκρασία 20 ± 2 °C και σχετική υγρασία μεγαλύτερη από 95 %, όπου και αφήνονται για περίπου είκοσι μέρες.



Εικόνα 3.11 Ξεκαλούπωμα δοκιμίου

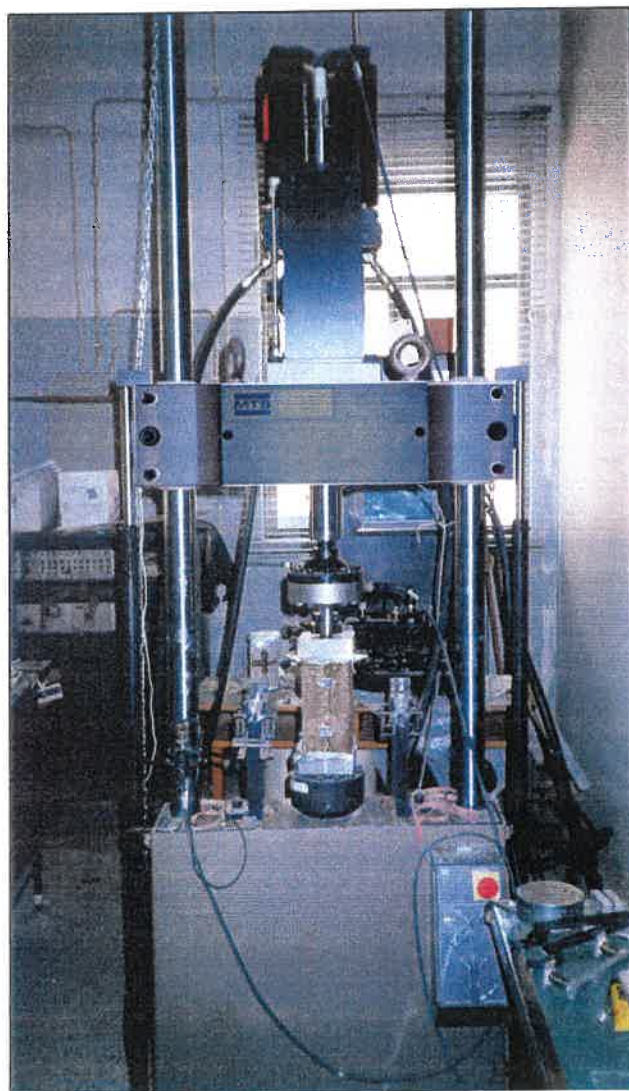


Εικόνα 3.12 Ζύγισμα δοκιμίου

4. ΔΟΚΙΜΗ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ

- Γενικά

Για τη φόρτιση των κυλινδρικών και πρισματικών δοκιμίων σε μονοαξονική θλίψη χρησιμοποιείται η μηχανή M.T.S 810 (Material Test System) του Ε.Μ.Π (Εικόνα 4.1).



Εικόνα 4.1 Μηχανή M.T.S

Η εικονιζόμενη στα αριστερά μηχανή M.T.S, έχει ικανότητα επιβολής φορτίου έως της τιμής των 10 tn, με δυνατότητα επιβολής στατικής ή δυναμικής φόρτισης μεγάλης ακρίβειας. [13]

Οι μεταβολές του επιβαλλόμενου φορτίου, όπως και οι αντίστοιχες ενδείξεις των προσαρτημένων στα δοκίμια ηλεκτρομηκυνσιομέτρων, τύπου LVDT (Linear Variable Differential Transformer), καταγράφονται από ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Τόσο οι κύλινδροι όσο και τα πρίσματα (όπως αυτά προέκυψαν από τη θραύση των δοκαριών που έσπασαν σε φόρτιση σε κάμψη) φορτίστηκαν στατικά έως τη τιμή θραύσης τους.

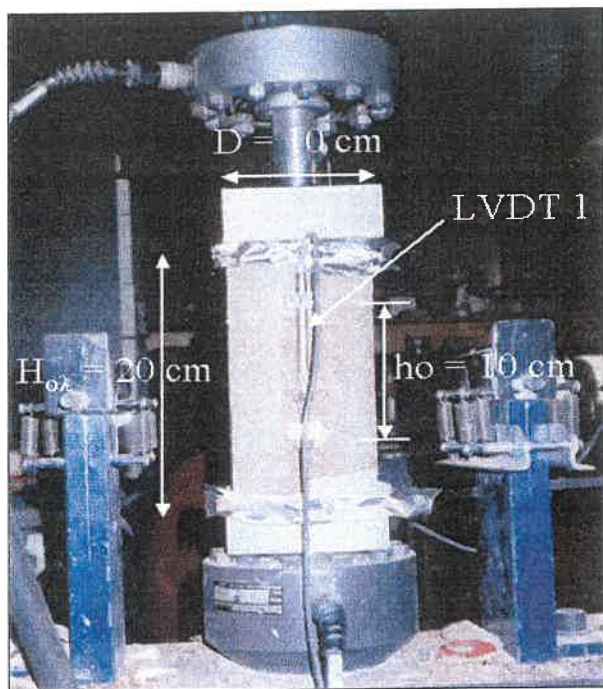
Στη συνέχεια, περιγράφονται αναλυτικά οι αντίστοιχες φορτίσεις των κυλινδρικών και πρισματικών δοκιμίων σε μονοαξονική θλίψη. Δίνονται τα αντίστοιχα διαγράμματα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης, υπολογίζεται το μέτρο ελαστικότητας E_s , καθώς και η τιμή της αντοχής των δοκιμίων σε μονοαξονική θλίψη f_{comp} (compression).

4.1 ΘΛΙΨΗ ΠΡΙΣΜΑΤΩΝ

Τα πρισματικά δοκίμια πάρθηκαν από τη θραύση των δοκαριών τα οποία έσπασαν υποβαλλόμενα σε κάμψη.

Συγκεκριμένα το ένα εκ των δύο κομματιών που προέκυψαν από τη θραύση των δοκαριών υποβλήθηκε σε θλίψη ισοδύναμου κύβου –όπως αναλυτικά περιγράφεται στο κεφάλαιο § 6-, ενώ το άλλο τροχίστηκε η πλευρά του (η επιφάνεια θραύσης) και υποβλήθηκε σε μονοαξονική θλίψη στη μηχανή του Ε.Μ.Π (Μ.Τ.Σ).

Οι διαστάσεις των πρισμάτων είναι $10\text{cm} \times 20\text{cm}$ (πλευρά τετραγωνικής βάσης του πρίσματος και ύψος αντίστοιχα).



Εικόνα 4.2 Πρισματικό δοκίμιο σε μονοαξονική θλίψη



Εικόνα 4.3 Αστοχία πρίσματος σε θλίψη

Η μέτρηση των παραμορφώσεων γίνεται στο μεσαίο τμήμα του δοκιμίου επί μήκους $h_0 = 10\text{cm}$ (Εικόνα 4.2), ώστε να αποφεύγεται ο συνυπολογισμός στις μετρήσεις, των επιδράσεων από τη σύνθετη εντατική κατάσταση που επικρατεί, λόγω των δυνάμεων τριβής, στις επιφάνειες επιβολής του φορτίου. [6]

Η επίδραση των δυνάμεων τριβής γίνεται φανερή από την πυραμοειδή μορφή που λαμβάνουν τα πρισματικά δοκίμια με την αύξηση των θλιπτικών παραμορφώσεων και μετά τη θραύση τους (Εικόνα 4.3).

Την καταγραφή των παραμορφώσεων αναλαμβάνουν δύο μηχανισιομετρα τύπου LVDT.

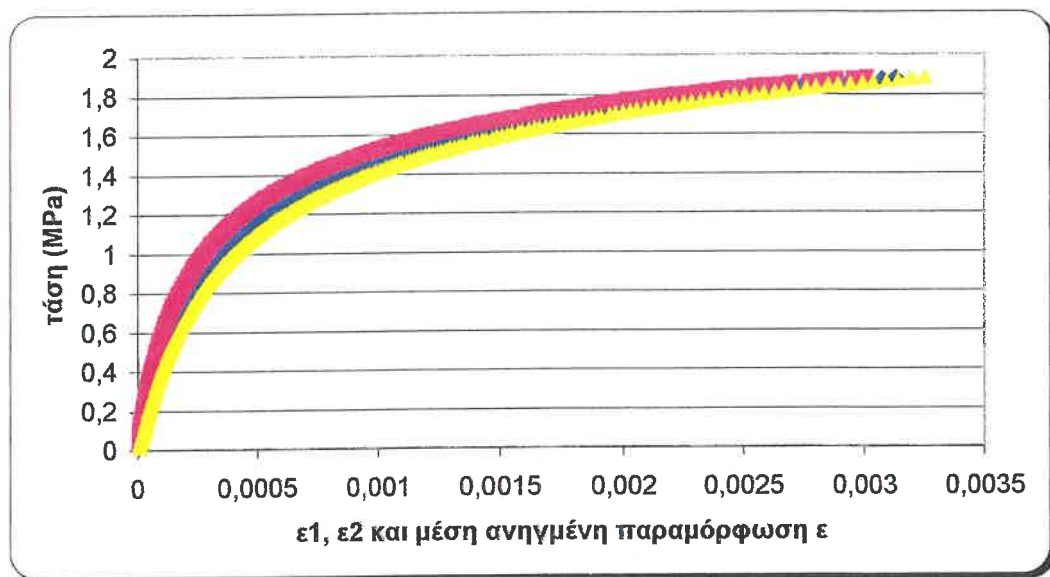
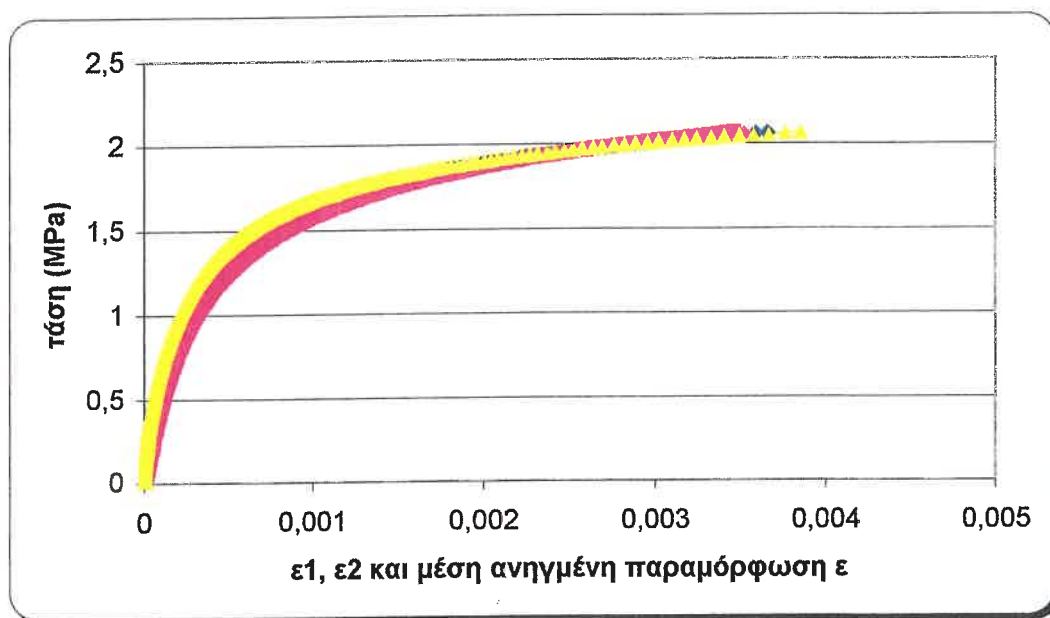
Τα μηχανισιόμετρα LVDT βρίσκονται αντιδιαμετρικά τοποθετημένα και σε απόσταση 5cm από κάθε βάση του δοκιμίου ώστε το μήκος h_0 να βρίσκεται στο μέσο του δοκιμίου (Εικόνα 4.2).

Το φορτίο επιβάλλεται ομαλά, συνεχώς και με σταθερή ταχύτητα ίση με $0,58\text{ kN/s}$, ενώ ταυτόχρονα η μηχανή Μ.Τ.Σ καταγράφει τις τιμές του επιβαλλόμενου φορτίου και τις αντίστοιχες ενδείξεις των δύο LVDT.

Από τις ενδείξεις του φορτίου υπολογίζονται οι τάσεις, και προκύπτουν τα διαγράμματα τάσης (σ) –ανηγμένης παραμόρφωσης (ϵ) των δοκιμίων, για κάθε ένα από τα δύο μηχανισιόμετρα χωριστά, αλλά και για τον μέσο όρο αυτών, όπως αυτά παρατίθενται στο επόμενο κεφάλαιο.

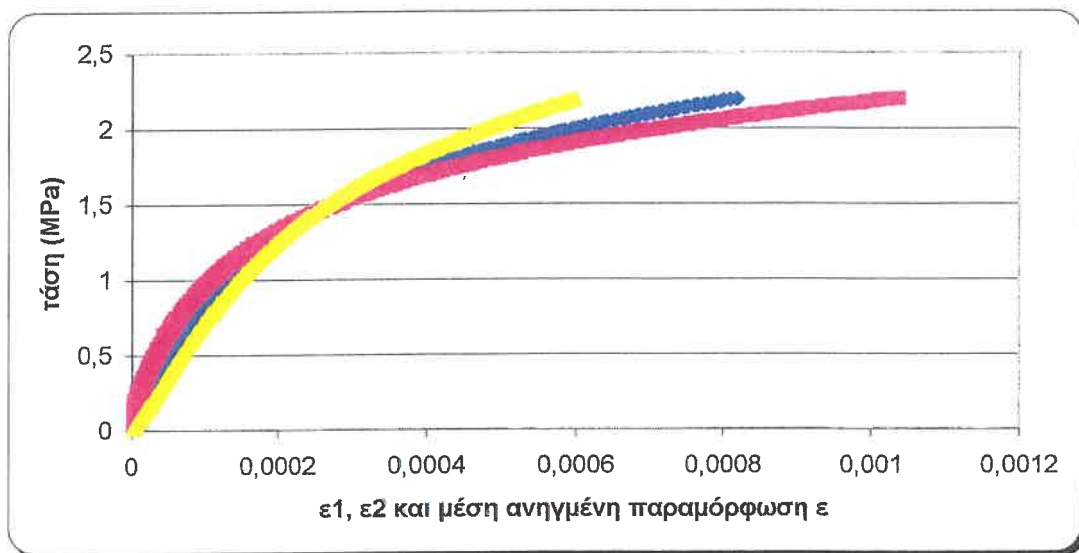
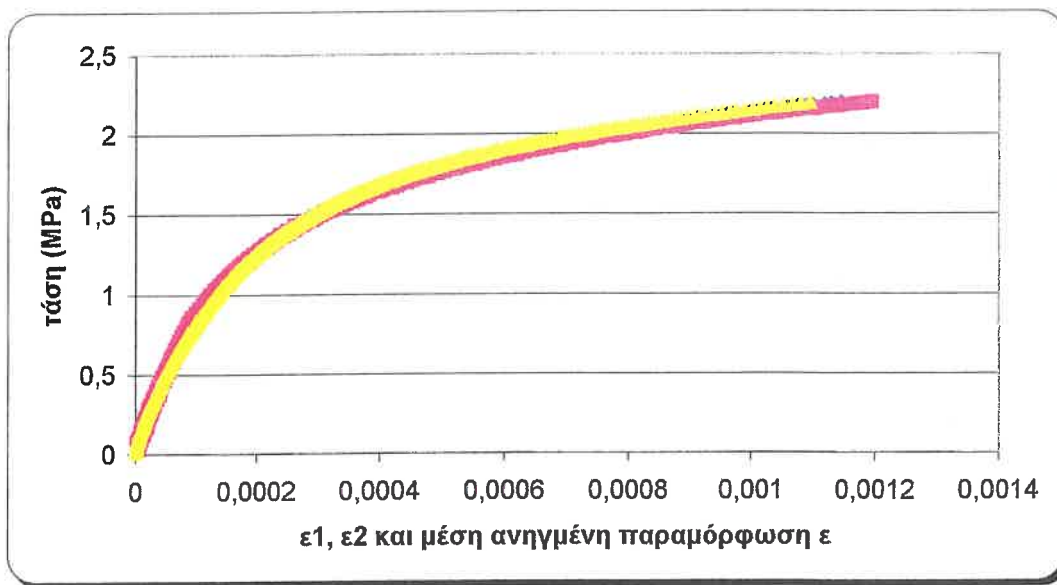
4.1.1 Διαγράμματα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης

Υποβλήθηκαν σε μονοαξονική θλίψη δύο πρίσματα από κάθε μίγμα, των οποίων τα διαγράμματα τάσης ανηγμένης παραμόρφωσης δίνονται στα Σχήματα 4.1 έως και 4.7 που έπονται.



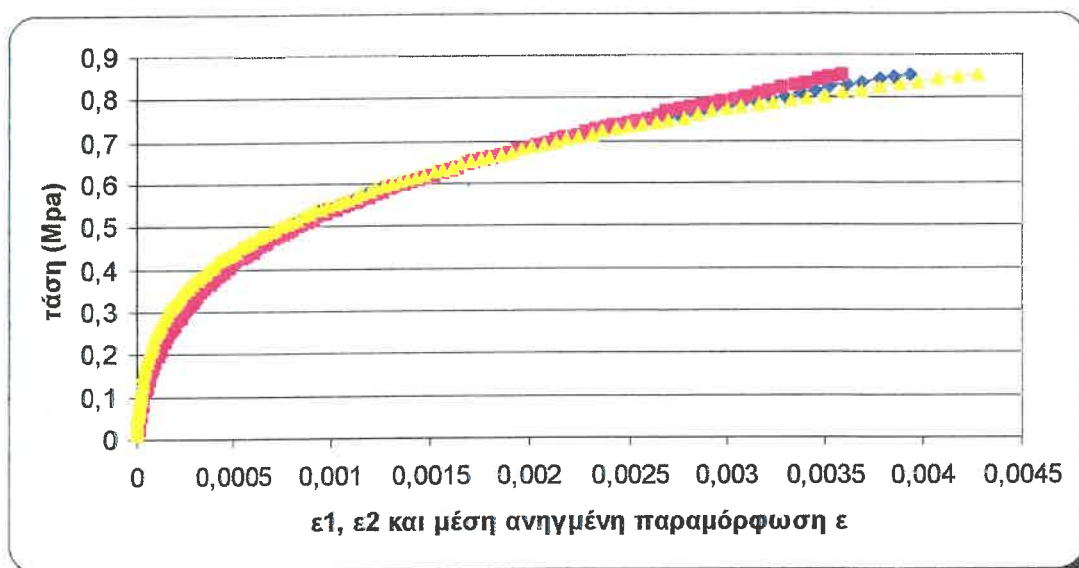
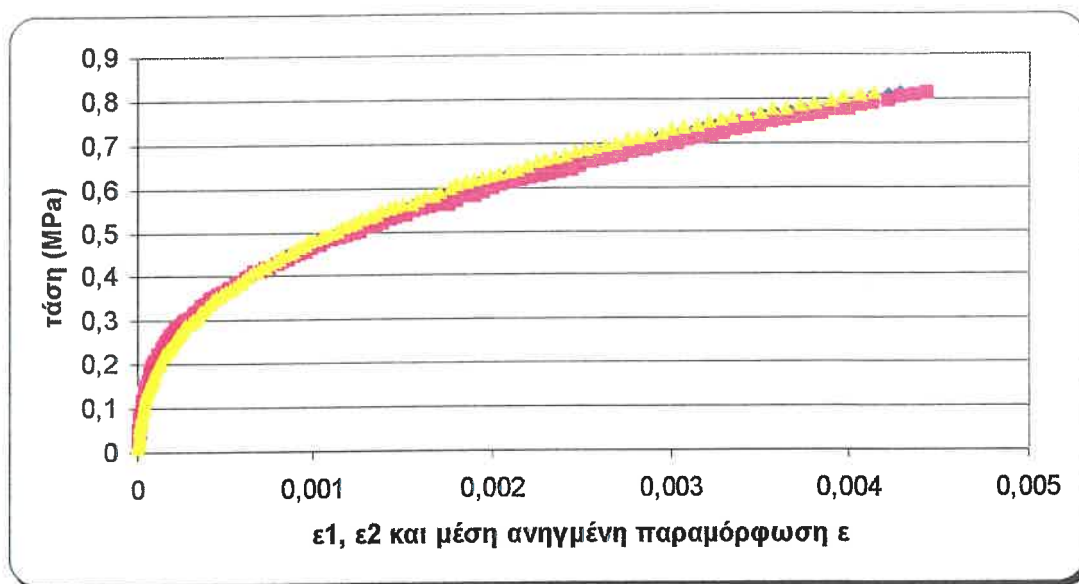
Σχήμα 4.1 Διαγράμματα τάσης – ανηγμένης παραμόρφωσης των δοκιμών B2 και B3 (μίγμα 2% τσιμέντο, 4% γαλάκτωμα)

Η μπλε γραμμή συμβολίζει το μέσο όρο των ενδείξεων των δυο αντιδιαμετρικά τοποθετημένων LVDT (κίτρινη και ροζ γραμμή).



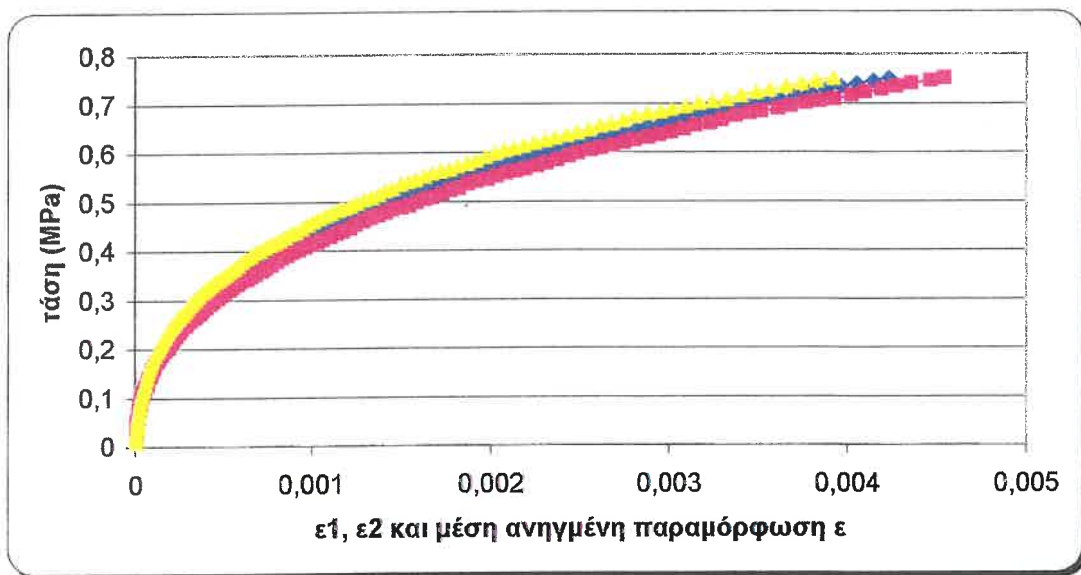
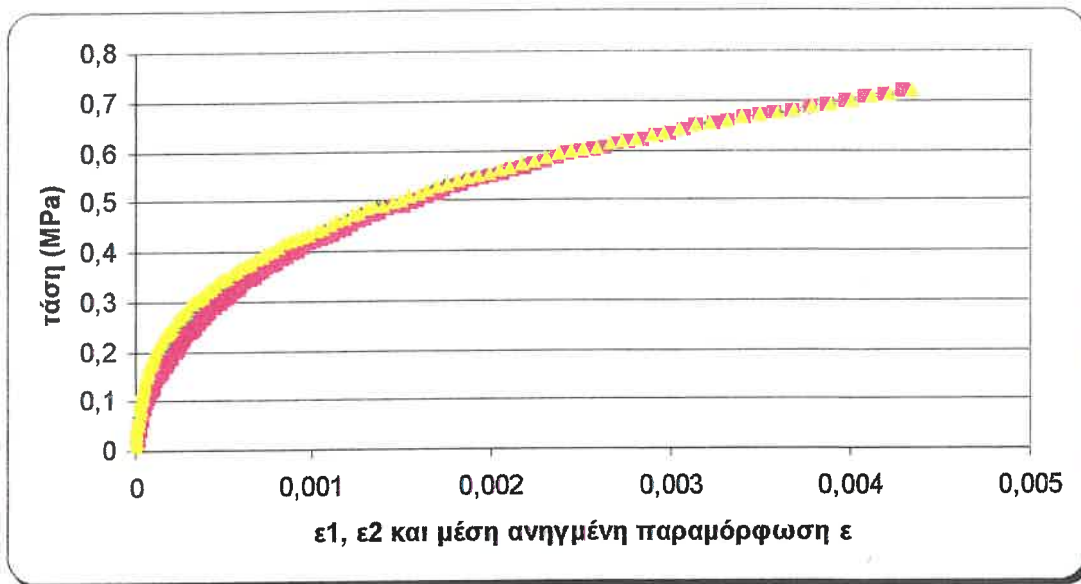
Σχήμα 4.2 Διαγράμματα τάσης – ανηγμένης παραμόρφωσης των δοκιμίων B4 και B6 (μίγμα 2% τσιμέντο, 3% γαλάκτωμα)

Η μπλε γραμμή συμβολίζει το μέσο όρο των ενδείξεων των δυο αντιδιαμετρικά τοποθετημένων LVDT (κίτρινη και ροζ γραμμή).



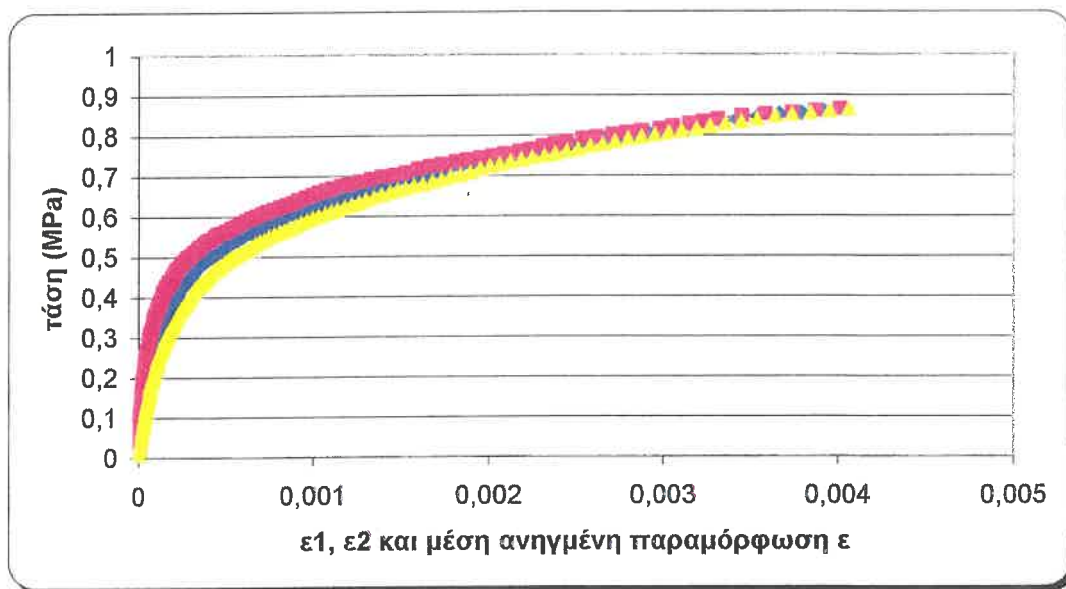
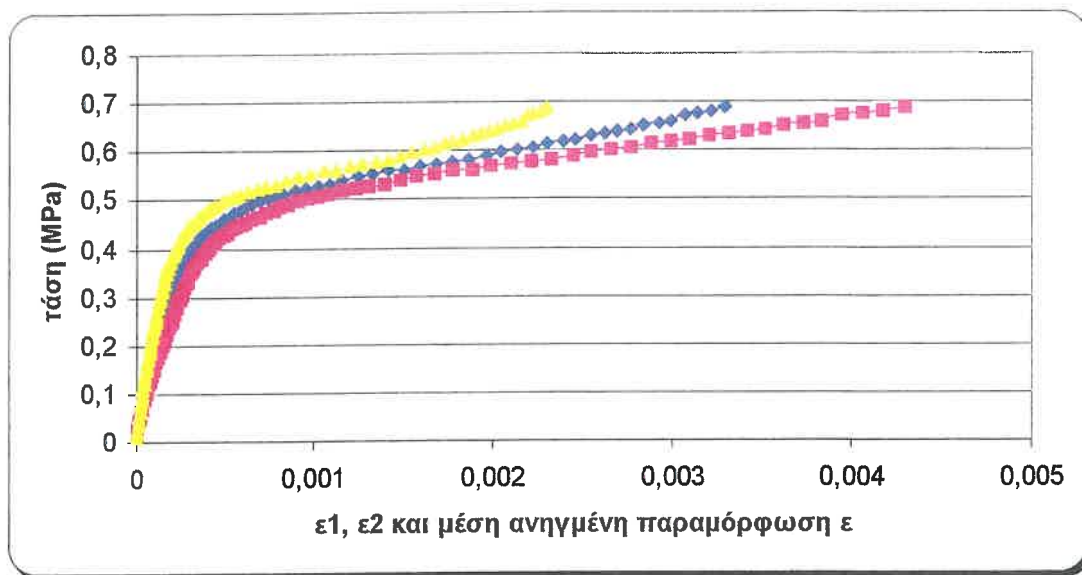
Σχήμα 4.3 Διαγράμματα τάσης – ανηγμένης παραμόρφωσης των δοκιμίων B7 και B9 (μίγμα 0% τσιμέντο, 3% γαλάκτωμα)

Η μπλε γραμμή συμβολίζει το μέσο όρο των ενδείξεων των δυο αντιδιαμετρικά τοποθετημένων LVDT (κιτρινή και ροζ γραμμή).



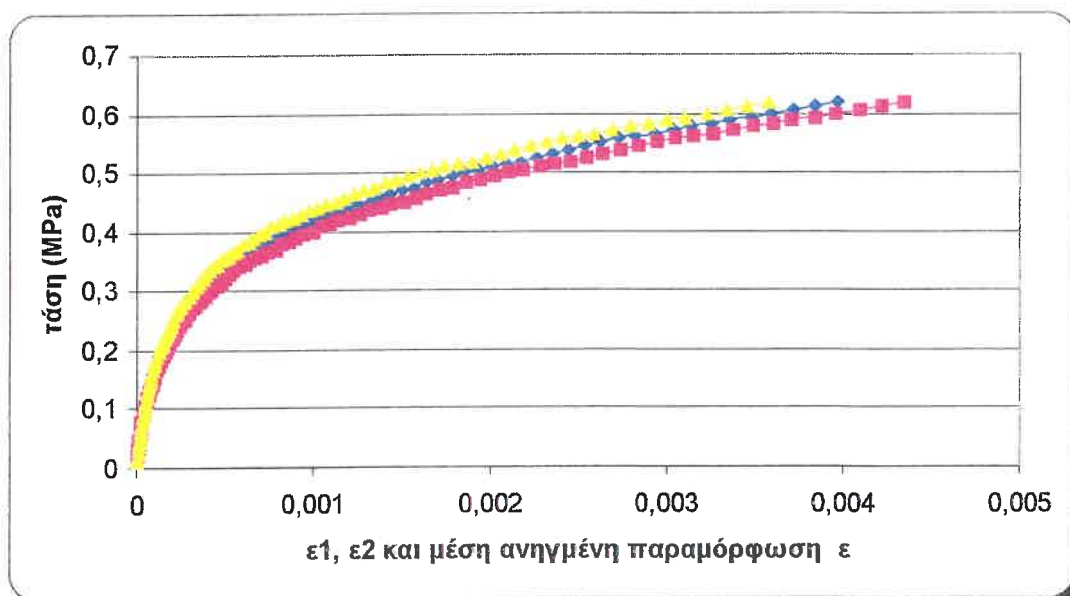
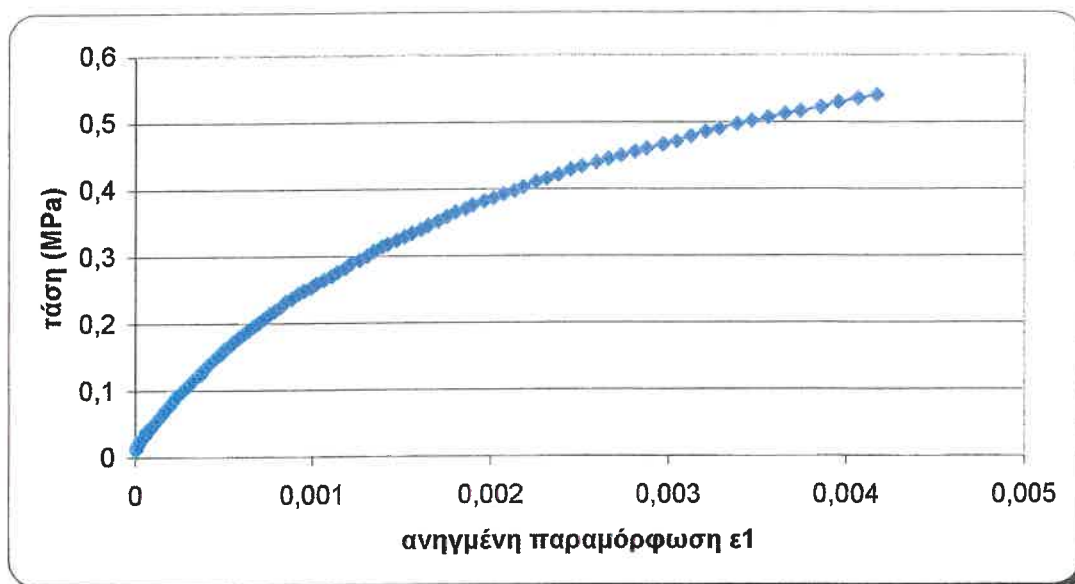
Σχήμα 4.4 Διαγράμματα τάσης – ανηγμένης παραμόρφωσης των δοκιμίων B10 και B11 (μίγμα 0% τσιμέντο, 4% γαλάκτωμα)

Η μπλε γραμμή συμβολίζει το μέσο όρο των ενδείξεων των δυο αντιδιαμετρικά τοποθετημένων LVDT (κιτρινή και ροζ γραμμή).



Σχήμα 4.5 Διαγράμματα τάσης – ανηγμένης παραμόρφωσης των δοκιμών B14 και B15 (μίγμα 1% τσιμέντο, 3% γαλάκτωμα)

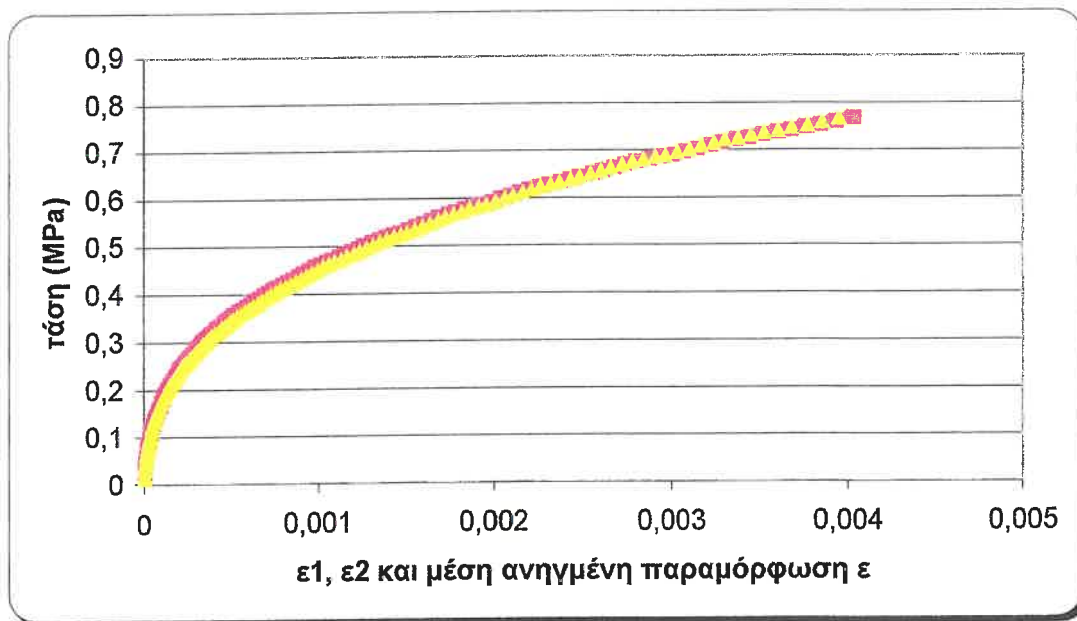
Η μπλε γραμμή συμβολίζει το μέσο όρο των ενδείξεων των δυο αντιδιαμετρικά τοποθετημένων LVDT (κίτρινη και ροζ γραμμή).



Σχήμα 4.6 Διαγράμματα τάσης – ανηγμένης παραμόρφωσης των δοκιμών B16 και B17 (μίγμα 1% τσιμέντο, 4% γαλάκτωμα)

Για το δοκίμιο B16 ο μέσος όρος της ανηγμένης παραμόρφωσης ταυτίζεται με την ένδειξη του ενός LVDT, αφού το άλλο LVDT έδωσε εσφαλμένες ενδείξεις λόγω κακής στερέωσής του στο πρίσμα.

Η μπλε γραμμή συμβολίζει το μέσο όρο των ενδείξεων των δυο αντιδιαμετρικά τοποθετημένων LVDT (κίτρινη και ροζ γραμμή).



Σχήμα 4.7 Διάγραμμα τάσης – ανηγμένης παραμόρφωσης του δοκιμίου B21 (μίγμα 0% τσιμέντο, 5% γαλάκτωμα)

Η μπλε γραμμή συμβολίζει το μέσο όρο των ενδείξεων των δυο αντιδιαμετρικά τοποθετημένων LVDT (κίτρινη και ροζ γραμμή).

- Παρατηρήσεις επί των διαγραμμάτων τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης
- ✓ Τα διαγράμματα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης δείχνουν απαλλαγμένα από φαινόμενα θορύβου (θόρυβο εμφάνισαν διαγράμματα τάσης-παραμόρφωσης στη κάμψη των δοκαριών § 7).
- ✓ Οι παραμορφώσεις που καταγράφουν τα δυο μηχανοσκόπετρα είναι πολύ κοντινές μεταξύ τους για το σύνολο των δοκιμών (πλην των δοκιμών B6 και B14).
- ✓ Οι επιμέρους ενδείξεις των δύο ηλεκτρομηκυνσιομέτρων για τα δοκίμια B6 και B14 εμφάνισαν σημαντική απόκλιση. Το γεγονός αυτό, μπορεί να αποδοθεί σε τυχόν εκκεντρότητες της φόρτισης, αλλά πιθανότερα οφείλεται σε ενδεχόμενη ανομοιομορφία που παρουσιάζει το υλικό στο εσωτερικό του.

4.1.2 Μέτρα ελαστικότητας E_s σε θλίψη

Γνωρίζοντας το φορτίο θραύσης P_{max} κάθε δοκιμίου μεταφερόμαστε στη ελαστική περιοχή (δηλαδή στο $P_{max}/3$) και από την απλοποιημένη έκφραση του νόμου του Hooke υπολογίζουμε την τιμή του μέτρου ελαστικότητας E_s ($E_s = \sigma/\epsilon$).

Αξίζει να αναφερθεί ότι, δοκίμια του ίδιου μίγματος παρουσίασαν μεγάλες διαφορές στη τελική τιμή του μέτρου ελαστικότητας

Παρόλο που στοιχεία επαναληψιμότητας για τα υλικά που εξετάζουμε δεν υπάρχουν, μια αδρομερής εκτίμηση της επαναληψιμότητας στη μέτρηση γενικώς του E_s μπορεί να προκύψει από το ASTM C469 [10]. Τονίζεται πάντως ότι τα υλικά της παρούσας έρευνας θα μπορούσαν να θεωρηθούν πολύ πιο ανομοιομορφα σε σύγκριση με το σκυρόδεμα στο οποίο αναφέρεται το ASTM C469 και επομένως η διασπορά των τιμών αναμένεται να είναι μεγαλύτερη εκείνης των δοκιμίων σκυροδέματος. (διασπορά δοκιμίων σκυροδέματος ίση με 5%).

Αναλυτικά έχουμε :

- ο δοκίμια B2 και B3 με 2% τσιμέντο και 4% γαλάκτωμα

B2: $E_s=5110\text{MPa}$ B3: $E_s=4202\text{MPa}$

M.O: $E_s= 4656\text{MPa}$

Διασπορά των τιμών E_s από το μέσο όρο ίση με 9,7%

- ο δοκίμια B4 και B6 με 2% τσιμέντο και 3% γαλάκτωμα

B5: $E_s=7806\text{MPa}$ B6: $E_s=7644\text{MPa}$

M.O: $E_s=7725\text{MPa}$

Διασπορά των τιμών E_s από το μέσο όρο ίση με 1,0%

- ο δοκίμια B7 και B9 με 0% τσιμέντο και 3% γαλάκτωμα

B8: $E_s=782\text{MPa}$ B9: $E_s=1030\text{MPa}$

M.O: $E_s=906\text{MPa}$

Διασπορά των τιμών E_s από το μέσο όρο ίση με 13,6%

- ο δοκίμια B10 και B11 με 0% τσιμέντο και 4% γαλάκτωμα

B8: $E_s=630\text{MPa}$ B9: $E_s=665\text{MPa}$

M.O: $E_s=647\text{MPa}$

Διασπορά των τιμών E_s από το μέσο όρο ίση με 2,6%

- ο δοκίμια B14 και B15 με 1% τσιμέντο και 3% γαλάκτωμα

B14: $E_s=1637\text{MPa}$ B15: $E_s=2652\text{MPa}$

M.O: $E_s=2145\text{MPa}$

Διασπορά των τιμών E_s από το μέσο όρο ίση με 23,6%

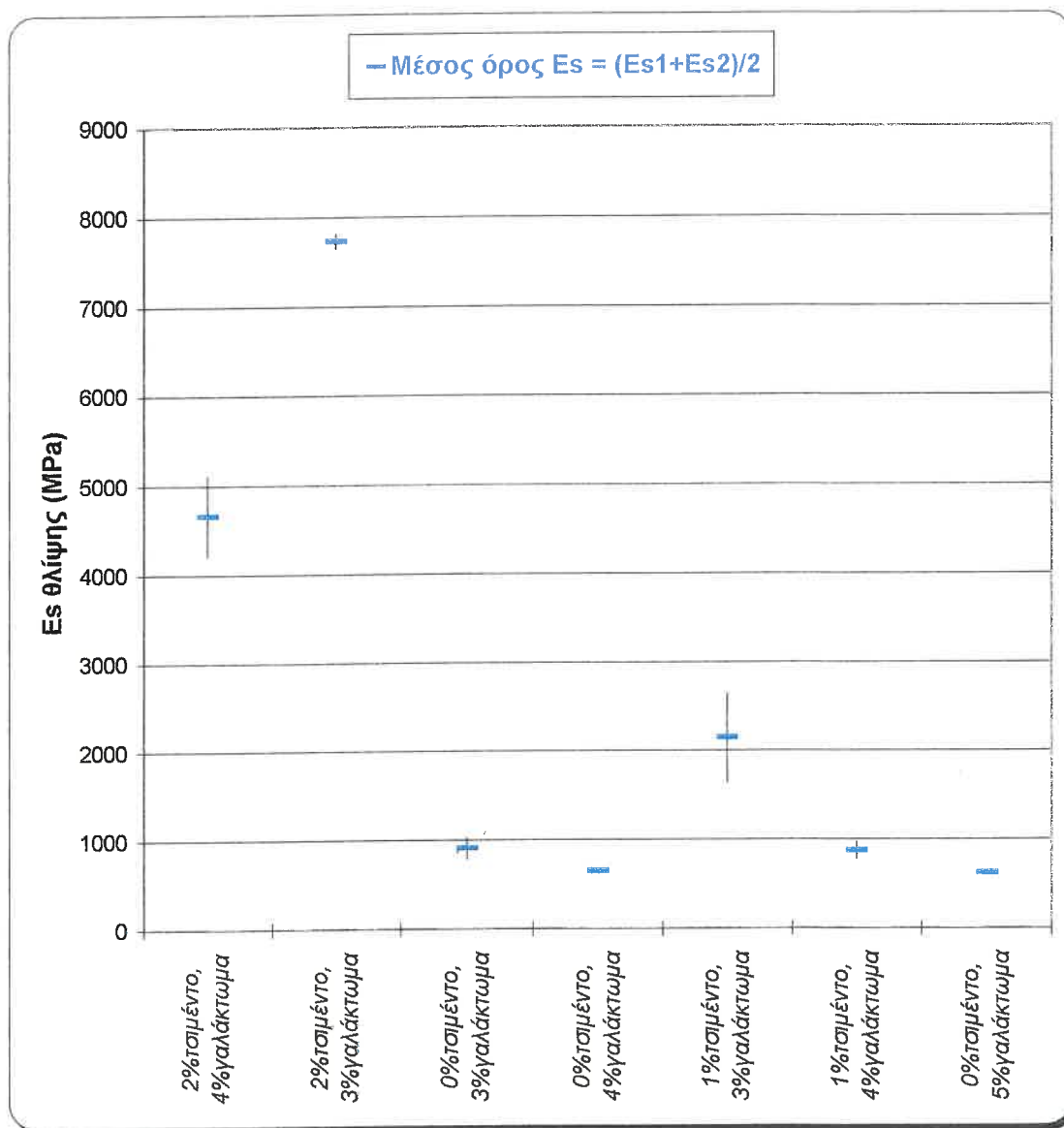
- ο δοκίμια B16 και B17 με 1% τσιμέντο και 4% γαλάκτωμα

B14: $E_s=775\text{MPa}$ B15: $E_s=969\text{MPa}$

M.O: $E_s=872\text{MPa}$

Διασπορά των τιμών E_s από το μέσο όρο ίση με 11,1%

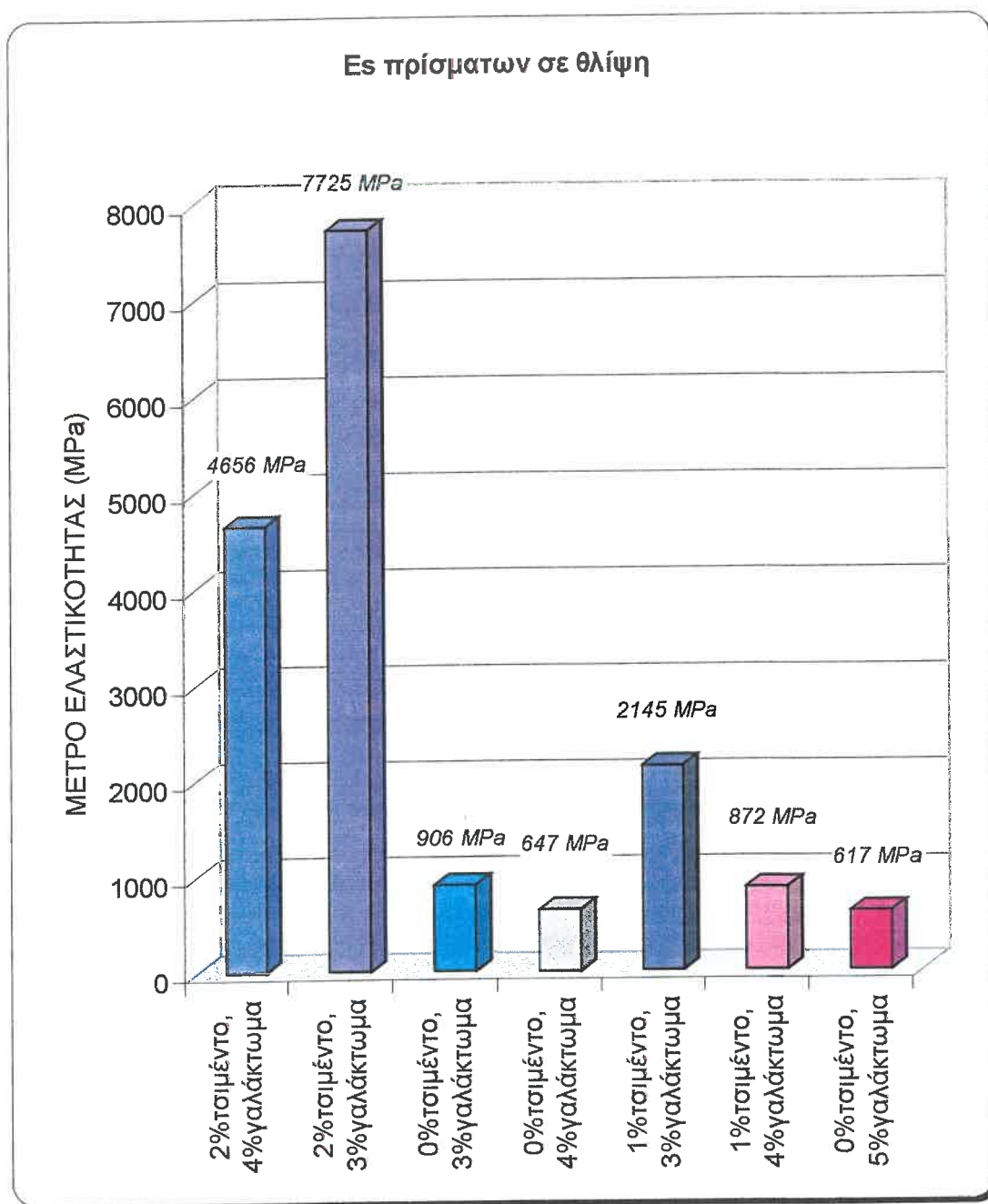
Στο Σχήμα 4.8 που ακολουθεί, δίνονται οι μέσοι όροι και το εύρος των τιμών του E_s για κάθε μίγμα.



Σχήμα 4.8 Μέσος όρος και εύρος των τιμών E_s θλίψης των διαφόρων μιγμάτων

Από όλα τα παραπάνω προκύπτει η ανάγκη για μεγαλύτερο αριθμό δοκιμών προκειμένου να έχουμε αποτελέσματα περισσότερο αξιόπιστα. Παρόλα αυτά, δεχόμαστε τις τιμές αυτές και συνεχίζουμε σε περαιτέρω ανάλυση των αποτελεσμάτων διατηρώντας όμως ορισμένες επιφυλάξεις για την ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Στη συνέχεια δίνονται οι τιμές του μέτρου ελαστικότητας E_s , που προέκυψαν ως ο μέσος όρος των E_s των δύο πρισμάτων του ιδίου μίγματος (Σχήμα 4.9). Αναλυτικά όλες οι τιμές δίνονται στο παράρτημα στο Πίνακα Ι6.

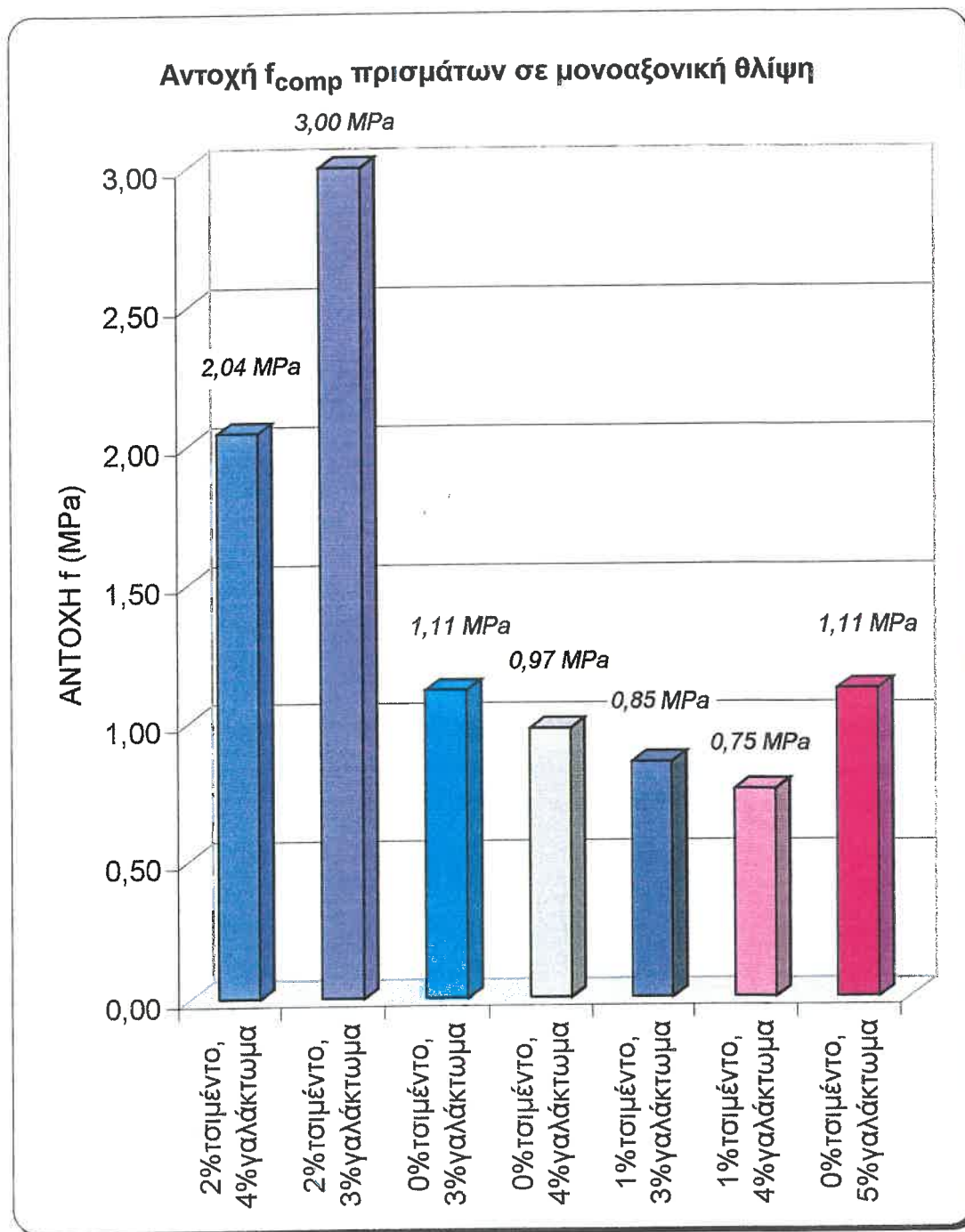


Σχήμα 4.9 Μέση τιμή του μέτρου ελαστικότητας E_s των πρισμάτων σε μονοαξονική θλίψη

Παρατηρείται αξιοσημείωτη εξάρτηση της τιμής του E_s από το ποσοστό του τσιμέντου ενώ δεν παρατηρείται το ίδιο για το γαλάκτωμα.

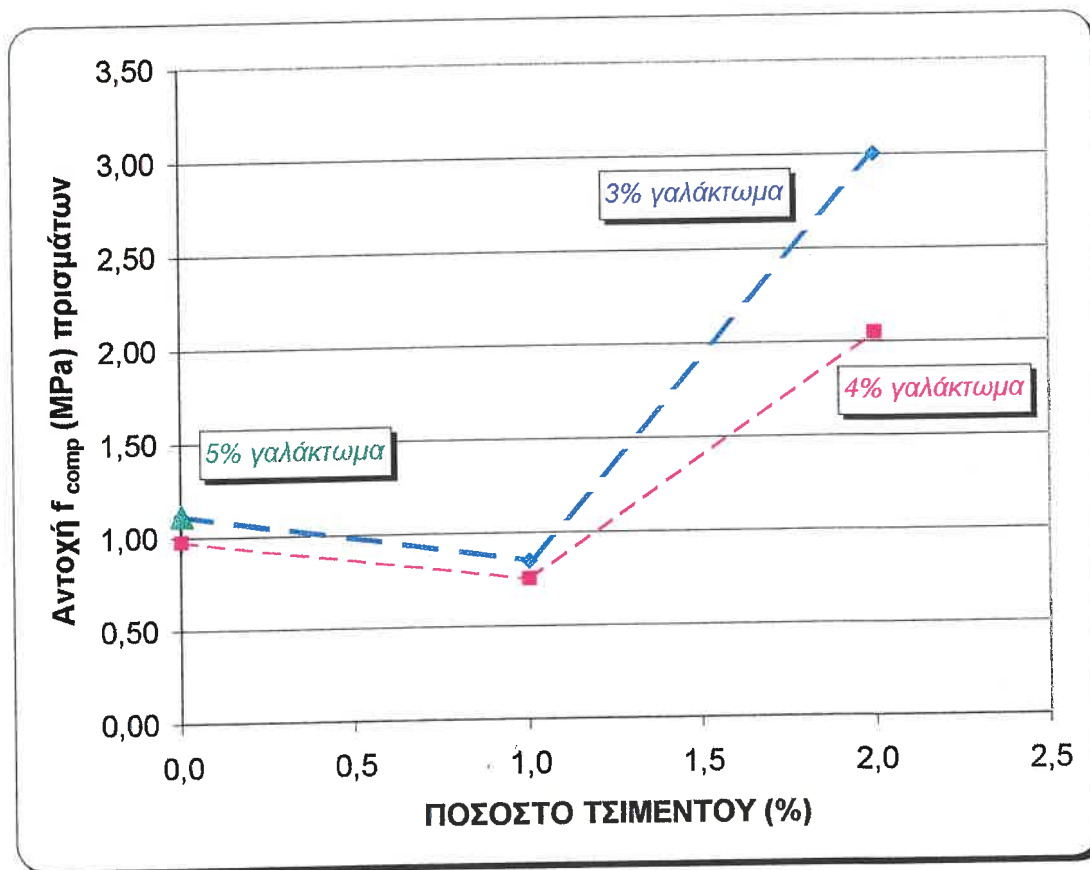
4.1.3 Αντοχή f_{comp} των πρισμάτων σε θλίψη

Στο διάγραμμα του Σχήματος 4.10 που ακολουθεί, δίνονται οι τιμές της αντοχής f σε μονοαξονική θλίψη των διαφόρων μιγμάτων, όπως προέκυψαν ως ο μέσος όρος των τιμών της αντοχής των επιμέρους πρισμάτων του ίδιου μίγματος. Αναλυτικά όλες οι τιμές δίνονται στο παράρτημα στο Πίνακα Ι6.



Σχήμα 4.10 Μέση τιμή της αντοχής f των πρισμάτων σε μονοαξονική θλίψη

4.1.4 Διαγράμματα μεταβολής της αντοχής f σε θλίψη των πρισμάτων με το ποσοστό τσιμέντου, για διάφορα ποσοστά γαλακτώματος



Σχήμα 4.11 Μεταβολή της αντοχής f θλίψης των πρισμάτων με το ποσοστό τσιμέντου, για διάφορα ποσοστά γαλακτώματος.

• Σχόλια

Υπενθυμίζουμε ότι, κάθε σημείο του Διαγράμματος (Σχήμα 4.11) προέκυψε ως μέσος όρος της αντοχής f δύο δοκιμών του ίδιου μίγματος.

Η διασπορά των τιμών της αντοχής των δύο επιμέρους πρισμάτων κάθε μίγματος από το μέσο όρο κυμάνθηκε σε χαμηλά επίπεδα (διασπορά μεταξύ του 0,1 % και 7%). Οι τιμές της αντοχής για κάθε πρίσμα χωριστά και η διασπορά τους από το μέσο όρο δίνονται στο παράρτημα.

- **Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις επί του Διαγράμματος (Σχήμα 4.11)**

Ποσοστό γαλακτώματος 3%

Έχουμε:

- Μίγμα με ποσοστό τσιμέντου 0%: $f_{comp} = 1.11 \text{ MPa}$
- Μίγμα με ποσοστό τσιμέντου 1%: $f_{comp} = 0.85 \text{ MPa}$
- Μίγμα με ποσοστό τσιμέντου 2%: $f_{comp} = 3.00 \text{ MPa}$

Παρατηρείται ότι για τη μετάβαση από μίγμα με 0% τσιμέντο σε 1%, προκύπτει μικρή μείωση της αντοχής (το 1% τσιμέντο είναι πολύ μικρή ποσότητα για να έχει κατανεμηθεί ομοιόμορφα στο μίγμα με αποτέλεσμα να δικαιολογείται η μικρή απόκλιση των τιμών).

Αντίθετα η αύξηση του ποσοστού του τσιμέντου από 1% σε 2% οδηγεί σε τριπλασιασμό της τιμής της αντοχής.

Ποσοστό γαλακτώματος 4%

Ομοίως για τα μίγματα με 4% γαλάκτωμα έχουμε:

- Μίγμα με ποσοστό τσιμέντου 0%: $f_{comp} = 0.97 \text{ MPa}$
- Μίγμα με ποσοστό τσιμέντου 1%: $f_{comp} = 0.75 \text{ MPa}$
- Μίγμα με ποσοστό τσιμέντου 2%: $f_{comp} = 2.04 \text{ MPa}$

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν ταυτίζονται με αυτά των μιγμάτων για 4% γαλάκτωμα.

Η ευεργετική παρουσία τσιμέντου σε ικανά ποσοστά (2% τσιμέντο) στην αύξηση της αντοχής είναι και στη περίπτωση αυτή εμφανής (όπως και για τα μίγματα με 3% γαλάκτωμα έτσι και τώρα παρατηρείται ότι η αύξηση του ποσοστού του τσιμέντου από 1% σε 2% οδηγεί σε τριπλασιασμό της τιμής της αντοχής του μίγματος).

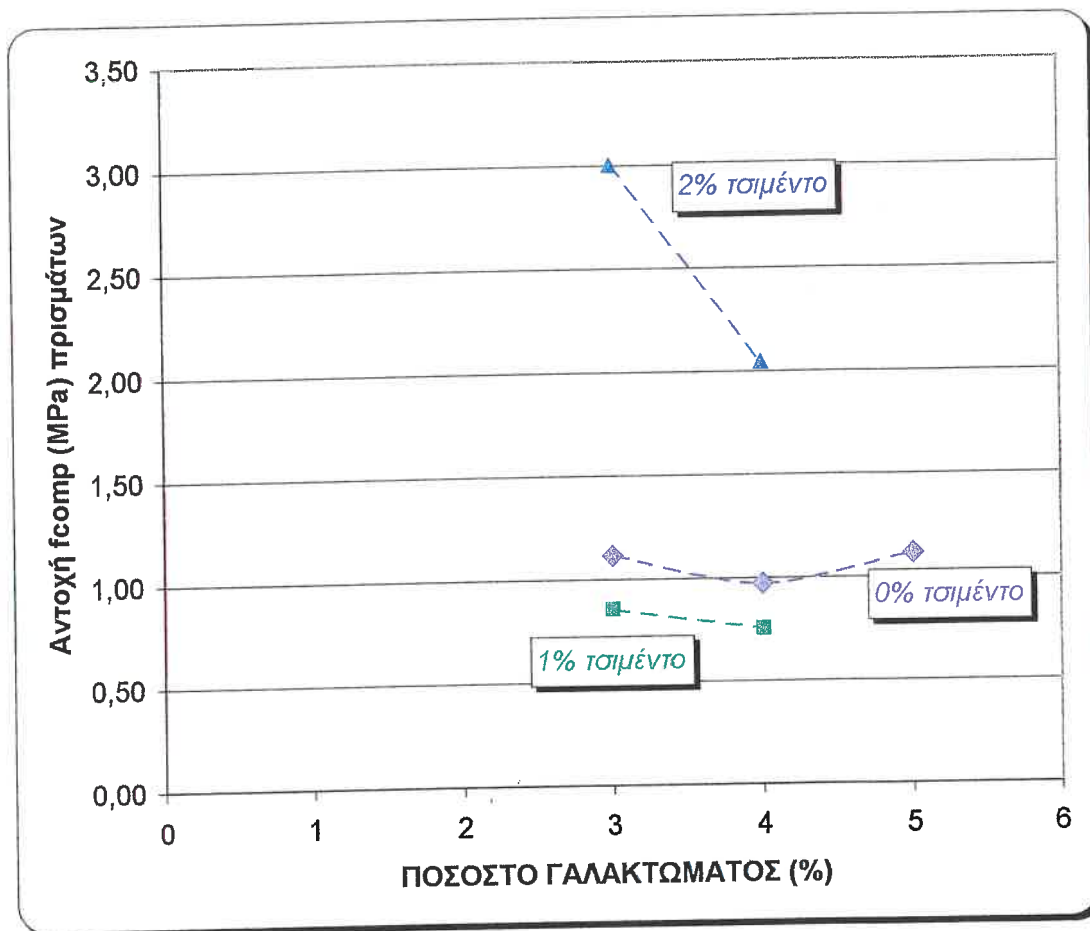
Ποσοστό γαλακτώματος 5%

Το μοναδικό μίγμα με 0% τσιμέντο έδωσε τιμή αντοχής f σε θλίψη ίση με 1.11 MPa .

Η τιμή αυτή είναι ίδια με τη αντίστοιχη τιμή f του μίγματος με 3% γαλάκτωμα και πολύ κοντά και με τη τιμή του μίγματος με 4% γαλάκτωμα.

Από όλα τα παραπάνω προκύπτει πως η συμμετοχή του τσιμέντου σε ικανά ποσοστά (μεγαλύτερα του 1%) αυξάνει σημαντικά την αντοχή του πρίσματος σε μονοαξονική θλίψη ενώ η επιρροή του γαλακτώματος είναι αρνητική.

4.1.5 Διαγράμματα μεταβολής της αντοχής f σε θλίψη των πρισμάτων με το ποσοστό γαλακτώματος, για διάφορα ποσοστά τσιμέντου



Σχήμα 4.12 Μεταβολή της αντοχής f θλίψης των πρισμάτων με το ποσοστό γαλακτώματος, για διάφορα ποσοστά τσιμέντου.

• Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις επί του Διαγράμματος (Σχήμα 4.12)

Ποσοστό τσιμέντου 0%

Οι τιμές της αντοχής για τα μίγματα με 3%, 4% και 5% γαλάκτωμα πρακτικά ταυτίζονται. Συγκεκριμένα έχουμε :

- Μίγμα με ποσοστό γαλακτώματος 3%: $f_{comp} = 1.11$ MPa
- Μίγμα με ποσοστό γαλακτώματος 4%: $f_{comp} = 0.97$ MPa
- Μίγμα με ποσοστό γαλακτώματος 5%: $f_{comp} = 1.11$ MPa

Από τις παραπάνω τιμές της αντοχής f_{comp} , διαπιστώνεται ότι η επίδραση της μεταβολής του ποσοστού γαλακτώματος (από 3% σε 4% και 5%) στην τιμή της αντοχής σε μίγμα χωρίς τσιμέντο είναι αμελητέα.

Ποσοστό τσιμέντου 1%

Οι τιμές της αντοχής των δύο μιγμάτων με 3% ($f_{comp} = 0.85 \text{ MPa}$) και 4% γαλάκτωμα ($f_{comp} = 0.75 \text{ MPa}$) δε μπορούν να βοηθήσουν στη εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων αφού ούτως η άλλως το 1% τσιμέντο είναι πολύ μικρή ποσότητα για να έχει κατανεμηθεί ομοιόμορφα στο μίγμα και η διασπορά των αποτελεσμάτων προβλέπεται μεγάλη.

Παρατηρείται πάντως μικρή μείωση της αντοχής με αύξηση του ποσοστού του γαλακτώματος.

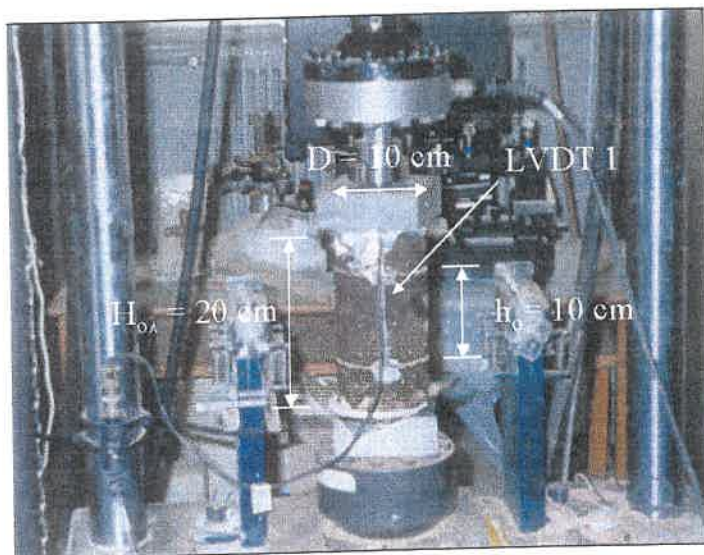
Ποσοστό τσιμέντου 2%

Για τα μίγματα με 2% τσιμέντο προκύπτει σαφής μείωση της αντοχής με την αύξηση του γαλακτώματος (3% γαλάκτωμα : $f_{comp} = 3.00 \text{ MPa}$, 4% γαλάκτωμα $f_{comp} = 2.04 \text{ MPa}$).

Από τα παραπάνω προκύπτει μια τάση μείωσης της αντοχής με την αύξηση του ποσοστού γαλακτώματος (πάντα για μίγματα με ικανό ποσοστό τσιμέντου) που όμως για να διαπιστωθεί αν ισχύει πραγματικά επιβάλλεται η πραγματοποίηση περισσότερων δοκιμών.

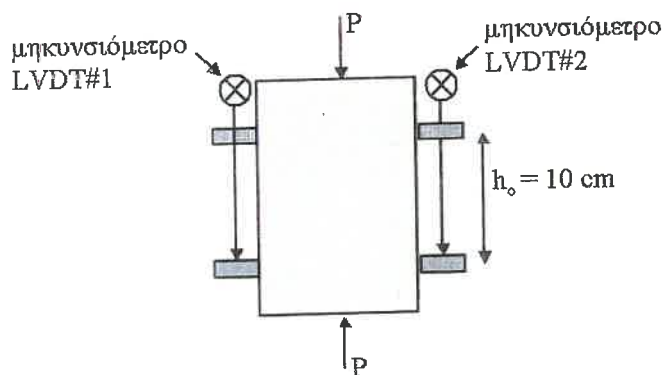
4.2 ΘΛΙΨΗ ΚΥΛΙΝΔΡΩΝ

Υπενθυμίζεται ότι για κάθε μίγμα παρασκευάστηκαν τέσσερις κύλινδροι διαστάσεων 10cm*20cm (διάμετρος- ύψος). Οι δύο υποβλήθηκαν σε αντιδιαμετρική θλίψη -όπως περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο § 5-, ενώ οι υπόλοιποι σε μονοαξονική θλίψη στη μηχανή M.T.S του Ε.Μ.Π.



Εικόνα 4.4 Κυλινδρικό δοκίμιο σε μονοαξονική θλίψη

την επάλειψη λεπτής επιφανειακής στρώσης από σιδηρόστοκο και την εφαρμογή, για περίπου 15 λεπτά, τάση προετοιμασίας δοκιμίου (0,01Mpa), προκειμένου να αποκτήσει ικανοποιητική αντοχή ο σιδηρόστοκος.



Σχήμα 4.5 Διάταξη επιβολής μονοαξονικής θλίψης

μεταξύ τους).

Το φορτίο επιβάλλεται ομαλά, συνεχώς και με σταθερή ταχύτητα ίση με 0,45 kN/s, ενώ ταυτόχρονα η μηχανή M.T.S καταγράφει τις τιμές του επιβαλλόμενου φορτίου και τις αντίστοιχες ενδείξεις των δύο μηχανιστόμετρων.

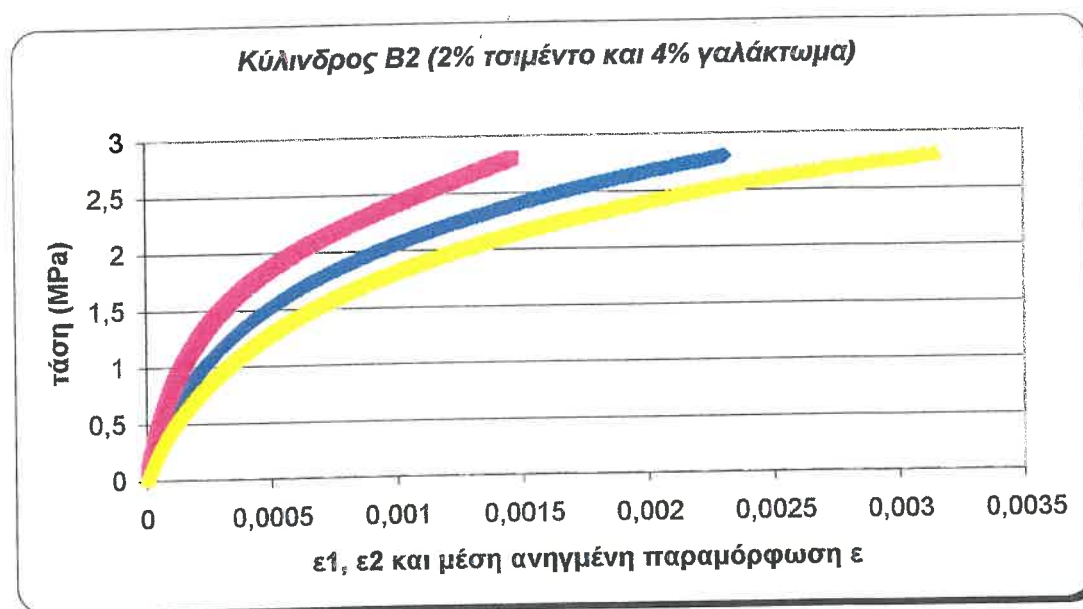
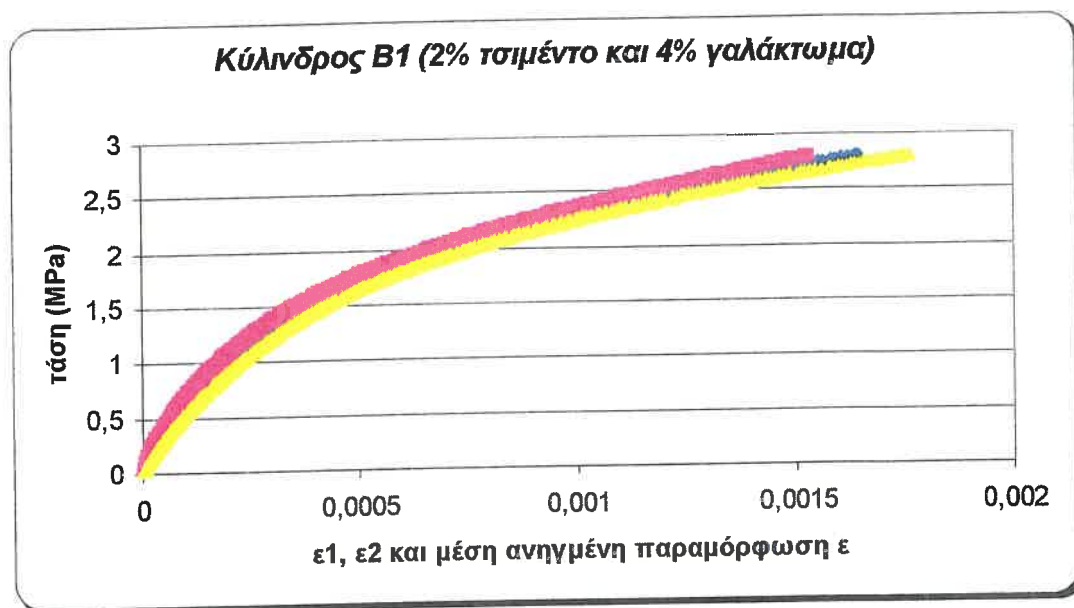
Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, προκύπτουν τα διαγράμματα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης των δοκιμίων, για κάθε ένα από τα δύο μηχανιστόμετρα

Για τις μετρήσεις των παραμορφώσεων λαμβάνεται αρχικό μήκος μετρήσεως h_0 ίσο με τη διάμετρο $D = h_0 = 10\text{cm}$, (Εικόνα 4.4), ώστε να αποφεύγεται ο συνυπολογισμός στις μετρήσεις, των επιδράσεων από τη σύνθετη εντατική κατάσταση που επικρατεί, λόγω των δυνάμεων τριβής, στις επιφάνειες επιβολής του φορτίου. [6]

Η καλή επαφή των δοκιμίων με τις μεταλλικές πλάκες που ασκούν τη φόρτιση, διασφαλίζεται με

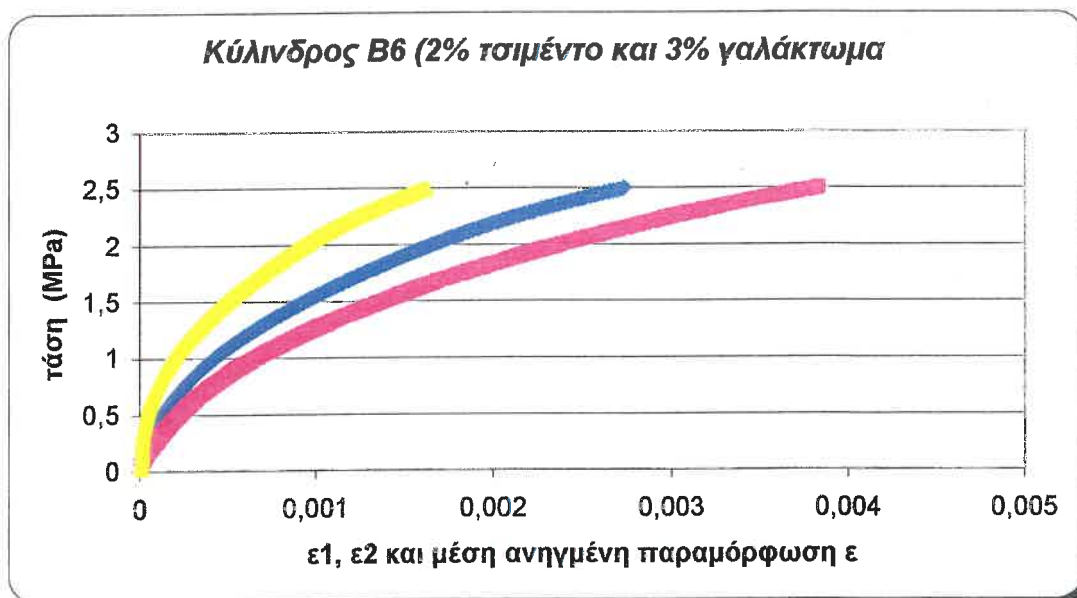
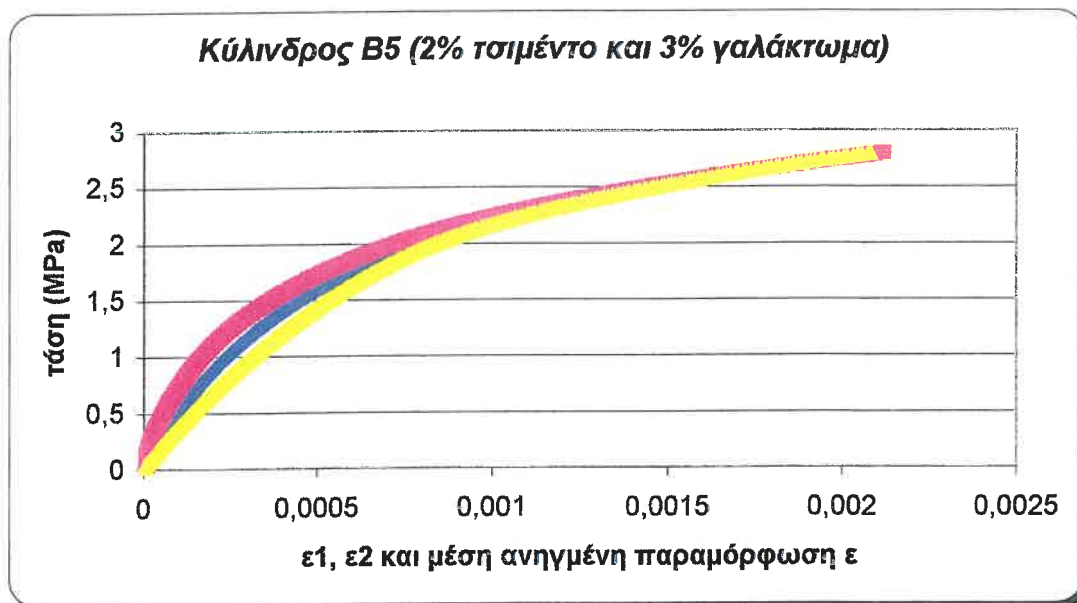
Η χρήση δύο μηχανιστόμετρων τύπου LVDT (Linear Variable Differential Transformer), αντιδιαμετρικά τοποθετημένων (για τη μέτρηση της μεταβολής της απόστασης h_0 ανάμεσα στους δακτυλίους-Σχήμα 4.5), και η θεώρηση του μέσου όρου των ενδείξεών τους καθίσταται αναγκαία για να ληφθούν υπόψη τυχόν εκκεντρότητες της φόρτισης ή σφάλματα στην τοποθέτηση των δακτυλίων, (μη απόλυτη παραλληλία

χωριστά, αλλά και για τον μέσο όρο αυτών, όπως αυτά παρατίθενται στα Σχήματα 4.6, 4.7 και 4.8 που ακολουθούν:



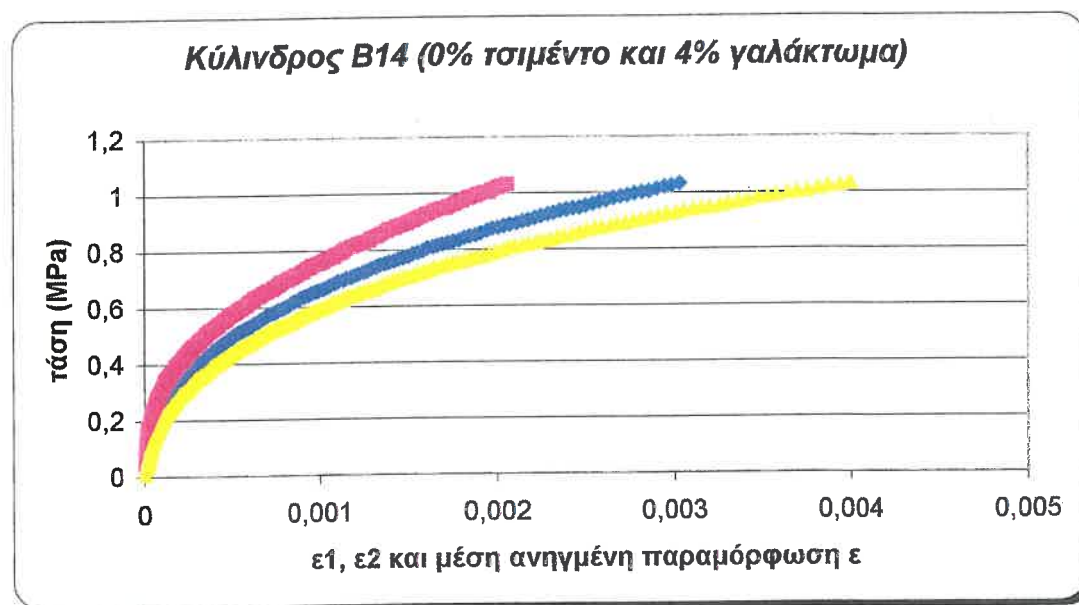
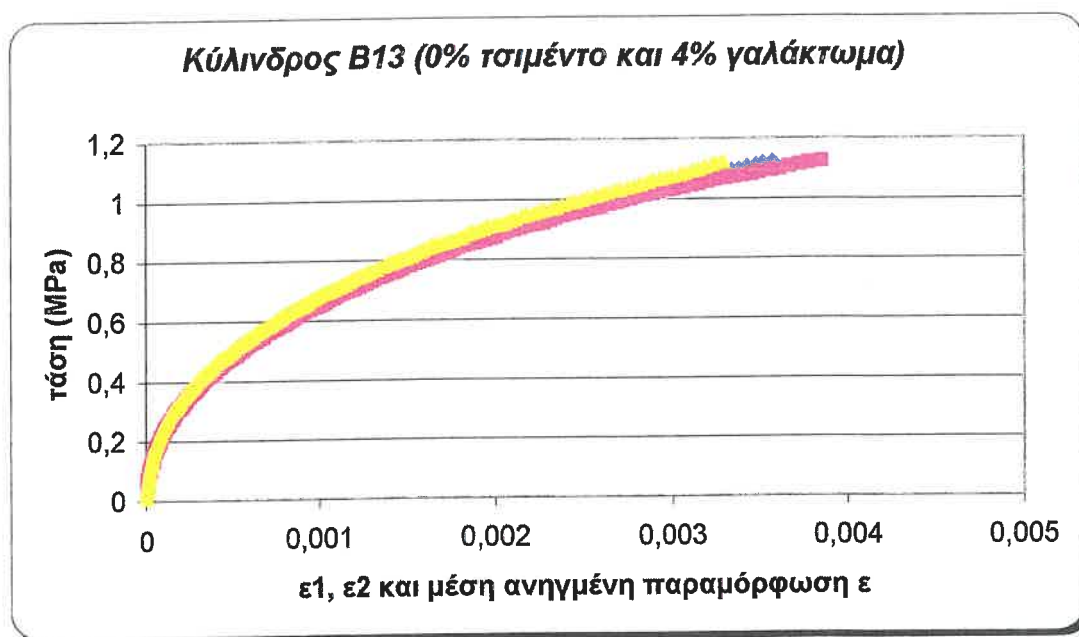
Σχήμα 4-6 Διαγράμματα τάσης – ανηγμένης παραμόρφωσης των δοκιμίων B1 και B2 (μίγμα με 2% τσιμέντο και 4% γαλάκτωμα)

Η μπλε γραμμή συμβολίζει το μέσο όρο των ενδείξεων των δυο αντιδιαμετρικά τοποθετημένων LVDT (κίτρινη και ροζ γραμμή).



Σχήμα 4-7 Διαγράμματα τάσης – ανηγμένης παραμόρφωσης των δοκιμίων B5 και B6 (μίγμα με 2% τσιμέντο και 3% γαλάκτωμα)

Η μπλε γραμμή συμβολίζει το μέσο όρο των ενδείξεων των δυο αντιδιαμετρικά τοποθετημένων LVDT (κίτρινη και ροζ γραμμή).



Σχήμα 4-8 Διαγράμματα τάσης – ανηγμένης παραμόρφωσης των δοκιμών B5 και B6 (μίγμα με 2% τσιμέντο και 3% γαλάκτωμα)

Η μπλε γραμμή συμβολίζει το μέσο όρο των ενδείξεων των δυο αντιδιαμετρικά τοποθετημένων LVDT (κίτρινη και ροζ γραμμή).

• Παρατηρήσεις επί των διαγραμμάτων τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης

- ✓ Τα διαγράμματα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης δείχνουν απαλλαγμένα από φαινόμενα θορύβου.
- ✓ Οι επιμέρους ενδείξεις των δύο ηλεκτρομηκυνσιομέτρων για τα δοκίμια B2, B6 και B14 εμφάνισαν σημαντική απόκλιση. Το γεγονός αυτό, μπορεί να αποδοθεί σε τυχόν εκκεντρότητες της φόρτισης, αλλά πιθανότερα αποδίδεται σε ενδεχόμενη ανομοιομορφία που παρουσιάζει το υλικό στο εσωτερικό του.

Λόγω εσφαλμένης εκτίμησης του χειριστή της μηχανής τα δοκίμια υποβλήθηκαν σε θλίψη έως της τιμής 21.98 kN, με αποτέλεσμα μόνο δύο, από τα έξι συνολικά δοκίμια που υποβλήθηκαν σε μονοαξονική θλίψη, να σπάσουν.

Το φορτίο θραύσης, η τιμή της αντοχής και το μέτρο ελαστικότητας για τους δύο κυλίνδρους που φορτίστηκαν έως τη θραύση τους δίνονται στο Πίνακα 4.1 που ακολουθεί:

Πίνακας 4.1 Στοιχεία για τους κυλίνδρους που έσπασαν

Κύλινδροι	Μίγμα με :	Φορτίο θραύσης P _{max} (kN)	Αντοχή f (MPa)	Μέτρο ελαστικότητας E _s (MPa)
B13	1%τσιμέντο, 3%γαλάκτωμα	10,25	1.306	1132
B14	1%τσιμέντο, 3%γαλάκτωμα	10,31	1.313	1182

Αντίθετα τα δοκίμια που δεν φορτίστηκαν έως τη θραύση τους δίνονται στο Πίνακα 4.2

Πίνακας 4.2 Στοιχεία κυλίνδρων που δεν έσπασαν

Κύλινδροι	Μίγμα με :	Φορτίο θραύσης P _{max} (kN)	Αντοχή f (MPa)	Μέτρο ελαστικότητας E _s (MPa)
B1	2%τσιμέντο, 4%γαλάκτωμα	-	-	-
B2	2%τσιμέντο, 4%γαλάκτωμα	-	-	-
B13	1%τσιμέντο, 3%γαλάκτωμα	-	-	-
B14	1%τσιμέντο, 3%γαλάκτωμα	-	-	-

5 ΑΝΤΙΔΙΑΜΕΤΡΙΚΗ ΘΛΙΨΗ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

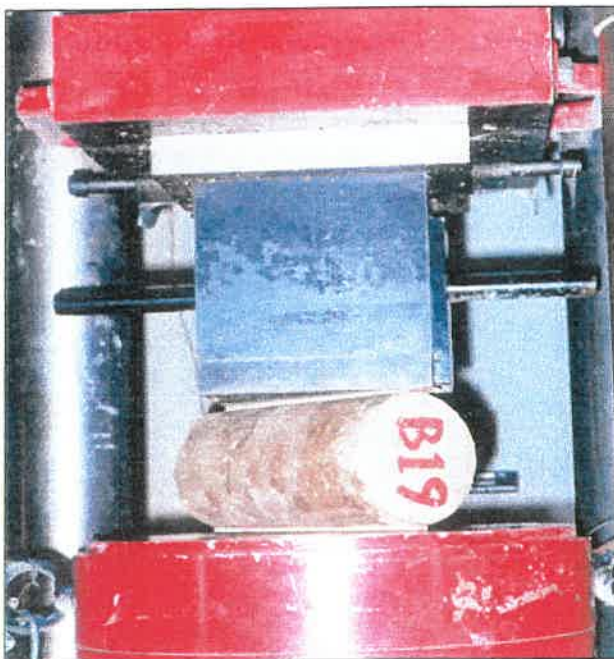
• Γενικά

Με τη δοκιμή της αντιδιαμετρικής θλίψεως (splitting test ή Brazilian test) σε κυλινδρικά δοκίμια ασφαλτομίγματος, εκτιμάται η αντοχή θραύσεως σε εφελκυσμό του ασφαλτομίγματος.

Ως μηχανή δοκιμής χρησιμοποιήθηκε η μηχανή θραύσης TONI PACT 3000 (Εικόνα 5.1).



Εικόνα 5.1 Μηχανή θραύσης TONI PACT 3000



Εικόνα 5.2 Αντιδιαμετρική θλίψη κυλίνδρου

Τα δοκίμια παραμένουν για 24 ώρες σε ψυγείο σε θερμοκρασία 5° C.

Η τοποθέτηση των δοκιμίων στη μηχανή φορτίσεως γίνεται έτσι ώστε το επιβαλλόμενο φορτίο να ασκείται σε δυο αντιδιαμετρικές γενέτειρες του δοκιμίου και κατά το ίδιο αξονικό επίπεδο.

Για κάθε δοκίμιο χρησιμοποιούνται ακόμα δύο πρισματικές ράβδοι από χαρντιμπορντ πλάτους 15 mm με μήκος ίσο, ή ελαφρώς μεγαλύτερο, από το μήκος των δοκιμίων. Οι ράβδοι αυτές τοποθετούνται μεταξύ των δοκιμίων και των πλακών (άνω και κάτω) της μηχανής φορτίσεως (Εικόνα 5.2).

Το δοκίμιο τοποθετείται στις πλάκες της μηχανής φόρτισης μαζί με τις δύο πρισματικές ράβδους, έτσι ώστε το αξονικό επίπεδο φορτίσεως του δοκιμίου να συμπίπτει με το αξονικό επίπεδο φορτίσεως της μηχανής δοκιμής.

Το φορτίο επιβάλλεται ομαλά, συνεχώς και με σταθερή ταχύτητα ίση με 0,58 kN/sec.

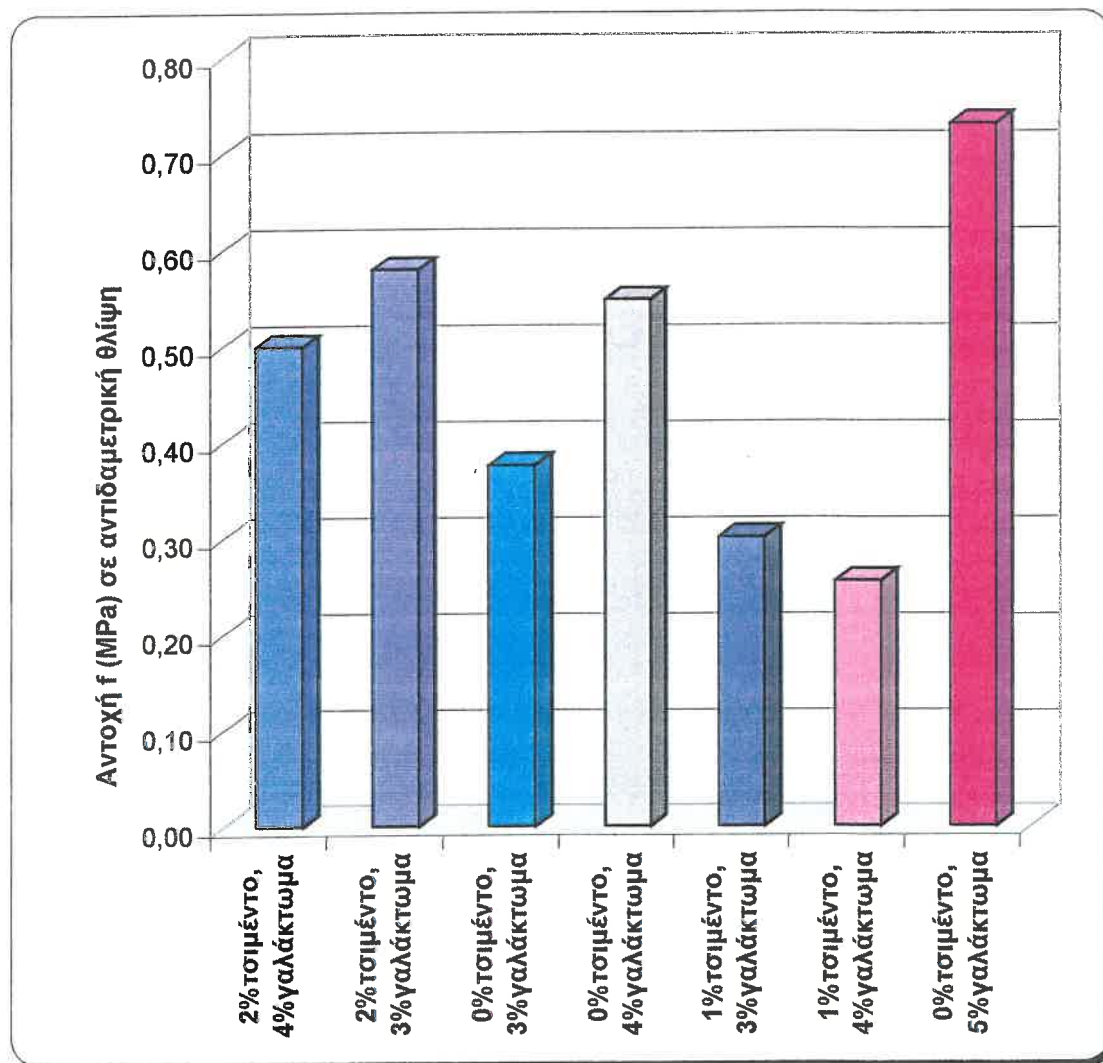
Στο τέλος της δοκιμής καταγράφεται το μέγιστο φορτίο θραύσεως και στη συνέχεια εκτιμάται η τάση θραύσεως από εφελκυσμό με αντιδιαμετρική θλίψη, από την επόμενη σχέση :

$\sigma_s = 2P_\theta / \pi * L * d$ όπου L είναι το μήκος του δοκιμίου ($L = 20\text{cm}$), d η διάμετρος του ($d = 10\text{cm}$) και P_θ το φορτίο θραύσεως.

5.1 ΑΝΤΟΧΗ f ΤΩΝ ΚΥΛΙΝΔΡΩΝ ΣΕ ΑΝΤΙΔΙΑΜΕΤΡΙΚΗ ΘΛΙΨΗ

Στο Σχήμα 5.1 δίνονται οι τιμές της αντοχής f των κυλίνδρων που υποβλήθηκαν σε αντιδιαμετρική θλίψη.

Οι τιμές αυτές προέκυψαν ως ο μέσος όρος δύο δοκιμών του ίδιου μίγματος (αναλυτικά όλες οι τιμές δίνονται στο παράρτημα στο Πίνακα Ι7).



Σχήμα 5.1 Τιμές της αντοχής f (MPa) των κυλίνδρων σε αντιδιαμετρική θλίψη

6 ΘΛΙΨΗ ΠΡΙΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΣΕ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΒΟ

• Γενικά

Με τη δοκιμή της θλίψης των πρισματικών δοκιμίων σε ισοδύναμο κύβο παρέχεται η δυνατότητα εκτίμησης της αντοχής σε θλίψη του υλικού.

Τα πρισματικά τεμάχια που προέκυψαν μετά τη δοκιμή σε κάμψη χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση της αντοχής και του μέτρου ελαστικότητας σε θλίψη του υλικού. Έτσι από το:

- ο το πρώτο εκτιμήθηκε η κυβική αντοχή με τη δοκιμή ισοδύναμου κύβου
- ο το δεύτερο προσδιορίστηκε η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη και το μέτρο ελαστικότητας σε θλίψη. Για το σκοπό αυτό έγινε κατάλληλη απίσωση της ανώμαλης επιφάνειας θραύσης του τεμαχίου έτσι ώστε να προκύψει πρισματικό δοκίμιο διαστάσεων 100mm*100mm*200mm

Τα πρίσματα παρέμειναν σε θερμοκρασία δωματίου (25°C) έως τη θραύση αυτών.

Η μηχανή δοκιμής που χρησιμοποιήθηκε ήταν, όπως και στην περίπτωση της αντιδιαμετρικής θλίψης των κυλίνδρων, η μηχανή θραύσης TONI PACT 3000 (Εικόνα 6.1).



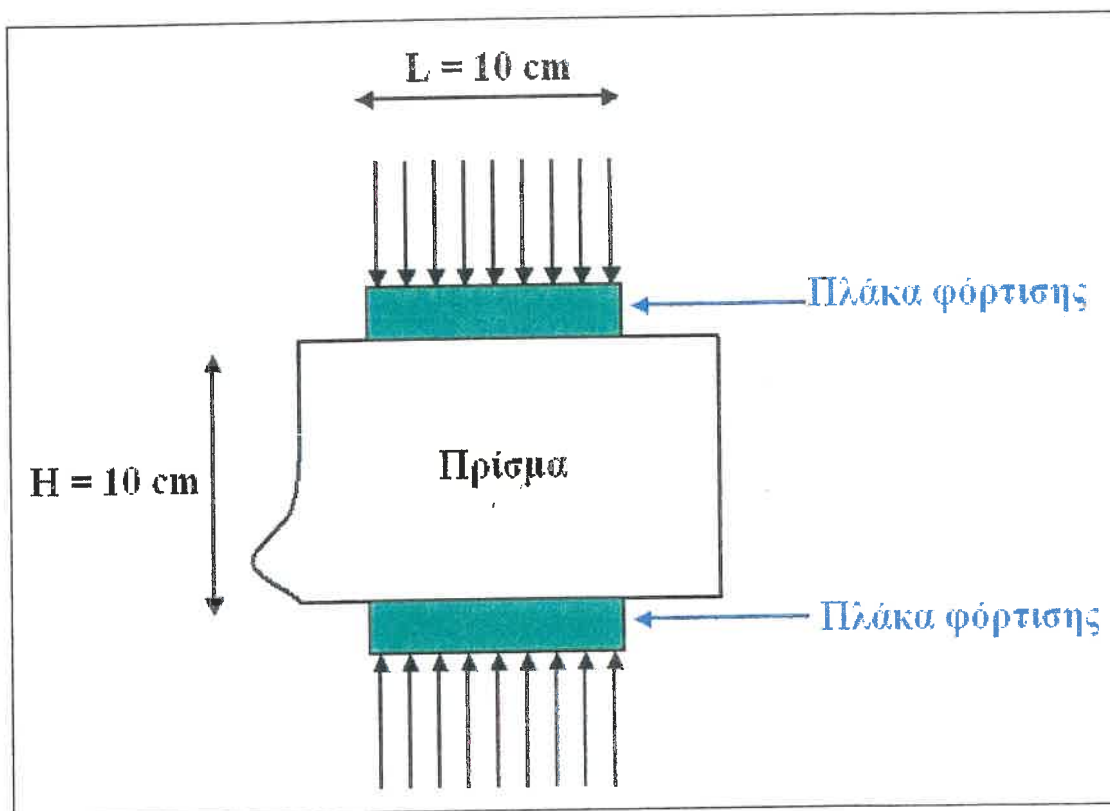
Εικόνα 6.1 Θλίψη πρίσματος σε ισοδύναμο κύβο

Αξίζει να αναφερθεί ότι η αντοχή σε θλίψη ενός ψαθυρού υλικού, επηρεάζεται εξαιρετικά από τη μορφή και τις διαστάσεις του δοκιμίου. Σημαντικό ρόλο για την εξάρτηση της αντοχής από τις διαστάσεις, παίζει το γεγονός ότι κατά την επιβολή των θλιπτικών φορτίων υπεισέρχονται αναπόφευκτα και δυνάμεις τριβής, στις επιφάνειες επαφής των πλακών φορτίσεως με το δοκίμιο. [5]

Στην περίπτωση της φόρτισης σε ισοδύναμο κύβο χρησιμοποιούνται πλάκες από μέταλλο μεγάλης αντοχής σε θλίψη, επίπεδες και καλά λειασμένες πλάτους 10 cm (Σχήμα 6.1).

Το φορτίο επιβάλλεται ομαλά, συνεχώς και με σταθερή ταχύτητα ίση με 0,58 kN/s.

Στο τέλος της δοκιμής καταγράφεται το μέγιστο φορτίο θραύσεως και στη συνέχεια εκτιμάται η τάση θραύσεως σ_s (αντοχή f_{ec}) από το τύπο $\sigma_s = P_{\theta} / S$ όπου P_{θ} το φορτίο θραύσεως και S το εμβαδόν της διατομής του δοκιμίου ($S = 10\text{cm} \times 10\text{cm}$) που βρίσκεται κάτω από τις πλάκες φόρτισης.

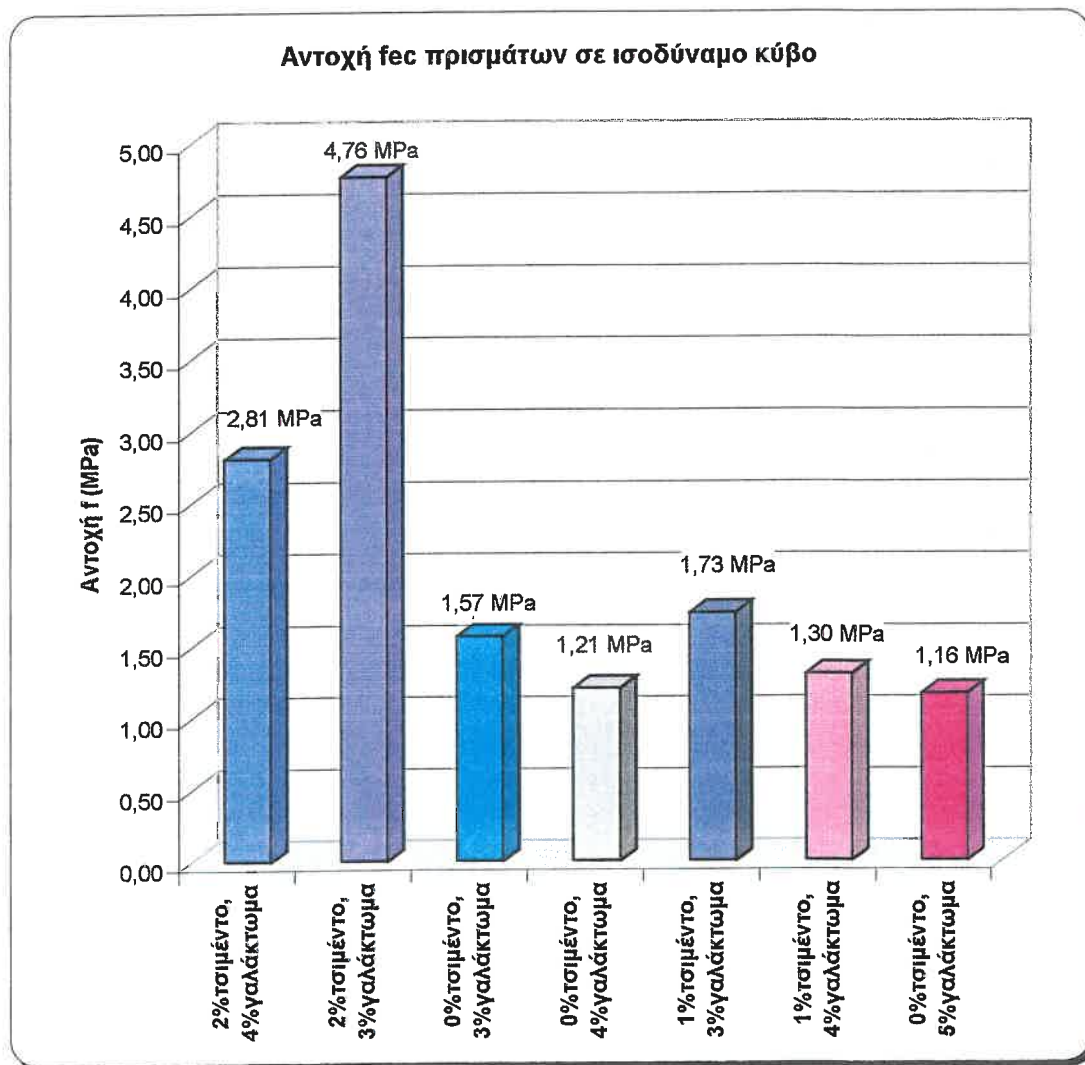


Σχήμα 6.1 Σχηματική διάταξη θλίψης των πρισμάτων σε ισοδύναμο κύβο

6.1 ΑΝΤΟΧΗ f_{ec} ΤΩΝ ΠΡΙΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ ΚΥΒΟΥ

Στο Σχήμα 6.2 δίνονται οι τιμές της αντοχής f των πρισμάτων που υποβλήθηκαν σε θλίψη ισοδύναμου κύβου.

Οι τιμές αυτές προέκυψαν ως ο μέσος όρος των τιμών τριών δοκιμών του ίδιου μίγματος (αναλυτικά όλες οι τιμές δίνονται στο παράρτημα στο Πίνακα Ι8).



Σχήμα 6.2 Τιμές της αντοχής f_{ec} (MPa) των πρισμάτων σε θλίψη ισοδύναμου κύβου

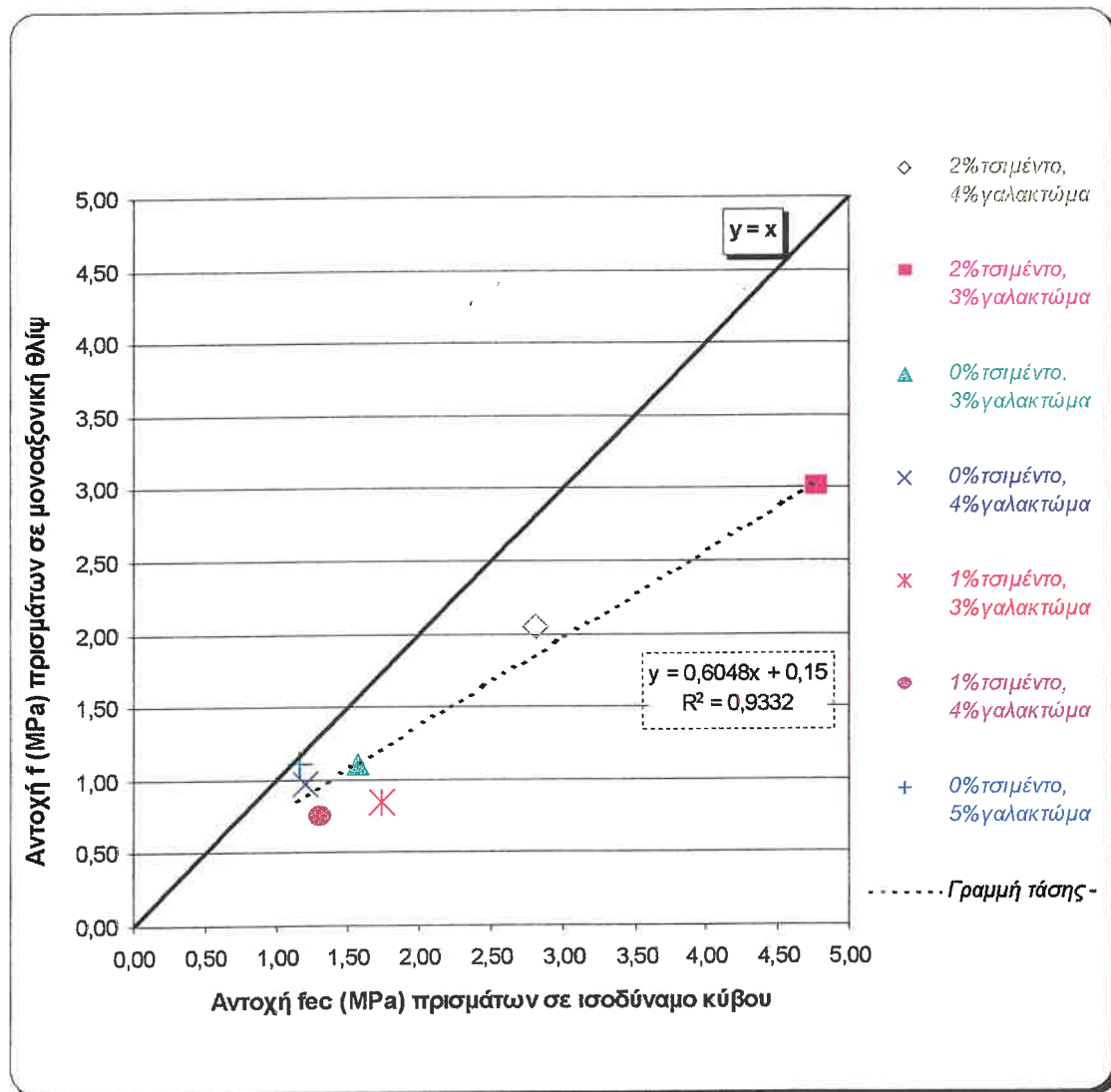
6.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΙΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ ΚΥΒΟΥ ΚΑΙ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ

Συγκρίνονται οι τιμές της αντοχής των πρισμάτων σε μονοαξονική θλίψη με τις αντίστοιχες τιμές της αντοχής των πρισμάτων σε θλίψη ισοδύναμου κύβου. (Σχήμα 6.3)

Παρατηρείται ότι, οι τιμές της αντοχής σε θλίψη ισοδύναμου κύβου είναι μεγαλύτερες των αντίστοιχων σε μονοαξονική θλίψη.

Συγκεκριμένα ο λόγος της αντοχής $f_{\text{ισοδύναμου κύβου}} / f_{\text{μονοαξονική θλίψη}}$ κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών $1,03 < f_{\text{ισοδύναμου κύβου}} / f_{\text{μονοαξονική θλίψη}} < 2,03$. Αναλυτικά έχουμε :

- Μίγμα με 2%τσιμέντο και 4%γαλάκτωμα $f_{\text{ec}}/f = 1.37$
- Μίγμα με 2%τσιμέντο και 3%γαλάκτωμα $f_{\text{ec}}/f = 1.59$
- Μίγμα με 0%τσιμέντο και 3%γαλάκτωμα $f_{\text{ec}}/f = 1.41$
- Μίγμα με 0%τσιμέντο και 4%γαλάκτωμα $f_{\text{ec}}/f = 1.24$
- Μίγμα με 1%τσιμέντο και 3%γαλάκτωμα $f_{\text{ec}}/f = 2.03$
- Μίγμα με 1%τσιμέντο και 4%γαλάκτωμα $f_{\text{ec}}/f = 1.74$
- Μίγμα με 1%τσιμέντο και 4%γαλάκτωμα $f_{\text{ec}}/f = 1.05$



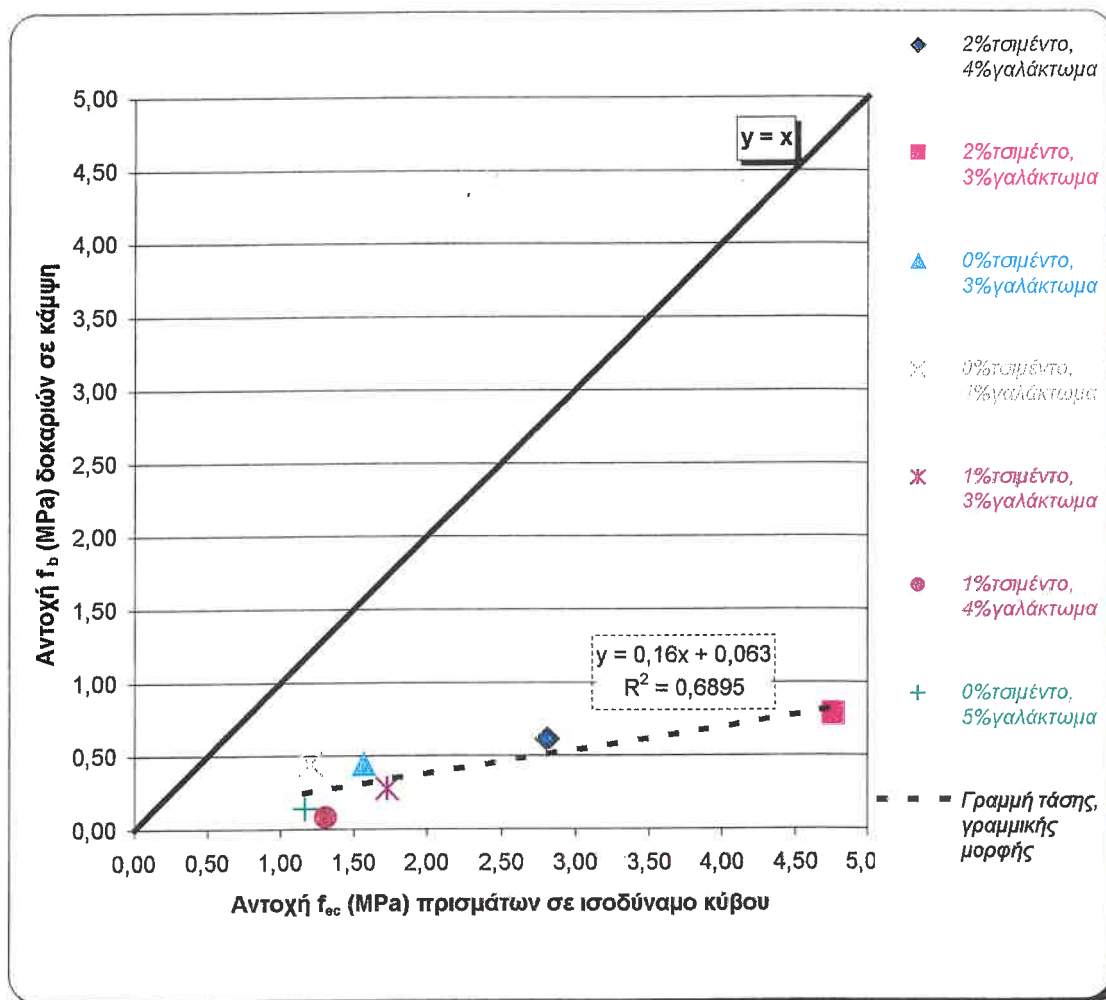
Σχήμα 6.3 Σύγκριση αντοχής f ισοδύναμου κύβου – αντοχής f σε μονοαξονική θλίψη

6.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΙΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ ΚΥΒΟΥ ΚΑΙ ΚΑΜΨΗ

Συγκρίνονται οι τιμές της αντοχής των πρισμάτων σε μονοαξονική θλίψη με τις αντίστοιχες τιμές της αντοχής των πρισμάτων σε κάμψη (Σχήμα 6.4).

Ο λόγος της αντοχής f ισοδύναμου κύβου / f κάμψης κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών $2,70 < f_{\text{ισοδύναμου κύβου}} / f_{\text{μονοαξονική θλίψη}} < 16,72$ Αναλυτικά έχουμε :

- ο Μίγμα με 2%τσιμέντο και 4%γαλάκτωμα $f_{ec}/f = 4,61$
- ο Μίγμα με 2%τσιμέντο και 3%γαλάκτωμα $f_{ec}/f = 6,09$
- ο Μίγμα με 0%τσιμέντο και 3%γαλάκτωμα $f_{ec}/f = 3,55$
- ο Μίγμα με 0%τσιμέντο και 4%γαλάκτωμα $f_{ec}/f = 2,70$
- ο Μίγμα με 1%τσιμέντο και 3%γαλάκτωμα $f_{ec}/f = 6,26$
- ο Μίγμα με 1%τσιμέντο και 4%γαλάκτωμα $f_{ec}/f = 16,72$
- ο Μίγμα με 1%τσιμέντο και 4%γαλάκτωμα $f_{ec}/f = 8,69$



Σχήμα 6.4 Σύγκριση f_{bending} (κάμψης) με $f_{\text{equal cube}}$ (ισοδύναμο κύβο)

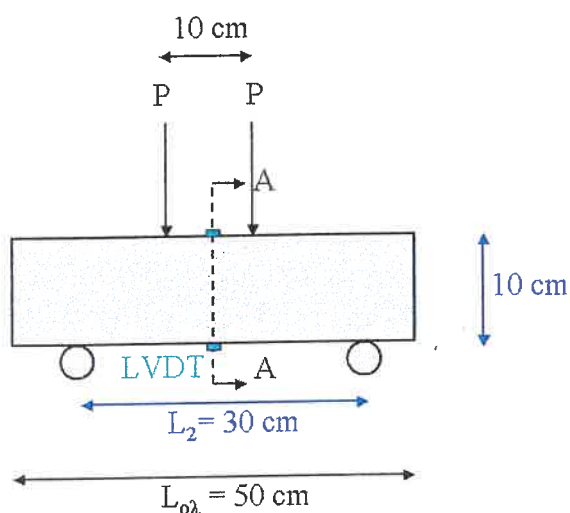
7 ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ

• Γενικά

Με τη δοκιμή κάμψης (bending test), ελέγχεται η συμπεριφορά του υλικού, όταν πρισματικό δοκίμιο από το υλικό αυτό καταπονείται από εγκάρσια φορτία κάθετα στο διαμήκη άξονα του δοκιμίου.

Υπενθυμίζεται ότι, παρασκευάστηκαν τρία δοκάρια διαστάσεων $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 500\text{mm}$ (ύψος, πλάτος και μήκος) για κάθε ένα από τα επτά συνολικά μίγματα που είχαμε.

Ως μηχανή δοκιμής χρησιμοποιήθηκε -όπως και στη θλίψη- η μηχανή M.T.S (Material Test System) του Ε.Μ.Π, ικανή να επιβάλλει στατική ή δυναμική φόρτιση.

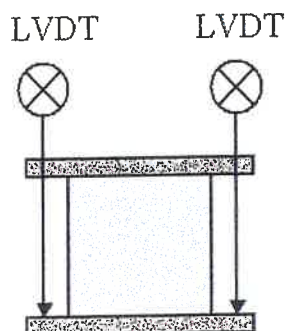


Σχήμα 7.1 Διάταξη φόρτισης της δοκού

Η φόρτιση γίνεται με δύο ίσα συγκεντρωμένα φορτία σε αποστάσεις $L/3$ από τα σημεία στήριξης της δοκού έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η καθαρή κάμψη στο κεντρικό τμήμα της δοκού (Σχήμα 7.1).

Στο Σχήμα 7.1 φαίνεται ο τρόπος στήριξης της δοκού με τη βοήθεια δύο κυκλικά περιστρεφόμενων κυλινδρικών εφεδράνων τοποθετημένων σε απόσταση $L_2=30\text{cm}$, τα σημεία επιβολής του φορτίου P καθώς και οι θέσεις των μηχανισιόμετρων (LVDT).

ΤΟΜΗ Α-Α



Τρόπος στήριξης των μηχανισιόμετρων

Τα δύο μηχανισιόμετρα τύπου LVDT (Linear Variable Differential Transformer) είναι προσαρμοσμένα σε αντιδιαμετρικές θέσεις στην εφελκύμενη περιοχή της δοκού, με τη βοήθεια ειδικής γέφυρας (Σχήμα 7.2), προκειμένου να μετρηθεί το βέλος κάμψης της δοκού.

Σχήμα 7.2 Τομή Α-Α

7.1 ΣΤΑΤΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Το πρώτο από τα τρία δοκάρια κάθε μίγματος υποβάλλεται σε στατική φόρτιση έως τη θραύση του.

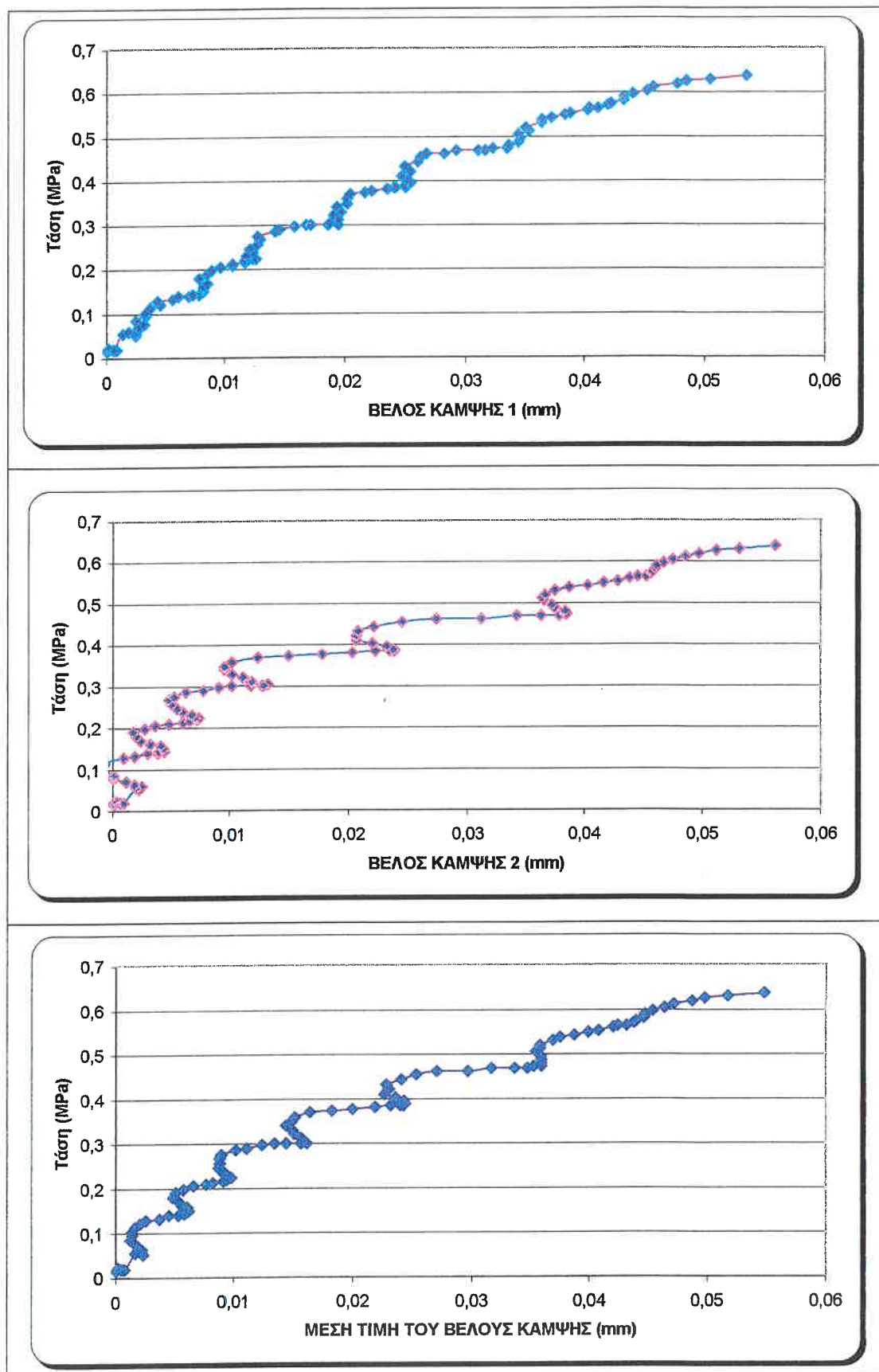
Το φορτίο επιβάλλεται ομαλά, συνεχώς και με σταθερή ταχύτητα ίση με 0,20 kN/s, ενώ ταυτόχρονα η μηχανή M.T.S καταγράφει τις τιμές του επιβαλλόμενου φορτίου και τις αντίστοιχες ενδείξεις των δύο μηχανοσυστημάτων.

Τα άλλα δυο δοκίμια από το ίδιο μίγμα αρχικά φορτίζονται δυναμικά (όπως περιγράφεται αναλυτικά στη παράγραφο §7.2 της δυναμικής φόρτισης) και έπειτα φορτίζονται στατικά με τον ίδιο ρυθμό φόρτισης όπως και πριν (δηλαδή ίσο με 0.20 kN/s).

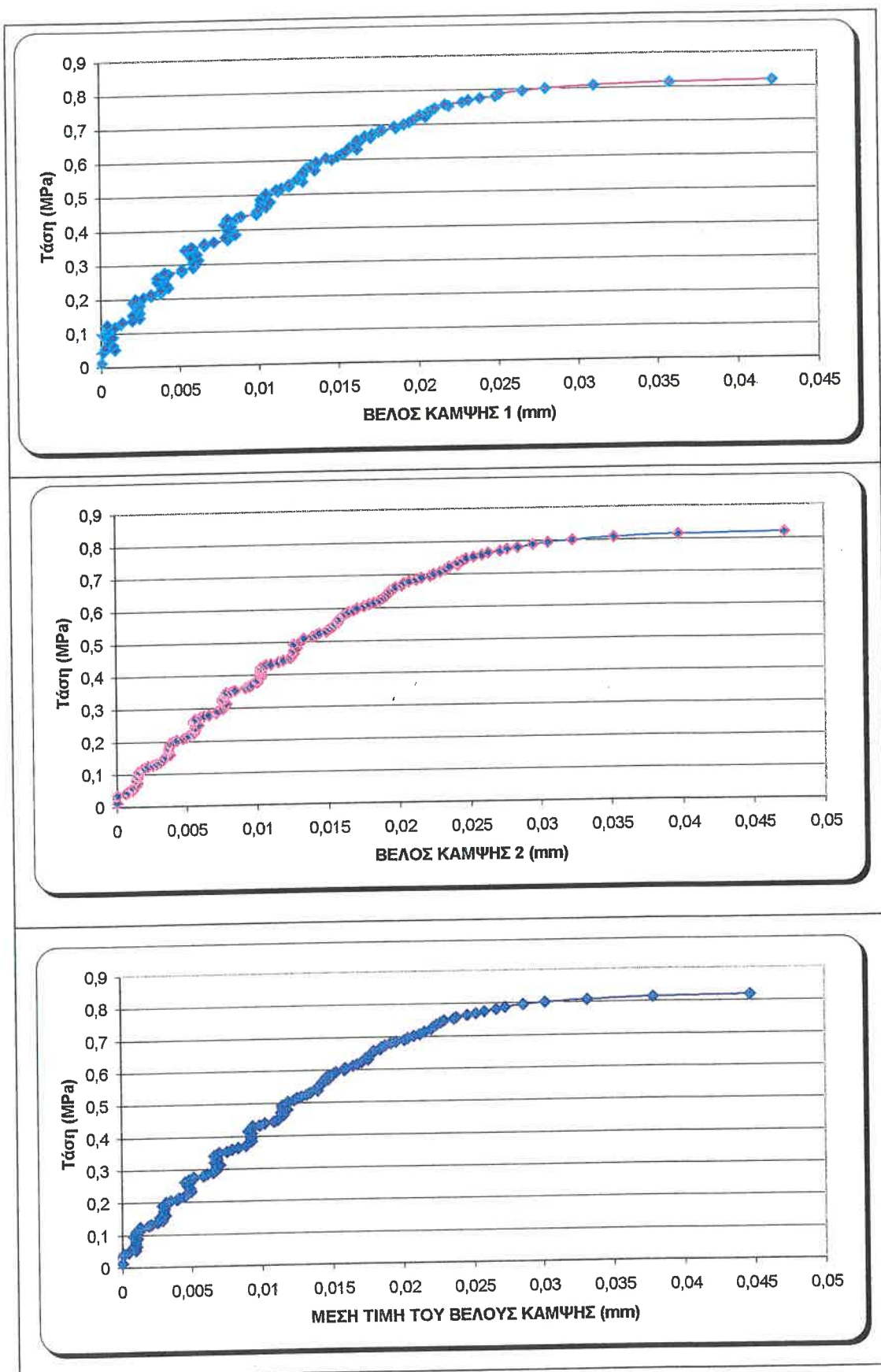
Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων της στατικής φόρτισης, προκύπτουν τα διαγράμματα τάσης-βέλους κάμψης των δοκιμίων για κάθε ένα από τα δύο ηλεκτρομηχανοσυστήματα χωριστά, αλλά και για τον μέσο όρο αυτών.

Στα Σχήματα 7.3 έως και 7.9 που ακολουθούν δίνονται τα διαγράμματα τάσης-βέλους κάμψης των δοκιμίων (ενδεικτικά ένα από κάθε μίγμα, ενώ τα υπόλοιπα παρατίθενται στο παράρτημα -Σχήματα Ι.1 έως και Ι.9-).

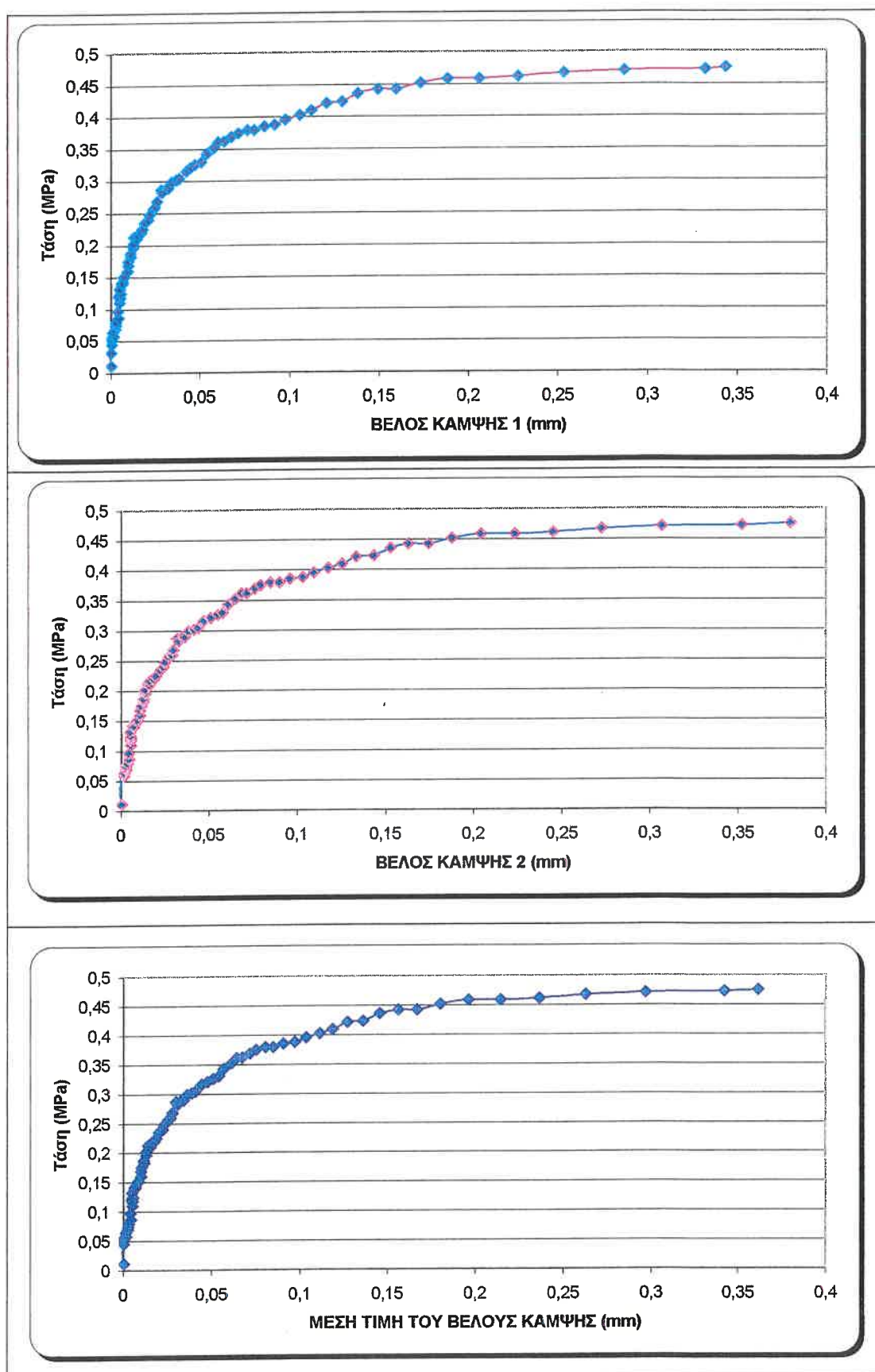
Λόγω κακής λειτουργίας της γέφυρας στήριξης των μηχανοσυστημάτων τα διαγράμματα τάσης-βέλους κάμψης εμφάνισαν θόρυβο.



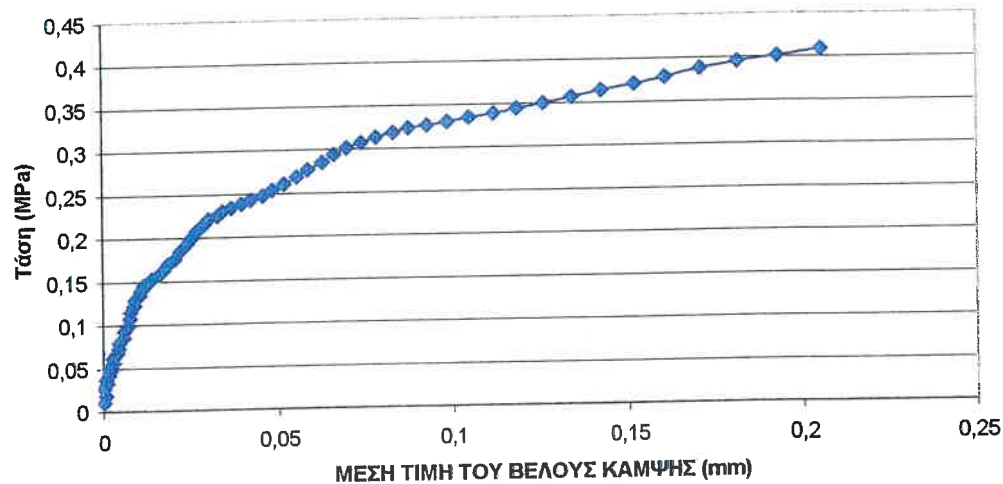
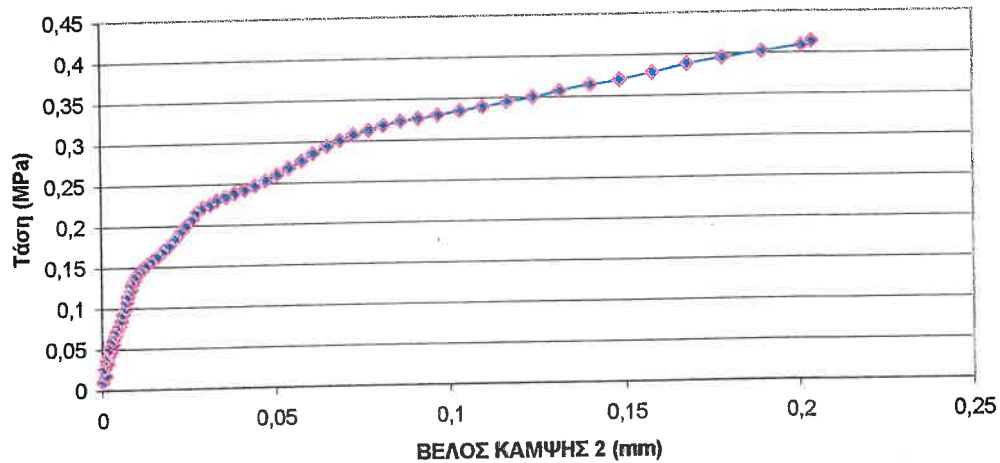
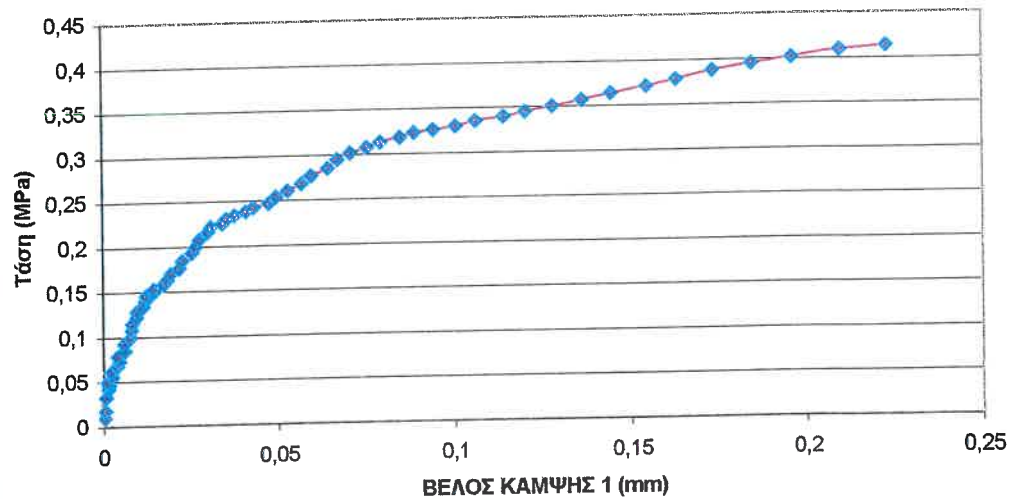
Σχήμα 7.3 Διαγράμματα τάσης - βέλους κάμψης του δοκιμίου B1 (μίγμα 2% τσιμέντο, 4% γαλάκτωμα)



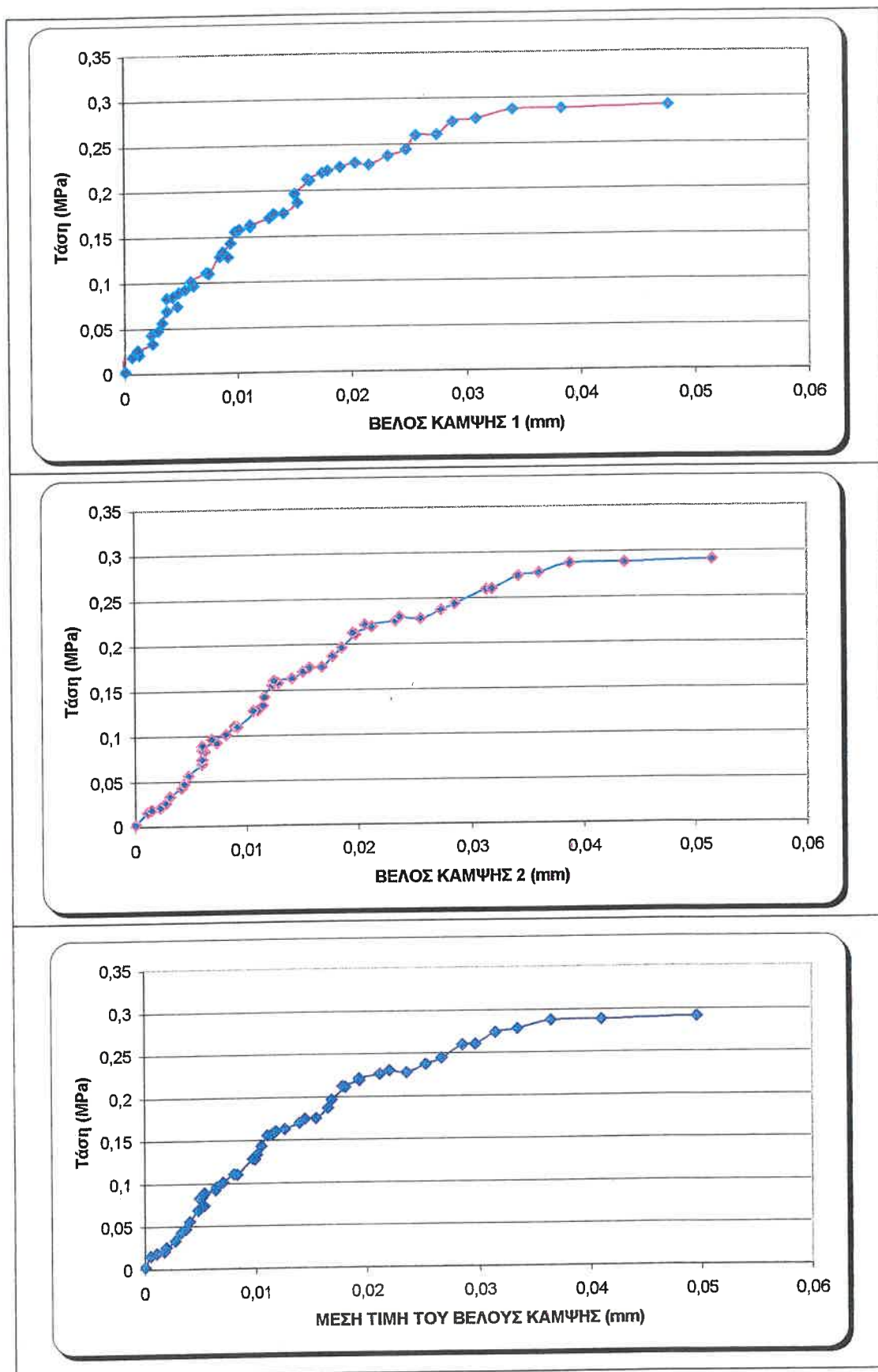
Σχήμα 7.4 Διαγράμματα τάσης - βέλους κάμψης του δοκιμίου B4 (μίγμα 2% τσιμέντο, 3% γαλάκτωμα)



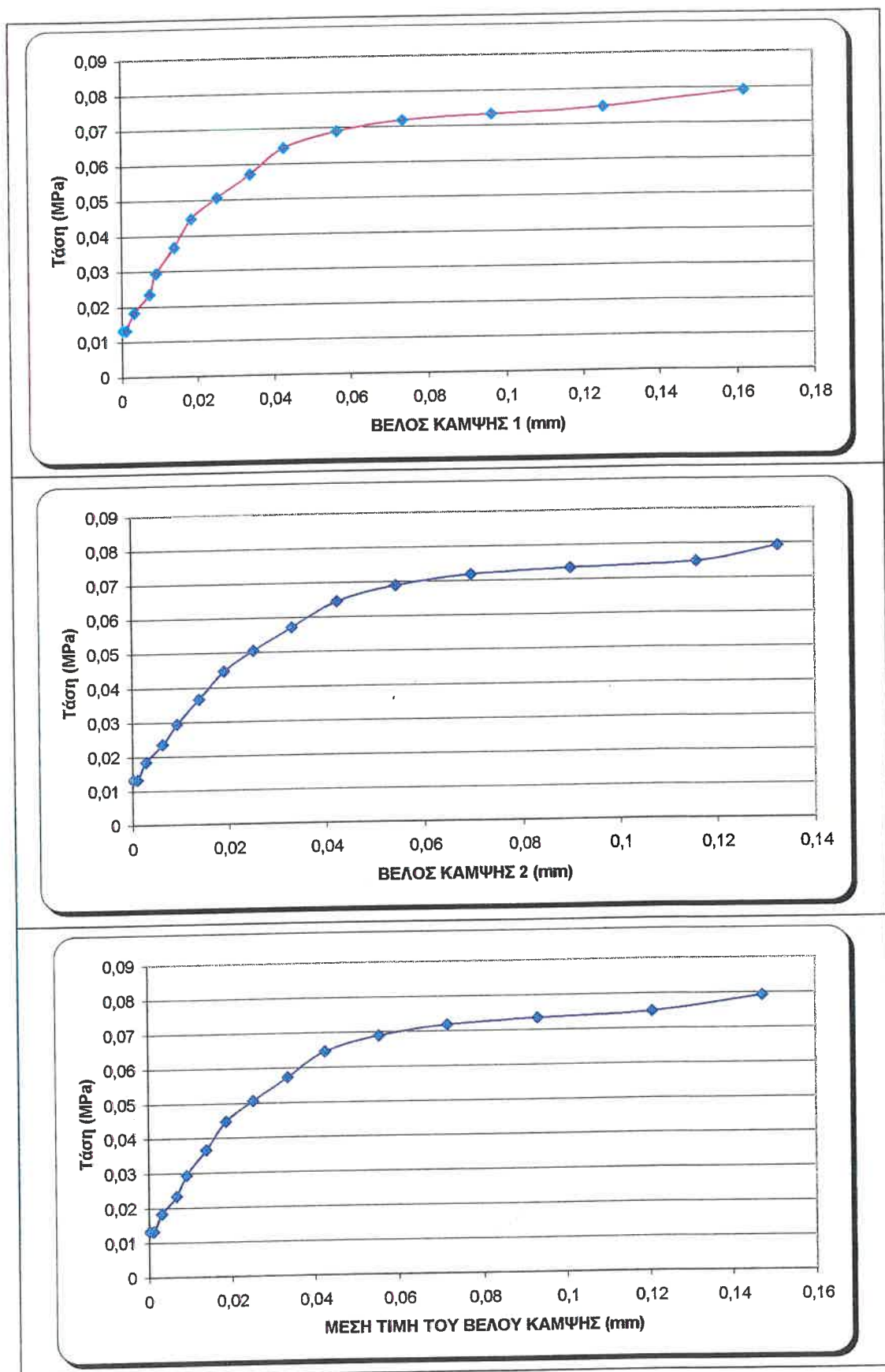
Σχήμα 7.5 Διαγράμματα τάσης - βέλους κάμψης του δοκιμίου B9 (μίγμα 0% τσιμέντο, 3% γαλάκτωμα)



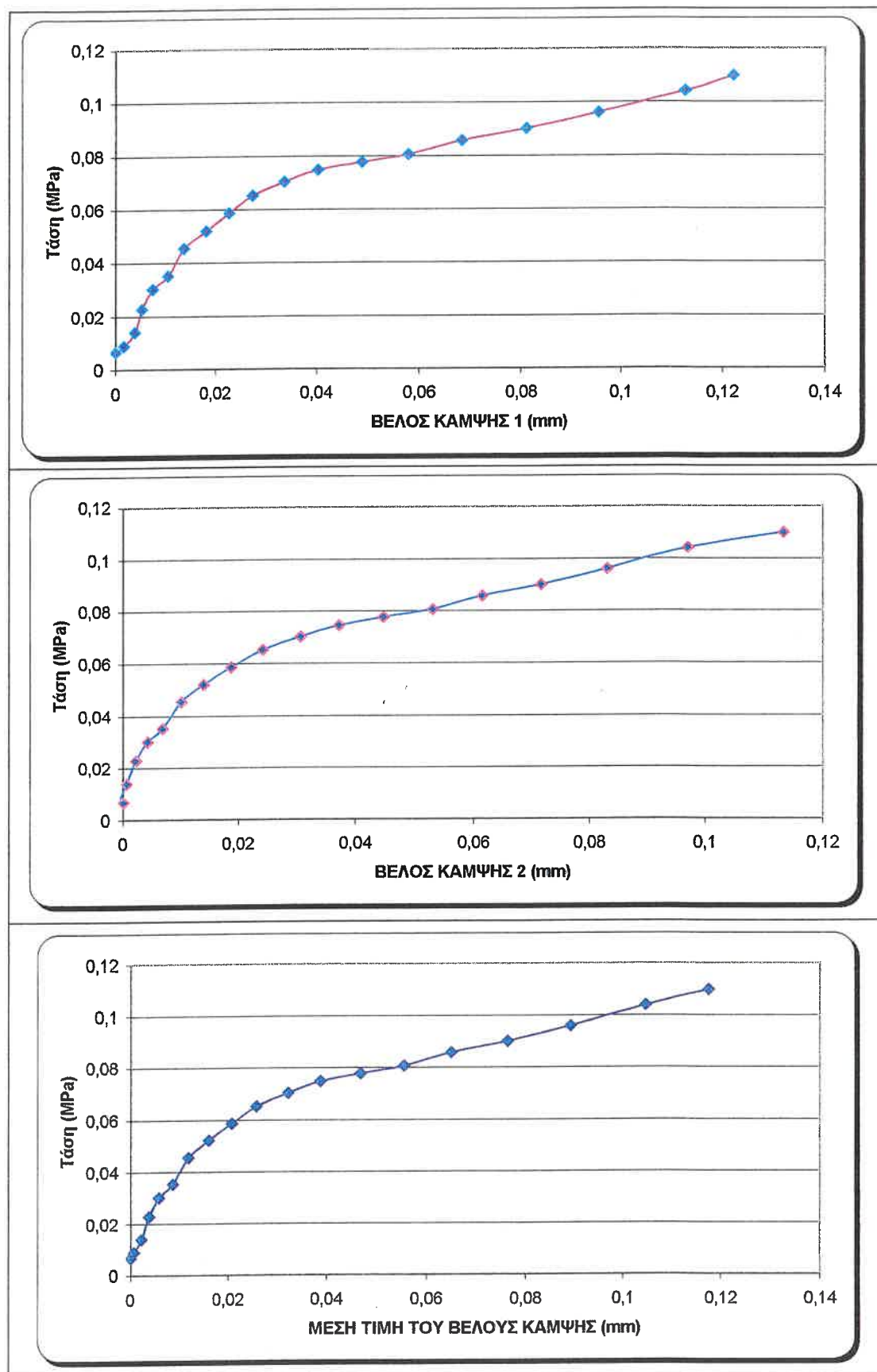
Σχήμα 7.6 Διαγράμματα τάσης - βέλους κάμψης του δοκιμίου B10 (μίγμα 0% τσιμέντο, 4% γαλάκτωμα)



Σχήμα 7.7 Διαγράμματα τάσης - βέλους κάμψης του δοκιμίου B14 (μίγμα 1% τσιμέντο, 3% γαλάκτωμα)



Σχήμα 7.8 Διαγράμματα τάσης - βέλους κάμψης του δοκιμίου B17 (μίγμα 1% τσιμέντο, 4% γαλάκτωμα)

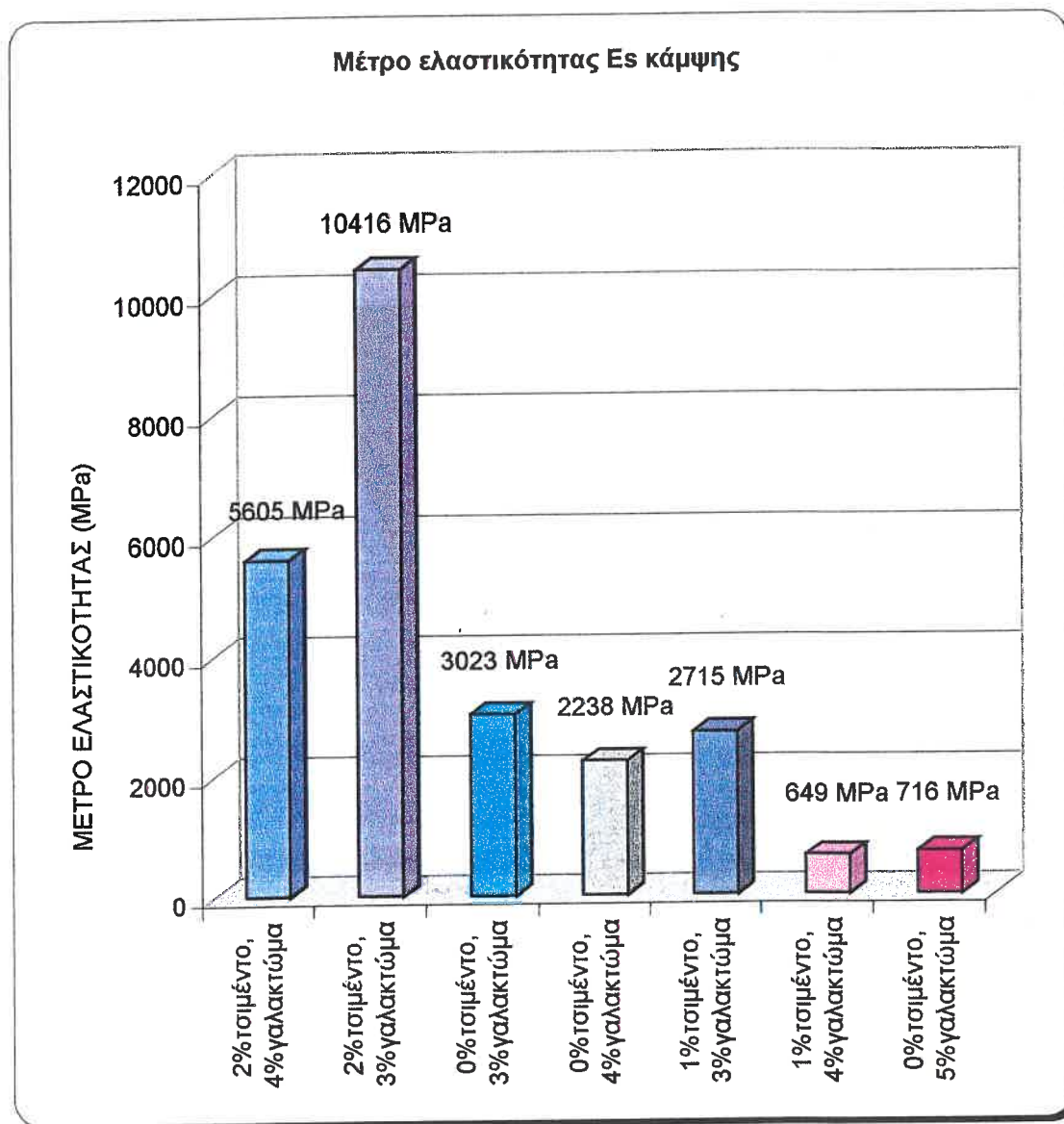


Σχήμα 7.9 Διαγράμματα τάσης - βέλους κάμψης του δοκιμίου B19 (μίγμα 0% τσιμέντο, 5% γαλάκτωμα)

7.1.1 Μέτρα ελαστικότητας Es σε κάμψη

Η τιμή του μέτρου ελαστικότητας σε κάμψη για κάθε ένα από τα επτά μίγματα προέκυψε ως ο μέσος όρος των τιμών του Es των δοκιμίων του ίδιου μίγματος.

Οι επιμέρους τιμές κάθε δοκαριού δίνονται στο Πίνακα Ι9 του παραρτήματος.



Σχήμα 7.10 Σύγκριση των μέσων τιμών του μέτρου ελαστικότητας σε κάμψη για όλα τα μίγματα που εξετάστηκαν

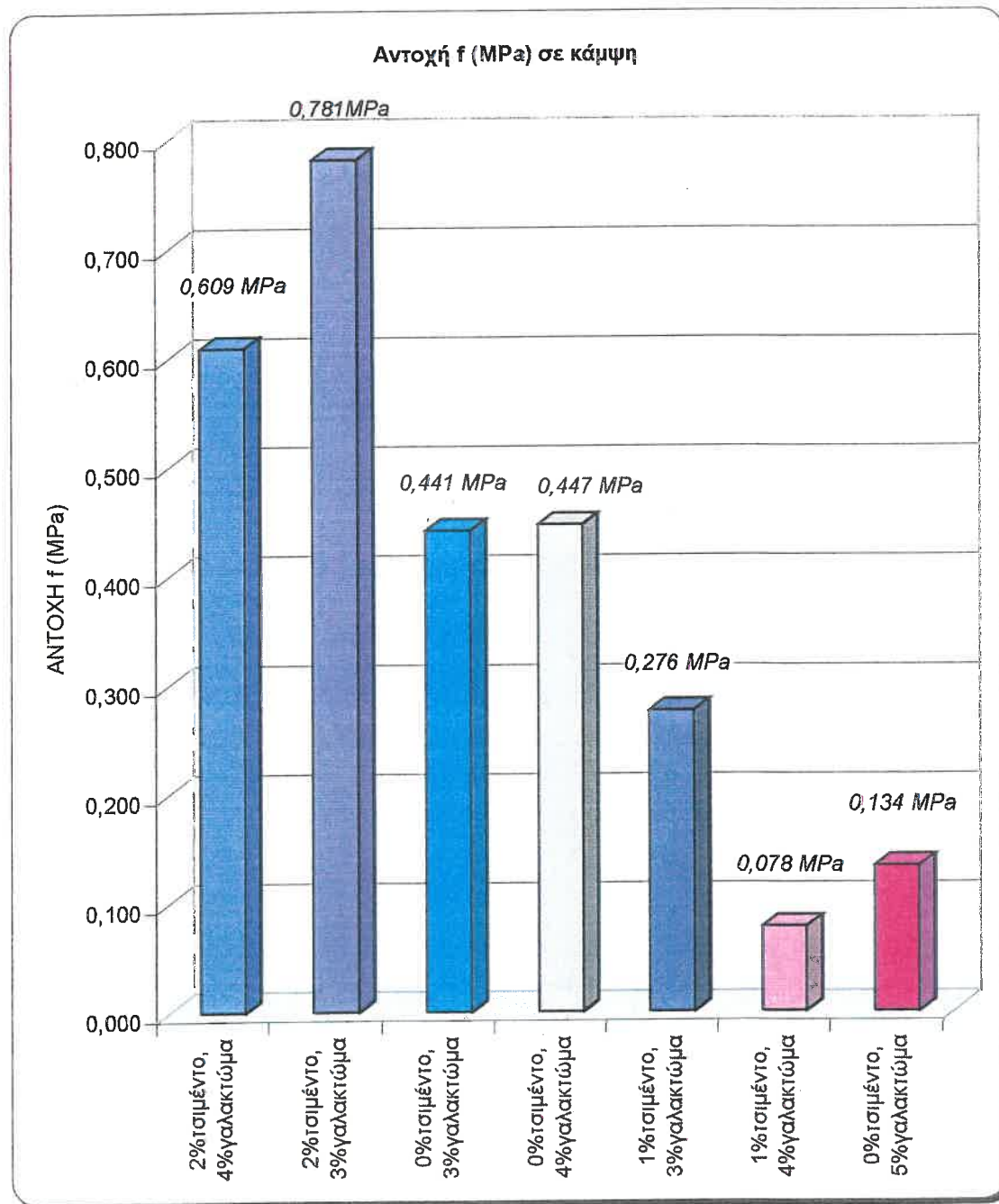
Η επίδραση του ποσοστού τσιμέντου στο μέτρο ελαστικότητας Es σε κάμψη σχολιάζεται στη παράγραφο § 7.2.7 μαζί με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της μεταβολής του μέτρου ελαστικότητας σε δυναμική φόρτιση.

Ομοίως στη παράγραφο § 7.2.8 παρατίθενται και τα αντίστοιχα αποτελέσματα της μεταβολής του μέτρου ελαστικότητας με το ποσοστό γαλακτώματος για σταθερές τιμές τσιμέντου.

7.1.2 Αντοχή f δοκιμίων σε κάμψη

Παρακάτω δίνεται (Σχήμα 7.11) η τιμή του μέτρου αντοχής σε κάμψη, για κάθε ένα από τα επτά μίγματα, που προέκυψε από το μέσο όρο των τιμών της αντοχής των δοκιμίων του ίδιου μίγματος.

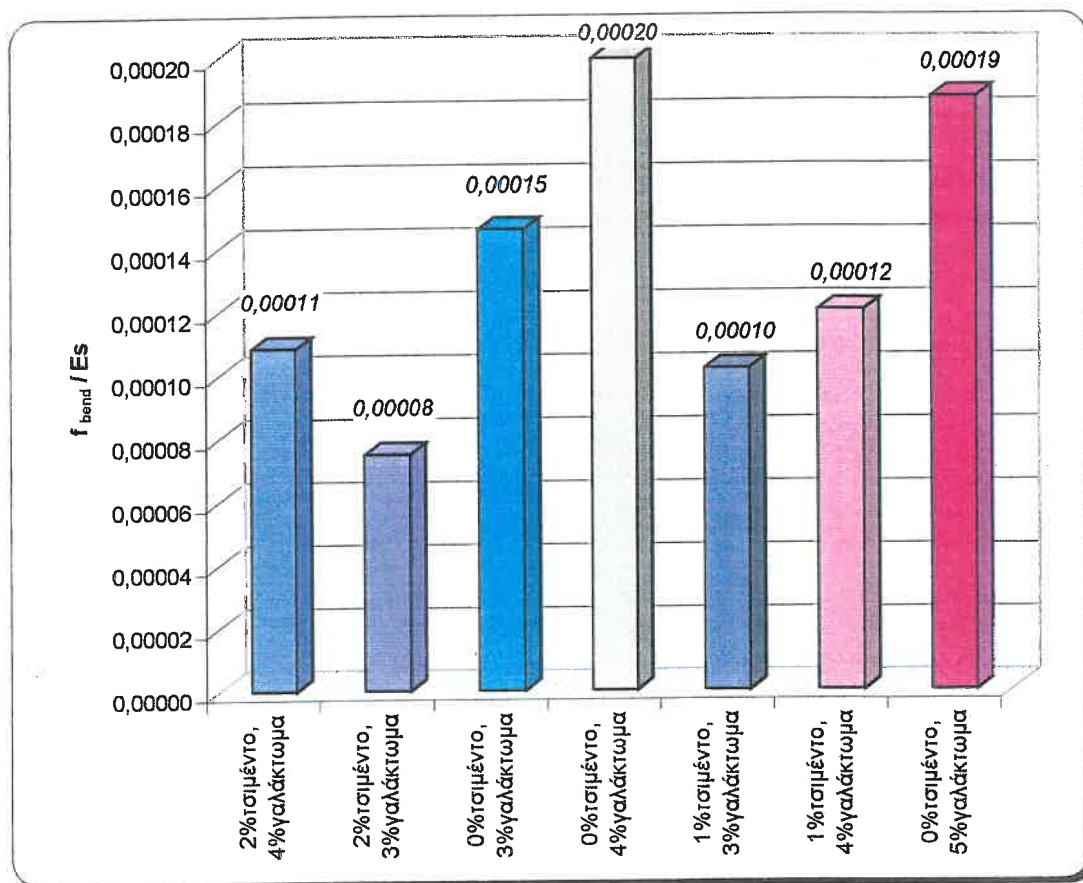
Οι επιμέρους τιμές του μέτρου της αντοχής κάθε δοκαριού δίνονται στο Πίνακα Ι9 του παραρτήματος.



Σχήμα 7.11 Σύγκριση των μέσων τιμών της αντοχής σε κάμψη για όλα τα μίγματα

7.1.3 Σύγκριση του λόγου αντοχής / μέτρου ελαστικότητας των διαφόρων μιγμάτων

Στο σχήμα 7.12 δίνεται ο λόγος f / E_s για τα επτά μίγματα που υποβλήθηκαν σε κάμψη έως θραύσης



Σχήμα 7.12 Τιμές του λόγου f_{bend} / E_s των διαφόρων μιγμάτων

Από έρευνες έχει διαπιστωθεί ότι όσο αυξάνει η τιμή του λόγου f / E_s η επιρρέπεια σε ρηγμάτωση του δοκιμίου ελαττώνεται

Παρατηρώντας το παραπάνω γράφημα προκύπτει ότι ο λόγος f / E_s είναι μικρότερος για τα μίγματα με σημαντικό ποσοστό τσιμέντου και μεγαλύτερος σε μίγματα με πολύ γαλάκτωμα και λίγο τσιμέντο.

Επομένως η επιρρέπεια σε ρηγμάτωση των μιγμάτων αυξάνει όσο αυξάνει το ποσοστό τσιμέντου, ιδιότητα που θα μπορούσε να ερμηνευτεί από το γεγονός ότι η αύξηση του τσιμέντου σε ένα μίγμα ελαττώνει τις επιτρεπόμενες παραμορφώσεις.

7.2 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

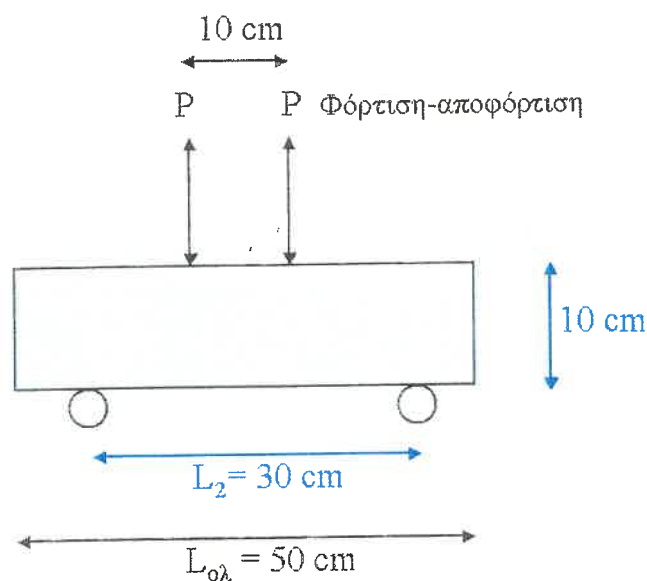
Γνωρίζοντας τη τιμή του φορτίου θραύσης P_{max} σε κάμψη του δοκαριού που υποβάλλαμε σε στατική φόρτιση, επιβάλλουμε τα άλλα δύο δοκάρια του ίδιου μίγματος σε επαναλαμβανόμενη φόρτιση-αποφόρτιση ημιτονοειδούς μορφής (δυναμική φόρτιση) με μέγιστη τιμή του φορτίου ίση με $P_{max}/3$, έτσι ώστε να βρισκόμαστε στην ελαστική περιοχή.

Η διάταξη της μηχανής επιβολής δυναμικής φόρτισης είναι η ίδια με την περίπτωση επιβολής στατικής φόρτισης (Σχήμα 7.13).

Η δυναμική φόρτιση των δοκιμών διαρκεί για 100 κύκλους με συχνότητα 1Hz (σε 1sec ολοκληρώνεται ένας πλήρης κύκλος φόρτισης-αποφόρτισης).

Το μηχάνημα καταγράφει τις αντίστοιχες τιμές φορτίου-βέλους κάμψης για τους κύκλους 0 έως 5, 47 έως 52 και 94 έως 100.

Στη περίπτωση της δυναμικής φόρτισης ο μέσος ρυθμός επιβολής του φορτίου ήταν αρκετά μεγαλύτερος του αντιστοίχου ρυθμού της στατικής (αναλυτικός υπολογισμός του δίνεται στη §7.2.4).



Σχήμα 7.13 Διάταξη επιβολής της δυναμικής φόρτισης

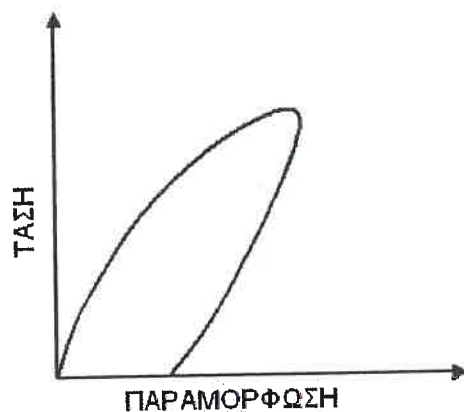
Η θερμοκρασία του χώρου τις ημέρες των δοκιμών κυμάνθηκε από 24 έως 26 °C.

Υπενθυμίζεται ότι μετά το 100-οστό κύκλο δυναμικής φόρτισης, τα δοκάρια φορτίζονται στατικά έως τη θραύση τους με ρυθμό επιβολής του φορτίου ίσο με 0.20kN/s..

7.2.1 Διαγράμματα τάσης – βέλους κάμψης

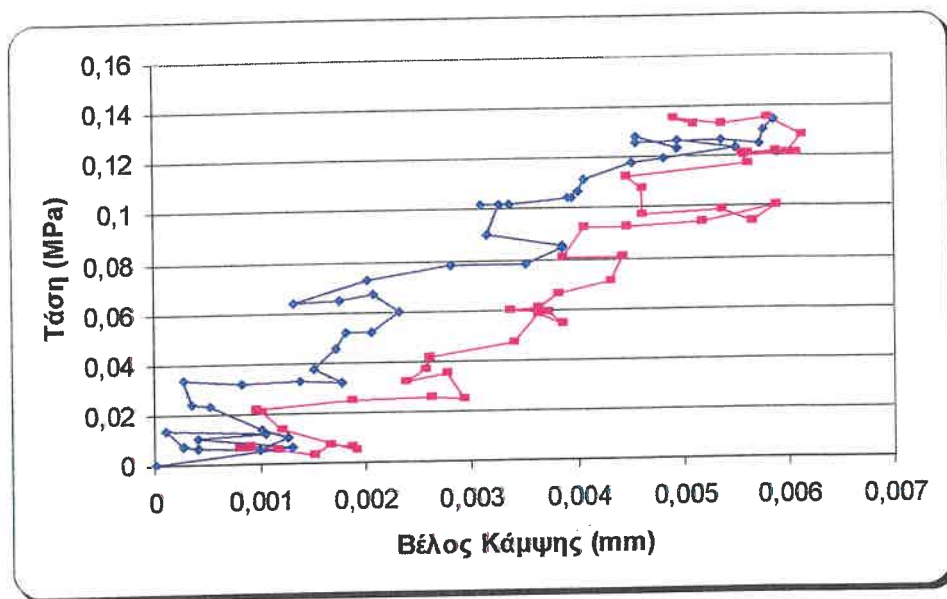
Για κάθε δοκίμιο έγινε το διάγραμμα τάσης – μέσης τιμής του βέλους κάμψης, για τους κύκλους φόρτισης 0 έως 5, 47 έως 52 και 94 έως 100.

Ένα τυπικό διάγραμμα τάσης-βέλους κάμψης για ένα κύκλο φόρτισης-αποφόρτισης αναμέναμε να ήταν της μορφής του Σχήματος 7.14.



Σχήμα 7.14 Τυπικό διάγραμμα τάσης-βέλους κάμψης για ένα κύκλο φόρτισης-αποφόρτισης

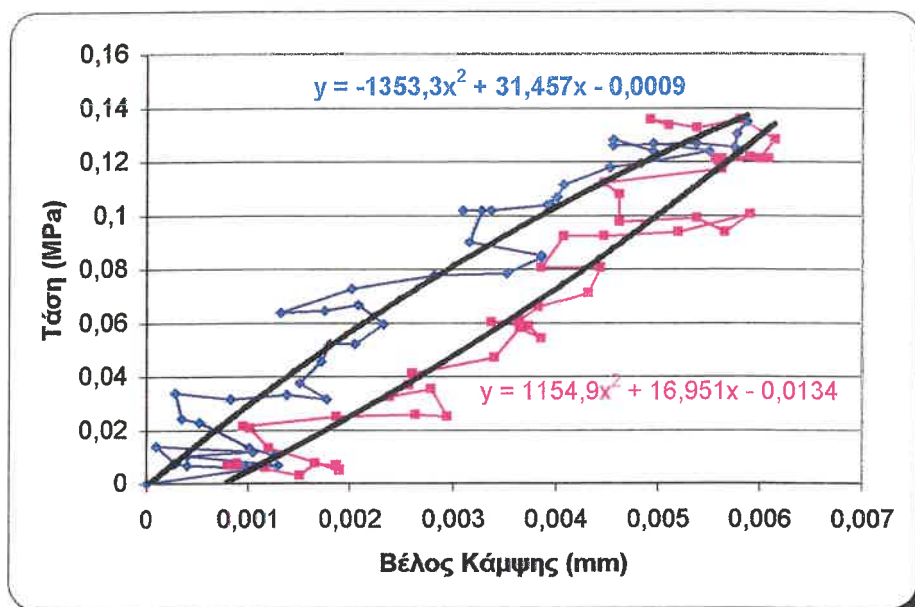
Τα διαγράμματα όμως που προέκυψαν, από τη επεξεργασία των τιμών που κατέγραψε η μηχανή του M.T.S, χαρακτηρίστηκαν από μεγάλο θόρυβο (Σχήμα 7.15). Θόρυβος που οφειλόταν κυρίως στη μέτρια ποιότητα κατασκευής της γέφυρας επί της οποίας εδράζονταν τα ηλεκτρομηκυνσιόμετρα.



Σχήμα 7.15 Πρώτος κύκλος φόρτισης-αποφόρτισης για το δοκίμιο B8

Για το λόγο αυτό, η γραμμή φόρτισης-αποφόρτισης (μπλε και κόκκινη) του Σχήματος 7.15 (που προέκυψε ενώνοντας τα ζεύγη τιμών τάσης – βέλους κάμψης),

αντικαταστάθηκε από τη καμπύλη παλινδρόμησης πολυωνυμικής μορφής. (Σχήμα 7.16).



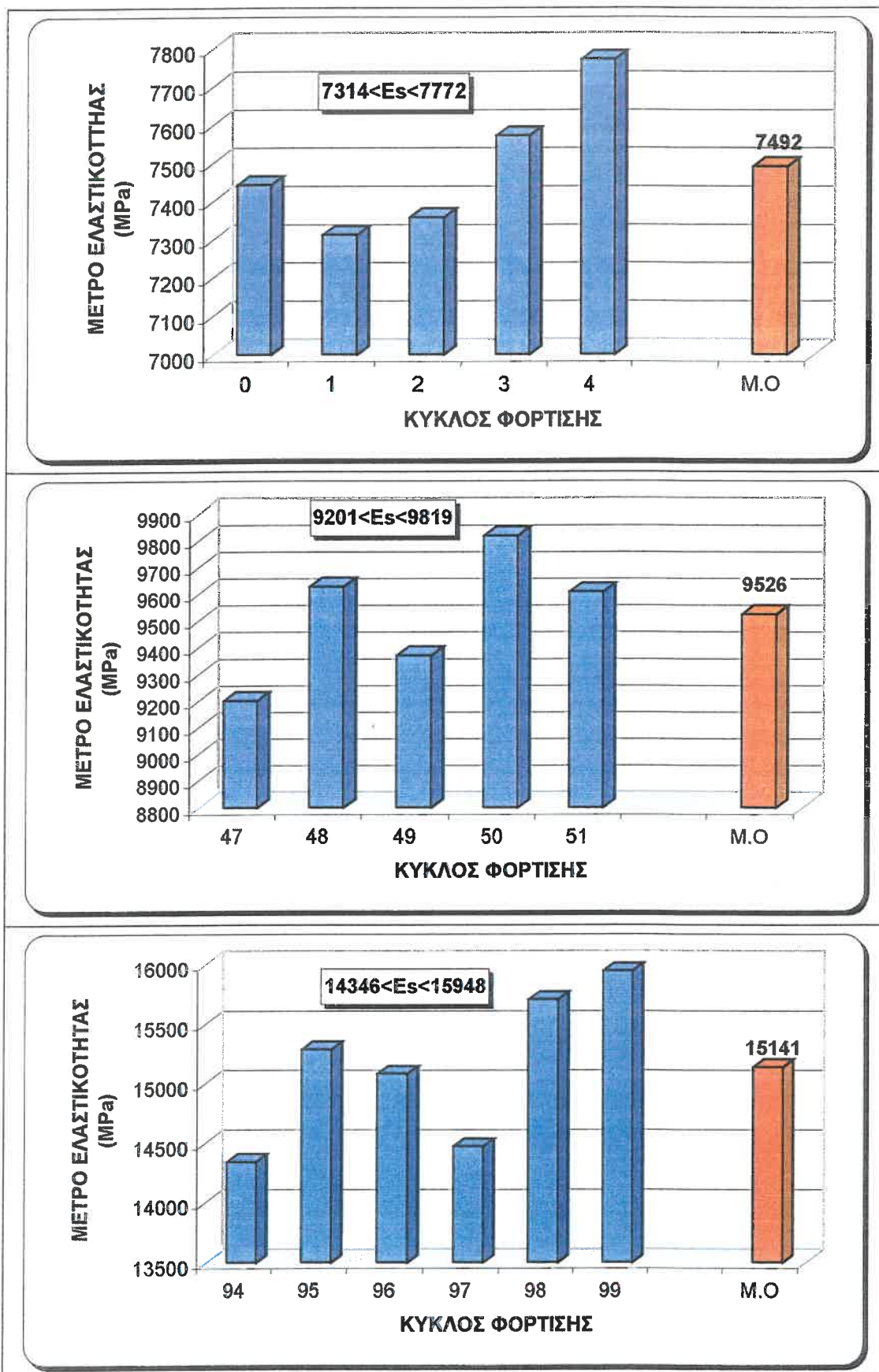
Σχήμα 7.16 Γραμμή τάσης-παλινδρόμησης πολυωνυμικής μορφής για το πρώτο κύκλο φόρτισης-αποφόρτισης του δοκιμίου B8

Με βάση τη γραμμή παλινδρόμησης υπολογίστηκαν οι τάσεις και οι παραμορφώσεις από τις οποίες προέκυψε η τιμή του μέτρου ελαστικότητας E_s για κάθε κύκλο φόρτισης.

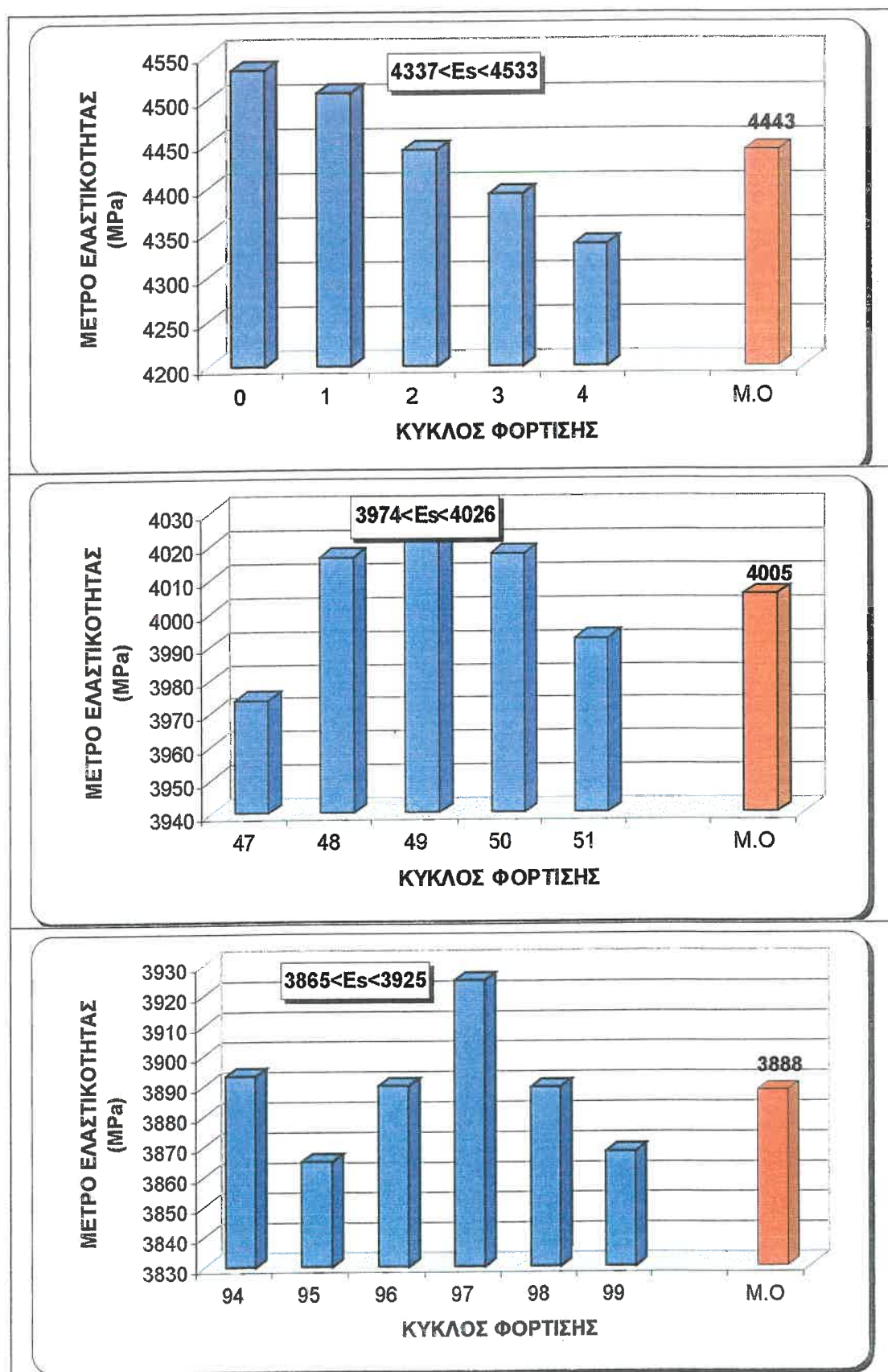
Το μέτρο ελαστικότητας E_s δυναμικής φόρτισης για κάθε κύκλο φόρτισης – αποφόρτισης υπολογίστηκε από το τύπο $E_s = 23 \cdot P \cdot L^3 / 108 \cdot b \cdot h^3 \cdot \Delta$, όπου L το μήκος του δοκιμίου μεταξύ των στηρίξεων ($L=30\text{cm}$), P το max φορτίο για κάθε κύκλο, $b=h=10\text{ cm}$ (πλάτος και ύψος του δοκιμίου), και Δ το βέλος κάμψης που αντιστοιχεί στο φορτίο P . Τονίζεται ότι η παραπάνω σχέση υποθέτει –όπως και στο υπολογισμό της αντοχής– ελαστική συμπεριφορά του υλικού.

7.2.2 Μεταβολή του μέτρου ελαστικότητας E_s - κύκλου φόρτισης

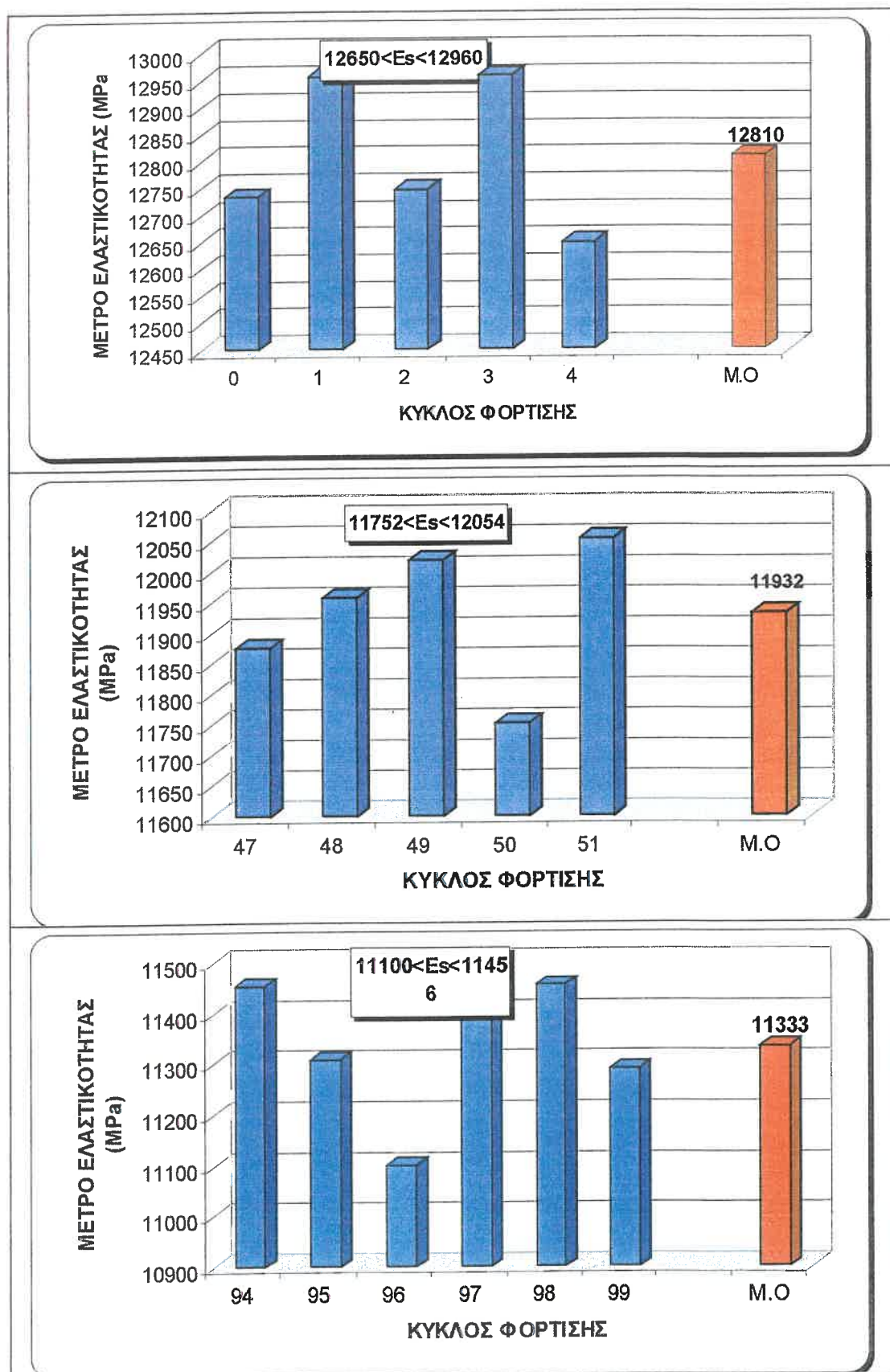
Υπολογίστηκαν τα μέτρα ελαστικότητας για τους κύκλους φόρτισης 0 έως 4, 47-51 και 94-99 για κάθε δοκίμιο όπως παρατίθενται στα Σχήματα 7.17 έως 7.24 που ακολουθούν.



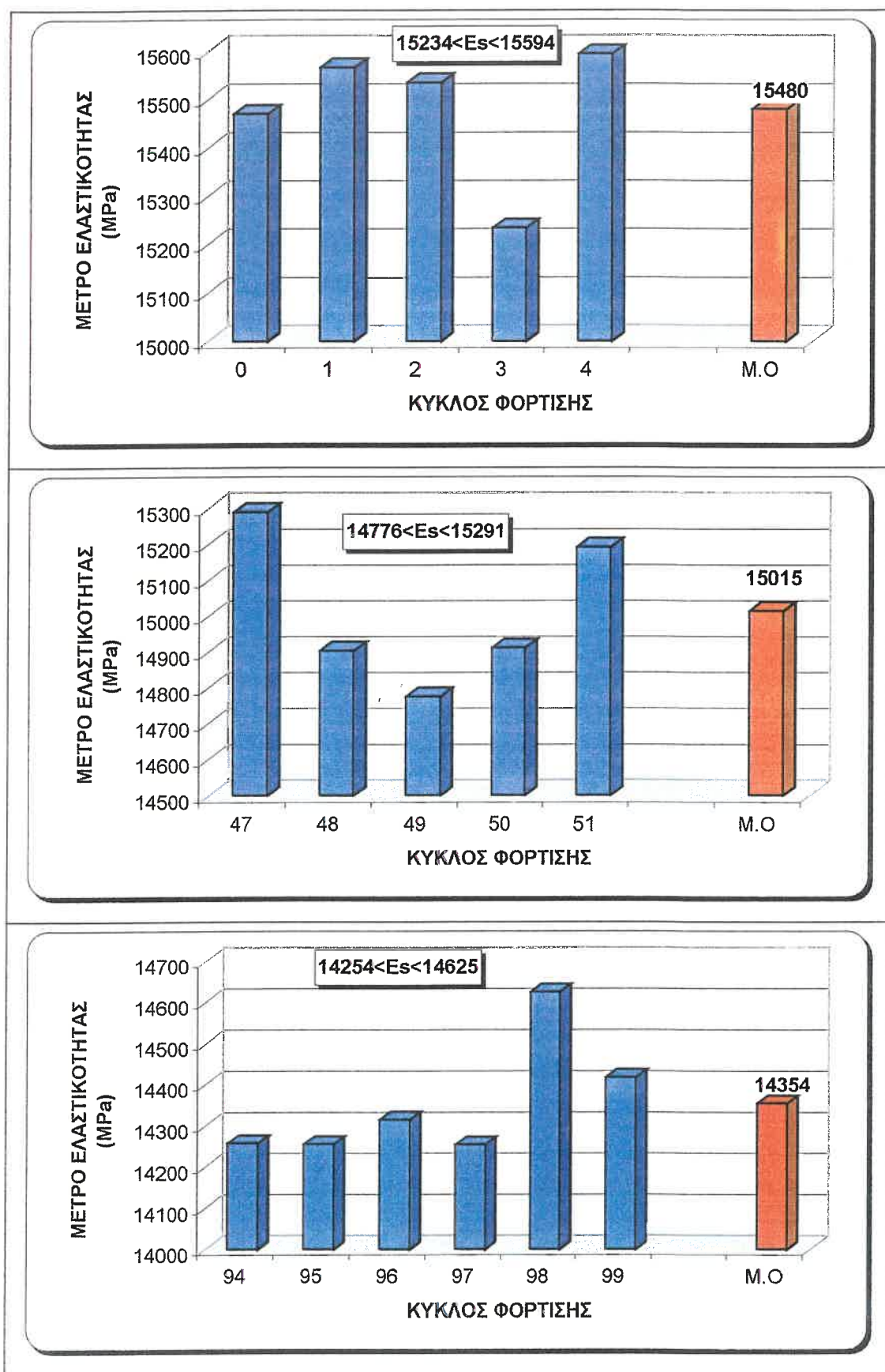
Σχήμα 7.17 Διαγράμματα μεταβολής του μέτρου ελαστικότητας E_s – κύκλου φόρτισης του δοκιμίου B2 (2% τσιμέντο, 4% γαλάκτωμα)



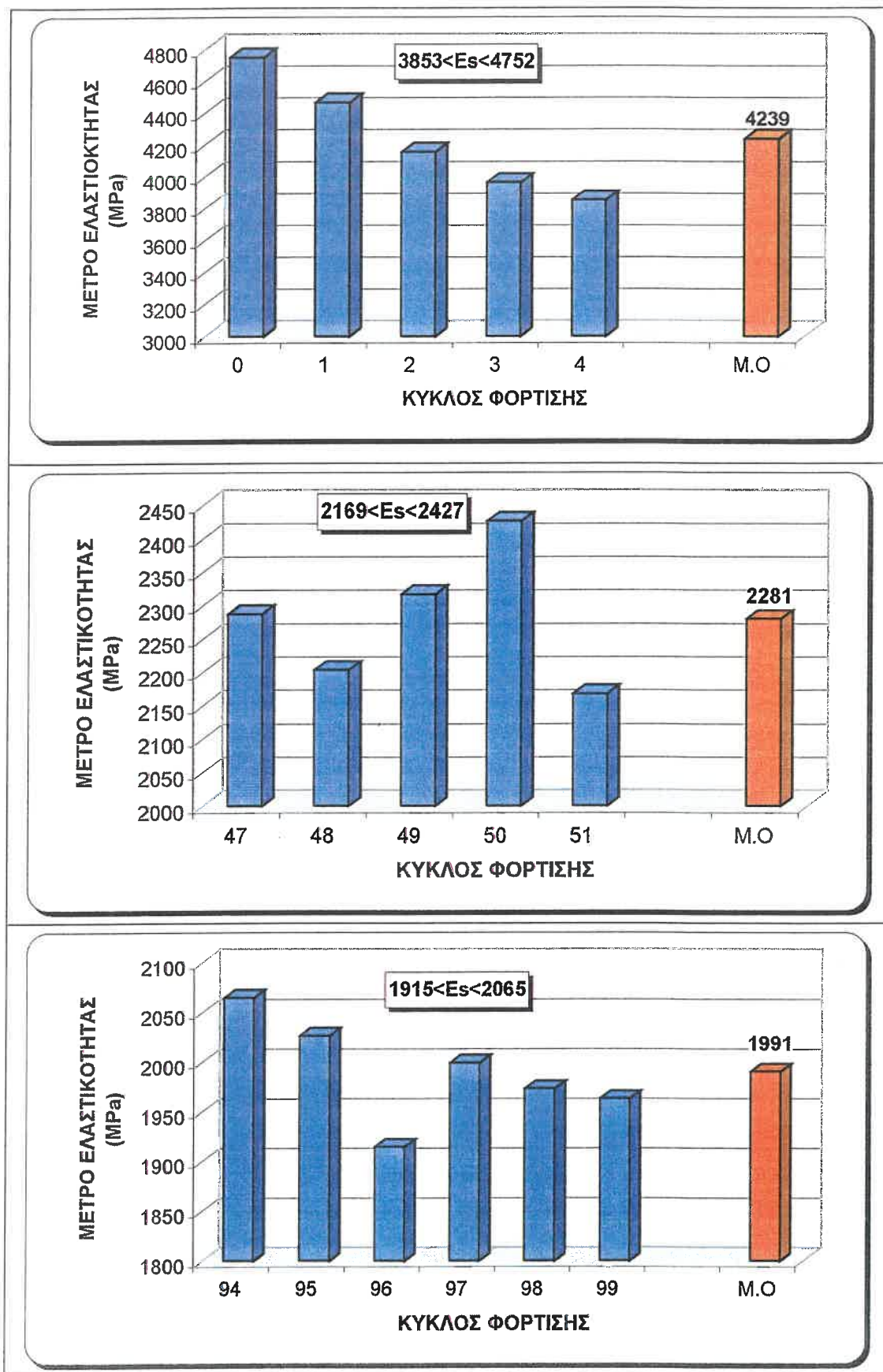
Σχήμα 7.18 Διαγράμματα μεταβολής του μέτρου ελαστικότητας E_s – κύκλου φόρτισης του δοκιμίου B3 (2% τσιμέντο, 4% γαλάκτωμα)



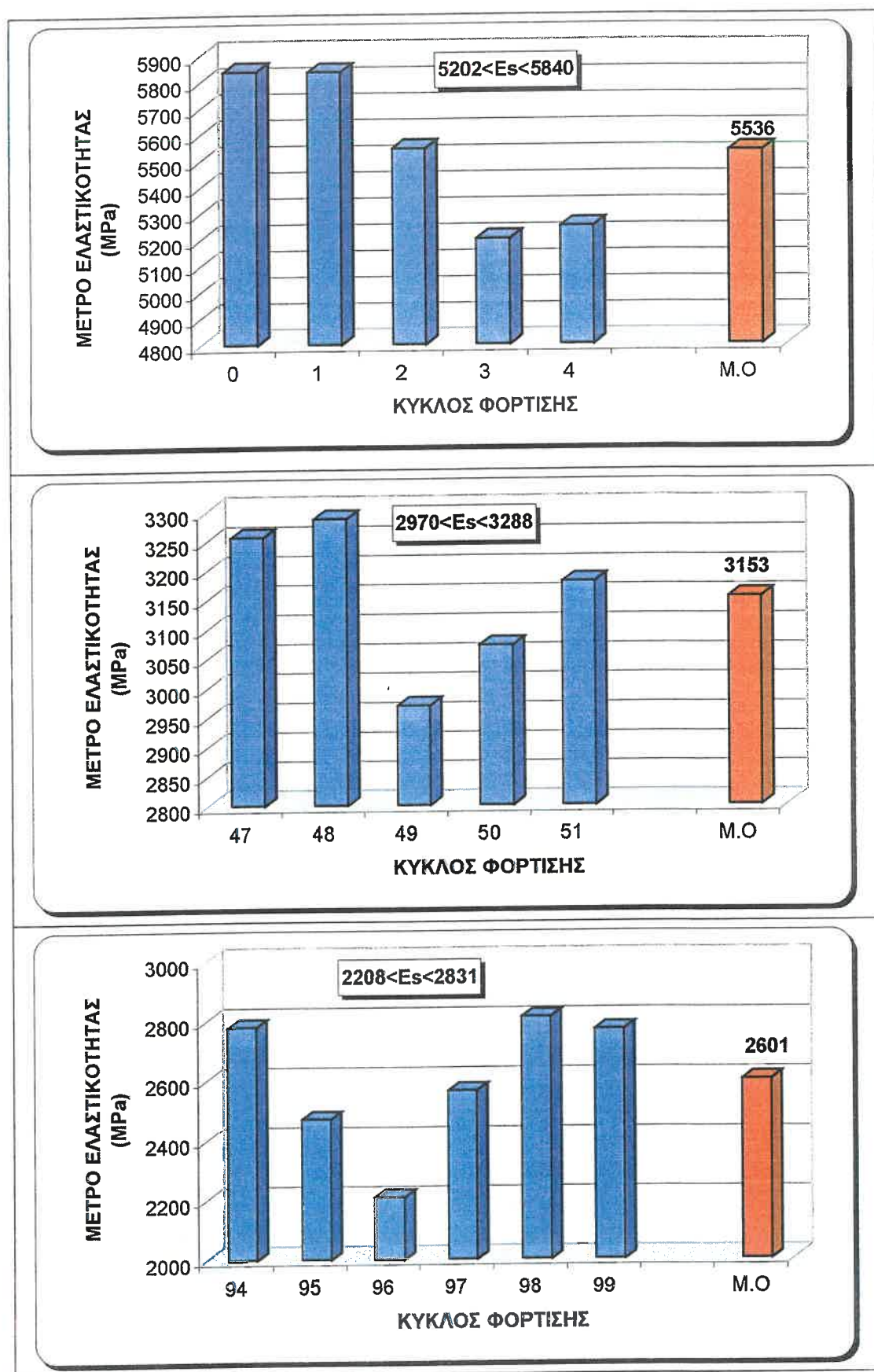
Σχήμα 7.19 Διαγράμματα μεταβολής του μέτρου ελαστικότητας E_s – κύκλου φόρτισης του δοκιμίου B5 (2% τσιμέντο, 3% γαλάκτωμα)



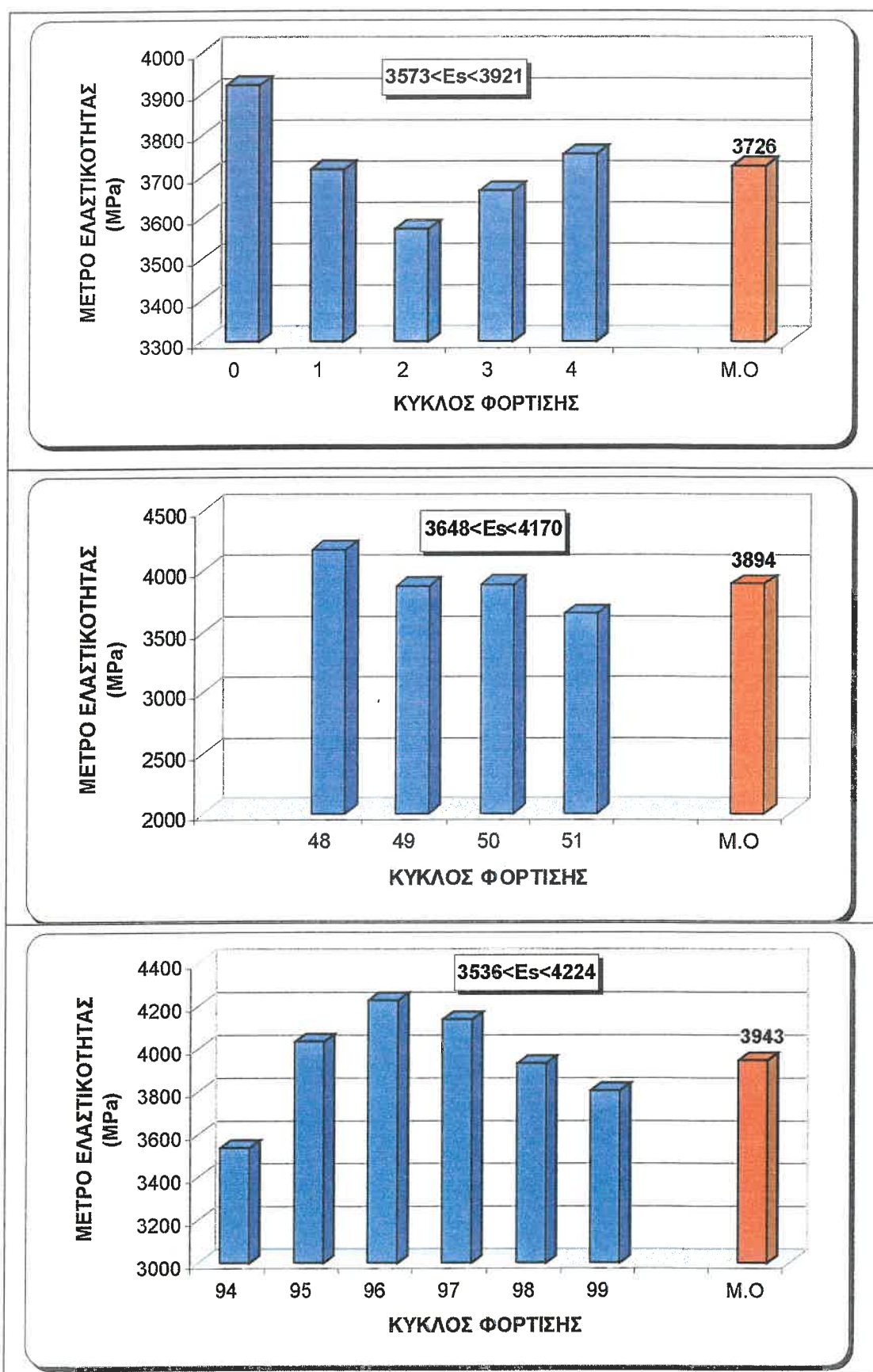
Σχήμα 7.20 Διαγράμματα μεταβολής του μέτρου ελαστικότητας E_s – κύκλου φόρτισης του δοκιμίου B6 (2% τσιμέντο, 3% γαλάκτωμα)



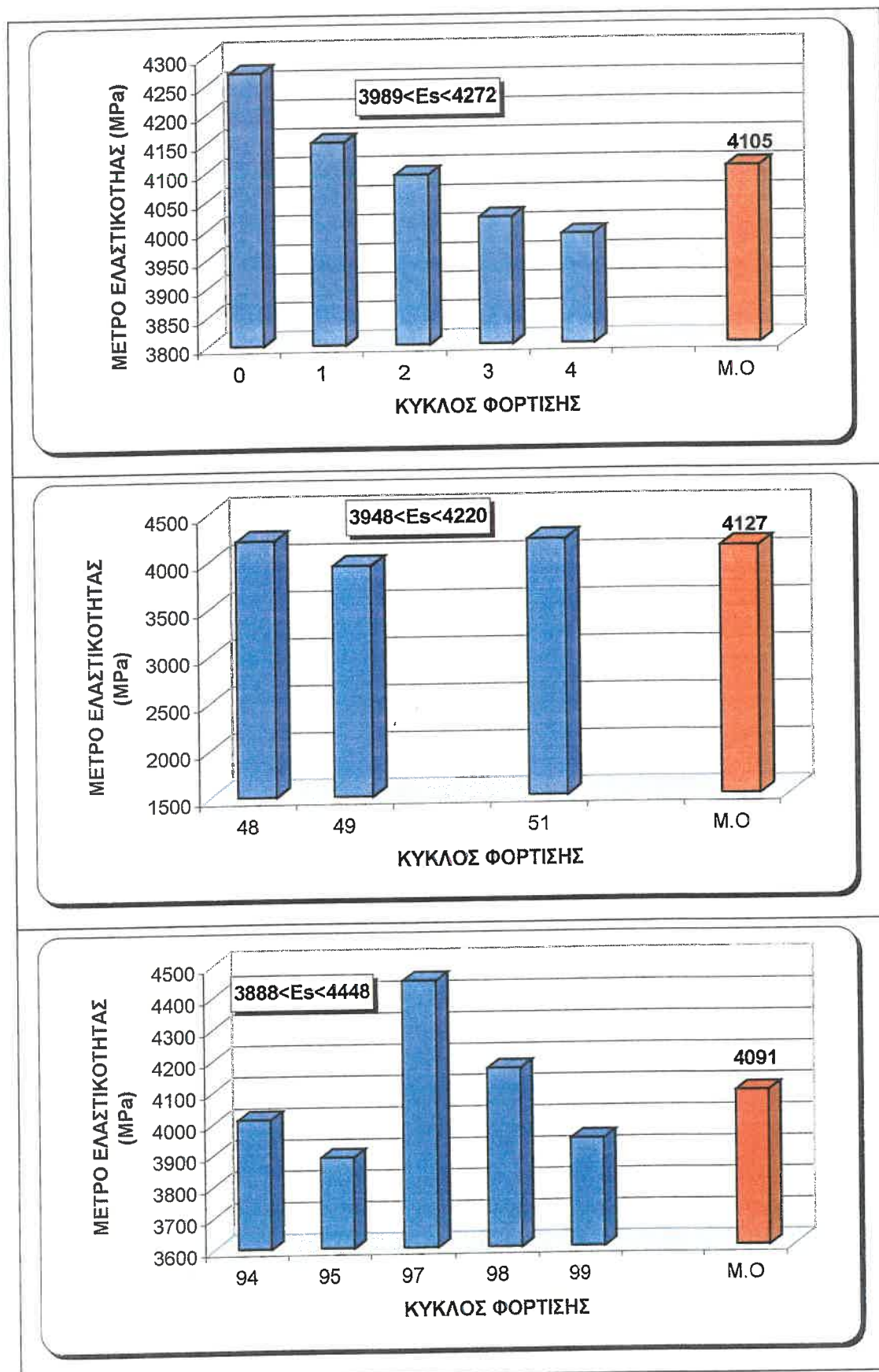
Σχήμα 7.21 Διαγράμματα μεταβολής του μέτρου ελαστικότητας E_s – κύκλου φόρτισης του δοκιμίου B8 (0% τσιμέντο, 3% γαλάκτωμα)



Σχήμα 7.22 Διαγράμματα μεταβολής του μέτρου ελαστικότητας E_s – κύκλου φόρτισης του δοκιμίου B9 (0% τσιμέντο, 3% γαλάκτωμα)



Σχήμα 7.23 Διαγράμματα μεταβολής του μέτρου ελαστικότητας E_s – κύκλου φόρτισης του δοκιμίου B14 (1% τσιμέντο, 3% γαλάκτωμα)



Σχήμα 7.24 Διαγράμματα μεταβολής του μέτρου ελαστικότητας E_s – κύκλου φόρτισης του δοκιμίου B15 (1% τσιμέντο, 3% γαλάκτωμα)

7.2.3 Παρατηρήσεις επί των διαγραμμάτων Es-κύκλου φόρτισης

□ Θραύση δοκιμίων κατά τη φόρτισή τους

Τα δοκίμια B20 και B21 με 0% τσιμέντο και ποσοστό γαλακτώματος 5%, έσπασαν κατά την έναρξη της δυναμικής τους φόρτισης.

Όμοια συμπεριφέρθηκε και το δοκίμιο B16, το μοναδικό με 1% τσιμέντο και 4% γαλάκτωμα που υποβλήθηκε σε δυναμική φόρτιση.

Τέλος, και το δοκίμιο B11 (0% τσιμέντο, 4% γαλάκτωμα) έσπασε στη διάρκεια των πρώτων κύκλων φόρτισής του.

Επειδή οι δοκιμές σε κάμψη έχουν μεγάλη διασπορά, ο προσδιορισμός του P_{max} από ένα και μόνο δοκίμιο δεν έχει μεγάλη ακρίβεια. Είναι γνωστό ότι για τις δοκιμές σε κάμψη δοκιμίων σκυροδέματος, που έχουν παρασκευαστεί και δοκιμαστεί κατά ορθό τρόπο από το ίδιο μίγμα με τον ίδιο χειριστή, η διασπορά των αποτελεσμάτων μπορεί να είναι μέχρι 16% [9]. Στην δικιά μας περίπτωση όπου το ποσοστό του τσιμέντου αλλά και του γαλακτώματος είναι επίσης μικρό, η ανάμιξη δεν μπορεί να είναι τόσο ομοιόμορφη όσο στο σκυρόδεμα και επομένως η διασπορά των αποτελεσμάτων αναμένεται να είναι ακόμα μεγαλύτερη.

Έτσι είναι πολύ πιθανό να προσδιορίστηκε φορτίο P_{max} πολύ μεγαλύτερο από εκείνο που το δεδομένο δοκίμιο είχε. Άρα κατά τη φόρτιση του να έχουμε υπερβεί κατά πολύ το $P_{max}/3$.

Επίσης, τα δοκίμια με 0% και 1% τσιμέντο είναι πιθανό κατά τη μεταφορά τους να εμφάνισαν μικρορηγματώσεις δεδομένου των μεγάλων διαστάσεών τους (10cm*10cm*50cm) και του μικρού ποσοστού σταθεροποιητή, ιδιαίτερα μιας και το ξεκαλούπωμα των δοκιμίων έγινε ελάχιστες μέρες μετά την παρασκευή τους (την επόμενη ή την μεθεπόμενη μέρα). Είναι χαρακτηριστικό, ότι το δοκάρι B12 (0% τσιμέντο και 4% γαλάκτωμα) έσπασε στο ξεκαλούπωμα και ο κύλινδρος B10 (0% τσιμέντο και 3% γαλάκτωμα) κατά την μεταφορά.

□ Μεταβολή του μέτρου ελαστικότητας Es στους διάφορους κύκλους φόρτισης

Με το υπολογισμό του μέτρου ελαστικότητας Es δυναμικής φόρτισης για τους κύκλους φόρτισης 0 έως 4, 47-51 και 94-99 έγινε μια προσπάθεια να παρατηρηθεί η πορεία μεταβολής του μέτρου ελαστικότητας όσο διαρκεί η επιβαλλόμενη φόρτιση.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν συνοψίζονται στα παρακάτω:

- τα δοκίμια B2, B8 και B9 εμφάνισαν μεγάλες διακυμάνσεις του μέτρου ελαστικότητας στους διάφορους κύκλους φόρτισης (Σχήματα 7.17, 7.21, 7.22 αντίστοιχα).

- οι τιμές του μέτρου ελαστικότητας για τα δοκίμια B3, B5, B6, B14, B15 εμφάνισαν μικρότερες διακυμάνσεις και μια τάση σταθεροποίησης του Es μετά τους πρώτους κύκλους φόρτισης (Σχήματα 7.18, 7.19, 7.20, 7.23, 7.24 αντίστοιχα).

Θα περιμέναμε ίσως να δούμε μία αρχικά αυξημένη τιμή του μέτρου ελαστικότητας η οποία με το πέρας των πρώτων φορτίσεων θα έτεινε να σταθεροποιηθεί σε ένα μικρό εύρος τιμών. Η αρχικά διαφοροποιημένη τιμή του Es μπορεί να αποδοθεί σε ενδεχόμενη εμφάνιση μικρών ασυνεχειών στο εσωτερικό του δοκιμίου, σε τριβές που

εμφανίζονται κατά το στάδιο επαφής των κεφάλων της πρέσας στο δοκίμιο, στοιχεία που εξαλείφονται μετά τους πρώτους κύκλους φόρτισης και το δοκίμιο πλέον συμπεριφέρεται ομοιογενώς. Η παραπάνω παρατήρηση καθώς και κυρίως, η απαίτηση για τη μελέτη της συμπεριφοράς του μίγματος κατά τη φάση λειτουργίας, αποτελούν και τους κύριους λόγους εκλογής του E_s ως το μέσο όρο της τελευταίας 6-άδας φόρτισης (κύκλοι 94-99) και όχι ως το μέσο όρο των πρώτων ή μεσαίων κύκλων φόρτισης.

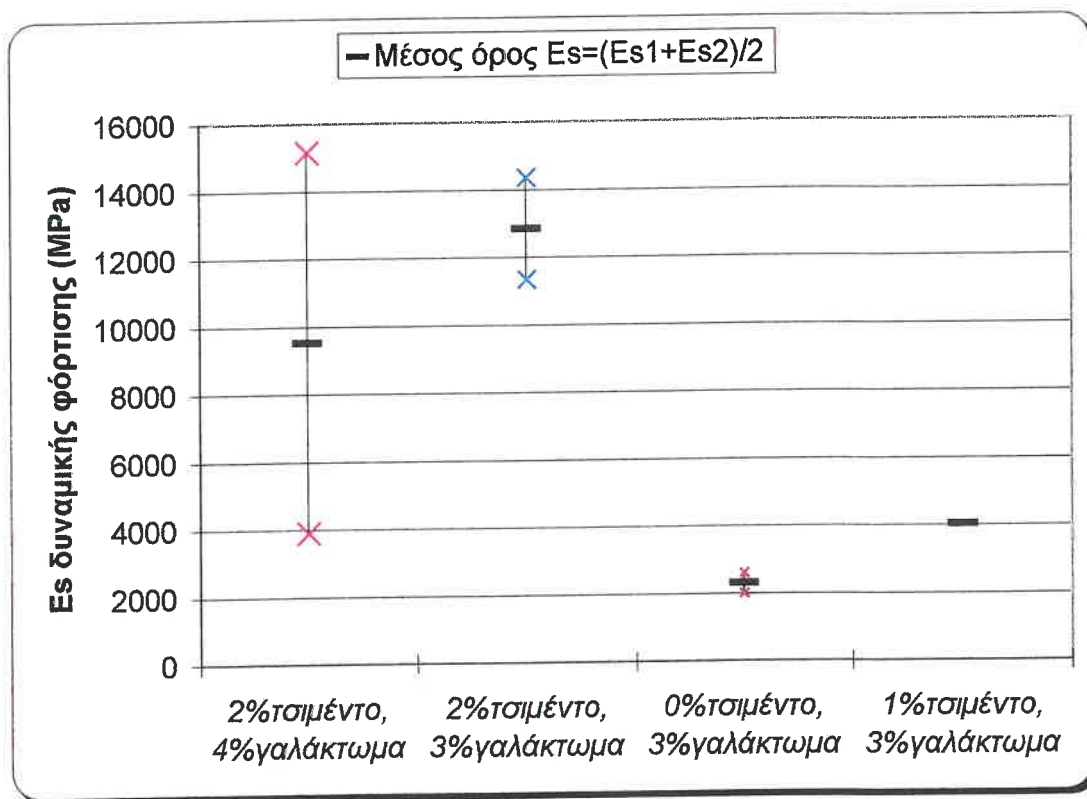
-Σημαντική παρατήρηση αποτελεί όμως και το γεγονός ότι, δοκίμια του ίδιου μίγματος παρουσίασαν μεγάλες διαφορές στη τελική τιμή του μέτρου ελαστικότητας.

Παρόλο που στοιχεία επαναληψιμότητας για τα υλικά που εξετάζουμε δεν υπάρχουν, μια αδρομερής εκτίμηση της επαναληψιμότητας στη μέτρηση γενικώς του E_s μπορεί να προκύψει από το ASTM C469 [10]. Χωρίς να παραγνωρίζουμε τις διαφορές που υπάρχουν μεταξύ των δοκιμών που κάνουμε και της επαναληψιμότητας του προσδιορισμού του στατικού E_s κατά ASTM σε δοκίμια σκυροδέματος, θα μπορούσε να τεθεί ένα κατώτατο όριο επαναληψιμότητας για τα δοκίμια της παρούσας έρευνας ίσο με εκείνο του ASTM δηλαδή 5%.

Αναλυτικά έχουμε :

- δοκίμια B2 και B3 με 2% τσιμέντο και 4% γαλάκτωμα
B2: $E_s=15141 \text{ MPa}$ B3: $E_s=3888 \text{ MPa}$
M.O: $E_s= 9515 \text{ MPa}$
Διασπορά των τιμών E_s από το μέσο όρο ίση με 60%
- δοκίμια B5 και B6 με 2% τσιμέντο και 3% γαλάκτωμα
B5: $E_s=11333 \text{ MPa}$ B6: $E_s=14354 \text{ MPa}$
M.O: $E_s=12844 \text{ MPa}$
Διασπορά των τιμών E_s από το μέσο όρο ίση με 11.7%
- δοκίμια B8 και B9 με 0% τσιμέντο και 3% γαλάκτωμα
B8: $E_s=1991 \text{ MPa}$ B9: $E_s=2601 \text{ MPa}$
M.O: $E_s=2296 \text{ MPa}$
Διασπορά των τιμών E_s από το μέσο όρο ίση με 13%
- δοκίμια B14 και B15 με 1% τσιμέντο και 3% γαλάκτωμα
B14: $E_s=3943 \text{ MPa}$ B15: $E_s=4091 \text{ MPa}$
M.O: $E_s=4017 \text{ MPa}$
Διασπορά των τιμών E_s από το μέσο όρο ίση με 1.84%

Η διασπορά των τιμών από το μέσο όρο παρουσιάζεται στο Σχήμα 7.25 που ακολουθεί :



Σχήμα 7.25 Διασπορά των τιμών E_s δυναμικής φόρτισης των διαφόρων μιγμάτων

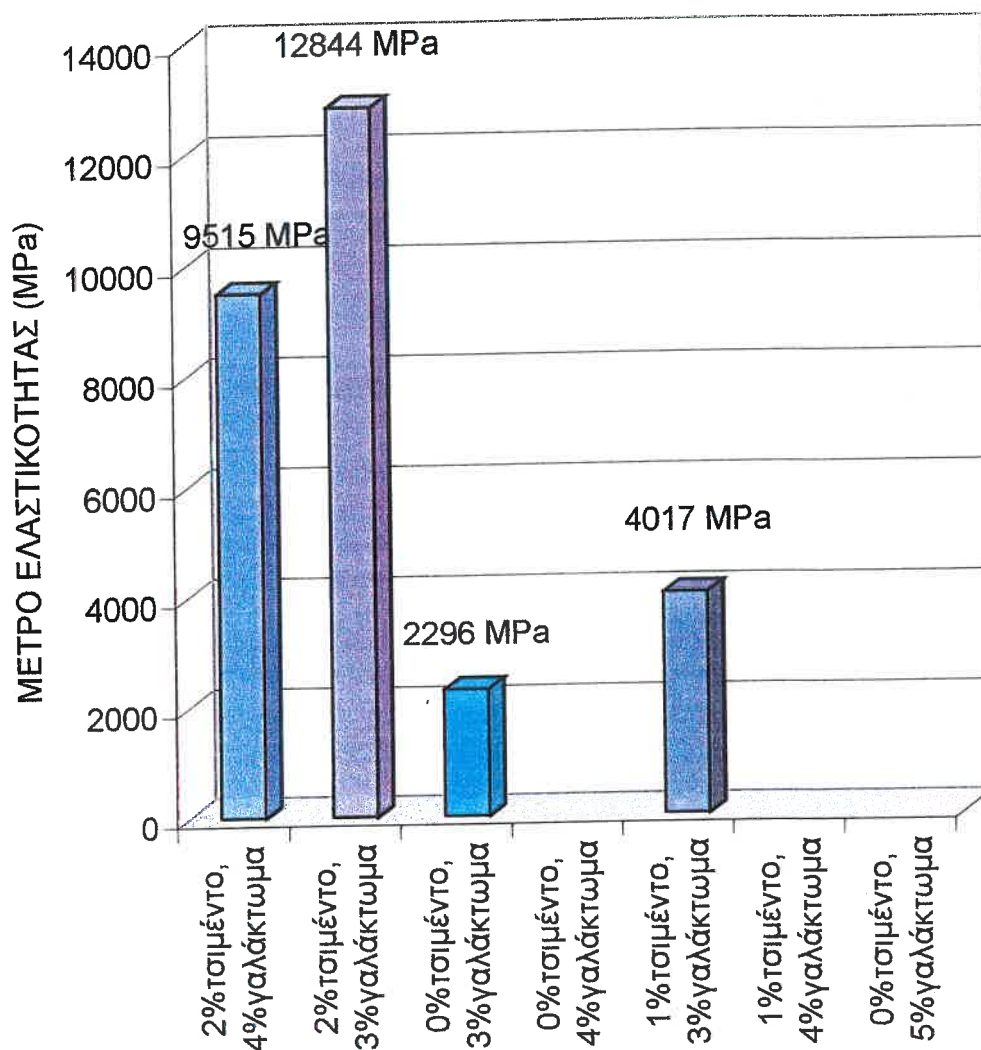
Από τα παραπάνω παρατηρείται:

- Μεγάλη διασπορά των τιμών E_s του μίγματος με 2% τσιμέντο και 4% γαλάκτωμα (διασπορά 60%).
- Μικρότερη υπολογίστηκε η διασπορά για το μίγμα (δοκίμια B8 και B9) με 0% τσιμέντο και 3% γαλάκτωμα (διασπορά 13%).
- Στο 11.7% κυμάνθηκε η διασπορά για το μίγμα (δοκίμια B5, B6) με 2% τσιμέντο και 3% γαλάκτωμα (διασπορά 11.7%).
- Τέλος το μίγμα που έδωσε αποτελέσματα που συγκλίνουν πολύ (διασπορά μόλις 1,84%) είναι αυτό που έχει ποσοστό τσιμέντου 1% και ποσοστό γαλακτώματος 3% (δοκίμια B14, B15).

Από όλα τα παραπάνω προκύπτει η ανάγκη για μεγαλύτερο αριθμό δοκιμών προκειμένου να έχουμε αποτελέσματα περισσότερο αξιόπιστα. Παρόλα αυτά, δεχόμαστε τις τιμές αυτές και συνεχίζουμε σε περαιτέρω ανάλυση των αποτελεσμάτων διατηρώντας όμως επιφυλάξεις για την τελική ορθότητα των αποτελεσμάτων.

Στη συνέχεια δίνονται με τη μορφή ραβδογραφήματος (Σχήμα 7.26) οι τελικές τιμές του μέτρου ελαστικότητας σε δυναμική φόρτιση για τα διάφορα μίγματα.). Αναλυτικά οι τιμές του μέτρου ελαστικότητας σε δυναμική φόρτιση για όλα τα δοκίμια που εξετάστηκαν δίνεται στο Πίνακα I10 του παραρτήματος.

Ες δυναμικής φόρτισης



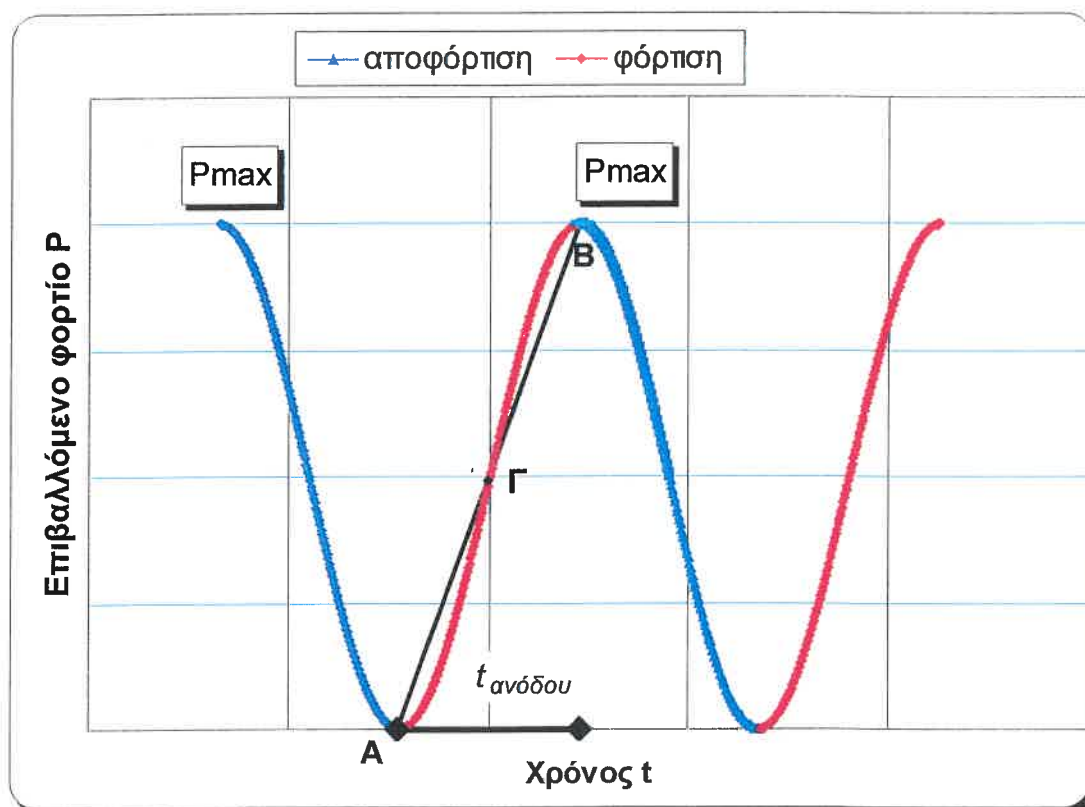
Σχήμα 7.26 Μέτρο ελαστικότητας Ες δυναμικής φόρτισης

7.2.4 Διαγράμματα επιβαλλόμενου φορτίου - χρόνου

Στη δυναμική φόρτιση η ταχύτητα αύξησης του φορτίου (dP/dt) είναι μεταβαλλόμενη (ο ρυθμός dP/dt δίνεται για κάθε σημείο από τη κλίση της εφαπτόμενης).

Μηδενική στη αρχή (σημείο Α) και στο τέλος (σημείο Β) και μέγιστη στο $1/2 t_{\text{ανόδου}}$ φόρτισης – σημείο καμπής Γ - (Σχήμα 7.27).

Εν τούτοις μπορεί να υπολογιστεί μια μέση ταχύτητα φόρτισης από τη κλίση της ευθείας $AB = P_{\text{max}} / t_{\text{ανόδου}}$.

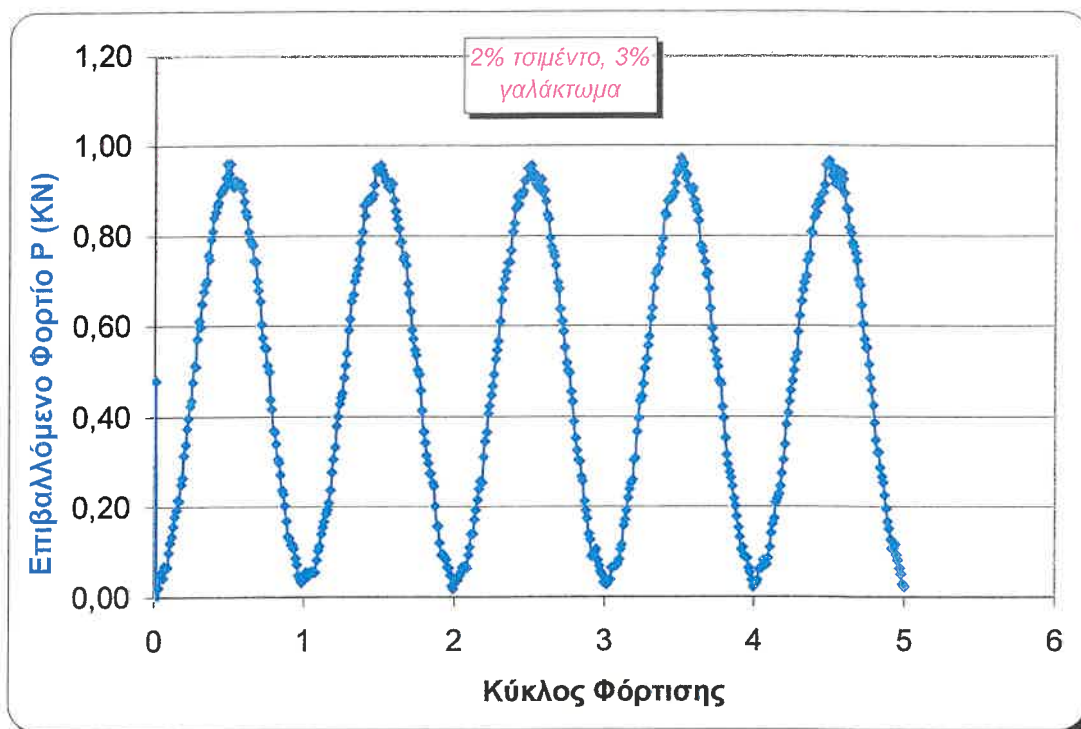


Σχήμα 7.27 Τυπικό διάγραμμα φόρτισης - αποφόρτισης συναρτήσει του χρόνου

- Έτσι υπολογίστηκε η ταχύτητα δυναμικής φόρτισης ίση με:
- 1,40 kN/s για τα δοκίμια B2, B3 του μίγματος με 2% τσιμέντο και 4% γαλάκτωμα
 - 1,80 kN/s για τα δοκίμια B5, B6 του μίγματος με 2% τσιμέντο και 3% γαλάκτωμα
 - 0,93 kN/s για τα δοκίμια B8, B9 του μίγματος με 0% τσιμέντο και 3% γαλάκτωμα, και
 - 0,50 kN/s για τα δοκίμια του B14, B15 του μίγματος 1% τσιμέντο και 3% γαλάκτωμα.

Αντίστοιχα, η ταχύτητα φόρτισης στη στατική υπολογίστηκε ίση με 0.20 kN/s για όλα τα μίγματα.

Στη συνέχεια παρατίθενται ενδεικτικά το διάγραμμα φόρτισης-αποφόρτισης για το δοκίμιο B6 (μίγμα με 2% τσιμέντο και 3% γαλάκτωμα) για τους πρώτους 5 κύκλους φόρτισής του (Σχήμα 7.28).



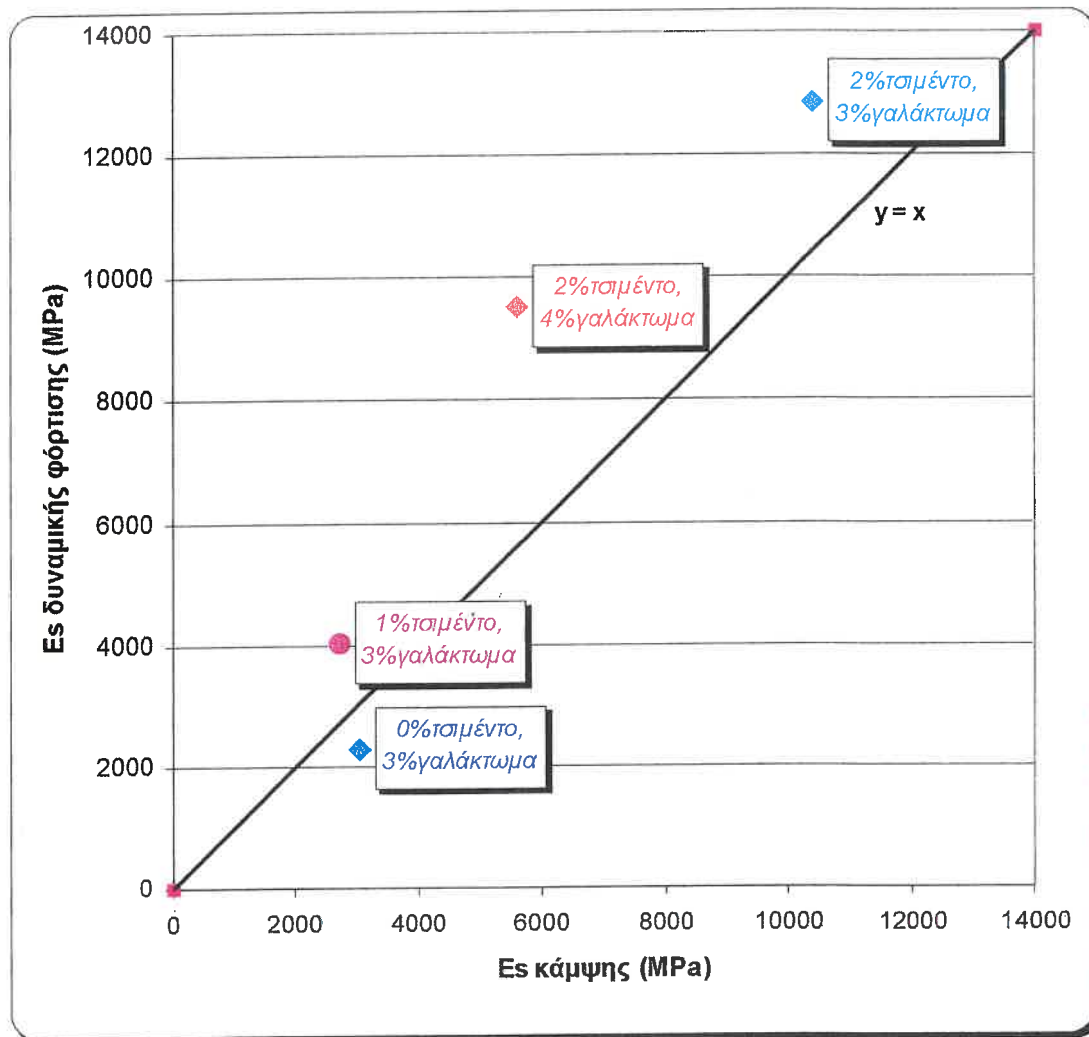
Σχήμα 7.28 Διάγραμμα επιβαλλόμενου φορτίου P με το χρόνο t (δοκίμιο B6).

Όμοια με το παραπάνω διάγραμμα έγιναν και τα διαγράμματα φόρτισης – αποφόρτισης για τους κύκλους 47 έως 52 και 94 έως 100 του δοκιμίου B6, αλλά και όλων των υπολοίπων δοκιμίων, με μοναδική διαφοροποίηση στη τιμή του ρυθμού φόρτισης (όπως αυτή υπολογίστηκε αναλυτικά παραπάνω για όλα τα μίγματα).

Αφού η μέση ταχύτητα της δυναμικής φόρτισης είναι μεγαλύτερη της στατικής πρέπει να αναμένεται ότι το E_s δυναμικό να είναι μεγαλύτερο από εκείνο της στατικής.

7.2.5 Διάγραμμα E_s δυναμικής φόρτισης - E_s κάμψης

Στο Σχήμα 7.29 που ακολουθεί, δίνονται τα μέτρα ελαστικότητας των διαφόρων μιγμάτων σε κάμψη (άξονας x) και δυναμική φόρτιση (άξονας y), και η σχέση αυτών ως προς τον άξονα συμμετρίας ($y=x$).



Σχήμα 7.29 Διάγραμμα σύγκρισης E_s κάμψης - E_s δυναμικής φόρτισης ως προς τον άξονα συμμετρίας $y=x$

Παρατηρώντας τη θέση των σημείων των διαφόρων μιγμάτων στο Σχήμα 7.29 ως προς τον άξονα συμμετρίας $y=x$, προκύπτει πως για τα μίγματα με σημαντικό ποσοστό τσιμέντου (2% και 1% τσιμέντο) το E_s δυναμικής > E_s κάμψης.

Συγκεκριμένα έχουμε :

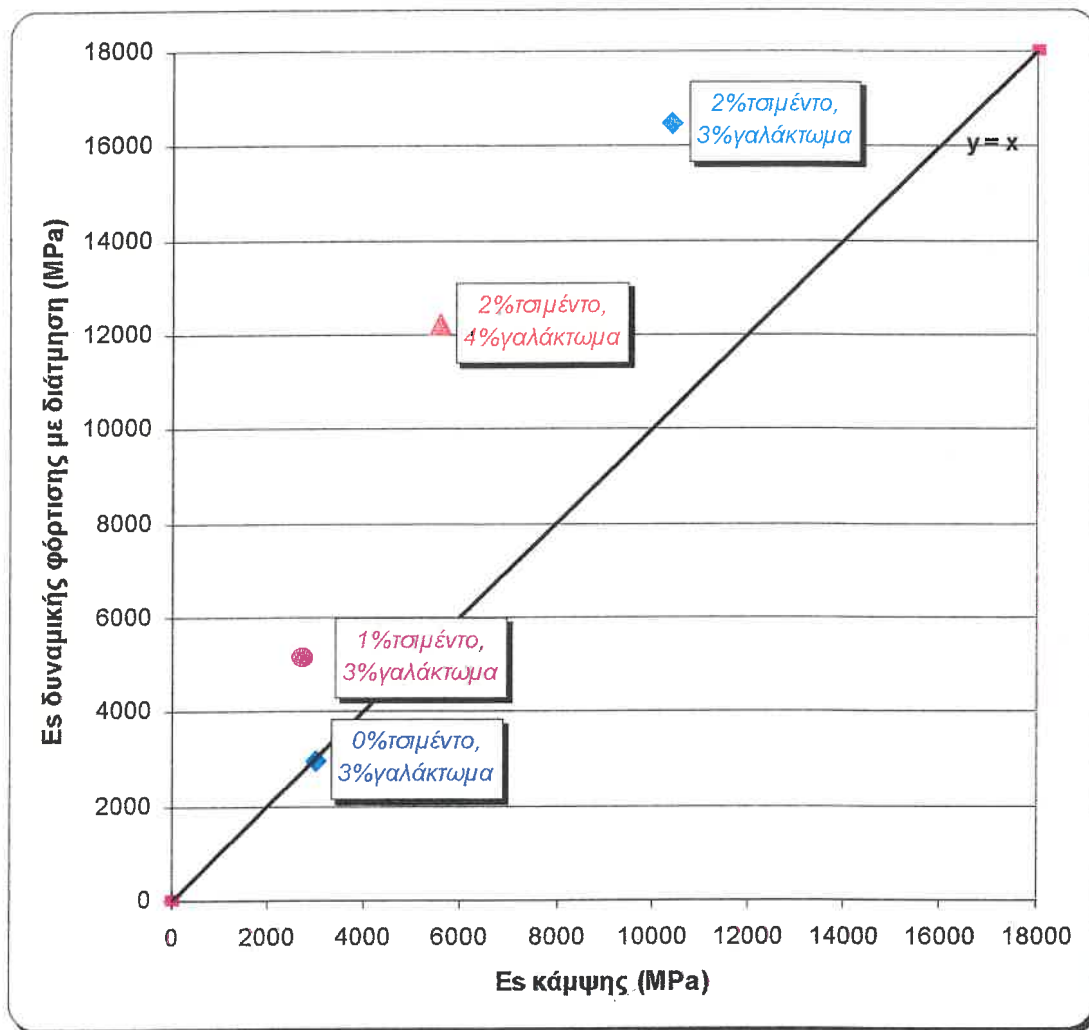
- Το μίγμα με 2% τσιμέντο και 3% γαλάκτωμα με λόγο $E_{dyn}>E_{flex}=12844/10416=1.233$.
- Αντίστοιχα το μίγμα 2% τσιμέντο και 4% γαλάκτωμα έχει λόγο $E_{dyn}>E_{flex}=9515/5605=1.698$.

Όσο το ποσοστό τσιμέντου μειώνεται (1% και 0% τσιμέντο) ο λόγος E_{dyn}/E_{flex} αρχίζει να παίρνει τιμές κοντά και κάτω της μονάδας. Έτσι :

- ο για το μίγμα 1% τσιμέντο και 3% γαλάκτωμα ο λόγος γίνεται $E_{dyn}/E_{flex}=4017/2715=1.48$,
- ενώ για 0% τσιμέντο και 3% γαλάκτωμα ο λόγος γίνεται $E_{dyn}/E_{flex}=2296/3023=0.760$.

Τέλος αξίζει να αναφερθεί, ότι η υπόθεση που έγινε στο προηγούμενο κεφάλαιο (§7.2.4) για την αναμονή μεγαλύτερων τιμών του E_s dynamic από τα αντίστοιχα στατικά E_s , λόγω του σημαντικά μεγαλύτερου ρυθμού φόρτισης σε δυναμική απ' ότι σε στατική, δείχνει να επαληθεύεται. (μόλις ένα μίγμα έδωσε τιμή E_s dynamic < E_s flexure).

Στη συνέχεια δίνεται και το διάγραμμα κάμψης-δυναμικής φόρτισης, λαμβανομένου όμως υπόψη και του φαινομένου της διάτμησης για το υπολογισμό του μέτρου ελαστικότητας σε δυναμική φόρτιση (Σχήμα 7.30).



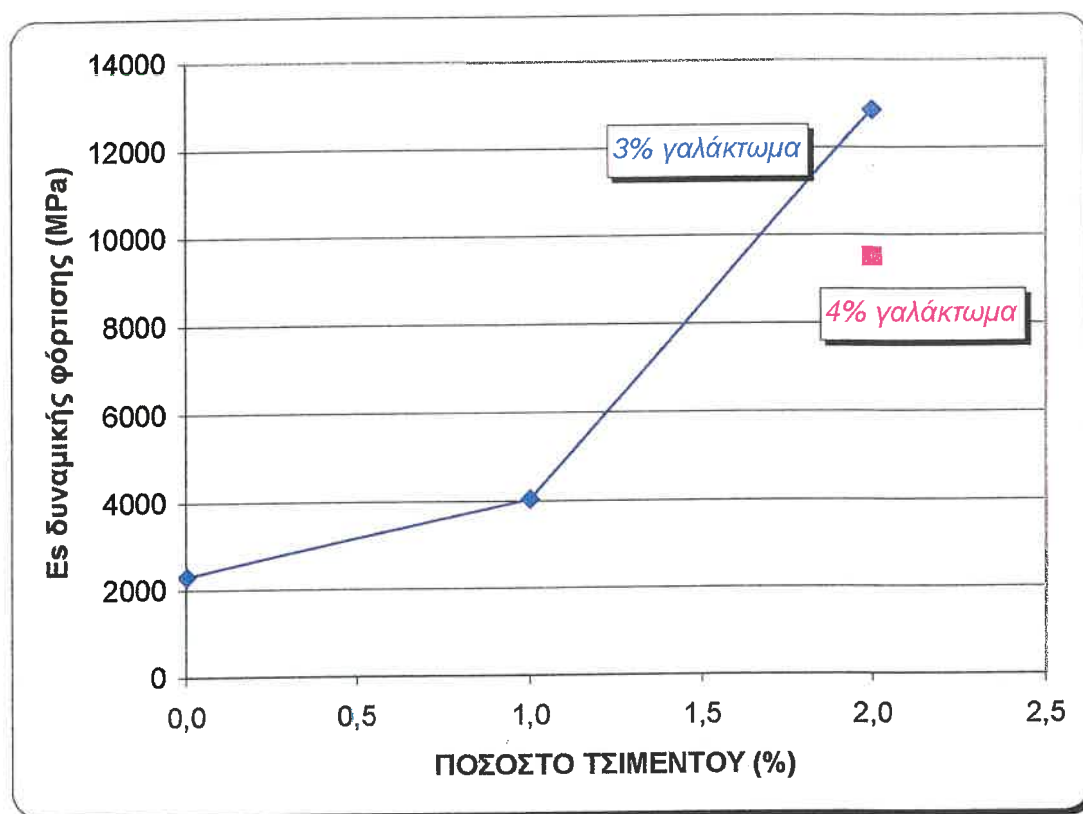
Σχήμα 7.30 Διάγραμμα σύγκρισης E_s κάμψης – E_s δυναμικής φόρτισης, με διόρθωση λόγω διάτμησης, ως προς τον άξονα συμμετρίας

Μοναδική διαφοροποίηση αποτελούν οι μεγαλύτερες τιμές του E_s dynamic με διόρθωση λόγω διάτμησης (Σχήμα 7.30) σε σύγκριση με τα E_s dynamic του

Σχήματος 7.29, όπως αυτές προκύπτουν εφαρμόζοντας τους αντιστοίχους τύπους (Esdyn με διάτμηση =Esdyn*1.2817). Αναλυτικά οι τιμές του μέτρου ελαστικότητας σε δυναμική φόρτιση με διόρθωση λόγω διάτμησης για όλα τα δοκίμια που εξετάστηκαν δίνεται στο Πίνακα ΙΙΙ του παραρτήματος.

Στο υπολογισμό του μέτρου ελαστικότητας σε κάμψη δεν έχει υπολογιστεί η επίδραση της διάτμησης γι' αυτό και ο σχολιασμός γίνεται για το διάγραμμα του Σχήματος 7.29.

7.2.6 Διαγράμματα μεταβολής του E_s δυναμικής φόρτισης με το ποσοστό τσιμέντου, για διάφορα ποσοστά γαλακτώματος



Σχήμα 7.31 Μεταβολή του μέτρου ελαστικότητας E_s δυναμικής φόρτισης με το ποσοστό τσιμέντου, για διάφορα ποσοστά γαλακτώματος.

• Σχόλια

Υπενθυμίζουμε ότι:

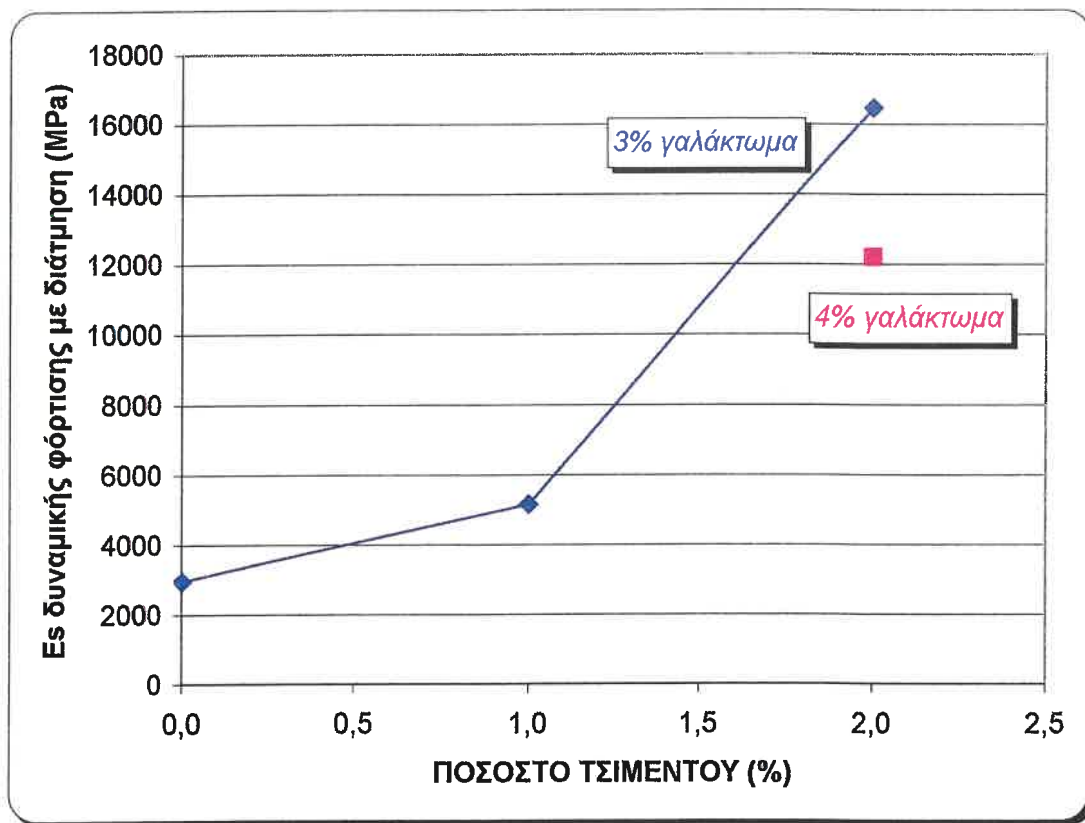
Κάθε σημείο του διαγράμματος προέκυψε ως μέσος όρος του E_s δύο δοκιμίων του ίδιου μίγματος.

Τα μίγματα με 0% και 1% τσιμέντο, για ποσοστό γαλακτώματος 4%, έσπασαν κατά την έναρξη της επιβολής τους σε δυναμική φόρτιση.

Όμοια συμπεριφέρθηκε και το μοναδικό μίγμα που παρασκευάστηκε με 5% γαλάκτωμα χωρίς τη παρουσία ποσοστού τσιμέντου.

Αντίθετα τρία σημεία από τρία διαφορετικά μίγματα δείχνουν τη διακόμανση των μιγμάτων με ποσοστό γαλακτώματος 3% για τα διάφορα ποσοστά τσιμέντου.

Στη συνέχεια παρατίθεται και το αντίστοιχο διάγραμμα της μεταβολής του μέτρου ελαστικότητας E_s δυναμικής φόρτισης –το οποίο υπολογίστηκε λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση της διάτμησης– με το ποσοστό τσιμέντου, για διάφορα ποσοστά γαλακτώματος.



Σχήμα 7.32 Μεταβολή του μέτρου ελαστικότητας E_s δυναμικής φόρτισης με διόρθωση λόγω διάτμησης με το ποσοστό τσιμέντου, για διάφορα ποσοστά γαλακτώματος.

- **Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις επί των Διαγραμμάτων (Σχήματα 7.31, 7.32)**

Από τα Διαγράμματα (Σχήματα 7.31, 7.32) προκύπτει η μεταβολή του μέτρου ελαστικότητας μίγματος με το ποσοστό τσιμέντου. Συγκεκριμένα έχουμε για τα διάφορα ποσοστά γαλακτώματος:

Ποσοστό γαλακτώματος 3%

Παρατηρείται ότι, όσο αυξάνει η συμμετοχή του τσιμέντου στο μίγμα, αυξάνει και η τιμή του μέτρου ελαστικότητας σε δυναμική φόρτιση.

Συγκεκριμένα έχουμε:

- Μίγμα με ποσοστό τσιμέντου 0%: $E_s=2296$ MPa
- Μίγμα με ποσοστό τσιμέντου 1%: $E_s=4017$ MPa
- Μίγμα με ποσοστό τσιμέντου 2%: $E_s=12844$ MPa

(Οι παραπάνω τιμές αναφέρονται στο Σχήμα 7.31).

Βλέπουμε ότι για τη μετάβαση από μίγμα με 0% τσιμέντο σε 1%, προκύπτει διπλασιασμός της τιμής του E_s .

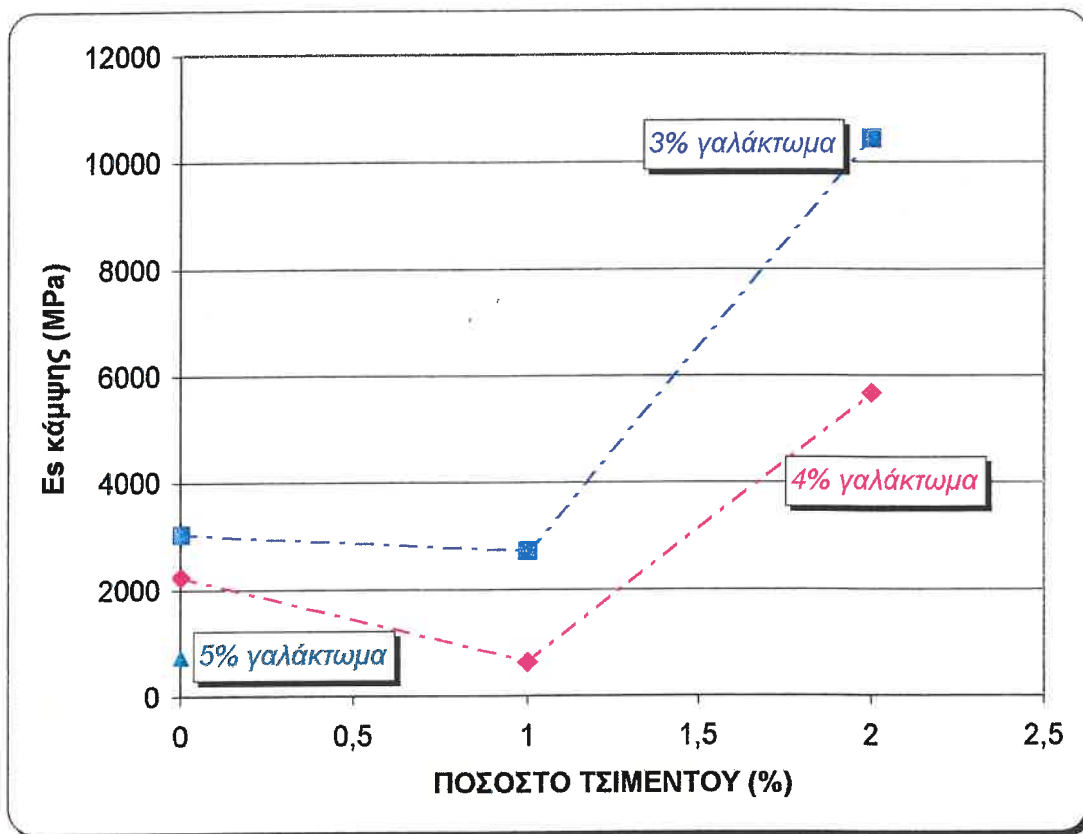
Αντίθετα η αύξηση του ποσοστού του τσιμέντου από 1% σε 2% οδηγεί στο τριπλασιασμό της τιμής του E_s .

Ποσοστό γαλακτώματος 4%

Από τη μοναδική τιμή που έχουμε για μίγμα με 4% γαλάκτωμα (2% τσιμέντο) το συμπέρασμα που μπορεί να εξαχθεί είναι πως το μίγμα αυτό παρουσιάζει αρκετά μικρότερο μέτρο ελαστικότητας σε δυναμική φόρτιση ($E_s=9515$) από το αντίστοιχο μίγμα με 2% τσιμέντο και 3% γαλάκτωμα ($E_s=12844\text{MPa}$).

Στη συνέχεια παρατίθεται το αντίστοιχο διάγραμμα της μεταβολής του στατικού μέτρου ελαστικότητας E_s με το ποσοστό τσιμέντου, για τα διάφορα ποσοστά γαλακτώματος (Σχήμα 7.33).

7.2.7 Διάγραμμα μεταβολής του E_s κάμψης με το ποσοστό τσιμέντου για τα διάφορα ποσοστά γαλακτώματος



Σχήμα 7.33 Μεταβολή του E_s σε κάμψη με το ποσοστό τσιμέντου, για διάφορα ποσοστά γαλακτώματος.

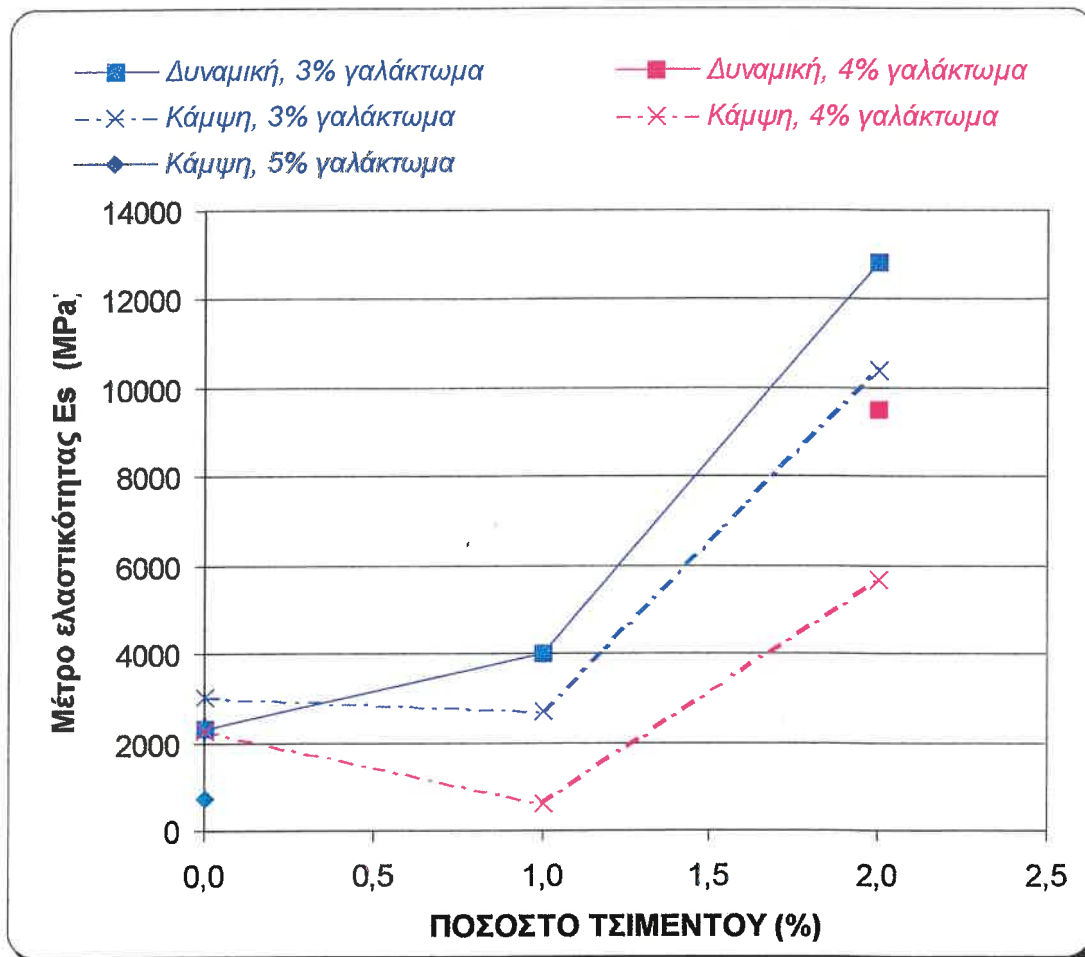
- Σχόλια

Όπως και στη δυναμική φόρτιση έτσι και στη κάμψη έχουμε τρεις τιμές για μίγματα με 3% γαλάκτωμα για τα διάφορα ποσοστά τσιμέντου.

Τρία σημεία έχουμε και για τα μίγματα με 4% γαλάκτωμα σε αντίθεση με το ένα σημείο που είχαμε στη περίπτωση της δυναμικής φόρτισης (μίγμα με 2% τσιμέντο).

Υπάρχει τέλος και μια τιμή για 5% γαλάκτωμα και 0% ποσοστό τσιμέντου (το μοναδικό μίγμα με 5% γαλάκτωμα που παρασκευάστηκε). Στη δυναμική φόρτιση τα αντίστοιχα δοκίμια με 5% γαλάκτωμα και 0% τσιμέντο είχαν σπάσει και έτσι δεν είχαμε τιμή για το μίγμα αυτό.

Ακολουθεί το Σχήμα 7.34, στο οποίο παρουσιάζονται μαζί οι καμπύλες μεταβολής του γαλακτώματος, ανάλογα του ποσοστού τσιμέντου, τόσο για τη κάμψη όσο και για τη δυναμική φόρτιση (στη περίπτωση που δε λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της διάτμησης στη δυναμική φόρτιση).



Σχήμα 7.34 Διάγραμμα μεταβολής του E_s κάμψης (διακεκομμένη) και E_s δυναμικής φόρτισης (συνεχής) με το ποσοστό τσιμέντου, για διάφορα ποσοστά γαλακτώματος.

- **Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις επί των Διαγραμμάτων (Σχήματα 7.33, 7.34)**

Καταρχήν, τονίζεται πως η παραβολή του διαγράμματος δυναμικής φόρτισης με αυτό της κάμψης δεν μπορεί από μόνο του να οδηγήσει σε ασφαλή συμπεράσματα, αλλά μπορεί να λειτουργήσει συμπληρωματικά σε ήδη υπάρχοντα συμπεράσματα και πάλι βεβαίως ενδεικτικά.

Παρόλα αυτά, η παραπλήσια συμπεριφορά των μιγμάτων σε κάμψη και δυναμική φόρτιση (όπως αυτή προκύπτει από την παρατήρηση του Σχήματος 7.34), μας βοηθά

στην εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων για τη συμπεριφορά των δοκιμίων σε δυναμική καταπόνηση, παραβάλλοντας τα αντίστοιχα διαγράμματα κάμψης με αυτά της δυναμικής φόρτισης.

Ποσοστό γαλακτώματος 3%

Για τα μίγματα με 3% γαλάκτωμα η καμπύλη του E_s κάμψης (μπλε διακεκομμένη) δείχνει να ακολουθεί την μορφή της αντίστοιχης καμπύλης E_s δυναμικής φόρτισης (μπλε συνεχής).

Παρόλα αυτά για μετάβαση από 0% σε 1% τσιμέντο παρατηρείται μικρή μείωση του στατικού E_s (από 3023 MPa σε 2715 MPa).

Αντίθετα η μετάβαση από μίγμα με 1% τσιμέντο σε 2%, οδηγεί σε αύξηση του E_s (από 2715 MPa σε 10416 MPa), όπως δηλαδή συμβαίνει και στη περίπτωση της δυναμικής φόρτισης.

Το 1% τσιμέντο είναι πολύ μικρή ποσότητα για να έχει κατανεμηθεί ομοιόμορφα στο μίγμα. Επομένως η διασπορά των αποτελεσμάτων αναμένεται να είναι πολύ μεγάλη.

Άρα οι μικρές τιμές του E_s που προσδιορίστηκαν για τις περιπτώσεις με 1% τσιμέντο (τόσο για ποσοστό γαλακτώματος 3% όσο και στη περίπτωση με 4% γαλάκτωμα που ακολουθεί) μπορεί να αποδοθούν στη μεγάλη μεταβλητότητα του υλικού.

Ποσοστό γαλακτώματος 4%

Για τα μίγματα με 4% γαλάκτωμα η καμπύλη του E_s κάμψης (ροζ διακεκομμένη) μας δίνει μια πιθανή εικόνα της αντίστοιχης καμπύλης δυναμικής φόρτισης.

Αντίστοιχα με πριν, παρατηρείται :

- Μείωση του στατικού E_s για μετάβαση από μίγμα με 0% τσιμέντο ($E_s=2238$ MPa) σε μίγμα με 1% τσιμέντου ($E_s=649$ MPa)

Η παραπάνω μείωση μπορεί να αποδοθεί, όπως και παραπάνω (περίπτωση ποσοστού γαλακτώματος 3%), στη μεγάλη διασπορά των αποτελεσμάτων του E_s με μόλις 1% τσιμέντο.

Ειδικότερα αυτό, μιας και για το υπολογισμό της τιμής του E_s με 1% τσιμέντο αλλά και της αντίστοιχης τιμής του E_s για 0%, το πλήθος των διαθέσιμων δοκιμίων (μόλις ένα και δύο δοκίμια αντίστοιχα) δεν είναι ικανό για εξαγωγή ασφαλέστερων αποτελεσμάτων.

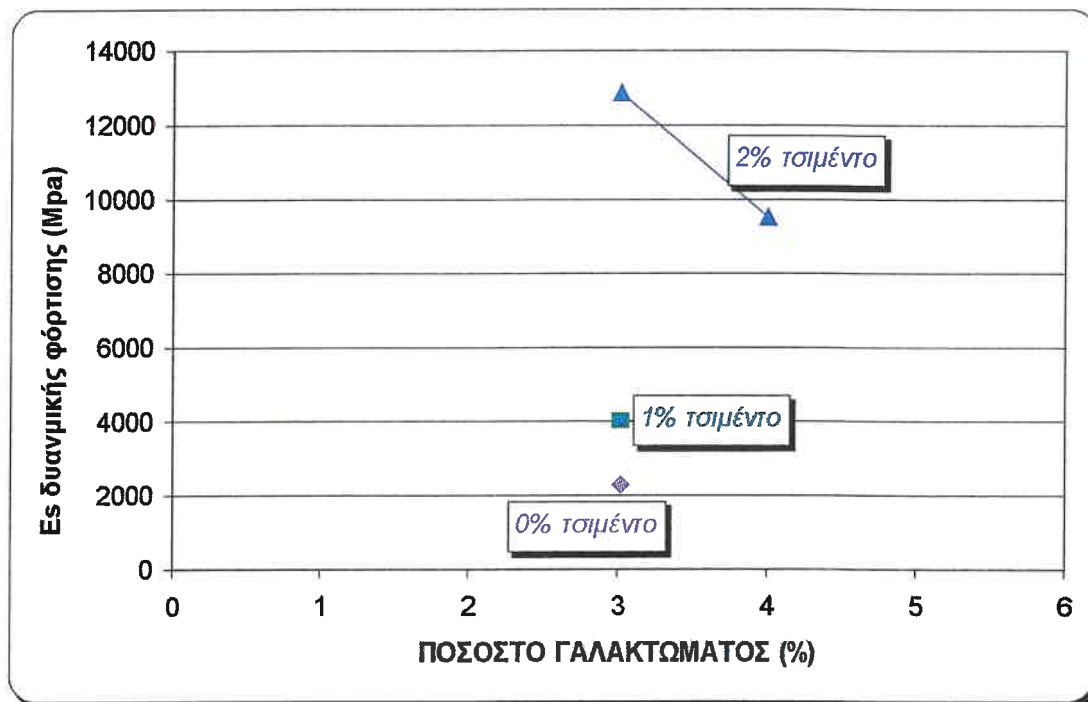
- Αύξηση της τιμής του E_s σε κάμψη για μετάβαση από 1% τσιμέντο ($E_s=649$ MPa) σε 2% τσιμέντο ($E_s=5660$ MPa).

Ποσοστό γαλακτώματος 5%

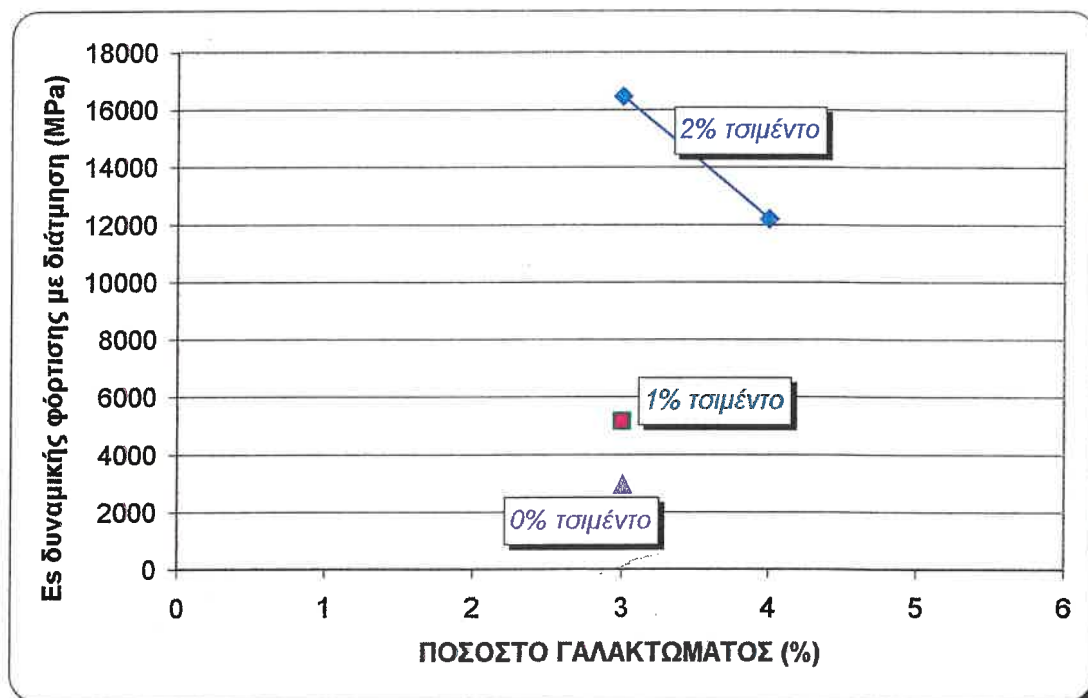
Το μίγμα με 0% τσιμέντο έδωσε τιμή του στατικού E_s ίση με 716 MPa. Η τιμή αυτή είναι η μικρότερη, τόσο ανάμεσα στα μίγματα με 0% τσιμέντο αλλά και επί του συνόλου των εξεταζόμενων μιγμάτων.

Από όλα τα παραπάνω προκύπτει και πάλι η μεγάλη συνεισφορά του τσιμέντου, σε ικανά ποσοστά, στην αύξηση του μέτρου ελαστικότητας.

7.2.8 Διαγράμματα μεταβολής του E_s δυναμικής φόρτισης με το ποσοστό γαλακτώματος, για διάφορα ποσοστά τσιμέντου



Σχήμα 7.35 Μεταβολή του μέτρου ελαστικότητας E_s δυναμικής φόρτισης με το ποσοστό γαλακτώματος, για διάφορα ποσοστά τσιμέντου.



Σχήμα 7.36 Μεταβολή του μέτρου ελαστικότητας E_s δυναμικής φόρτισης, με διόρθωση λόγω διάτμησης, με το ποσοστό γαλακτώματος, για διάφορα ποσοστά τσιμέντο.

- **Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις επί των Διαγραμμάτων (Σχήματα 7.35, 7.36)**

Από τα Σχήματα 7.35 και 7.36 προκύπτει η μεταβολή του μέτρου ελαστικότητας μίγματος με το ποσοστό γαλακτώματος. Συγκεκριμένα έχουμε για τα διάφορα ποσοστά τσιμέντου:

Ποσοστό τσιμέντου 0%

Το μίγμα με 3% γαλάκτωμα παρουσίασε τη μικρότερη τιμή μέτρου ελαστικότητας σε δυναμική φόρτιση $E_s=2296\text{MPa}$ ($E_s=2943\text{MPa}$ –λαμβάνομενης της διόρθωσης λόγω διάτμησης-) συγκρινόμενο με μίγματα διαφορετικού ποσοστού τσιμέντου (1% και 2%), αλλά και στο σύνολο των εξεταζόμενων μιγμάτων.

Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι μίγματα χωρίς την παρουσία τσιμέντου παρουσιάζουν μικρό μέτρο ελαστικότητας σε δυναμική φόρτιση.

Ποσοστό τσιμέντου 1%

Το μίγμα με 3% γαλάκτωμα έχει μέτρο ελαστικότητας σε δυναμική φόρτιση $E_s=4017\text{MPa}$ ($E_s=5149\text{MPa}$ με διάτμηση), συγκρινόμενο δε, με το αντίστοιχο μίγμα με 0% τσιμέντο και 3% γαλάκτωμα η τιμή του E_s είναι σχεδόν διπλάσια.

Ποσοστό τσιμέντου 2%

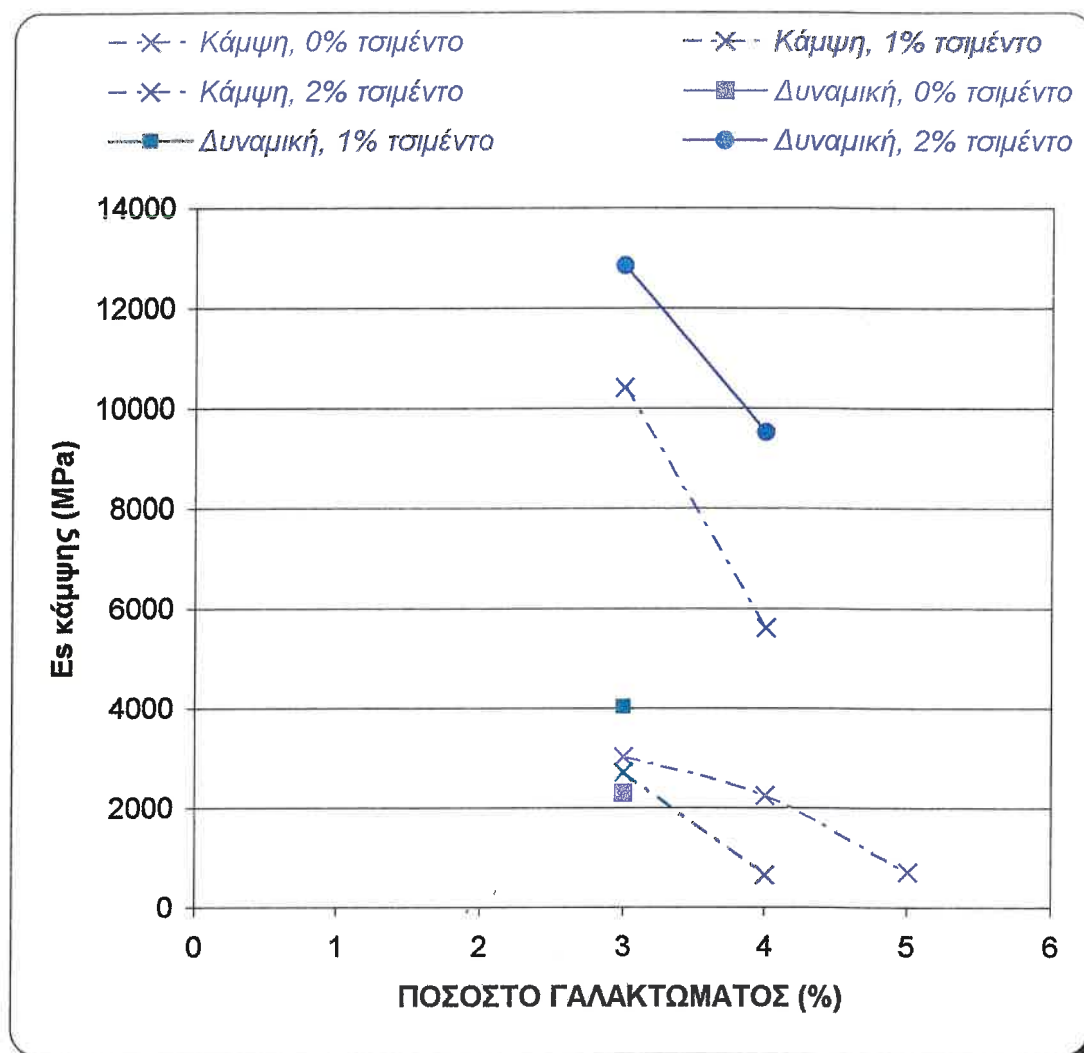
Για ποσοστό τσιμέντου 2% έχουμε δύο μίγματα με :

- ο 3% γαλάκτωμα και $E_s=12844\text{MPa}$ ($E_s=16462\text{MPa}$ –διάτμηση-), και
- ο 4% γαλάκτωμα και $E_s=9515\text{MPa}$ ($E_s=12196\text{MPa}$ –διάτμηση-)

Η τιμή του E_s για 3% γαλάκτωμα και 2% τσιμέντο έχει πλέον τριπλασιαστεί σε σχέση με τη αντίστοιχη του μίγματος 3% γαλάκτωμα και 1% τσιμέντο.

Και πάλι είναι προφανής η ευεργετική επίδραση της επιπλέον αύξησης του ποσοστού τσιμέντου στο μίγμα, όπως επίσης και η αρνητική συμβολή της αύξησης του ποσοστού γαλακτώματος στη τιμή του E_s .

Τέλος, παρατίθεται και το αντίστοιχο διάγραμμα της μεταβολής του μέτρου ελαστικότητας σε κάμψη με το ποσοστό τσιμέντου, για διάφορα ποσοστά γαλακτώματος (Σχήμα 7.37). Λόγος αυτής της παράθεσης είναι κυρίως η μελέτη και σύγκριση της μορφής των διαγραμμάτων, και όχι τόσο των απολύτων τιμών των E_s κάμψης και δυναμικής φόρτισης.



Σχήμα 7.37 Μεταβολή του E_s κάμψης (διακεκομμένη) και E_s δυναμικής φόρτισης (συνεχής) με το ποσοστό γαλακτώματος, για διάφορα ποσοστά τσιμέντου.

• Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις επί του Διαγράμματος (Σχήμα 7.37)

Παρατηρώντας τη μορφή των καμπύλων του E_s κάμψης (διακεκομμένες) βλέπουμε πώς αυτές έχουν την ίδια κατεύθυνση με τις αντίστοιχες της δυναμικής φόρτισης (συνεχείς) βοηθώντας μας έτσι να επαληθεύσουμε κρίσεις που έγιναν χωρίς το πλήθος των σημείων που υπάρχουν στη κάμψη. Πιο συγκεκριμένα έχουμε:

Ποσοστό τσιμέντου 0%

Παρατηρείται ότι, για τα μίγματα τα υποβαλλόμενα σε κάμψη, με 0% τσιμέντο (ροζ διακεκομμένη) όσο αυξάνει το ποσοστό γαλακτώματος (από 3% σε 4% και 5%) η ήδη μικρή τιμή του μέτρου ελαστικότητας τείνει να μηδενιστεί.

Συγκεκριμένα για μετάβαση από μίγμα με 3% γαλάκτωμα σε 4% και κατόπιν σε 5% προκύπτει μείωση του E_s από 3023MPa σε 2238MPa και 716MPa αντίστοιχα.

Ποσοστό τσιμέντου 1%

Παρόμοια είναι και τα εξαγόμενα συμπεράσματα από τη μελέτη των μίγμάτων με 1% τσιμέντο (πράσινη διακεκομμένη), όπου και πάλι παρατηρείται μείωση της τιμής του στατικού E_s με την αύξηση του ποσοστού του τσιμέντου από 3% σε 4% γαλάκτωμα ($E_s=2715\text{MPa}$, $E_s=649\text{MPa}$).

Ποσοστό τσιμέντου 2%

Για τα μίγματα με 2% τσιμέντο, τα υποβαλλόμενα σε κάμψη (μπλε διακεκομμένη), τα συμπεράσματα αλλά και τα διαθέσιμα σημεία (μίγματα) στο διάγραμμα, είναι αντίστοιχα αυτών της δυναμικής φόρτισης και προκύπτει ταύτιση με τις παρατηρήσεις που δόθηκαν παραπάνω.

Έτσι για ποσοστό τσιμέντου 2% έχουμε δύο μίγματα με :

- Στατικό μέτρο ελαστικότητας $E_s=10416\text{MPa}$ για το μίγμα με 3% γαλάκτωμα
- Στατικό μέτρο ελαστικότητας $E_s=5605\text{MPa}$ για το μίγμα με 4% γαλάκτωμα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Πίνακας ΙΙ ΗΜΕΡΟΛΟΓΙΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

ΗΜΕΡΟΛΟΓΙΟ		ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	ΜΙΓΜΑΤΩΝ				
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ :		22/4/2002	23/4/2002	24/4/2002	26/4/2002	21/5/2002	22/5/2002
ΤΥΠΟΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ	2% Τσιμέντο	/ 2% Τσιμέντο	0% Τσιμέντο	0% Τσιμέντο	1% Τσιμέντο	1% Τσιμέντο	0% Τσιμέντο
	3% Γαλάκτωμα	/ 4% Γαλάκτωμα	3% Γαλάκτωμα	4% Γαλάκτωμα	3% Γαλάκτωμα	4% Γαλάκτωμα	5% Γαλάκτωμα
ΤΣΙΜΕΝΤΟ	1080 gr / 1080 gr		0 gr	0 gr	540 gr	540 gr	0 gr
ΓΑΛΑΚΤΩΜΑ	1620 gr / 2160 gr		1620 gr	2160 gr	1620 gr	2160 gr	2700 gr
ΝΕΡΟ	2382 gr / 2166 gr		2484 gr	2268 gr	2515 gr	2299 gr	2052 gr
ΑΜΜΟΣ	32400 gr		32400 gr	32400 gr	32400 gr	32400 gr	32400 gr
ΓΑΡΜΠΙΛΙ	10800 gr		10800 gr	10800 gr	10800 gr	10800 gr	10800 gr
ΧΑΛΙΚΙ	10800 gr		10800 gr	10800 gr	10800 gr	10800 gr	10800 gr

Πίνακας Ι2 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ – ΚΑΘΑΡΟΥ ΘΡΑΥΣΤΟΥ ΑΜΜΟΧΑΛΙΚΟΥ

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗΣ				
Στοιχεία Δείγματος : 100% Καθαρό Θραυστό Αμμοχάλικο (60/20/20 αμμος/γαρμπίλι/χαλίκι)				
Βάρος ολικού δείγματος			Διερχόμενο βάρος	
Πρότυπο μέγεθος κόσκινου (mm)	Αριθμός κόσκινου	Συγκρατούμενο βάρος σε (gr)	gr	%
75,00	3"			
63,00	2 1/2"			
5,00	2"			
37,50	1 1/2"			
31,50	1 1/4"			
25,00	1"			100,0
19,00	3/4"			99,8
16,00	5/8"			94,9
12,50	1/2"			84,5
9,50	3/8"			70,3
6,30	1/4"			61,1
4,75	No 4			55,1
2,36	No 8			46,3
2,00	No 10			
1,18	No 16			35,7
0,60	No 30			26,1
0,43	No 40			
0,30	No 50			20,8
0,18	No 80			
0,15	No 100			16,2
0,08	No 200			12,9
	Παιπάλη			
	Ολικό βάρος			

Πίνακας Ι3 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ - ΑΜΜΟΣ

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗΣ				
Στοιχεία Δείγματος : Μ.Ο ΑΜΜΟΥ				
Βάρος ολικού δείγματος			Διερχόμενο βάρος	
Πρότυπο μέγεθος κόσκινου (mm)	Αριθμός κόσκινου	Συγκρατούμενο βάρος σε (gr)	gr	%
75,00	3"			
63,00	2 1/2"			
5,00	2"			
37,50	1 1/2"			
31,50	1 1/4"			
25,00	1"			
19,00	3/4"			
16,00	5/8"			
12,50	1/2"			
9,50	3/8"			
6,30	1/4"			
4,75	No 4			99,85
2,36	No 8			81,18
2,00	No 10			
1,18	No 16			58,27
0,60	No 30			37,50
0,43	No 40			
0,30	No 50			27,14
0,18	No 80			
0,15	No 100			19,87
0,08	No 200			14,33
	Παιπάλη			
	Ολικό βάρος			

Πίνακας Ι4 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ - ΓΑΡΜΠΙΛΙ

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗΣ				
Στοιχεία Δείγματος: Μ.Ο ΓΑΡΜΠΙΛΙ				
Βάρος ολικού δείγματος			Διερχόμενο βάρος	
Πρότυπο μέγεθος κόσκινου (mm)	Αριθμός κόσκινου	Συγκρατούμενο βάρος σε (gr)	gr	%
75,00	3"			
63,00	2 1/2"			
5,00	2"			
37,50	1 1/2"			
31,50	1 1/4"			
25,00	1"			
19,00	3/4"			
16,00	5/8"			
12,50	1/2"			97,99
9,50	3/8"			51,68
6,30	1/4"			7,01
4,75	No 4			1,47
2,36	No 8			0,61
2,00	No 10			
1,18	No 16			
0,60	No 30			
0,43	No 40			
0,30	No 50			
0,18	No 80			
0,15	No 100			
0,08	No 200			
	Παιπάλη			
	Ολικό βάρος			

Πίνακας 15 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ - ΧΑΛΙΚΙ

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗΣ				
Στοιχεία Δείγματος : Μ.Ο ΧΑΛΙΚΙ				
Βάρος ολικού δείγματος			Διερχόμενο βάρος	
Πρότυπο μέγεθος κόσκινου (mm)	Αριθμός κόσκινου	Συγκρατούμενο βάρος σε (gr)	gr	%
75,00	3"			
63,00	2 1/2"			
5,00	2"			
37,50	1 1/2"			
31,50	1 1/4"			
25,00	1"			99,49
19,00	3/4"			81,60
16,00	5/8"			50,36
12,50	1/2"			13,15
9,50	3/8"			1,87
6,30	1/4"			0,73
4,75	No 4			0,57
2,36	No 8			
2,00	No 10			
1,18	No 16			
0,60	No 30			
0,43	No 40			
0,30	No 50			
0,18	No 80			
0,15	No 100			
0,08	No 200			
	Παιπάλη			
	Ολικό βάρος			

Πίνακας Ι6 ΠΡΙΣΜΑΤΑ ΣΕ ΜΟΝΟΑΞΩΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ

ΠΡΙΣΜΑΤΑ	ποσοστό τοιμμένου	ποσοστό γαλακτώματος	Αριθμός δοκιμίου	Μέτρο Ελαστικότητας Es	Μέσος όρος Es πρισμάτων σε θλίψη ανά μίγμα	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (kN)	Μέσος όρος ΦΟΡΤΙΟΥ ΘΡΑΥΣΗΣ (kN)	ΑΝΤΟΧΗ F(MPa)	Μέσος όρος ΑΝΤΟΧΗΣ f (MPa)	ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΤΙΜΩΝ f
ΜΙΓΜΑ	2%	4%	B1 B2 B3	5110 4202	4656	21,08 19,80	20,44	2,11 1,98	2,04	3,14
ΜΙΓΜΑ	2%	3%	B4 B5 B6	7806 7644	7725	28,47 31,51	29,99	2,85 3,15	3,00	5,07
ΜΙΓΜΑ	0%	3%	B7 B8 B9	782 1030	906	10,73 11,54	11,13	1,07 1,15	1,11	3,62
ΜΙΓΜΑ	0%	4%	B10 B11 (σπασμένο)B12	630 665	647	9,74 9,72	9,73	0,97 0,97	0,97	0,13
ΜΙΓΜΑ	1%	3%	B13 B14 B15	1637 2652	2145	7,90 9,12	8,51	0,79 0,91	0,85	7,17
ΜΙΓΜΑ	1%	4%	B16 B17 B18	775 969	872	7,03 7,98	7,51	0,70 0,80	0,75	6,34
ΜΙΓΜΑ	0%	5%	B19 B20 B21	617	617	11,13	11,13	1,11	1,11	

Πίνακας Ι7 ΚΥΛΙΝΔΡΟΙ ΣΕ ΑΝΤΙΔΙΑΜΕΤΡΙΚΗ ΘΛΙΨΗ – ΕΜΜΕΣΟΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ

ΚΥΛΙΝΔΡΟΙ ΣΕ ΑΝΤΙΔΙΑΜΕΤΡΙΚΗ ΘΛΙΨΗ			V(ταχύτητα φόρτισης) = 0,58 kN/s	
Αριθμός δοκιμίου	Μίγμα με :	Τιμή θραύσης(kN)	Αντοχή f (MPa)	Μέση τιμή αντοχής f
B3	2%τσιμέντο, 4%γαλάκτωμα	16,63	0,53	0,50
B4	2%τσιμέντο, 4%γαλάκτωμα	14,75	0,47	
B7	2%τσιμέντο, 3%γαλάκτωμα	18,92	0,60	0,58
B8	2%τσιμέντο, 3%γαλάκτωμα	17,50	0,56	
B11	0%τσιμέντο, 3%γαλάκτωμα	11,28	0,36	0,38
B12	0%τσιμέντο, 3%γαλάκτωμα	12,33	0,39	
B15	0%τσιμέντο, 4%γαλάκτωμα	14,80	0,47	0,55
B16	0%τσιμέντο, 4%γαλάκτωμα	19,62	0,62	
B19	1%τσιμέντο, 3%γαλάκτωμα	9,43	0,30	0,30
B20	1%τσιμέντο, 3%γαλάκτωμα	9,48	0,30	
B23	1%τσιμέντο, 4%γαλάκτωμα	10,33	0,33	0,26
B24	1%τσιμέντο, 4%γαλάκτωμα	5,70	0,18	
B27	0%τσιμέντο, 5%γαλάκτωμα	23,66	0,75	0,73
B28	0%τσιμέντο, 5%γαλάκτωμα	22,18	0,71	
ΠΑΡΑΜΟΝΗ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΓΙΑ 24 ΩΡΕΣ ΣΕ ΨΥΓΕΙΟ ΣΤΟΥΣ 5C				

Πίνακας Ι8 ΘΛΙΨΗ ΠΡΙΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΒΟ

ΘΛΙΨΗ ΠΡΙΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΒΟ			V(ταχύτητα φόρτισης) = 0,58 kN/s	
Αριθμός δοκιμίου	Μίγμα με :	Όριο θραύσης(kN)	Αντοχή f (MPa)	Μέσος όρος F (MPa)
B1	2%τσιμέντο, 4%γαλάκτωμα	30,11	3,01	2,81
B2	2%τσιμέντο, 4%γαλάκτωμα	29,00	2,90	
B3	2%τσιμέντο, 4%γαλάκτωμα	25,15	2,52	
B4	2%τσιμέντο, 3%γαλάκτωμα	46,00	4,60	4,76
B5	2%τσιμέντο, 3%γαλάκτωμα	50,27	5,03	
B6	2%τσιμέντο, 3%γαλάκτωμα	46,56	4,66	
B7	0%τσιμέντο, 3%γαλάκτωμα	13,89	1,39	1,57
B8	0%τσιμέντο, 3%γαλάκτωμα	16,73	1,67	
B9	0%τσιμέντο, 3%γαλάκτωμα	16,40	1,64	
B10	0%τσιμέντο, 4%γαλάκτωμα	12,64	1,26	1,21
B11	0%τσιμέντο, 4%γαλάκτωμα	11,46	1,15	
B12 (σπασμένο)	0%τσιμέντο, 4%γαλάκτωμα			
B13	1%τσιμέντο, 3%γαλάκτωμα	16,48	1,65	1,73
B14	1%τσιμέντο, 3%γαλάκτωμα	17,66	1,77	
B15	1%τσιμέντο, 3%γαλάκτωμα	17,75	1,78	
B16	1%τσιμέντο, 4%γαλάκτωμα	13,81	1,38	1,30
B17	1%τσιμέντο, 4%γαλάκτωμα	12,21	1,22	
B18	1%τσιμέντο, 4%γαλάκτωμα	13,11	1,31	
B19	0%τσιμέντο, 5%γαλάκτωμα	11,29	1,13	1,16
B20	0%τσιμέντο, 5%γαλάκτωμα	11,25	1,13	
B21	0%τσιμέντο, 5%γαλάκτωμα	12,39	1,24	

Πίνακας Ι9 ΔΟΚΑΡΙΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

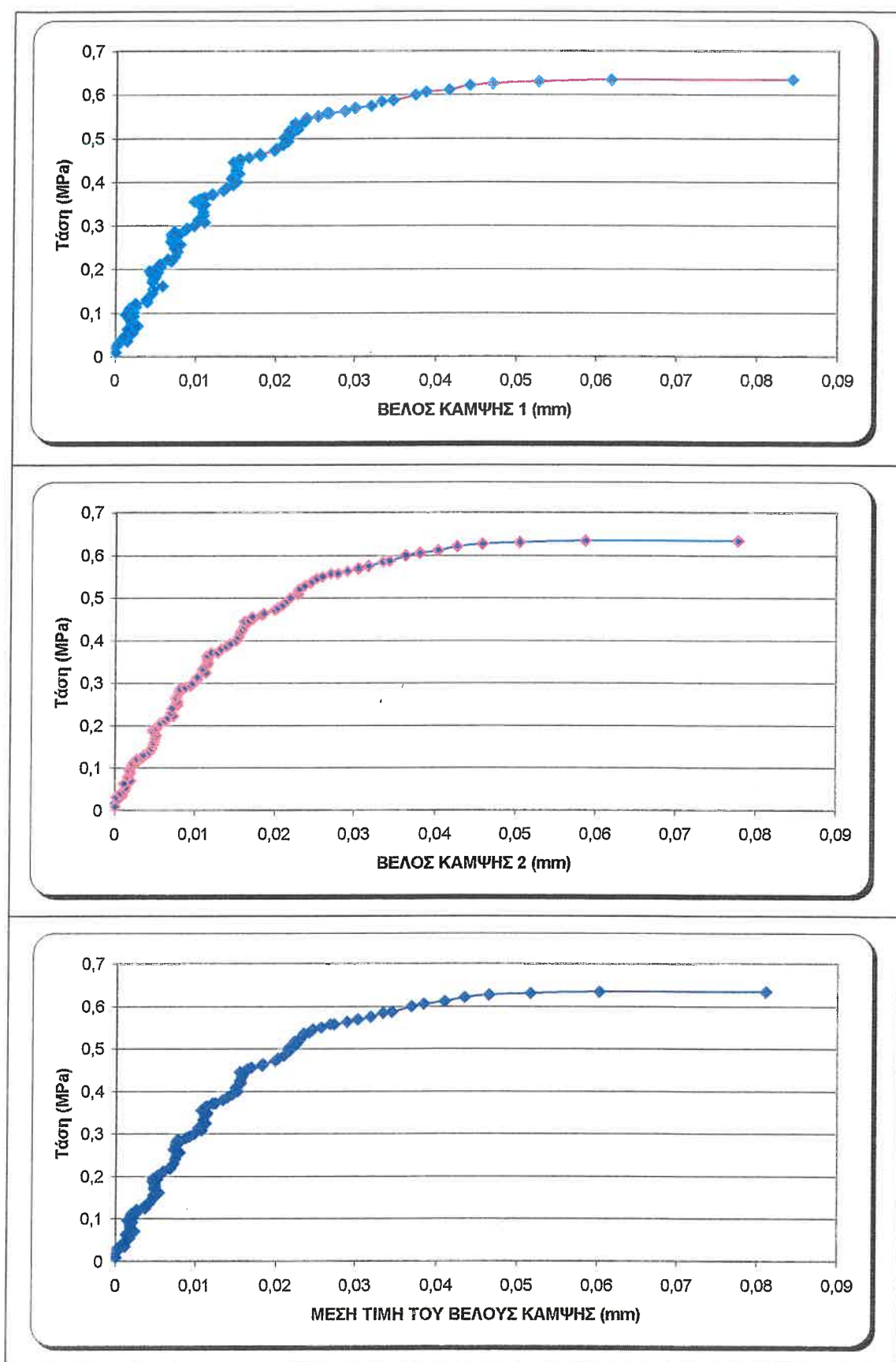
ΔΟΚΑΡΙΑ	ποσοστό τσιμέντου	ποσοστό γαλακτώματος	Μέτρο Ελαστικότητας (MPa)	Μέσος όρος Es (MPa)	Φορτίο Θραύσης P(max) kN	M.O P(max)	ΑΝΤΟΧΗ f _t (MPa)	Μέσος όρος f _t (MPa)	ΡΥΘΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ (kN/sec)
B1			4877		2,1240		0,637		0,21
B2	2%	4%	6685		2,1143		0,634		0,20
B3			5254	5605	1,8555	2,031	0,557	0,609	0,20
B4			10349		2,7246		0,817		0,20
B5	2%	3%	10839		2,5708		0,771		0,20
B6			10061	10416	2,5195	2,605	0,756	0,781	0,20
B7			2311		1,2964		0,389		0,19
B8	0%	3%	3470		1,5332		0,460		0,18
B9			3288	3023	1,5845	1,471	0,475	0,441	0,20
B10			2238		1,4893		0,447		0,20
B11	0%	4%							
(σπασμένο)B12				2238		1,489		0,447	
B13			2685		0,8667		0,260		0,20
B14	1%	3%	2745		0,9692		0,291		0,20
B15			7108	2715	0,9277	0,921	0,278	0,276	0,19
B16									
B17	1%	4%	606		0,2759		0,083		0,12
B18			692	649	0,2441	0,260	0,073	0,078	0,17
B19			716		0,4468		0,134		0,21
B20	0%	5%							
B21				716		0,4468		0,134	

Πίνακας I10 *ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ Es ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΔΟΚΑΡΙΩΝ*

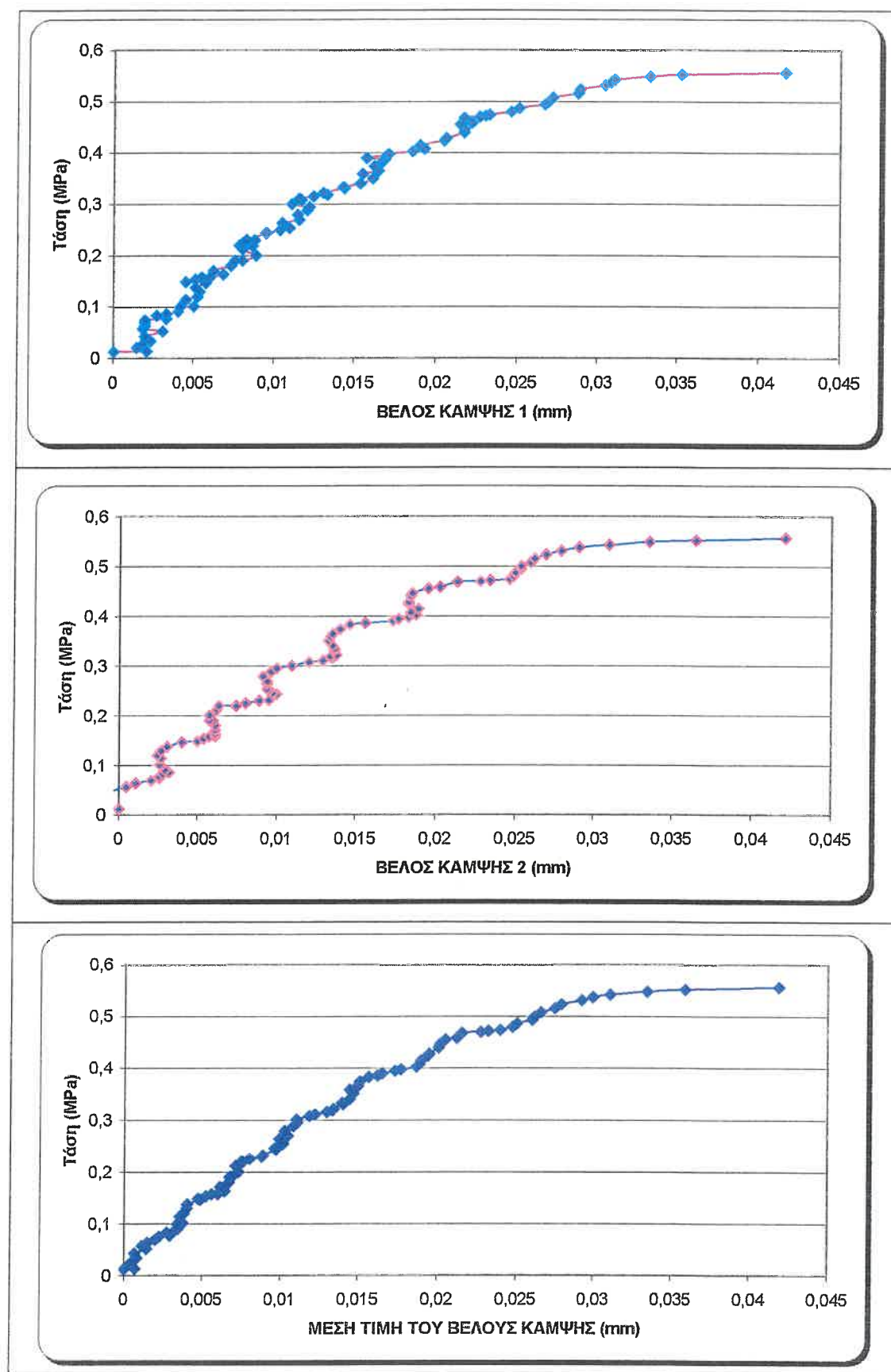
ΔΟΚΑΡΙΑ	ποσοστό τσιμέντου	ποσοστό γαλακτώματος	Es (MPa) της τελευταίας 6- αδας φόρτισης	Μέσος όρος Es (MPa)
B1 B2 B3	2%	4%	15141 3888	9515
B4 B5 B6	2%	3%	11333 14354	12844
B7 B8 B9	0%	3%	1991 2601	2296
B10 B11 (σπασμένο)B12	0%	4%		
B13 B14 B15	1%	3%	3943 4091	4017
B16 B17 B18	1%	4%		
B19 B20 B21	0%	5%		

Πίνακας I11 *ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ E_s (ΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΟΥ ΥΠΟΨΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΣΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ E_s) ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΤΩΝ ΔΟΚΑΡΙΩΝ*

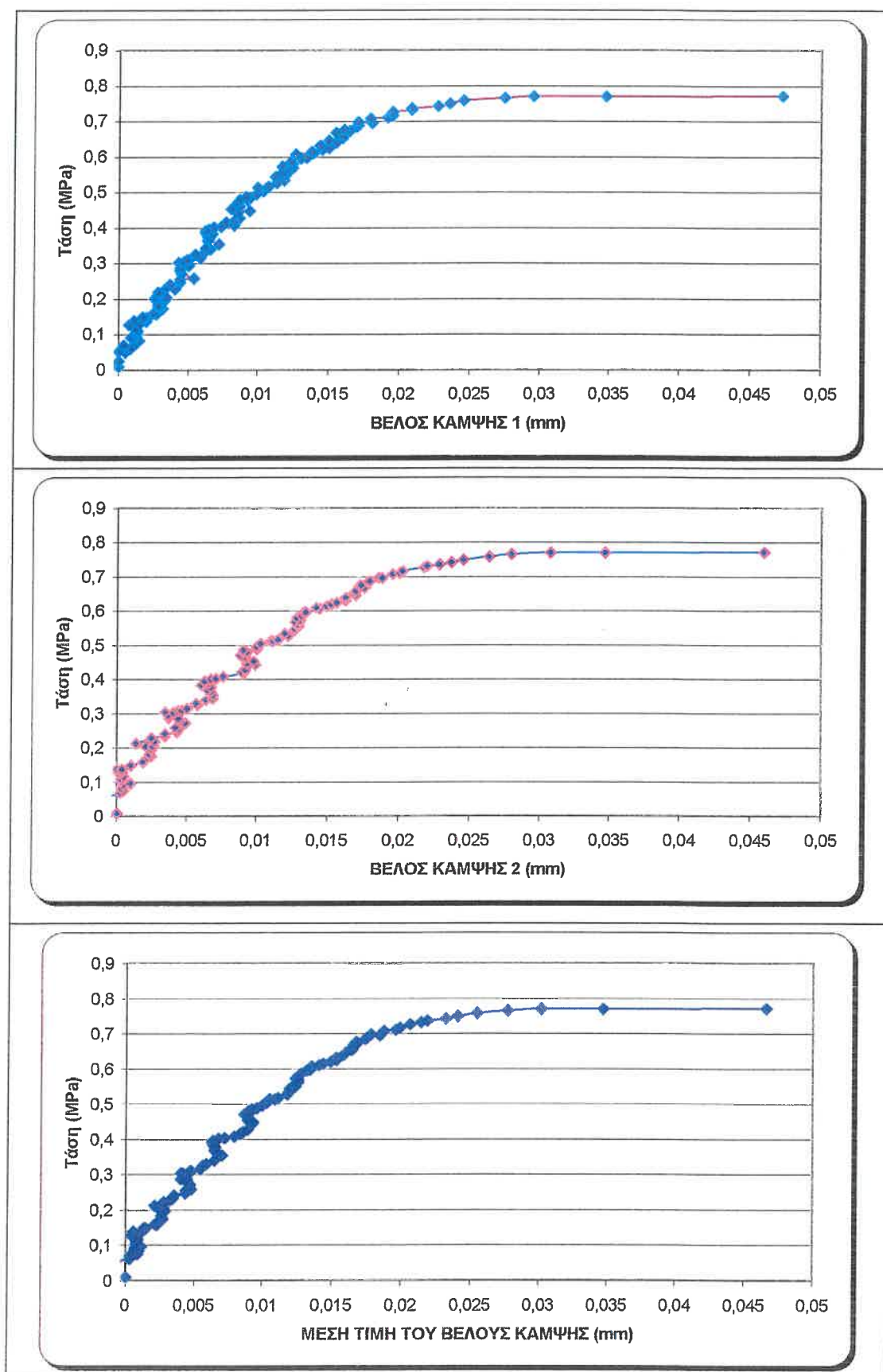
ΔΟΚΑΡΙΑ	ποσοστό τσιμέντου	ποσοστό γαλακτώματος	E_s (MPa) της τελευταίας 6- αδας φόρτισης συνυπολογίζοντας τη διάτμηση	Μέσος όρος E_s δυναμικής φόρτισης- διάτμηση (MPa)
B1 B2 B3	2%	4%	19407 4984	12196
B4 B5 B6	2%	3%	14526 18398	16462
B7 B8 B9	0%	3%	2551 3334	2943
B10 B11 (σπασμένο)B12	0%	4%		
B13 B14 B15	1%	3%	5054 5244	5149
B16 B17 B18	1%	4%		
B19 B20 B21	0%	5%		



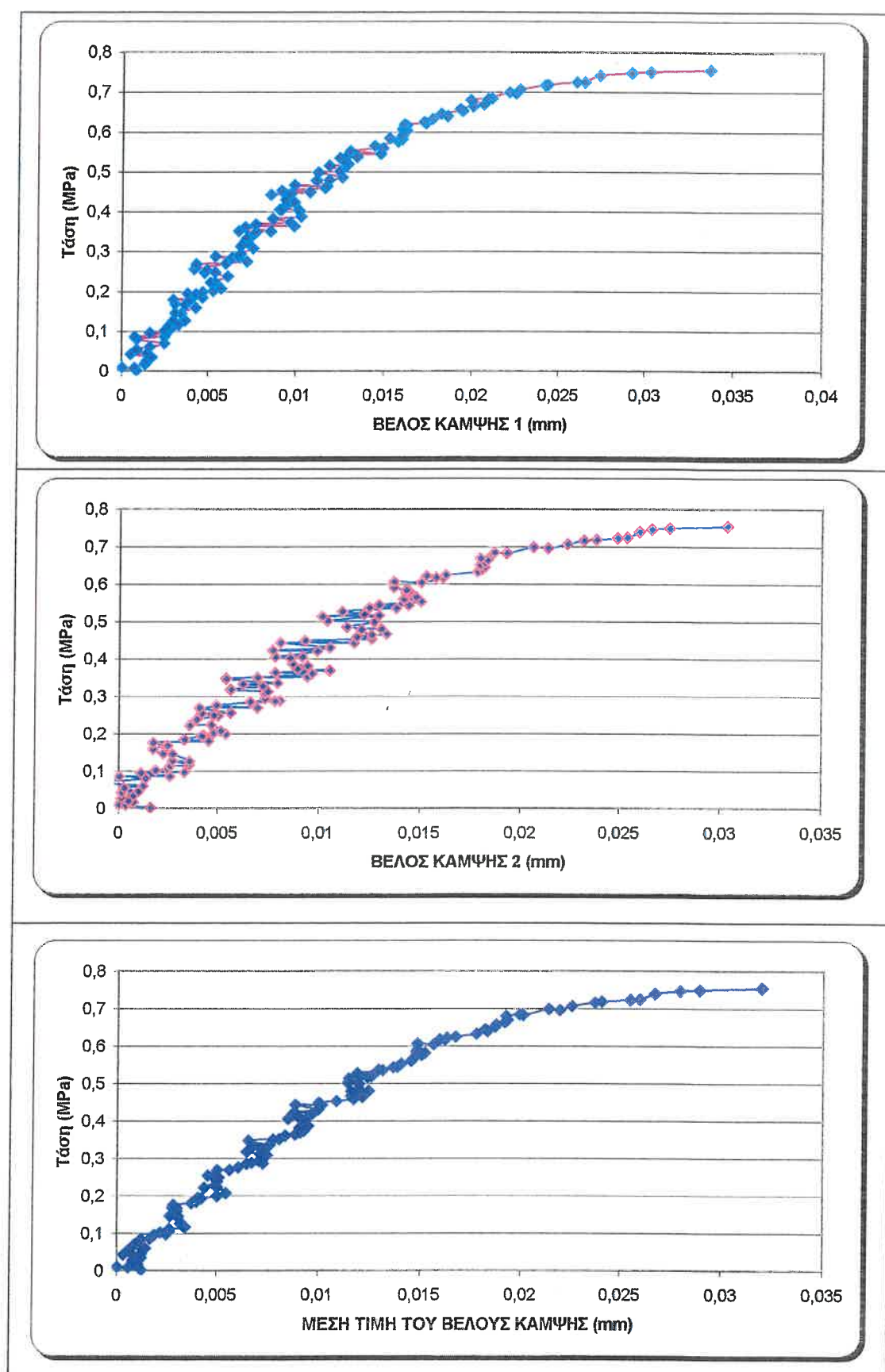
Σχήμα Ι.1 Διαγράμματα τάσης - βέλους κάμψης του δοκιμίου B2 (μίγμα 2% τσιμέντο, 4% γαλάκτωμα)



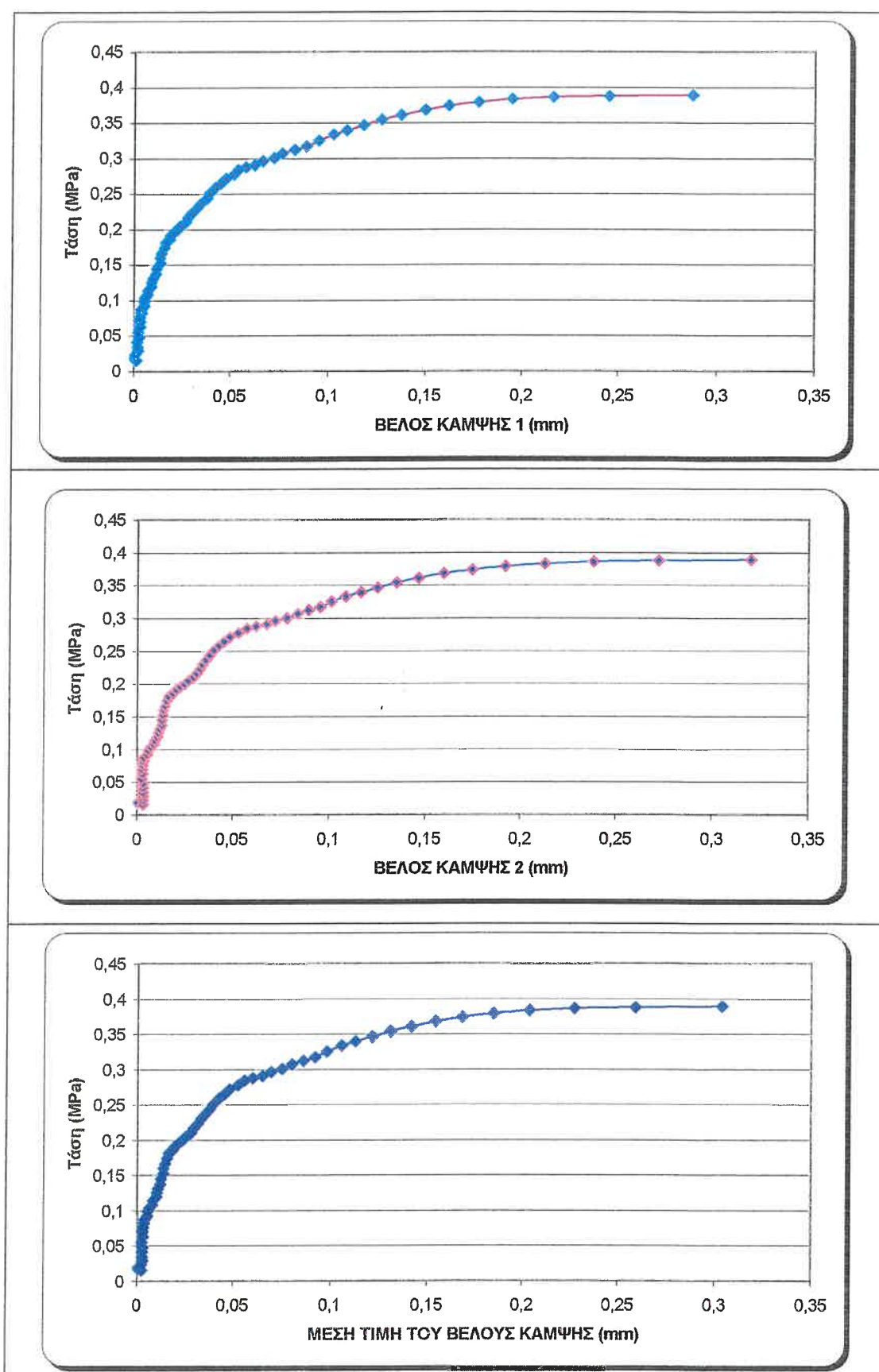
Σχήμα Ι.2 Διαγράμματα τάσης - βέλους κάμψης του δοκιμίου Β3 (μίγμα 2% τσιμέντο, 4% γαλάκτωμα)



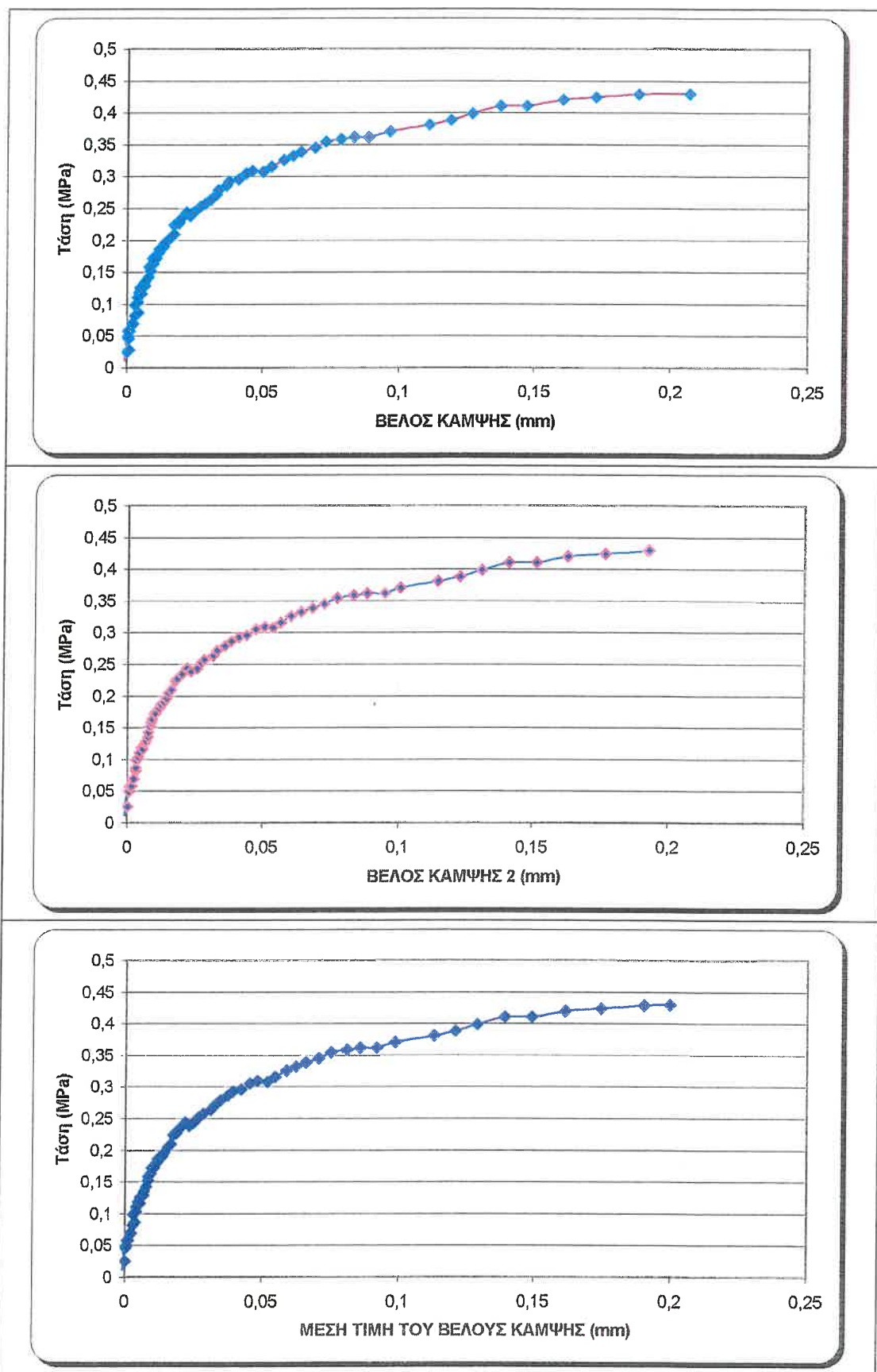
Σχήμα Ι.3 Διαγράμματα τάσης - βέλους κάμψης του δοκιμίου B5 (μίγμα 2% τσιμέντο, 3% γαλάκτωμα)



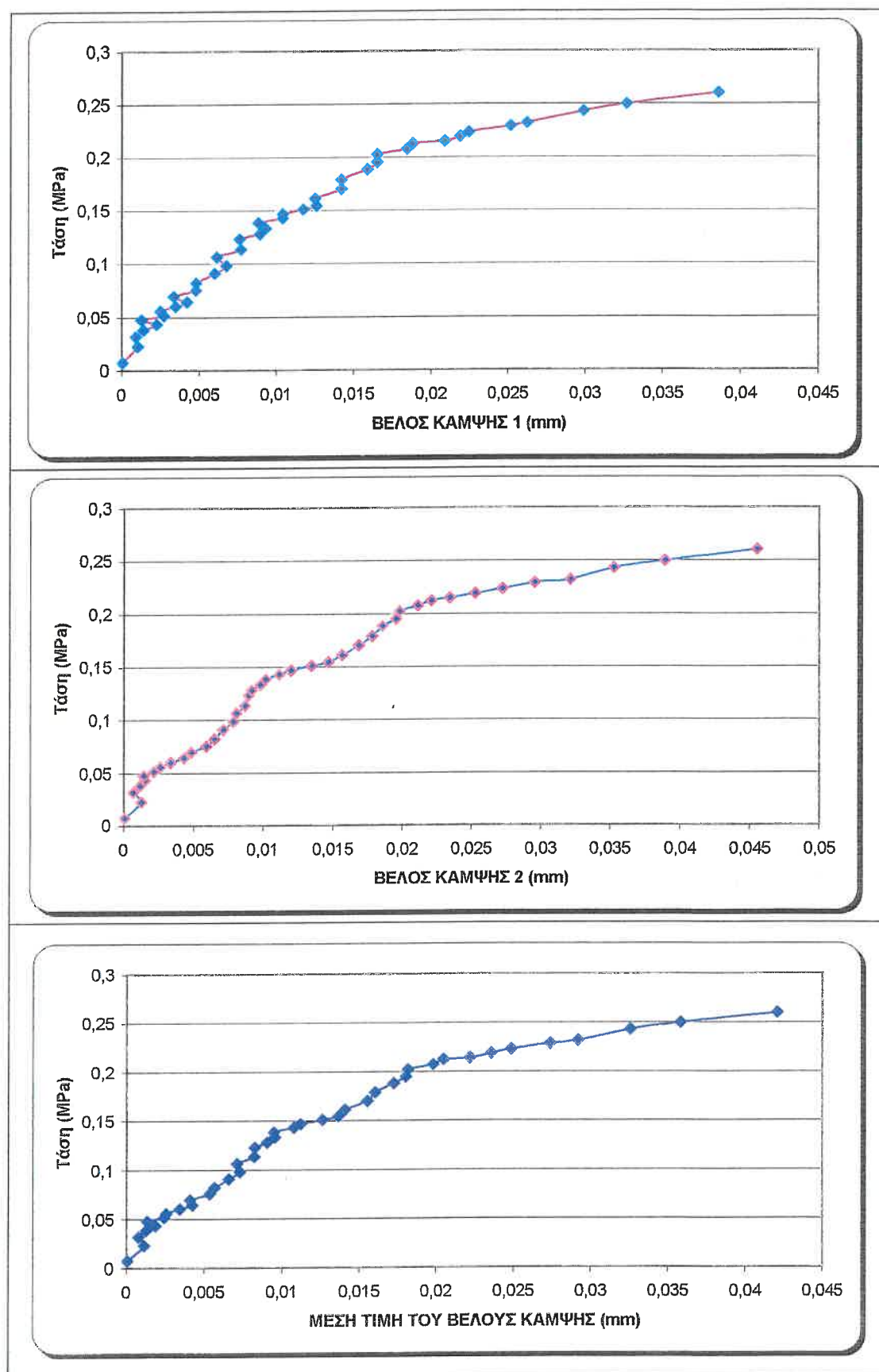
Σχήμα I.4 Διαγράμματα τάσης - βέλους κάμψης του δοκιμίου B6 (μίγμα 2% τσιμέντο, 3% γαλάκτωμα)



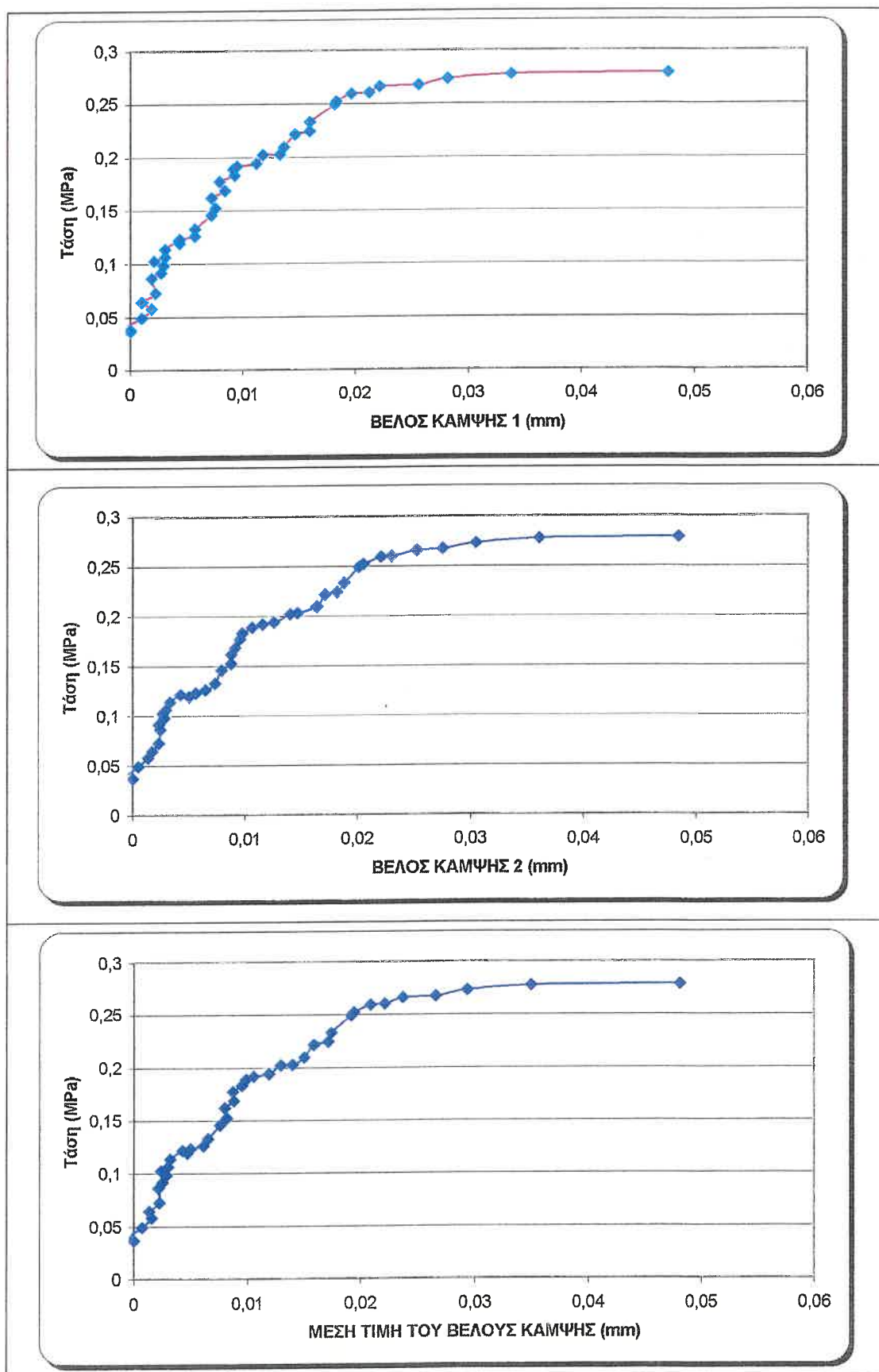
Σχήμα 1.5 Διαγράμματα τάσης - βέλους κάμψης του δοκιμίου B7 (μίγμα 0% τσιμέντο, 3% γαλάκτωμα)



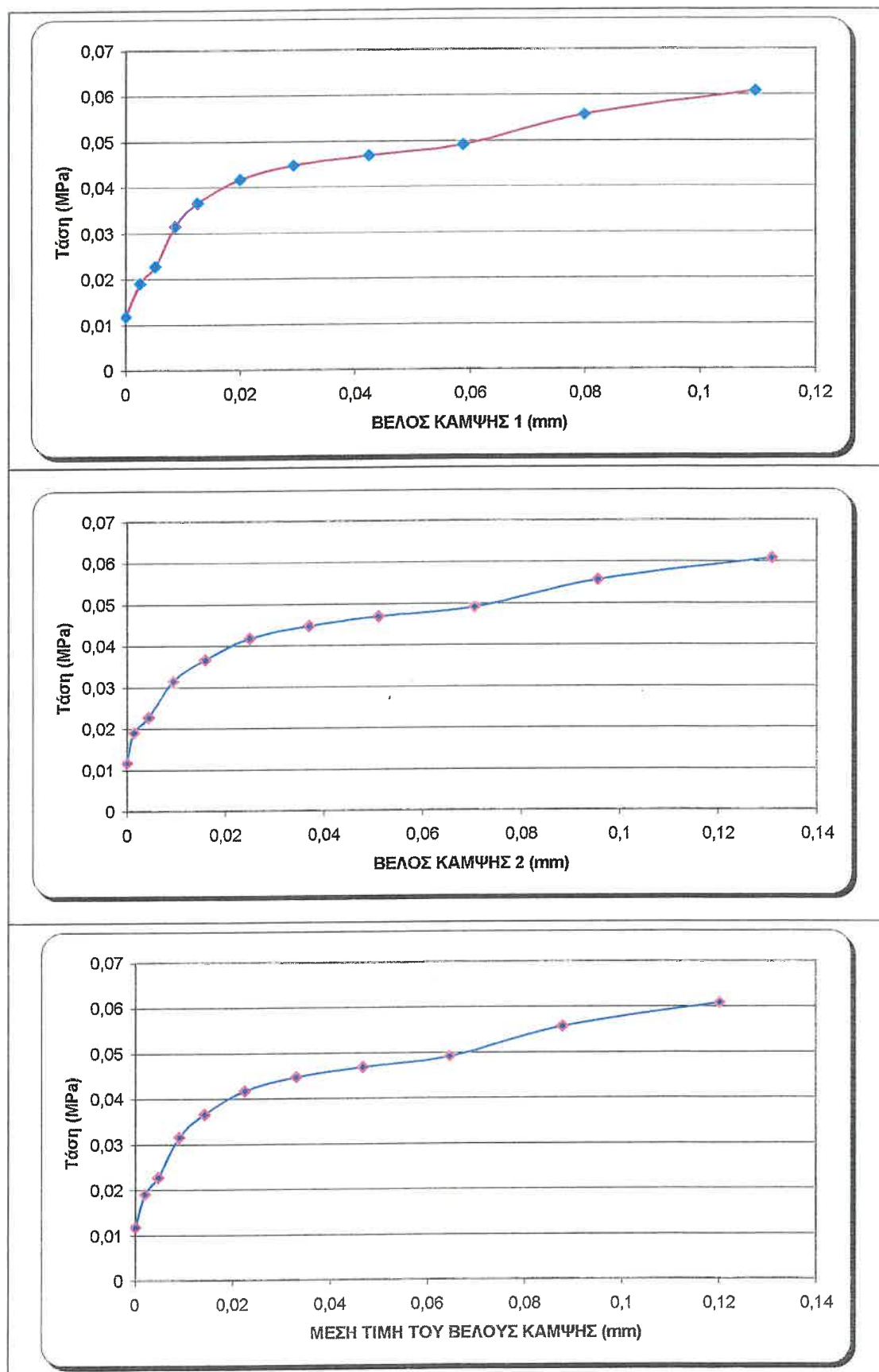
Σχήμα Ι.6 Διαγράμματα τάσης - βέλους κάμψης του δοκιμίου Β8 (μίγμα 0% τσιμέντο, 3% γαλάκτωμα)



Σχήμα Ι.7 Διαγράμματα τάσης - βέλους κάμψης του δοκιμίου B13 (μίγμα 1% τσιμέντο, 3% γαλάκτωμα)



Σχήμα Ι.8 Διαγράμματα τάσης - βέλους κάμψης του δοκιμίου B15 (μίγμα 1% τσιμέντο, 3% γαλάκτωμα)



Σχήμα 1.9 Διαγράμματα τάσης - βέλους κάμψης του δοκιμίου B18 (μίγμα 1% τσιμέντο, 4% γαλάκτωμα)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] : Σ. Κόλιας – Α. Λοΐζος “ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ”, Ε.Μ.Π
Αθήνα 1999
- [2] : Νικολαΐδης Αθ.Φ “Οδοποιία, Οδοστρώματα –Υλικά έλεγχος ποιότητας”, 1996
- [3] : ΠΡΟΤΥΠΟΣ ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ Α 202
Ασφαλτικά Αλκαλικά Γαλακτώματα (Ψυχροί Άσφαλτοι)
- [4] : ‘Wirtgen’ ΠΡΟΤΥΠΟΣ ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ
- [5] : Ι. Ν. ΠΡΑΣΙΑΝΑΚΗΣ – Σ. Κ. ΚΟΥΡΚΟΥΛΗΣ “Πειραματική αντοχή των υλικών” ΑΘΗΝΑ 1999
- [6] : Ι. Ν. ΠΡΑΣΙΑΝΑΚΗΣ – Σ. Κ. ΚΟΥΡΚΟΥΛΗΣ “Έργαστήρια πειραματικής αντοχής των υλικών” ΑΘΗΝΑ 1999
- [7] : A.A. LOUDON & PARTNERS Consulting Engineers “COLD DEEP IN PLACE RECYCLING” – Technical recommendations and application specifications
- [8] : “ASPHALT COLD-MIX MANUAL” The Asphalt Institute
- [9] : ASTM C78-94 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete.
- [10] : ASTM C469 Standard Test Method for Static Modules of Elasticity and Poisson’s Ratio of Concrete in Compression .
- [11] : Σ. Κόλιας – Α. Λοΐζος “ΕΙΔΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ”, Ε.Μ.Π
Αθήνα 2001
- [12] : Σ. Κόλιας “Γενικές αρχές υπολογισμού εύκαμπτων οδοστρωμάτων” , Ε.Μ.Π
Αθήνα
- [13] : MTS System Corporation, “Pavements Testing Applications”, USA 9/2000
- [14] : Σ. Κόλιας – Α. Λοΐζος, “Περιβαλλοντικές επιπτώσεις συστημάτων μεταφορών”, Ιανουάριος 2000

Φωτογραφίες και επιμέρους πληροφορίες ελήφθησαν και από τις παρακάτω ιστοσελίδες :

www.wirtgen-america.com

www.Wirtgen.com

www.Bomag.com

www.mts.com

www.Rmrc.unh.edu

www.arra.org

www.hotmix.org

dtd 711 - Bountas Georgios - Tserepas Andreas