



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Αναπληρωτής καθηγητής Σ. ΚΟΛΙΑΣ

ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΜΜΟΧΑΛΙΚΩΝ
ΚΑΤΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΚΑΙ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑ ΣΕ
ΜΙΚΡΟ ΠΟΣΟΣΤΟ.

ΑΛΕΞΑΝΔΡΑΚΗΣ ΣΤΑΥΡΟΣ

Αθήνα

Απρίλιος 2003

Περίληψη διπλωματικής

Στην εργασία αυτή εξετάζονται τα μηχανικά χαρακτηριστικά αμμοχαλικών κατεργασμένων με τσιμέντο και γαλάκτωμα σε μικρό ποσοστό, με ιδιαίτερη έμφαση στο μέτρο ελαστικότητας και στις αντοχές σε κάμψη και θλίψη.

Στα πρώτα τρία κεφάλαια, γίνεται ανασκόπηση της υπάρχουσας γνώσης. Αναλυτικότερα, στο κεφάλαιο 1, γίνεται αναφορά στα οδοστρώματα. Εξετάζεται η ανάγκη κατασκευής αυτών, τα είδη των οδοστρωμάτων, ο τρόπος επίδρασης της φόρτισής τους στην ανάπτυξη τάσεων σε αυτά, οι παράγοντες που επηρεάζουν τον υπολογισμό τους (οικονομικοί, περιβαλλοντικοί, κλπ), καθώς και η σημαντική επιρροή του λόγου E_i/E_{i+1} , στον υπολογισμό αυτών.

Στο κεφάλαιο 2, εξηγείται η επίδραση της παρεμποδιζόμενης θερμικής συστολής στη ρηγμάτωση των βάσεων από ισχνό σκυρόδεμα. Αναφέρονται οι φυσικές ιδιότητες αυτών, ενώ αναλύονται οι αιτίες και τα αποτελέσματα της ρηγμάτωσης. Γίνεται αναφορά στη σημαντική επίδραση των θερμοκρασιακών μειώσεων, εξηγείται ο μηχανισμός θραύσης, ενώ εξάγονται συμπεράσματα και αναφέρονται μέθοδοι που αφορούν στον έλεγχο της ρηγμάτωσης εξ' αναδύσεως,

Το κεφάλαιο 3 αναφέρεται στα ασφαλικά γαλακτώματα. Παρουσιάζονται αναλυτικά, η κατηγοριοποίησή τους, οι χρήσεις και τα πλεονεκτήματα αυτών, ενώ γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στον τρόπο διάσπασης και τις ιδιότητές τους, καθώς και τους γαλακτωματοποιητές.

Στο κεφάλαιο 4, αναφέρεται ο σκοπός της εργασίας αυτής, που είναι η διερεύνηση των μηχανικών χαρακτηριστικών μιγμάτων κατεργασμένων με τσιμέντο και γαλάκτωμα σε μικρό ποσοστό, ώστε να εκτιμηθεί η επίδραση της περιεκτικότητας σε γαλάκτωμα, στην επιρρέπεια σε ρηγμάτωση, των τσιμεντόδετων αμμοχαλικών.

Τα κεφάλαια 5, 6, 7 αφορούν στο εργαστηριακό μέρος της εργασίας. Το κεφάλαιο 5 αναφέρεται στα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, και παρουσιάζεται η πορεία της εργασίας, από τη δειγματοληψία, την κοκκομετρική διαβάθμιση και την κατασκευή της καμπύλης Proctor, ως την παρασκευή, συμπίκνωση και συντήρηση των δοκιμίων.

Στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο, για τη θραύση των δοκιμίων. Κάμψη, μονοαξονική θλίψη, δοκιμή

επαναλαμβανόμενης φόρτισης, δοκιμή ισοδύναμου κύβου, δοκιμή αντιδιαμετρικής θλίψης.

Στο 7^ο κεφάλαιο, γίνεται μια προσπάθεια ανάλυσης και σχολιασμού των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις πραγματοποιηθείσες δοκιμές. Παρουσιάζονται πίνακες και αναλυτικά διαγράμματα που αφορούν κάθε δοκιμή ξεχωριστά και πραγματοποιούνται συγκρίσεις για τα αποτελέσματα των διαφόρων δοκιμών μεταξύ τους, όσον αφορά τα μέτρα ελαστικότητας και τις αντοχές.

Τέλος στο κεφάλαιο 8, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που εξάγονται από τη μελέτη αυτή, καθώς και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Περιεχόμενα

Θεωρητικό μέρος

1. Οδοστρώματα	1
1.1 Η ανάγκη κατασκευής των οδοστρώματων.....	1
1.2 Επιτόνιση από τις διελεύσεις οχημάτων.....	3
1.3 Φόρτιση από τους τροχούς.....	4
1.4 Επίδραση του κλίματος στα οδοστρώματα.....	6
1.5 Οικονομικοί παράγοντες.....	6
1.6 Μέθοδοι υπολογισμού των οδοστρώματων.....	8
1.7 Λοιποί παράγοντες που επηρεάζουν τον υπολογισμό.....	10
1.8 Η επιρροή του λόγου E_i/E_{i+1}	13
2. Παρεμποδιζόμενη θερμική συστολή βάσεων οδοστρώματων από ισχνό σκυρόδεμα	16
2.1 Κατασκευές από ισχνό σκυρόδεμα.....	16
2.2 Αποτελέσματα ρηγμάτωσης στη βάση του οδοστρώματος.....	17
2.3 Αιτίες ρηγμάτωσης.....	17
2.4 Επίδραση θερμοκρασιακών μειώσεων.....	19
2.5 Μηχανισμός θραύσης.....	20
2.6 Φυσικές ιδιότητες.....	24
2.7 Συμπεράσματα.....	25
2.8 Έλεγχος της ρηγμάτωσης εξ' αναδύσεως.....	26
2.9 Σχόλια.....	27
3. Ασφαλτικά γαλακτώματα.....	28
3.1 Γενικά.....	28
3.2 Παραγωγή ασφαλτικών γαλακτωμάτων.....	28
3.3 Ταξινόμηση και τύποι γαλακτωμάτων.....	28
3.4 Χρήσεις και πλεονεκτήματα γαλακτωμάτων.....	29
3.5 Γαλακτωματοποιητές.....	30
3.6 Διάσπαση γαλακτώματος.....	31
3.7 Ιδιότητες ασφαλτικού γαλακτώματος.....	32

Εργαστηριακό μέρος

4. Σκοπός διπλωματικής εργασίας.....	36
5. Υλικά, παρασκευή και συντήρηση δοκιμίων.....	37
5.1 Υλικά.....	37
5.2 Δειγματοληψία.....	37
5.3 Κοκκομετρική διαβάθμιση δείγματος.....	38
5.4 Δοκιμή Proctor.....	41
5.5 Παρασκευή μιγμάτων.....	44
5.6 Παρασκευή – συμπίκνωση δοκιμίων.....	47

5.7	Συντήρηση δοκιμίων.....	49
6.	Δοκιμές.....	52
6.1	Δοκιμές κάμψης και μονοαξονικής θλίψης.....	52
6.2	Δοκιμή δυναμικής φόρτισης.....	54
6.3	Δοκιμή ισοδύναμου κύβου.....	56
6.4	Δοκιμή αντιδιαμετρικής θλίψης κυλινδρικών δοκιμίων.....	57
7.	Παρουσίαση, ανάλυση και σχολιασμός αποτελεσμάτων.....	58
7.1	Κάμψη.....	65
7.2	Θλίψη.....	72
7.3	Σύγκριση μέτρων ελαστικότητας σε κάμψη και θλίψη.....	81
7.4	Διαγράμματα τάσης- βέλους κάμψης και εκτίμηση του μέτρου ελαστικότητας (δυναμική φόρτιση).....	83
7.5	Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας.....	92
7.6	Σύγκριση στατικών και δυναμικών μέτρων ελαστικότητας σε κάμψη.....	101
7.7	Σχόλια επί των αντοχών.....	106
7.8	Επιρρέπεια σε ρηγμάτωση.....	112
7.9	Συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	115
	Παράρτημα	
A	Διαγράμματα τάσης-βέλους κάμψης. (κάμψη-όλα τα δοκίμια)	
B	Διαγράμματα τάσης –ανηγμένης παραμόρφωσης (θλίψη-όλα τα δοκίμια)	
Γ	Διαγράμματα τάσης-βέλους κάμψης. (Επαναλαμβανόμενη φόρτιση-όλα τα δοκίμια)	
-	Δελτία κοκκομετρικής ανάλυσης.	

Θεωρητικό μέρος

Κεφάλαιο 1

Οδοστρώματα

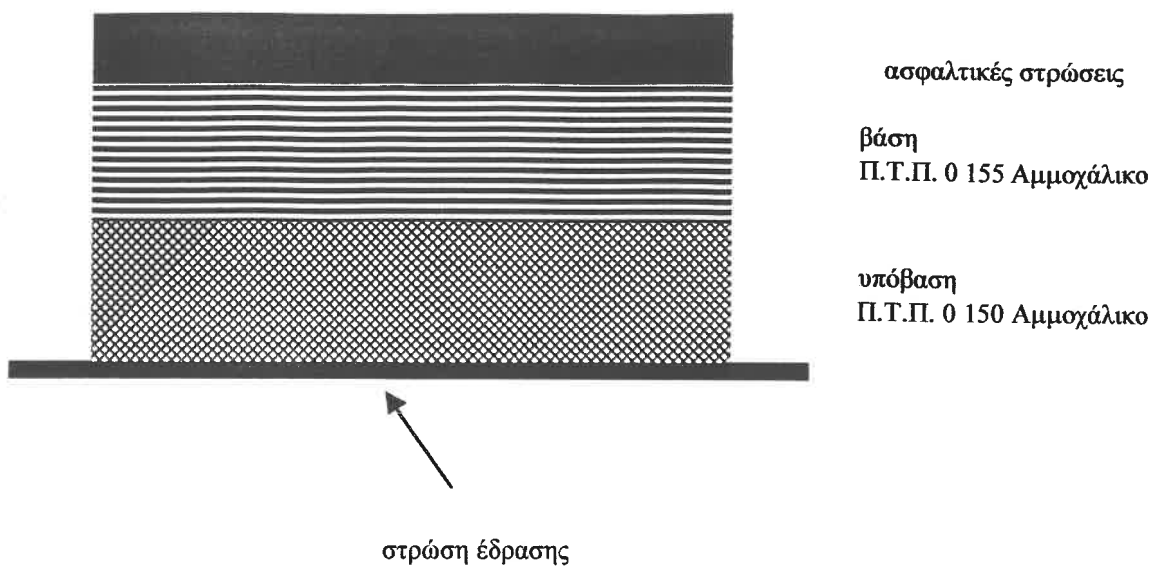
1.1 Η ανάγκη της κατασκευής των οδοστρωμάτων

Η αδυναμία του φυσικού εδάφους να παραλάβει τα φορτία των οχημάτων, χωρίς να υποστεί σημαντικές παραμορφώσεις που κατά κύριο λόγο θα το καταστήσουν επικίνδυνο και κατά δεύτερο θα μειώσουν την άνεση στην κυκλοφορία των οχημάτων, επιβάλλει την κατασκευή μιας ή περισσότερων διαδοχικών στρώσεων αποτελούμενων από υλικό ανώτερης ποιότητας πάνω από αυτό με σκοπό την απομείωση των τάσεων που θα το καταπονούν. Οι στρώσεις αυτές αποτελούν το οδόστρωμα.

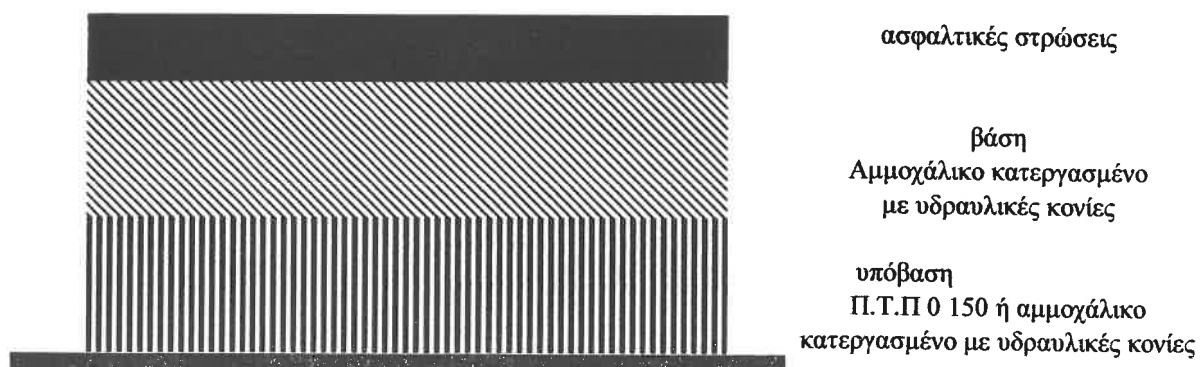
Τα οδοστρώματα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τα ασφαλικά που θα μας απασχολήσουν κυρίως στην εργασία αυτή και τα οδοστρώματα από σκυρόδεμα. Τα πρώτα χωρίζονται σε εύκαμπτα και ημιάκαμπτα και τα δεύτερα αποκαλούνται και δύσκαμπτα. Στα επόμενα γίνεται προσπάθεια να εντοπιστούν οι διαφορές μεταξύ των υποκατηγοριών αυτών τονίζοντας τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους.

- Τα εύκαμπτα οδοστρώματα αποτελούνται από : α) τις στρώσεις ασφαλομίγματος, β) τη βάση η οποία κατασκευάζεται από αμμοχάλικο ορισμένης διαβάθμισης που μπορεί να είναι θραυστό λατομείου ή θραυστό συλλεκτό, και γ) την υπόβαση που επίσης κατασκευάζεται από συμπυκνωμένο θραυστό ή συλλεκτό αμμοχάλικο. (σχήμα 1.1α)
- Τα ημιάκαμπτα οδοστρώματα διαφέρουν ως προς τα προαναφερθέντα λόγω της κατεργασίας που υποβάλλεται το αμμοχάλικο της βάσης, της υπόβασης ή και των δυο με τσιμέντο ή άλλες υδραυλικές κονίες. Αυτό τα κάνει ικανά να ανταπεξέρχονται σε συνθήκες βαριάς κυκλοφορίας και αυτός είναι και ο λόγος που τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στη χώρα μας, στην κατασκευή των εθνικών οδών. Μειονέκτημα του οδοστρώματος αυτού είναι η ρηγμάτωση από ανάδυση, όπως εκτενέστερα θα αναφερθεί σε επόμενες παραγράφους. (σχήμα 1.1β)
- Τα δύσκαμπτα οδοστρώματα αποτελούνται από μια πλάκα σκυροδέματος που για κατασκευαστικούς λόγους (ομοιόμορφη

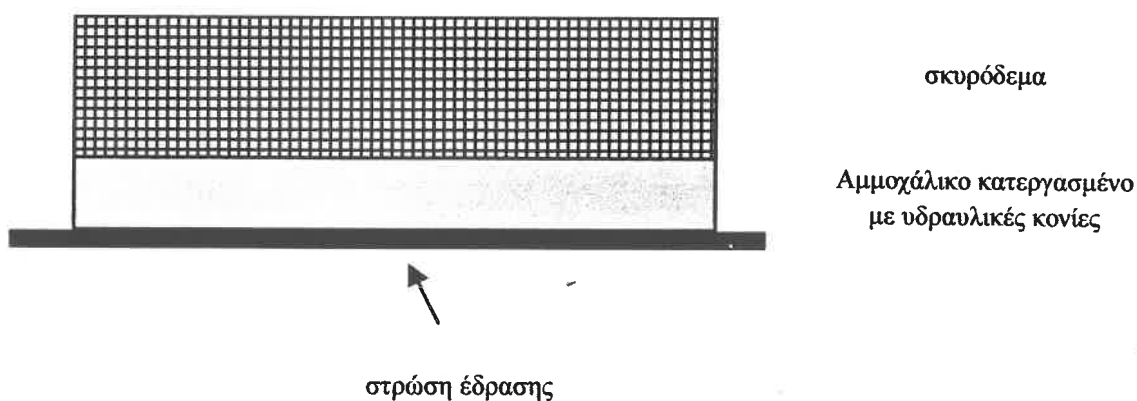
1.1α) Εύκαμπτα οδοστρώματα



1.1β) Ημιάκαμπτα οδοστρώματα



1.1γ) Δύσκαμπτα οδοστρώματα



Σχήμα 1.1: Διάφοροι τύποι οδοστρωμάτων

έδραση της πλάκας) τοποθετείται πάνω σε μια στρώση έδρασης η οποία σε αντιστοιχία με τα ασφαλτικά οδοστρώματα αποκαλείται υπόβαση.(σχήμα 1.1γ)

Μια ακόμα σημαντική διαφορά μεταξύ των τύπων αυτών των οδοστρωμάτων έγκειται στον τρόπο που μεταβιβάζουν τα φορτία που δέχονται από τα οχήματα στο φυσικό έδαφος, σίγουρα όμως οι τάσεις απ'αυτά είναι πλέον αρκετά μειωμένες έτσι ώστε να μπορεί να τις αναλάβει χωρίς πρόβλημα. Το έδαφος επίσης προστατεύεται λόγω του οδοστρώματος και από τα κλιματολογικά φαινόμενα όπως τον παγετό και την εισροή νερού.

1.2 Επιπόνηση από τις διελεύσεις οχημάτων

Σε αντίθεση με τις περισσότερες κατασκευές του πολιτικού μηχανικού που δέχονται ως επί το πλείστον στατικά φορτία , τα οδοστρώματα καταπονούνται κυρίως από επαναλαμβανόμενες φορτίσεις. Οι κυριότεροι παράγοντες που μας απασχολούν στον υπολογισμό του οδοστρώματος είναι τα φορτία των τροχών των οχημάτων που το χρησιμοποιούν καθώς και η συχνότητα που το εκάστοτε φορτίο περνάει από την τυχαία διατομή που εξετάζουμε. Ιδιαίτερη σημασία έχουν : το μέγεθος του φορτίου , η απόσταση των τροχών και αξόνων των οχημάτων (πιθανή αλληλεπίδραση φορτίων άρα μεγαλύτερη καταπόνηση) ,οι δίδυμοι τροχοί που συναντώνται στα μεγάλα φορτηγά , η πίεση των ελαστικών .Ακόμα επειδή η κυκλοφορία συντίθεται από πολλούς διαφορετικούς τύπους οχημάτων (ΙΧ, φορτηγά ελαφρά ή βαριά που μπορούν να είναι διαξονικά ή πολυαξονικά, αγροτικά μηχανήματα κ.α.), χρησιμοποιούμε κάποιους συντελεστές για να ανάγουμε τα φορτία από κάθε όχημα σε ένα τυχαίο τυπικό φορτίο δικής μας επιλογής π.χ. 8 τόνοι ή 13 τόνοι . Οι συντελεστές αυτοί ονομάζονται συντελεστές ισοδυναμίας και δίνονται από την ακόλουθη σχέση:

$$W=(P/P_t)^a$$

Όπου :

P , τυχαίο φορτίο

P_t, τυπικό φορτίο

και a εκθέτης που για τα εύκαμπτα οδοστρώματα λαμβάνει την τιμή 4 και για τα ημιάκαμπτα και τα δύσκαμπτα τιμές από 8-12 .

W, ο συντελεστής ισοδυναμίας για το φορτίο P.

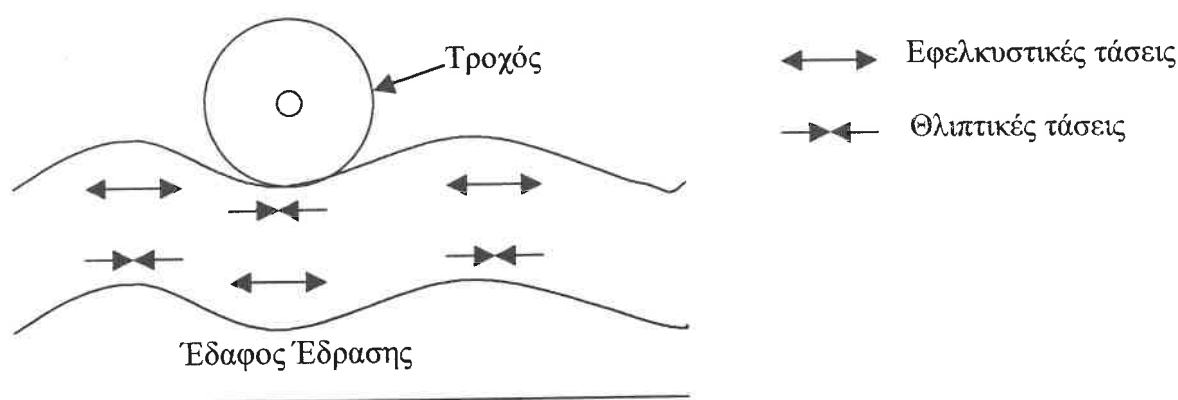
Από τον τύπο αυτόν φαίνεται πως τα μικρά οχήματα επηρεάζουν ελάχιστα την κατάσταση του οδοστρώματος , ενώ τα μεγάλα φορτηγά επιφέρουν μεγάλες φθορές .

1.3 Φόρτιση από τους τροχούς

Η φόρτιση που μεταφέρεται από το ελαστικό στο οδόστρωμα θεωρείται φορτίο ομοιόμορφα κατανομημένο σε κυκλική επιφάνεια και σε μέγεθος ίσο με την εσωτερική πίεση του αεροθαλάμου του ελαστικού.

Έτσι αν, R η ακτίνα του κύκλου, P το φορτίο του τροχού και p η εσωτερική πίεση του ελαστικού (πίεση που κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 0,8 MPa για συνήθη οχήματα) τότε έχουμε :

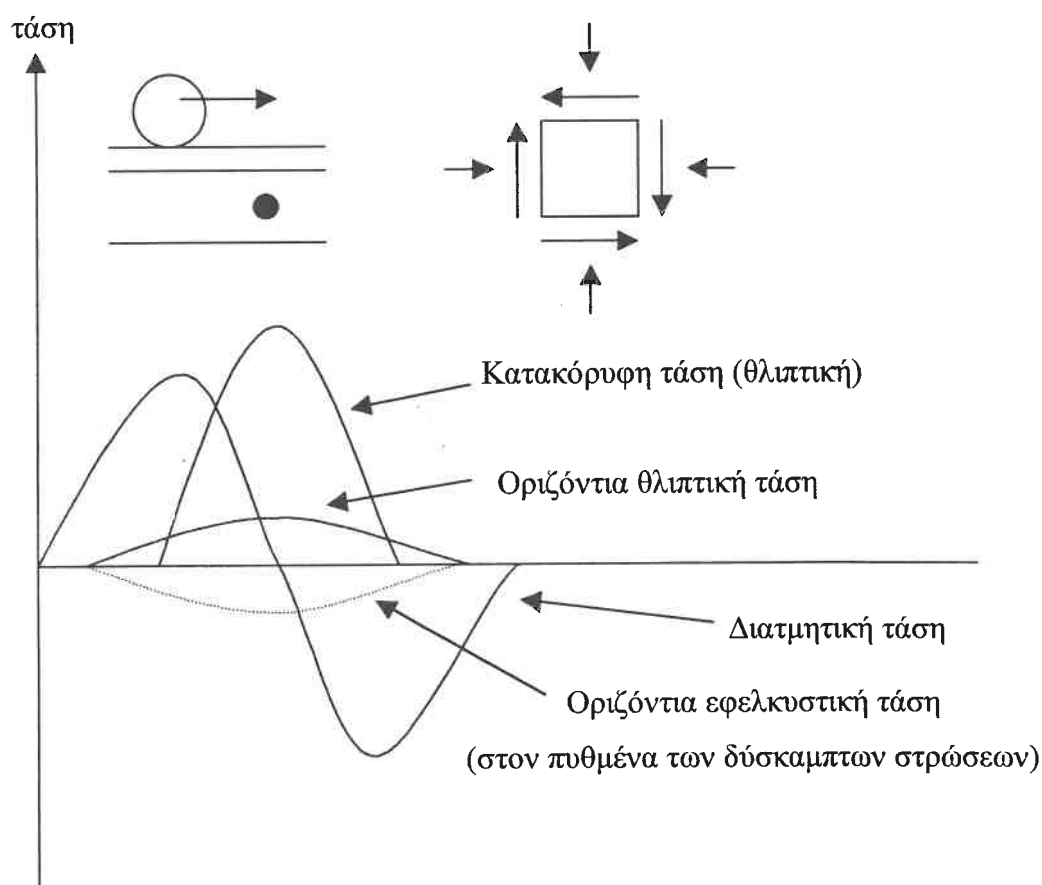
$$p=P/(\pi R^2) \rightarrow R=(P/\pi p)^{1/2}$$



Σχήμα 1.2: Αναπτυσσόμενες οριζόντιες θλιπτικές και εφελκυστικές τάσεις στο οδόστρωμα λόγω υποχωρήσεως του υπό το βάρος του τροχού οχήματος.

Η καταπόνηση αυτή από τους τροχούς είναι καμπτικής φύσεως και προκαλεί, όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα, εφελκυστικές και θλιπτικές τάσεις εντός της στρώσης. Οι τιμές των τάσεων αυτών εξαρτώνται από το πάχος και την ακαμψία κάθε στρώσης και υπάρχουν για κάθε υλικό συγκεκριμένες ανώτατες τιμές τάσεων οι οποίες είναι επικίνδυνο να ξεπερασθούν καθώς θα προκαλέσουν μερική ή και ολική αστοχία. Είναι λοιπόν απαραίτητο να είναι γνωστή η συμπεριφορά των υλικών που θα χρησιμοποιήσουμε, σε επαναλαμβανόμενη φόρτιση μικρότερου μεγέθους από αυτό το οποίο θα τους προκαλούσε αστοχία σε συνθήκες στατικής φορτίσεως. Η συμπεριφορά αυτή είναι γνωστή ως συμπεριφορά σε κόπωση.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η μεταβολή των τάσεων, οριζοντίων και κατακόρυφων που αναπτύσσονται σε τυχαίο σημείο του οδοστρώματος κατά τη διάρκεια διέλευσης φορτίου από την περιοχή του σημείου αυτού [10].



Σχήμα 1.3: Μεταβολή των αναπτυσσόμενων σε τυχαίο σημείο τάσεων κατά τη διάρκεια διέλευσης φορτίου.

Παρατηρείται ότι οι οριζόντιες και οι κατακόρυφες τάσεις μεταβάλλονται με παρόμοιο τρόπο αν και διαφέρουν ως προς το μέγεθος και ως προς το ότι στις

οριζόντιες τάσεις το κύμα φορτίσεις είναι μεγαλύτερο. Οι δύσκαμπτες στρώσεις δέχονται εφελκυστικές τάσεις στο κατώτερο τμήμα τους. Ακόμα βλέπουμε ότι η διατμητική τάση αλλάζει πρόσημο εκατέρωθεν του σημείου που μελετάμε (βλ. σχήμα 1.3).

1.4 Επίδραση του κλίματος στα οδοστρώματα

Μεγάλη σημασία στον υπολογισμό ενός οδοστρώματος παίζουν τα κλιματολογικά φαινόμενα της περιοχής στην οποία αυτό θα κατασκευαστεί. Ακολουθούν παραδείγματα για το πώς επιδρούν αυτά σ'ένα οδόστρωμα :

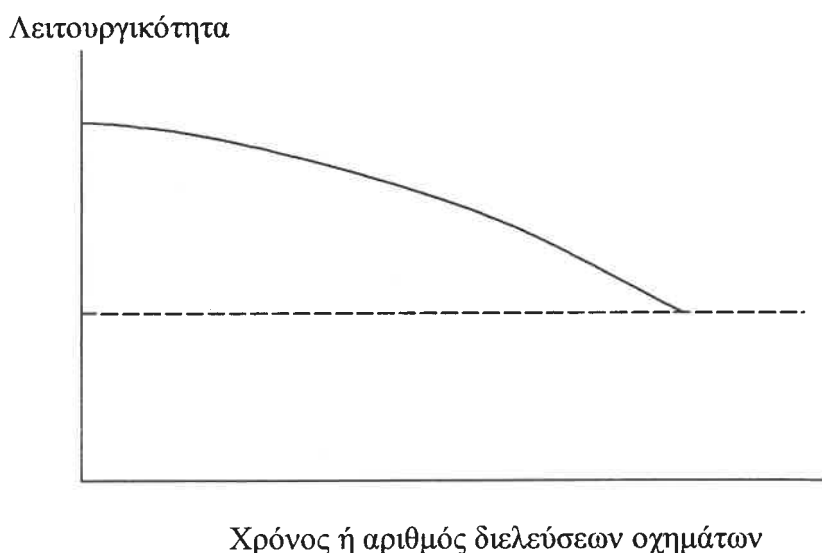
- Οι θερμοκρασιακές μεταβολές προκαλούν ρωγμές λόγω των διαδοχικών συστολοδιαστολών.
- Οι υψηλές θερμοκρασίες έχουν σαν αποτέλεσμα τη μείωση του μέτρου δυσκαμψίας της ασφάλτου, που σε συνδυασμό με την κυκλοφορία των οχημάτων στο οδόστρωμα μπορούν να προκαλέσουν μεγάλες βλάβες, υποχωρήσεις στην επιφάνεια του και τελικά αστοχία της στρώσης έδρασης.
- Η ύπαρξη παγετού δημιουργεί ρωγμές και προκαλεί θραύση στο οδόστρωμα. Ακόμα, πιθανή είναι και η ανύψωση και αύξηση του όγκου του οδοστρώματος λόγω σχηματισμού πάγου.
- Οι βροχοπτώσεις επηρεάζουν το ποσοστό υγρασίας του φυσικού εδάφους το οποίο ασκεί μεγάλη επίδραση στην αντοχή και στη φέρουσα ικανότητά του.

1.5 Οικονομικοί παράγοντες

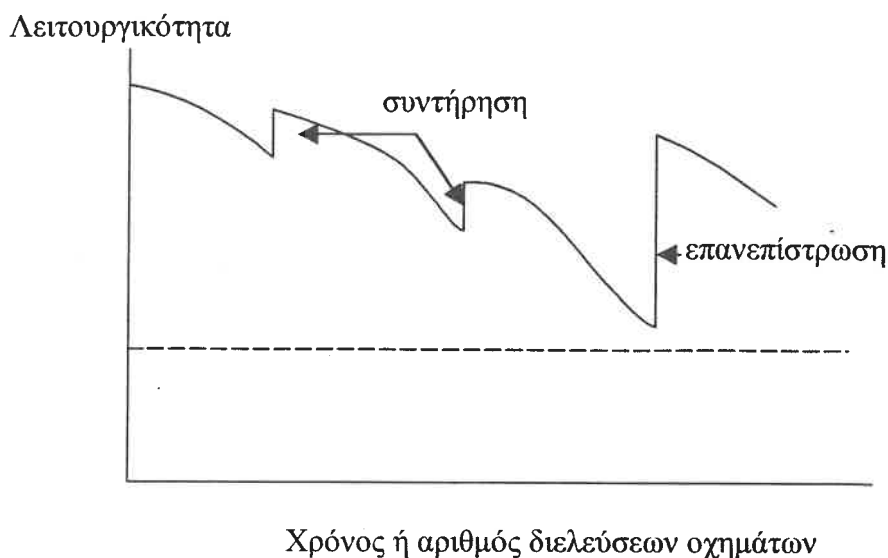
Η επιλογή των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του οδοστρώματος γίνεται με βάση το κόστος κατασκευής της αλλά και την απαίτηση η κατασκευή να μπορεί να συντηρείται με το μικρότερο δυνατό κόστος και όσο το δυνατόν αραιότερα χρονικά. Όπως είναι λογικό η λειτουργικότητα του οδοστρώματος, δηλαδή η ικανότητα του να εξυπηρετεί την κυκλοφορία των οχημάτων με άνεση και ασφάλεια, μειώνεται με την πάροδο του χρόνου λόγω της συνεχούς διέλευσης οχημάτων (βλ. σχήμα 1.4). Σε περιπτώσεις αυτοχρηματοδότησης

του έργου , όπου η ανάδοχος εταιρία έχει ως υποχρέωση να παραδώσει το έργο σε μία προσυμφωνημένη, ως προς τη λειτουργικότητα του, κατάσταση η όλη διαδικασία κατασκευής και συντήρησης μπορεί να έχει ως εξής [10] :

- Η κατασκευάστρια εταιρία μπορεί να κατασκευάσει το οδόστρωμα με μέτριας ποιότητας υλικά ή με μικρά σχετικά πάχη οπότε θα έχει έτσι μικρό κόστος κατασκευής .Στη συνέχεια όμως θα χρειάζεται να γίνεται αρκετά τακτικά η συντήρηση του οδοστρώματος , πράγμα που θα αυξήσει αρκετά το κόστος συντήρησης.(σχήμα 1.5)
- Η κατασκευή να έχει γίνει με υλικά καλής ποιότητας σε ικανά πάχη η λειτουργικότητα του οδοστρώματος να μειώνεται αρκετά αργά με το πέρασμα του χρόνου και την αύξηση του αριθμού των διελεύσεων ,με αποτέλεσμα οι επισκευές να γίνονται πιο σπάνια και να μην επιβαρύνουν ουσιαστικά το φορέα που τις έχει αναλάβει. Εδώ έχουμε την περίπτωση μεγάλου κόστους κατασκευής και μικρού κόστους συντήρησης.



Σχήμα 1.4: Μείωση της λειτουργικότητας του οδοστρώματος με το χρόνο



Σχήμα 1.5: Επίδραση της συντήρησης στη λειτουργικότητα του οδοστρώματος

1.6 Μέθοδοι υπολογισμού των οδοστρωμάτων

Οι μέθοδοι οι οποίες μας βοηθούν στο να καθορίσουμε ένα οδόστρωμα διακρίνονται σε :

1. Εμπειρικές ή ημιεμπειρικές .
2. Αναλυτικές ή θεωρητικές .

1.Εμπειρικές Μέθοδοι.

Εδώ κατατάσσονται οι περισσότερες εθνικές μέθοδοι καθορισμού του πάχους που προδιαγράφονται από εθνικούς κανονισμούς ή προδιαγραφές . Ο καθορισμός αυτός γίνεται με χρήση πινάκων και διαγραμμάτων που έχουν συνταχθεί με τη βοήθεια της πείρας ,από κατασκευές που ήδη έχουν γίνει στην εκάστοτε χώρα ,και λαμβάνουν υπ'όψιν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κλίματος ,των υλικών , καθώς και της κυκλοφορίας της χώρας αυτής . Στις μεθόδους αυτές προδιαγράφονται και ορισμένες εργαστηριακές ή επιτόπου δοκιμές του εδάφους και των υλικών οδοστρωσίας .

Η πιο γνωστή απ'αυτές τις μεθόδους είναι η μέθοδος CBR η οποία μετά από τροποποιήσεις έχει βρει εφαρμογή σε πολλές χώρες .Μια ακόμη γνωστή μέθοδος είναι η μέθοδος AASHTO που προήλθε από την ανάλυση μεγάλου οδικού πειράματος που έλαβε χώρα από το 1956 έως το 1960 στις Ηνωμένες Πολιτείες .

Το μειονέκτημα των εμπειρικών μεθόδων είναι το ότι η χρήση τους περιορίζεται στις περιπτώσεις όπου οι κλιματικές συνθήκες, η κυκλοφορία και τα υλικά είναι ίδια με αυτά που ελήφθησαν υπόψη κατά την ανάπτυξη της μεθόδου. Έτσι με δεδομένο ότι οι παραπάνω παράγοντες διαφέρουν από χώρα σε χώρα, αλλά και από περιοχή σε περιοχή της ίδιας χώρας, θεωρείται παρακινδυνευμένο να χρησιμοποιηθούν, αν δεν υπάρχουν τρόποι αξιολόγησης των τοπικών διαφορών και των συνεπειών που θα έχουν στη διαστασιολόγηση των οδοστρωμάτων.

2. Αναλυτικές Μέθοδοι

Εδώ ακολουθείται η ακόλουθη μεθοδολογία [10] :

1. Γίνεται εκλογή ενός στατικού μοντέλου το οποίο αντιπροσωπεύει το σύστημα οδόστρωμα-έδαφος. Εδώ μπορεί να γίνει αποδεκτή και κάποια αιτιολογημένη απλούστευση της κατασκευής.
2. Καθορίζονται οι φορτίσεις και γενικότερα οι επιπονήσεις.
3. Επιλέγονται τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν σε κάθε στρώση και γίνεται μια πρώτη εκτίμηση του πάχους της κάθε μιας.
4. Καθορίζονται οι ιδιότητες των υλικών υπό τις δεδομένες συνθήκες περιβάλλοντος και φορτίσεων.
5. Υπολογίζονται οι αναπτυσσόμενες τάσεις και παραμορφώσεις σε ορισμένα κρίσιμα σημεία. Για παράδειγμα, στα εύκαμπτα οδοστρώματα κρίσιμα σημεία και εντασιακά μεγέθη είναι οι οριζόντιες εφελκυστικές τάσεις στον πυθμένα της ασφαλικής στρώσης, καθώς και οι κατακόρυφες τάσεις στη στρώση έδρασης.
6. Συγκρίνονται οι υπολογισμένες τάσεις και παραμορφώσεις με τις αντίστοιχες επιτρεπόμενες τιμές για κάθε στρώση και υλικό.
7. Αν οι τιμές που υπολογίστηκαν είναι μικρότερες ή ίσες με τις επιτρεπόμενες, τότε η κατασκευή είναι αποδεκτή άλλως επαναλαμβάνονται τα στάδια υπολογισμού από το (3)-(7) με αυξημένα πάχη ορισμένων στρώσεων ή βελτιωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά υλικών.

Ας αναλύσουμε σύντομα πως εκλέγεται το στατικό μοντέλο και τι παραδοχές μπορούμε να κάνουμε ώστε να διευκολυνθούμε στον υπολογισμό του οδοστρώματος. Ένα τυπικό εύκαμπτο οδόστρωμα αποτελείται από τρεις στρώσεις όπως προαναφέραμε. Η κατασκευή αυτή αποτυπώνεται ως τρεις επάλληλες στρώσεις

πεπερασμένου πάχους με άπειρες διαστάσεις κατά την οριζόντια έννοια, που εδράζονται σε μία στρώση απείρου πάχους και απεριόριστες οριζόντιες διαστάσεις. Έτσι προκύπτει ένα σύστημα τεσσάρων στρώσεων. Αν όμως τα υλικά της βάσης και της υπόβασης είναι παρόμοια ή αν το αμμοχάλικο της βάσης είναι κατεργασμένο με ασφαλτο τότε μπορούμε να θεωρήσουμε ότι βάση και υπόβαση στην πρώτη περίπτωση ή βάση και ασφαλική στρώση στη δεύτερη, αποτελούν μία στρώση, άρα έχουμε σύστημα τριών στρώσεων. Ακόμα αν το οδόστρωμα που μελετάμε είναι εύκαμπτο τότε μπορούμε να θεωρήσουμε τις βάση, υπόβαση και στρώση έδρασης ως μία στρώση με σημαντική μείωση της ακρίβειας των υπολογισμών. Συνεπώς η τελευταία απλούστευση δε συστήνεται. Αντίθετα συστήνεται το σύστημα τριών στρώσεων για τα εύκαμπτα καθώς και το τεσσάρων για τα ημιάκαμπτα.

Καθώς τα υλικά των στρώσεων θεωρούνται κατά τους υπολογισμούς, ελαστικά, ομογενή και ισότροπα το στατικό μοντέλο μπορεί πλέον να ορισθεί εφόσον μας δοθούν τα πάχη των στρώσεων, το μέτρο ελαστικότητας E και ο λόγος του Poisson (μ).

1.7 Λοιποί παράγοντες που επηρεάζουν τον υπολογισμό

Κατά τον υπολογισμό ενός οδοστρώματος υπάρχουν κάποιες παράμετροι που αν δεν τους δοθεί η πέπουσα προσοχή, ίσως δημιουργήσουν μικρά ή μεγάλα προβλήματα στο έργο.

Ένα λάθος κατά τον υπολογισμό του οδοστρώματος μπορεί να επέλθει λόγω της μικρής σχετικά ακρίβειας με την οποία εκτιμάται η μελλοντική κυκλοφορία σ' αυτό. Για παράδειγμα ένα λάθος κατά 50% στην παραπάνω εκτίμηση, θα προκαλέσει μικρές σχετικά διαφορές στο απαιτούμενο πάχος των στρώσεων του αμμοχάλικου μεταξύ 5 και 10 εκατοστών. Η διάρκεια όμως λειτουργίας του οδοστρώματος θα διαφέρει κατά 50% από την απαιτούμενη, συνεπώς θα χρειαστεί να δαπανηθούν αρκετά ακόμη χρήματα για τη συντήρηση ή επιδιόρθωση της κατασκευής.

Μεγάλη σημασία επίσης πρέπει να δοθεί στην ταχύτητα των οχημάτων που κάνουν χρήση του οδοστρώματος, καθώς επηρεάζει τη δυσκαμψία των ασφαλικών στρώσεων. Έχοντας δεδομένες από τη μηκοτομή της οδού τις κατά μήκος κλίσεις που έχουμε να αντιμετωπίσουμε, μπορούμε να εντοπίσουμε τα σημεία στα οποία λόγω ανωφέρειας τα βαριά κυρίως οχήματα θα αντιμετωπίσουν δυσκολίες με αποτέλεσμα

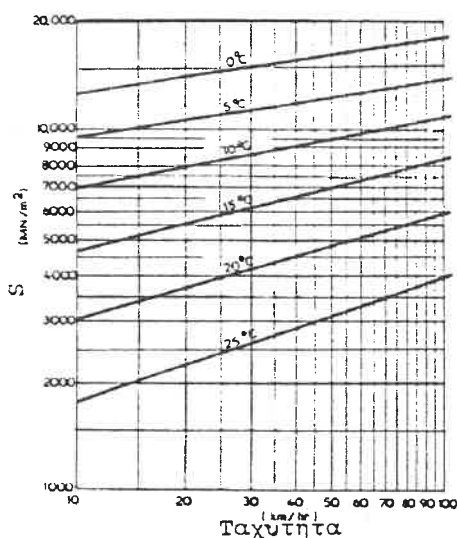
να μειωθεί η ταχύτητα τους, άρα σύμφωνα και με τον παρακάτω τύπο να αυξηθεί ο χρόνος φόρτισης του οδοστρώματος [10] .

$$t_{\text{sec}} = 1/v \text{ (sec)}$$

όπου v η μέση ταχύτητα των φορτηγών σε Km/h .

Είναι γνωστό ότι ο χρόνος φόρτισης επηρεάζει σημαντικά το μέτρο δυσκαμψίας των υλικών των ασφαλικών στρώσεων και για το λόγο αυτό αναπτύχθηκαν μέθοδοι ακριβέστερου προσδιορισμού του χρόνου φόρτισης συναρτήσει του πάχους της στρώσης και της μέσης ταχύτητας των φορτηγών οχημάτων. Ο Barksdale υπολόγισε για οδόστρωμα με βάση από θραυστό αμμοχάλικο το χρόνο επενέργειας των κατακόρυφων τάσεων και ο Brown το μέσο χρόνο επενέργειας των κατακόρυφων ακτινικών και εφαπτομενικών τάσεων .

Επίσης όπως είπαμε και παραπάνω η θερμοκρασία επηρεάζει και αυτή σε σημαντικό βαθμό το μέτρο δυσκαμψίας της ασφάλτου. Γενικά θεωρείται ότι η θερμοκρασία της ασφαλικής στρώσης είναι η ίδια με αυτή του αέρα (ή λίγο υψηλότερη) αλλά υπάρχουν θεωρητικές μέθοδοι για την εκτίμηση της ημερήσιας κατανομή της θερμοκρασίας σε συνάρτηση με το χρόνο και το βάθος της στρώσης. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η επίδραση της θερμοκρασίας και της ταχύτητας των οχημάτων στο μέτρο δυσκαμψίας ασφαλτομίγματος [10].



Σχήμα 1.6: Επίδραση θερμοκρασίας και ταχύτητας στο μέτρο δυσκαμψίας S .

Παρατηρείται ότι το μέτρο δυσκαμψίας ελαττώνεται σημαντικά με την αύξηση της θερμοκρασίας πράγμα που σημαίνει ότι στην Ελλάδα με δεδομένη την μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας κατά τους καλοκαιρινούς μήνες η ελάττωση του μέτρου δυσκαμψίας θα είναι αρκετά υπολογίσιμη. Η μείωση αυτή επιφέρει αύξηση της επιπόνησης των στρώσεων που βρίσκονται κάτω από την ασφαλική στρώση καθώς και της στρώσης έδρασης.

Πρέπει επομένως με κάποιο τρόπο κατά τον υπολογισμό να ληφθεί υπ' όψιν το μέτρο δυσκαμψίας με μία μέση τιμή του, έτσι ώστε να μην παρατηρούνται μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ της αναμενόμενης απόκρισης του οδοστρώματος στις επιπονήσεις και της πραγματικής οι οποίες να οφείλονται στις μεταβολές της θερμοκρασίας. Ένας άλλος τρόπος είναι να πάρουμε δύο μέσες τιμές, μια για την περίοδο του καλοκαιριού και μια για την περίοδο του χειμώνα με ανάλογα επιμερισμό της κυκλοφορίας. Για μεγαλύτερη ακρίβεια υπολογισμών μπορούν να λαμβάνονται μέσες θερμοκρασίες για μικρότερες χρονικές περιόδους (εποχές, μήνες). Ακόμα πρέπει, όταν έχουμε μεγάλα πάχη στρώσεων ασφαλομίγματος, να χωρίζουμε τη στρώση σε ζώνες γιατί η θερμοκρασία μεταβάλλεται με το βάθος, στη συνέχεια να καθορίζουμε το μέτρο δυσκαμψίας κάθε ζώνης και να υπολογίζουμε μία ισοδύναμη θερμοκρασία από άποψης καταπονήσεως του οδοστρώματος για όλο το πάχος της ασφαλικής στρώσης.

Υπενθυμίζουμε ότι τα αμμοχάλικα και τα εδαφικά υλικά ελάχιστα επηρεάζονται από τη θερμοκρασία. Οι ιδιότητες αυτών εξαρτώνται κυρίως από την υγρασία τους.

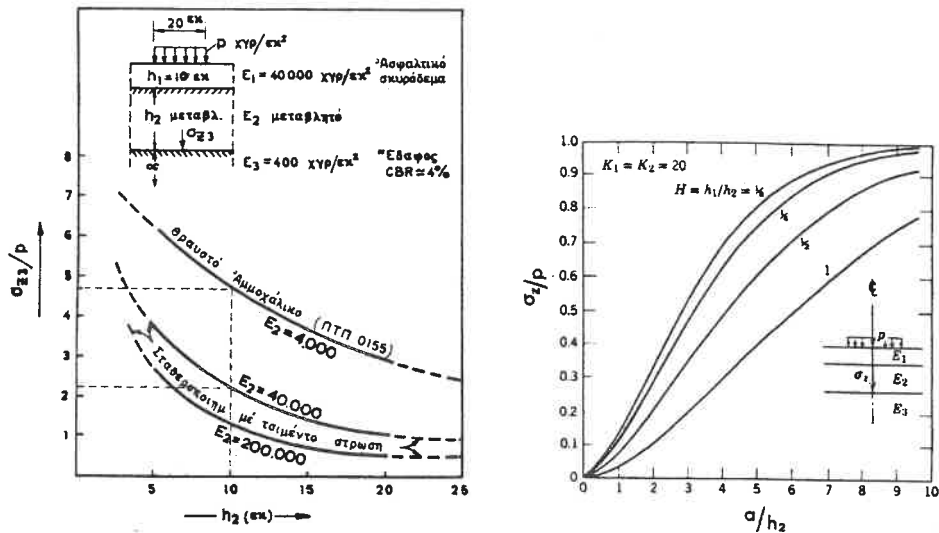
Έτσι λοιπόν είναι αναγκαίο να γίνονται γνωστές οι περιεκτικότητες υγρασίας στα υλικά του οδοστρώματος, των οποίων η συμπεριφορά επηρεάζεται απ' αυτήν. Το ποσοστό υγρασίας που μας αφορά είναι αυτό που θα έχει το υλικό στις συνθήκες που θα βρίσκεται μετά την κατασκευή του οδοστρώματος (συνθήκες λειτουργίας) ή σε ακόμη δυσμενέστερες, όπως π.χ. σε συνθήκες κορεσμού. Όσο ακριβέστερη είναι η εκτίμηση της υγρασίας που θα επικρατεί τόσο και ο υπολογισμός του οδοστρώματος θα γίνεται πιο ακριβής.

Στα κοκκώδη υλικά η υγρασία επηρεάζει, σύμφωνα με την έως τώρα έρευνα, την ολική παραμένουσα παραμόρφωση.

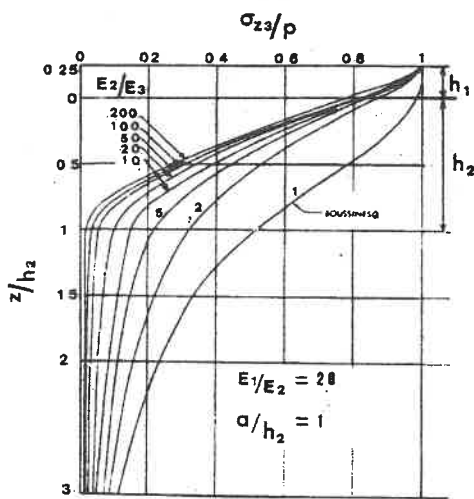
1.8 Η επιρροή του λόγου E_i/E_{i+1} .

Με την ανάλυση διαφόρων συστημάτων επάλληλων στρώσεων είναι δυνατόν να βγάλουμε κάποια ενδιαφέροντα συμπεράσματα σχετικά με την επίδραση διαφόρων παραμέτρων (πάχος στρώσης, μέτρο ελαστικότητας κ.λ.π.) στις αναπτυσσόμενες στο οδόστρωμα τάσεις και παραμορφώσεις. Έτσι μπορούμε να έχουμε μια καλύτερη εικόνα της εντατικής καταπόνησης της κατασκευής. Στο σχήμα 1.7 φαίνεται η επίδραση του μέτρου ελαστικότητας (E_2) της βάσεως και του πάχους των στρώσεων κυκλοφορίας (h_1) και βάσης (h_2) στην κατακόρυφη θλιπτική τάση σ_z που αναπτύσσεται στην επιφάνεια έδρασης της 2^{ης} στρώσης. Στο σχήμα 1.8 φαίνεται η επιρροή των λόγων E_1/E_2 και E_2/E_3 στην κατανομή των τάσεων σε ένα σύστημα τριών στρώσεων. Στο σχήμα 1.8α παρατηρούμε πώς με την τιμή του λόγου E_1/E_2 σταθερή, ο λόγος E_2/E_3 με τιμή από 20 προσφέρει σαφώς αυξημένο ρυθμό μείωσης των κατακόρυφων θλιπτικών τάσεων σ_{z3} στη στρώση έδρασης. Περαιτέρω αύξηση του λόγου επιφέρει σχετικά μικρή αύξηση στο ρυθμό μείωσης της τάσης. Αντίστοιχα στο σχήμα 1.8β όπου αλλάζει το E_1/E_2 η μεγάλη μείωση της τάσης συμβαίνει μέσα στο βάθος h_1 και έχει ρυθμό απομείωσης της τάσης ανάλογο με το λόγο των μέτρων ελαστικότητας των δυο στρώσεων. Παρατηρούμε λοιπόν ότι σε περίπτωση που έχουμε δυο στρώσεις όσο πιο μεγάλο E έχει η πάνω στρώση από την κάτω τόσο μικρότερες τάσεις της μεταβιβάζει. Στο σχήμα 1.9 φαίνεται η επίδραση του λόγου E_2/E_3 στις αναπτυσσόμενες οριζόντιες τάσεις στον πυθμένα της δεύτερης στρώσης (σ_{r2}). Παρατηρείται ότι οι τάσεις σ_{r1} είναι θλιπτικές για $E_2 < E_3$, μηδενικές για $E_2 = E_3$, και εφελκυστικές για $E_2 > E_3$. Η παρατήρηση αυτή έχει μεγάλη σημασία σε περίπτωση που το υλικό της 2^{ης} στρώσης είναι αμμοχάλικο που σημαίνει ότι δεν μπορεί να αναλάβει παρά πολύ μικρές εφελκυστικές τάσεις εξαιτίας των τριβών που αναπτύσσονται μεταξύ των κόκκων. Έτσι αν η τιμή σ_{r2} γίνει μεγαλύτερη από τις τάσεις τριβής που εξαρτώνται από τα βάρη υπερκείμενων στρώσεων και του φορτίου του τροχού τότε υπάρχει σοβαρός κίνδυνος να συμβεί απομάκρυνση κόκκων και αποσυμπύκνωση του υλικού. Το σχήμα 1.10 δείχνει την επιρροή της μείωσης του μέτρου ελαστικότητας της ασφαλικής στρώσης, εξαιτίας της αύξησης της θερμοκρασίας, στις αναπτυσσόμενες στην στρώση έδρασης κατακόρυφες τάσεις και στις οριζόντιες τάσεις σ_{r2} για διάφορα πάχη h_2 . Παρατηρούμε λοιπόν τη σημασία που έχει ο λόγος E_i/E_{i+1} για τη λειτουργία του οδοστρώματος και τις αλλαγές που

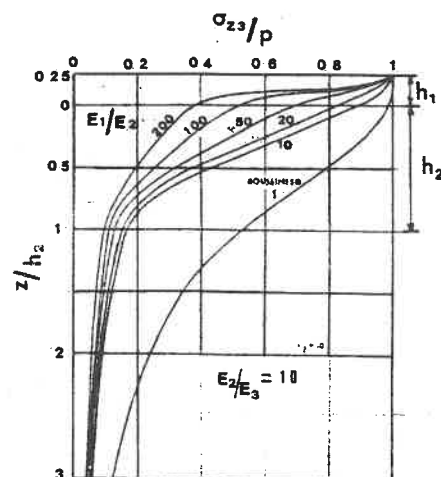
υπάρχουν σε περίπτωση που ο λόγος αυτός μεταβληθεί (π.χ. όπως λόγω θερμοκρασίας στο τελευταίο παράδειγμα), ή ακόμη τη βοήθεια που μπορούν να μας προσφέρουν τέτοιου είδους διαγράμματα στην προσπάθεια για οικονομική κατασκευή με την κατάλληλη επιλογή των υλικών οδοστρώσας (σχήματα από [10]).



Σχήμα 1.7: Επιρροή διαφόρων παραμέτρων στις αναπτυσσόμενες κατακόρυφες τάσεις σ_z στη στρώση έδρασης.

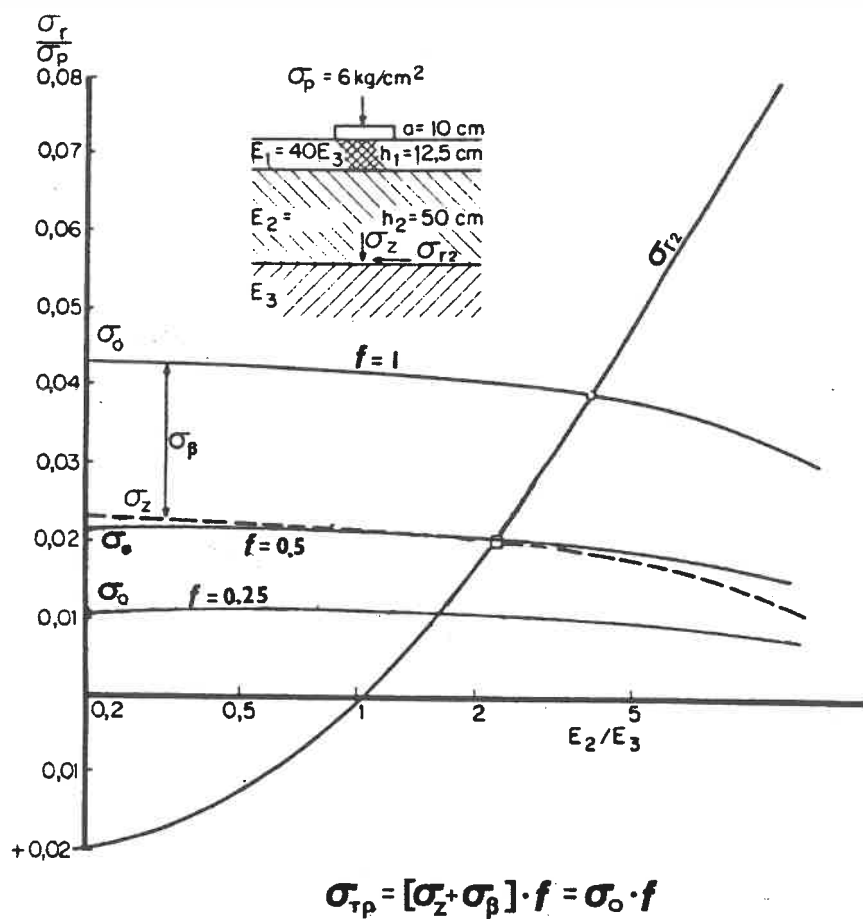


Σχήμα 1.8α

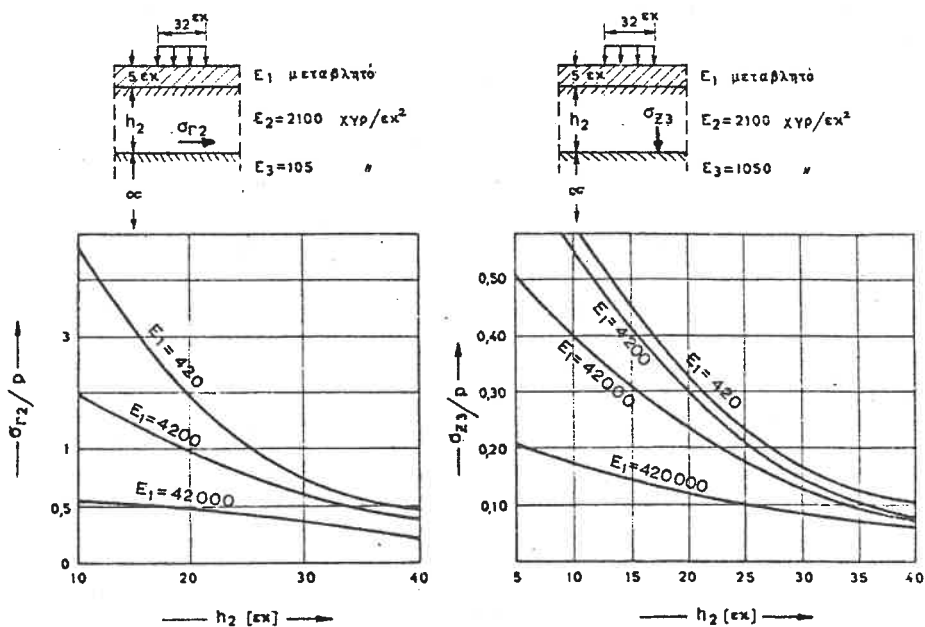


Σχήμα 1.8β

Σχήμα 1.8: Μεταβολή τάσεων σ_{z3} συναρτήσει του λόγου E_i/E_{i+1} και του βάθους



Σχήμα 1.9: Επίδραση του μέτρου ελαστικότητας E_2 (λόγου E_2/E_3) στις αναπτυσσόμενες τάσεις σ_{r2} .



Σχήμα 1.10: Επίδραση της μεταβολής του E_1 στις τιμές των τάσεων σ_{r2} και σ_{z3} για διάφορα h_2 .

Κεφάλαιο 2

Παρεμποδιζόμενη θερμική συστολή βάσεων οδοστρωμάτων από ισχνό σκυρόδεμα

Το κείμενο αναφέρεται στη χρήση βάσεων οδοστρωμάτων από ισχνό σκυρόδεμα, οι οποίες υπό παρεμποδιζόμενη θερμική συστολή γίνονται ευπαθείς στην ρηγμάτωση εξ' αναδύσεως. Το ισχνό σκυρόδεμα είναι το μόνο μη ασφαλτικό υλικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για βάσεις οδοστρωμάτων σε οδούς βαριάς κυκλοφορίας. Οι κανόνες που ισχύουν για τις βάσεις ισχνού σκυροδέματος μπορούν να εφαρμοστούν και για τα υλικά που είναι σταθεροποιημένα με τσιμέντο και έχουν μεγάλη ποσότητα λεπτόκοκκου υλικού, και τα οποία έχουν μεγαλύτερη δυνατότητα συστολής.

2.1 Κατασκευές από ισχνό σκυρόδεμα

Τα μίγματα ισχνού σκυροδέματος περιέχουν μικρή ποσότητα τσιμέντου και ποσότητα νερού τέτοια ώστε να δίνει χαμηλή εργασιμότητα. Οι βάσεις διαστρώνονται μόνο με τους κατασκευαστικούς αρμούς, επιτρέποντας γρήγορη κατασκευή και μετά από περίοδο συντήρησης 7 ημερών, παρέχουν μια βολική πλατφόρμα εργασίας για την κυκλοφορία κατά την κατασκευή.

Σημαντικό ρόλο στα μίγματα, παίζει ο καθορισμός του ανώτατου και κατώτατου ορίου αντοχής, αλλά και της επιτόπου πυκνότητας, που δεν πρέπει να είναι μικρότερη από το 95% της θεωρητικής πυκνότητας με μηδέν κενά αέρος. Εξίσου σημαντικός είναι ο καθορισμός της αναλογίας αδρανών προς τσιμέντο. Η κανονική αναλογία θα έπρεπε να είναι μεταξύ 15 και 20. Όμως, μερικοί ασβεστόλιθοι με υψηλή αναλογία λεπτών, μπορούν με κατάλληλη ανάμιξη και συχνό έλεγχο ποιότητας, να παράγουν σταθερό ομογενές μίγμα με υψηλές αντοχές, και έτσι να επιτραπούν αναλογίες μεγαλύτερες των 20. Παρόλα αυτά, αναλογίες μεγαλύτερες των 24 αποκλείονται (μη ομογενές μίγμα).

Ένα ελάχιστο όριο αντοχής είναι απαραίτητο για την εξασφάλιση κατάλληλων ιδιοτήτων κατανομής φορτίου, ενώ ένα ανώτερο για να εμποδίσει την κανονική ρηγμάτωση που αναδύεται τελικά στην επιφάνεια. Όμως, το ανώτερο όριο δεν πρέπει να χρησιμοποιείται όταν οδηγεί σε μίγματα φτωχότερα από 20/1.

Για τον καθορισμό της επίδρασης των επιπέδων αντοχής πρέπει να ληφθούν υπόψη τα αποτελέσματα και οι αιτίες ρηγμάτωσης της βάσης οδοστρώματος.

2.2 Αποτελέσματα ρηγμάτωσης στη βάση οδοστρώματος

Είναι αποδεκτό ότι κάποια ρηγμάτωση, η οποία δημιουργείται κυρίως κατά την περίοδο των πρώτων ημερών, συμβαίνει στις βάσεις οδοστρώματων από τσιμέντο, οι οποίες δεν έχουν δυνατότητα κίνησης (άνοιγμα-κλείσιμο) αρμών. Ωστόσο, η φθορά του οδοστρώματος δεν αποτελεί άμεσο αποτέλεσμα της ρηγμάτωσης, αλλά εξαρτάται από το εύρος και την απόσταση των ρωγμών, αλλά και τον υπολογισμό του οδοστρώματος.

Οι αραιές ρωγμές στη βάση τείνουν να γίνουν πλατύτερες εξ' αιτίας της συστολής και το εύρος τους κυμαίνεται ανάλογα με τις θερμοκρασιακές αλλαγές. Η επιφάνεια στη γειτνίαση των αραιών ρωγμών υπερπιέζεται και προκύπτουν τελικά ρηγματώσεις εξ' αναδύσεως, οι οποίες επιτρέπουν τη διείσδυση νερού-εκτός αν σφραγιστούν-και άρα συντελούν στη φθορά του οδοστρώματος σε σχήμα "τρύπας".

Αφού οι αραιές ρωγμές αντιστοιχούν σε μεγάλες πλάκες, και με την προϋπόθεση ότι το θηλύκωμα των αδρανών στις ρωγμές είναι κατάλληλο ώστε να εμποδίσει τη σχετική κίνηση όταν τα φορτία τροχού μεταφέρονται από τη μία πλάκα στην άλλη, τότε δε θα έπρεπε να καταστρέφουν τις ιδιότητες κατανομής φορτίου της βάσης, σε αντίθεση με τις πολύ πυκνές ρωγμές που θα μπορούσαν να το κάνουν, οδηγώντας σε υπερπίεσεις της στρώσης έδρασης.

Η συχνότητα εμφάνισης των αναδυόμενων, κυρίως, ρωγμών, μπορεί να μειωθεί με την πρόβλεψη παχύτερων επιφανειών, κάτι που θα μειώσει επίσης τις τάσεις στη βάση, που οφείλονται στα φορτία κυκλοφορίας.

2.3 Αιτίες ρηγμάτωσης

Οι αιτίες της ρηγμάτωσης μπορούν γενικά να διαχωριστούν σ' αυτές που έχουν σχέση με τη φόρτιση και, σε ένα πιο πρώιμο στάδιο στη ζωή της βάσης του οδοστρώματος, σ' αυτές που έχουν σχέση με την ανταπόκριση του οδοστρώματος στο περιβάλλον του.

Η συμπεριφορά της βάσης οδοστρώματος εξαρτάται από τα πάχη και την ακαμψία των άλλων συστατικών του οδοστρώματος, επιπρόσθετα με τις ιδιότητες και το πάχος του υλικού της βάσης. Η κατασκευαστική αστοχία της βάσης οφείλεται, τουλάχιστον εν μέρει, στις επιδράσεις της κόπωσης, που επιφέρει εκτεταμένη ρηγμάτωση. Σε μια τέτοια κατάσταση, το μέτρο ελαστικότητας μιας λεπτής, αδύναμης βάσης, σταθεροποιημένης με τσιμέντο, θα μπορούσε να συγκριθεί με αυτό μιας βάσης από θραυστό υλικό. Όμως, εκτεταμένη ρηγμάτωση τέτοιας έντασης δεν θα έπρεπε να εμφανίζεται σε κατάλληλα σχεδιασμένες βάσεις.

Η ρηγμάτωση που σχετίζεται με τη φόρτιση, αναφέρεται ως “τελική” ρηγμάτωση, ώστε να διαχωριστεί από την “αρχική” ρηγμάτωση που προκαλείται από περιβαλλοντικές επιδράσεις. Τέτοια είναι η ρηγμάτωση από παρεμποδιζόμενη συστολή, από θερμότητα ενυδάτωσης, από διαφοροποιήσεις στη θερμοκρασία και από παρεμποδιζόμενη θερμική παραμόρφωση.

Η συστολή στο σκυρόδεμα είναι συνδεδεμένη με τη μείωση του όγκου του τσιμέντου, και άρα μια μικρή συστολή θα αναμενόταν στο ισχνό σκυρόδεμα, αφού το ποσοστό κ.ό. του τσιμέντου είναι μικρό, ενώ το ποσοστό των αδρανών υψηλό. Είναι μάλλον απίθανο να υπολογιστεί η συστολή, ειδικά για τις ρωγμές που μορφοποιούνται στα πρώιμα στάδια στις βάσεις ισχνού σκυροδέματος, αλλά πάντως αυτή θα αύξανε το βάθος ή το εύρος των ρωγμών, ειδικά σε ένα πιο προχωρημένο στάδιο ζωής της βάσης οδοστρώματος.

Η θερμότητα της ενυδάτωσης κανονικά επιφέρει μια μέγιστη θερμοκρασία στις πλάκες σκυροδέματος από 12 ως 24 ώρες μετά τη διάστρωση, η οποία πρακτικά δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη κατά 2 ως 4 °C πάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αφού η κορύφωση αυτή αναμένεται να συμβεί κατά τη διάρκεια της πρώτης νύχτας μετά τη διάστρωση, θα έπρεπε να εξουδετερωθεί από την αναμενόμενη μείωση της θερμοκρασίας κατά τη νύχτα, όμως είναι πιθανό ότι αν η θερμοκρασία της ενυδάτωσης επιφέρει μία υψηλότερη θερμοκρασία όπου το υλικό γίνεται άκαμπτο, τότε η θερμοκρασιακή μείωση της νύχτας θα επιφέρει μεγαλύτερες εφελκυστικές τάσεις από ότι αναμενόταν.

Οι θερμοκρασιακές διαφορές διαμέσου των πλακών, προκαλούν τάσεις, αν η παραμόρφωση παρεμποδίζεται από το ίδιο βάρος τους. Οι τάσεις αυτές ενισχύονται από εσωτερικές τάσεις λόγω ανομοιόμορφης κλίσης της θερμοκρασίας. Τους θερμούς μήνες οι διαφοροποιήσεις της θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερες και λόγω της διαστολής αναμένεται ανάπτυξη μιας καθολικής θλιπτικής τάσης, ειδικά στα πρώιμα

στάδια ζωής της βάσης. Τη νύχτα οι επιφανειακές στρώσεις των πλακών ψύχονται γρήγορα και προκαλούν καμπύλωση προς τα πάνω, η οποία παρεμποδιζόμενη παράγει εφελκυστική τάση στην επιφάνεια των πλακών, που αυξάνεται από τις εσωτερικές τάσεις. Παρόλο που οι διαφοροποιήσεις της θερμοκρασίας είναι μικρότερες τη νύχτα, είναι σημαντικές στις βάσεις ισχνού σκυροδέματος, αφού η παραμόρφωση και οι εσωτερικές τάσεις δρουν μαζί παράγοντας εφελκυσμό στην επιφάνεια, κάτι που οδηγεί στην καθολική ρηγμάτωση.

Η παρεμποδιζόμενη θερμική κίνηση συμβαίνει σε βάσεις σκυροδέματος μεγάλης έκτασης, χωρίς αρμούς, αφού η παρεμπόδιση της υποκείμενης υπόβασης είναι ουσιαστική. Η θερμική συστολή προκαλεί εφελκυστικές τάσεις στη βάση και γι' αυτό λαμβάνεται σοβαρά υπόψη, υποθέτοντας ότι η παρεμπόδιση είναι απόλυτη, ομοιόμορφη και μεταβάλλεται με την μετατόπιση των πλακών.

2.4 Επίδραση των θερμοκρασιακών μειώσεων

Θα υποτεθεί αρχικά ότι:

- (α) Δεν υπάρχουν θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ επιφάνειας και πυθμένα της στρώσεως
- (β) Ο ερπυσμός είναι αμελητέος
- (γ) Η τάση που προκαλείται από την παρεμπόδιση της στρώσης έδρασης είναι ομοιόμορφη
- (δ) Η παρεμπόδιση της στρώσης έδρασης περιορίζεται στην κατά μήκος διεύθυνση
- (ε) Το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος δεν μεταβάλλεται με την εφαρμοζόμενη τάση

(I) Απόλυτη παρεμπόδιση

Σε μία τέτοια κατάσταση, η αστοχία συμβαίνει όταν η αρνητική θερμική παραμόρφωση, είναι ίση με την ικανότητα εφελκυστικής παραμόρφωσης. Σε μία πλάκα βάσης οδοστρώματος μεγάλης έκτασης, όπου το κατά μήκος φορτίο αστοχίας είναι μικρό, συγκρινόμενο με το ίδιο βάρος της πλάκας, η παρεμπόδιση στο κεντρικό τμήμα της, προσεγγίζει αρχικά το απόλυτο επίπεδο, αφού η εφελκυστική δύναμη που αναπτύσσεται λόγω τριβής, αυξάνεται αθροιστικά με την απόσταση από κάθε άκρο. Στην κατάσταση αυτή φαίνεται η σπουδαιότητα της αναλογίας της εφελκυστικής

αντοχής προς το μέτρο ελαστικότητας (f_t/E_t), για τον καθορισμό της θερμοκρασιακής μείωσης, ιδιαίτερα στην αρχική ρηγμάτωση.

(II) Ομοιόμορφη παρεμπόδιση της στρώσης έδρασης

Σε μία πλάκα που το βάρος της είναι συγκρίσιμο με το εφελκυστικό φορτίο αστοχίας της, κάποια κίνησή της αναμένεται να συμβεί πριν την αστοχία, που αυξάνει τη δύναμη τριβής με τη στρώση έδρασης. Υποθέτοντας ότι η δύναμη αυτή είναι σταθερή (σταθερός συντελεστής τριβής), προκύπτει ότι η μέγιστη απόσταση ρωγμών είναι ανεξάρτητη από την πτώση της θερμοκρασίας και εξαρτάται μόνο από την εφελκυστική αντοχή του υλικού και τα χαρακτηριστικά τριβής, ενώ τα ανοίγματα των ρωγμών αυξάνονται γραμμικά με την πτώση της θερμοκρασίας.

(III) Ανομοιόμορφη παρεμπόδιση της στρώσης έδρασης

Η διαδικασία της συμπίκνωσης των βάσεων από ισχνό σκυρόδεμα, προκαλεί ένα ποσοστό θηλυκώματος μεταξύ των υλικών της βάσης και της υπόβασης, και συνεπώς, η οριζόντια κίνηση της βάσης αυξάνει τις κατά μήκος πιέσεις σ' αυτήν την τραχεία διεπιφάνεια. Η αρχική αντίσταση στην οριζόντια κίνηση είναι μικρή και αυξάνεται σταδιακά σε μία μέγιστη τιμή, ώστε να προκύπτει τελικά μια περίπου σταθερή παρεμπόδιση τριβής, η οποία εξαρτάται από τον τύπο της στρώσης έδρασης. Με διαδοχικές αποδείξεις σχέσεων, προκύπτει ότι ο συντελεστής τριβής σε συγκεκριμένη απόσταση από το άκρο της πλάκας, ο οποίος εξαρτάται από την μετατόπιση της πλάκας, σχετίζεται με το μέγιστο συντελεστής τριβής, για ρωγμή δοσμένου πλάτους. Έτσι αποδεικνύεται πάλι ότι η απόσταση ρωγμών εξαρτάται από την εφελκυστική αντοχή και τα χαρακτηριστικά τριβής, ενώ το πλάτος των ρωγμών αυξάνεται γραμμικά με την θερμοκρασιακή πτώση.

2.5 Μηχανισμός θραύσης

Η φόρτιση μιας αρχικώς ακέραιας στρώσης από υλικό κατεργασμένο με τσιμεντοκονίαμα, (βασισμένη σε γραμμική ελαστική ανάλυση), θα επιφέρει μια διαδοχική ρηγμάτωση που μπορεί να διαχωριστεί ως εξής (βλ. σχήμα 2.1):

A) Αρχική ακέραια κατάσταση: Διαρκεί μόνο λίγες μέρες μετά τη συμπίκνωση, αφού οι κύριες εγκάρσιες ρωγμές αναπτύσσονται εξ' αιτίας της παρεμπόδισης της κίνησης.

Β) Αρχικό στάδιο ρηγμάτωσης: Μετά την εγκάρσια ρηγμάτωση των πλακών, και με την επιβολή της κυκλοφοριακής φόρτισης, αυτές θα παρουσιάσουν επιπρόσθετες ρωγμές από κόπωση, οι οποίες θα είναι κατά μήκος της πλάκας. Οι ρωγμές αυτές δημιουργούνται εξ' αιτίας των εφελκυστικών τάσεων στα άκρα των εγκάρσιων ρωγμών, οι οποίες αναδύονται στην επιφάνεια και εξαπλώνονται σε όλο το μήκος της πλάκας.

Γ) Τελικό στάδιο ρηγμάτωσης: Οι κατά μήκος ρωγμές που δημιουργήθηκαν στο αρχικό στάδιο, δημιουργούν νέες κρίσιμες συνθήκες φόρτισης και νέες εγκάρσιες ρωγμές αναπτύσσονται, με συνέπεια την περαιτέρω μείωση των διαστάσεων των πλακών. Αυτή η προοδευτική ρηγμάτωση, οφειλόμενη στις σταδιακές αστοχίες από κόπωση, οδηγεί σε σπάσιμο της πλάκας σε μορφή σκάλας, ώστε να αποτελείται από πολλά μικρά τετράγωνα, κάτι που μειώνει την φέρουσα ικανότητα της στρώσης ώστε σταδιακά να φτάσει σε αυτήν του πρότυπου ασύνδετου υλικού.

Από τα παραπάνω είναι σαφές ότι για το σωστό υπολογισμό μιας στρώσης, και την αποφυγή της ρηγμάτωσης από κόπωση, είναι απαραίτητη η κατανόηση της συμπεριφοράς του υλικού στις άκρες των ρωγμών και του μηχανισμού φθοράς, και άρα η γνώση των επιτόπου ιδιοτήτων των υλικών. Εξίσου σημαντική όμως είναι και η γνώση του μηχανισμού μεταφοράς φορτίου, ειδικά όταν η ακεραιότητα της στρώσης δεν υπάρχει πια.

Στα επόμενα γίνεται μια προσπάθεια εκτίμησης του κύκλου ζωής του οδοστρώματος που περιγράφηκε παραπάνω, χρησιμοποιώντας την μέθοδο υπολογισμού που προτάθηκε στη Ν.Αφρική. Η μέθοδος αυτή παρατείνει τη διάρκεια ζωής των οδοστρωμάτων από υλικά συνδεδεμένα με τσιμεντοκονίες, χαμηλής αντοχής, πέρα από την αρχική ρηγματωμένη κατάσταση λαμβάνοντας υπόψη την τελική σταδιακή ρηγμάτωση, μέχρι η συμπεριφορά της στρώσης να γίνει ισοδύναμη με του ασύνδετου υλικού.

Έτσι, υποθέτονται 4 στάδια δομικής ζωής μιας τέτοιας στρώσης:

Στάδιο 1: ακέραια στρώση

Στάδιο 2: η στρώση αποτελείται από μεγάλες πλάκες λόγω ρηγμάτωσης από συστολή (εγκάρσια ρηγμάτωση)

Στάδιο 3: τα μεγάλα τετράγωνα έχουν μειωθεί σε μικρά, εξ' αιτίας της ρηγμάτωσης από κόπωση

Στάδιο 4: η στρώση έχει σταδιακά μετετραπεί σε κοκκώδη στρώση

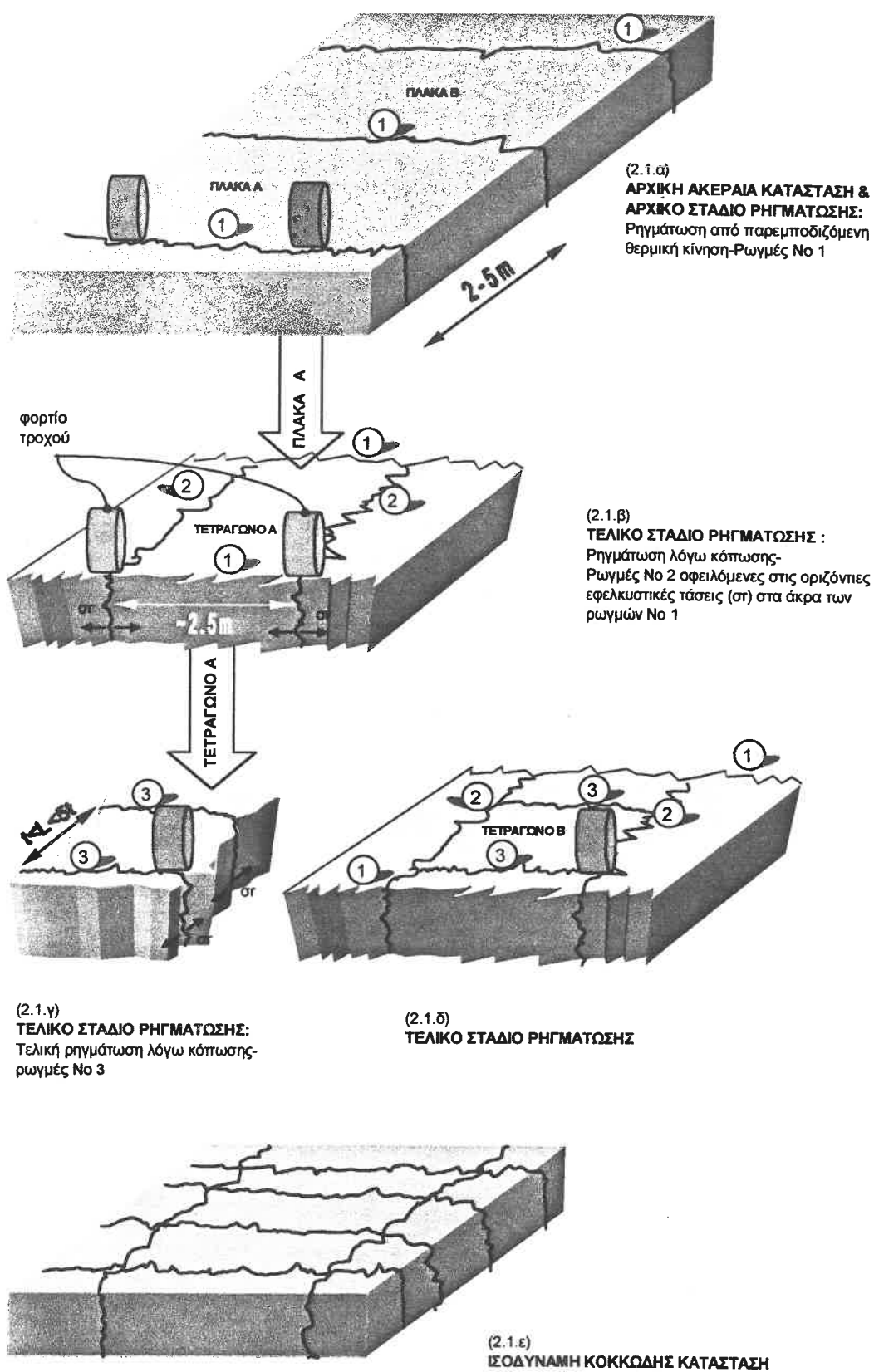
Με γραμμική ελαστική ανάλυση, στην οποία όμως εφαρμόζονται “ενεργά” μέτρα ελαστικότητας, η αστοχία διαχωρίζεται ως εξής:

A) Το τέλος της ζωής υπό κόπωση της στρώσης από υλικά συνδεδεμένα με υδραυλικές κονίες, επέρχεται όταν σχηματισθούν οι ρωγμές από κόπωση. Ο υπολογισμός των επαναλήψεων φόρτισης μέχρι την αστοχία, γίνεται με βάση το λόγο σ/f . Με αυτόν τον υπολογισμό, καμία παράταση ζωής δεν αναγνωρίζεται μετά την αρχική ρηγμάτωση, και η όποια παραμένουσα ζωή θα μπορούσε να υπολογιστεί μόνο αν υποθεθεί ότι η φέρουσα ικανότητα της στρώσης μειώνεται σ’ αυτήν του ασύνδετου κοκκώδους υλικού, και εφαρμόζοντας τα κριτήρια αστοχίας της στρώσης έδρασης. Προϋπόθεση είναι, η ασφαλική επιφάνεια, η οποία δεν πρέπει να έχει πάχος μικρότερο από 150mm, να μπορεί να διατηρηθεί σε τέτοια κατάσταση ώστε όλες οι ρωγμές να είναι σφραγισμένες και καμία διείσδυση νερού να μην επιτρέπεται.

B) Η ολοκληρωτική αστοχία του οδοστρώματος, επέρχεται μετά την ύπαρξη μιας σειράς διαδοχικών αστοχιών, τα στάδια 2, 3 και 4. Ο νόμος της κόπωσης δεν βασίζεται πλέον στην αναλογία της επιβαλλόμενης τάσης προς τη στατική αντοχή (σ/f), αλλά στην αναλογία της ανηγμένης παραμόρφωσης στην κορυφή της στρώσης προς την ανηγμένη παραμόρφωση κατά τη θραύση (ϵ/ϵ_b). Στο τελευταίο στάδιο το υλικό έχει υποστεί υπερβολική καταστροφή και θεωρείται ότι συμπεριφέρεται σαν ασύνδετο κοκκώδες υλικό.

Με βάση την ανάλυση με την μέθοδο των Ν.Αφρικάνων, και με επιφυλάξεις όσον αφορά τα χρησιμοποιηθέντα κριτήρια αστοχίας, κόπωσης σε κάμψη και θραύσης από θλίψη, εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

- 1) Ο αριθμός των επαναλήψεων φόρτισης πριν η στρώση εισέλθει στη δευτερεύουσα φάση ρηγμάτωσης, είναι πολύ μικρός.
- 2) Το μέγεθος του φορτίου τροχού καθώς και η διαμόρφωσή του είναι πολύ κρίσιμα.
- 3) Όταν αυξάνεται το πάχος της ασφαλικής στρώσης, αυξάνεται ο αριθμός των επιτρεπόμενων επαναλήψεων φόρτισης.
- 4) Το κριτήριο αστοχίας από θραύση, δεν φαίνεται να είναι κρίσιμο.
- 5) Η παραμένουσα ζωή του οδοστρώματος στην “ισοδύναμη κοκκώδη κατάσταση”, δεν φαίνεται να είναι ουσιαστική.



Σχήμα 2.1: Διαδοχική ρηγμάτωση στρώσης που περιλαμβάνει υλικά κατεργασμένα με υδραυλικές κονίες με χαμηλή αντοχή

2.6 Φυσικές ιδιότητες

Οι κρίσιμες παράμετροι για τα υλικά των βάσεων ισχνού σκυροδέματος, είναι ο συντελεστής θερμικής κίνησης, η εφελκυστική αντοχή και το μέτρο ελαστικότητας.

Θερμική κίνηση

Εργαστηριακές δοκιμές έδειξαν ότι η θερμική κίνηση ενός σκυροδέματος με μικρό ποσοστό τσιμέντου, είναι όμοια με αυτήν ενός σκυροδέματος με υψηλότερο ποσοστό, και καμία σημαντική αλλαγή στο συντελεστή δεν παρατηρείται για δοκίμια ηλικίας από 1 ως 28 ημερών.

Εφελκυστική αντοχή και μέτρο ελαστικότητας

Η εφελκυστική αντοχή και το μέτρο ελαστικότητας μετρήθηκαν χρησιμοποιώντας ίδια δοκίμια ηλικίας 16 ωρών ως 28 ημερών. Η αναλογία f_t/E_t , είναι υψίστης σημασίας για τον υπολογισμό της ευπάθειας σε ρηγμάτωση καθώς και των μοντέλων ρηγμάτωσης, και από τα πειράματα προέκυψε ότι αυξάνεται με την ηλικία, παρόλο που πρακτικά αναμένονται τιμές μεγαλύτερες των εργαστηριακών εξ' αιτίας της μη γραμμικότητας και του ερπυσμού σε υψηλότερα επίπεδα τάσης. Πάντως η ρηγμάτωση είναι μεγαλύτερη στις πρώιμες ηλικίες και γι' αυτό θα ήταν πολύτιμο να αποκτηθούν τιμές της αναλογίας f_t/E_t σε δοκίμια ηλικίας μικρότερης των 16 ωρών, αλλά αυτό είναι πρακτικά αδύνατο αφού αυτά είναι ευπαθή στο τρίψιμο ώστε να αντέξουν χωρίς να πάθουν ζημιά.

Δοκιμή παρεμποδιζόμενης θερμικής συστολής

Με σκοπό να ερευνηθεί η αλληλεξάρτηση των σχετικών ιδιοτήτων του ισχνού σκυροδέματος στην προκαλούμενη ρηγμάτωση από παρεμποδιζόμενη θερμική συστολή, επινοήθηκε μια πρότυπη συσκευή που προκαλούσε ρηγμάτωση με τον ίδιο τρόπο στο εργαστήριο. Για έναν αριθμό μιγμάτων διαφόρων ηλικιών, προσδιορίστηκαν οι θερμοκρασιακές μειώσεις σε μια κατάσταση απόλυτης παρεμπόδισης και σχεδιάστηκαν γραφικά μαζί τις θεωρητικές πτώσεις της θερμοκρασίας κατά την αστοχία. Οι υπολογιζόμενες θερμοκρασιακές μειώσεις υπερβαίνουν τις θεωρητικές κατά ένα περίπου σταθερό περιθώριο, διαφορές που αποδίδονται, τουλάχιστον εν μέρει, στο φαινόμενο του ερπυσμού, το οποίο είναι

πιθανό να είναι μεγαλύτερο στις πρώιμες ηλικίες. Σε κάθε περίπτωση πάντως, είναι φανερό ότι η ρηγμάτωση στις βάσεις οδοστρωμάτων συμβαίνει σαν αποτέλεσμα των μικρών θερμοκρασιακών μειώσεων στις πρώιμες ηλικίες και των ελαφρώς μεγαλύτερων στα επόμενα στάδια ζωής του οδοστρώματος.

2.7 Συμπεράσματα

Το πρόβλημα της παρεμποδιζόμενης θερμικής συστολής είναι μεγάλης πολυπλοκότητας και από τα παραπάνω επιχειρήματα εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

- (1) Η θερμική συστολή που προκύπτει από τις καθημερινές θερμοκρασιακές μειώσεις είναι αρκετή για να προκαλέσει ρηγμάτωση στις βάσεις ισχνού σκυροδέματος.
- (2) Το αποτέλεσμα των διαφοροποιήσεων της θερμοκρασίας είναι πιο έντονο τη νύχτα και τείνει να επιταχύνει την αστοχία που προκαλείται από θερμική συστολή.
- (3) Η πιο κρίσιμη περίοδος είναι, θεωρητικά, η πρώτη νύχτα μετά την τοποθέτηση του ισχνού σκυροδέματος, και περαιτέρω ρηγμάτωση οφειλόμενη στη θερμική συστολή θα ήταν απίθανη μετά από αυτήν την περίοδο σε κανονικές καιρικές συνθήκες.
- (4) Προτείνεται μια ελάχιστη απόσταση ρωγμών (περίπου 5m), αλλά η τιμή, πρακτικά, εξαρτάται από παράγοντες όπως η επικρατούσα παρεμπόδιση της στρώσης έδρασης, η ανακούφιση τάσης από ερπυσμό, και, όσον αφορά το σκυρόδεμα, η τιμή του λόγου f_t/E_t σε διάφορες ηλικίες, και ο συντελεστής θερμικής κίνησης.
- (5) Η απόσταση των ρωγμών εξαρτάται από το θερμοκρασιακό καθεστώς στο σκυρόδεμα κατά τη διάρκεια των πρώιμων σταδίων σκλήρυνσης.

Η ύπαρξη κατάλληλης αντοχής στις βάσεις ισχνού σκυροδέματος, όπως και η παραγωγή μιας αποδεκτής κατανομής ρωγμών, έχει πολύ μεγάλη σημασία, όμως αν τα μοντέλα ρηγμάτωσης είναι καθορισμένα, τουλάχιστον εν μέρει, από περιβαλλοντικές αλλαγές, μη ικανοποιητικές αποστάσεις ρωγμών θα μπορούσαν να προξηγηθούν, παρά τα όρια που έχουν επιβληθεί στην αντοχή. Αν ήταν δυνατό να κανονικοποιηθεί η ρηγμάτωση με τρόπο άλλον από την αβέβαιη επίδραση των θερμοκρασιακών αλλαγών, δύο σπουδαία πλεονεκτήματα θα προέκυπταν. Η συχνότητα εμφάνισης της ρηγμάτωσης εξ' αναδύσεως θα μπορούσε να μειωθεί, και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ισχνό σκυρόδεμα με υψηλότερη αντοχή. Αυτό θα

επέτρεπε αυξημένη εκμετάλλευση των ενδεχομένως άριστων ιδιοτήτων κατανομής φορτίου του υλικού και θα αύξανε τη σταθερότητα της μεταφοράς φορτίου με το θηλύκωμα των αδρανών στις ρωγμές.

2.8 Έλεγχος της ρηγμάτωσης εξ' αναδύσεως

Έχουν μελετηθεί διάφορες τεχνητές μέθοδοι ελέγχου της απόστασης των ρωγμών που συνοψίζονται ως εξής:

Χρήση οπλισμού στις βάσεις ισχνού σκυροδέματος

Ο οπλισμός συμβατικού τύπου πλέγματος είναι αποτελεσματικός, αλλά περιπλέκει την κατασκευή. Επίσης έχει προταθεί η προσθήκη ινών χάλυβα ή πολυπροπυλενίου, που βελτιώνουν την καμπτική αντοχή και τις μετά τη ρηγμάτωση ιδιότητες.

Τροποποίηση του ισχνού σκυροδέματος

Η ασφατική επάλλειψη με χονδρόκοκκα αδρανή, καθώς και η χρήση ασφατικών γαλακτωμάτων στα μίγματα φαίνεται να αυξάνουν την ολκιμότητα των βάσεων ισχνού σκυροδέματος. Σκοπός είναι η μείωση του μέτρου ελαστικότητας, χωρίς όμως να μειωθεί η αντοχή του υλικού, και παράλληλα, η αύξηση της αντοχής σε ρηγμάτωση.

Σκόπιμη προρηγμάτωση της βάσης οδοστρώματος

Με ελεγχόμενη προφόρτιση, δημιουργούνται ρωγμές ή , πιο επιθυμητά, ενθαρρύνεται η δημιουργία των ρωγμών σε προκαθορισμένα διαστήματα.

Ανεστραμμένη κατασκευή

Μια στρώση από ασύνδετο υλικό (χαλίκι) προϋποθέτεται ανάμεσα στη βάση ισχνού σκυροδέματος και την ασφατική επιφάνεια, για απομόνωση των κινήσεων και αποφυγή συγκέντρωσης τάσεων πάνω από τις ρωγμές.

Ενδιάμεση στρώση

Έχει προταθεί, πριν τις ασφατικές στρώσεις, η κατασκευή μιας στρώσης απορρόφησης των τάσεων, που περιέχει 3 ως 6mm τριμμένων ελαστικών υλικών, μαζί με ορυκτό φύλλερ και ασφατικό γαλάκτωμα.

2.9 Σχόλια

Από όλα τα παραπάνω επιχειρήματα, διαφαίνεται ότι η συχνότητα εμφάνισης της ρηγμάτωσης εξ' αναδύσεως, δεν μπορεί να ελεγχθεί με την επιβολή ενός ανώτατου ορίου αντοχής της βάσης ισχνού σκυροδέματος, όπως είχε υποτεθεί αρχικά, και χρειάζεται περαιτέρω μελέτη των μεθόδων ελέγχου των ρωγμών, ιδιαίτερα αυτών που διατηρούν τις ιδιότητες κατανομής φορτίου της βάσης.

Κεφάλαιο 3

Ασφαλτικά γαλακτώματα

3.1 Γενικά

Τα ασφαλτικά γαλακτώματα, είναι ρευστά ασφαλτικά υλικά, αποτελούμενα από σωματίδια ασφάλτου, μεγέθους 1-10μm, που βρίσκονται σε μόνιμη αιώρηση μέσα στο νερό. Δηλαδή, 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. Η τυπική αναλογία ασφάλτου και νερού είναι 60%/40%, κατά βάρος, αντίστοιχα.

Η αιώρηση των σωματιδίων της ασφάλτου επιτυγχάνεται με την ομοιόμορφη φόρτιση αυτών κατά το στάδιο της γαλακτωματοποίησης, με την προσθήκη χημικού προσθέτου, που ονομάζεται γαλακτωματοποιητής.

Τα ασφαλτικά γαλακτώματα χρησιμοποιούνται στην κατασκευή έργων οδοποιίας και αεροδρομίων. Με τη διανομή τους στην επιφάνεια των οδοστρωμάτων ή των αδρανών, διασπώνται, καταλείποντας επί αυτών έναν ασφαλτικό υμένα, που αποτελεί την συνδετική ύλη.

3.2 Παραγωγή ασφαλτικών γαλακτωμάτων

Τα ασφαλτικά γαλακτώματα παράγονται σε ειδική βιομηχανική μονάδα που αποτελείται από αποθήκες πρώτων υλών, αντλίες παροχής και δίκτυο σωληνώσεως, σύστημα γαλακτωματοποίησης, και δεξαμενές, με δυνατότητα ανάδευσης, για την αποθήκευση του τελικού προϊόντος.

Ως πρώτες ύλες χρησιμοποιούνται άσφαλτος (συνήθως τύπου 80/100 ή 60/70pen), νερό, γαλακτωματοποιητής, χημικό για την επίτευξη υδατοδιαλυτότητας του γαλακτωματοποιητή, σταθεροποιητής, και πολύ μικρή ποσότητα ειδικών ελαίων και διαλυτών.

3.3 Ταξινόμηση και τύποι γαλακτωμάτων

Με βάση το είδος της επιφανειακής φόρτισης των σωματιδίων της ασφάλτου, 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 είναι φορτισμένα αρνητικά. Τα θετικά φορτισμένα σωματίδια, όταν διέλθει ηλεκτρικό ρεύμα, οδεύουν και επικάθονται στην κάθοδο, εξ'ού και η ονομασία κατιονικά. Αντίστοιχα, τα αρνητικά φορτισμένα σωματίδια, όταν διέλθει ηλεκτρικό ρεύμα, οδεύουν και επικάθονται στην άνοδο, εξ'ού και η ονομασία ανιονικά. Η εναλλακτική ονομασία όξινα ή αλκαλικά, προέρχεται από το γεγονός ότι τα σωματίδια βρίσκονται σε αιώρηση αντίστοιχα σε όξινο ($pH < 7$) ή αλκαλικό ($pH > 7$) υδατικό περιβάλλον.

Ανάλογα με το ρυθμό διάσπασης, τα ασφατικά γαλακτώματα διακρίνονται και σε τρεις άλλες κατηγορίες. Αυτές είναι τα γαλακτώματα βραδείας, μέσης και ταχείας διάσπασης. Επίσης τα γαλακτώματα χαρακτηρίζονται από το ποσοστό της ασφάλτου που περιέχουν, από το ιξώδες αυτών, και από τη σκληρότητα της ασφάλτου.

Τα γαλακτώματα προδιαγράφονται σε κάθε χώρα από τις αντίστοιχες προδιαγραφές. Στην Ελλάδα, τα ασφατικά γαλακτώματα προδιαγράφονται από την ΠΤΠ Α202, για ανιονικού τύπου, και από την ΠΤΠ Α203, για κατιονικού τύπου. Για την ευκολότερη διάκριση των γαλακτωμάτων, χρησιμοποιείται συνδυασμός γραμμάτων και αριθμών. Έτσι, με ΑΕ συμβολίζονται τα ανιονικά γαλακτώματα, ενώ με ΚΕ τα κατιονικά. Ο αριθμός που ακολουθεί, δηλώνει το βαθμό διάσπασης αυτών, τις περιοχές εφαρμογής αλλά και την περιεκτικότητα σε άσφαλο. Οι αριθμοί είναι από το 1 ως το 5, με το 1 να δηλώνει γαλάκτωμα ταχείας διάσπασης, και το 5 γαλάκτωμα βραδείας διάσπασης.

3.4 Χρήσεις και πλεονεκτήματα γαλακτωμάτων

Τα ασφατικά γαλακτώματα χρησιμοποιούνται, διεθνώς, σε όλο το φάσμα των έργων οδοποιίας, όπως παραγωγή ψυχρών ασφαλτομιγμάτων παντός τύπου, ασφατικές και συγκολλητικές επαλλείψεις, προεπάλλειψη, εμποτισμό σκυρωτών, ψυχρά ασφαλτομίγματα με δυνατότητα αποθήκευσης για πλήρωση λάκκων, πλήρωση επιφανειακών ρωγμών οδοστρωμάτων, σταθεροποίηση πρανών, κλπ.

Η εφαρμογή των αντίστοιχου τύπου γαλακτωμάτων, ταχείας, μέσης ή βραδείας διάσπασης, είναι κυρίως συνάρτηση του μίγματος των αδρανών που χρησιμοποιείται και ειδικότερα της σχετικής επιφάνειας αυτών. Έτσι, κατά κανόνα, με ανοικτού τύπου μίγματα αδρανών (μικρή σχετική επιφάνεια αδρανών), χρησιμοποιούνται ταχείας διάσπασης γαλακτώματα. Με κλειστού τύπου μίγματα αδρανών (μεγάλη σχετική

επιφάνεια αδρανών), χρησιμοποιούνται βραδείας διάσπασης γαλακτώματα. Ενώ για ημίκλειστου τύπου μίγματα αδρανών, χρησιμοποιούνται γαλακτώματα μέσης διάσπασης.

Στην Ελλάδα, η χρήση των ασφαλικών γαλακτωμάτων υπολείπεται πολύ σε σχέση με τη χρήση της ασφάλτου σε έργα οδοποιίας, παρόλο που αυτά συγκρινόμενα με τα ασφαλικά διαλύματα αλλά και την ασφαλτο, έχουν πολλά πλεονεκτήματα, όπως:

- συμφέρουν περισσότερο από άποψη εξοικονόμησης και δαπάνης ενέργειας
- συμβάλλουν στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης
- καθιστούν τις ασφαλικές εργασίες ασφαλέστερες και πιο γρήγορες
- επικαλύπτουν, επιτυχώς, με ασφαλτο υγρά αδρανή και υγρές επιφάνειες
- αποτρέπουν κατασκευαστικές αστοχίες οφειλόμενες σε παρατεταμένη θέρμανση της ασφάλτου
- δρουν καλύτερα σε εργασίες συγκολλητικής επάλλειψης και προεπάλλειψης.

Όλα αυτά οφείλονται στο πολύ χαμηλό ιξώδες των γαλακτωμάτων, σε σύγκριση με της ασφάλτου και των ασφαλικών διαλυμάτων,(το οποίο επιτυγχάνεται με την προσθήκη νερού, και όχι διαλύτη), κάτι που δεν προϋποθέτει τη χρήση θερμότητας σε κανένα στάδιο εφαρμογής.

3.5 Γαλακτωματοποιητές

Οι γαλακτωματοποιητές, ή παράγοντες γαλακτώσεως, είναι χημικά πρόσθετα τα οποία χρησιμοποιούνται ώστε να αποφευχθεί η συνένωση των σωματιδίων της ασφάλτου και άρα ο διαχωρισμός των δύο φάσεων (ασφάλτου και νερού), δηλαδή για να μην διασπαστεί το γαλάκτωμα.

Για τα ανιονικά γαλακτώματα, οι γαλακτωματοποιητές είναι λιπαρά οξέα, ενώ για τα κατιονικά,αμίνες. Κάθε μόριο γαλακτωματοποιητή έχει δύο ομάδες, την υδρόφοβο, που είναι μη πολική και διαλύεται στην ασφαλτο, και την υδροφιλική, που είναι πολική και διαλύεται στο νερό. Κατά τη γαλακτωματοποίηση τα μόρια του γαλακτωματοποιητή, επικάθονται στα σφαιρίδια της ασφάλτου, φορτίζοντας την επιφάνειά τους ανάλογα. Έτσι αναπτύσσονται ωστικές δυνάμεις μεταξύ των σφαιριδίων, που εξασφαλίζουν την μόνιμη αιώρηση αυτών μέσα στο νερό, και συνεπώς τη σταθερότητα του ασφαλικού γαλακτώματος. Ανάλογα με την πολικότητα του υδροφιλικού μέρους, τα γαλακτώματα χαρακτηρίζονται ως ανιονικά ή κατιονικά.

3.6 Διάσπαση γαλακτώματος

Τα γαλακτώματα, όταν έρθουν σε επαφή με το μίγμα των αδρανών ή την επιφάνεια του οδοστρώματος, αρχίζουν να διασπώνται. Δηλαδή τα σωματίδια της ασφάλτου παύουν να αιωρούνται και αρχίζουν να επικάθονται πάνω στην επιφάνεια των αδρανών. Η διατάραξη αυτή του συστήματος, μπορεί να επέλθει είτε από απώλεια ύδατος (αφυδάτωση γαλακτώματος), είτε λόγω μείωσης της περιεκτικότητας του γαλακτωματοποιητή κάτω από ένα κρίσιμο επίπεδο. Η διάσπαση του γαλακτώματος υποδεικνύεται από την αλλαγή του χρώματός του από καφέ σε μαύρο.

Στα αλκαλικά γαλακτώματα η διάσπαση οφείλεται κυρίως στην αφυδάτωση αυτών. Το νερό αρχικά απορροφάται από τα αδρανή και κατόπιν εξατμίζεται. Έτσι επέρχεται συσσωμάτωση, φυσική εναπόθεση και τέλος συγκόλληση και πρόσφυση των μικυλίων (σωματίδια ασφάλτου) στην επιφάνεια των αδρανών, και διάσπαση του γαλακτώματος. Πλήρης διάσπαση επέρχεται μόνο μετά την ολική, ή την κατά πολύ μεγάλο ποσοστό, μερική απομάκρυνση του νερού από το σύστημα γαλακτωμα-αδρανή. Αλλιώς αυτό μπορεί να επαναγαλακτωματοποιηθεί με την παρουσία νερού, πχ εξαιτίας βροχής.

Στα κατιονικά γαλακτώματα η διάσπαση οφείλεται αρχικά σε χημική αντίδραση και κατόπιν στην αφυδάτωση αυτών, ενώ γίνεται σε τρεις φάσεις. Στην πρώτη φάση, τα πλεονάζοντα μόρια του γαλακτωματοποιητή και τα μικύλια, προσροφώνται επί της επιφάνειας των αδρανών, λόγω ηλεκτροστατικής έλξης. Στη δεύτερη φάση, λαμβάνει χώρα βίαιη συσσωμάτωση και φυσική εναπόθεση των σωματιδίων, λόγω διατάραξης της ισορροπίας του συστήματος, και στην τρίτη φάση, αφυδάτωση του γαλακτώματος και τελική διάσπαση αυτού. Οι τρεις φάσεις συμβαίνουν σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, μερικών λεπτών, και έτσι εκμηδενίζεται ο κίνδυνος επαναγαλακτωματοποίησης του συστήματος. Αυτό είναι και το κύριο πλεονέκτημα των κατιονικών, έναντι των ανιονικών γαλακτωμάτων. Ο μηχανισμός διάσπασης των κατιονικών γαλακτωμάτων είναι ίδιος, είτε χρησιμοποιούνται πυριτικά (ηλεκτραρνητικά) αδρανή, είτε ασβεστολιθικά (ηλεκτροθετικά) αδρανή, αφού έχουν το πρόσθετο πλεονέκτημα ότι μπορούν να προσφύονται σε όλα τα αδρανή, σε αντίθεση με τα ανιονικά που προσφύονται μόνο στα ηλεκτροθετικά αδρανή.

3.7 Ιδιότητες ασφαλικού γαλακτώματος

Το παραγόμενο ασφαλικό γαλάκτωμα θα πρέπει να είναι σταθερό ώστε να μπορεί να αποθηκευθεί για κάποιο χρονικό διάστημα, αλλά και να μεταφερθεί στο έργο χωρίς να διασπασθεί. Επίσης πρέπει να έχει το κατάλληλο ιξώδες για τον ψεκασμό του. Τέλος θα πρέπει να επικολλάται καλά επί των αδρανών και να διασπάται με τον επιθυμητό ρυθμό διάσπασης. Η “ευστάθεια” και η “διάσπαση” είναι ιδιότητες που έρχονται σε αντίθεση, αλλά απαιτούνται σε διαφορετικά στάδια χρήσης του γαλακτώματος. Η πρώτη κατά την αποθήκευση ενώ η δεύτερη κατά την εφαρμογή αυτού.

α) Αποθηκευτική ευστάθεια γαλακτώματος

Η αποθηκευτική ευστάθεια του γαλακτώματος έχει ιδιαίτερη σημασία, διότι αλλιώς το γαλάκτωμα δε θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ικανοποιητικά ή θα ήταν ακατάλληλο για χρήση. Επηρεάζεται κυρίως από το μέγεθος των σφαιριδίων της ασφάλτου αλλά και από την κατανομή μεγέθους αυτών. Έτσι, μεγάλο μέγεθος σφαιριδίων, και σε συνδυασμό με ανομοιόμορφη κατανομή αυτού, συνεπάγεται καθίζηση και συσσώρευση αυτών στον πυθμένα της δεξαμενής ή του βαρελιού, και μάλιστα με μεγάλη ταχύτητα καθίζησης. Κατά την πτώση τους τα μικύλια παρασύρουν και άλλα σωματίδια, με αποτέλεσμα να δημιουργείται στον πυθμένα μια περιοχή πλούσια σε ασφαλτο και μία, πιο πάνω, φτωχότερη. Το φαινόμενο αυτό της συσσώρευσης είναι αναστρέψιμο, αφού μια απλή ανάδευση επαναφέρει το σύστημα στην αρχική του μορφή. Όμως, με την περαιτέρω συσσώρευση των ασφαλικών σφαιριδίων στον πυθμένα, επέρχεται συγκόλληση και συγχώνευση αυτών σε μία ενιαία ασφαλική μάζα, φαινόμενο μη αναστρέψιμο. Στην περίπτωση αυτή, το γαλάκτωμα είναι ακατάλληλο για χρήση, αφού, μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, η ασφαλτος, σχεδόν στο σύνολό της, βρίσκεται συγκολλημένη στον πυθμένα του βαρελιού ή της δεξαμενής, οπότε η περιεκτικότητα του γαλακτώματος σε ασφαλτο έχει μειωθεί.

Η αποθηκευτική ευστάθεια του γαλακτώματος επηρεάζεται επίσης από το ιξώδες του, από το ειδικό βάρος της ασφάλτου, και από την περιεκτικότητα του γαλακτώματος σε γαλακτωματοποιητή. Έτσι, γαλακτώματα με μικρό ιξώδες και με ασφαλτο μεγάλου ειδικού βάρους, είναι πιο 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, όμως αυξάνει τόσο το κόστος, όσο και το χρόνο διάσπασης του γαλακτώματος, γι' αυτό και δεν προτιμάται ως λύση.

Κατά την αποθήκευση ή μεταφορά των γαλακτωμάτων, δε θα πρέπει να παραβλέπεται η καθαρότητα των δεξαμενών ή βαρελιών, τα οποία θα πρέπει να είναι ερμητικά κλεισμένα ή πλήρως γεμισμένα. Αυτό γιατί με την επαφή με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας αλλά και την μερική εξάτμιση του ύδατος στην επιφάνεια, επέρχεται επιφανειακή διάσπαση του γαλακτώματος, η οποία εμφανίζεται με τη δημιουργία “κρούστας” ασφάλτου.

Ένα τελευταίο σημαντικό σημείο προσοχής είναι η μη ανάμιξη ανιονικού και κατιονικού γαλακτώματος, διότι λόγω της αντίθετης ηλεκτροστατικής τους φόρτισης επέρχεται στιγμιαία διάσπαση αυτών.

β) Ιξώδες γαλακτώματος

Το ιξώδες του γαλακτώματος επηρεάζει κυρίως την ικανότητά του να ψεκάζεται επιτυχώς σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος, στις οποίες χρησιμοποιούνται τα ασφατικά γαλακτώματα, αλλά και να επικαλύπτει επιτυχώς τα αδρανή με άσφαλο. Επίσης επηρεάζει την εργασιμότητα του ψυχρού ασφατομίγματος στο στάδιο της ανάμιξης και της συμπύκνωσης.

Το ιξώδες αυξάνεται με την αύξηση της περιεκτικότητας της ασφάλτου στο γαλάκτωμα, καθώς και με την πτώση της θερμοκρασίας. Η αύξηση αυτή είναι πιο αισθητή στα γαλακτώματα με περιεκτικότητα ασφάλτου πάνω από 65%. Το ιξώδες του γαλακτώματος αυξάνεται ελαφρώς, με τη μείωση του ιξώδους της ασφάλτου κατά τη γαλακτωματοποίηση. Επίσης σχετική αύξηση του ιξώδους παρατηρείται με τη μείωση της οξύτητας του υδατικού διαλύματος και την αύξηση της περιεκτικότητας του γαλακτωματοποιητή. Ο τύπος (σκληρότητα) της ασφάλτου που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του γαλακτώματος, επηρεάζει το ιξώδες αυτού, σε μικρότερο βαθμό, ανάλογα με τον τύπο του γαλακτωματοποιητή.

γ) Συγκολλητικότητα γαλακτώματος / ασφάλτου

Σε όλες τις περιπτώσεις χρήσης ασφάλτου, η ανάγκη καλής συγκόλλησης αυτής με την επιφάνεια των αδρανών είναι πρωτίστης σημασίας. Στα γαλακτώματα, με την έναρξη της διάσπασης, αρχίζει η εναπόθεση της ασφάλτου πάνω στα αδρανή, και ακολούθως η πρόσφυσή της. Τα κατιονικά γαλακτώματα προσφύονται ισχυρότερα

από τα ανιονικά, και επίσης, στα κατιονικά γαλακτώματα η συνεκτικότητα τόσο μεταξύ της ασφάλτου και των αδρανών όσο και του ασφαλτομίγματος, αναπτύσσεται πολύ πιο γρήγορα.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη συγκολλητικότητα του γαλακτώματος, και κατ' επέκταση, και της ασφάλτου με τα αδρανή, είναι: ο τύπος και η ποσότητα του γαλακτωματοποιητή, η ποιότητα και ο τύπος της ασφάλτου, το pH του υδατικού διαλύματος του γαλακτωματοποιητή, και ο τύπος των αδρανών. Όσον αφορά την ποιότητα των αδρανών, έχει προαναφερθεί ότι τα κατιονικά γαλακτώματα προσφύονται άριστα με όλα τα αδρανή κατάλληλα για ασφαλτομίγματα, ενώ τα ανιονικά προσφύονται καλύτερα σε ασβεστολιθικά αδρανή.

δ) 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 ασφαλτομιγμάτων, ή στην περίπτωση που το ασφαλτικό γαλάκτωμα ψεκάζεται, να αναπτύσσεται όσο το δυνατόν συντομότερα η συνεκτικότητα ασφάλτου και αδρανών, έτσι ώστε να αποδίδεται το έργο σε κυκλοφορία το ταχύτερο. Ειδικά για την πρώτη περίπτωση, θα πρέπει επιπλέον να παρέχει τον απαιτούμενο χρόνο για την ομοιομορφή και πλήρη διασπορά της ασφάλτου στην επιφάνεια των αδρανών. Ανάλογες είναι οι απαιτήσεις του ρυθμού διάσπασης και για τις άλλες εφαρμογές.

Ο ρυθμός διάσπασης του γαλακτώματος εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- τη σύνθεση του γαλακτώματος: Ιδιαίτερα στα κατιονικά γαλακτώματα, η αλλαγή του ποσοστού του γαλακτωματοποιητή, της ασφάλτου και του οξέως στο γαλάκτωμα, καθώς και της αναλογίας οξέως / γαλακτωματοποιητή, επιφέρει μεταβολές στο ρυθμό διάσπασης. Επίσης, μείωση των διαστάσεων των σφαιριδίων της ασφάλτου και της κατανομής των κόκκων, μειώνει το χρόνο διάσπασης.

- το ρυθμό εξάτμισης του ύδατος-κλιματολογικές συνθήκες: Επειδή ο ρυθμός εξάτμισης συνδυάζεται με τις κλιματολογικές συνθήκες, ο ρυθμός διάσπασης αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, την αύξηση της έντασης του ανέμου, ή τη μείωση της σχετικής υγρασίας του περιβάλλοντος. Πιο ευαίσθητα στις παραπάνω μεταβολές είναι τα κατιονικά γαλακτώματα.

- την απορροφητικότητα των αδρανών: Σχετίζεται με την απώλεια ύδατος από το γαλάκτωμα. Όταν χρησιμοποιούνται πορώδη αδρανή, ο ρυθμός διάσπασης είναι

ταχύτερος. Εξαιρετικά πορώδη αδρανή (μεγαλύτερη του 3% απορρόφηση σε νερό), είναι καλό να αποφεύγονται.

- τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των αδρανών: Αυτά είναι, η κοκκομετρική διαβάθμιση και ο μέγιστος κόκκος του μίγματος των αδρανών (σχετική επιφάνεια αδρανών), το ποσοστό και το είδος του φίλλερ, η σχετική υγρασία, η υφή της επιφάνειας και το είδος του μητρικού πετρώματος. Ο ρυθμός διάσπασης αυξάνει με την αύξηση της ειδικής επιφάνειας των αδρανών (ύπαρξη περισσότερων λεπτόκοκκων υλικών), καθώς και με την αύξηση του ποσοστού του φίλλερ. Αύξηση της σχετικής υγρασίας των αδρανών επιβραδύνει το ρυθμό διάσπασης του γαλακτώματος. Σχεδόν πάντα, επιβάλλεται η διαβροχή των αδρανών με μικρή ποσότητα νερού (1-3% περίπου), ώστε να ουδετεροποιούνται, κατά ένα βαθμό, τα επιφανειακά ιόντα του πετρώματος και έτσι να αποφεύγεται η βίαιη διάσπαση του γαλακτώματος, που οδηγεί στην ανομοιόμορφη διασπορά της ασφάλτου στο μίγμα.

- την παρενόχληση του συστήματος γαλάκτωμα / αδρανή κατά τη διάρκεια της ανάμιξης του ασφαλομίγματος και τη διάστρωση του τάπητα: Αν η παραγωγή και διάστρωση γίνει με ειδικό μηχάνημα, και όχι επί της οδού με grader, εξασκούνται περισσότερες δυνάμεις στο σύστημα, και ο ρυθμός διάσπασης αυξάνεται. Ομοίως και όταν το σύστημα υποβάλλεται σε κυλίνδρωση, γι' αυτό και συνιστάται κυλίνδρωση οποιασδήποτε κατασκευής.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι ο ρυθμός διάσπασης του γαλακτώματος μπορεί να τροποποιηθεί και από επιπρόσθετες χημικές ουσίες, που έχουν στόχο να επιταχύνουν τη διάσπαση του γαλακτώματος και να βελτιώσουν περαιτέρω την πρόσφυση ασφάλτου και αδρανών.

Εργαστηριακό μέρος

Κεφάλαιο 4

Σκοπός διπλωματικής εργασίας

Τα τσιμεντόδετα αμμοχάλικα (κατεργασμένα ή σταθεροποιημένα με τσιμέντο, αδρανή υλικά), χαρακτηρίζονται από μεγάλο μέτρο ελαστικότητας και από ρηγμάτωση λόγω παρεμπόδισης των μετακινήσεων. Η ρηγμάτωση αυτή αποδίδεται στη μικρή δυνατότητα παραμόρφωσης, που έχουν τα υλικά αυτά, όπως αναλυτικότερα αναφέρεται στο κεφάλαιο 2.

Τα οδοστρώματα που περιλαμβάνουν τσιμεντόδετες στρώσεις, έχουν το μειονέκτημα να αναδύεται η αναπόφευκτη ρηγμάτωση των στρώσεων αυτών, στην επιφάνεια του ασφαλτοτάπητα. Για την ελάττωση ή ελαχιστοποίηση του μειονεκτήματος αυτού, έχουν προταθεί διάφορα μέτρα, εκ των οποίων, το πλέον αποδοτικό φαίνεται ότι είναι η προρηγμάτωση των τσιμεντόδετων στρώσεων. Ένας άλλος τρόπος θα μπορούσε να ήταν η μεταβολή των χαρακτηριστικών των τσιμεντόδετων υλικών, ώστε να μειωθεί η επιρρέειά τους σε ρηγμάτωση.

Στην εργασία αυτή, διερευνώνται τα μηχανικά χαρακτηριστικά μίγμάτων κατεργασμένων με τσιμέντο και γαλάκτωμα σε μικρό ποσοστό, σε μία προσπάθεια να εκτιμηθεί η επίδραση της περιεκτικότητας σε γαλάκτωμα, στην επιρρέεια για ρηγμάτωση, των τσιμεντόδετων αμμοχάλικων.

Για το σκοπό αυτό, παρασκευάστηκαν επτά μίγματα με ποσοστά, 2% τσιμέντο με 2% γαλάκτωμα, 3% τσιμέντο με 0%, 1% και 2% γαλάκτωμα, και 4% τσιμέντο με 0%, 1% και 2% γαλάκτωμα, και προσδιορίστηκε το μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη και θλίψη, καθώς και οι αντοχές τους σε κάμψη, σε θλίψη, σε εφελκυσμό, (αντιδιαμετρική θλίψη) και σε ισοδύναμο κύβο.

Κεφάλαιο 5

Υλικά, παρασκευή και συντήρηση δοκιμίων

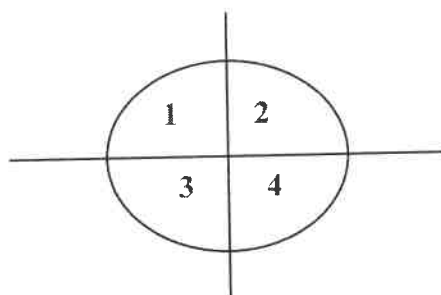
Στο μέρος αυτό θα γίνει περιγραφή των εργασιών που έγιναν στο εργαστήριο ώστε να παρασκευαστούν τα 7 μίγματα, που περιέχουν τσιμέντο και ασφαλτικό γαλάκτωμα σε διάφορες αναλογίες, και στη συνέχεια τα δοκίμια που θα χρησιμοποιηθούν για τις δοκιμές που θα γίνουν.

5.1 Υλικά

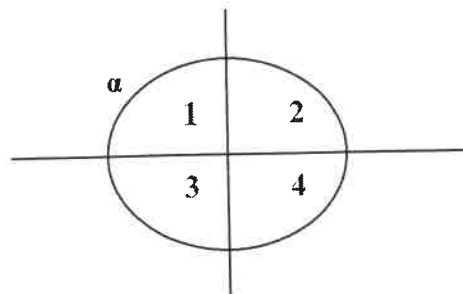
Για την παρασκευή των μιγμάτων χρησιμοποιήθηκε ανιονικό ασφαλτικό γαλάκτωμα ΑΕ-5, τσιμέντο Π Α 32,5 και θραυστά ασβεστολιθικά αδρανή.(άμμος, γαρμπίλι, χαλίκι)

5.2 Δειγματοληψία

1. Αρχικά κοσκινίζεται το διαθέσιμο χαλίκι έτσι ώστε οι κόκκοι να έχουν μέγεθος μικρότερο ή ίσο των 19mm. Η απαίτηση αυτή προκύπτει από το γεγονός ότι αν ο κόκκος είναι μεγάλος σε σχέση με την ελάχιστη διάσταση του δοκιμίου τότε τυχόν παρουσία ενός ή περισσοτέρων μεγάλων κόκκων στην εξωτερική επιφάνεια του δοκιμίου θα επηρεάσει σημαντικά τις ιδιότητες του υλικού (επιρροή κλίμακας).
2. Γίνεται τετραμερισμός σε δείγματα από χαλίκι, γαρμπίλι, άμμο. Η διαδικασία εξηγείται παρακάτω. Παίρνεται μέρος (στην δοκιμή αυτή 4kg) από τα διαθέσιμα χαλίκια, ή το γαρμπίλι ή την άμμο, στρώνεται σε μέρος καθαρό ώστε το δείγμα να είναι καθαρό από τυχόν προσμίξεις και τελικά το δείγμα παίρνει το σχήμα που φαίνεται παρακάτω. Χωρίζεται σε 4 ίσα μέρη.



3. Γίνεται ένωση του 1 με το 4, ξεχωρίζεται από το σωρό και στρώνεται ξανά όπως στο α.



Ενώνονται το 1α με το 4α και πετιούνται τα 2α και 3α. Επανάληψη της διαδικασίας έως ότου το μίγμα που μένει να αντιστοιχεί στην επιθυμητή ποσότητα. Επαναλαμβάνεται η όλη διαδικασία από την αρχή με άλλο δείγμα από άμμο, χαλίκι και γαρμπίλι και έτσι έχουν προκύπτουν δύο δείγματα. Τα δείγματα αυτά πρέπει να έχουν την ίδια κοκκομετρική διαβάθμιση. Δεκτή από κάθε κόσκινο διαφορά έως $\pm 3\%$.

5.3 Κοκκομετρική διαβάθμιση δείγματος

Όταν τετραμερίζεται η άμμος, λαμβάνονται δύο δείγματα και αφού αυτά πλυθούν τοποθετούνται σε φούρνο στους 105 βαθμούς C για μία ημέρα. (Όταν έχουμε να υπολογίσουμε την κοκκομετρική διαβάθμιση της άμμου την πλένουμε πρώτα χρησιμοποιώντας ένα κόσκινο Νο 200 , και ένα με μεγαλύτερες οπές. Το νερό που διέρχεται μέσα απ' τα κόσκινα με την άμμο πρέπει να είναι διαυγές ώστε να θεωρηθεί η διαδικασία του πλυσίματος της άμμου τελειωμένη). Τελικά τα δείγματα από το χαλίκι, το γαρμπίλι και την πλυμένη άμμο τοποθετούνται ένα ένα σε ειδικό μηχάνημα το οποίο προκαλώντας δονήσεις, διαχωρίζει τους κόκκους ανάλογα με το μέγεθός τους. Το μηχάνημα αυτό έχει ειδική υποδοχή για τα κόσκινα . Βάζοντας λοιπόν τα κόσκινα το ένα πάνω στο άλλο (ψηλότερα αυτό με τις μεγαλύτερες οπές και ακολουθούν τα υπόλοιπα με τη σειρά ανάλογα με το μέγεθος της οπής τους.) και θέτοντας το μηχάνημα σε λειτουργία το δείγμα διαχωρίζεται πάνω στα κόσκινα. Στη

συνέχεια ζυγίζονται τα κόσκινα με το υλικό που έχουν συγκρατήσει κάθε φορά και προκύπτει η κοκκομετρική διαβάθμιση κάθε δείγματος.

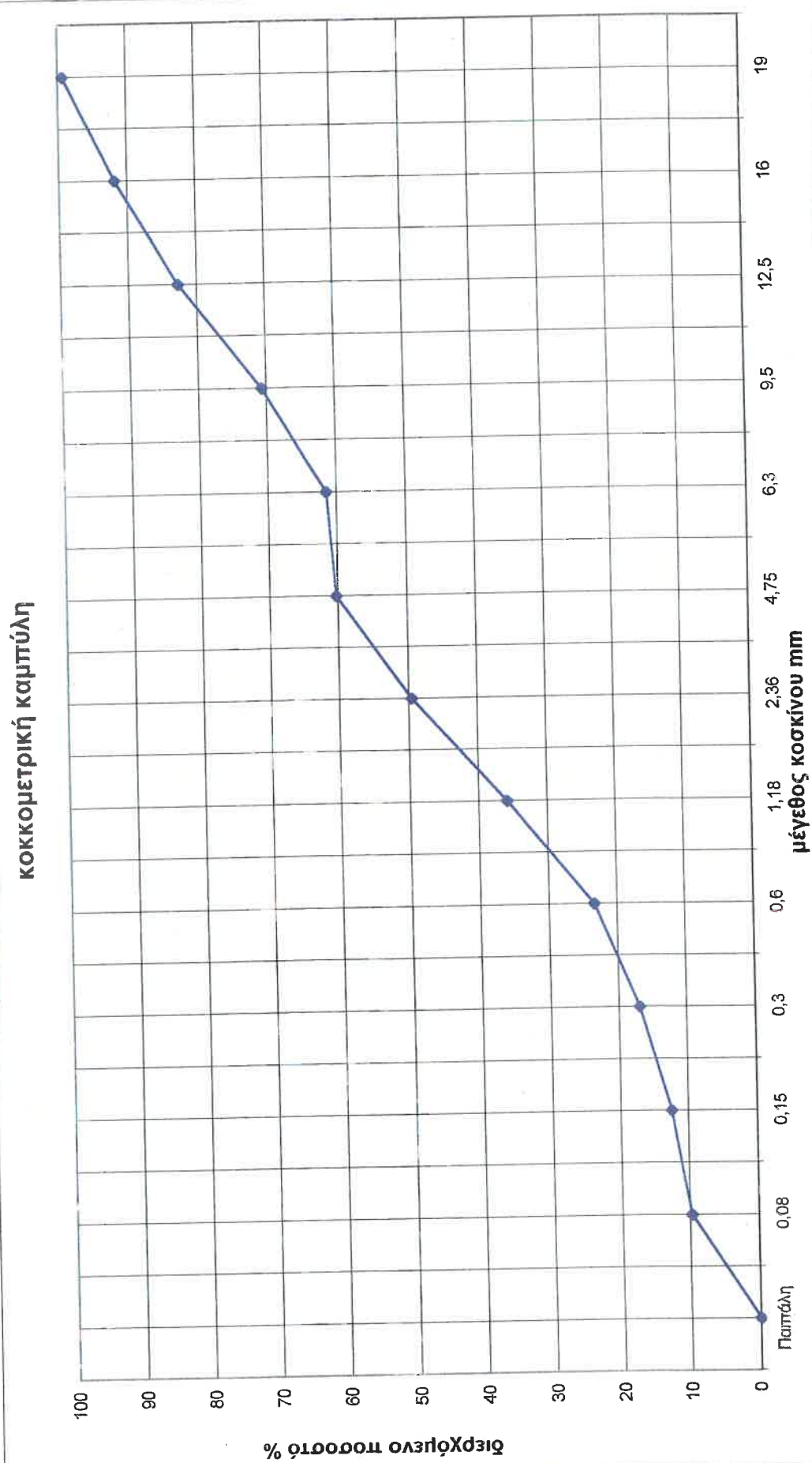
Τα αποτελέσματα από τα δείγματα που είχαμε φαίνονται παρακάτω (πίνακας 5.1)

Πίνακας 5.1: Προσδιορισμός κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών

πρότυπο μέγεθος κόσκινου σε mm	Συγκρατούμενο βάρος gr			Συγκρατούμενο βάρος %		
	άμμος	γαρμπίλι	χαλίκι	άμμος	γαρμπίλι	χαλίκι
	4000gr	3000gr	4000gr			
19	0	0	112,15	0	0	2,80
16	0	0	1505,90	0	0	37,65
12,5	0	60,30	1740,85	0	2,01	43,52
9,5	0	1389,40	557,25	0	46,31	13,93
6,3	0	1340	48,95	0	44,67	1,22
4,75	7,55	166,35	7,25	0,19	5,55	0,18
2,36	703,50	25,75	0	17,59	0,86	0
1,18	915,20	0	0	22,88	0	0
0,6	833,35	0	0	20,83	0	0
0,3	427,95	0	0	10,70	0	0
0,15	297,10	0	0	7,43	0	0
0,08	179,80	0	0	4,50	0	0
Παιπάλη	635,55	18,20	0	15,89	0,61	0,69

Πίνακας 5.1: (συνέχεια)

Διερχόμενο βάρος %			Διερχόμενο βάρος %	πρότυπο μέγεθος κόσκινου mm
άμμος	γαρμπίλι	χαλίκι	Μίγμα	
100	100	97,20	99,44	19
100	100	59,55	91,91	16
100	97,99	16,03	82,80	12,5
100	51,68	2,10	70,75	9,5
100	7,01	0,87	61,58	6,3
99,81	1,47	0,69	60,32	4,75
82,22	0,61	0,69	49,59	2,36
59,34	0,61	0,69	35,87	1,18
38,51	0,61	0,69	23,37	0,6
27,81	0,61	0,69	16,95	0,3
20,38	0,61	0,69	12,49	0,15
15,89	0,61	0,69	9,79	0,08
0	0	0	0	παιπάλη



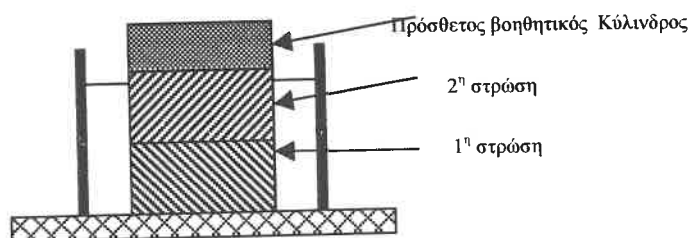
Σχήμα 5.1: Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών υλικών

Μετά από δοκιμές προκύπτει κοκκομετρική καμπύλη που κρίνεται κατάλληλη για την παρασκευή των μιγμάτων μας. Η αναλογία των υλικών είναι:

- 60% άμμος
- 20% γαρμπίλι
- 20% χαλίκι

5.4 Δοκιμή Proctor

Ανακατεύεται το μίγμα αναλογίας 60% άμμος, 20% χαλίκι, 20% γαρμπίλι, που βρέθηκε με διάλυμα 50% νερό και 50% ασφαλτικό γαλάκτωμα ΑΕ-5. Παρασκευάζονται πέντε δείγματα με υγρασίες 3,4,5,6,7%. Χρησιμοποιείται η μήτρα Proctor η οποία έχει ύψος 116 mm, διάμετρο 91,4 mm και το βάρος της είναι 4534,4 g. Αφού προετοιμαστεί κατάλληλα ρίχνεται το μίγμα μέσα και συμπυκνώνεται με τη βοήθεια ηλεκτρόσφυρας (Cango). Σύμφωνα με τις προδιαγραφές η συμπύκνωση γίνεται με κόπανο. Εδώ χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρόσφυρα μέχρι αρνήσεως του μίγματος. Το μίγμα μπαίνει στη μήτρα σε δυο στρώσεις δηλαδή η δεύτερη στρώση μπαίνει αφού έχει συμπυκνωθεί η πρώτη και αφού έχει χαραχθεί κατάλληλα η ελεύθερή της επιφάνεια ώστε να υπάρξει καλύτερο δέσιμο των στρώσεων.



Σχήμα 5.2 : Μήτρα Proctor

Τα αποτελέσματα από τη συμπύκνωση των δειγμάτων δίδονται παρακάτω.

- 1^ο μίγμα, υγρασία 3%. Βάρος μήτρας + βάρος συμπυκνωμένου δοκιμίου → 6632,5 g.
- 2^ο μίγμα, υγρασία 4%. Βάρος μήτρας + βάρος συμπυκνωμένου δοκιμίου → 6631,3 g.

- 3^ο μίγμα, υγρασία 6%. Βάρος μήτρας + βάρος συμπυκνωμένου δοκιμίου
→6711,6 g.
- 4^ο μίγμα, υγρασία 7%. Βάρος μήτρας + βάρος συμπυκνωμένου δοκιμίου
→6707,0 g.
- 5^ο μίγμα, υγρασία 8%. Βάρος μήτρας + βάρος συμπυκνωμένου δοκιμίου
→6755,2 g.

Υπολογίζεται ο εσωτερικός όγκος της μήτρας ο οποίος ταυτίζεται με τον όγκο του δοκιμίου.

$$V=\pi \cdot \upsilon \cdot R^2 \rightarrow V=7,611 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Όπου υ το ύψος της μήτρας, και R η ακτίνα., σε m.

Έχω συνεπώς τώρα τη δυνατότητα να βρω το καθαρό βάρος κάθε δοκιμίου.

- $B_1=B_{\text{ολικό}}-B_{\text{μήτρας}}=6632,5-4534,4=2098,1 \text{ g.}$
- $B_2=6631,3-4534,4=2096,9 \text{ g.}$
- $B_3=6711,6-4534,4=2177,2 \text{ g.}$
- $B_4=6707,0-4534,4=2172,6 \text{ g.}$
- $B_5=6755,2-4534,4=2220,8 \text{ g.}$

Είναι X το ξηρό βάρος των αδρανών και α το ποσοστό της υγρασίας.

Βρίσκεται το ξηρό βάρος των δοκιμίων.

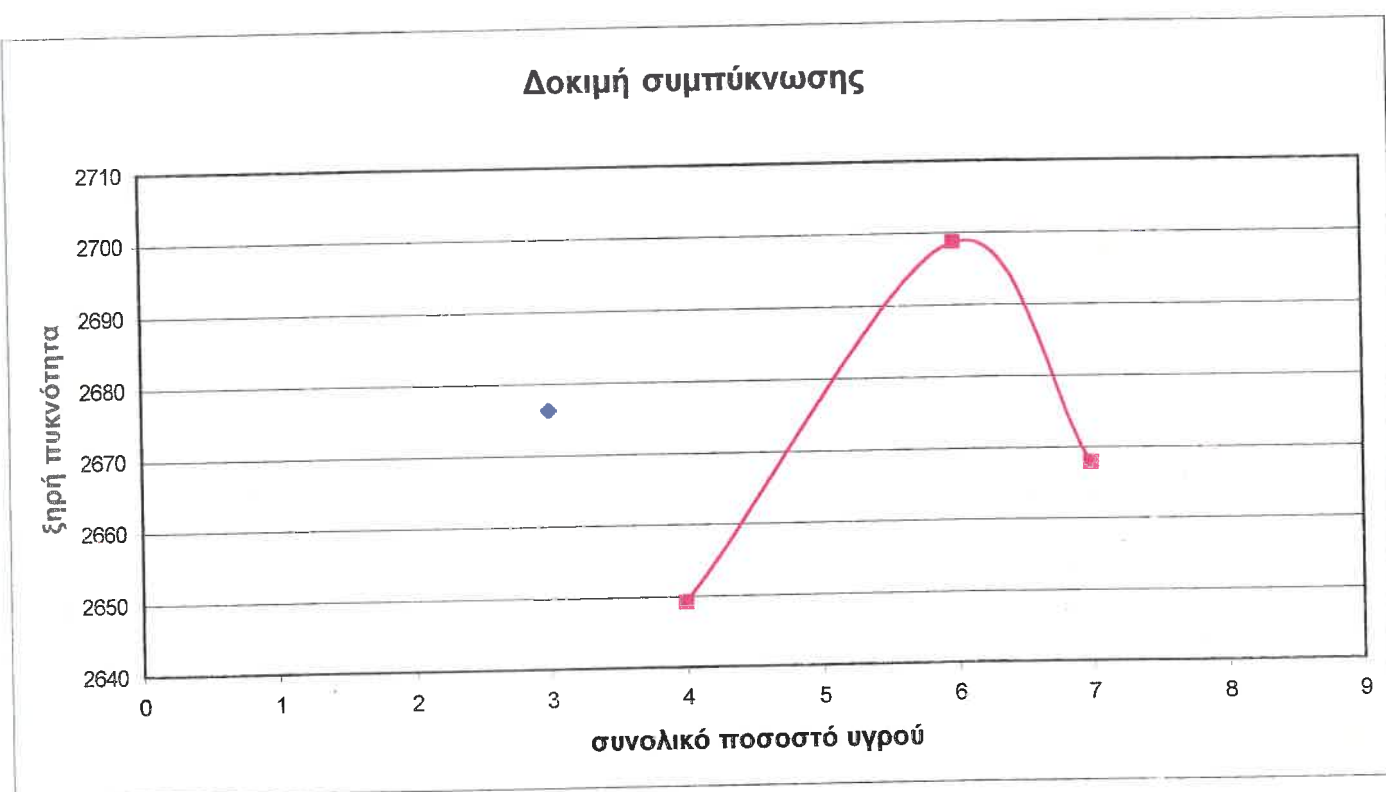
- $X+0,03X=2098,1 \rightarrow 1,03X=2098,1 \rightarrow X=2098,1/1,03=2036,99\text{g}$
- $X+0,04X=2096,9 \rightarrow X=2016,25\text{g}$
- $X+0,06X=2177,2 \rightarrow X=2053,96\text{g}$
- $X+0,07X=2172,6 \rightarrow X=2030,47\text{g}$
- $X+0,08X=2220,8 \rightarrow X=2056,30\text{g}$

Διαιρώντας με τον όγκο βρίσκεται η ξηρή πυκνότητα.

$$P=m_{\text{ξηρή}}/V$$

- $P_1 = (2036,99 \cdot 10^{-3}) / (7,611 \cdot 10^{-4}) = 2676,38 \text{ kg/m}^3$
- $P_2 = 2649,13 \text{ kg/m}^3$
- $P_3 = 2698,67 \text{ kg/m}^3$
- $P_4 = 2667,81 \text{ kg/m}^3$
- $P_5 = 2701,75 \text{ kg/m}^3$

Προκύπτει η καμπύλη μεταβολής της πυκνότητας σε σχέση με το συνολικό ποσοστό υγρού. (Καμπύλη Proctor)



Σχήμα 5.3: Δοκιμή Proctor

Προκύπτει βέλτιστη υγρασία 6%. Θα παρασκευαστούν λοιπόν τα μίγματα με αυτό το ποσοστό υγρασίας. Φυσικά στο ποσοστό αυτό θα περιλαμβάνεται και η υγρασία από το ασφαλτικό γαλάκτωμα. Στο ξηρό υλικό του μίγματος θα περιλαμβάνεται και το τσιμέντο.

Η επιθυμητή υγρασία σε κάθε μίγμα επιτυγχάνεται με την προσθήκη καθαρού νερού στο ήδη εξαιτίας του γαλακτώματος υπάρχον. (Το γαλάκτωμα που χρησιμοποιείται αποτελείται κατά 40% από νερό και 60% από ασφαλτο)

Για τις ανάγκες των δοκιμών αποφασίστηκε να φτιαχτούν επτά μίγματα με διάφορες αναλογίες μεταξύ ποσοστών τσιμέντου και ασφαλικού γαλακτώματος και από κάθε μίγμα να κατασκευαστούν τρία δοκάρια διαστάσεων 50cm επί 10cm επί 10cm καθώς και τρία κυλινδρικά δοκίμια διαμέτρου 10cm και ύψους 20cm.

Πίνακας 5.2: Αναλογίες γαλακτώματος και τσιμέντου σε κάθε μίγμα.

Α/Α μίγματος	ποσοστό %	
	γαλάκτωμα	τσιμέντο
1	2	2
2	1	3
3	0	3
4	0	4
5	2	3
6	1	4
7	2	4

5.5 Παρασκευή μιγμάτων

Μίγμα 1^ο

Στο μίγμα αυτό περιέχεται 2% γαλάκτωμα και 2% τσιμέντο. Υπολογίστηκε ότι θα χρειαστούν 50 kg αδρανών για την κατασκευή των δοκιμίων. Σύμφωνα και με την αναλογία που βρέθηκε προηγούμενα για τα αδρανή ελήφθησαν 30kg άμμο (60%), 10kg γαρμπίλι (20%) και 10kg χαλίκι (20%). Το ποσοστό 2% του τσιμέντου αναλογεί σε 1020g άρα το συνολικό βάρος των ξηρών υλικών θα είναι 51020g. Το 6% θα είναι η υγρασία του μίγματος ή 3060g και αφού το 2% επί των ξηρών υλικών ή πιο απλά τα 1020g θα είναι γαλάκτωμα θα έχουμε ήδη $0,4 \cdot 1020g = 408g$ νερού. Συνεπώς το νερό που προστέθηκε είναι $(3060 - 408)g = 2652g$.

Η διαδικασία του ζυγίσματος των υλικών περιγράφεται παρακάτω.

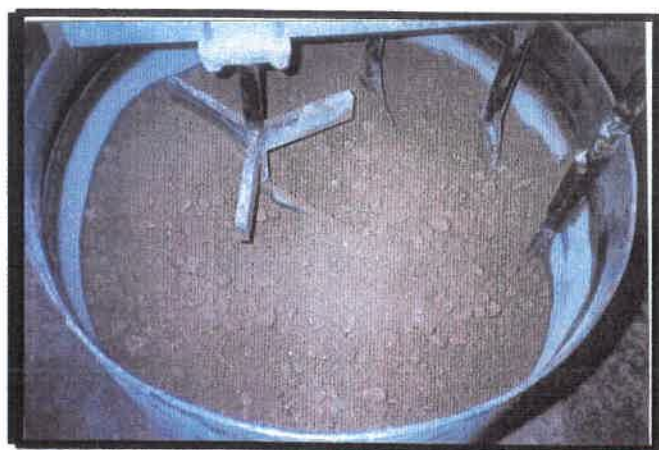
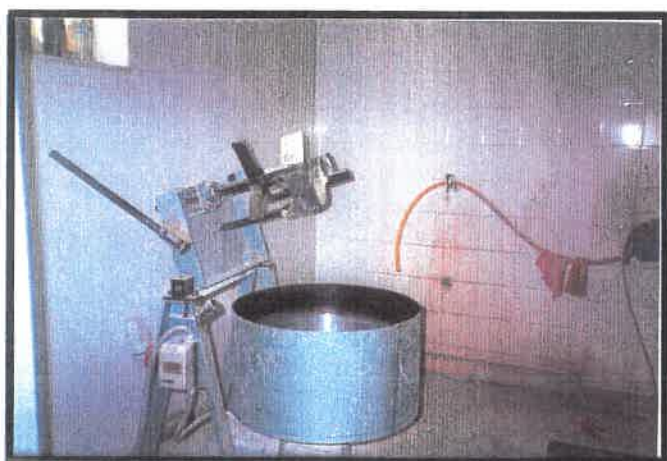
Το ζύγισμα της άμμου, του γαρμπιλιού και των χαλικιών γίνεται με τη βοήθεια ζυγαριάς η οποία έχει ακρίβεια 20g. Αρχικά τοποθετούμε το άδειο δοχείο με το οποίο θα διεξαχθεί η μέτρηση πάνω στη ζυγαριά. Μηδενίζεται η ένδειξη και στη συνέχεια

παίρνεται το δοχείο και του προστίθεται το προς ζύγισμα υλικό. Αφού παρθεί ακριβώς η επιθυμητή ποσότητα υλικού η διαδικασία συνεχίζεται.

Το ζύγισμα του νερού, του τσιμέντου και του ασφαλικού γαλακτώματος λόγω της μικρής τους ποσότητας είναι ανάγκη να γίνει με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια απ' ότι των άλλων υλικών. Εδώ χρησιμοποιείται ζυγαριά με ακρίβεια 0,1g. Για να επιτύχουμε ακρίβεια στην ποσότητα του νερού το δοχείο που θα χρησιμοποιηθεί καλό είναι να έχει βραχεί προηγούμενα. Πάντως και σε αυτήν την περίπτωση το δοχείο τοποθετείται αρχικά άδειο πάνω στη ζυγαριά και μηδενίζεται η αντίστοιχη ένδειξη πριν προστεθούν μέσα τα προς ζύγισμα υλικά.

Αφού ζυγιστούν όλα τα υλικά με ακρίβεια ρίχνονται στον αναμικτήρα τον οποίο έχουμε από πριν αλείψει με γαλάκτωμα ώστε να αποφευχθεί η επικόλληση μέρους του γαλακτώματος του μίγματος στον αναμικτήρα. προστίθεται λίγο νερό, περίπου το ένα τρίτο της συνολικής ποσότητας και το μίγμα ανακατεύεται για 2 min. Αφήνεται για 10 min έτσι ώστε η υγρασία να καταλάβει όλο του τον όγκο. Στη συνέχεια ρίχνεται το τσιμέντο και το μισό από το νερό που έχει απομείνει και ανακατεύεται για τρία min. Ρίχνεται το ασφαλικό γαλάκτωμα και ξεπλένεται το δοχείο που το περιείχε με το νερό που έχει μείνει έτσι ώστε όλο το γαλάκτωμα παρασυρμένο από το νερό να βρεθεί τελικά στη λεκάνη του αναμικτήρα. Ανακατεύεται για 2 ακόμη min. Περιμένουμε 10 min για να ομογενοποιηθεί το μίγμα από πλευράς υγρασίας.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο αναμικτήρας πρέπει να παραμένει σκεπασμένος κατά τη διάρκεια της αναμονής αυτής για να μη χάνεται υγρασία από το μίγμα.



Φωτογραφία 1: Αναμικτήρας

Για τα επόμενα μίγματα ακολουθείται η ίδια περίπου διαδικασία.

Μίγμα 2°

Λαμβάνονται 55kg αδρανή με τις ίδιες αναλογίες.

Το ποσοστό τσιμέντου εδώ είναι 3% που αντιστοιχεί σε 1650g άρα τα ξηρά υλικά είναι 56650g και το ποσοστό 1% του γαλακτώματος αντιστοιχεί σε 566,5g. Επειδή στο προηγούμενο μίγμα παρουσιάστηκε δυσκολία στη συμύκνωση λόγω μεγάλης ποσότητας νερού, εδώ και στα επόμενα μίγματα έχει μειωθεί η τελική υγρασία στο 5,5%. Έτσι το νερό πρέπει να είναι 3113,75g. Υπάρχουν από το ασφατικό γαλάκτωμα τα 566,5g άρα προστίθενται ακόμη 2889,15 g νερό.

Μίγμα 3°

Έχω ποσοστό τσιμέντου 3% καθώς και απουσία γαλακτώματος.

Το ποσοστό τσιμέντου αντιστοιχεί σε 1650 g και προκύπτει σύνολο ξηρών υλικών 56650 g. Ελλείψει γαλακτώματος όλη η υγρασία θα προέλθει από το νερό που θα προστεθεί. 5,5% υγρασία→3113,75g νερό.

Μίγμα 4°

Εδώ είναι 4% τσιμέντο και όπως και πριν δεν υπάρχει καθόλου γαλάκτωμα.

Το ποσοστό τσιμέντου αντιστοιχεί σε 2200 g τσιμέντου και η υγρασία (πάντα στο 5,5%) στα 3146 g νερού.

Μίγμα 5°

Στο μίγμα αυτό είναι 2% γαλάκτωμα και 3% τσιμέντο. Το τσιμέντο έχει βάρος 1650g άρα τα ξηρά υλικά 56,650 kg. Το ποσοστό του γαλακτώματος 2% αντιστοιχεί σε 1133g και η ποσότητα του νερού από το γαλάκτωμα είναι 453,2g. Προσθέτονται 2662,55 g για να επιτευχθεί η επιθυμητή υγρασία.

Μίγμα 6°

Είναι 1% γαλάκτωμα με 4% τσιμέντο. Με δεδομένα τα 55 kg αδρανών το τσιμέντο συμμετέχει με 2200 g άρα τα ξηρά υλικά είναι 57200g. Η υγρασία που ισούται με το

5,5% του βάρους των ξηρών υλικών είναι 3146g από τα οποία τα 228,8g τα προσφέρει το γαλάκτωμα (572g). Προστίθενται 2917,2g νερό.

Μίγμα 7^ο

Ελήφθησαν 57 kg αδρανών με τη γνωστή αναλογία.(60% άμμος, 20% γαρμπίλι, 20% χαλίκι). Εδώ το ποσοστό γαλακτώματος είναι 2% και του τσιμέντου 4%. Το ποσοστό του δευτέρου αντιστοιχεί σε 2280 g και για την επιθυμητή υγρασία χρειάζονται 3260,4 g νερού. 2% γαλάκτωμα είναι 1185,6 g που δίνουν 474,2g νερού. Τα υπόλοιπα 2786,2 g είναι το νερό που προστέθηκε.

5.6 Παρασκευή-συμπύκνωση δοκιμίων

Για την παρασκευή των δοκιμίων χρησιμοποιούνται καλούπια τα οποία πιο πριν έχουν καθαριστεί από τυχόν κολλημένα κομμάτια τσιμέντου και επαλειφθεί με ορυκτέλαιο για εύκολο ξεκαλούπωμα. Το υλικό του μίγματος τοποθετείται μέσα στα καλούπια μέχρι τη μέση του εσωτερικού τους ύψους και αρχίζει η συμπύκνωση με τη βοήθεια ηλεκτρόσφυρας.(Cango). Το υλικό συμπυκνώνεται μέχρι αρνήσεως. Στη συνέχεια χαράσσεται η επιφάνεια με ένα μυστρί ή ένα κατσαβίδι ώστε να γίνει καλλίτερα το δέσιμο της πρώτης με την δεύτερη στρώση. Τοποθετείται πάνω στο καλούπι η προσθήκη της φωτογραφίας και ρίχνεται και το υπόλοιπο υλικό. Το υλικό συμπυκνώνεται ξανά μέχρι αρνήσεως.



Φωτογραφία 2.1: Συμπύκνωση δοκιμίων με ηλεκτρόσφυρα

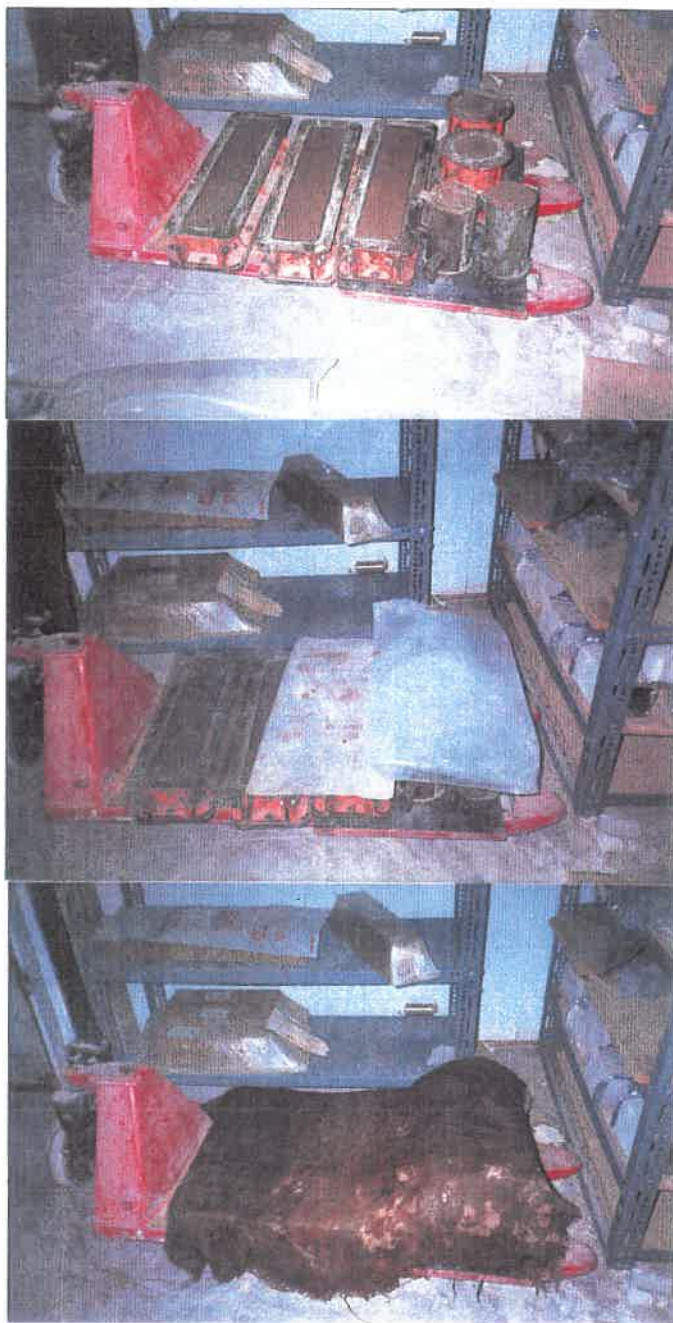
Επιπεδώνεται η επιφάνεια του δοκιμίου με τη βοήθεια μεταλλικής πλάκας η οποία τοποθετείται πάνω στην επιφάνεια του καλουπιού και δέχεται φορτίσεις από την ηλεκτρόσφυρα. Όμοια διαδικασία και για τα κυλινδρικά δοκίμια.



Φωτογραφίες 2.2: Συμπύκνωση δοκιμίων με ηλεκτρόσφυρα

5.7 Συντήρηση δοκιμίων

Μετά την παρασκευή τα δοκίμια τοποθετούνται στο θάλαμο συντήρησης μαζί φυσικά με τα καλούπια τους. Η υγρασία του θαλάμου είναι άνω του 95%. Επιπλέον τα δοκίμια σκεπάζονται με νάilon και με βρεγμένη λινάτσα. Τα δοκίμια παρέμειναν για 20 τουλάχιστον ώρες εκεί ώστε να αναπτύξουν αντοχές που να επιτρέπουν το ασφαλές ξεκαλούπωμά τους (ορισμένα για λόγους πρακτικούς ξεκαλουπώθηκαν μετά από 92 ώρες).



Φωτογραφία 3: Συντήρηση δοκιμίων.

Άνω: Τοποθέτηση δοκιμίων στο θάλαμο συντήρησης.

Μέση: Κάλυψη με πλαστικά φύλλα, Κάτω: Κάλυψη με υγρή λινάτσα.

Μετά το πέραςμα του χρόνου ανάπτυξης ικανοποιητικής αντοχής τα δοκίμια βγαίνουν από το θάλαμο. Ακολουθεί ξεκαλούπωμα και ζύγισμα όπως θα περιγραφεί παρακάτω.

Αφού ελευθερωθούν τα δοκίμια από τις μήτρες ζυγίζονται. Τα κυλινδρικά σε ζυγαριά που έχει ακρίβεια 0,1 g και τα δοκάρια σε ζυγαριά ακρίβειας 20 g αφού όμως προηγουμένα έχουν τοποθετηθεί πάνω σε προζυγισμένες ξύλινες ή γυάλινες πλάκες ώστε να αποφευχθεί πιθανή θραύση τους.



Φωτογραφία 4: Ζύγισμα δοκιμίων

Στη συνέχεια όλα τα δοκίμια τοποθετούνται σε νάιλον σακούλες οι οποίες κλείνονται καλά για αποφυγή απώλειας υγρασίας και οδηγούνται ξανά στο θάλαμο συντήρησης. Τα δοκίμια θα μείνουν εκεί μέχρις αναπτύξεως του μεγαλύτερου μέρους αντοχής τους. Παρατίθεται ο πίνακας 5.3 που δείχνει τα βάρη των δοκιμίων καθώς και τη διάρκεια παραμονής τους στο θάλαμο συντήρησης.

Πίνακας 5.3: Βάρη των δοκιμίων και χρόνος παραμονής τους στο θάλαμο συντήρησης

A=πρίσματα 100mmx100mmx500mm

α=κυλινδρικά d=100mm,u=200mm

μίγμα	γαλάκτωμα %	τσιμέντο %	γαλάκτωμα g	τσιμέντο g	νερό g	α/α	βάρος δοκιμίων g	
1ο	2	2	1020	1000	2652	A1 A2 A3 α1 α2 α3	11960 12020 12100 3778,1 3724,7 3953,3	28h στο θάλαμο
2ο	1	3	566,5	1650	2889,15	A4 A5 A6 α4 α5 α6	12300 12300 12360 3814,3 3788,9 3774,8	24h στο θάλαμο
3ο	0	3	0	1650	3115,75	A7 A8 A9 α7 α8 α9	12560 12460 12540 3887,6 4085,3 3889,4	21,5h στο θάλαμο
4ο	0	4	0	2200	3146	A10 A11 A12 α10 α11 α12	12600 12520 12580 3894,5 3911,4 3901,6	19,5h στο θάλαμο
5ο	2	3	1133	1650	2662,55	A13 A14 A15 α13 α14 α15	12080 12100 12280 3712,7 3746 3777,7	92,5h στο θάλαμο
6ο	1	4	572	2200	2917,2	A16 A17 A18 α16 α17 α18	12340 12380 12300 3840,9 3804,3 4010,2	90,5h στο θάλαμο
7ο	2	4	1185,6	2280	2786,16	A19 A20 A21 α19 α20 α21	12100 12140 12180 3721 3747,4 3740,1	20h στο θάλαμο

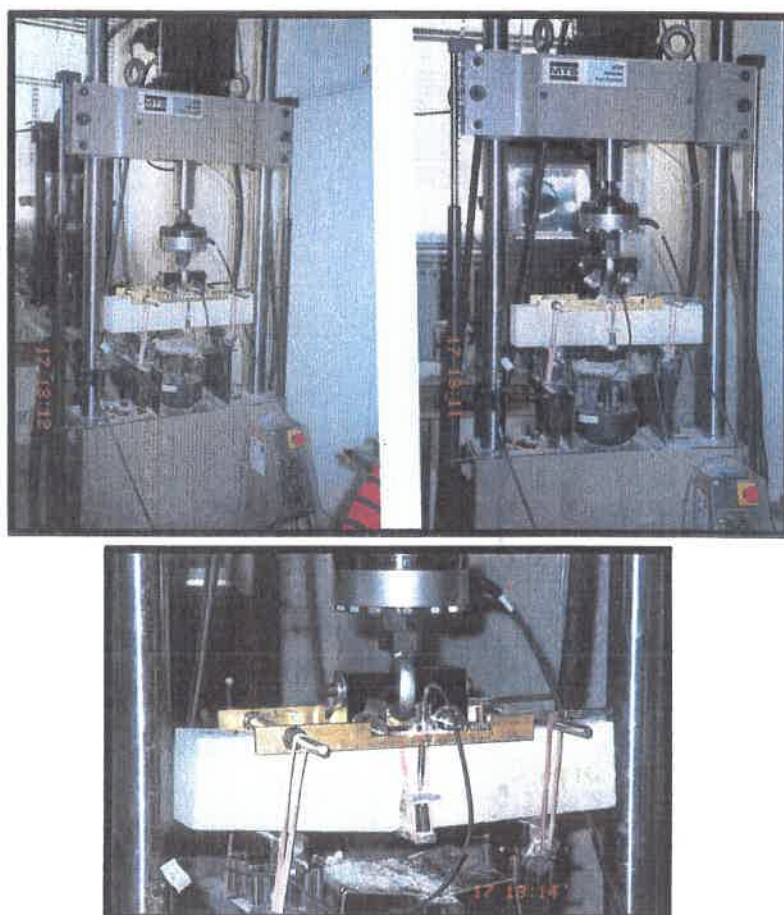
Κεφάλαιο 6

Δοκιμές

Μετά την ωρίμανση των δοκιμίων ακολούθησαν δοκιμές για να διαπιστωθούν πειραματικά οι αντοχές, οι μέγιστες παραμορφώσεις και τα αντίστοιχα μέτρα ελαστικότητας των υλικών από τα οποία προέρχονται. Οι δοκιμές συνοπτικά είναι οι κάμψης, θλίψης, εφελκυσμού (αντιδιαμετρική θλίψη), ισοδύναμου κύβου, επαναλαμβανόμενης φόρτισης και έγιναν με το μηχάνημα MTS. Μετά από κάθε δοκιμή το μηχάνημα έδινε τα στοιχεία της επιβαλλόμενης απ' αυτό φόρτισης και την αντίστοιχη παραμόρφωση των μηχανοσυστημάτων που είχαν τοποθετηθεί πάνω στα δοκίμια. Τα στοιχεία αυτά επεξεργάστηκαν στο ms excel και προέκυψαν διαγράμματα που θα μας απασχολήσουν σε άλλο κεφάλαιο.

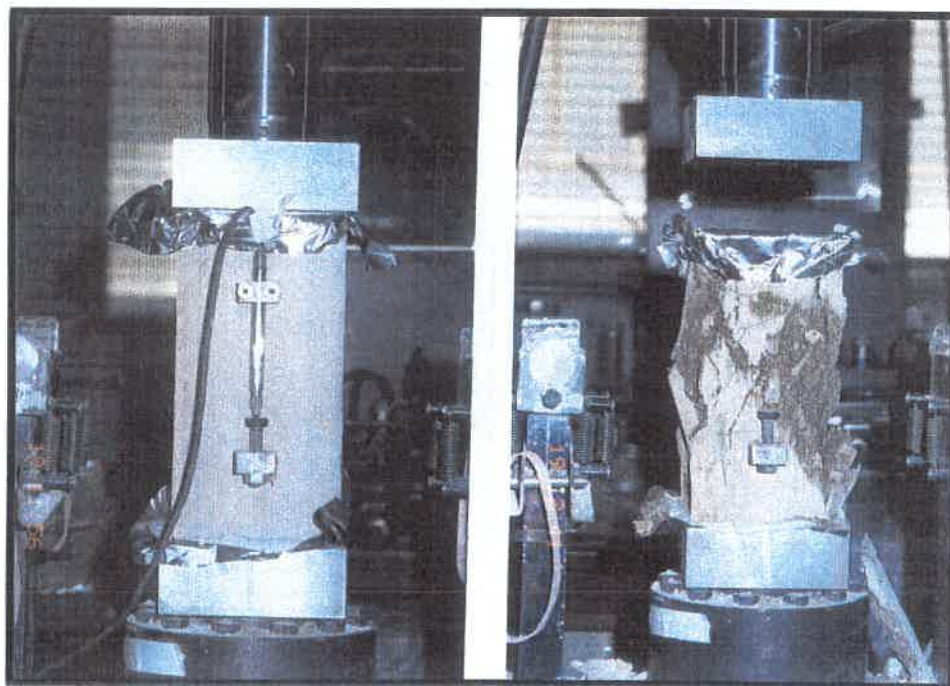
6.1 Δοκιμές κάμψης και μονοαξονικής θλίψης

Αρχικά τα δοκάρια υποβλήθηκαν σε δοκιμή κάμψης ($u_{φόρτισης}=0,2 \text{ kN/sec}$). Η διάταξη του πειράματος και οι φάσεις του φαίνονται στις κάτω φωτογραφίες.



Φωτογραφίες 1,2,3: Κάμψη δοκιμίων

Μετά τη δοκιμή κάμψης (στατικής και δυναμικής) ακολούθησε η δοκιμή θλίψης ($\dot{u}_{\text{φόρτισης}}=0,58\text{kN/sec}$). Αφού λήφθηκε το μεγαλύτερο από τα δύο κομμάτια του σπασμένου δοκαριού κάθε πειράματος κόπηκε και επιπεδώθηκε στη μεριά απ'όπου είχε σπάσει. Δημιουργήθηκαν έτσι πρίσματα διαστάσεων $100\text{mm}\times 100\text{mm}\times 500\text{mm}$. Τα πρίσματα αυτά έσπασαν σε θλίψη όπως φαίνεται στις παρακάτω φωτογραφίες.



Φωτογραφία 4: Δοκιμή μονοαξονικής θλίψης

Δυστυχώς σε κάποια μίγματα η πρέσα έφτασε τα όριά της χωρίς τα δοκίμια να έχουν σπάσει έτσι τα διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων για αυτά τα δοκίμια δίνουν στοιχεία μόνο για το μέτρο ελαστικότητας του υλικού τους. Οι αντοχές τους σε θλίψη έγιναν γνωστές με τη βοήθεια άλλης πρέσας η οποία δυστυχώς δεν ήταν δυνατό να καταγράψει τις παραμορφώσεις που αντιστοιχούσαν στα επιβαλλόμενα φορτία.

6.2 Δοκιμή δυναμικής φόρτισης

Παράλληλα με τη δοκιμή κάμψης (στατική φόρτιση) στα δοκάρια πραγματοποιήθηκε και μία δοκιμή επαναλαμβανόμενης φόρτισης σε κάμψη (δυναμική φόρτιση). Έχοντας τρία δοκάρια από κάθε μίγμα για τη δοκιμή κάμψης, η διαδικασία που ακολουθήθηκε είχε ως εξής :

Το πρώτο δοκάρι υποβλήθηκε σε δοκιμή κάμψης. Σημειώθηκε η τιμή του φορτίου θραύσης του δοκιμίου. Πριν υποβληθούν τα άλλα δύο δοκάρια στην ίδια δοκιμή υποβλήθηκαν σε επαναλαμβανόμενη φόρτιση 100 κύκλων στην οποία η τιμή του φορτίου μεταβάλλεται ημιτονοειδώς και έχει μέγιστη τιμή $P/3$ όπου P είναι το φορτίο θραύσης σε κάμψη του πρώτου δοκιμίου. Η μέγιστη τιμή $P/3$ επιλέγεται επειδή εκτιμάται ότι το υλικό δεν έχει υποστεί σημαντική φθορά μετά από 100 κύκλους φόρτισης με αυτό το φορτίο. Με δεδομένο όμως ότι η αντοχή σε κάμψη έχει μεγάλη μεταβλητότητα, ιδιαίτερα σε αυτά τα υλικά, μπορεί σε επόμενα δοκίμια του ίδιου μίγματος να νομίζουμε ότι η μέγιστη τιμή του φορτίου κατά τη διάρκεια της δυναμικής φόρτισης ήταν ίση με $P/3$ ενώ στην πραγματικότητα να έχουμε φτάσει σε τιμή που για κάποιο δοκίμιο να αντιστοιχεί στο ήμισυ του φορτίου θραύσεώς του ή και πιο ψηλά. Αυτό το γεγονός προφανώς ισοδυναμεί με σημαντικά μεγαλύτερες φθορές για το δοκίμιο. Ακόμη πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η επανάληψη των φορτίσεων, έστω και στο $P/3$, σημαίνει ότι επιφέρονται ορισμένες παραμορφώσεις, ένα μέρος των οποίων μπορεί να είναι μόνιμο. Συνεπώς αξίζει να ερευνηθεί κατά πόσο η δοκιμή σε επαναλαμβανόμενη φόρτιση επηρεάζει τις τιμές που θα ληφθούν μετά τη δοκιμή κάμψης και αν η επιρροή αυτή θεωρείται σημαντική.

Θεωρητικά μια δοκιμή επαναλαμβανόμενης φόρτισης, η οποία προηγείται μιας δοκιμής κάμψης σε ένα δοκίμιο, ενδέχεται να επηρεάσει και αρνητικά αλλά και θετικά τις τιμές της αντοχής και του μέτρου ελαστικότητας του δοκιμίου.

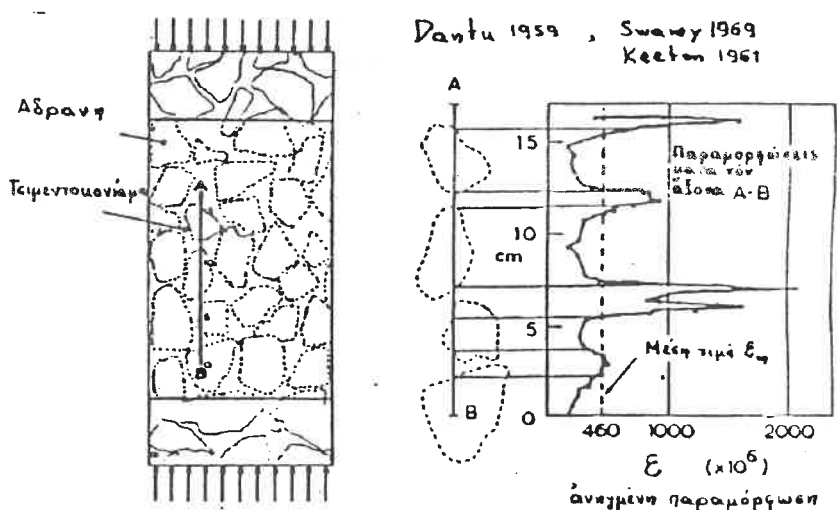
Για παράδειγμα μπορεί οι επαναλαμβανόμενες φορτίσεις να δημιουργήσουν φθορές στο δοκίμιο στις οποίες να οφείλεται στη συνέχεια η μειωμένη τιμή της αντοχής (σε σχέση με άλλα δοκίμια που υπέστησαν κατευθείαν δοκιμή κάμψης) στη δοκιμή κάμψης που θα ακολουθήσει.

Η μείωση της ποιότητας του υλικού θα είναι αποτέλεσμα των ρωγμών που μπορεί να δημιουργηθούν αλλά και των παραμενουσών παραμορφώσεων στη μάζα του.

Αντίθετα, θετική επίδραση στη συμπεριφορά του υλικού θα υπήρχε στην περίπτωση που περιγράφεται παρακάτω.

Έστω μία καμπτόμενη δοκός που προέρχεται από κάποιο από τα μίγματα που έχουν παρασκευαστεί στην παρούσα εργασία και οι τάσεις που αναπτύσσονται στη διατομή που βρίσκεται στο μέσο της. Με δεδομένο ότι το υλικό είναι στην πραγματικότητα τριών φάσεων (αδρανή, τσιμεντοπολτός, άσφαλτος) θα ήταν δυνατόν κατά αναλογία των ερευνών του Dantu [1] να θεωρηθεί ότι στις περιοχές μεταβολών από αδρανές υλικό σε άσφαλτο ή σε τσιμεντοπολτό, θα παρουσιάζονται μεγάλες μεταβολές των παραμορφώσεων, δηλαδή μεγάλες μεταβολές συγκέντρωσης τάσεων. Επομένως θα ήταν δυνατόν να θεωρηθεί ότι οι τάσεις δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένες αλλά παρουσιάζουν μέγιστες τιμές στα σημεία που αντιστοιχούν μεγάλοι σχετικά κόκκοι υλικού. Μετά τη δοκιμή επαναλαμβανόμενης φόρτισης υπάρχει λόγω ερπυσμού/ χαλάρωσης μια εξομάλυνση των ακραίων αυτών τιμών. Συνεπώς, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το υλικό σε αυτήν την περίπτωση θα συμπεριφερθεί στη μετέπειτα δοκιμή κάμψης ως περισσότερο ομογενές από πριν.

Στη συνέχεια, θα ερευνάται στα μείγματα που παρασκευάστηκαν το κατά πόσον επηρέασε η επαναλαμβανόμενη φόρτιση που προηγήθηκε τις τιμές του E των δοκιμών.

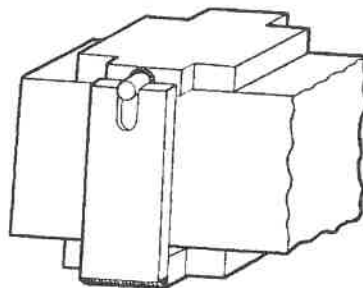


Σχήμα 6.1: Κατανομή παραμορφώσεων στη μάζα σκυροδέματος

6.3 Δοκιμή ισοδύναμου κύβου

Μερικές φορές η αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος καθορίζεται με χρήση μέρους ενός δοκαριού που έχει σπάσει σε προηγούμενη δοκιμή. Τα τελικά μέρη της δοκού πρέπει να έχουν παραμείνει άθικτα μετά την αστοχία σε δοκιμή κάμψης και από τη στιγμή που το δοκάρι είναι συνήθως τετραγωνικής διατομής ένας ισοδύναμος ή τροποποιημένος κύβος μπορεί να ληφθεί με επιβολή φορτίου μέσω τετραγωνικών ατσάλινων πλακών ιδίου μεγέθους με τη διατομή της δοκού. Είναι σημαντικό οι δυο πλάκες να έχουν τοποθετηθεί η μία πάνω από την άλλη με τις αντίστοιχες κατακόρυφες πλευρές τους να βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο, όπως τη διάταξη του σχήματος. Το δοκίμιο πρέπει να τοποθετηθεί έτσι ώστε η πάνω του επιφάνεια, (κατά τη διάρκεια του καλουπώματος) να μην βρίσκεται σε επαφή με καμία από τις πλάκες. Η αντοχή αυτού του τροποποιημένου κύβου είναι περίπου ίδια με αυτήν ενός πραγματικού, ίδιου μεγέθους και υλικού, κύβου.

Στην πραγματικότητα ο περιορισμός από τα προεξέχοντα μέρη του 'κύβου' ίσως έχει σαν αποτέλεσμα μια μικρή αύξηση της απόλυτης αντοχής. Γίνεται η υπόθεση (B.S.1881 :1952) ότι η αντοχή του ισοδύναμου κύβου είναι κατά 5 τοις εκατό μεγαλύτερη από αυτή ενός πραγματικού κύβου ίδιου μεγέθους.[9]

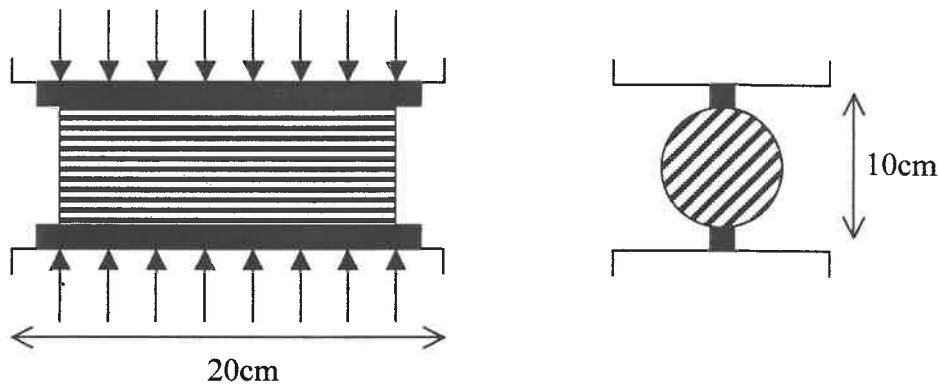


Σχήμα 6.2: Διάταξη δοκιμής ισοδύναμου κύβου

6.4 Δοκιμή αντιδιαμετρικής θλίψης κυλινδρικών δοκιμίων

Για να εκτιμηθεί η αντοχή σε εφελκυσμό των δοκιμίων του κάθε μίγματος και δεδομένης της έλλειψης αντίστοιχου μηχανήματος για την απευθείας εύρεσή της, λαμβάνει χώρα η δοκιμή της αντιδιαμετρικής θλίψης (δοκιμή έμμεσου εφελκυσμού σε διάρρηξη). Η δοκιμή αυτή, γνωστή και ως Brazilian test ή splitting test περιγράφεται παρακάτω.

Χρησιμοποιείται ως μηχανή δοκιμής η μηχανή θλίψης του εργαστηρίου. Τα κυλινδρικά δοκίμια τοποθετούνται στην πρέσα όπως στο σχήμα ώστε το επιβαλλόμενο φορτίο να ασκείται σε δύο αντιδιαμετρικές γενέτειρες του δοκιμίου και κατά το ίδιο αξονικό επίπεδο. Σε κάθε δοκίμιο τοποθετούνται δύο ξύλινες πρισματικές ράβδους πλάτους 2,5 cm με μήκος λίγο μεγαλύτερο από αυτό των κυλίνδρων μεταξύ αυτών και των πλακών φόρτισης.



Σχήμα 6.3: Διάταξη δοκιμής αντιδιαμετρικής θλίψης.

Πριν τη δοκιμή μετρείται το μήκος, ως η μέση τιμή δύο τουλάχιστον μετρήσεων μήκους κοντά στο αξονικό επίπεδο επιβολής του φορτίου και η διάμετρος των δοκιμίων, ως η μέση τιμή τριών διαμέτρων των δοκιμίων. Το δοκίμιο τοποθετείται μαζί με τις ξύλινες ράβδους όπως στο σχήμα έτσι ώστε το αξονικό επίπεδο φόρτισης του δοκιμίου να συμπίπτει με το αξονικό επίπεδο φόρτισης της πρέσας. Το φορτίο επιβάλλεται ομαλά με σταθερή ταχύτητα $u=0,58 \text{ kN/sec}$

Βρίσκεται το φορτίο θραύσης και στη συνέχεια η τάση θραύσης από εφελκυσμό με αντιδιαμετρική θλίψη με τη βοήθεια του τύπου :

$$\sigma = 2P/\pi Ld$$

Όπου L το μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου, d η διάμετρος του και P το φορτίο θραύσης του.

Κεφάλαιο 7

Παρουσίαση, ανάλυση και σχολιασμός αποτελεσμάτων

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται παρουσίαση, ανάλυση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις δοκιμές που περιγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Αρχικά παρατίθενται πίνακες με στοιχεία από τις πραγματοποιηθείσες δοκιμές. Ο πίνακας 7.1 παρουσιάζει τα αποτελέσματα των δοκιμών κάμψης και θλίψης, για κάθε δοκίμιο. Παρατίθενται τα μέτρα ελαστικότητας σε κάμψη και θλίψη, καθώς και οι αντίστοιχες αντοχές τους, όπως επίσης και το μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη, με συνυπολογισμό των διατμητικών τάσεων ($E_{\text{διατ}}$, διορθωτικός συντελεστής 1,28)

Ο πίνακας 7.2 περιέχει, για κάθε μίγμα, την μέση τιμή της αντοχής σε κάμψη (των τριών δοκιμών του μίγματος), καθώς και την τυπική απόκλιση και το συντελεστή μεταβλητότητας του.

Στον πίνακα 7.3 παρουσιάζονται για όλα τα δοκίμια, το φορτίο θραύσης αυτών για τη δοκιμή σε ισοδύναμο κύβο καθώς και η αντοχή τους, ενώ στο πίνακα 7.4 παρουσιάζεται για κάθε μίγμα η μέση τιμή της αντοχής αυτής, όπως επίσης η τυπική απόκλιση και ο συντελεστής μεταβλητότητας.

Ο πίνακας 7.5 παρουσιάζει για κάθε κυλινδρικό δοκίμιο το φορτίο θραύσης του από τη δοκιμή αντιδιαμετρικής θλίψης και την αντίστοιχη αντοχή του σε εφελκυσμό. Στον πίνακα 7.6 παρουσιάζεται για κάθε μίγμα η μέση τιμή της αντοχής σε εφελκυσμό καθώς και η τυπική απόκλιση και ο συντελεστής μεταβλητότητάς του.

Μετά την παράθεση των πινάκων ακολουθεί σχολιασμός για τα αποτελέσματα κάθε δοκιμής ξεχωριστά.

Πίνακες

Παρατίθενται πίνακες με στοιχεία από τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν.

Πίνακας 7.1: Αποτελέσματα δοκιμών κάμψης και θλίψης. Μέτρο ελαστικότητας, σε κάμψη, σε κάμψη συμπεριλαμβανομένων και των διατμητικών τάσεων, σε θλίψη. Αντοχές δοκιμών σε κάμψη και θλίψη. Όλες οι τιμές σε MPa.

α/α δοκίμιο	γαλάκτωμα %	τσιμέντο %	Εκάμψης MPa	Ε _{διάτ} MPa	Εθλίψης MPa	Αντοχή σε κάμψη MPa	Αντοχή σε θλίψη MPa
1	2	2	13000	17000	11000	0,8	1,9
2			16000	20500	10500	0,9	1,9
3			13000	16500	-	0,8	-
4	1	3	32500	42000	21500	1,9	5,8
5			22000	28000	21500	1,8	5,5
6			25000	32000	-	1,8	-
7	0	3	32000	41000	23500	1,7	7,2
8			27500	35000	25000	1,9	6,9
9			26500	34000	-	1,8	-
10	0	4	36500	47000	32000	2,9	12,03
11			29500	38000	31500	2,3	12,41
12			31000	39500	-	2,7	-
13	2	3	19000	24500	20000	1,8	5,7
14			19500	25000	18500	1,9	5,3
15			23500	30500	-	2,1	-
16	1	4	28500	36500	31000	2,9	11,22
17			28500	36500	28500	2,9	11,1
18			30000	38500	-	2,4	-
19	2	4	30000	38000	-	3	-
20			30500	39000	26000	2,9	8,5
21			30500	39000	26000	2,9	8,5

Πίνακας 7.2: Μέσες τιμές των αντοχών των μιγμάτων στη δοκιμή κάμψης.

3 δοκίμια	Αντοχή σε κάμψη (MPa)		
	μέση τιμή	τυπική απόκλιση	συντ. μεταβλητότητας
μίγμα 1ο 2% γαλάκτωμα 2% τσιμέντο	0,83	0,05	0,06
μίγμα 2ο 1% γαλάκτωμα 3% τσιμέντο	1,83	0,05	0,03
μίγμα 3ο 0% γαλάκτωμα 3% τσιμέντο	1,8	0,08	0,04
μίγμα 4ο 0% γαλάκτωμα 4% τσιμέντο	2,63	0,45	0,17
μίγμα 5ο 2% γαλάκτωμα 3% τσιμέντο	1,93	0,12	0,06
μίγμα 6ο 1% γαλάκτωμα 4% τσιμέντο	2,73	0,24	0,09
μίγμα 7ο 2% γαλάκτωμα 4% τσιμέντο	2,93	0,05	0,02

Σύμφωνα με το ASTM C78 ο συντελεστής μεταβλητότητας για κάμψη βρέθηκε ίσος με 5,7% σε σκυροδέματα. Τα μίγματα που έχουν παρασκευαστεί στην παρούσα εργασία δεν είναι ομοιόμορφα συνεπώς γίνονται δεκτοί συντελεστές μεταβλητότητας ως και 9%. Στο 4^ο μίγμα παρατηρείται σ.μ.=17% που θεωρείται πολύ μεγάλος.

Πίνακας 7.3: Αντοχή σε ισοδύναμο κύβο (MPa) των δοκιμίων όλων των μιγμάτων.

Δοκιμή ισοδύναμου κύβου				
(πρίσματα που προέρχονται από τις δοκιμές κάμψης με διατομή A=10cmx10cm)				
ταχύτητα φόρτισης 0,58 kN/sec				
α/α δοκιμίου	γαλάκτωμα %	τσιμέντο %	kN (N)	αντοχή ισοδ. Κύβου MPa $\sigma=N/A$
1	2	2	38,73	3,87
2			37,06	3,71
3			37,69	3,77
4	1	3	93,6	9,36
5			98,4	9,84
6			101,1	10,11
7	0	3	138,1	13,81
8			134,2	13,42
9			127	12,70
10	0	4	187,5	18,75
11			185,8	18,58
12			192,8	19,28
13	2	3	91	9,10
14			81,7	8,17
15			87,4	8,74
16	1	4	163,2	16,32
17			152,3	15,23
18			154,7	15,47
19	2	4	131,1	13,11
20			118,9	11,89
21			122,6	12,26

Πίνακας 7.4: Μέσες τιμές των αντοχών των μιγμάτων στη δοκιμή ισοδύναμου κύβου.

3 δοκίμια	Αντοχή σε ισοδύναμο κύβο (MPa)		
	μέση τιμή	τυπική απόκλιση	συντ. μεταβλητότητας
μίγμα 1ο 2% γαλάκτωμα 2% τσιμέντο	3,78	0,07	0,02
μίγμα 2ο 1%γαλάκτωμα 3% τσιμέντο	9,77	0,31	0,03
μίγμα 3ο 0% γαλάκτωμα 3% τσιμέντο	13,31	0,46	0,03
μίγμα 4ο 0% γαλάκτωμα 4% τσιμέντο	18,87	0,3	0,02
μίγμα 5ο 2% γαλάκτωμα 3% τσιμέντο	8,67	0,38	0,04
μίγμα 6ο 1% γαλάκτωμα 4% τσιμέντο	15,67	0,47	0,03
μίγμα 7ο 2% γαλάκτωμα 4% τσιμέντο	12,42	0,51	0,04

Σύμφωνα με το [11] γίνονται δεκτοί συντελεστές μεταβλητότητας με τιμές μέχρι και 9%. Εδώ όλα τα μίγματα έχουν τιμές σ.μ. από 2 ως 4%.

Πίνακας 7.5: Αντοχή σε εφελκυσμό (MPa) των κυλινδρικών δοκιμών όλων των μιγμάτων.

Δοκιμή αντιδιαμετρικής θλίψης (εφελκυσμός)					
Κυλινδρικά δοκίμια					
α/α	γαλάκτωμα %	τσιμέντο %	φορτίο θραύσης kN	αντοχή σε εφελκυσμό MPa	
1	2	2	12	0,38	
2			11,39	0,36	
3			11,4	0,36	
4	1	3	31,19	0,99	
5			30,89	0,98	
6			23	0,73	
7	0	3	30,98	0,99	
8			31,72	1,01	
9			32,29	1,03	
10	0	4	52	1,66	
11			37,28	*	1,19
12			52	1,66	
13	2	3	27,22	0,87	
14			29,22	0,93	
15			28,51	0,91	
16	1	4	43,75	1,39	
17			46,3	1,47	
18			50,43	1,61	
19	2	4	42,24	1,35	
20			41,8	1,33	
21			45,32	1,44	
*έσπασε στη μέση					

Πίνακας 7.6: Μέσες τιμές των αντοχών των μιγμάτων στη δοκιμή αντιδιαμετρικής θλίψης (εφελκυσμού). Οι δοκιμές έγιναν σε κυλινδρικά δοκίμια.

3 δοκίμια	Αντοχή σε εφελκυσμό (MPa)		
	μέση τιμή	τυπική απόκλιση	συντ. μεταβλητότητας
μίγμα 1ο 2% γαλάκτωμα 2% τσιμέντο	0,37	0,01	0,03
μίγμα 2ο 1% γαλάκτωμα 3% τσιμέντο	0,9	0,12	0,13
μίγμα 3ο 0% γαλάκτωμα 3% τσιμέντο	1,01	0,02	0,02
μίγμα 4ο 0% γαλάκτωμα 4% τσιμέντο	1,66	-	-
μίγμα 5ο 2% γαλάκτωμα 3% τσιμέντο	0,9	0,03	0,03
μίγμα 6ο 1% γαλάκτωμα 4% τσιμέντο	1,49	0,09	0,06
μίγμα 7ο 2% γαλάκτωμα 4% τσιμέντο	1,37	0,05	0,04

Σύμφωνα με το ASTM C496 ο συντελεστής μεταβλητότητας για κάμψη βρέθηκε ίσος με 5% σε σκυροδέματα. Τα μίγματα που έχουν παρασκευαστεί στην παρούσα εργασία δεν είναι ομοιόμορφα συνεπώς γίνονται δεκτοί συντελεστές μεταβλητότητας και με λίγο μεγαλύτερες τιμές. Εδώ παρατηρείται αυξημένη τιμή στο σ.μ.(13%) του 2^{ου} μίγματος.

7.1 Κάμψη

Στο σχήμα 7.1.1 παρουσιάζονται τα διαγράμματα τάσης-βέλους κάμψης όλων των μιγμάτων. Παρατηρούνται τρεις οικογένειες διαγραμμάτων. Αυτά των μιγμάτων που περιέχουν 4% τσιμέντο, αυτά που έχουν ποσοστό τσιμέντου 3% και το διάγραμμα του μίγματος με 2% περιεκτικότητα τσιμέντου. Παρατηρείται μεγάλη επίδραση στην αντοχή και το μέτρο ελαστικότητας που οφείλεται αποκλειστικά στο τσιμέντο και που κάνει διακριτές τις ομάδες διαγραμμάτων. Το γαλάκτωμα έχει σχετικά ασήμαντη επιρροή στην αντοχή όπως φαίνεται. Ειδικότερα παρατηρείται ότι το μίγμα με 2% τσιμέντο έχει αντοχή της τάξης του ενός MPa. Τα μίγματα με 3% τσιμέντο βρίσκονται στην περιοχή αντοχής των 2 MPa. Τα αντίστοιχα μίγματα με 4% τσιμέντο βρίσκονται στην περιοχή αντοχής των 3 MPa. Παρατηρείται χονδρικά ότι 1% αύξηση στο ποσοστό τσιμέντου επιφέρει 1 MPa αύξηση της αντοχής σε κάμψη.

Στο σχήμα 7.1.2 έχουμε τα διαγράμματα τάσης-βέλους κάμψης των δοκιμών με περιεκτικότητα γαλακτώματος 2%. Τα δοκίμια με ποσοστό τσιμέντου 2% εμφανίζουν αντοχή σε κάμψη 0,8 MPa και μέγιστο βέλος κάμψης $1,9 \cdot 10^{-2}$ mm. Το επόμενο μίγμα (3% τσιμέντο) εμφανίζει αύξηση σε αντοχή κατά 137% και σε μέγιστο βέλος κάμψης κατά 37%, έχει δηλαδή $\sigma_{\max}=1,9$ MPa και $\beta.κ._{\max}=2,6 \cdot 10^{-2}$ mm. Προσθήκη 1% τσιμέντου επιφέρει αύξηση 52% στην αντοχή (2,9 MPa) και 34% στο μέγιστο βέλος κάμψης ($3,5 \cdot 10^{-2}$ mm).

Παρατηρείται επίσης αύξηση στο μέτρο ελαστικότητας με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου όπως φαίνεται καθαρότερα στο σχήμα 7.1.3 το οποίο είναι μεγέθυνση τμήματος του σχήματος 7.1.2. Φαίνεται η αύξηση του λόγου τάση/(βέλος κάμψης), γεγονός που σημαίνει αύξηση του μέτρου ελαστικότητας E, με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου. Ακόμα στη μεγέθυνση παρατηρείται κάποιος θόρυβος που πρέπει να υπήρχε κατά τη διάρκεια της δοκιμής κάμψης των δοκιμών με ποσοστό τσιμέντου 3% και 4% κυρίως.

Το σχήμα 7.1.4 περιλαμβάνει τα διαγράμματα από τα δύο μίγματα που έχουν ποσοστό γαλακτώματος 1% και τσιμέντου 3% και 4%. Η προσθήκη 1% τσιμέντου επιφέρει αύξηση 63% στην αντοχή ($\max \sigma_{4\%τσ, 1\%γαλ} = 2,85$ MPa αντί για $\max \sigma_{3\%τσ, 1\%γαλ} = 1,75$ MPa) και μικρή αύξηση 25% στο μέγιστο βέλος κάμψης ($2,5 \cdot 10^{-2}$ mm αντί για $2 \cdot 10^{-2}$ mm). Υπάρχει σαφώς και βελτίωση στο λόγο

τάσης/(βέλους κάμψης) για το 1/3 της αντοχής των μιγμάτων, γεγονός που συνεπάγεται αύξηση του E.

Ίδια εικόνα παρατηρείται και στο σχήμα 7.1.5 όπου τα μίγματα μας έχουν 4% και 3% τσιμέντο και καθόλου γαλάκτωμα. Το πρώτο έχει κατά 42% αυξημένη αντοχή σε σχέση με το δεύτερο ($\sigma_{4\%τσ}=2,7$ MPa αντί για $\sigma_{3\%τσ}=1,9$ MPa). Η αύξηση της τιμής του μέγιστου βέλους κάμψης με την αύξηση του τσιμέντου είναι της τάξης του 15%. Ο λόγος τάσης/(βέλους κάμψης) στο 1/3 της αντοχής των δοκιμών είναι ίδιος ενώ φαίνεται διαφορά στην κλίση των διαγραμμάτων τα οποία στο μεταξύ έχουν σταθερή κλίση σχεδόν μέχρι το σημείο θραύσης των δοκιμών.

Πάντως και στα δύο σχήματα 7.1.4 και 7.1.5, φαίνεται ότι τα διαγράμματα των δοκιμών που έχουν τσιμέντο σε ποσοστό 4% διατηρούν την ίδια κλίση σχεδόν ως το όριο θραύσης τους. Επέρχεται λοιπόν απότομη θραύση των δοκιμών λίγο μετά από τη στιγμή που αρχίζουν να διαρρέουν.

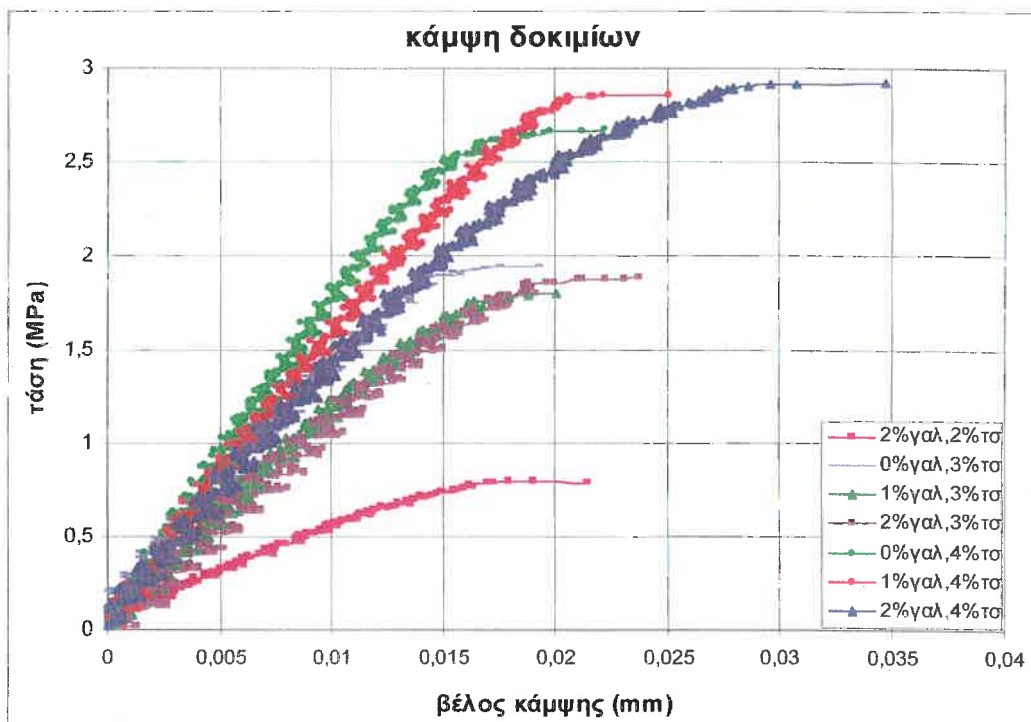
Στο σχήμα 7.1.6 φαίνονται τα διαγράμματα κάμψης των μιγμάτων που περιέχουν τσιμέντο σε ποσοστό 3% στη σύνθεσή τους. Οι περιεκτικότητες τους σε γαλάκτωμα είναι 0%,1% και 2%. Παρατηρείται ότι το γαλάκτωμα σε οποιαδήποτε περιεκτικότητα δεν επηρεάζει σχεδόν καθόλου την αντοχή των δοκιμών σε κάμψη. Όλα τα δοκίμια έχουν αντοχή κοντά στα 1,9MPa. Το γαλάκτωμα επηρεάζει αλλά όχι ιδιαίτερα αισθητά την τιμή του μέγιστου βέλους κάμψης. Αύξηση γαλακτώματος συνεπάγεται αύξηση στο μέγιστο βέλος κάμψης. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι ο λόγος της τάσης προς το βέλος κάμψης, που εκφράζει την κλίση του διαγράμματος, αλλά και το μέτρο ελαστικότητας μειώνεται με την αύξηση του ποσοστού του γαλακτώματος.

Στο σχήμα 7.1.7 παρουσιάζονται τα διαγράμματα κάμψης των δοκιμών των μιγμάτων που έχουν ποσοστό τσιμέντου 4% στη σύνθεσή τους. Σαν πρώτο μίγμα παίρνουμε αυτό που δεν περιέχει καθόλου γαλάκτωμα. Το μίγμα αυτό έχει αντοχή σε κάμψη 2,63 MPa και βέλος κάμψης με μέγιστη τιμή στα $2,25 \cdot 10^{-2}$ mm.

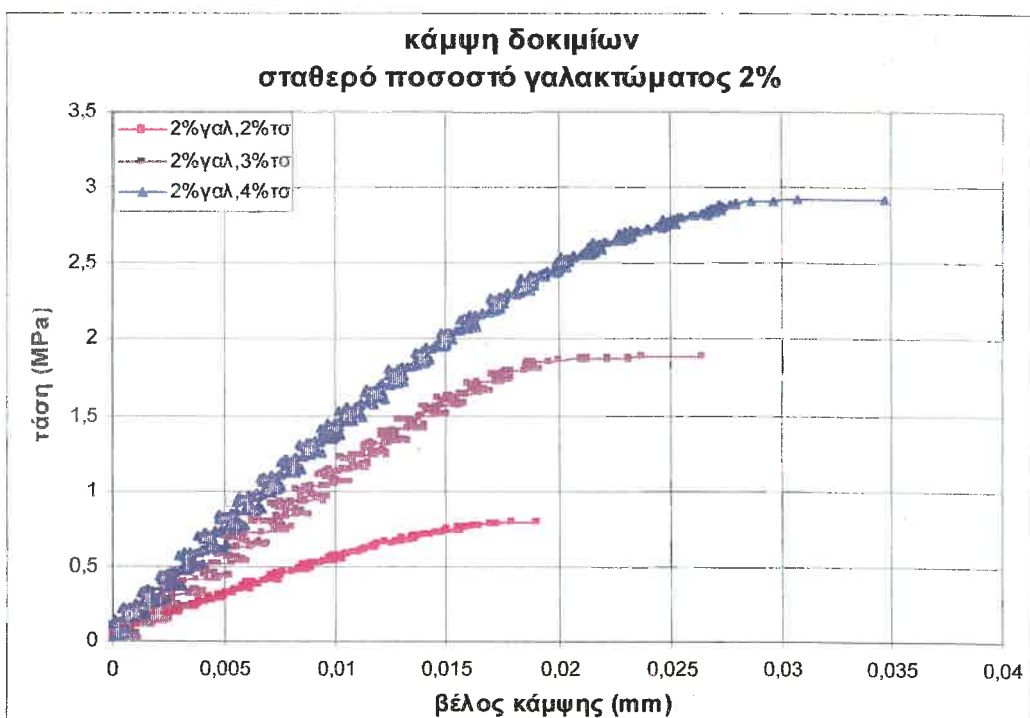
Με προσθήκη 1% γαλακτώματος προκύπτει το δεύτερο μίγμα που έχει αύξηση στην αντοχή του κατά 4% φτάνοντας στην τιμή των 2,73 MPa. Αύξηση κατά 11% υπάρχει και στην τιμή του μέγιστου βέλους κάμψης που πλέον φτάνει τα $2,5 \cdot 10^{-2}$ mm. Το μίγμα με 2% γαλάκτωμα και 4% τσιμέντο έχει αντοχή 2,93 MPa αυξημένη κατά 7% από το προηγούμενο μίγμα και μέγιστο βέλος κάμψης $3,5 \cdot 10^{-2}$ mm (αύξηση 40%).

Παρατηρείται λοιπόν ότι η προσθήκη γαλακτώματος αυξάνει το μέγιστο βέλος κάμψης, αυξάνει την αντοχή και μειώνει την κλίση του διαγράμματος τάσης-βέλους κάμψης.

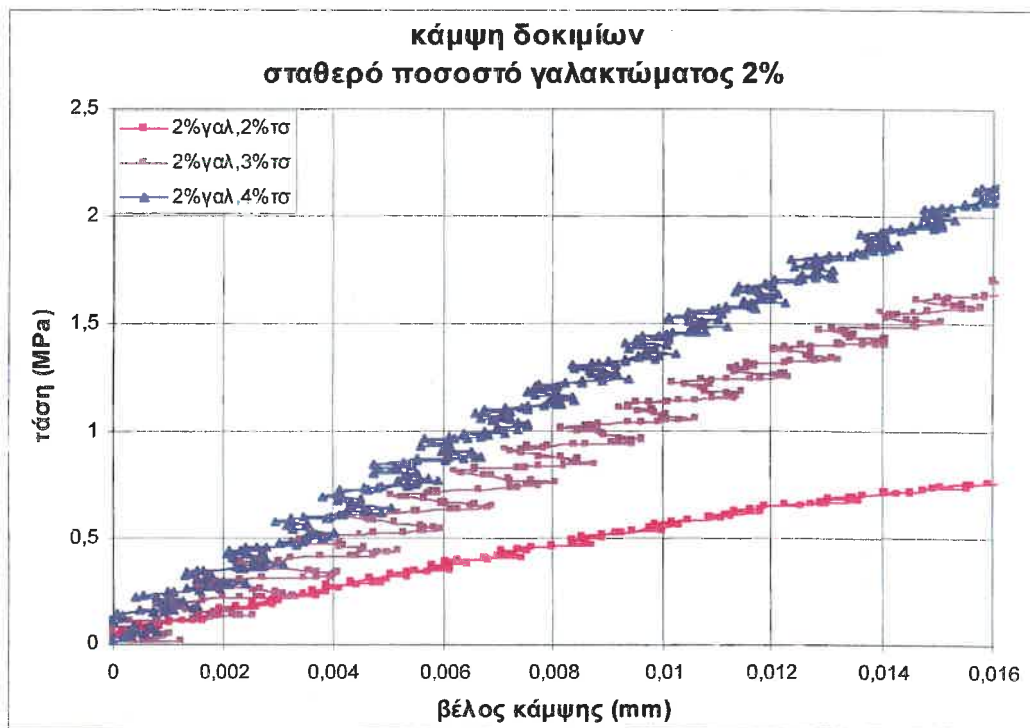
Τα διαγράμματα τάσης – βέλους κάμψης όλων των δοκιμίων παρατίθενται στο παράρτημα Α όπου παρουσιάζονται οι μετρήσεις κάθε μηχανομετρου (LVDT) και ο μέσος όρος αυτών.



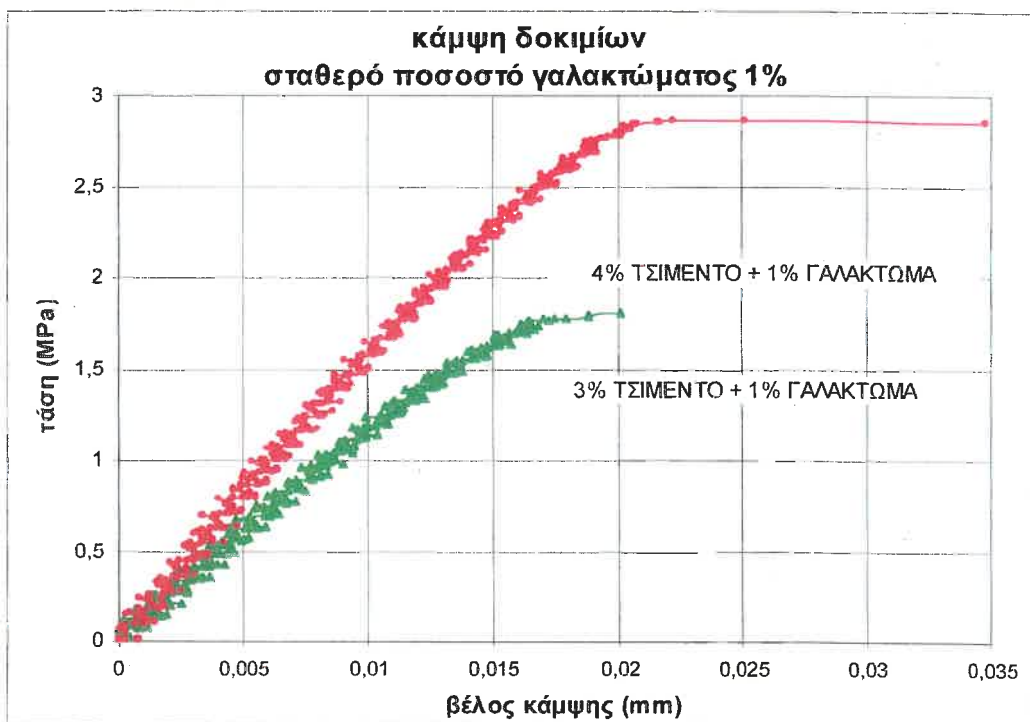
Διάγραμμα 7.1.1: Τυπικό διάγραμμα εφαρμοζόμενης τάσης-βέλους κάμψης για όλα τα μίγματα.



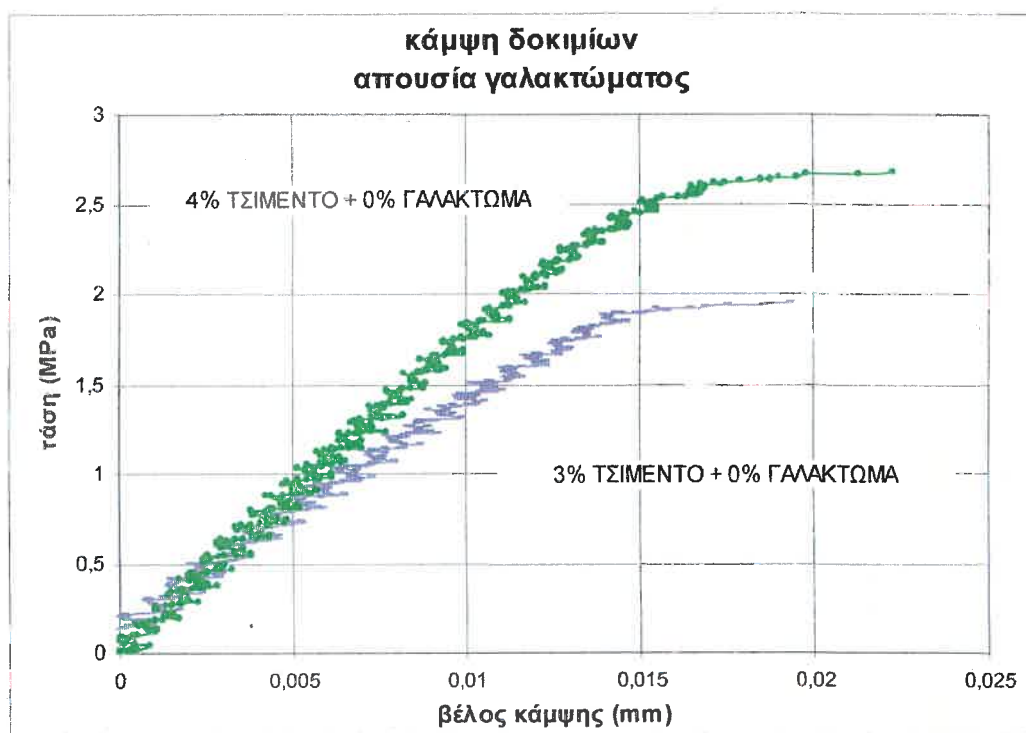
Διάγραμμα 7.1.2: Τυπικό διάγραμμα εφαρμοζόμενης τάσης-βέλους κάμψης για τα μίγματα με 2% ασφαλτικό γαλάκτωμα και 2,3,4% τσιμέντο.



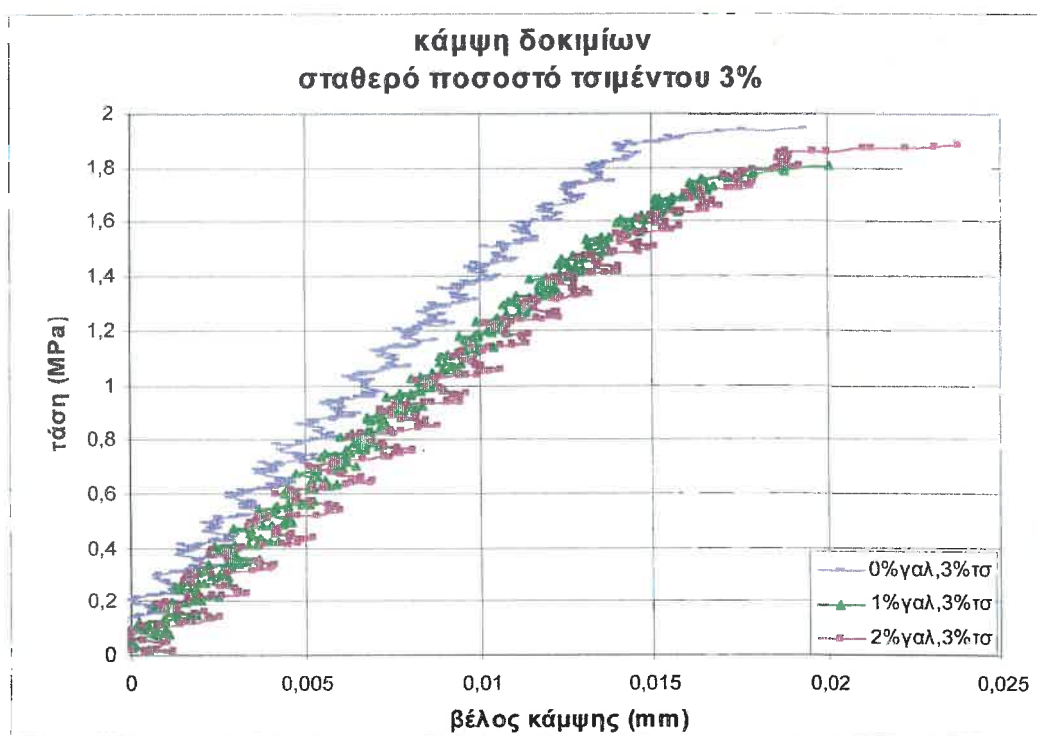
Διάγραμμα 7.1.3: Τυπικό διάγραμμα εφαρμοζόμενης τάσης-βέλους κάμψης για τα μίγματα με 2% ασφαλτικό γαλάκτωμα και 2,3,4% τσιμέντο.(μεγέθυνση μέρους του σχήματος 7.1.2)



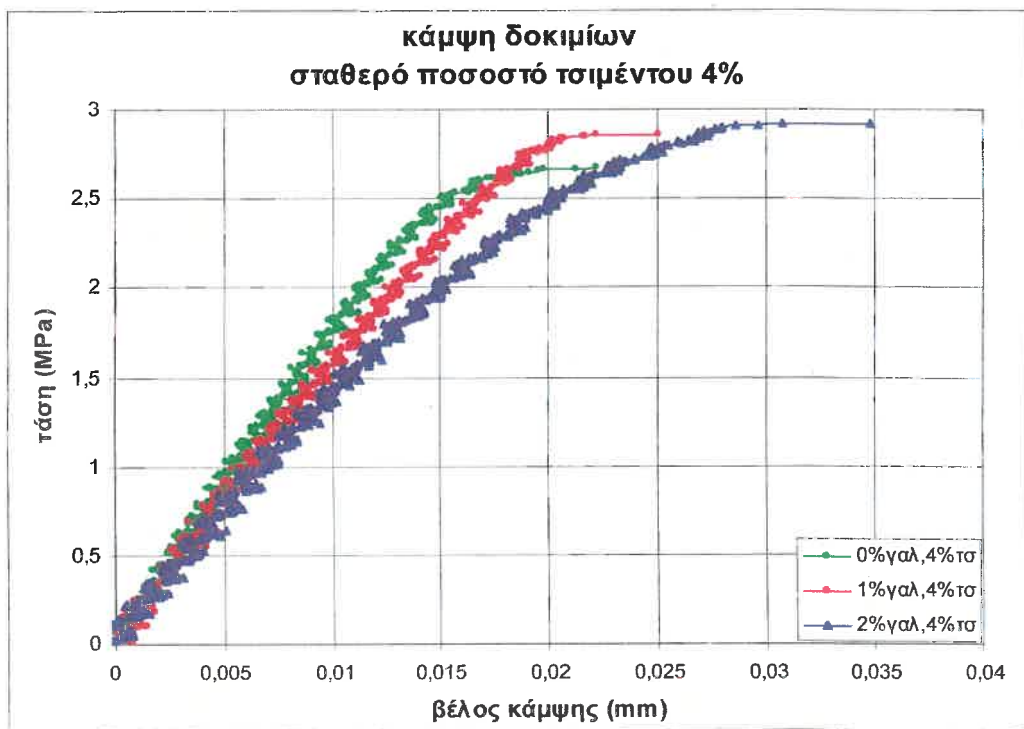
Διάγραμμα 7.1.4: Τυπικό διάγραμμα εφαρμοζόμενης τάσης-βέλους κάμψης για τα μίγματα με 1% ασφαλτικό γαλάκτωμα και 3,4% τσιμέντο.



Διάγραμμα 7.1.5: Τυπικό διάγραμμα εφαρμοζόμενης τάσης-βέλους κάμψης για τα μίγματα με 0% ασφατικό γαλάκτωμα και 3,4% τσιμέντο.



Διάγραμμα 7.1.6: Τυπικό διάγραμμα εφαρμοζόμενης τάσης-βέλους κάμψης για τα μίγματα με 3% τσιμέντο και 0,1,2% ασφατικό γαλάκτωμα.



Διάγραμμα 7.1.7: Τυπικό διάγραμμα εφαρμοζόμενης τάσης-βέλους κάμψης για τα μίγματα με 4% τσιμέντο και 0,1,2% ασφατικό γαλάκτωμα.

7.2 Θλίψη

Ακολουθούν συγκριτικά διαγράμματα από δοκιμές θλίψης που έγιναν στα πρισματικά δοκίμια. Πρέπει βέβαια πριν το σχολιασμό των διαγραμμάτων να σημειωθεί ότι για το μίγμα που περιείχε 1% ασφατικό γαλάκτωμα και 4% τσιμέντο και το μίγμα που είχε 4% τσιμέντο και 0% γαλάκτωμα δεν υπήρξε θραύση κατά την δοκιμή θλίψης στο εργαστήριο. Αυτό συνέβη γιατί η πρέσα του εργαστηρίου έφτασε στο μέγιστο φορτίο που μπορούσε να ασκήσει χωρίς να επέλθει θραύση δοκιμίου. Η δοκιμή επαναλήφθηκε με χρήση άλλης πρέσας που δεν ήταν δυνατό να δώσει στοιχεία για το διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης αφού δεν υπήρξε δυνατότητα καταγραφής των παραμορφώσεων. Περνάμε στο σχολιασμό των διαγραμμάτων.

Στο σχήμα 7.2.1 φαίνονται τα διαγράμματα τάσης-ανοιγμένης παραμόρφωσης και από τα επτά μίγματα. Παρατηρούνται τρεις οικογένειες καμπύλων και είναι εύκολο να διαπιστωθεί ότι κάθε μια απ'αυτές χαρακτηρίζεται από ένα ποσοστό τσιμέντου. Οι τρεις καμπύλες που παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες αντοχές έχουν ποσοστό τσιμέντου 4% στη σύνθεσή τους, οι τρεις επόμενες 3% τσιμέντο και η τελευταία καμπύλη έχει ποσοστό 2% σε τσιμέντο. Παρατηρώντας κάθε ομάδα ξεχωριστά και ιδιαίτερα αυτή με το ποσοστό τσιμέντου 3% είναι φανερό πως η αλλαγή στο ποσοστό του γαλακτώματος ελάχιστα επηρεάζει τόσο το μέτρο ελαστικότητας E , όσο και τις αντοχές σε θλίψη. Αντίθετα το τσιμέντο είναι αυτό που ομαδοποιεί τις καμπύλες αυξάνοντας αισθητά και το μέτρο ελαστικότητας αλλά και τις αντοχές των μιγμάτων.

Το σχήμα 7.2.2 είναι μια σύγκριση της συμπεριφοράς των μιγμάτων που εμπεριέχουν ποσοστό γαλακτώματος 2%. Φαίνεται η μεγάλη επίδραση της προσθήκης τσιμέντου σε ένα μίγμα. Το μίγμα που περιέχει 2% ποσοστό τσιμέντου έχει αντοχή 1,9 MPa. Μια προσθήκη 1% τσιμέντου οδηγεί στην επόμενη καμπύλη που αντιστοιχεί στο μίγμα με 2% γαλάκτωμα και 3% τσιμέντο. Η αντοχή εδώ έχει ανέλθει στα 5,2 MPa που σημαίνει ότι για 1% αύξηση του ποσοστού τσιμέντου έχουμε περίπου 175% αύξηση της αντοχής του μίγματος. Το μίγμα με 4% τσιμέντο και 2% γαλάκτωμα έχει πλέον φτάσει την αντοχή στα 8,6 MPa που σε σχέση με το προηγούμενο μίγμα (3% τσιμέντο, 2% γαλάκτωμα), είναι αυξημένη κατά 65% και σε σχέση με το πρώτο (2% τσιμέντο, 2% γαλάκτωμα) κατά 350%.

Η προσθήκη τσιμέντου παρατηρείται ότι φέρνει και μια μικρή αύξηση στη μέγιστη παραμόρφωση. Από το μίγμα με ποσοστό τσιμέντου 2% στο μίγμα με ποσοστό τσιμέντου 3% υπάρχει αύξηση της μέγιστης παραμόρφωσης κατά περίπου 15%

(13%) και από το δεύτερο στο μίγμα με 4% τσιμέντο αύξηση της μέγιστης παραμόρφωσης περίπου 30% (27%).

Το σχήμα 7.2.3 είναι μια μεγέθυνση του τμήματος του σχήματος 7.2.2 που δείχνει τη σχέση τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης για τάσεις από 0 MPa έως το 1/3 περίπου της τάσης θραύσης των δοκιμίων με 2% γαλάκτωμα. Οι εφαπτόμενες στις καμπύλες που εμφανίζονται, έχουν η κάθε μία κλίση που αντιστοιχεί στο μέτρο ελαστικότητας κάθε μίγματος. Είναι λοιπόν για κάθε μίγμα $E_i = \text{τάση}_i / \varepsilon_i$, για ανοιγμένη παραμόρφωση ε ίση με $5 \cdot 10^{-4}$.

Γραφικά υπολογίζεται: $E_1(4\% \text{ τσιμέντο, } 2\% \text{ γαλάκτωμα}) = 12,4 \cdot 10^3 \text{ MPa}$, $E_2(3\% \text{ τσιμέντο, } 2\% \text{ γαλάκτωμα}) = 8,0 \cdot 10^3 \text{ MPa}$, $E_3(2\% \text{ τσιμέντο, } 2\% \text{ γαλάκτωμα}) = 3,6 \cdot 10^3 \text{ MPa}$.

Από το μίγμα με 2% τσιμέντο στο μίγμα με 3% τσιμέντο παρατηρείται αύξηση του μέτρου ελαστικότητας E της τάξης του 120%, και από το μίγμα με 3% τσιμέντο στο μίγμα με 4% τσιμέντο υπάρχει ακόμη μια αύξηση της τάξης του 55%. Παρατηρείται λοιπόν σημαντική αύξηση του μέτρου ελαστικότητας για μικρή σχετικά προσθήκη τσιμέντου.

Στο σχήμα 7.2.4 φαίνεται η συμπεριφορά των πρισματικών δοκιμίων που προέρχονται από τα μίγματα με ποσοστό γαλακτώματος 1% στη σύνθεσή τους στις συνθήκες της δοκιμής θλίψης. Όπως έχει αναφερθεί προηγούμενα λόγω προβλήματος με την πρέσα του εργαστηρίου, στάθηκε αδύνατο να ληφθούν ολοκληρωμένα τα στοιχεία για το διάγραμμα που αντιστοιχεί στην αναλογία 4% τσιμέντο με 1% γαλάκτωμα. Παρ'όλ'αυτά είναι δυνατό να εντοπιστεί ακόμη και γραφικά η αύξηση του μέτρου ελαστικότητας που οφείλεται στη διαφορά 1% στη συγκέντρωση του τσιμέντου που έχουν τα δύο μίγματα.

Υπολογίζεται: $E_1(4\% \text{ τσιμέντο, } 1\% \text{ γαλάκτωμα}) = 3,0 \cdot 10^4 \text{ MPa}$, $E_2(3\% \text{ τσιμέντο, } 1\% \text{ γαλάκτωμα}) = 2,2 \cdot 10^4 \text{ MPa}$.

Προκύπτει λοιπόν αύξηση 85% στο μέτρο ελαστικότητας με προσθήκη μόνο 1% τσιμέντου στο μίγμα (3% τσιμέντο, 1% γαλάκτωμα). Για τη μέγιστη παραμόρφωση δυστυχώς δεν μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα λόγω έλλειψης στοιχείων. Σχετικά με την αντοχή των δοκιμίων: Έχουμε αντοχή 5,65 MPa στο μίγμα με την περιεκτικότητα 3% σε τσιμέντο που μπορεί να γίνει γνωστή και μέσω του διαγράμματος και αντοχή 11,16 MPa από την τιμή που έδωσε η δεύτερη πρέσα που χρησιμοποιήθηκε, για το μίγμα με περιεκτικότητα τσιμέντου 4%. Παρατηρείται λοιπόν μια αύξηση της αντοχής της τάξης του 98%.

Στο σχήμα 7.2.5 παρουσιάζονται μίγματα που δεν έχουν γαλάκτωμα στη σύνθεσή τους. Αντιμετωπίζεται το ίδιο πρόβλημα που υπήρχε και στην περίπτωση του σχήματος 7.2.4. Παρ'όλ'αυτά είναι γνωστή η αντοχή του δοκιμίου που προέρχεται από το μίγμα με 4% τσιμέντο η οποία είναι 12,22 MPa. Η αντοχή του δοκιμίου από το μίγμα με 3% τσιμέντο είναι 7 MPa. Όσον αφορά τα μέτρα ελαστικότητας (υπολογίζονται εδώ γραφικά) είναι: $E_1(4\% \text{ τσιμέντο, } 0\% \text{ γαλάκτωμα})=3,2 \cdot 10^4 \text{ MPa}$, $E_2(3\% \text{ τσιμέντο, } 0\% \text{ γαλάκτωμα})=2,4 \cdot 10^4 \text{ MPa}$

Με αύξηση 1% στο ποσοστό του τσιμέντου του μίγματος (3% τσιμέντο , 0% γαλάκτωμα) προκύπτει 74% αύξηση στην αντοχή και 34% αύξηση στο μέτρο ελαστικότητας.

Στο σχήμα 7.2.6 παρουσιάζονται τα μίγματα που έχουν 3% περιεκτικότητα σε τσιμέντο. Παρατηρείται πως ενώ στην περίπτωση αύξησης του ποσοστού τσιμέντου διαπιστώθηκε αύξηση της αντοχής των δοκιμών των μιγμάτων, εδώ παρατηρείται μείωσή της με την αύξηση του ποσοστού του γαλακτώματος. Το ίδιο παρατηρείται και στην περίπτωση του μέτρου ελαστικότητας E. Με αύξηση του ποσοστού γαλακτώματος στο μίγμα η κλίση του διαγράμματος τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης μειώνεται.

Ποσοτικά είναι:

Το μίγμα με 3% τσιμέντο και 0% γαλάκτωμα έχει αντοχή 7 MPa και μέτρο ελαστικότητας $E_1=2,4 \cdot 10^4 \text{ MPa}$. Με προσθήκη 1% γαλακτώματος στο πρώτο μίγμα το δεύτερο με αντοχή 5,7 MPa και $E_2=2,2 \cdot 10^4 \text{ MPa}$. Υπάρχει μείωση της αντοχής κατά 19% και του E κατά 8%. Με διπλασιασμό του ποσοστού γαλακτώματος προκύπτει το τρίτο μίγμα με 3% τσιμέντο και 2% γαλάκτωμα με αντοχή 5,5 MPa και $E_3=1,9 \cdot 10^4 \text{ MPa}$. Σε σχέση με το προηγούμενο μίγμα παρατηρείται μείωση της αντοχής κατά 4% και του E κατά 14% και συγκριτικά με το μίγμα που δεν περιέχει γαλάκτωμα το τρίτο μίγμα υστερεί κατά 21% στην αντοχή και κατά 21% στην τιμή του E. Όσον αφορά τη μέγιστη ανοιγμένη παραμόρφωση παρατηρείται ότι στο μίγμα που δεν είχε γαλάκτωμα έχει τιμή $\epsilon_1=3,5 \cdot 10^{-3}$. Στο δεύτερο μίγμα με προσθήκη 1% γαλακτώματος έχουμε αύξηση της κατά 14% και φτάνουμε την τιμή $\epsilon_2=4,0 \cdot 10^{-3}$. Το μίγμα με την περιεκτικότητα σε γαλάκτωμα 2% παρουσιάζει μείωση της $\max \epsilon$ κατά 31% σε σχέση με το μίγμα (3% τσιμέντο, 0% γαλάκτωμα), και κατά 40% σε σχέση με το (3% τσιμέντο, 1% γαλάκτωμα). Θα μπορούσε να υποθεθεί ότι η προσθήκη 1% γαλακτώματος σε μίγμα που δεν το περιέχει, κάνει το τελικό υλικό πιο όλκιμο αλλά περαιτέρω αύξηση επιδρά αρνητικά στον τομέα αυτό. Όμως λόγω του προβλήματος

που υπήρξε με τα μίγματα (4% τσιμέντο, 0% γαλάκτωμα) και (4% τσιμέντο, 1% γαλάκτωμα) δεν εξήχθησαν στοιχεία για τη μέγιστη παραμόρφωση και από ένα ακόμη διάγραμμα. Συνεπώς λόγω έλλειψης στοιχείων η παραπάνω σκέψη δεν μπορεί να οδηγήσει σε ασφαλή συμπεράσματα.

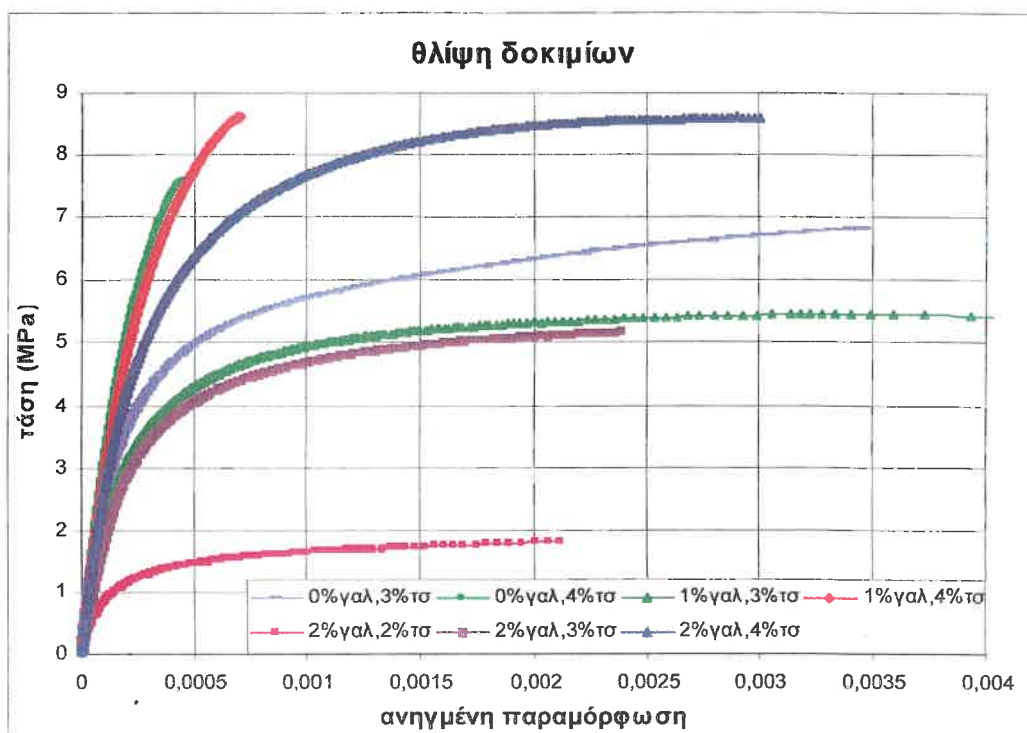
Στο σχήμα 7.2.7 φαίνεται σε μεγέθυνση ένα τμήμα του σχήματος 7.2.6. Φαίνεται η επίδραση του γαλακτώματος στο μέτρο ελαστικότητας του μίγματος καθώς η αύξηση του γαλακτώματος επιφέρει μείωση της κλίσης της καμπύλης τάσης-ανοιγμένης παραμόρφωσης.

Ακολουθεί το σχήμα 7.2.8 όπου συγκρίνονται οι καμπύλες τάσης-ανοιγμένης παραμόρφωσης των μιγμάτων με τσιμέντο 4% στη σύνθεσή τους. Στο σχήμα αυτό όπως και στα 7.2.6 και 7.2.7 φαίνεται καθαρά η επίδραση του γαλακτώματος στο μέτρο ελαστικότητας E του υλικού. Η προσθήκη γαλακτώματος το μειώνει αισθητά. Επίσης μειώνει και την αντοχή των δοκιμών σε θλίψη. Ενδεικτικά είναι, για το πρώτο μίγμα (4% τσιμέντο και 0% γαλάκτωμα) αντοχή 12,22 MPa και $E_1=3,2 \cdot 10^4$ MPa, για το μίγμα με (4% τσιμέντο και 1% γαλάκτωμα) αντοχή 11,16 MPa και $E_2=2,9 \cdot 10^4$ MPa και για το τρίτο μίγμα με ποσοστό γαλακτώματος 2% αντοχή 8,5 MPa και $E_3=2,6 \cdot 10^4$ MPa.

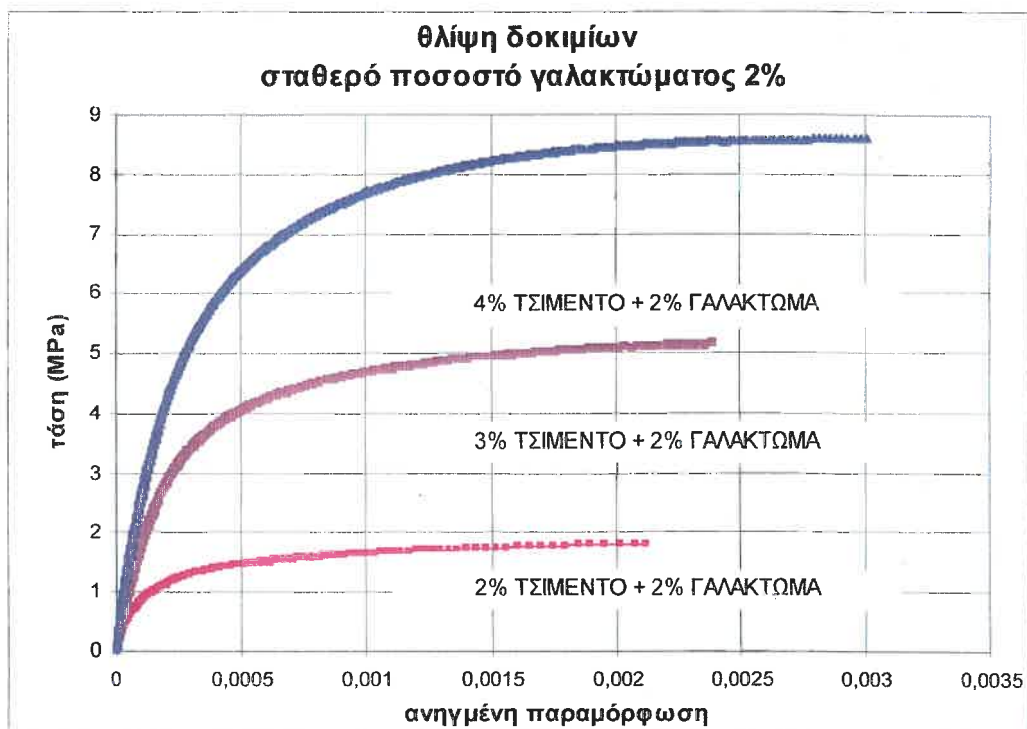
Η προσθήκη 1% γαλάκτωμα στο πρώτο μίγμα λοιπόν επιφέρει μια μείωση στην αντοχή κατά 9% και στο E κατά 9% επίσης. Η διαφορά μεταξύ δεύτερου και τρίτου μίγματος είναι 24% στην αντοχή και 10% στο μέτρο ελαστικότητας. Δεν προκύπτουν συμπεράσματα για τη μέγιστη παραμόρφωση.

Στο σχήμα 7.2.9 παρουσιάζονται οι καμπύλες τάσης-ανοιγμένης παραμόρφωσης των μιγμάτων με 3% και 4% ποσοστό σε τσιμέντο. Μεταξύ των μιγμάτων όσον αφορά την αντοχή (βλέπε σχήμα 7.2.9) αλλά και το μέτρο ελαστικότητας E (βλ. σχήμα 7.2.10) η διάκριση γίνεται ως εξής. Μεγαλύτερη αντοχή αλλά και E έχουν τα μίγματα με μεγαλύτερο ποσοστό τσιμέντου στη σύνθεσή τους. Μεταξύ αυτών οι τιμές μέγιστης τάσης και μέτρου ελαστικότητας είναι πιο μικρές όσο το ποσοστό γαλακτώματος αυξάνεται. Τα ίδια και για τα μίγματα με 3% τσιμέντο όπως τονίστηκε και παραπάνω.

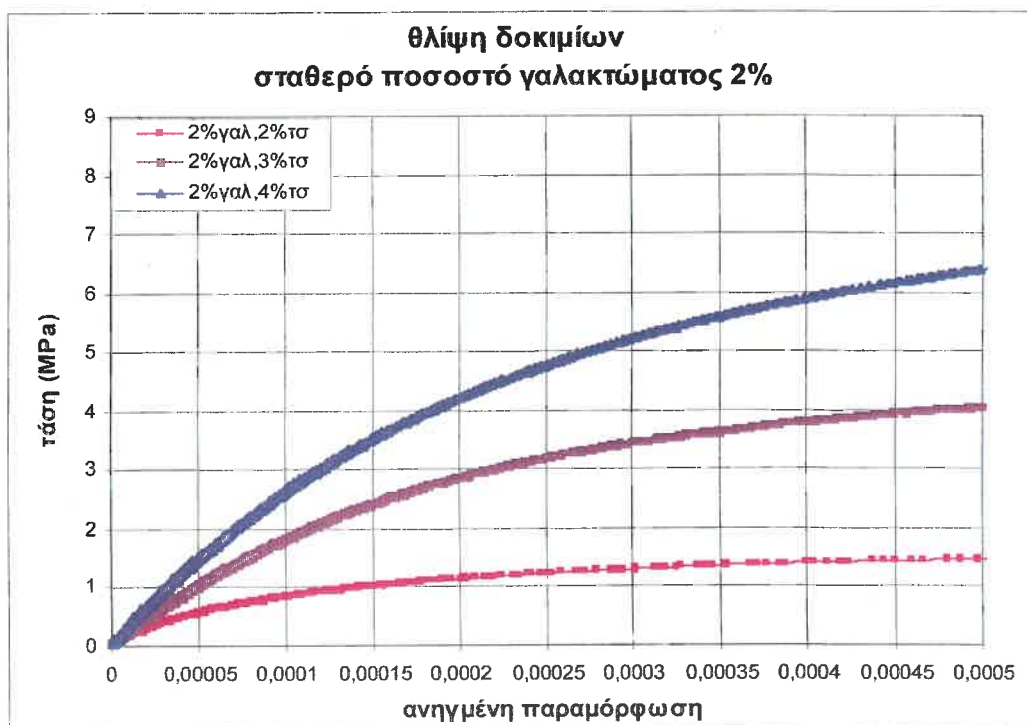
Τα διαγράμματα τάσης-ανοιγμένης παραμόρφωσης όλων των δοκιμών που υπέστησαν δοκιμή θλίψης παρατίθενται στο παράρτημα Β.



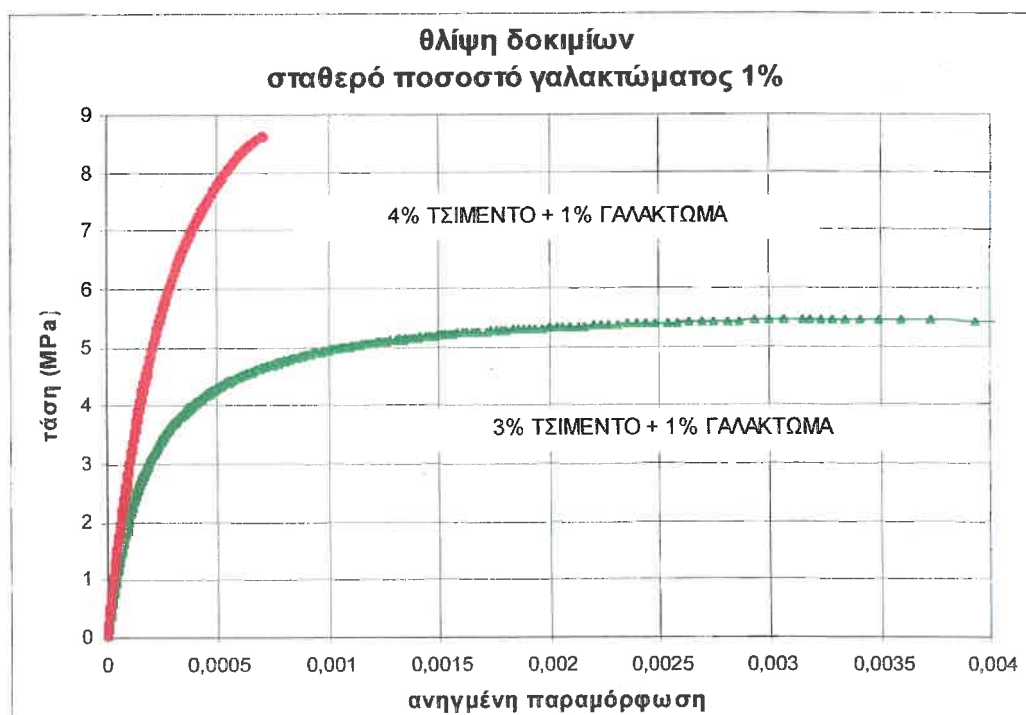
Σχήμα 7.2.1: Τυπικό διάγραμμα εφαρμοζόμενης τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης για όλα τα μίγματα.



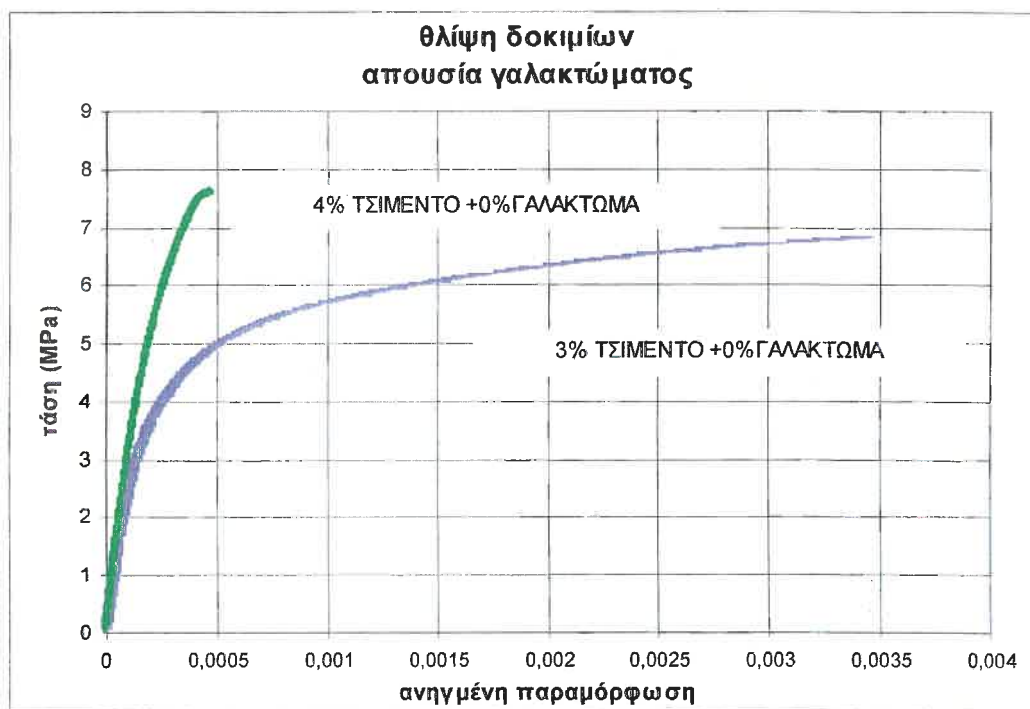
Σχήμα 7.2.2: Τυπικό διάγραμμα εφαρμοζόμενης τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης για τα μίγματα με 2% ασφαλτικό γαλάκτωμα και 2,3,4% τσιμέντο.



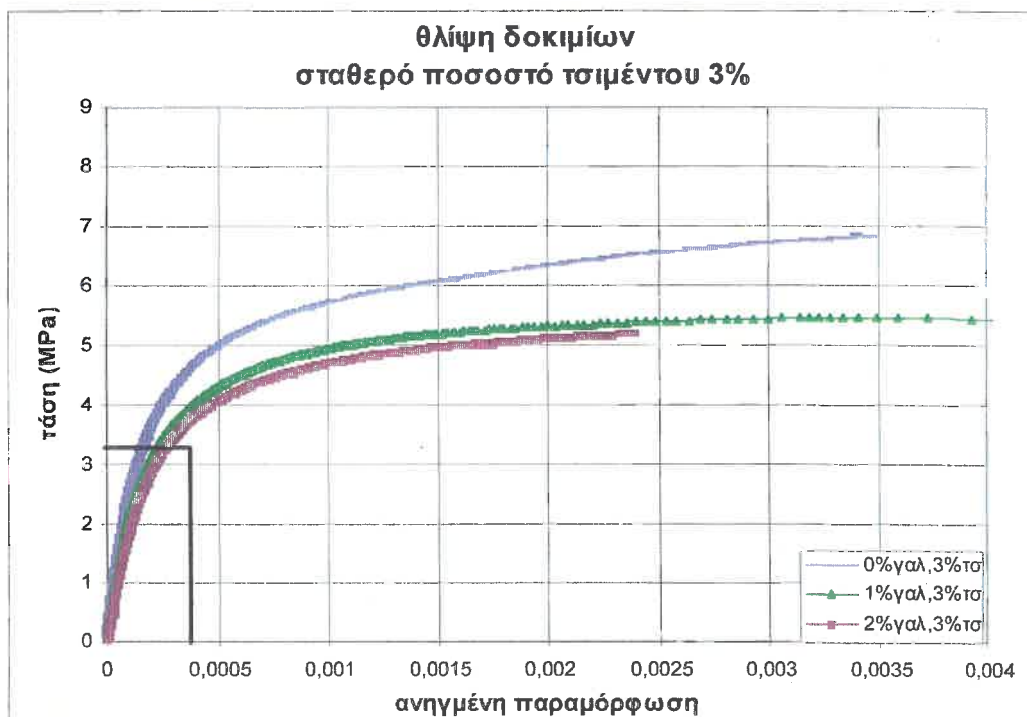
Σχήμα 7.2.3: Τυπικό διάγραμμα εφαρμοζόμενης τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης για τα μίγματα με 2% γαλάκτωμα και 2,3,4% τσιμέντο. (μεγέθυνση μέρους του σχήματος 7.2.2).



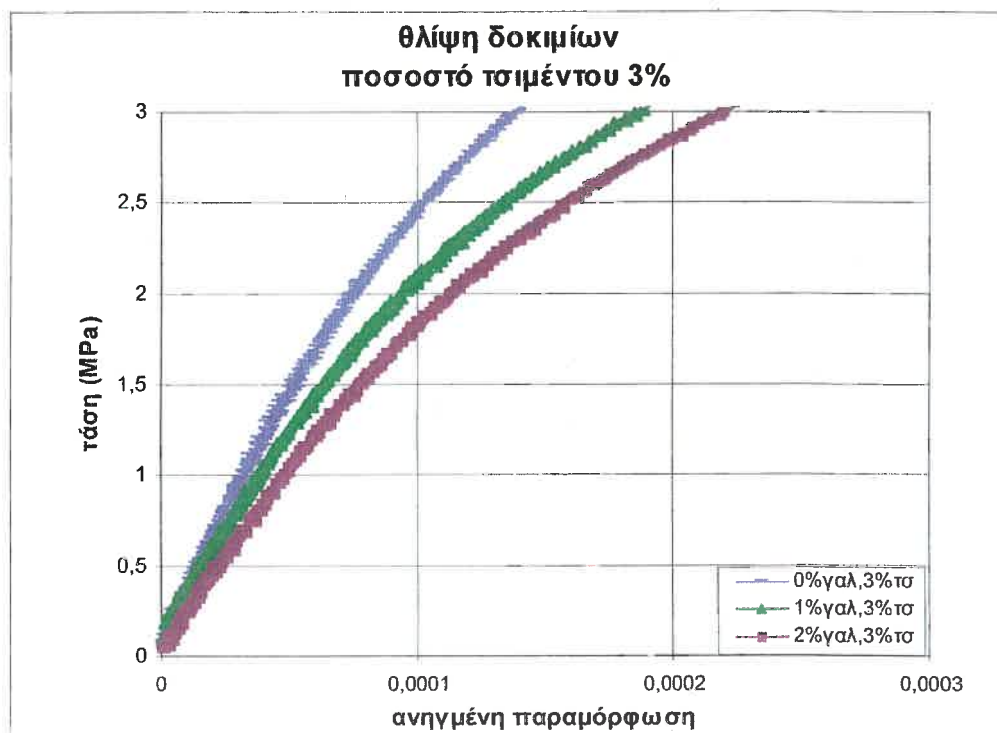
Σχήμα 7.24: Τυπικό διάγραμμα εφαρμοζόμενης τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης για τα μίγματα με 1% ασφαλτικό γαλάκτωμα και 3,4% τσιμέντο.



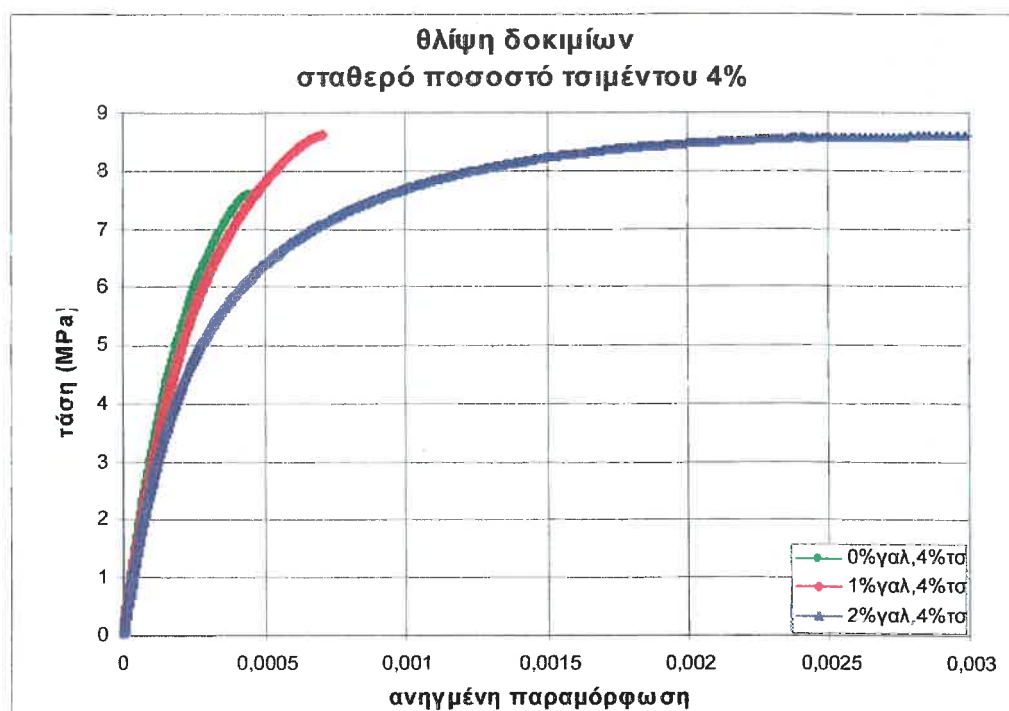
Σχήμα 7.2.5: Τυπικό διάγραμμα εφαρμοζόμενης τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης για τα μίγματα με 0% ασφαλτικό γαλάκτωμα και 3,4% τσιμέντο.



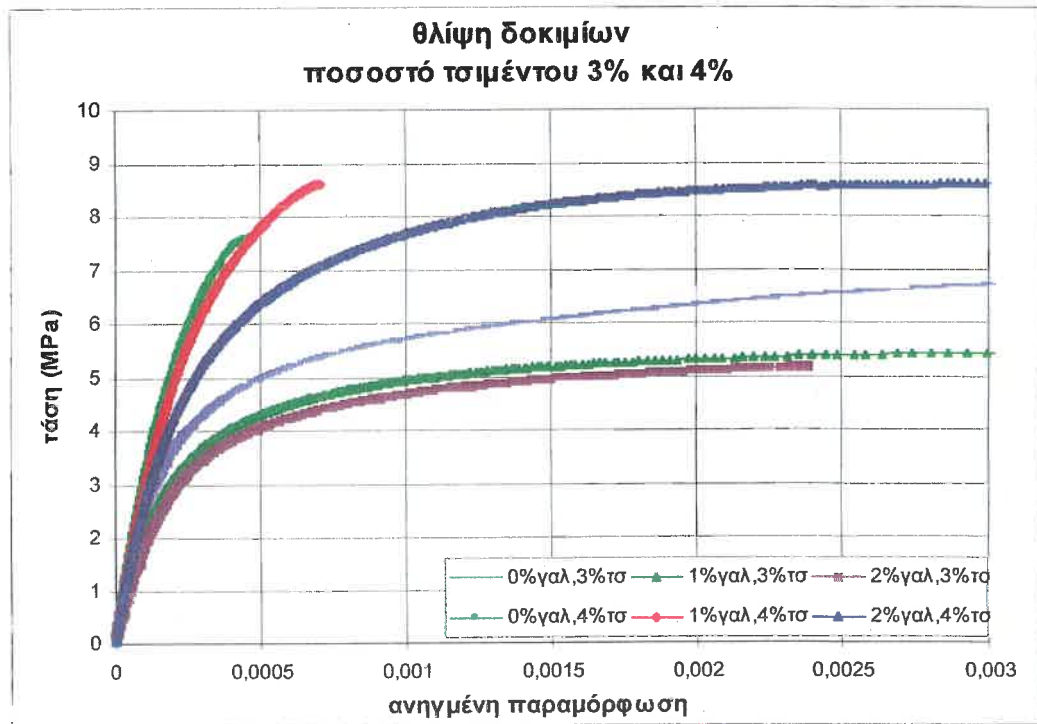
Σχήμα 7.2.6: Τυπικό διάγραμμα εφαρμοζόμενης τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης για τα μίγματα με 3% τσιμέντο και 0,1,2% ασφαλτικό γαλάκτωμα.



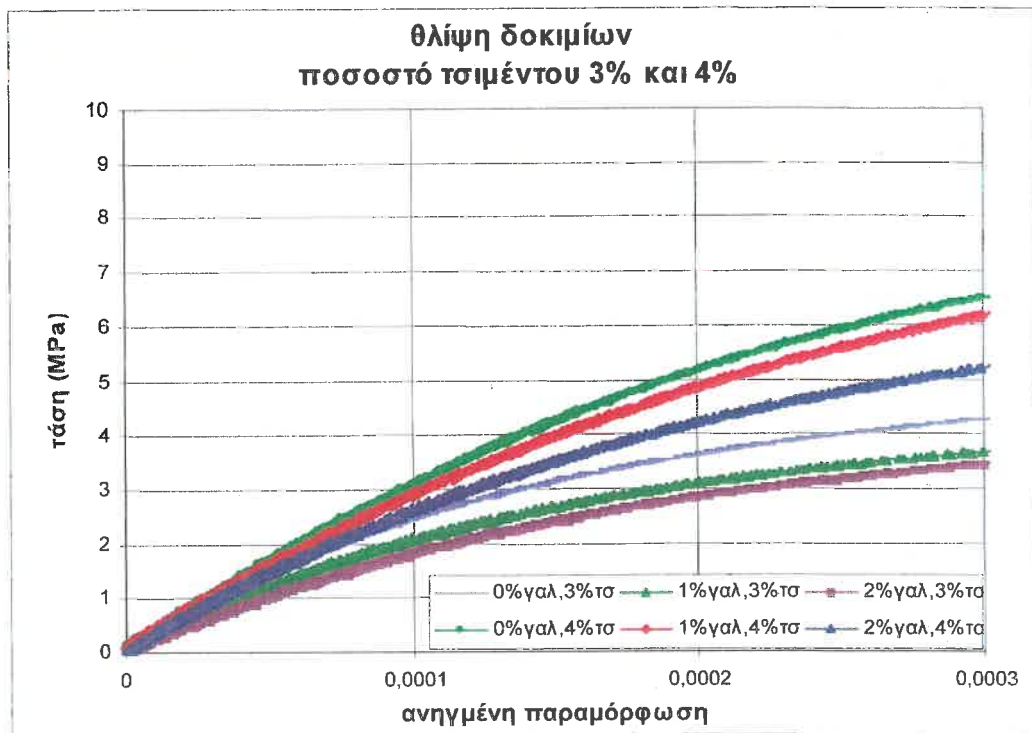
Σχήμα 7.2.7: Τυπικό διάγραμμα εφαρμοζόμενης τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης για τα μίγματα με 3% τσιμέντο και 0,1,2% ασφαλτικό γαλάκτωμα. (μεγέθυνση μέρους του σχήματος 7.2.6).



Σχήμα 7.2.8: Τυπικό διάγραμμα εφαρμοζόμενης τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης για τα μίγματα με 4% τσιμέντο και 0,1,2% ασφαλτικό γαλάκτωμα.



Σχήμα 7.2.9: Τυπικό διάγραμμα εφαρμοζόμενης τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης για τα μίγματα με ασφαλικό γαλάκτωμα 0,1,2% και τσιμέντο 3,4%.



Σχήμα 7.2.10: Τυπικό διάγραμμα εφαρμοζόμενης τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης για τα μίγματα με ασφαλικό γαλάκτωμα 0,1,2% και τσιμέντο 3,4%. (μεγέθυνση μέρους του σχήματος 7.2.9).

7.3 Σύγκριση μέτρων ελαστικότητας σε κάμψη και θλίψη

Στο παρακάτω σχήμα 7.3.1 γίνεται σύγκριση των τιμών των μέτρων ελαστικότητας των δοκιμίων, που προέκυψαν από τις δοκιμές κάμψης και μονοαξονικής θλίψης.

Στον πίνακα 7.3.1 παρατίθενται για το κάθε δοκίμιο, το αντίστοιχο ποσοστό γαλακτώματος και τσιμέντου, καθώς και το μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη και θλίψη σε MPa (E κάμψης και E θλίψης, αντίστοιχα).

Κάθε σημείο του διαγράμματος αντιστοιχεί σε ένα δοκίμιο, του οποίου ο αριθμός αναγράφεται δίπλα στο σημείο αυτό. Τα δοκίμια ίδιου μίγματος παρουσιάζονται με το ίδιο χρώμα. Για καλύτερη σύγκριση των αποτελεσμάτων κατασκευάζεται η γραμμή ισότητας καθώς και η ευθεία γραμμικής παλινδρόμησης, της οποίας αναγράφεται η εξίσωση και ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης (R^2).

Μια άμεση παρατήρηση είναι ότι με την αύξηση του ποσοστού του τσιμέντου στο μίγμα, αυξάνεται το E κάμψης και το E θλίψης, ενώ η αύξηση του ποσοστού του γαλακτώματος, επιφέρει μείωση στα μέτρα ελαστικότητας. Επίσης παρατηρείται ότι το μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο σε θλίψη, όπως άλλωστε έχει βρεθεί και σε άλλες εργασίες [7].

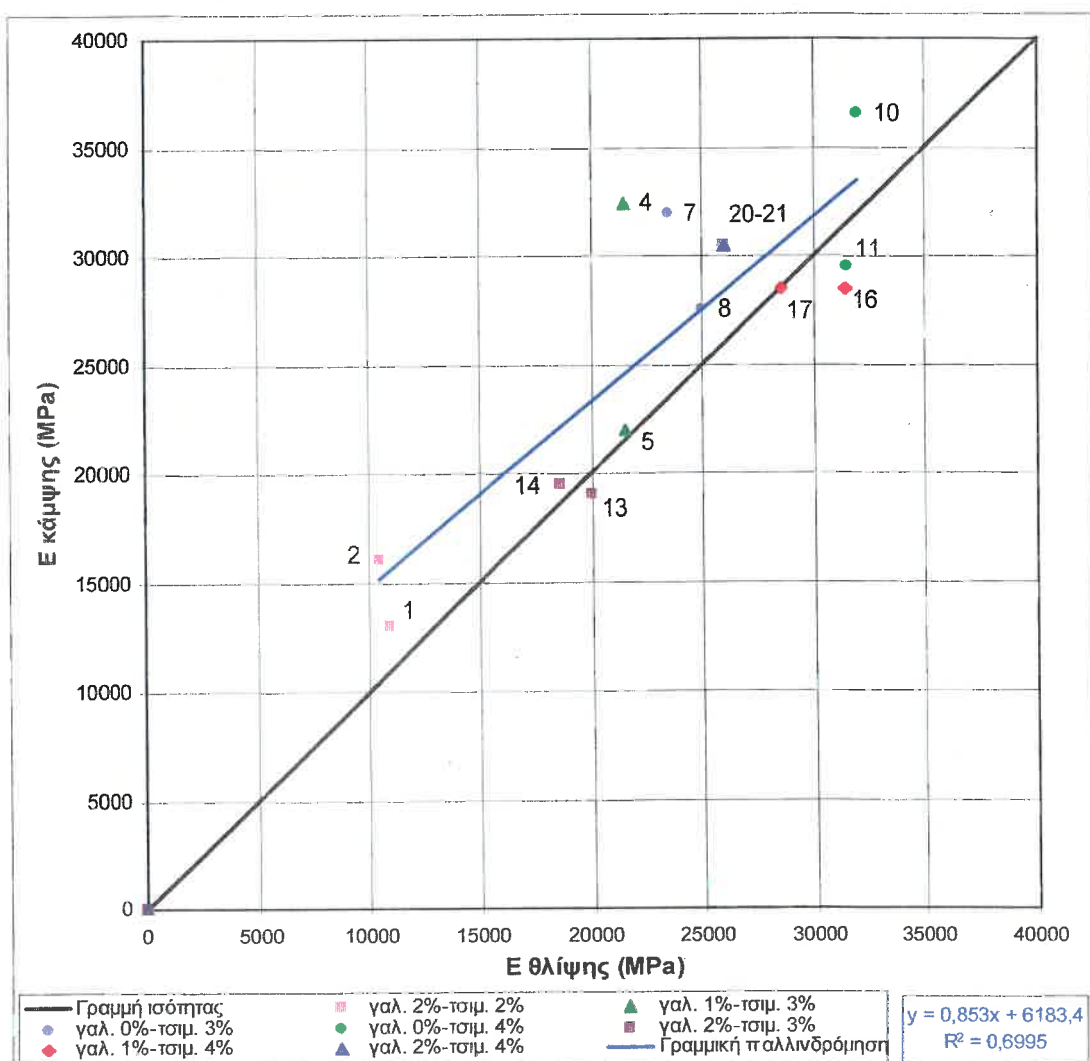
Η διαφορά μεταξύ του μέτρου ελαστικότητας σε θλίψη και του μέτρου ελαστικότητας σε κάμψη, γίνεται ακόμα μεγαλύτερη αν ληφθεί υπ'όψη και η διόρθωση λόγω διάτμησης, που πρέπει να συνυπολογίζεται στα δοκίμια μεγέθους 100mm x 100mm x 500mm (διορθωτικός συντελεστής 1,28).

Η διαφορά αυτή θα μπορούσε να αποδοθεί στο ότι για τον υπολογισμό του μέτρου ελαστικότητας σε κάμψη, θεωρείται ότι η συμπεριφορά του υλικού είναι τελείως ελαστική και ανεξάρτητη από το πεδίο των αναπτυσσόμενων τάσεων. Έχει όμως βρεθεί για το σκυρόδεμα [8], ότι η έντονη μεταβολή του πεδίου των τάσεων από εφελκυσμό σε θλίψη, διαφοροποιεί σημαντικά τη συμπεριφορά του, από εκείνη με μονοαξονικό θλιπτικό πεδίο τάσεων. Κάτι ανάλογο θα πρέπει να συμβαίνει και για τα δοκίμια της παρούσας εργασίας.

Οι όποιες εξαιρέσεις, που φαίνονται στο διάγραμμα, αποδίδονται στις πειραματικές συνθήκες, στις οποίες, επίσης, αποδίδονται και οι διαφορές μεταξύ των μέτρων ελαστικότητας που προέκυψαν από την ίδια δοκιμή στα διαφορετικά δοκίμια του ίδιου μίγματος.

Πίνακας 7.3.1: Τιμές του μέτρου ελαστικότητας σε κάμψη και θλίψη, για όλα τα μίγματα που εξετάστηκαν

α/α Δοκίμιο	Γαλάκτωμα (%)	Τσιμέντο (%)	E κάμψης (MPa)	E θλίψης (MPa)
1	2	2	13000	11000
2			16000	10500
4	1	3	32500	21500
5			22000	21500
7	0	3	32000	23500
8			27500	25000
10	0	4	36500	32000
11			29500	31500
13	2	3	19000	20000
14			19500	18600
16	1	4	28500	31400
17			28500	28500
20	2	4	30500	26000
21			30500	26000



Σχήμα 7.3.1: Σύγκριση των μέτρων ελαστικότητας σε κάμψη και θλίψη, για όλα τα μίγματα που εξετάστηκαν

7.4 Διαγράμματα τάσης – βέλους κάμψης και εκτίμηση του μέτρου ελαστικότητας (δυναμική φόρτιση)

Στην παράγραφο αυτή, γίνεται σχολιασμός των διαγραμμάτων τάσης – βέλους κάμψης, τα οποία προέκυψαν από τη δοκιμή επαναλαμβανόμενης φόρτισης των δοκιμίων, με τη βοήθεια της οποίας προσδιορίστηκε το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας (Εδυν.), σε MPa.

Ως γνωστόν, η δοκιμή αποτελείται από 100 κύκλους φόρτισης (0 έως 99), κάθε ένας από τους οποίους διαρκεί 1 sec. Ο χρόνος φόρτισης είναι 0,5 sec, και ο χρόνος αποφόρτισης, επίσης 0,5 sec. Για να υπάρχει μεγαλύτερη αξιοπιστία στην εύρεση του Εδυν., παρακολουθούμε όλη τη φάση διακύμανσης των τάσεων και των βελών κάμψης, γι' αυτό κατασκευάζουμε τα αντίστοιχα διαγράμματα για τους 5 πρώτους (0 έως 4), τους 5 μεσαίους (47 έως 51), και τους 6 τελευταίους (94 έως 99) κύκλους φόρτισης.

Στη δοκιμή υποβλήθηκαν συνολικά 14 δοκίμια (2 από κάθε μίγμα), και κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα τάσης – βέλους κάμψης για ένα δοκίμιο από κάθε μίγμα, για κάθε κύκλο και για κάθε ομάδα κύκλων χωριστά (0 έως 4, 47 έως 51, 95 έως 99. Ο κύκλος 94 παραλήφθηκε για λόγους ομοιομορφίας στην παρουσίαση των διαγραμμάτων, και μόνο γι' αυτό.). Εδώ παρατίθενται, ως αντιπροσωπευτικά, τα διαγράμματα του δοκιμίου 15 (γαλάκτωμα 2% - τσιμέντο 3%), ενώ τα υπόλοιπα βρίσκονται στο παράρτημα Γ.

Στα διαγράμματα παρουσιάζονται με διαφορετικό χρώμα τα σημεία που αντιστοιχούν στην φόρτιση και αποφόρτιση. Όπως φαίνεται από τη μορφή τους, υπάρχει σημαντική διασπορά στις μετρήσεις, η οποία αποδίδεται σε "θόρυβο" που πιθανόν να προκλήθηκε από χαλαρή στήριξη των συνδέσμων της γέφυρας στην οποία προσαρμόζονταν τα ηλεκτρομηκυνσιόμετρα (LVDT). Ως γνωστόν, η στήριξη αυτή των LVDT, είναι επιβεβλημένη λόγω της υποχώρησης των δοκιμίων στα σημεία στήριξης και στα σημεία φόρτισης. Η ύπαρξη του "θορύβου" αυτού, γίνεται πιο κατανοητή στο σχήμα 7.4.1, (κύκλος 2, δοκίμιο 9, 0% γαλάκτωμα – 3% τσιμέντο), όπου κατασκευάζοντας τις νοητές γραμμές που ενώνουν τα σημεία φόρτισης και αποφόρτισης, παρατηρείται η μορφή του σχήματος και όχι ο αναμενόμενος βρόχος υστέρησης.

Εντούτοις, έγινε παρακάτω μια προσπάθεια να χρησιμοποιηθούν οι μετρήσεις, παρόλη τη διασπορά τους, για την εκτίμηση του δυναμικού μέτρου δυσκαμψίας. Για το σκοπό αυτό, μέσω του προγράμματος H/Y excel, υπολογίστηκε για κάθε κύκλο φόρτισης και για κάθε κύκλο αποφόρτισης, η γραμμή της ευθύγραμμης παλλινδρόμησης, μεταξύ βέλους κάμψης και επιβαλλόμενης τάσης, της οποίας παρουσιάζεται η εξίσωση και ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης (R^2).

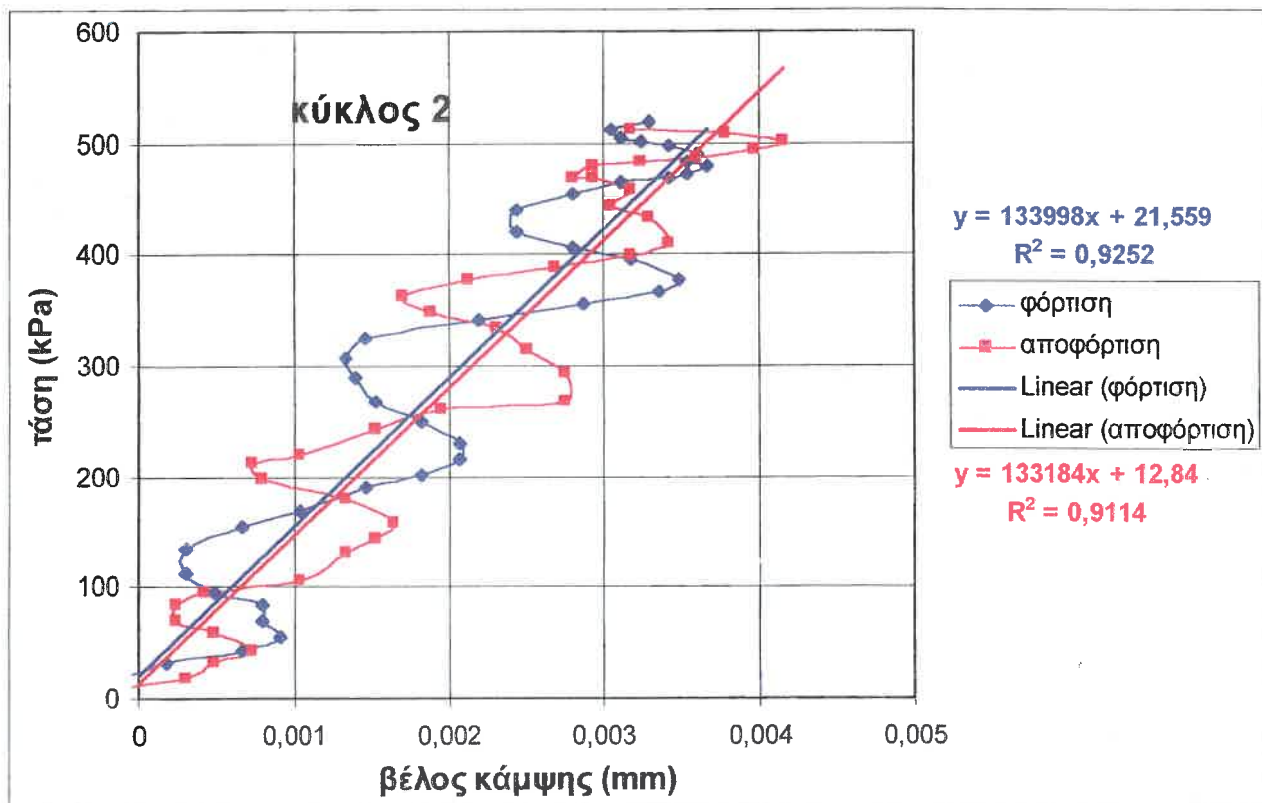
Επειδή το πέρας του κύκλου φόρτισης και η έναρξη του κύκλου αποφόρτισης δεν μπορούσαν σαφώς να προσδιοριστούν, λόγω μεγάλης διασποράς των μετρήσεων, οι καμπύλες γραμμικής παλλινδρόμησης δεν έχουν κοινό σημείο στη μέγιστη τάση. Εντούτοις, η κλίση τους δίνει μια καλή εκτίμηση του μέτρου ελαστικότητας στη φόρτιση και αποφόρτιση. Όσο οι γραμμές αυτές είναι παράλληλες, σημαίνει ότι το μέτρο ελαστικότητας στη φόρτιση, είναι ίσο με το μέτρο ελαστικότητας στην αποφόρτιση. Αν, δε, υπάρχει μετατόπιση προς τα δεξιά, ο βρόχος υστέρησης έχει κάποιο εμβαδό, ενώ αν όχι, το εμβαδό του βρόχου υστέρησης είναι μηδέν. Οπότε δεν παρουσιάζονται παραμένουσες παραμορφώσεις. Επειδή οι διαφοροποιήσεις που διαπιστώθηκαν μεταξύ του μέτρου ελαστικότητας κατά τη φόρτιση και του μέτρου ελαστικότητας κατά την αποφόρτιση, είναι ελάχιστες έως και μηδαμινές, στις περισσότερες των περιπτώσεων, χρησιμοποιήθηκε το Εδυν. που προσδιορίστηκε από τη φόρτιση.

Επίσης οι διαφοροποιήσεις στην κλίση της γραμμής παλλινδρόμησης από κύκλο σε κύκλο, για ένα δοκίμιο, δεν είναι σημαντικές, κυρίως όσον αφορά τις ομάδες των κύκλων, δηλαδή 0 ως 4, 47 ως 51 και 95 ως 99, ξεχωριστά. Άρα ο μέσος όρος των Εδυν. από κάθε ομάδα κύκλων ξεχωριστά, δίνει μια καλή εκτίμηση του μέτρου ελαστικότητας.

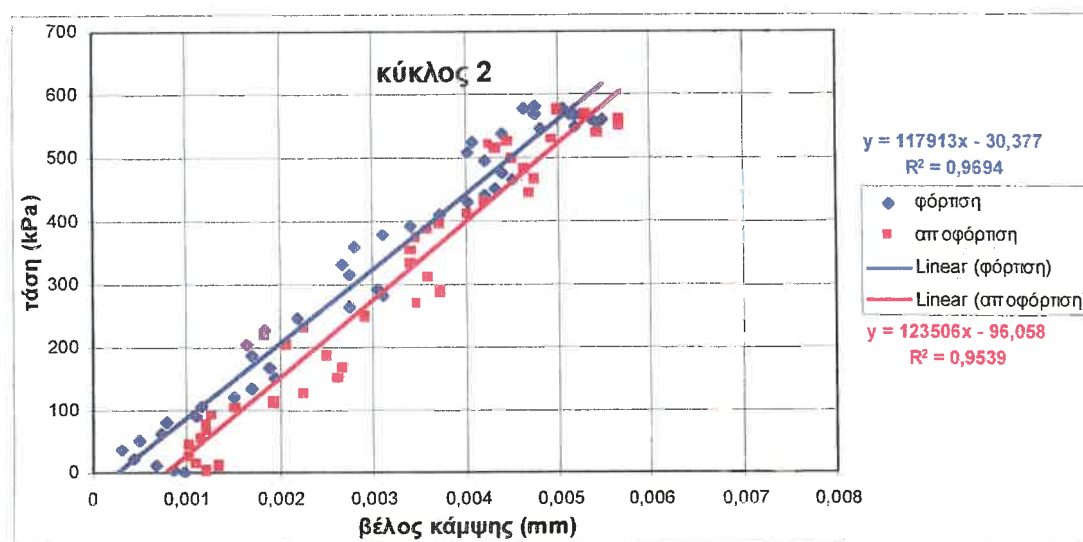
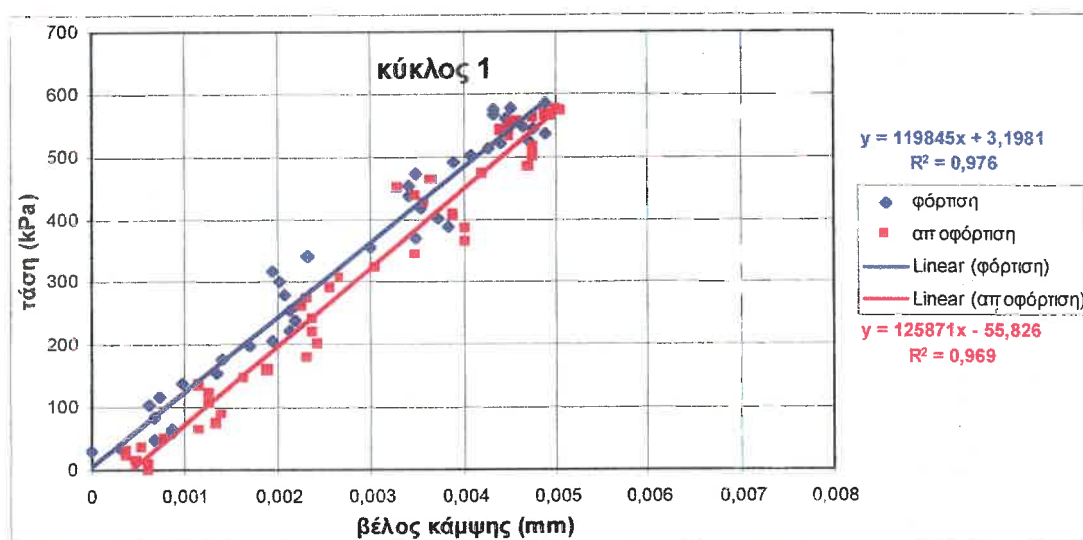
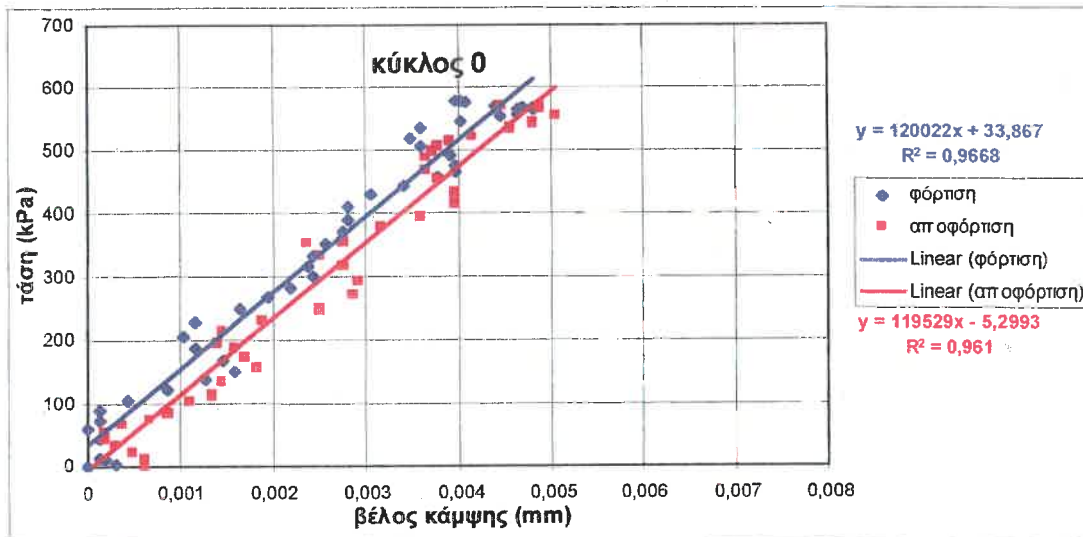
Όσον αφορά τις παραμένουσες παραμορφώσεις, θα αναμενόταν μια προϊούσα αύξηση αυτών, μέχρις ενός αριθμού επαναλήψεων φορτίσεων, και ύστερα μια προϊούσα μείωση και σταθεροποίηση αυτών, μετά από αυτόν τον αριθμό φορτίσεων.

Κάτι τέτοιο πράγματι παρατηρήθηκε, σε σχετικά μεγάλη έκταση στο δοκίμιο 15, που περιέχει 2% γαλάκτωμα και 3% τσιμέντο, και σε λιγότερη έκταση στα δοκίμια υπ' αριθμόν 3, με 2% γαλάκτωμα και 2% τσιμέντο, όπου παρατηρείται σταδιακή αύξηση αυτών, καθώς εξελίσσεται το πείραμα, και υπ' αριθμόν 17 (και 18), με 1% γαλάκτωμα και 4% τσιμέντο, όπου οι παραμένουσες παραμορφώσεις περιορίζονται στους τελευταίους κύκλους. Για τα υπόλοιπα δοκίμια δεν μπορεί να διαπιστωθεί με ακρίβεια τί ακριβώς πραγματοποιείται. Έτσι, δεν μπορούν να εξαχθούν βάσιμα

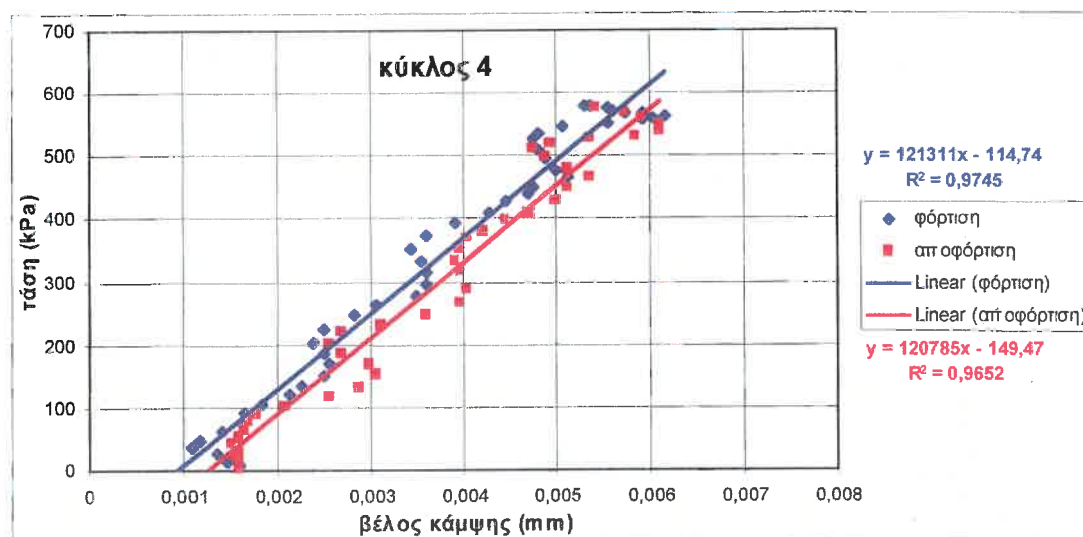
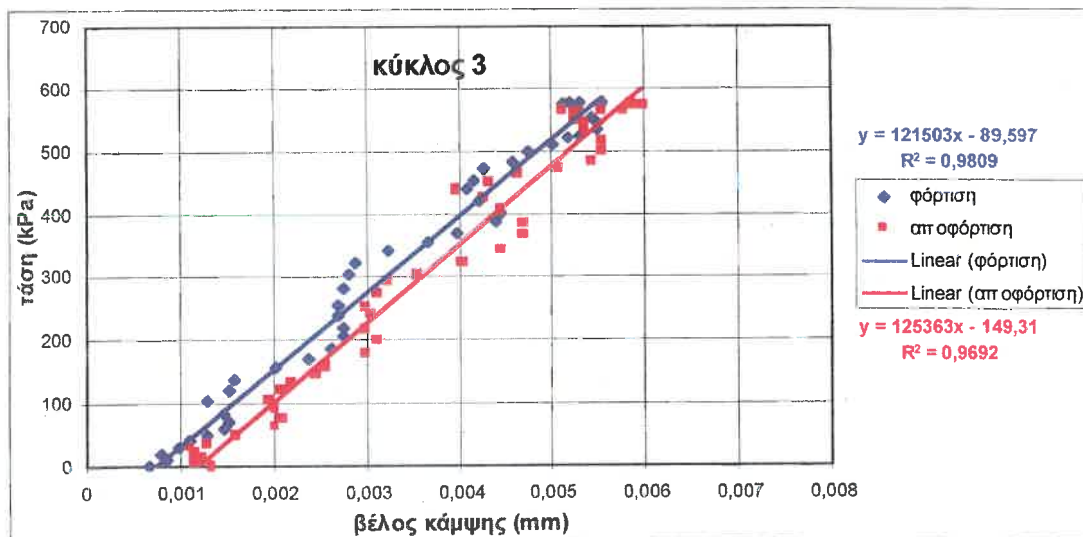
συμπεράσματα σχετικά με την ολκιμότητα των υλικών και για το κατά πόσο η προσθήκη γαλακτώματος σε ένα μίγμα, επηρεάζει αυτήν.



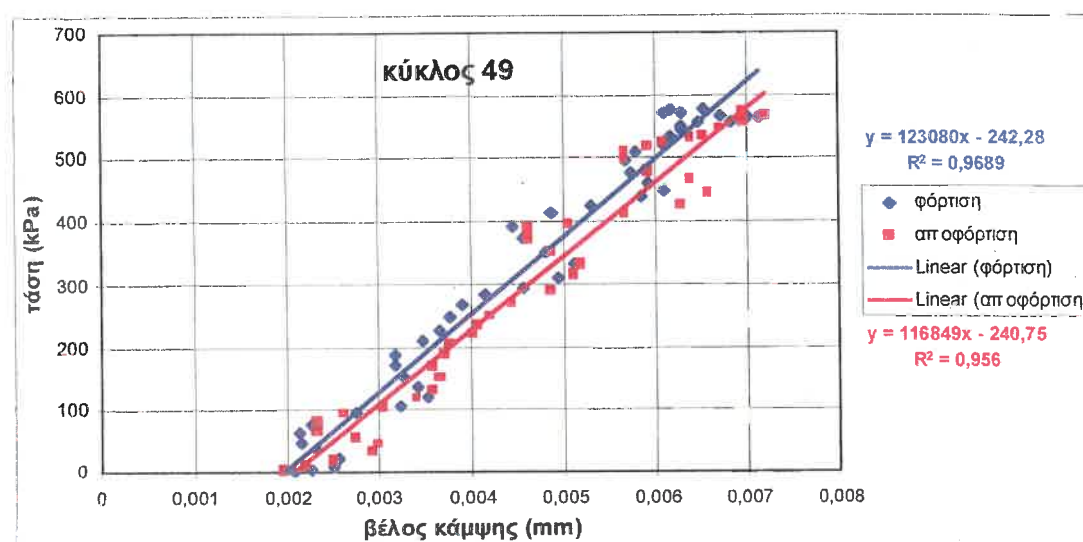
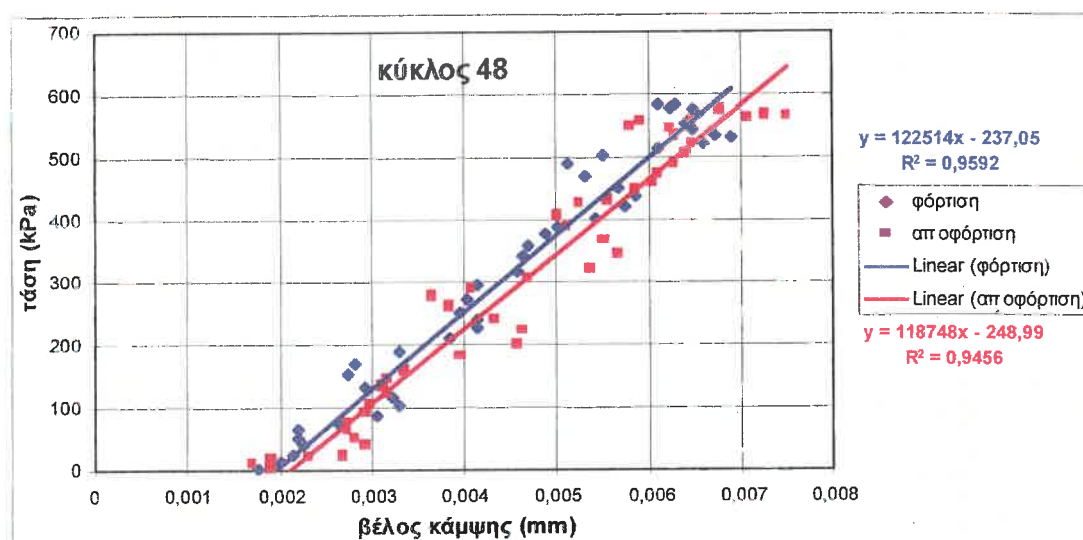
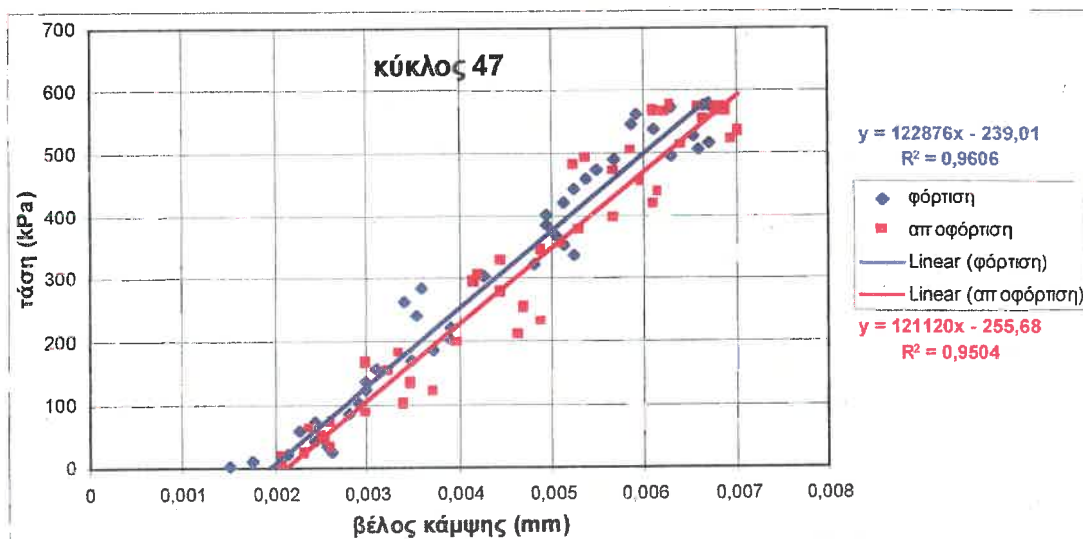
Σχήμα 7.4.1: Διάγραμμα τάσης –βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης) ,κύκλος 2, για το δοκίμιο 9 (γαλάκτωμα 0% - τσιμέντο 3%).



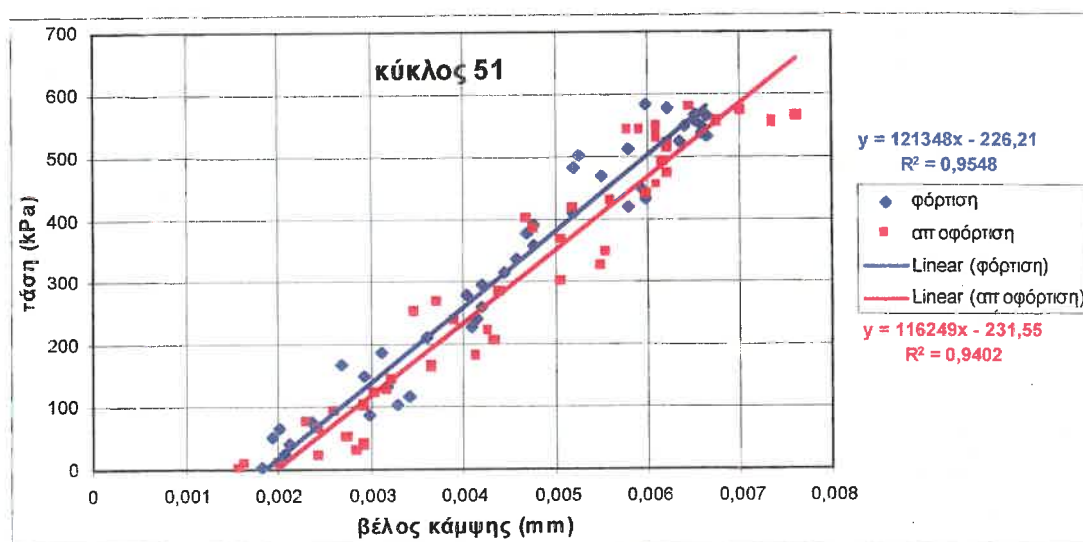
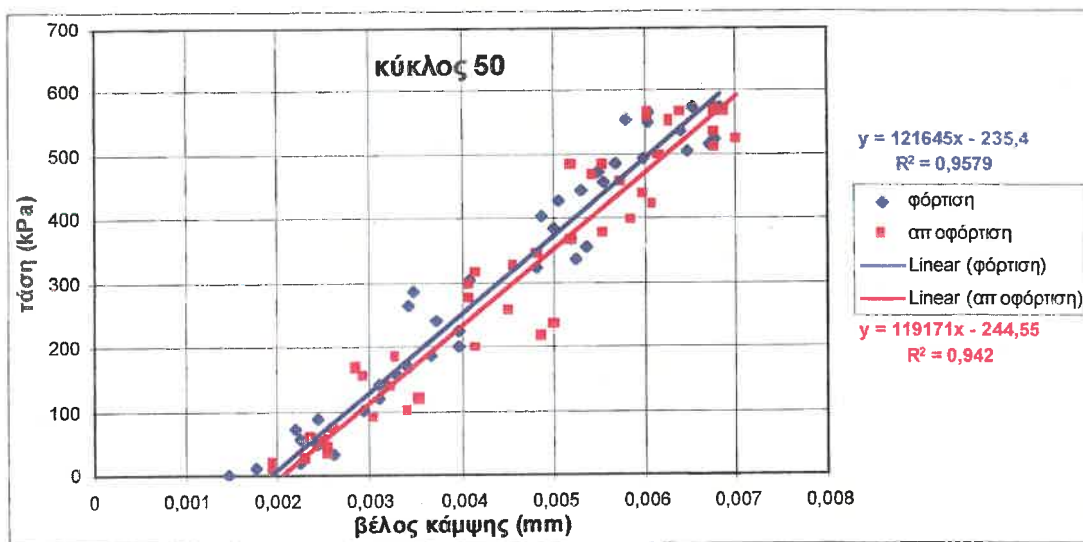
Σχήμα 7.4.2: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 0, 1, 2, για το δοκίμιο 15 (γαλάκτωμα 2% - τσιμέντο 3%)



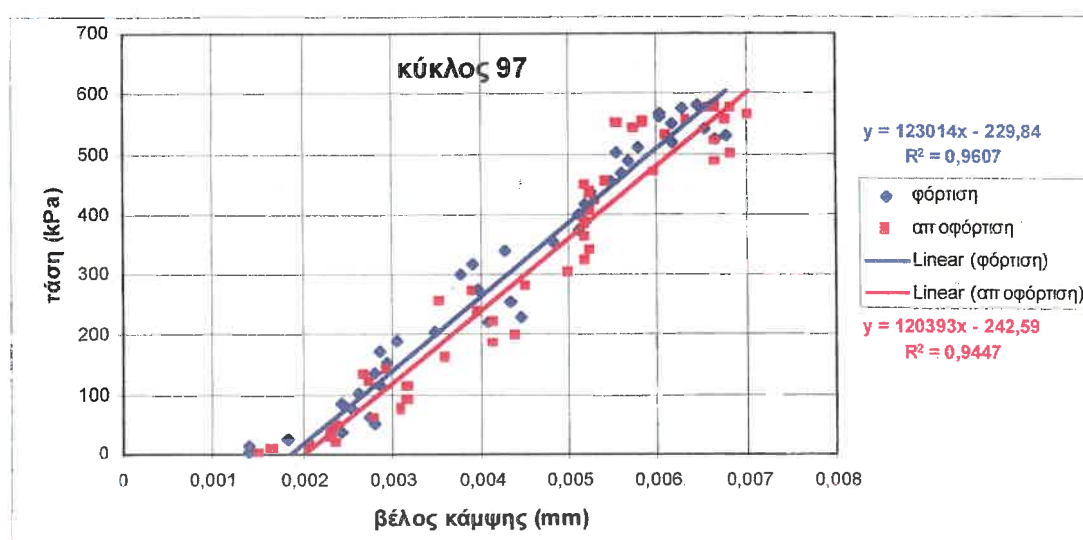
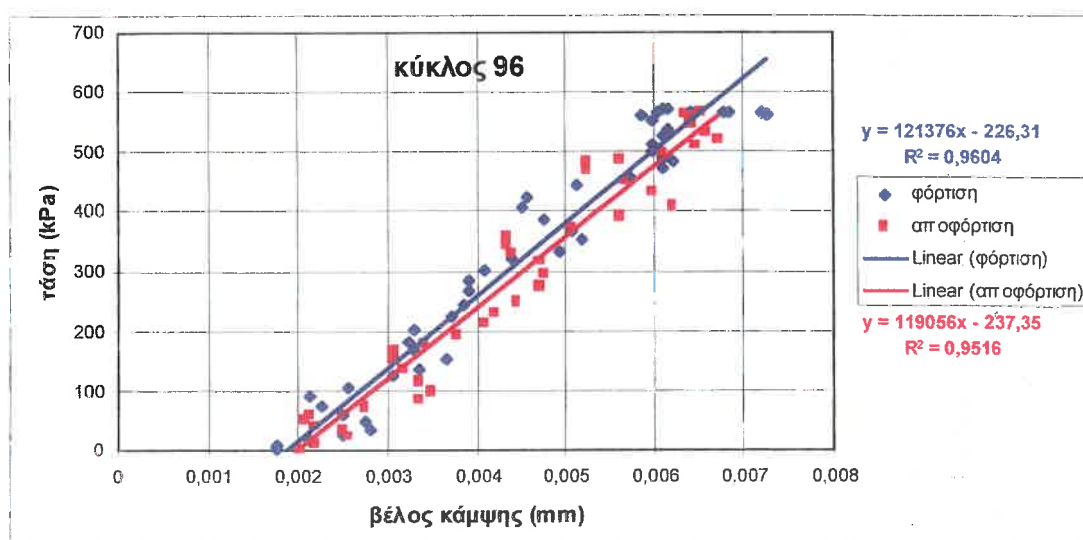
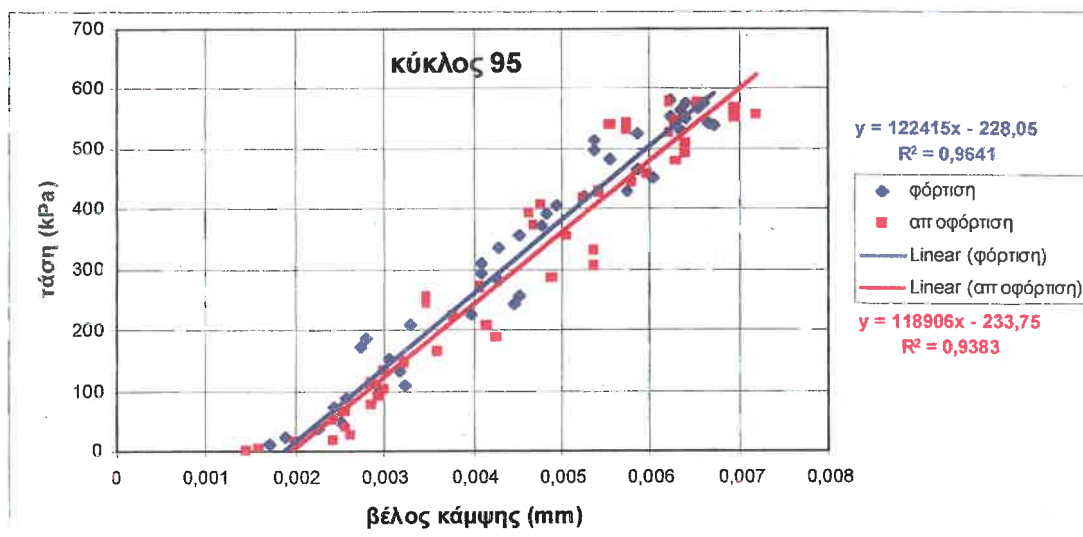
Σχήμα 7.4.3: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 3, 4 για το δοκίμιο 15 (γαλάκτωμα 2% - τσιμέντο 3%)



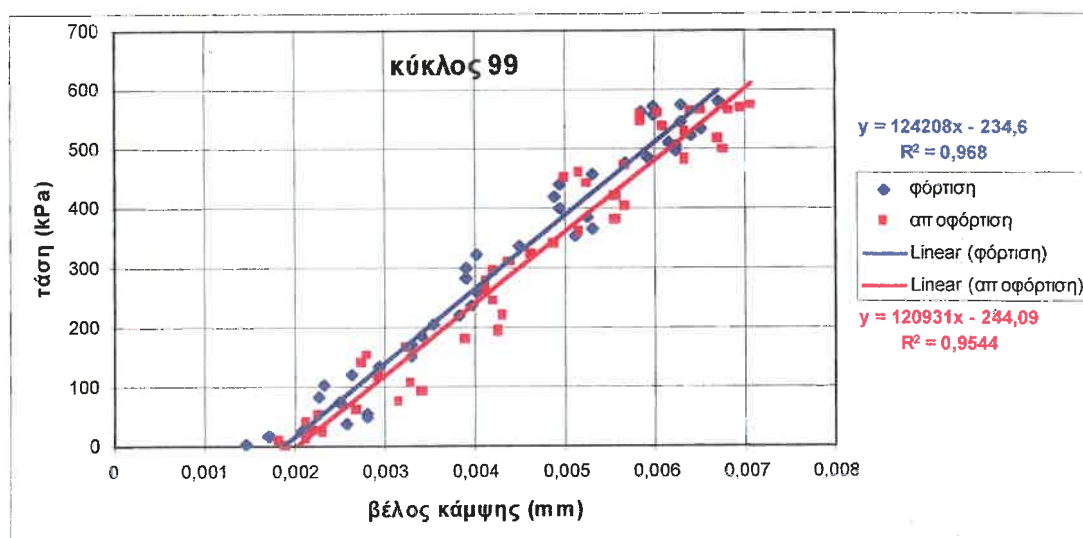
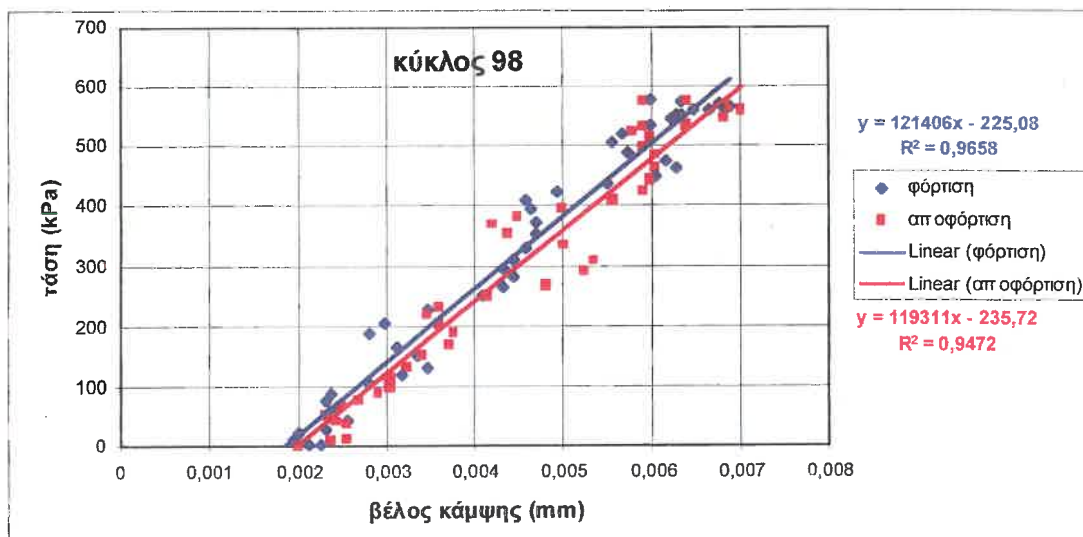
Σχήμα 7.4.4: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 47, 48, 49 για το δοκίμιο 15 (γαλάκτωμα 2% - τσιμέντο 3%)



Σχήμα 7.4.5: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 50, 51 για το δοκίμιο 15 (γαλάκτωμα 2% - τσιμέντο 3%)



Σχήμα 7.4.6: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλινδρόμησης), κύκλοι 95, 96, 97 για το δοκίμιο 15 (γαλάκτωμα 2% - τσιμέντο 3%)



Σχήμα 7.4.7: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 98, 99 για το δοκίμιο 15 (γαλάκτωμα 2% - τσιμέντο 3%)

7.5 Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας

Στην παράγραφο αυτή σχολιάζονται οι τιμές του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας σε κάμψη (Εδυν.), σε MPa, οι οποίες προήρθαν από τους τελευταίους 6 κύκλους φόρτισης (94 έως 99), της δοκιμής επαναλαμβανόμενης φόρτισης.

Στα σχήματα παρουσιάζεται για κάθε δοκίμιο, με διαφορετικό χρωματισμό, η τιμή του Εδυν. για κάθε κύκλο, καθώς και ο μέσος όρος των τιμών αυτών, που είναι το Εδυν. που τελικά λαμβάνεται υπ' όψη.

Θεωρήθηκε ότι οι τελευταίοι κύκλοι φόρτισης (94-99), αντιπροσωπεύουν τη συμπεριφορά του υλικού κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του ως υλικό οδοστρώματος. Γι' αυτό επιλέχθηκαν αυτοί ως καταλληλότεροι για την εκτίμηση του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας κάθε δοκιμίου.

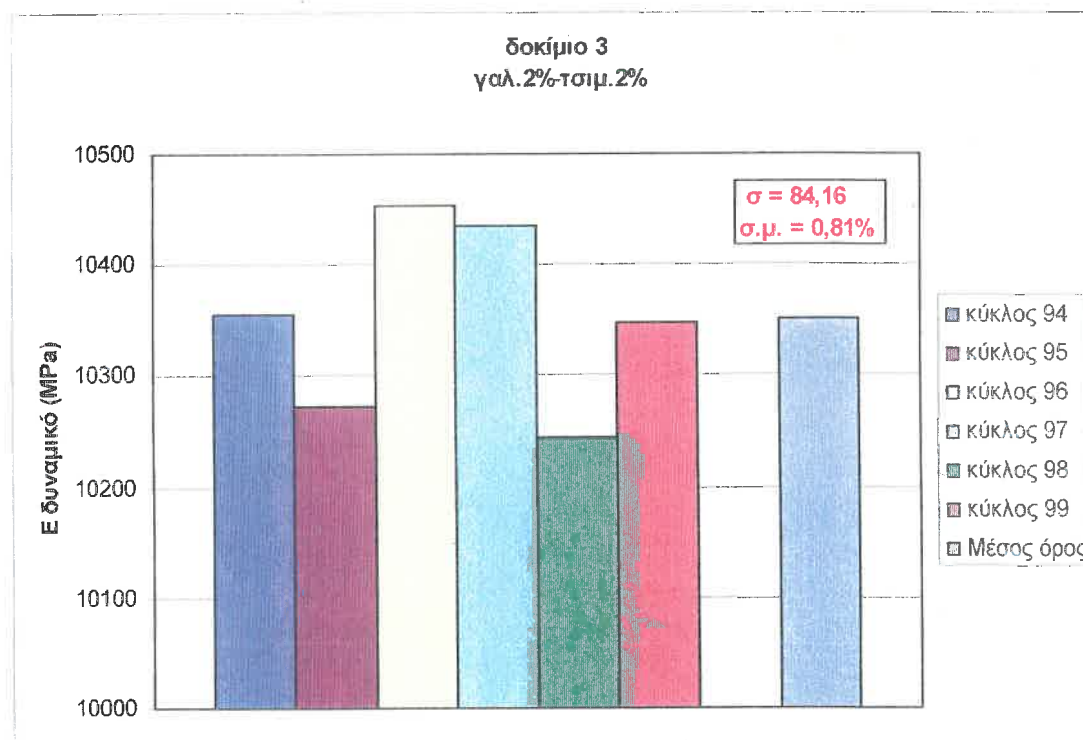
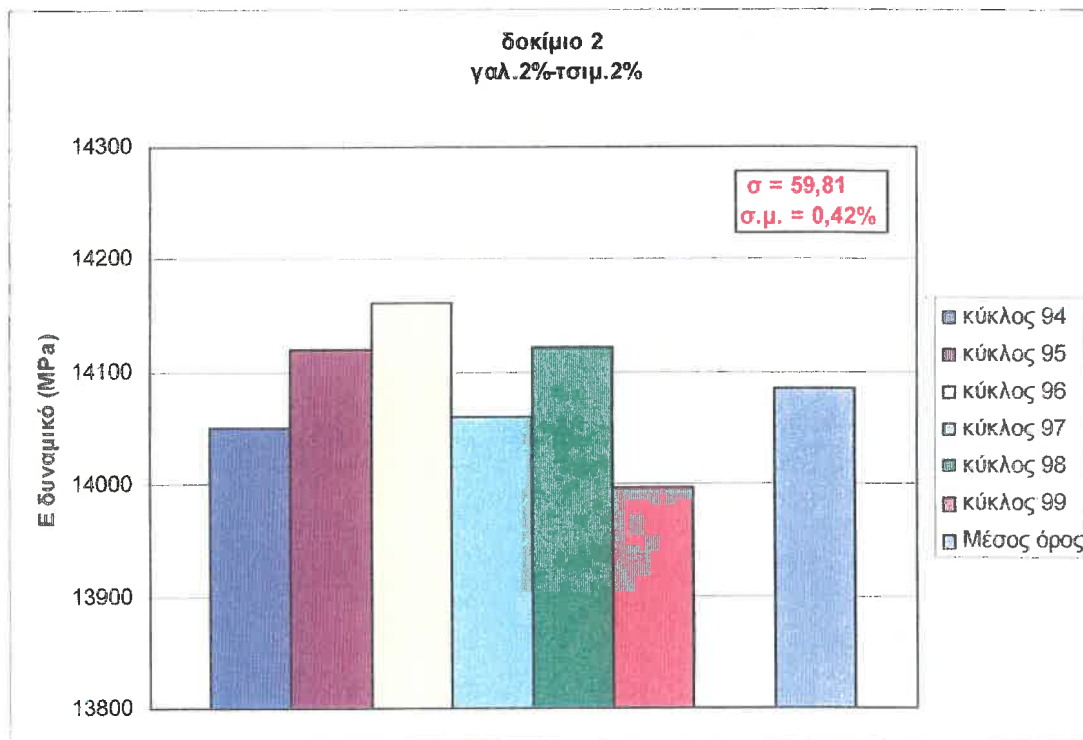
Όπως φαίνεται στα σχήματα 7.5.1 ως 7.5.7, η διακύμανση του Εδυν. από κύκλο σε κύκλο, είναι μικρή, κάτι που δείχνει ότι παρά το θόρυβο που παρουσιάστηκε και τον υπολογισμό του Εδυν με τη βοήθεια της γραμμικής παλινδρόμησης, η ακρίβεια εκτίμησής του είναι ικανοποιητική. Αυτό διαπιστώνεται και από την τιμή του συντελεστή μεταβλητότητας του δείγματος των κύκλων, για κάθε δοκίμιο, που είναι εξαιρετικά μικρή, και σε καμία περίπτωση δεν ξεπερνά το 1,5%.

Επίσης, δεν παρατηρείται μια σταθερότητα στη μεταβολή του Εδυν. (αύξηση ή μείωση), μεταξύ των κύκλων 94 έως 99. Επομένως, οι διαφορές στο μέτρο ελαστικότητας οφείλονται σε πειραματικές ανακρίβειες, κυρίως στη μέτρηση των παραμορφώσεων.

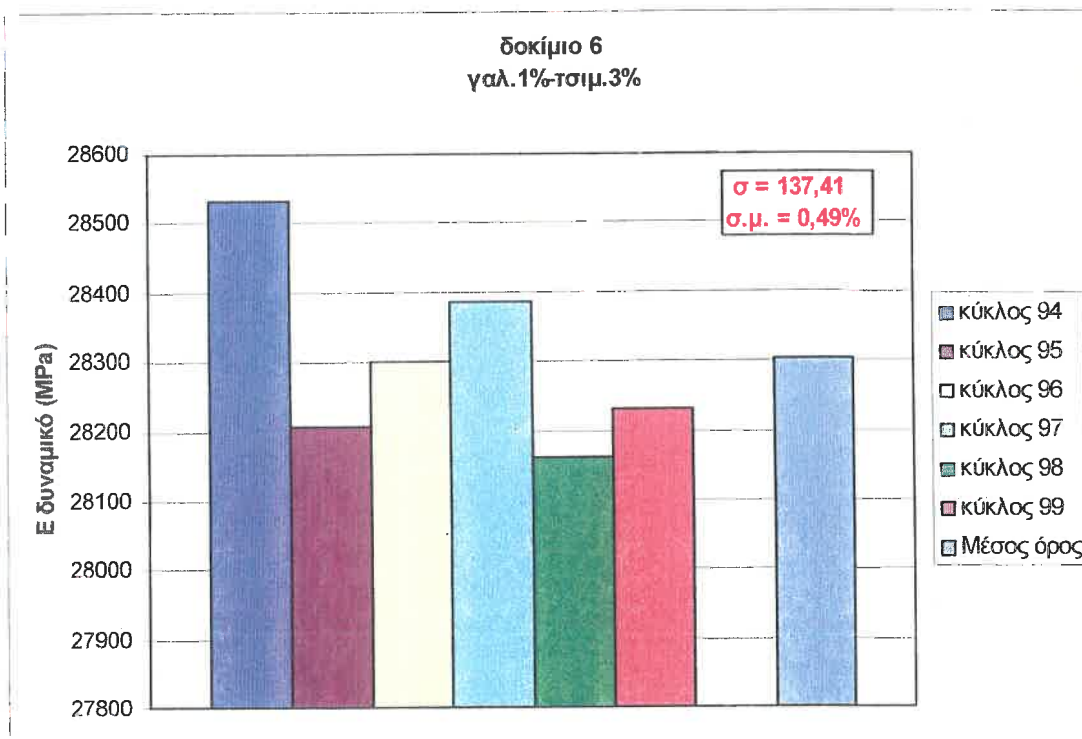
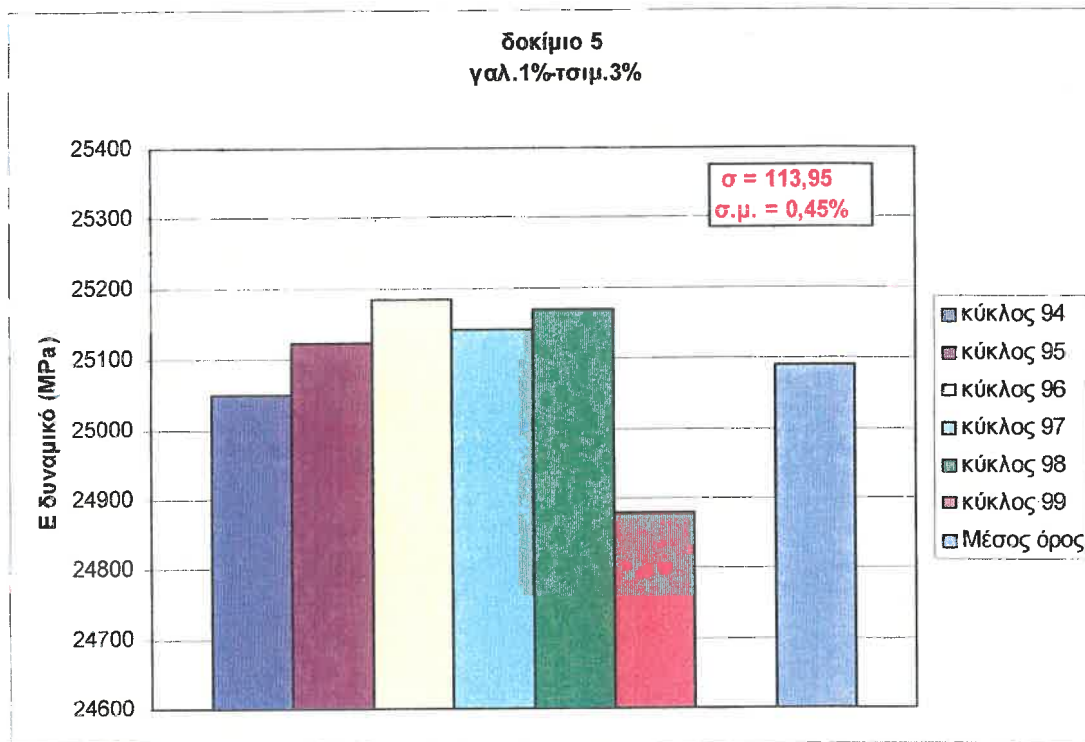
Για το δοκίμιο 21, μίγματος 2% γαλάκτωμα και 4% τσιμέντο, (σχήμα 7.5.7), το μέτρο ελαστικότητας είναι ασυνήθιστα μεγάλο, γεγονός που αποδίδεται σε λανθασμένη μέτρηση των παραμορφώσεων, και για το λόγο αυτό δεν λαμβάνεται υπ' όψη.

Ανάμεσα στα δοκίμια ίδιου μίγματος παρουσιάζονται διαφοροποιήσεις στους μέσους όρους του Εδυν., οι οποίες είναι σημαντικότερες στα μίγματα 2% γαλάκτωμα – 2% τσιμέντο, (δοκίμια 2 και 3 στο σχήμα 7.5.1), όπου υπάρχει διαφορά της τάξης του 36%, 0% γαλάκτωμα – 4% τσιμέντο, (δοκίμια 11 και 12 στο σχήμα 7.5.4), με διαφορά 29,5%, και 1% γαλάκτωμα – 4% τσιμέντο (δοκίμια 17 και 18 στο σχήμα 7.5.6) όπου η διαφορά κυμαίνεται στο 15%.

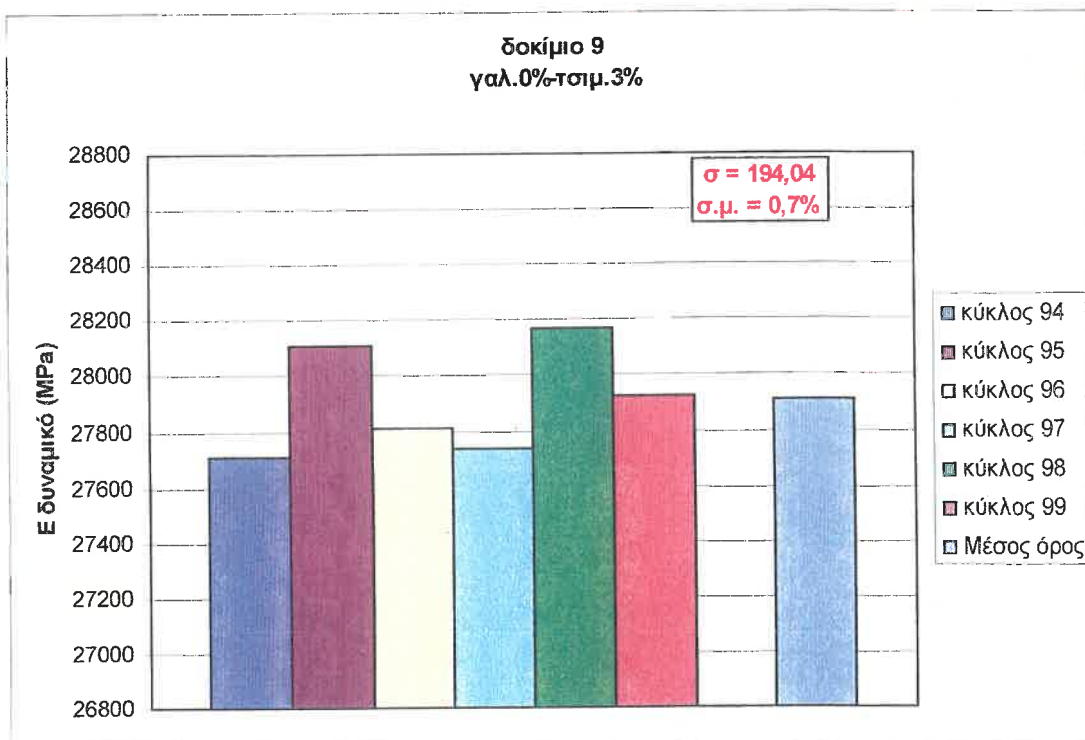
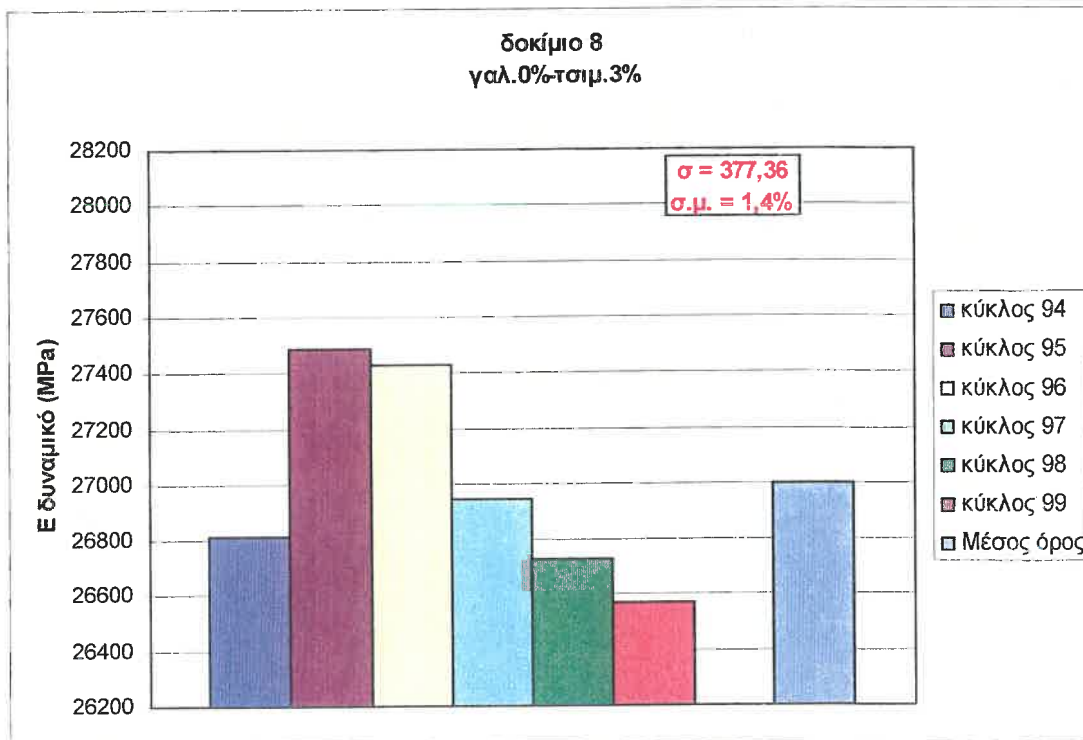
Οι διαπιστώσεις αυτές, όπως και η σύγκριση των μέσων όρων των Εδυν. για όλα τα μίγματα, γίνονται αναλυτικότερα στο κεφ7.6, και σε συνδυασμό με το στατικό μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη.



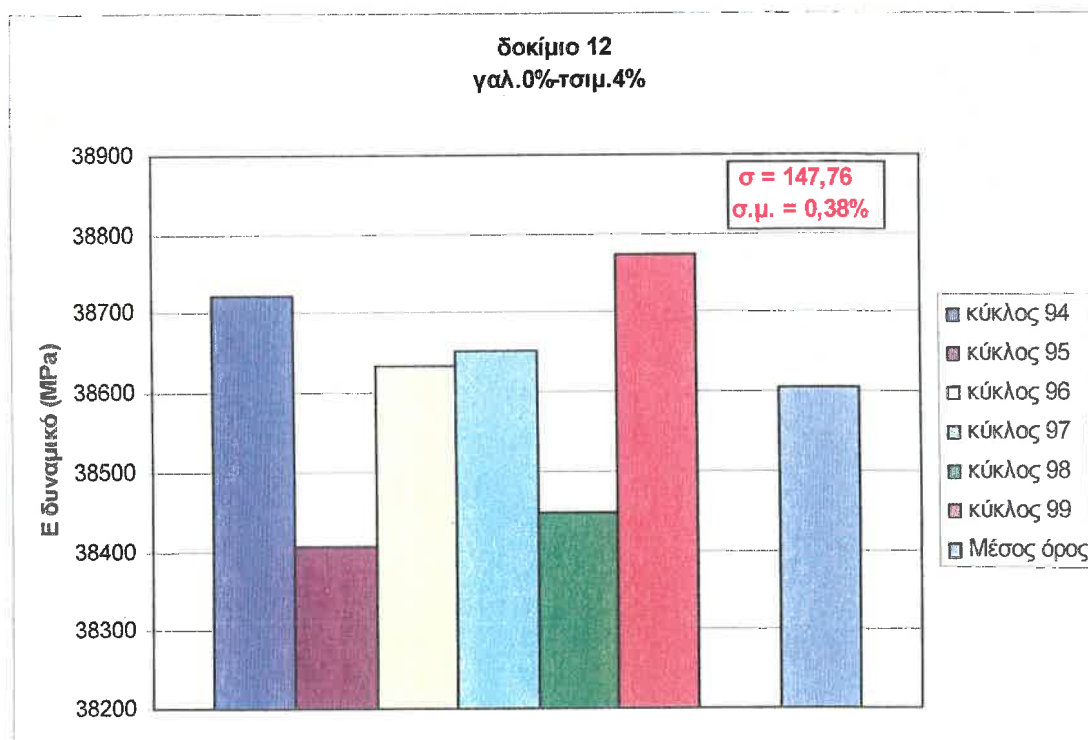
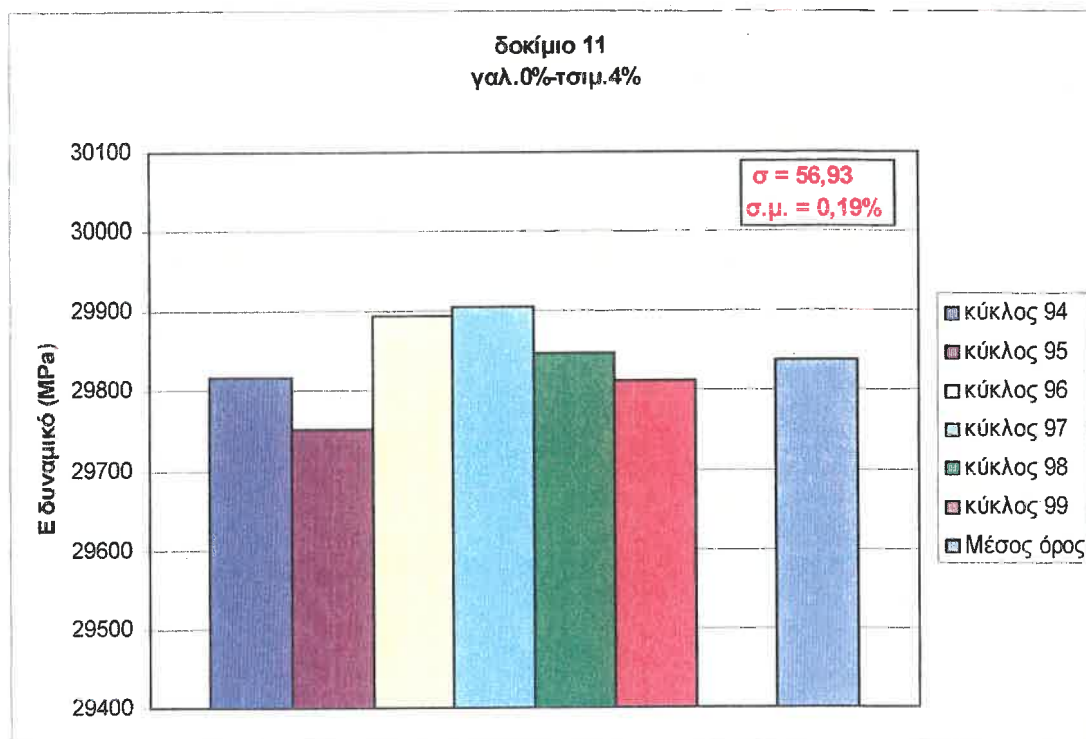
Σχήμα 7.5.1: Τιμές του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας για το μίγμα 2% γαλάκτωμα – 2% τσιμέντο (δοκίμια 2 & 3), ανά κύκλο φόρτισης



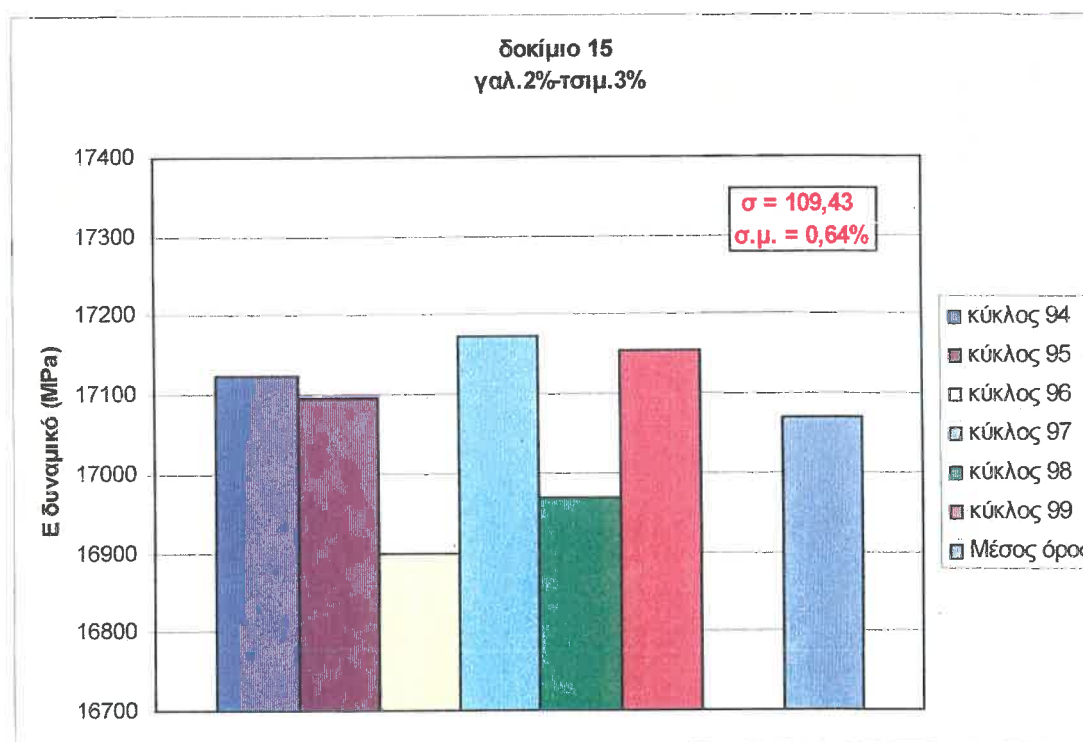
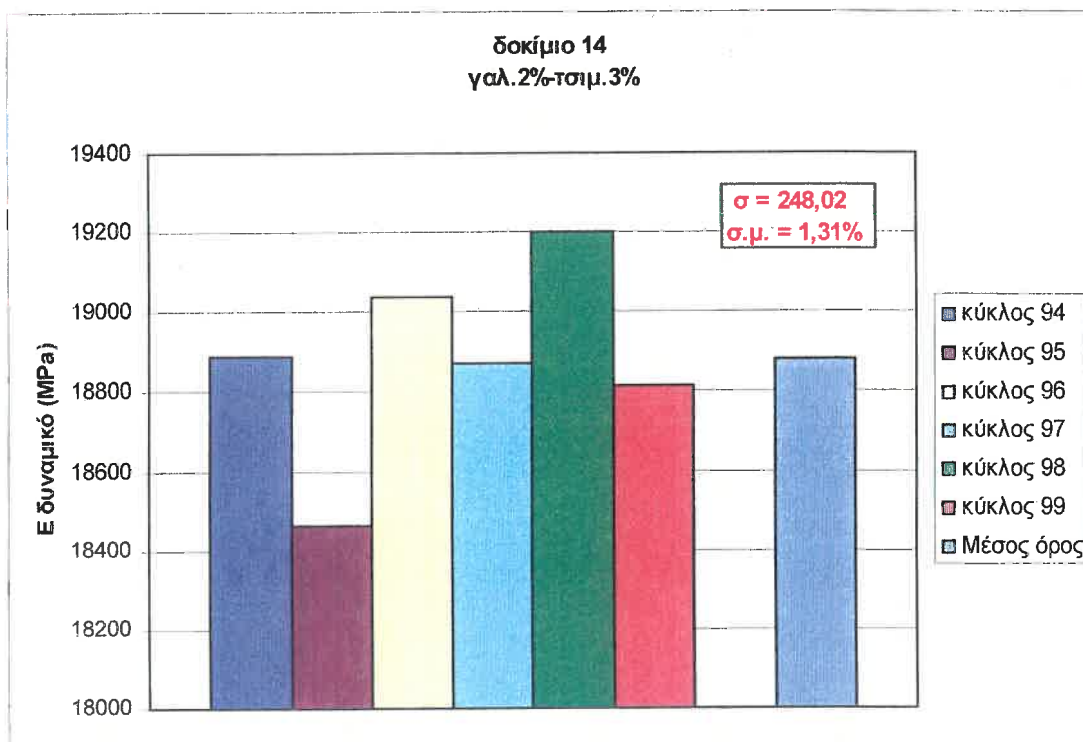
Σχήμα 7.5.2: Τιμές του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας για το μίγμα 1% γαλάκτωμα – 3% τσιμέντο (δοκίμια 5 & 6), ανά κύκλο φόρτισης



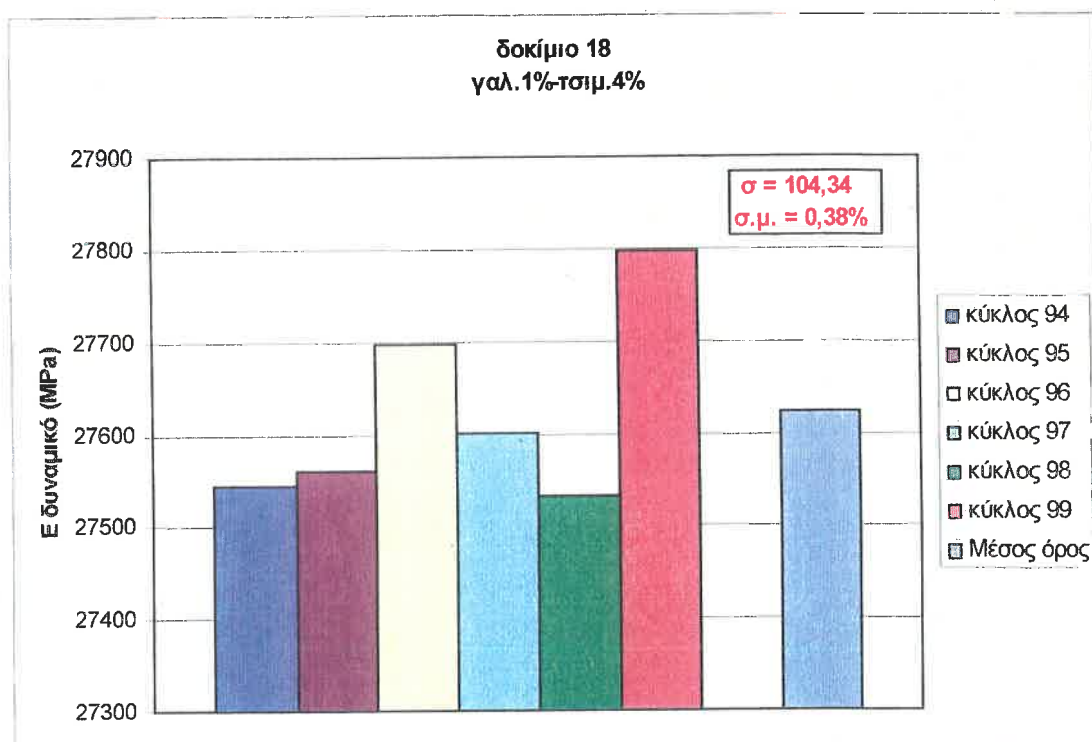
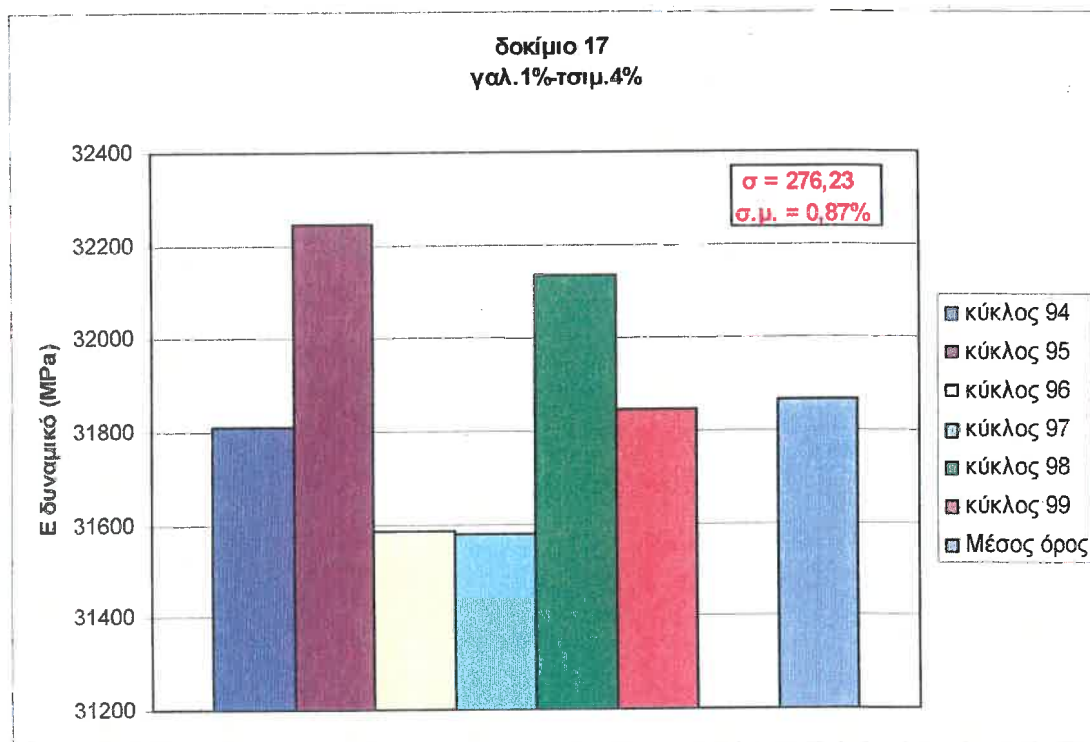
Σχήμα 7.5.3: Τιμές του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας για το μίγμα 0% γαλάκτωμα – 3% τσιμέντο (δοκίμια 8 & 9), ανά κύκλο φόρτισης



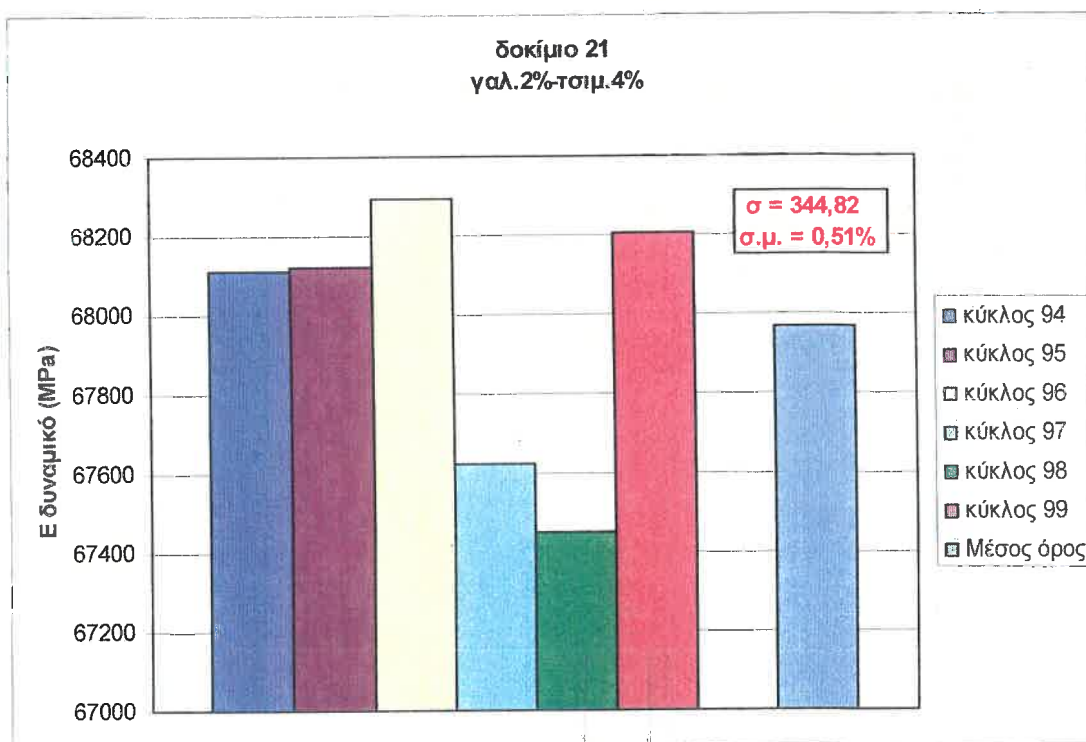
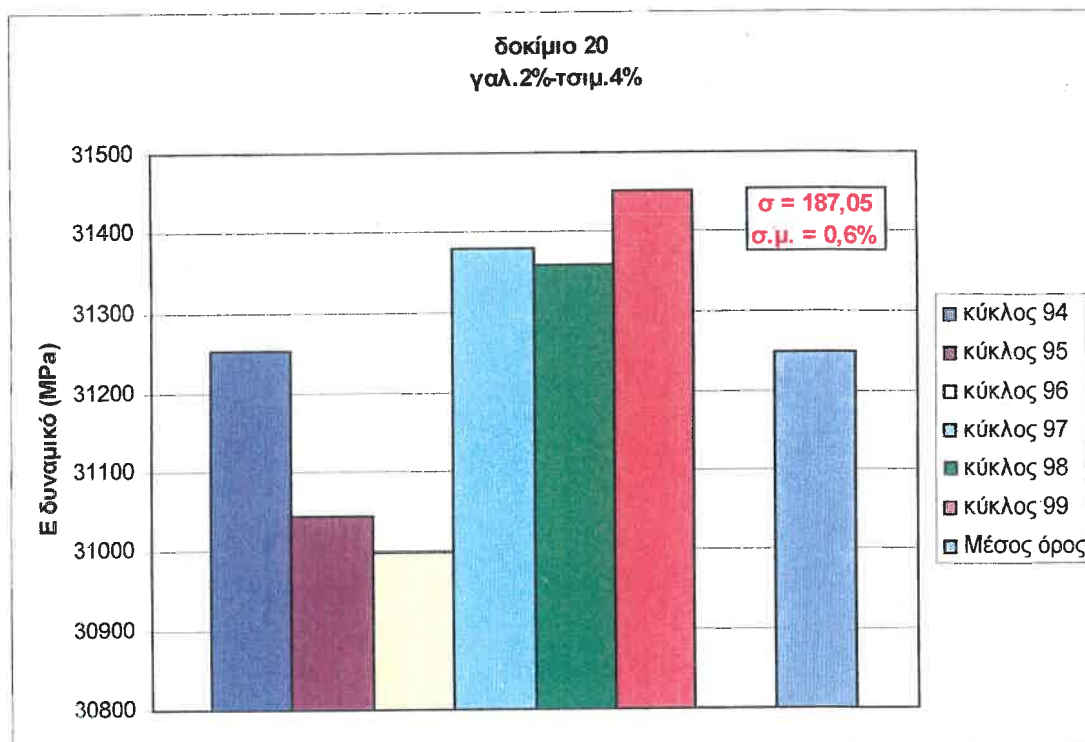
Σχήμα 7.5.4: Τιμές του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας για το μίγμα 0% γαλάκτωμα – 4% τσιμέντο (δοκίμια 11 & 12), ανά κύκλο φόρτισης



Σχήμα 7.5.5: Τιμές του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας για το μίγμα 2% γαλάκτωμα – 3% τσιμέντο (δοκίμια 14 & 15), ανά κύκλο φόρτισης



Σχήμα 7.5.6: Τιμές του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας για το μίγμα 1% γαλάκτωμα – 4% τσιμέντο (δοκίμια 17 & 18), ανά κύκλο φόρτισης



Σχήμα 7.5.7: Τιμές του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας για το μίγμα 2% γαλάκτωμα – 4% τσιμέντο (δοκίμια 20 & 21), ανά κύκλο φόρτισης

7.6 Σύγκριση στατικών και δυναμικών μέτρων ελαστικότητας σε κάμψη

Στην παράγραφο αυτή γίνεται η σύγκριση της μεταβολής του στατικού (Εστατ.) ή δυναμικού (Εδυν.) μέτρου ελαστικότητας σε κάμψη, σε σχέση με τη μεταβολή της περιεκτικότητας των μιγμάτων σε τσιμέντο ή γαλάκτωμα. Ταυτόχρονα, γίνεται και σύγκριση μεταξύ του Εστατ. και Εδυν. για κάθε μίγμα.

Για ποσοστό τσιμέντου 2%, υπήρχε μόνο ένα μίγμα, οπότε δε γίνεται συγκριτικό διάγραμμα. Επίσης, το δοκίμιο 21 παρουσίασε υπερβολικά υψηλό Εδυν. , σε σχέση και με το δοκίμιο 20 του ίδιου μίγματος , 2% γαλάκτωμα – 4% τσιμέντο, γι' αυτό δε λαμβάνεται υπόψη στους σχολιασμούς μας. Τα Εστατ. και Εδυν. που παρουσιάζονται στα σχήματα με διαφορετικό χρωματισμό, είναι ο μέσος όρος αυτών ανά μίγμα. Για τα αντίστοιχα ποσοστά γαλακτώματος και τσιμέντου, δίπλα σε κάθε σημείο αναγράφεται ο αριθμός των αντίστοιχων δοκιμίων.

Μια άμεση παρατήρηση, είναι ότι το μέτρο ελαστικότητας σε στατική φόρτιση, είναι μικρότερο από αυτό που προκύπτει από τη δυναμική φόρτιση, κάτι που πρέπει να συμβαίνει, για τους ακόλουθους λόγους. Στην απλή δοκιμή κάμψης, η ταχύτητα φόρτισης είναι σταθερή για όλα τα δοκίμια και ίση με 0,2 kN/s. Στη δυναμική δοκιμή, προκύπτει ως το πηλίκο του 1/3 του φορτίου θραύσης της δοκιμής σε κάμψη, δια του χρόνου φόρτισης, που είναι ίσος με 0,5 sec (αφού όλος ο κύκλος φόρτισης και αποφόρτισης διαρκεί 1 sec). Έτσι, για τα δοκίμια 2, 3 προκύπτει ταχύτητα φόρτισης ίση με 1,78 kN/s, για τα δοκίμια 5, 6 ταχύτητα 4,3 kN/s , για τα δοκίμια 8, 9 ταχύτητα 3,72 kN/s, για τα δοκίμια 11, 12 ταχύτητα 6,52 kN/s, για τα δοκίμια 14, 15 ταχύτητα 4,02 kN/s, για τα δοκίμια 17, 18 ταχύτητα 6,52 kN/s, και τέλος για το δοκίμιο 20 ταχύτητα 6,58 kN/s. Παρατηρείται ότι σε όλες τις περιπτώσεις η ταχύτητα φόρτισης είναι μεγαλύτερη στη δυναμική δοκιμή. Όπως έχει αναφερθεί και στην ανασκόπηση της υπάρχουσας γνώσης (βλ. κεφ1.7), η αύξηση της ταχύτητας φόρτισης, επιφέρει αύξηση και στο μέτρο ελαστικότητας του υλικού. Επομένως είναι λογικό να αναμένεται Εδυν. μεγαλύτερο του Εστατ. .

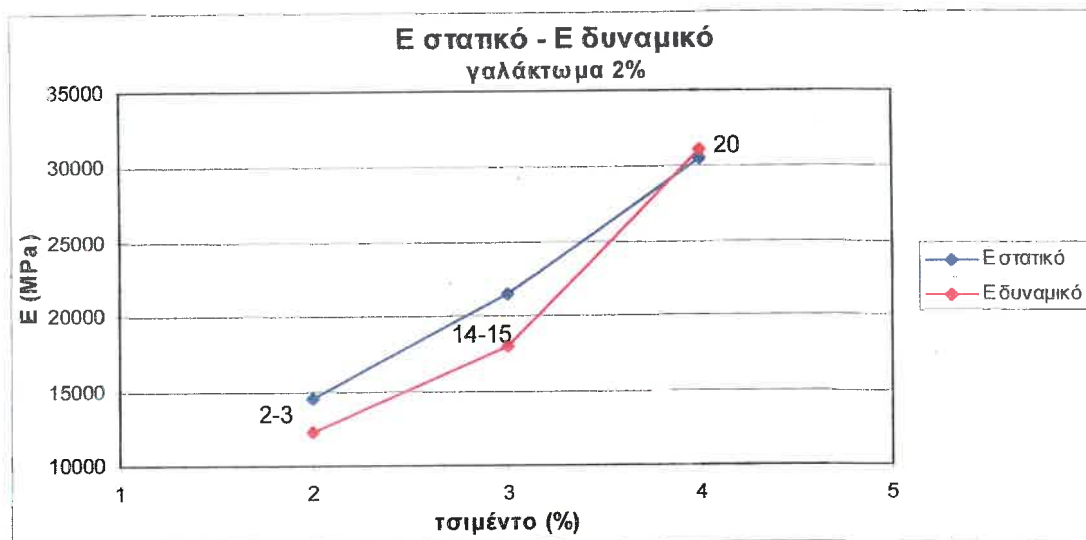
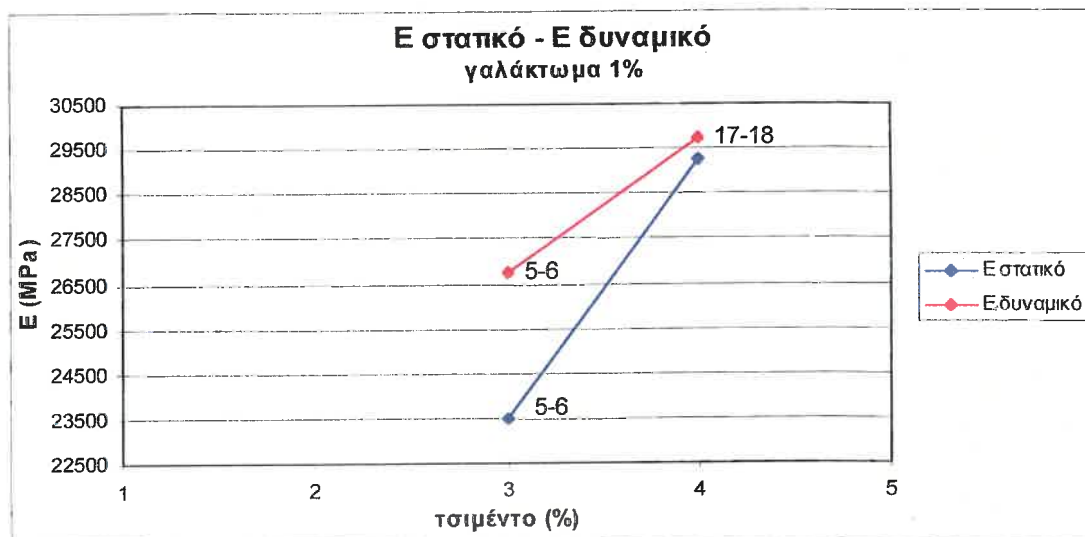
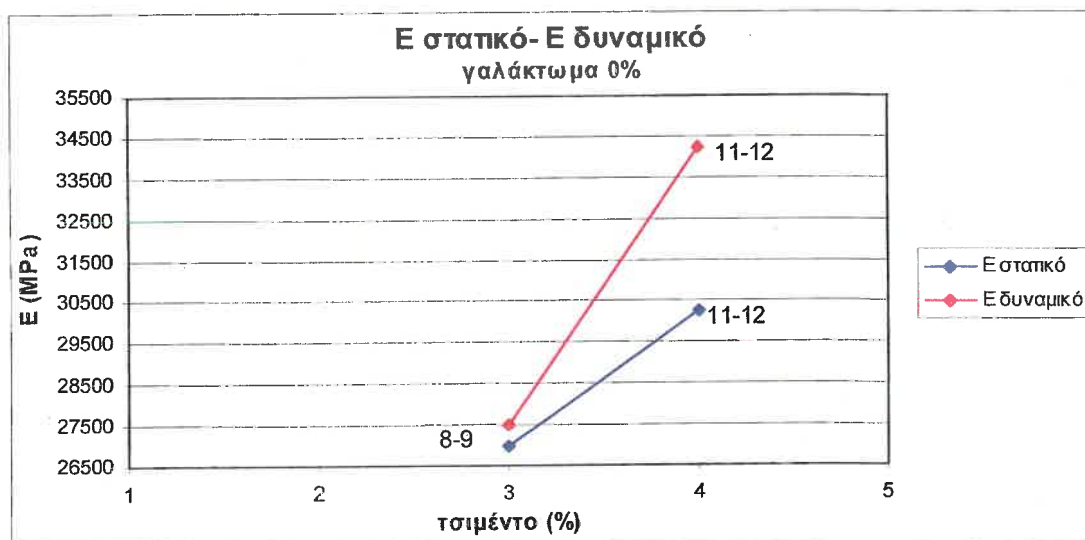
Μια άλλη παρατήρηση, είναι ότι με σταθερό ποσοστό γαλακτώματος και αύξηση του ποσοστού του τσιμέντου στο μίγμα, το μέτρο ελαστικότητας αυξάνεται, είτε πρόκειται για στατικό, είτε για δυναμικό, όπως φαίνεται στο σχήμα 7.6.1.

Αντιθέτως, το μέτρο ελαστικότητας μειώνεται, όταν αυξάνεται το ποσοστό του γαλακτώματος, με το ποσοστό του τσιμέντου να παραμένει σταθερό, όπως φαίνεται στο σχήμα 7.6.2.

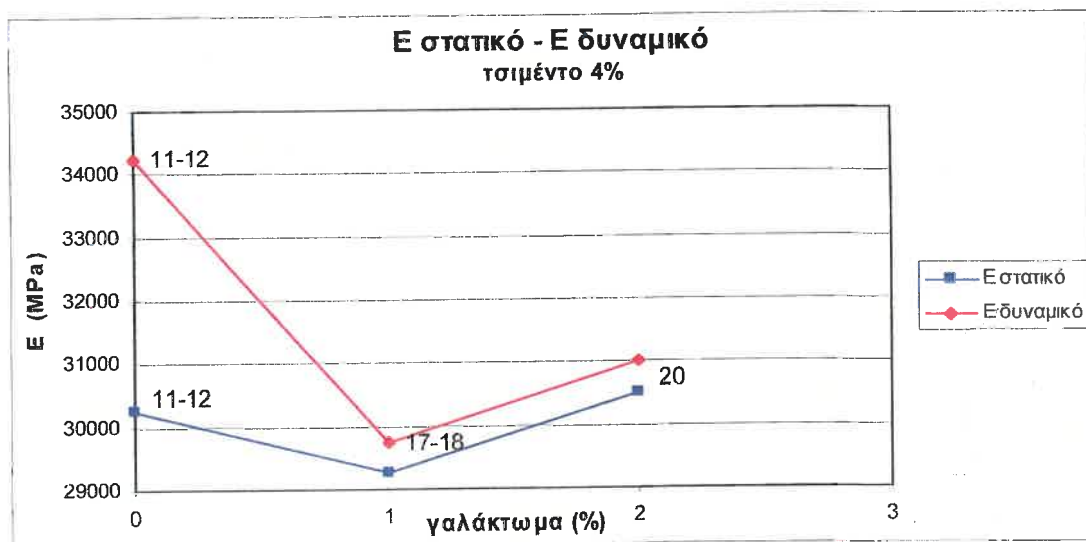
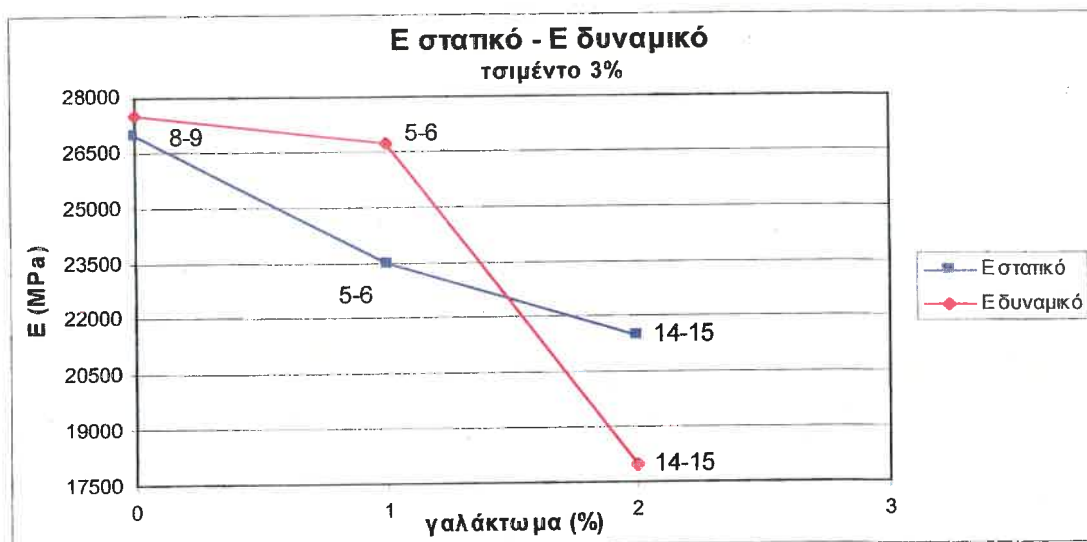
Όλα τα παραπάνω φαίνονται αναλυτικότερα και συγκεντρωτικά, στο σχήμα 7.6.3, όπου γίνεται σύγκριση του στατικού με το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας, για όλα τα μίγματα που εξετάστηκαν, και στο οποίο παρουσιάζονται όλα τα δοκίμια μαζί. Στον πίνακα 7.6.1 που συνοδεύει το σχήμα, παρατίθενται για το κάθε δοκίμιο, το αντίστοιχο ποσοστό γαλακτώματος και τσιμέντου, καθώς και οι τιμές του στατικού και δυναμικού μέτρου ελαστικότητας, σε MPa.

Κάθε σημείο του διαγράμματος αντιστοιχεί σε ένα δοκίμιο, του οποίου ο αριθμός αναγράφεται δίπλα στο σημείο αυτό. Τα δοκίμια ίδιου μίγματος παρουσιάζονται με το ίδιο χρώμα. Για καλύτερη σύγκριση των αποτελεσμάτων κατασκευάζεται η γραμμή ισότητας καθώς και η ευθεία γραμμικής παλινδρόμησης, της οποίας αναγράφεται η εξίσωση και ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης (R^2).

Λόγω της προαναφερθείσας (βλ. κεφ 7.4) ελαττωματικής στήριξης των μηχανοσυστημάτων, κατά τη διάρκεια της δυναμικής φόρτισης, οι τιμές του Εδυν. σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι ακριβείς. Το γεγονός αυτό φαίνεται και στο διάγραμμα, όπου παρατηρείται ότι σε 6 συνολικά περιπτώσεις, αυτές που αφορούν τα δοκίμια 2 και 3, για μίγμα 2% γαλάκτωμα – 2% τσιμέντο, τα δοκίμια 14 και 15, για μίγμα 0% γαλάκτωμα – 4% τσιμέντο, το δοκίμιο 8, για μίγμα 0% γαλάκτωμα – 3% τσιμέντο, και το δοκίμιο 18, για μίγμα 1% γαλάκτωμα – 4% τσιμέντο, το στατικό μέτρο ελαστικότητας είναι μεγαλύτερο από το δυναμικό, με ποσοστά που έχουν αναφερθεί παραπάνω. Το γεγονός αυτό, δεν μπορεί παρά να αποδοθεί σε σφάλματα καθαρώς εργαστηριακά, και δεν είναι δυνατόν από τον μικρό αυτό αριθμό δοκιμίων να εξαχθούν συμπεράσματα για την έρευνά μας.



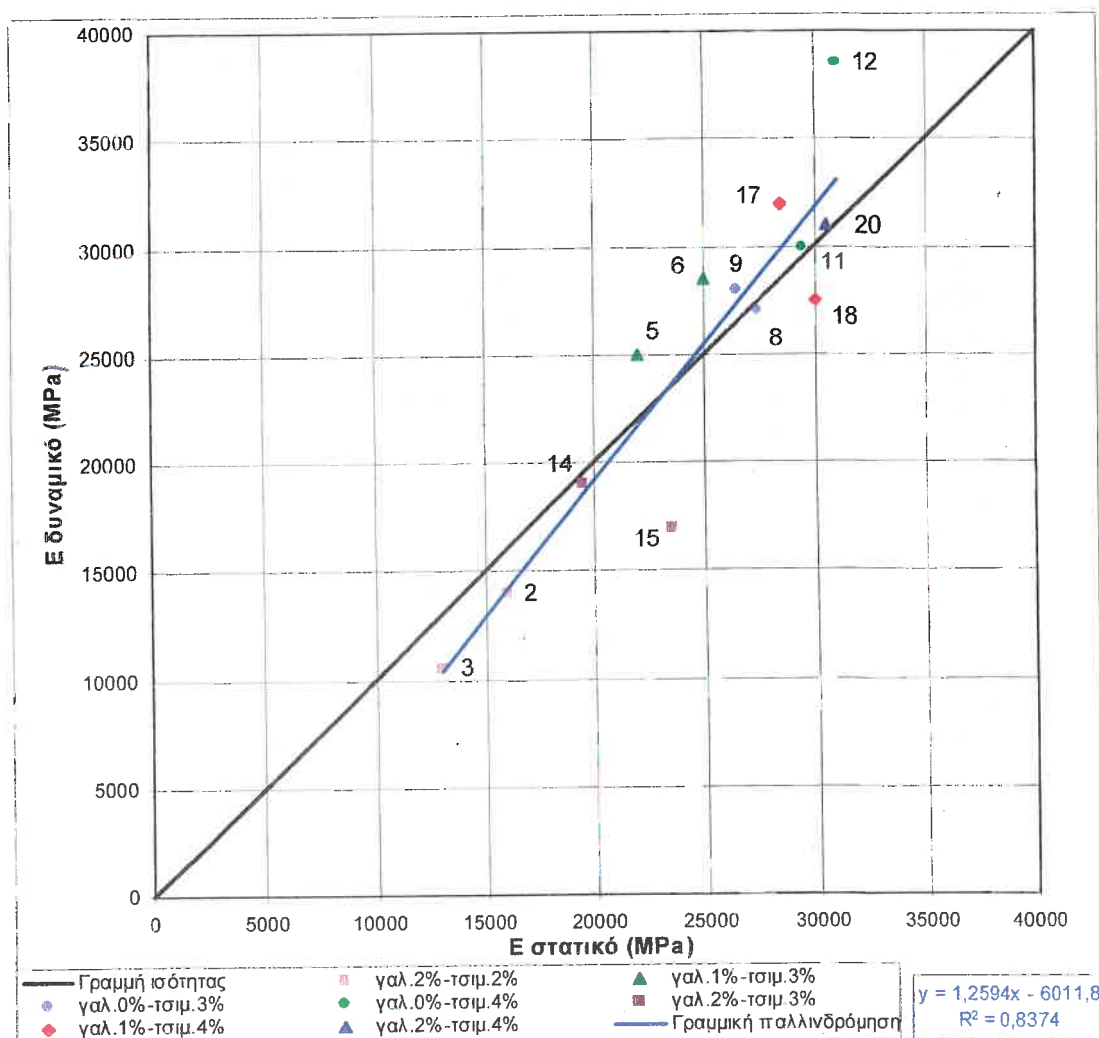
Σχήμα 7.6.1: Επίδραση του ποσοστού του τσιμέντου στο στατικό και δυναμικό μέτρο ελαστικότητας, για διάφορα ποσοστά γαλακτώματος



Σχήμα 7.6.2: Επίδραση του ποσοστού του γαλακτώματος στο στατικό και δυναμικό μέτρο ελαστικότητας, για διάφορα ποσοστά τσιμέντου

Πίνακας 7.6.1: Τιμές του στατικού και δυναμικού μέτρου ελαστικότητας σε κάμψη, για όλα τα μίγματα που εξετάστηκαν

α/α Δοκίμιο	Γαλάκτωμα (%)	Τσιμέντο (%)	Ε κάμψης (MPa)	
			Ε στατικό (MPa)	Ε δυναμικό (MPa)
2	2	2	16000	14000
3			13000	10500
5	1	3	22000	25000
6			25000	28500
8	0	3	27500	27000
9			26500	28000
11	0	4	29500	30000
12			31000	38500
14	2	3	19500	19000
15			23500	17000
17	1	4	28500	32000
18			30000	27500
20	2	4	30500	31000
21			30500	68000



Σχήμα 7.6.3: Σύγκριση του στατικού με το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη, για όλα τα μίγματα που εξετάστηκαν.

7.7 Σχόλια επί των αντοχών

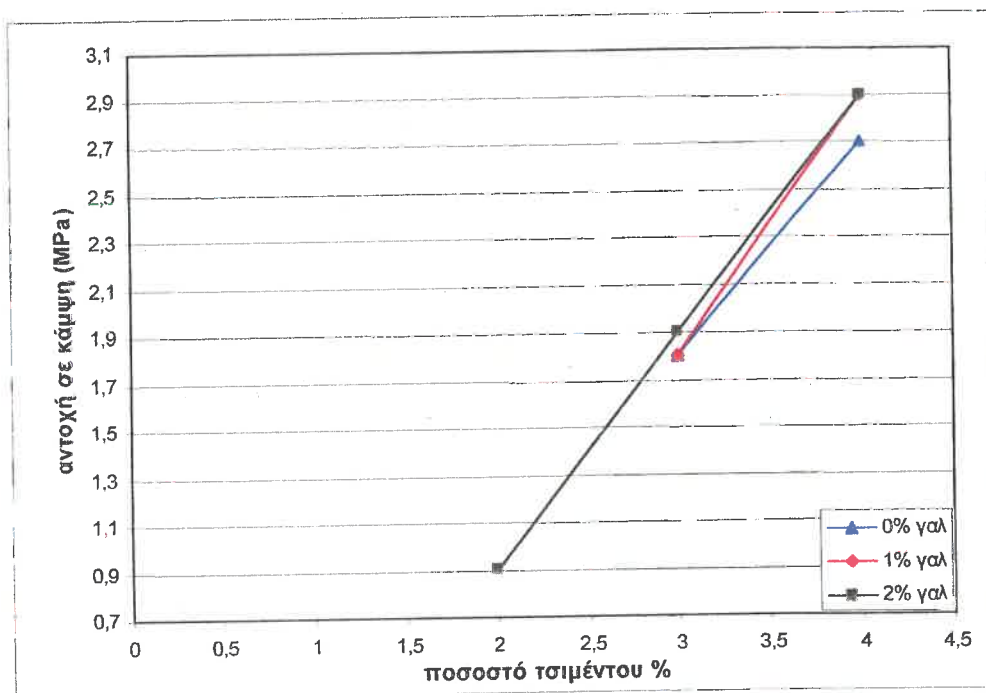
Παρακάτω σχολιάζεται η συσχέτιση των αντοχών των μιγμάτων, που προέκυψαν από τις διάφορες δοκιμές στις οποίες υποβλήθηκαν τα δοκίμια.

Παρουσιάζεται η μεταβολή της αντοχής σε κάμψη (σχήματα 7.7.1 και 7.7.2), και σε θλίψη (σχήματα 7.7.3 και 7.7.4), σε σχέση με το ποσοστό του τσιμέντου και το ποσοστό γαλακτώματος στο μίγμα.

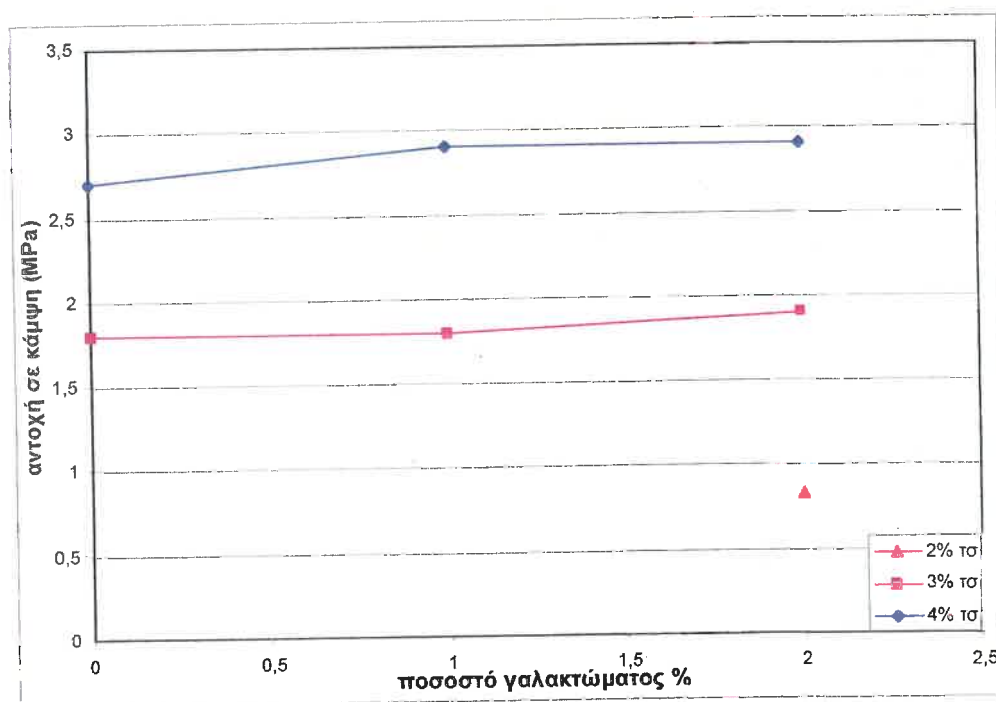
Όσον αφορά την αντοχή σε κάμψη, παρατηρείται μια τεράστια αύξηση αυτής, όταν αυξάνεται το ποσοστό του τσιμέντου στο μίγμα, από 2% σε 3% και 4%, ενώ η αύξηση είναι ασήμαντη για αύξηση του ποσοστού του γαλακτώματος από 0% σε 1% και 2%.

Αναφορικά με την αντοχή σε θλίψη παρατηρείται σημαντική αύξηση αυτής με την αύξηση του ποσοστού του τσιμέντου από 2% σε 3% και 4%, ενώ για αύξηση του ποσοστού γαλακτώματος από 0% σε 1% και 2% η αντοχή αυτή μειώνεται σταδιακά.

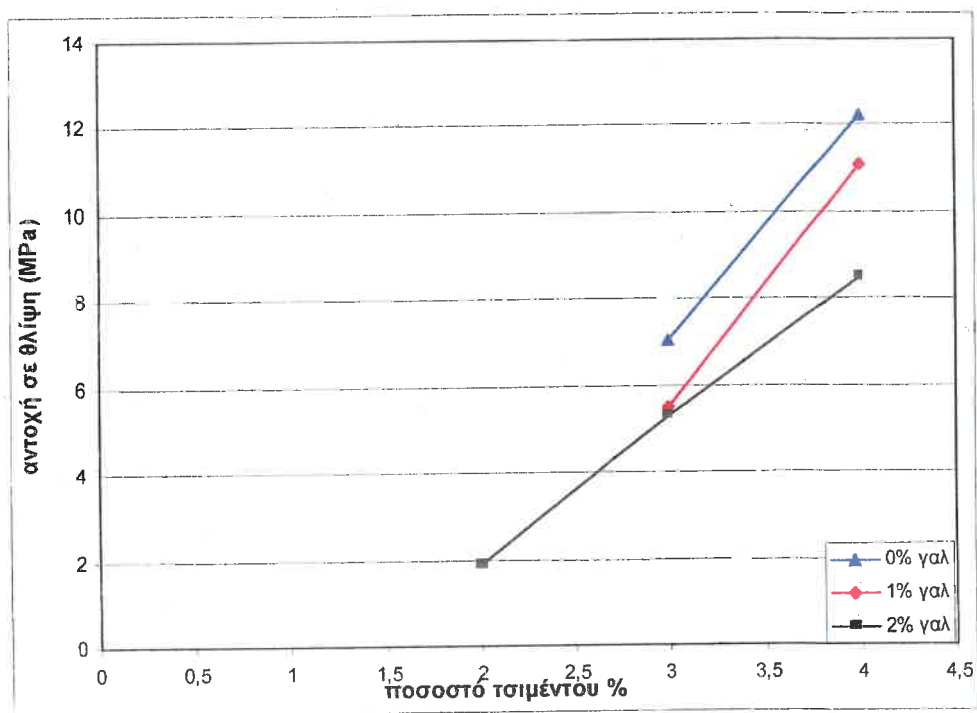
Στα σχήματα 7.7.5 ως 7.7.10 γίνεται συσχέτιση των διαφόρων αντοχών (σε κάμψη, σε θλίψη, σε ισοδύναμο κύβο και σε εφελκυσμό από διάρρηξη). Παρ'όλο που τα υλικά που εξετάστηκαν έχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους ως προς τη σύνθεση, ο συσχετισμός των διαφόρων αντοχών μεταξύ τους παρουσιάζει καλό συντελεστή R^2 (από 0,82 ως 0,97), εκτός από την περίπτωση της αντοχής σε κάμψη προς την αντοχή ισοδύναμου κύβου που παρουσιάζει μειωμένο συντελεστή ($R^2=0,66$).



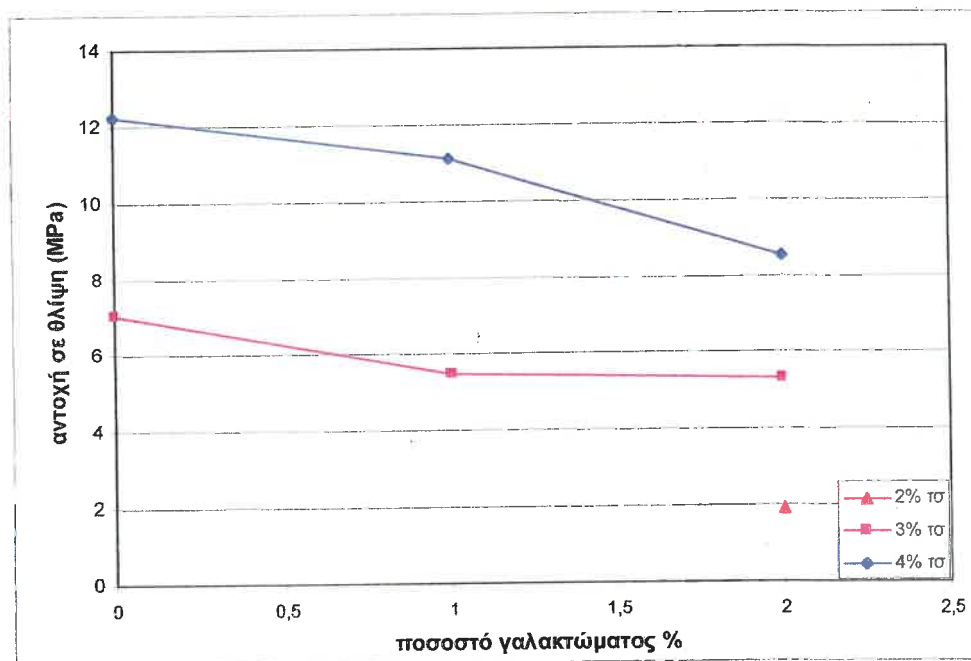
Σχήμα 7.7.1: Διάγραμμα της αντοχής σε κάμψη σε σχέση με το ποσοστό τσιμέντου στο μίγμα.



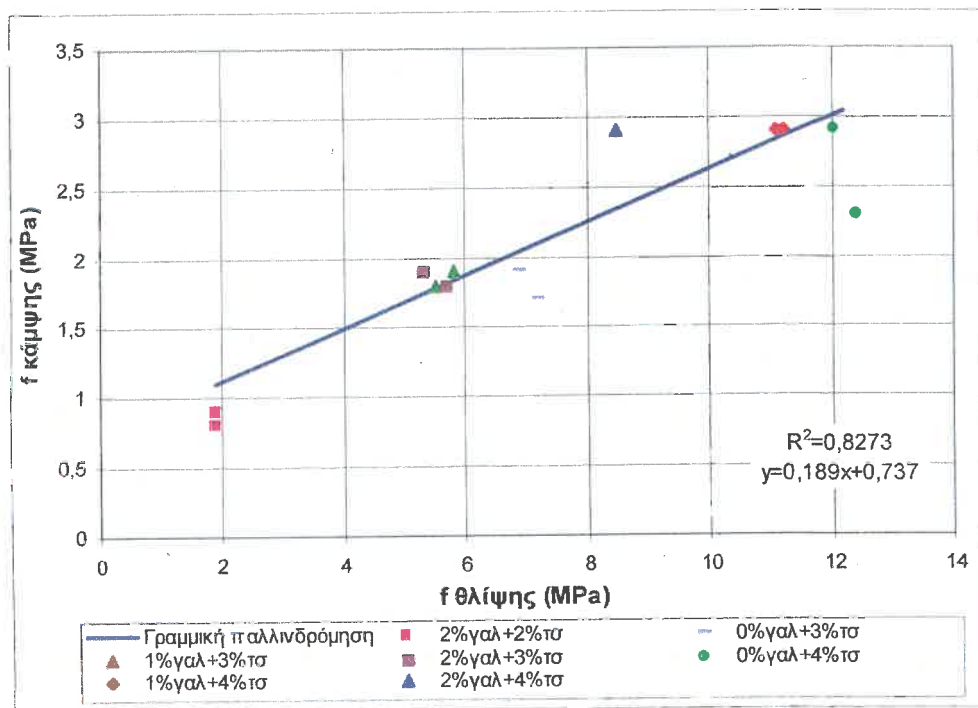
Σχήμα 7.7.2: Διάγραμμα της αντοχής σε κάμψη σε σχέση με το ποσοστό ασφαλτικού γαλακτώματος στο μίγμα.



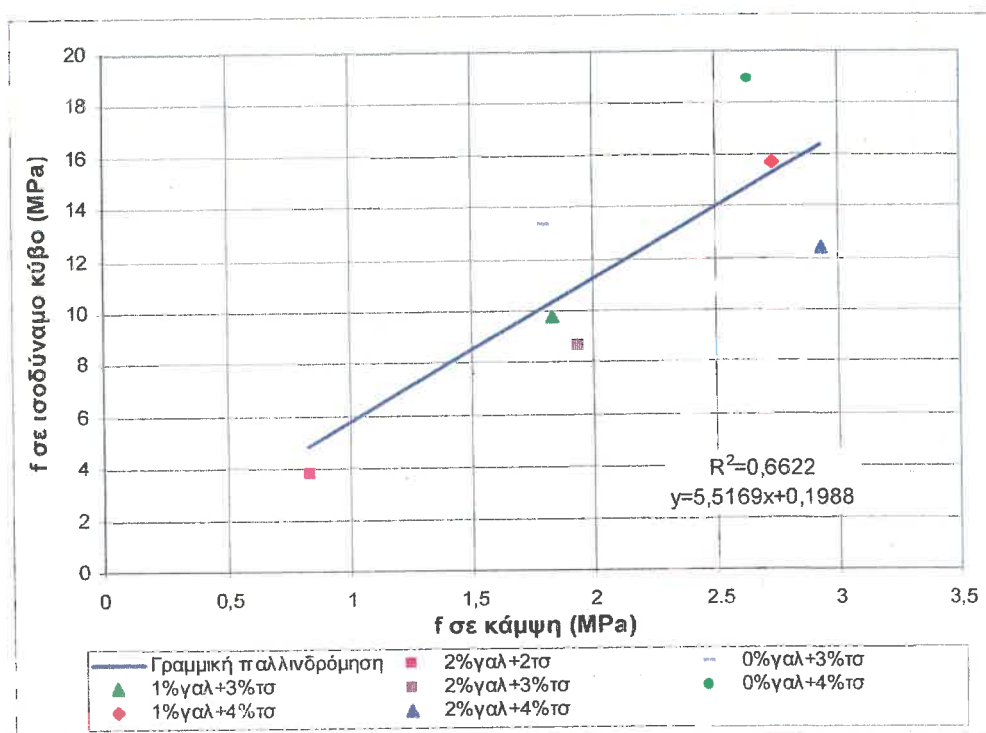
Σχήμα 7.7.3: Διάγραμμα της αντοχής σε θλίψη σε σχέση με το ποσοστό τσιμέντου στο μίγμα.



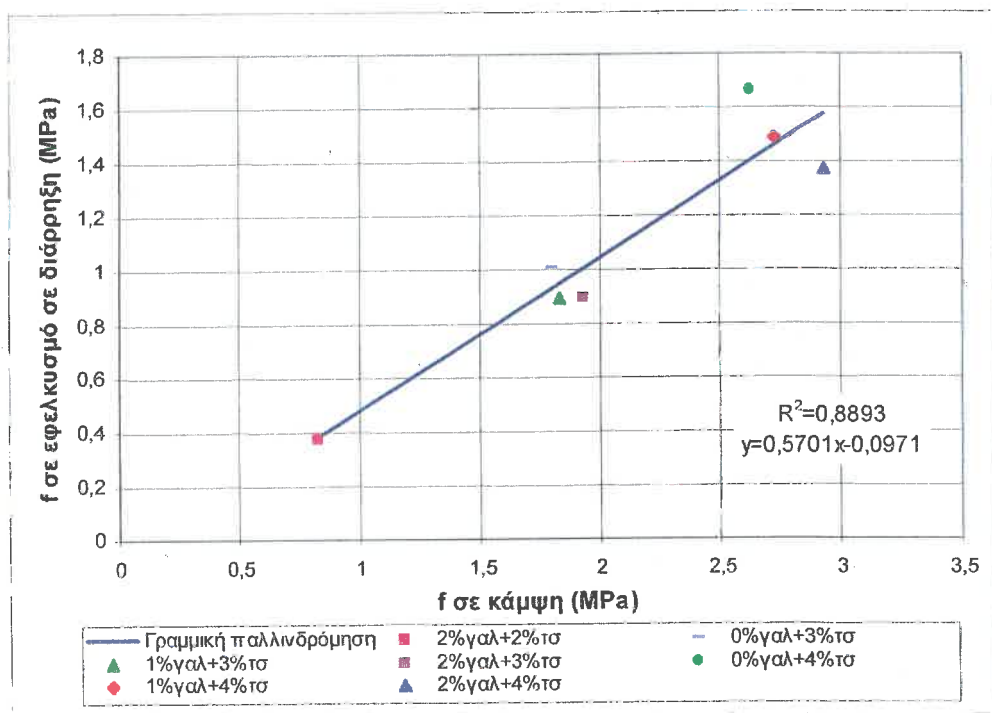
Σχήμα 7.7.4: Διάγραμμα της αντοχής σε θλίψη σε σχέση με το ποσοστό γαλακτώματος στο μίγμα.



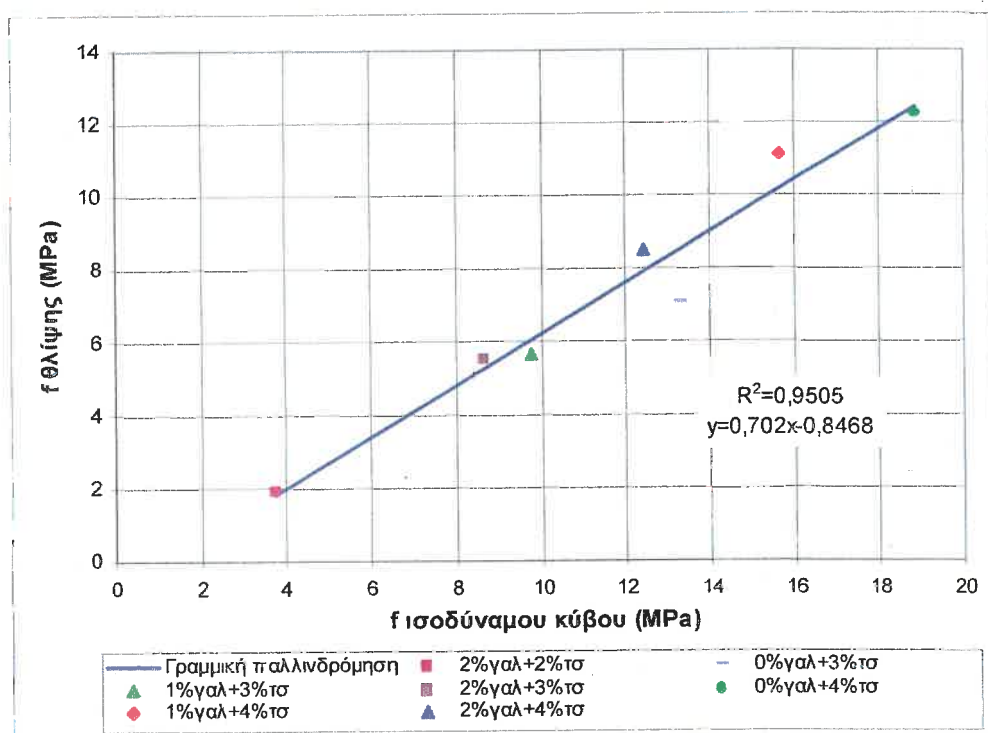
Σχήμα 7.7.5:Διάγραμμα αντοχής σε θλίψη σε σχέση με την αντοχή σε κάμψη.



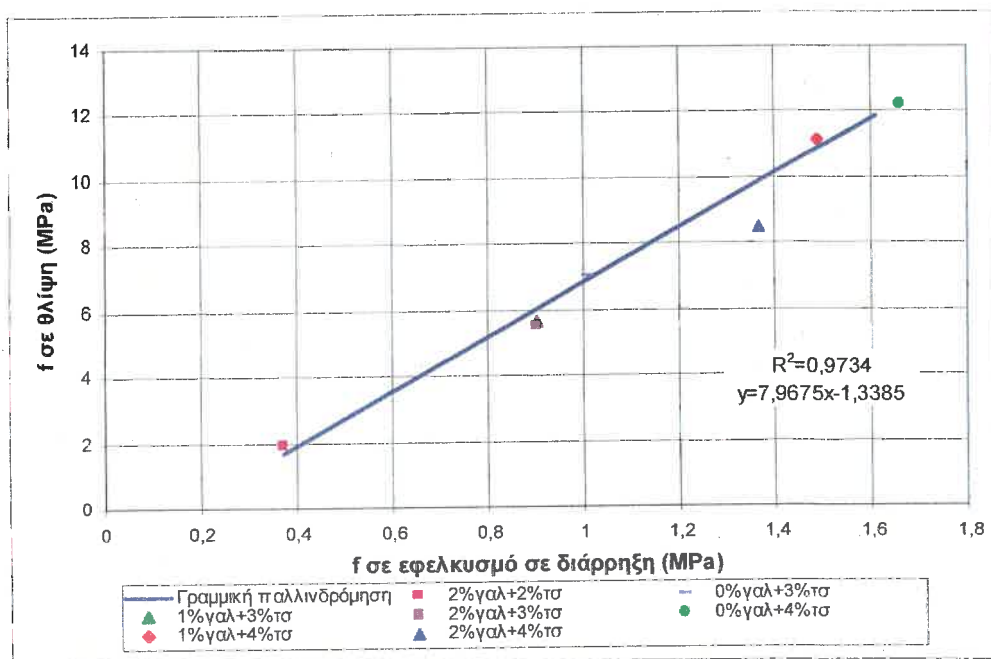
Σχήμα 7.7.6:Διάγραμμα αντοχής σε κάμψη σε σχέση με την αντοχή σε ισοδύναμο κύβο.



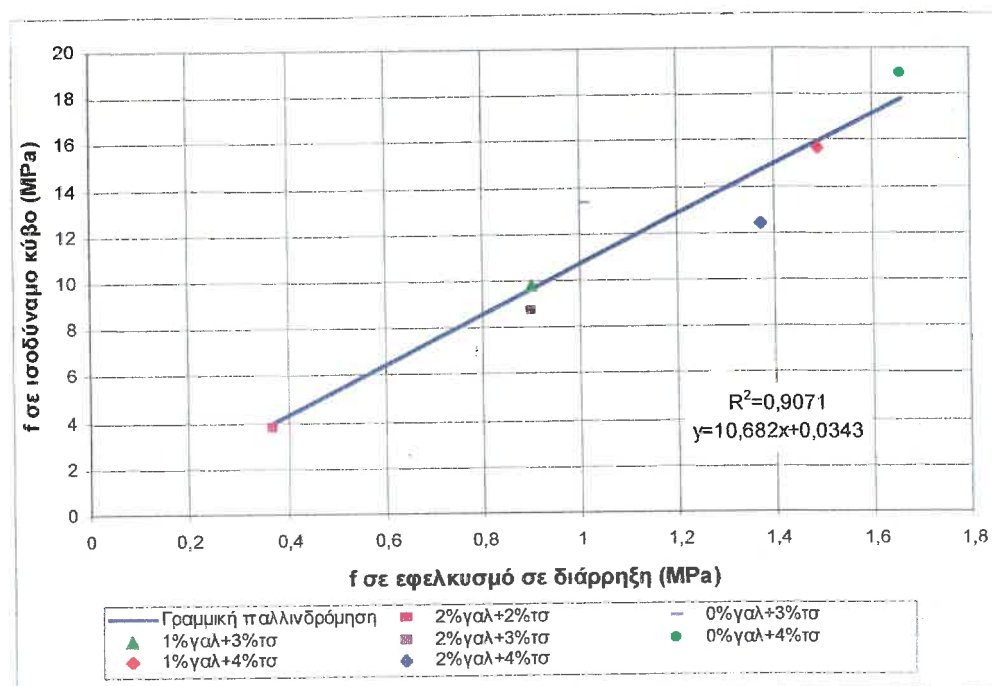
Σχήμα 7.7.7: Διάγραμμα αντοχής σε κάμψη σε σχέση με την αντοχή σε εφελκυσμό σε διάρρηξη.



Σχήμα 7.7.8: Διάγραμμα αντοχής σε ισοδύναμο κύβο σε σχέση με την αντοχή σε θλίψη.



Σχήμα 7.7.9: Διάγραμμα αντοχής σε εφελκυσμό σε σχέση με την αντοχή σε θλίψη.



Σχήμα 7.7.10: Διάγραμμα αντοχής σε εφελκυσμό σε σχέση με την αντοχή σε ισοδύναμο κύβο.

7.8 Επιρρέπεια σε ρηγμάτωση

Έχει βρεθεί από μελέτες [3], ότι ο συντελεστής που δίνει την πτώση της θερμοκρασίας (t) σε ένα υλικό είναι ανάλογος του λόγου αντοχή/μέτρο ελαστικότητας (f/E) του υλικού. Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο κεφάλαιο 2, οι πτώσεις της θερμοκρασίας, ακόμη και όταν είναι μικρές, προκαλούν ρηγμάτωση του υλικού, ειδικά στα πρώιμα στάδια της ζωής του. Επομένως όταν σε ένα υλικό συμβαίνουν θερμοκρασιακές μειώσεις, αυτό γίνεται πιο επιρρεπές σε ρηγμάτωση. Όταν όμως μειώνεται η θερμοκρασία, τότε μειώνεται και ο λόγος (f/E) και άρα όσο πιο μικρός είναι ο λόγος αυτός, τόσο πιο επιρρεπές σε ρηγμάτωση γίνεται το υλικό.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, σχολιάζοντας τα σχήματα 7.8.1 και 7.8.2 που δίνουν τη μεταβολή του λόγου (f/E) σε κάμψη και θλίψη, σε σχέση με το ποσοστό του τσιμέντου για κάθε μίγμα που περιέχει 0%, 1%, 2% γαλακτώμα, εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα για την επιρρέπεια σε ρηγμάτωση των υλικών.

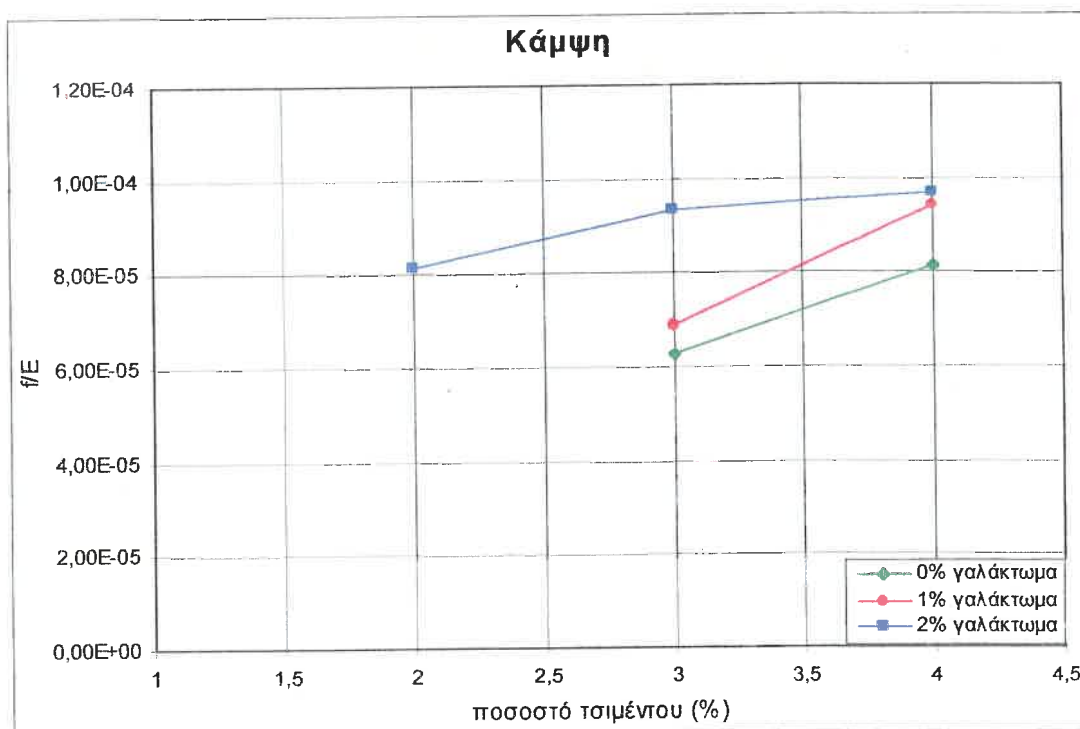
Στο σχήμα 7.8.1 φαίνεται η μεταβολή του λόγου (f/E) σε κάμψη σε σχέση με το ποσοστό του τσιμέντου σε κάθε μίγμα. Είναι φανερό ότι ο λόγος αυτός αυξάνεται όσο αυξάνεται το τσιμέντο, όπως επίσης αυξάνεται με την αύξηση του γαλακτώματος. Σε σχέση με τα ποσοστά του γαλακτώματος φαίνεται ότι για 0% και 1% γαλακτώμα, ο λόγος (f/E) αυξάνεται σημαντικά για αύξηση του ποσοστού του τσιμέντου, ενώ για 2% γαλακτώμα και σταδιακή αύξηση του ποσοστού του τσιμέντου, η αύξηση του (f/E) είναι μικρότερη και πιο ήπια.

Στο σχήμα 7.8.2 φαίνεται η μεταβολή του λόγου (f/E) σε θλίψη, σε σχέση με το ποσοστό τσιμέντου για κάθε μίγμα. Ο λόγος αυτός αυξάνεται με την αύξηση του ποσοστού του τσιμέντου, ενώ μειώνεται με την αύξηση του ποσοστού γαλακτώματος, κάτι που έρχεται σε αντίθεση με όσα συμβαίνουν στην κάμψη.

Γενικά η αντοχή σε θλίψη δεν είναι αντιπροσωπευτική της επιρρέπειας σε ρηγμάτωση των υλικών, σε αντίθεση με την αντοχή σε κάμψη, ή ακόμα και την αντοχή σε εφελκυσμό. Επομένως το συμπέρασμα που θα μπορούσε να εξαχθεί από τα στοιχεία της κάμψης, είναι ότι όσο αυξάνεται το ποσοστό του τσιμέντου, μειώνεται η επιρρέπεια σε ρηγμάτωση των υλικών, αφού αυξάνεται ο (f/E), ενώ το ίδιο συμβαίνει και με την αύξηση του γαλακτώματος. (προσθήκη αυτού σε μικρά ποσοστά)

Πίνακας 7.8.1 : Αντοχές και μέτρα ελαστικότητας σε κάμψη και ο λόγος αυτών.

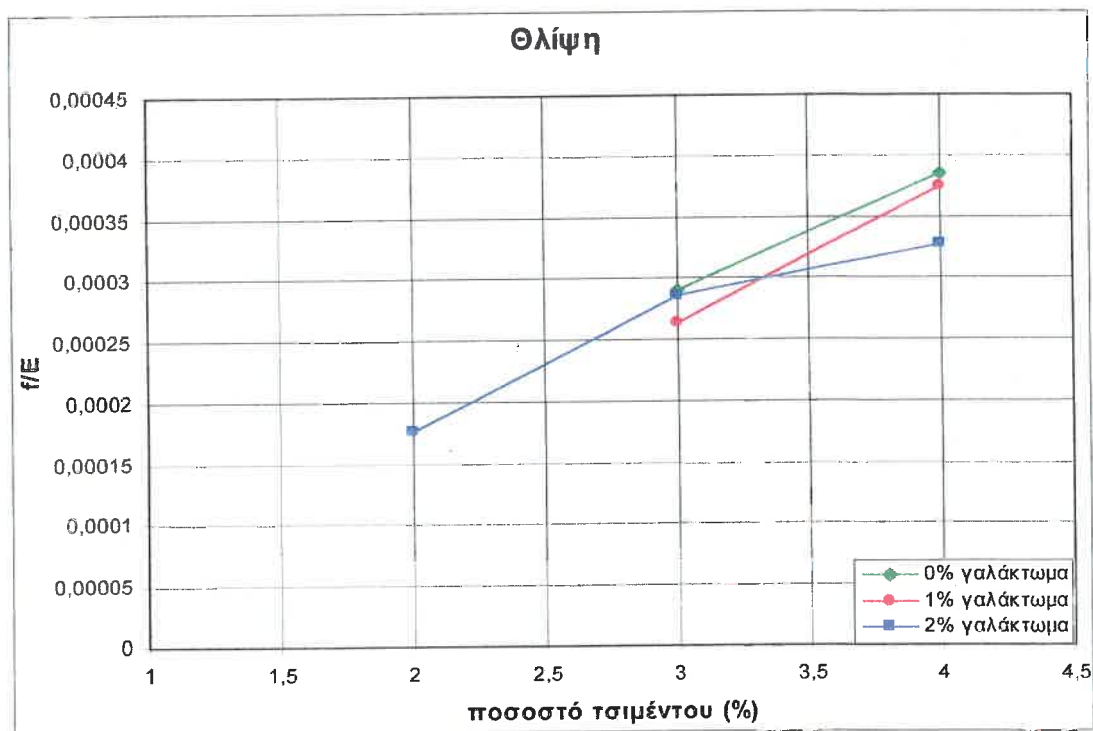
	γαλάκτωμα %	τσιμέντο %	$f_{\text{κάμψης}}$ MPa	$E_{\text{κάμψης}}$ MPa	f/E
μίγμα 1ο 2% γαλάκτωμα 2% τσιμέντο	2	2	0,83	10200	8,14E-05
μίγμα 2ο 1%γαλάκτωμα 3% τσιμέντο	1	3	1,83	26500	6,91E-05
μίγμα 3ο 0% γαλάκτωμα 3% τσιμέντο	0	3	1,8	28700	6,27E-05
μίγμα 4ο 0% γαλάκτωμα 4% τσιμέντο	0	4	2,63	32300	8,14E-05
μίγμα 5ο 2% γαλάκτωμα 3% τσιμέντο	2	3	1,93	20700	9,32E-05
μίγμα 6ο 1% γαλάκτωμα 4% τσιμέντο	1	4	2,73	29000	9,41E-05
μίγμα 7ο 2% γαλάκτωμα 4% τσιμέντο	2	4	2,93	30300	9,67E-05



Σχήμα 7.8.1: Μεταβολή του λόγου (f/E) σε σχέση με το ποσοστό του τσιμέντου.

Πίνακας 7.8.2 : Αντοχές και μέτρα ελαστικότητας σε θλίψη και ο λόγος αυτών.

	γαλάκτωμα %	τσιμέντο %	$f_{\theta\lambda\iota\psi\eta\varsigma}$ MPa	$E_{\theta\lambda\iota\psi\eta\varsigma}$ MPa	f/E
μίγμα 1ο 2% γαλάκτωμα 2% τσιμέντο	2	2	1,9	10800	1,76E-04
μίγμα 2ο 1% γαλάκτωμα 3% τσιμέντο	1	3	5,65	21500	2,63E-04
μίγμα 3ο 0% γαλάκτωμα 3% τσιμέντο	0	3	7,05	24300	2,90E-04
μίγμα 4ο 0% γαλάκτωμα 4% τσιμέντο	0	4	12,22	31800	3,84E-04
μίγμα 5ο 2% γαλάκτωμα 3% τσιμέντο	2	3	5,5	19300	2,85E-04
μίγμα 6ο 1% γαλάκτωμα 4% τσιμέντο	1	4	11,16	29800	3,74E-04
μίγμα 7ο 2% γαλάκτωμα 4% τσιμέντο	2	4	8,5	26000	3,27E-04



Σχήμα 7.8.2 : Μεταβολή του λόγου (f/E) σε σχέση με το ποσοστό του τσιμέντου.

7.9 Συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Τα γενικά συμπεράσματα από την έρευνα συνοψίζονται ως εξής:

1. Η αύξηση του τσιμέντου επιφέρει μεγάλη αύξηση της αντοχής σε κάμψη, καθώς και μεγάλη αύξηση της αντοχής σε θλίψη. Σημαντική είναι η αύξηση του μέτρου ελαστικότητας τόσο σε θλίψη όσο και σε κάμψη με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου, ενώ στην ίδια περίπτωση παρατηρείται αύξηση του μέγιστου βέλους κάμψης στη δοκιμή κάμψης, όπως επίσης και της μέγιστης ανηγμένης παραμόρφωσης στη δοκιμή θλίψης.
2. Η αύξηση του ποσοστού του ασφατικού γαλακτώματος στο μίγμα επιφέρει:
α) μικρή αύξηση της αντοχής σε κάμψη ενώ η αντοχή σε θλίψη μειώνεται σταδιακά, β) μείωση του μέτρου ελαστικότητας σε θλίψη και σε κάμψη, γ) αύξηση των μέγιστων βελών κάμψης στη δοκιμή κάμψης.
3. Κατά την επαναλαμβανόμενη φόρτιση παρατηρήθηκε μια προϊούσα αύξηση των παραμενουσών παραμορφώσεων κατά τους πρώτους κύκλους και μετά μείωση και σταθεροποίηση αυτών.
4. Παρατηρήθηκε καλός συσχετισμός μεταξύ των αντοχών στις διάφορες δοκιμές (θλίψη, κάμψη, ισοδύναμος κύβος, αντιδιαμετρική θλίψη) παρά το εύρος των διαφορετικών ποσοστών των συνδετικών υλικών (τσιμέντο, γαλάκτωμα) στα μίγματα που εξετάστηκαν. Οι τιμές του R^2 που λήφθηκαν ήταν από 0,82 ως 0,97 και μειωμένος R^2 (0,66) παρατηρήθηκε μόνο στη συσχέτιση f κάμψης με f σε ισοδύναμο κύβο.
5. Ο λόγος $f_{\text{κάμψης}}/E_{\text{κάμψης}}$ που είναι παράγοντας που επηρεάζει την επιρρέπεια σε ρηγμάτωση βρέθηκε ότι με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου στο μίγμα αυξάνεται. Συνεπώς μειώνεται η επιρρέπεια σε ρηγμάτωση του υλικού, ενώ για το ίδιο ποσοστό τσιμέντου, η αύξηση του γαλακτώματος φαίνεται ότι επιφέρει αύξηση του λόγου, αλλά απαιτούνται περισσότερες δοκιμές για να δοθούν αξιόπιστα συμπεράσματα.

Προτείνεται για τη συνέχεια, η βελτίωση του συστήματος καταγραφής του βέλους κάμψης στη δοκιμή κάμψης και κυρίως η βελτίωση της γέφυρας στήριξης των μηχανοσυστημάτων. Η κατεργασία θραυστών αδρανών υλικών με συνδιασμό τσιμέντου και μικρών σχετικά ποσοτήτων ασφατικού γαλακτώματος δημιουργεί υλικά με ιδιότητες οι οποίες πιστεύεται ότι πρέπει να μελετηθούν λεπτομερέστερα σε ένα

μεγαλύτερο εύρος σταθεροποιητών (τσιμέντου, γαλακτώματος) και με διερεύνηση της επιρροής της κοκκομετρικής διαβάθμισης και της θερμοκρασίας.

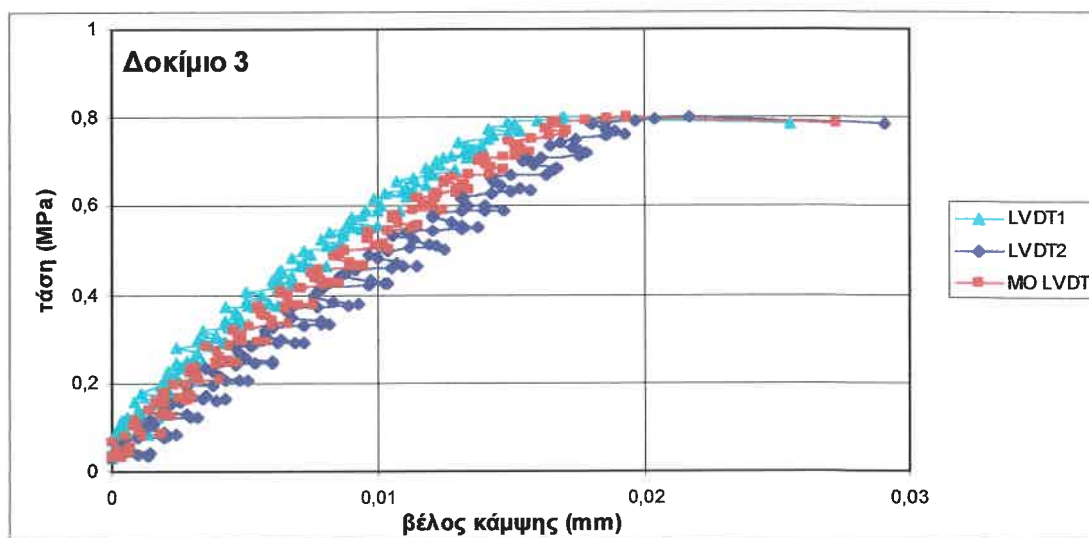
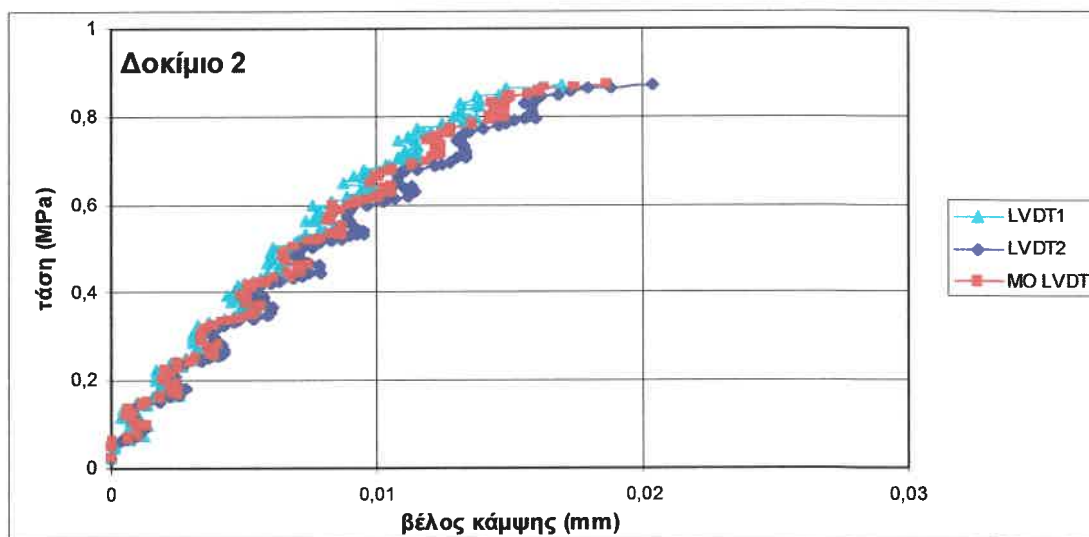
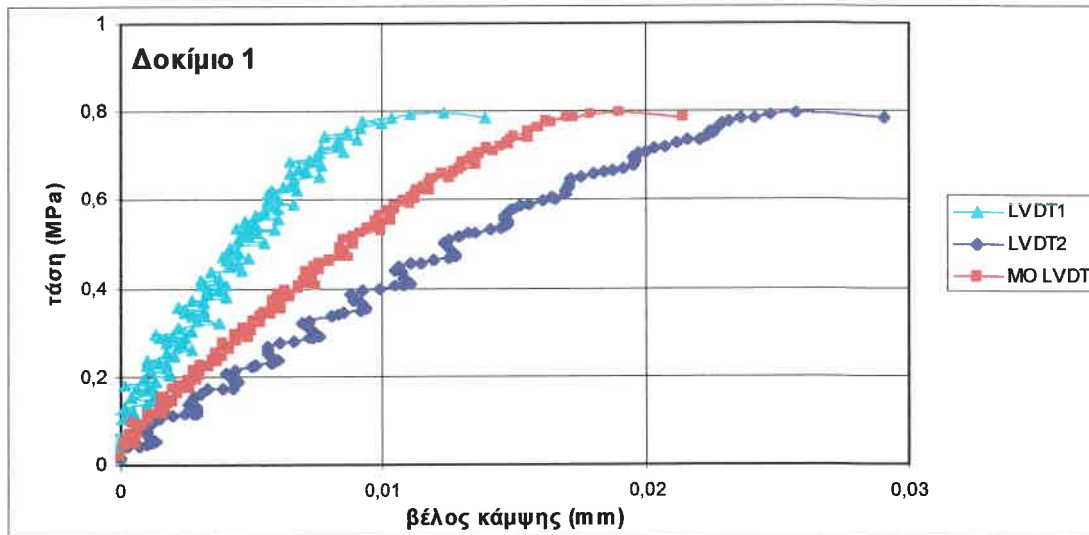
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. S. Kolias, The performance of pavements incorporating layers of hydraulically bound granular materials of low strength., Induced cracking of cement – bound bases, International workshop, Vienna, Febr. 3, 2000.
2. G. D. Taylor and R. I. T. Williams, Restrained thermal contraction in lean concrete roadbases. , Highways & Public Works, July 1981.
3. R. I. T. Williams, Cement treated pavements, Elsevier applied science publishers, 1986.
4. Αθ. Φ. Νικολαΐδης , Οδοποιία – Οδοστρώματα – Υλικά – Έλεγχος ποιότητας. , 1996.
5. ΠΤΠ Α 202 , Ασφαλτικά αλκαλικά γαλακτώματα (Ψυχραί άσφαλτοι) , ΥΠΕΧΩΔΕ
6. ΠΤΠ Α 203 , Ασφαλτικά όξινα γαλακτώματα (Αντιυδροφίλου τύπου) , ΥΠΕΧΩΔΕ
7. Σ. Κόλιας , Α. Αυλωνίτη , Μ. Κατσάκου , Μηχανικά χαρακτηριστικά κατεργασμένων με τσιμέντο μιγμάτων αμμοχάλικου και φρεζαρισμένου ασφαλτομίγματος. 3^ο Διεθνές Συνέδριο Ασφαλτικά μίγματα και οδοστρώματα, Θεσσαλονίκη, 21-22 Νοεμβρίου 2002.
8. C. Avram et. al. , Concrete strength and strains. Elsevier, 1981.
9. A. Neville. Properties of Concrete. Longman 1995.
10. Σημειώσεις οδοστρωμάτων. Σ. Κόλιας-Α. Λοΐζος. Αθήνα 1999.
11. S. Kolias and R.I.T. Williams, Cement-bound road materials: strength and elastic properties measured in the laboratory. Transport and Road Research Laboratory,department of environment ,department of transport, supplementary report 344, Crowthorne-Berkshire 1978.

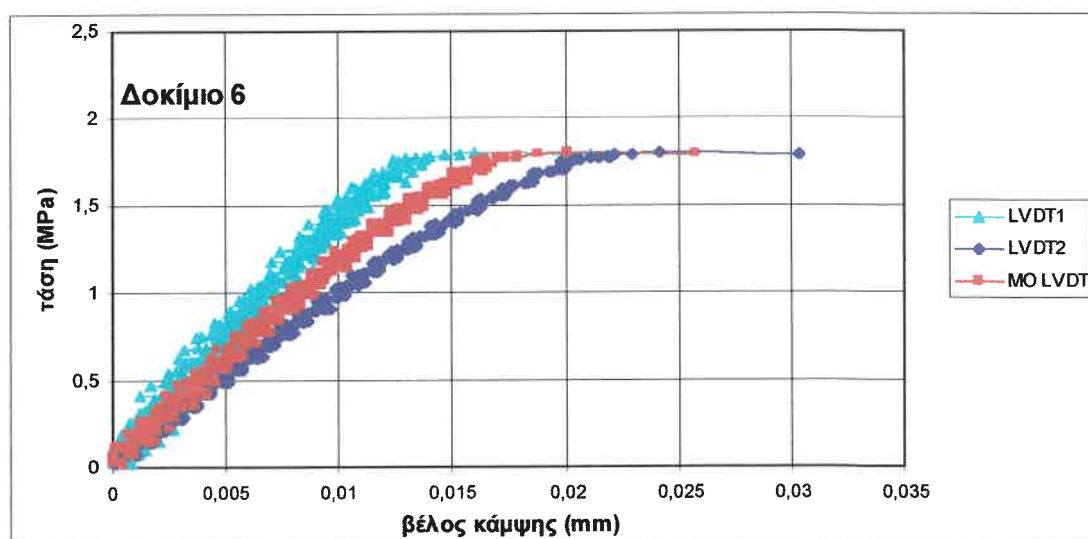
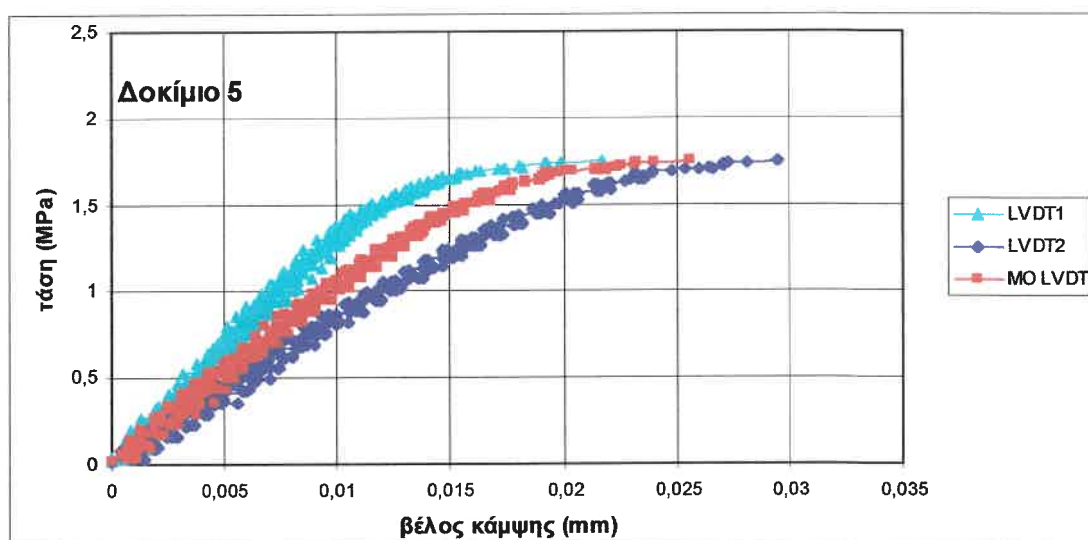
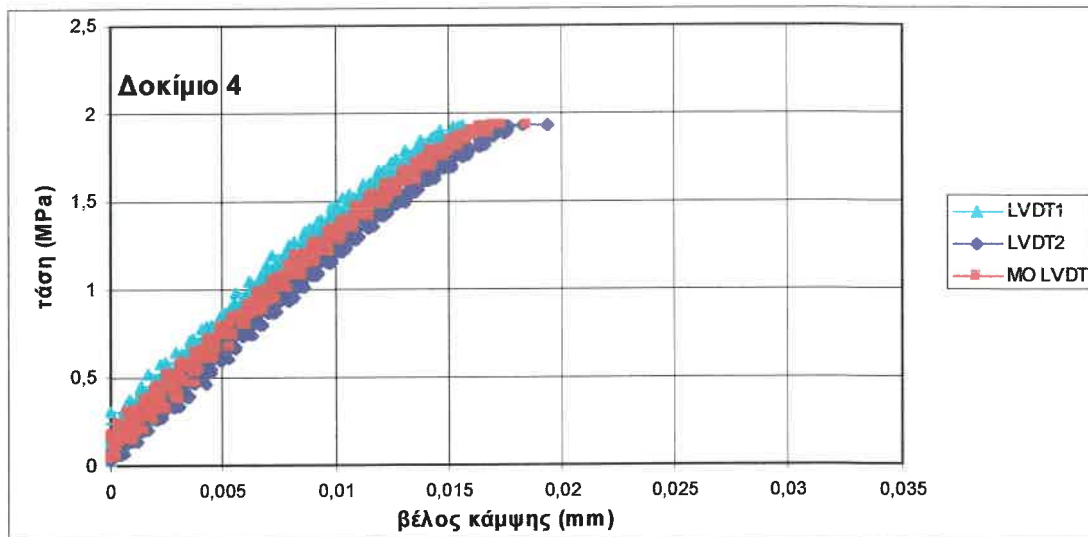
Παράρτημα

Παράρτημα Α

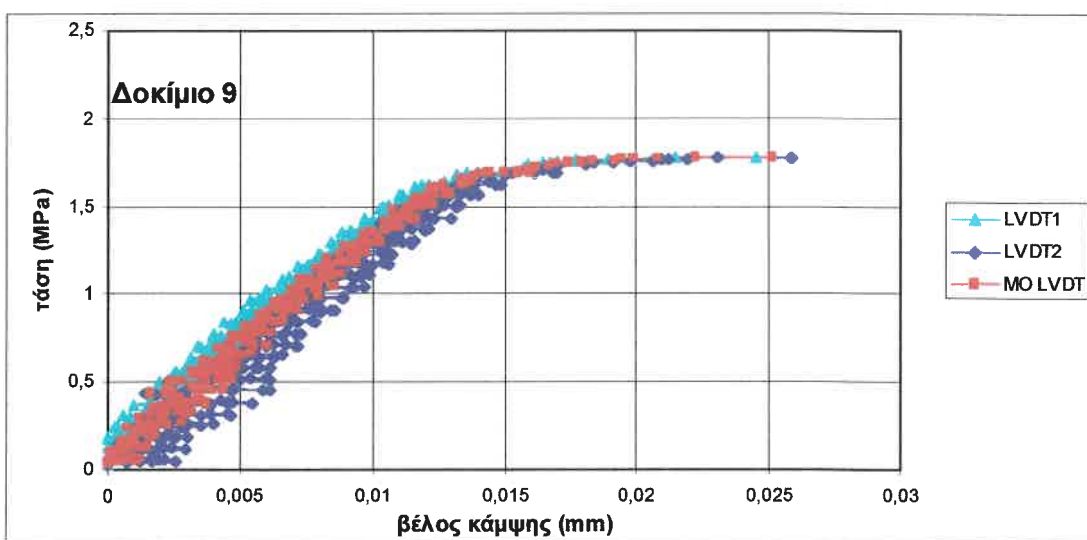
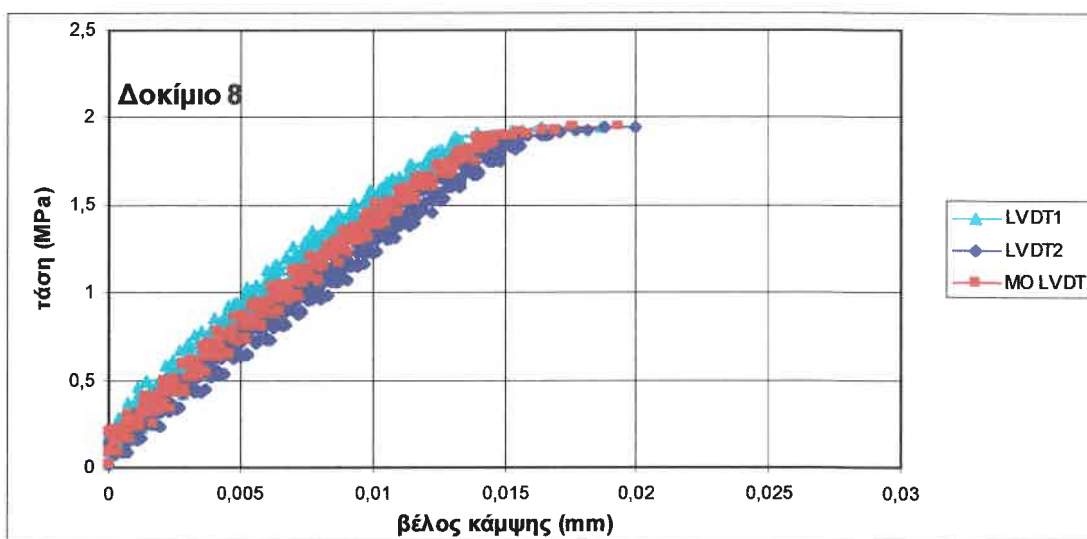
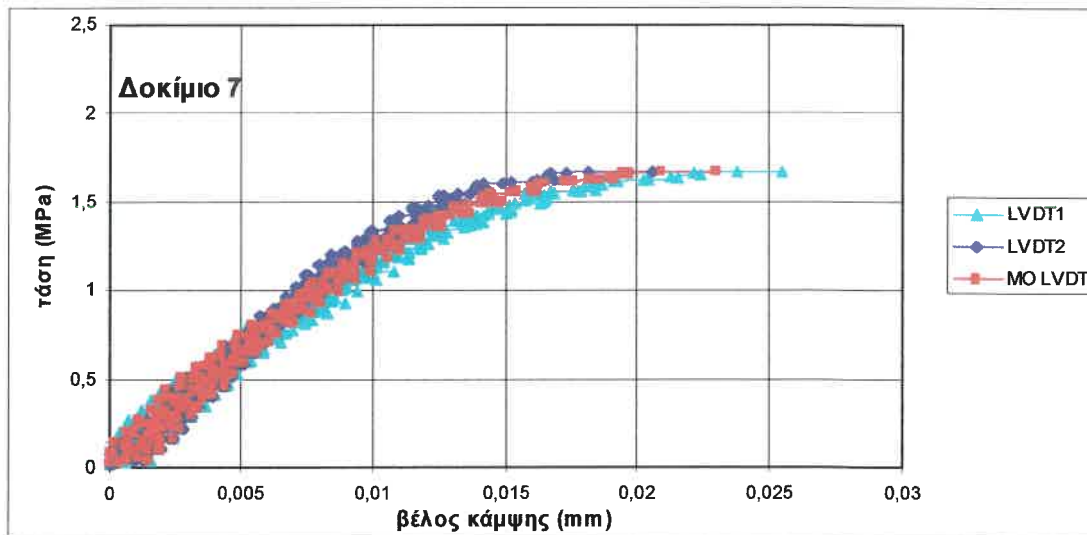
Στο παράρτημα αυτό, παρατίθενται τα διαγράμματα τάσης – βέλους κάμψης για κάθε μίγμα (3 δοκίμια σε κάθε μίγμα). Παρουσιάζονται οι μετρήσεις κάθε μηχανομετρου (LVDT), καθώς και ο μέσος όρος αυτών.



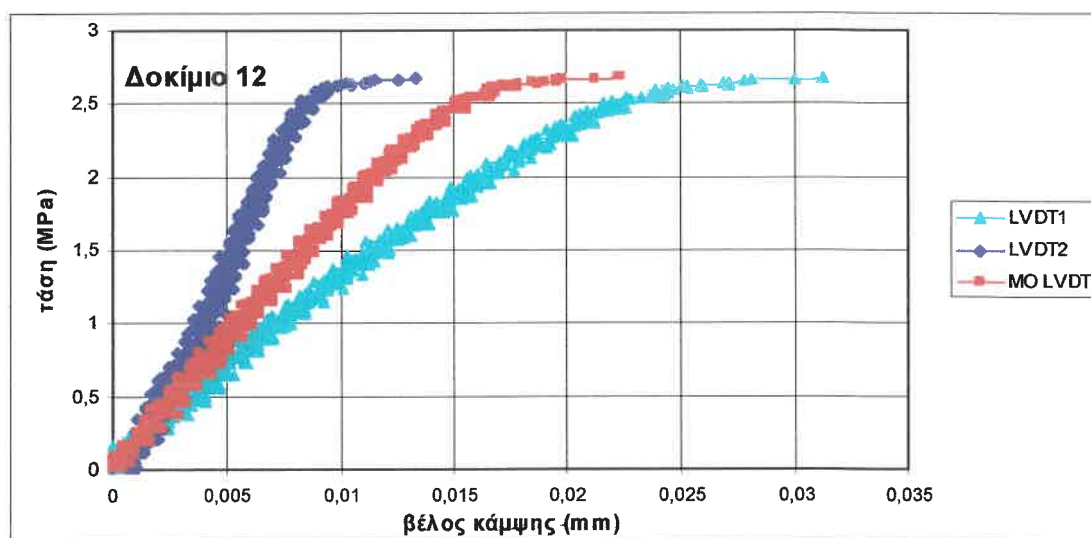
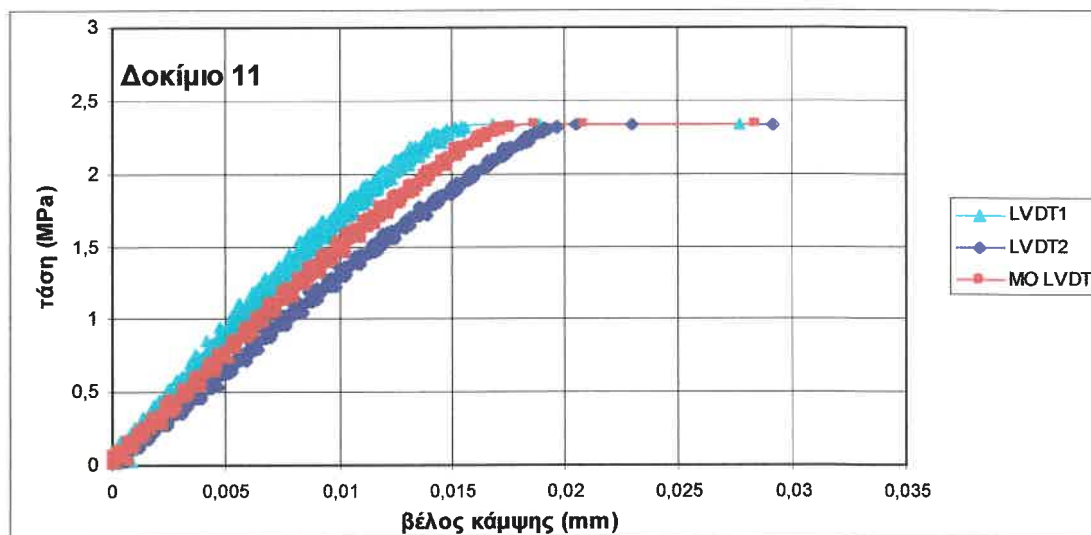
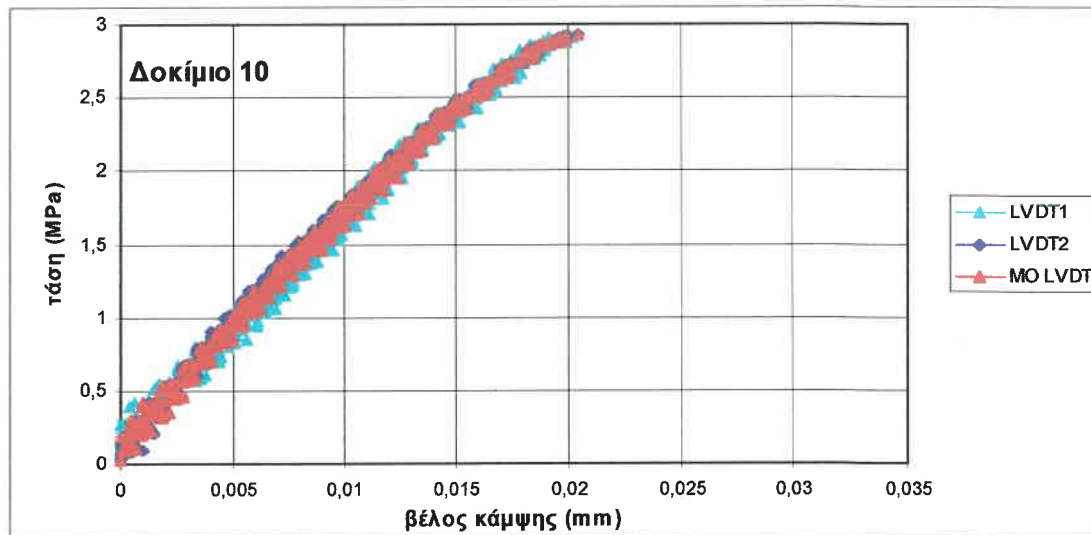
Σχήμα Α-1: Τάση – βέλος κάμψης για το μίγμα 2% γαλάκτωμα – 2% τσιμέντο. Παρουσιάζονται οι μετρήσεις κάθε μηκυνσιομέτρου, καθώς και ο μέσος όρος τους



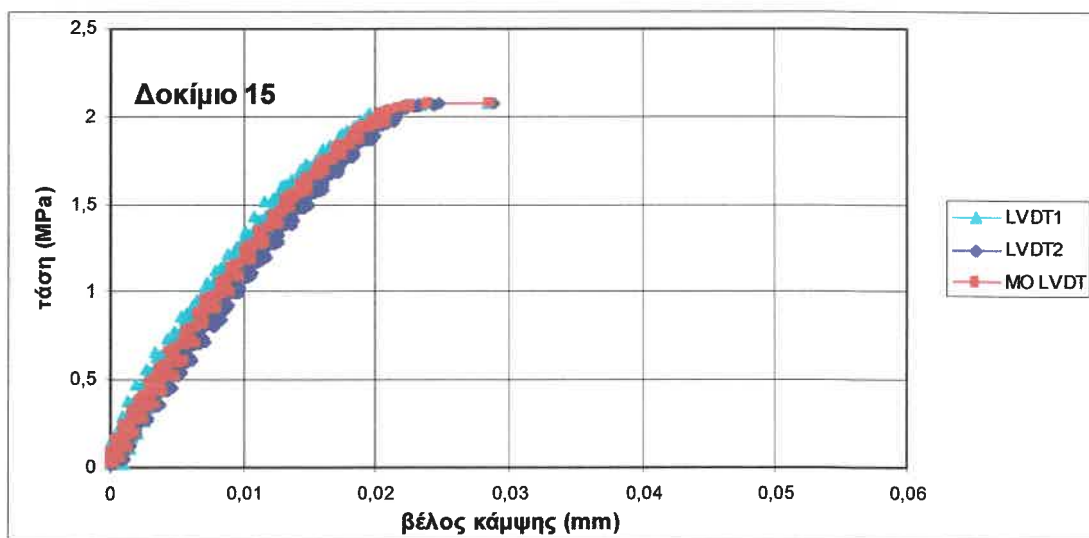
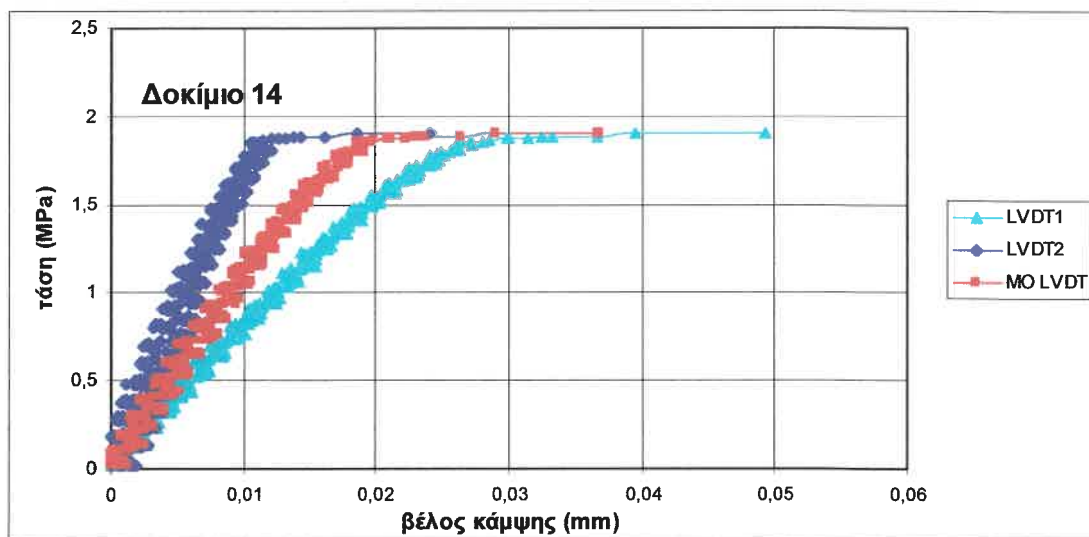
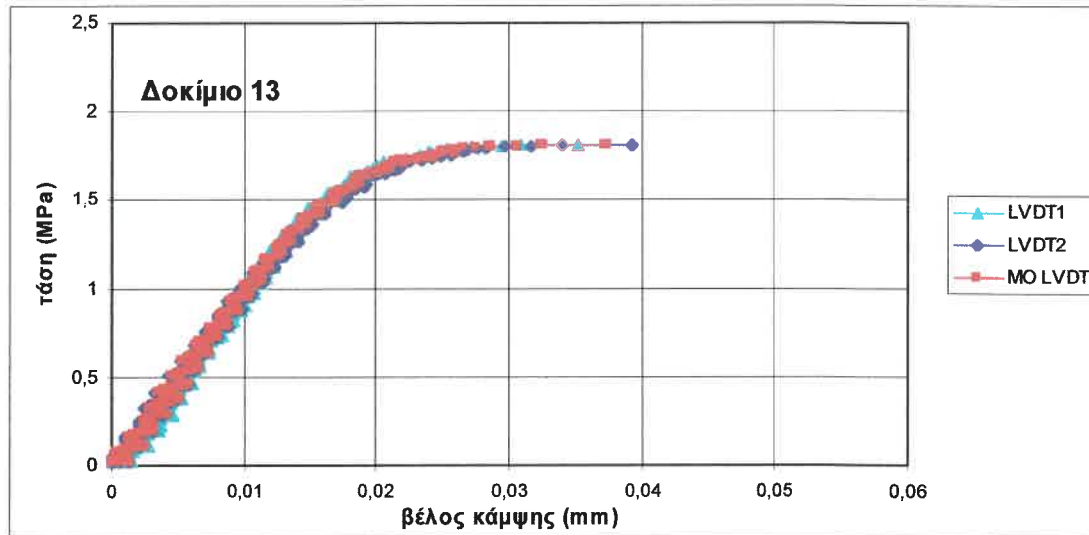
Σχήμα Α-2: Τάση – βέλος κάμψης για το μίγμα 1% γαλάκτωμα – 3% τσιμέντο. Παρουσιάζονται οι μετρήσεις κάθε μηχανομοέρου, καθώς και ο μέσος όρος τους



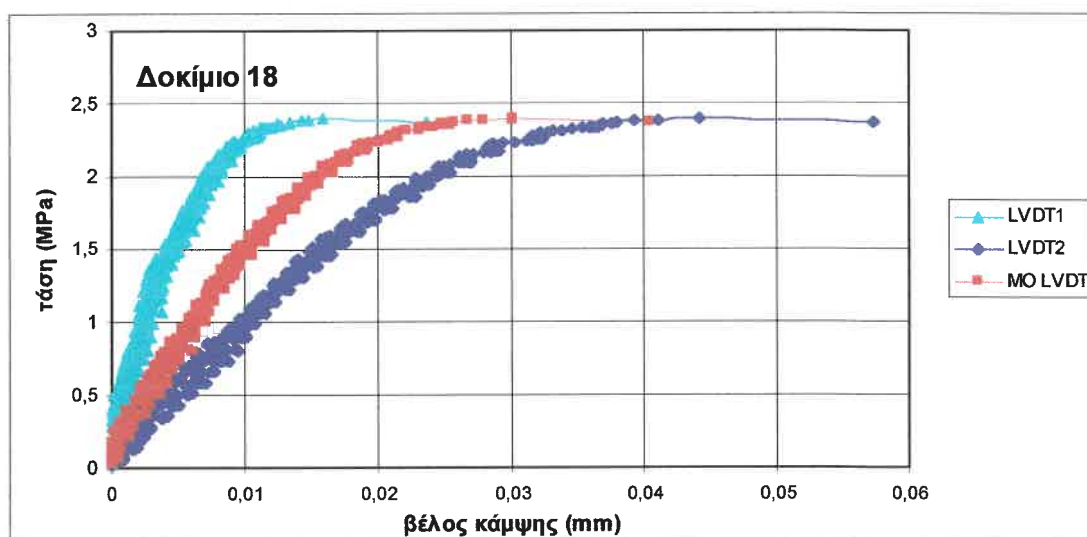
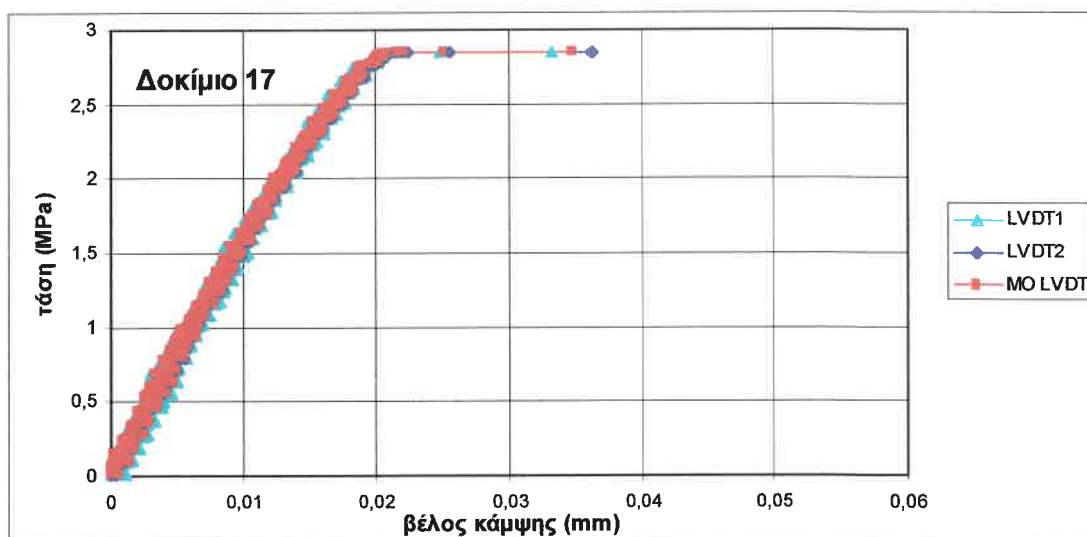
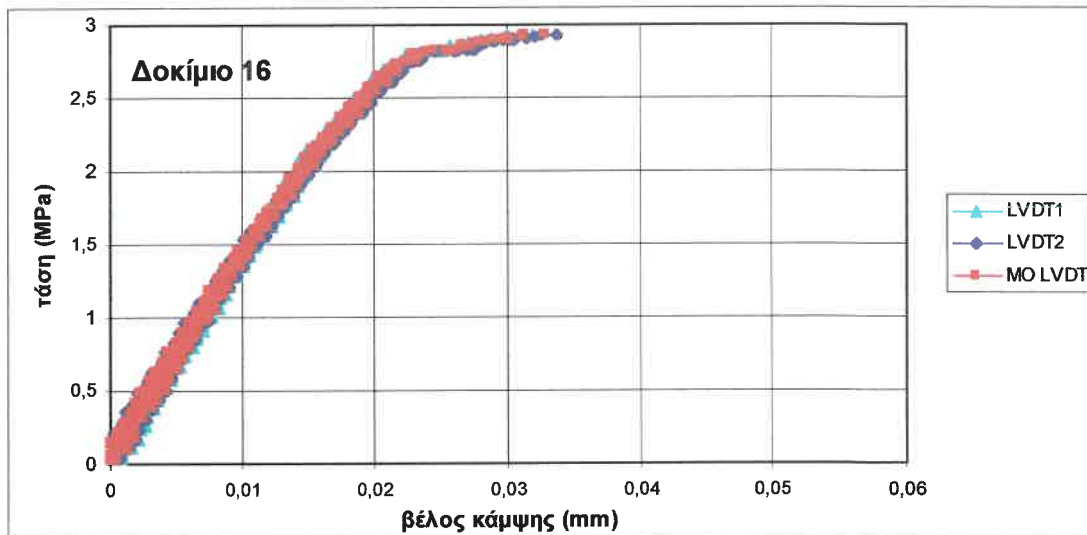
Σχήμα Α-3: Τάση – βέλος κάμψης για το μίγμα 0% γαλάκτωμα – 3% τσιμέντο. Παρουσιάζονται οι μετρήσεις κάθε μηχανοστοιχείου, καθώς και ο μέσος όρος τους



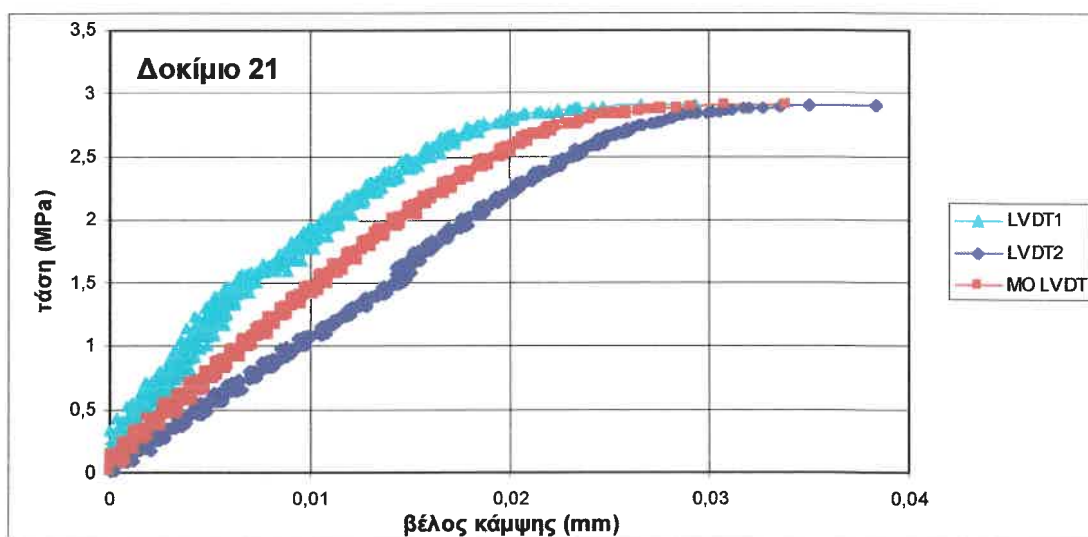
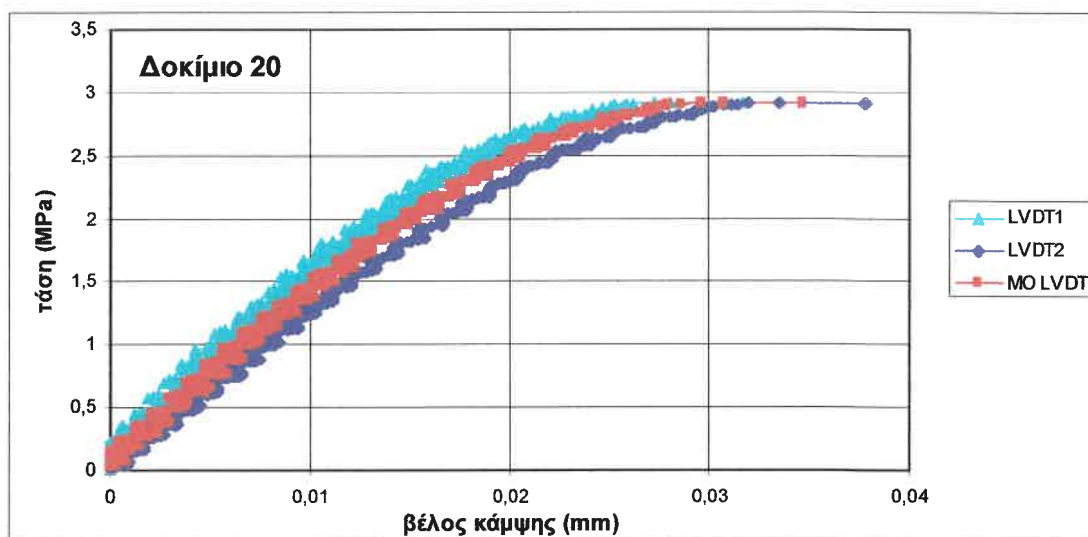
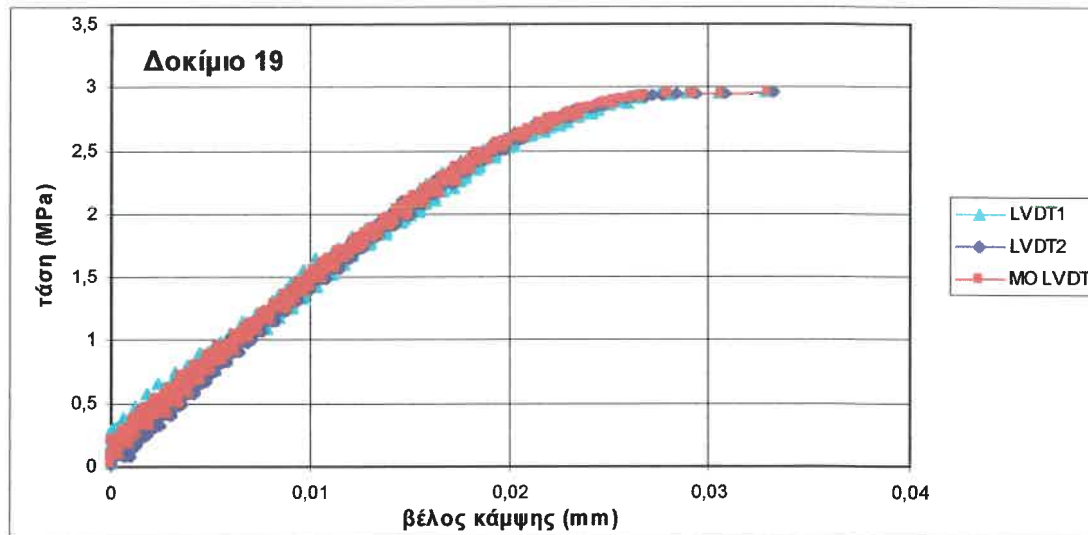
Σχήμα Α-4: Τάση – βέλος κάμψης για το μίγμα 0% γαλάκτωμα – 4% τσιμέντο. Παρουσιάζονται οι μετρήσεις κάθε μηχανομοέτρου, καθώς και ο μέσος όρος τους



Σχήμα Α-5: Τάση – βέλος κάμψης για το μίγμα 2% γαλάκτωμα – 3% τσιμέντο. Παρουσιάζονται οι μετρήσεις κάθε μηχανομομέτρου, καθώς και ο μέσος όρος τους



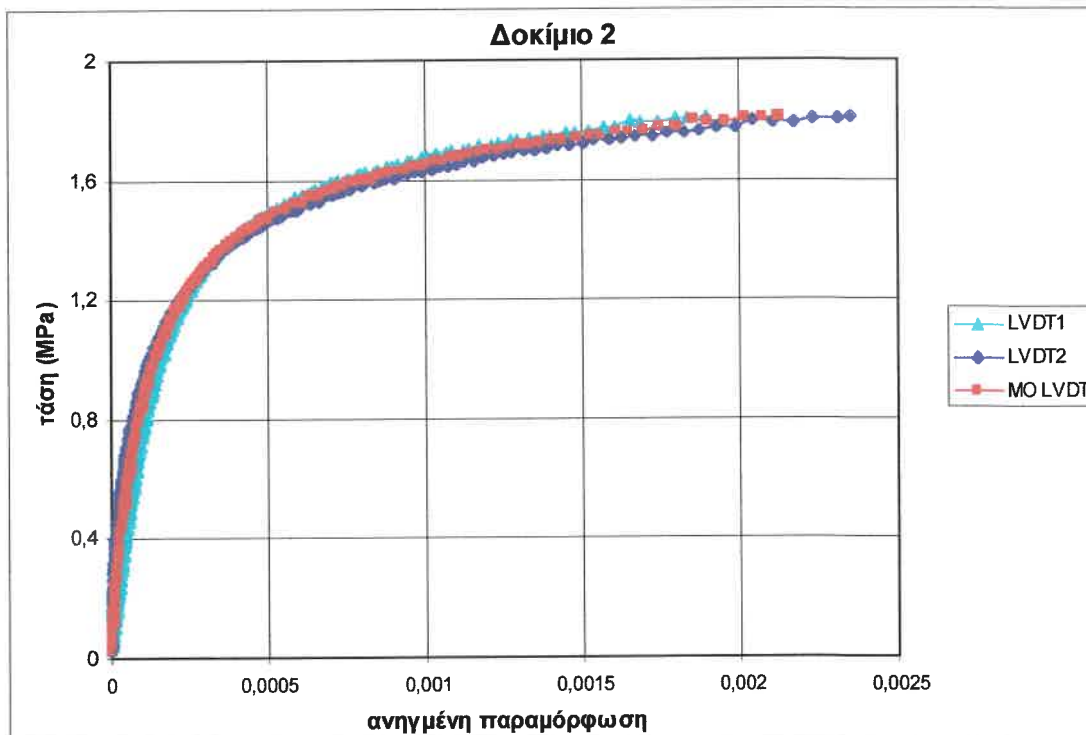
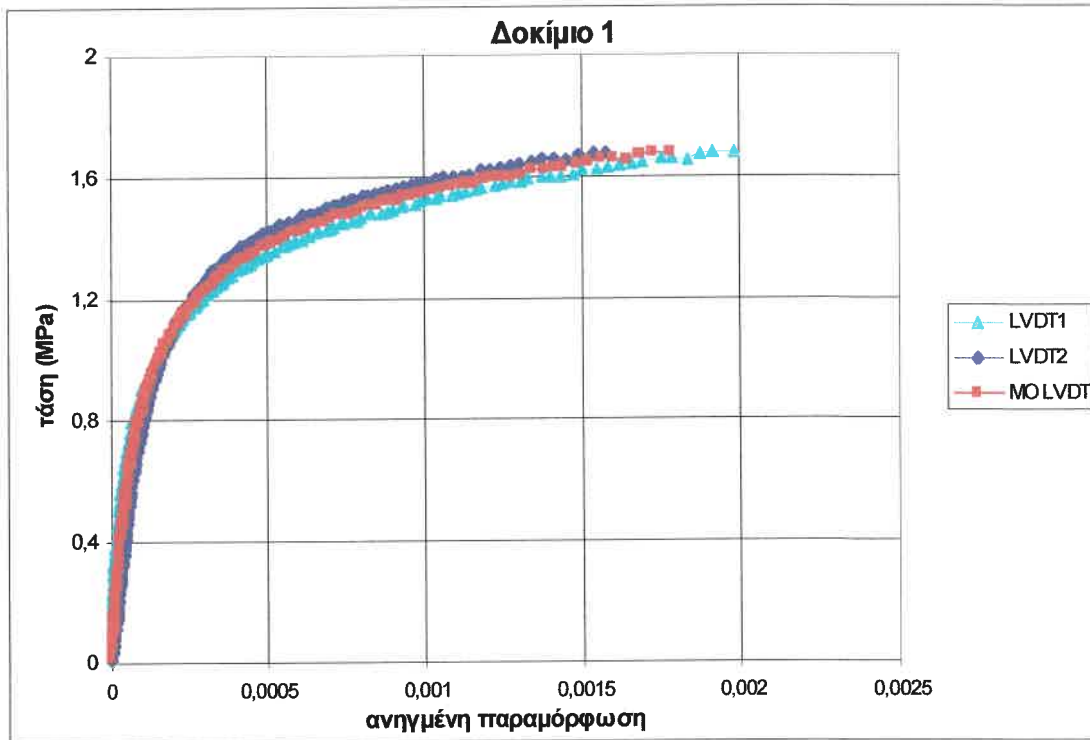
Σχήμα Α-6: Τάση – βέλος κάμψης για το μίγμα 1% γαλάκτωμα – 4% τσιμέντο. Παρουσιάζονται οι μετρήσεις κάθε μηχανομοέρου, καθώς και ο μέσος όρος τους



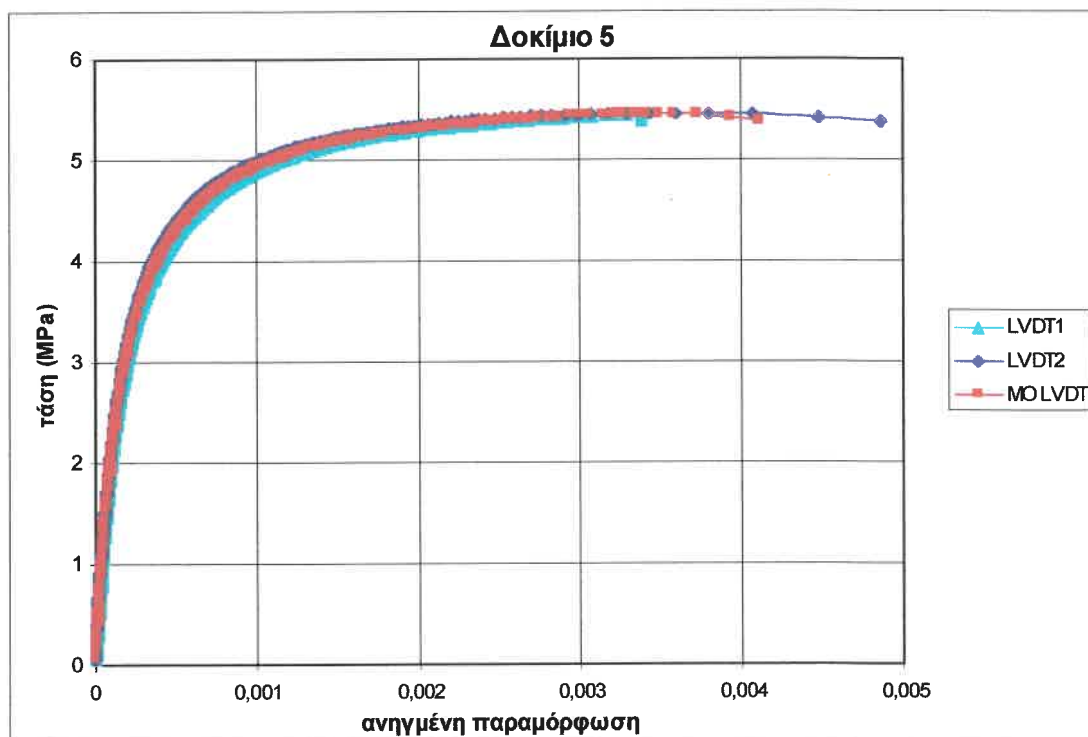
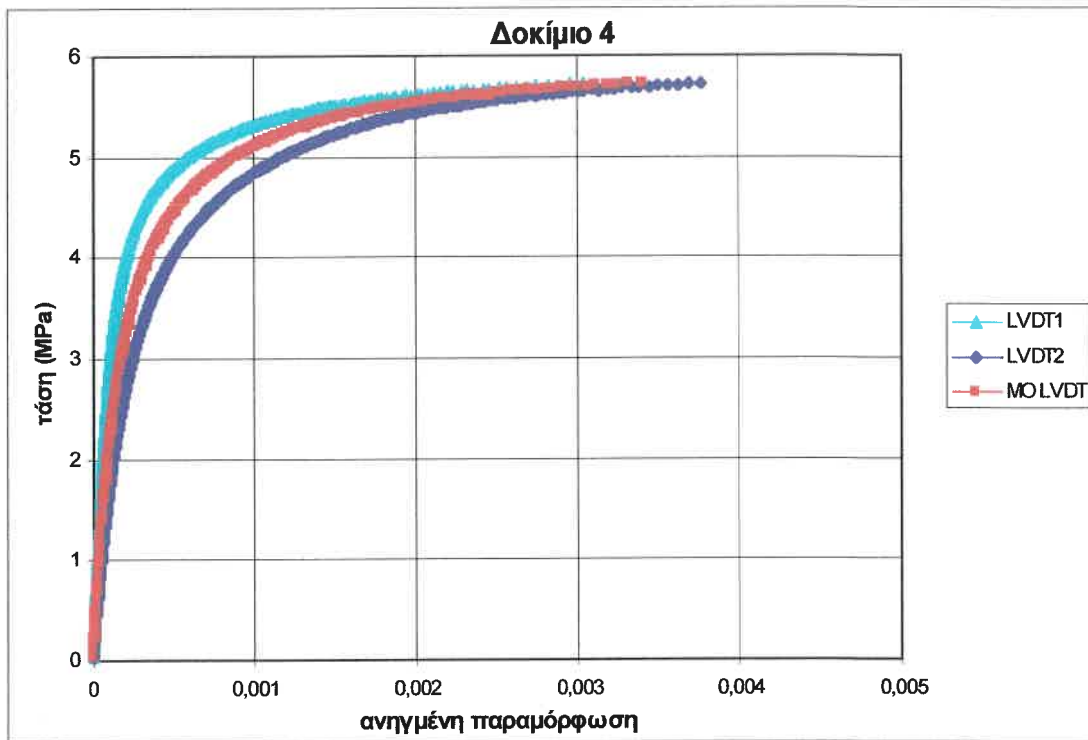
Σχήμα Α-7: Τάση – βέλος κάμψης για το μίγμα 2% γαλάκτωμα – 4% τσιμέντο. Παρουσιάζονται οι μετρήσεις κάθε μηχανοστοιχείου, καθώς και ο μέσος όρος τους

Παράρτημα Β

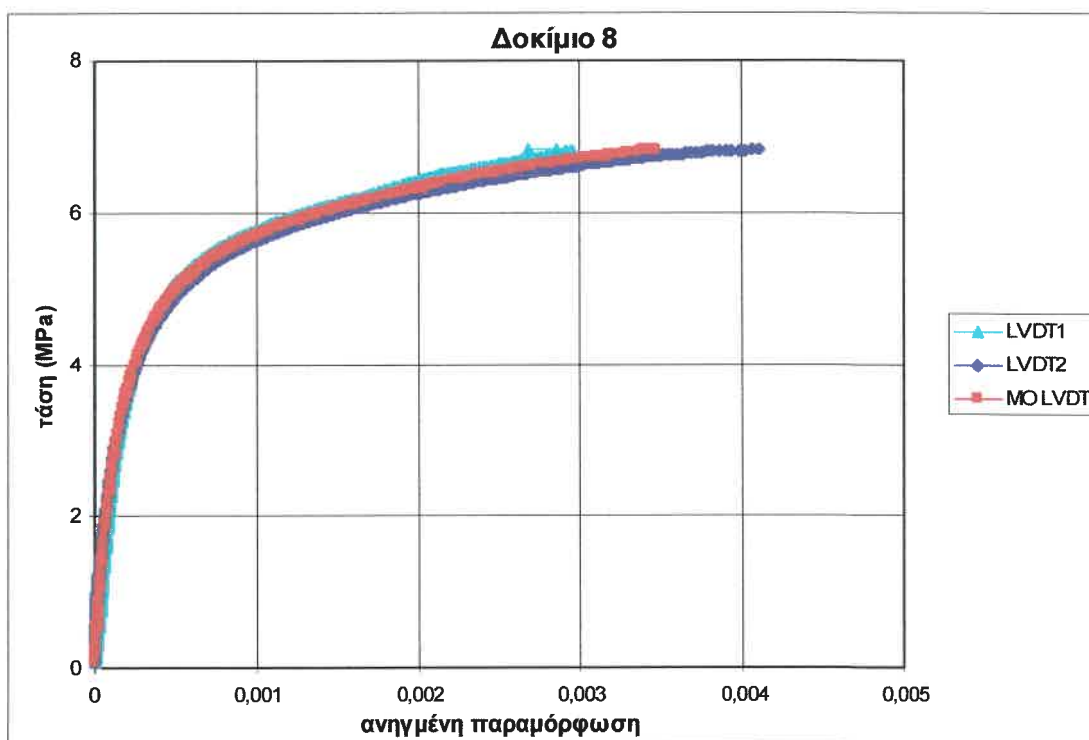
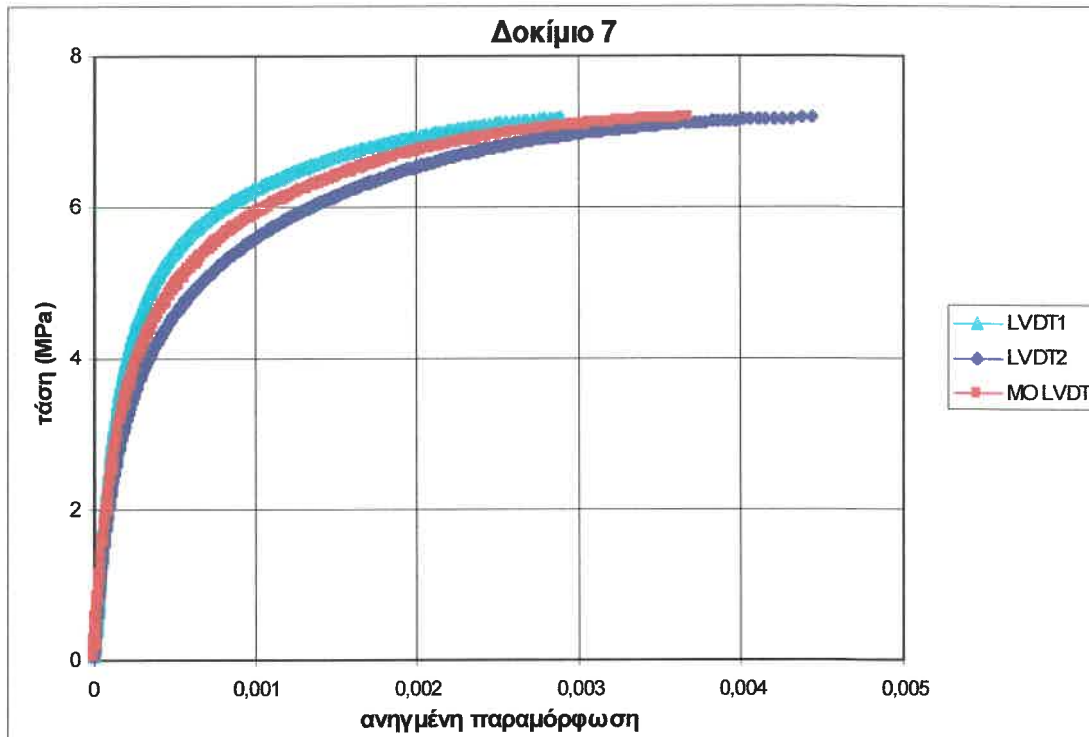
Στο παράρτημα αυτό, παρατίθενται τα διαγράμματα τάσης – ανηγμένης παραμόρφωσης (ϵ), για κάθε μίγμα (2 δοκίμια από κάθε μίγμα), που προέκυψαν από τη δοκιμή μονοαξονικής θλίψης. Παρουσιάζονται οι μετρήσεις κάθε μηχανομετρου (LVDT), καθώς και ο μέσος όρος αυτών.



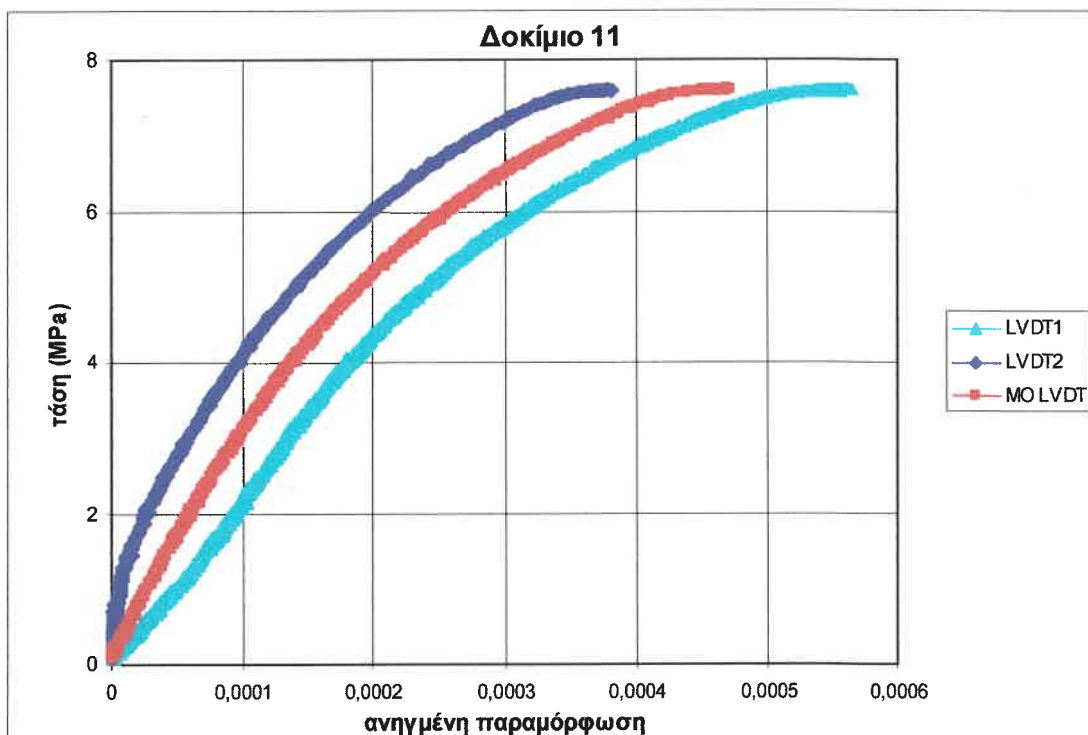
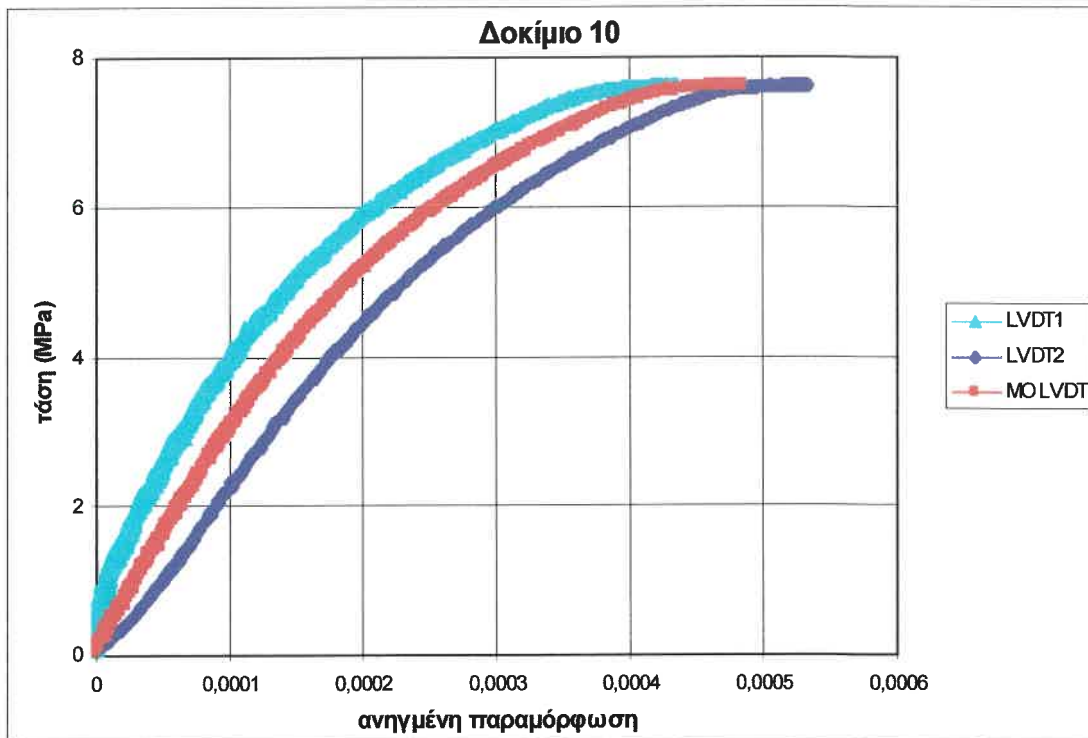
Σχήμα Β-1: Τάση – ανηγμένη παραμόρφωση για το μίγμα 2% γαλάκτωμα – 2% τσιμέντο. Παρουσιάζονται οι μετρήσεις κάθε μηχανοστοιχείου, καθώς και ο μέσος όρος τους



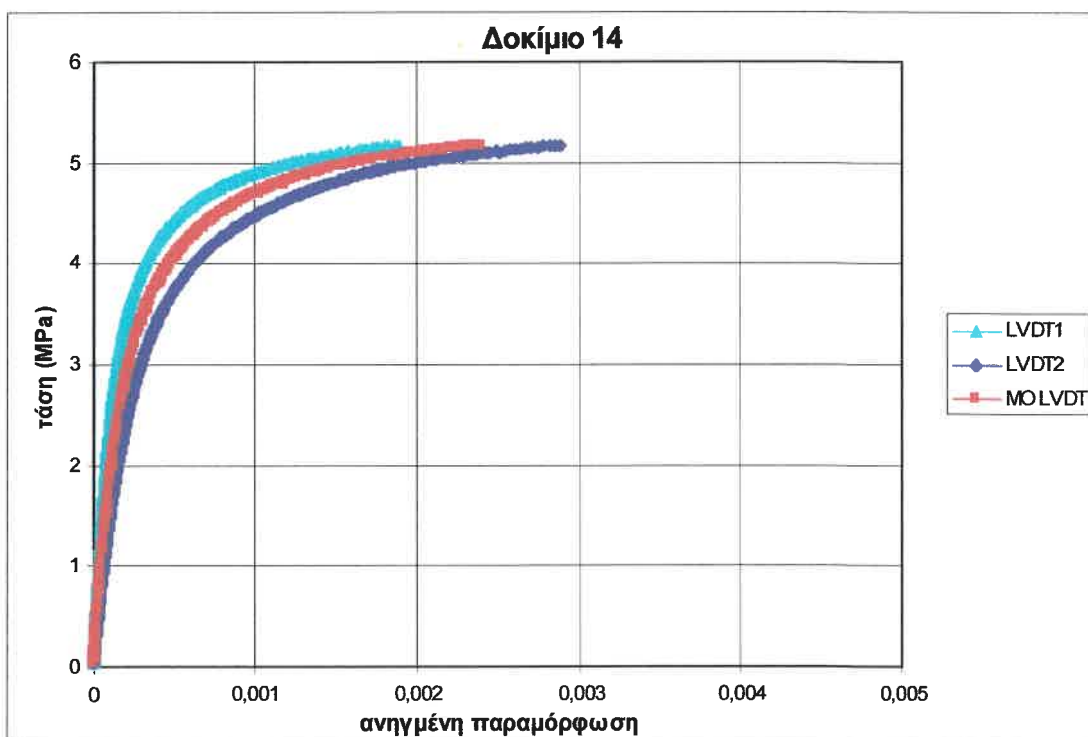
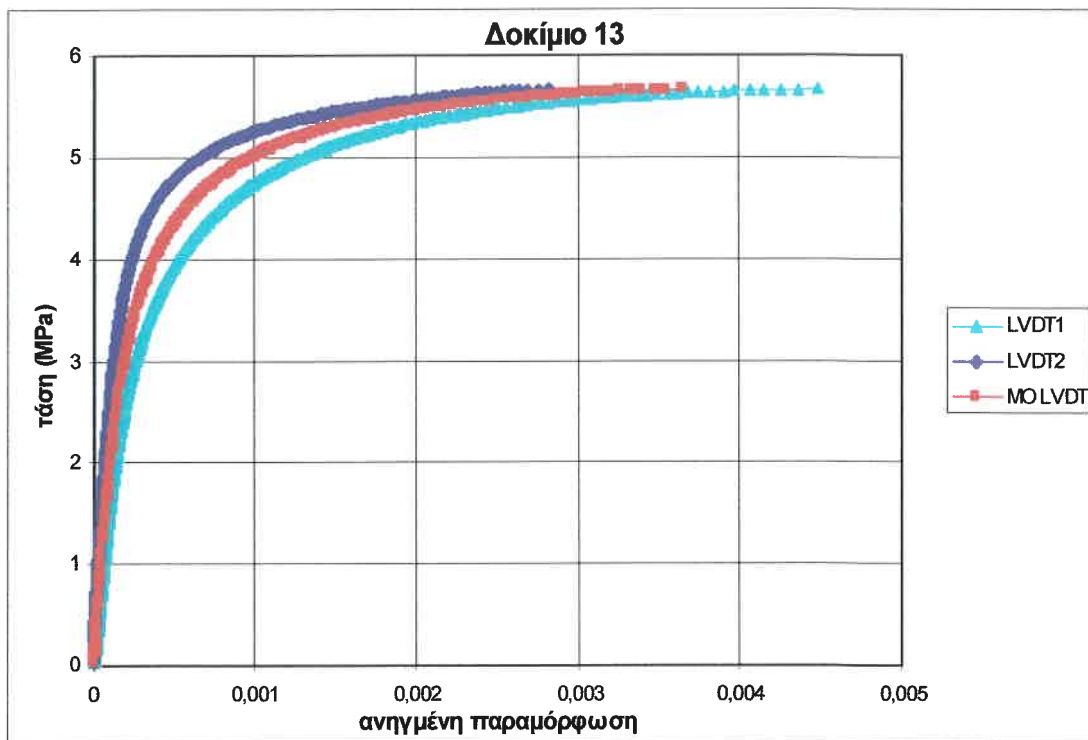
Σχήμα Β-2: Τάση – ανηγμένη παραμόρφωση για το μίγμα 1% γαλάκτωμα – 3% τσιμέντο. Παρουσιάζονται οι μετρήσεις κάθε μηχανοστομέτρου, καθώς και ο μέσος όρος τους



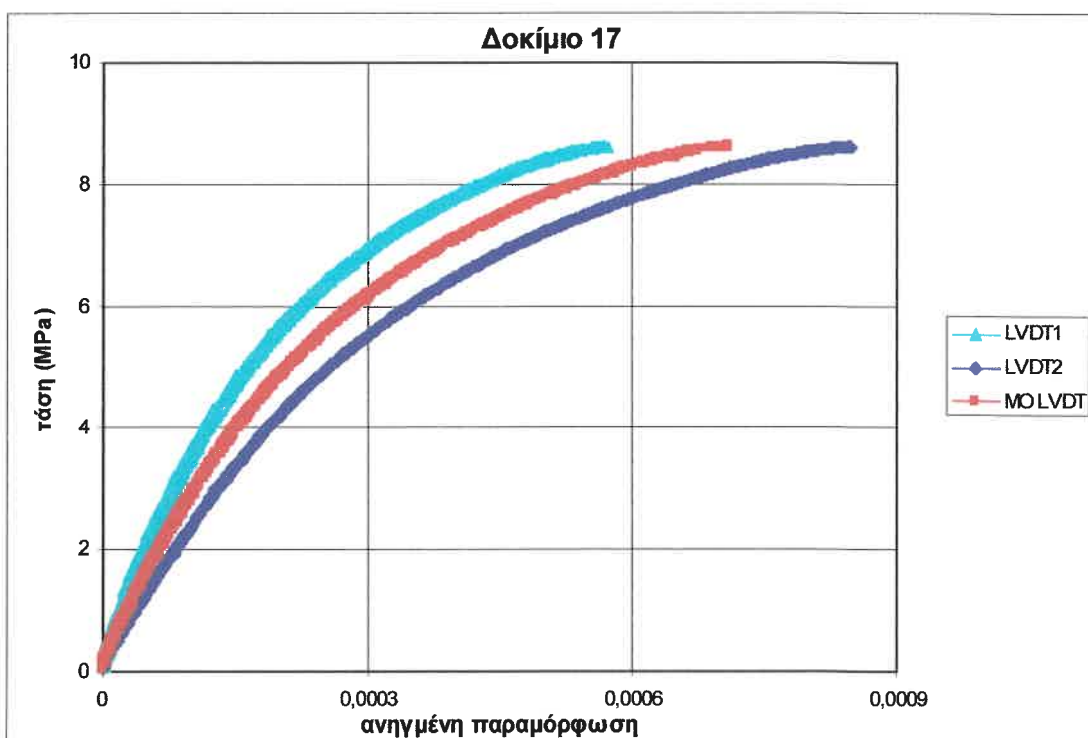
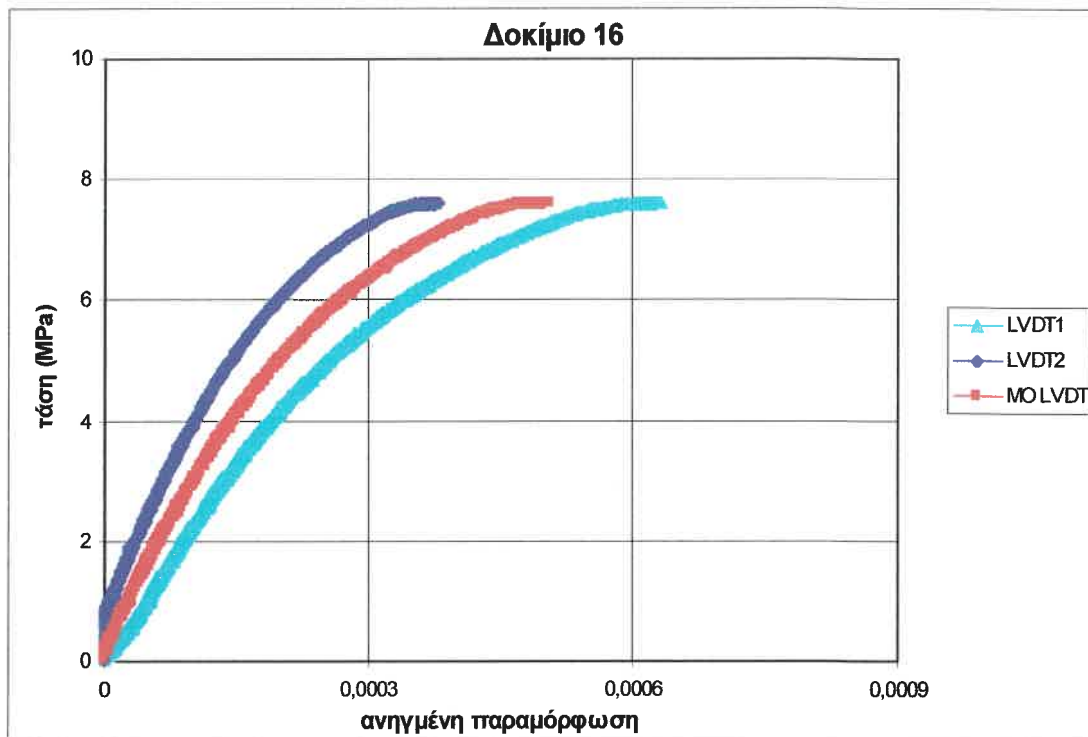
Σχήμα Β-3: Τάση – ανηγμένη παραμόρφωση για το μίγμα 0% γαλάκτωμα – 3% τσιμέντο. Παρουσιάζονται οι μετρήσεις κάθε μηχανοστοιχείου, καθώς και ο μέσος όρος τους



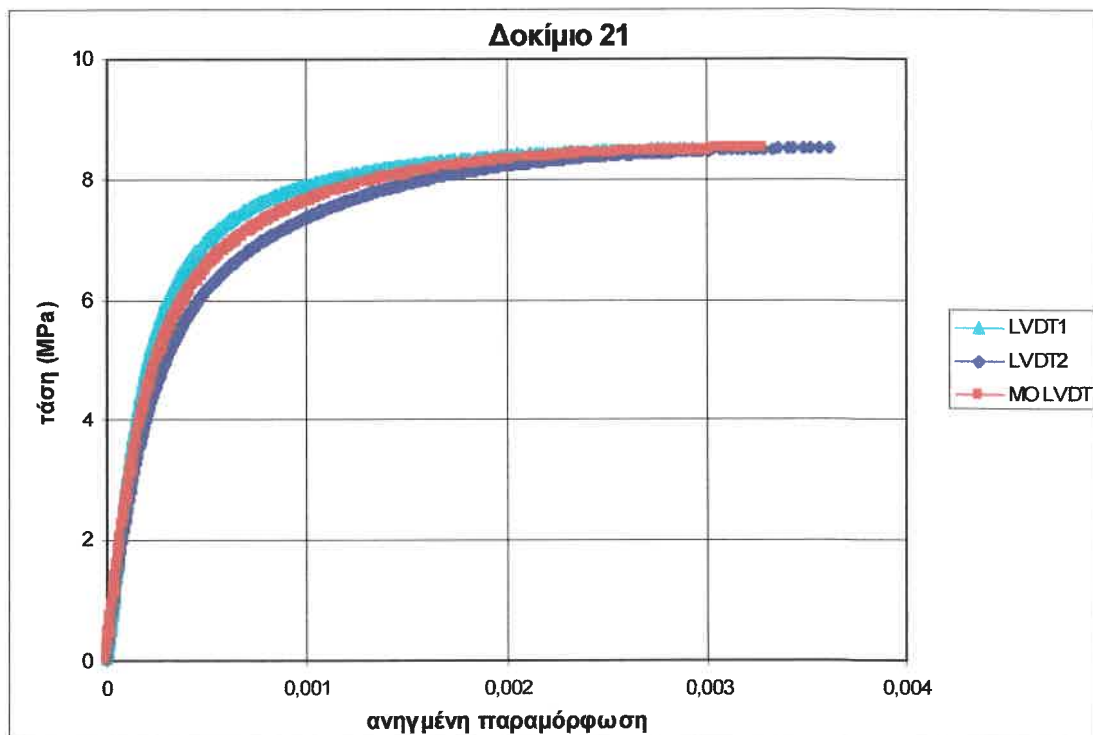
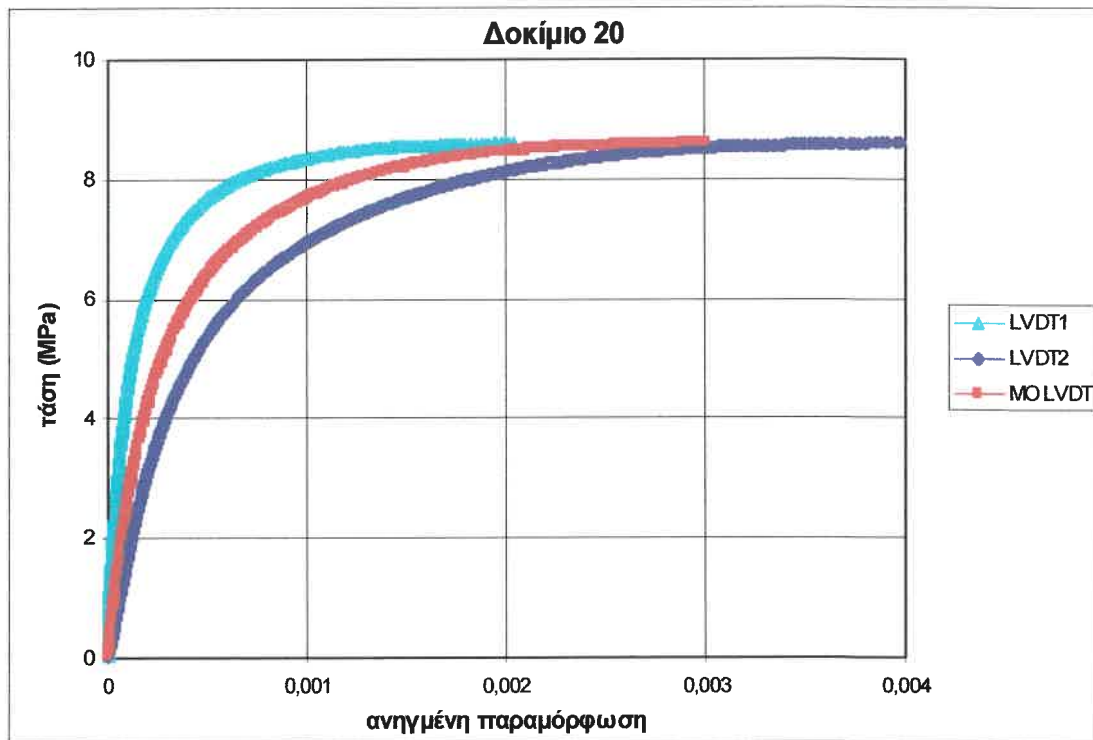
Σχήμα Β-4: Τάση – ανηγμένη παραμόρφωση για το μίγμα 0% γαλάκτωμα – 4% τσιμέντο. Παρουσιάζονται οι μετρήσεις κάθε μηχανοστοιμέτρου, καθώς και ο μέσος όρος τους



Σχήμα Β-5: Τάση – ανηγμένη παραμόρφωση για το μίγμα 2% γαλάκτωμα – 3% τσιμέντο. Παρουσιάζονται οι μετρήσεις κάθε μηχανομοέτρου, καθώς και ο μέσος όρος τους



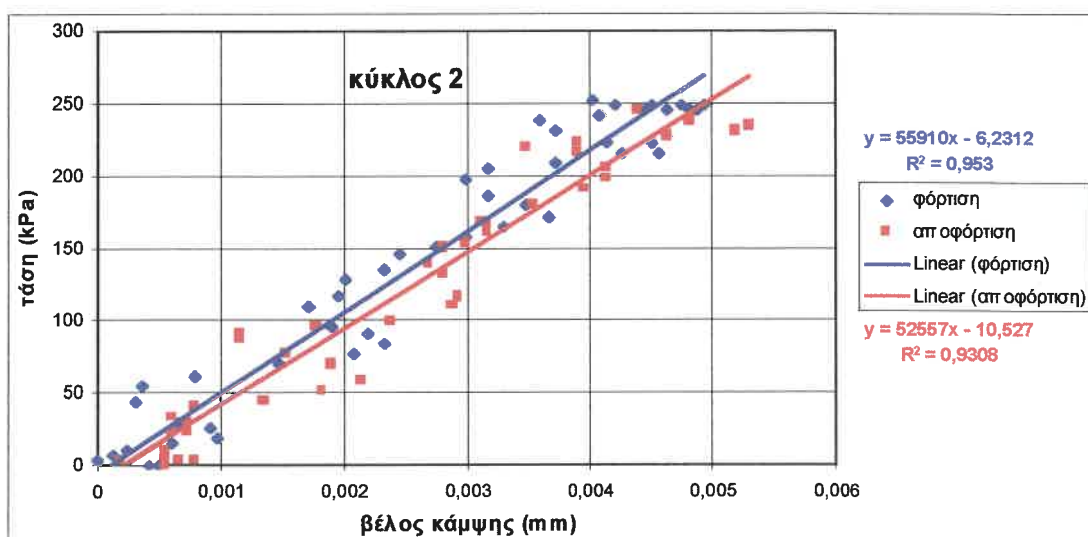
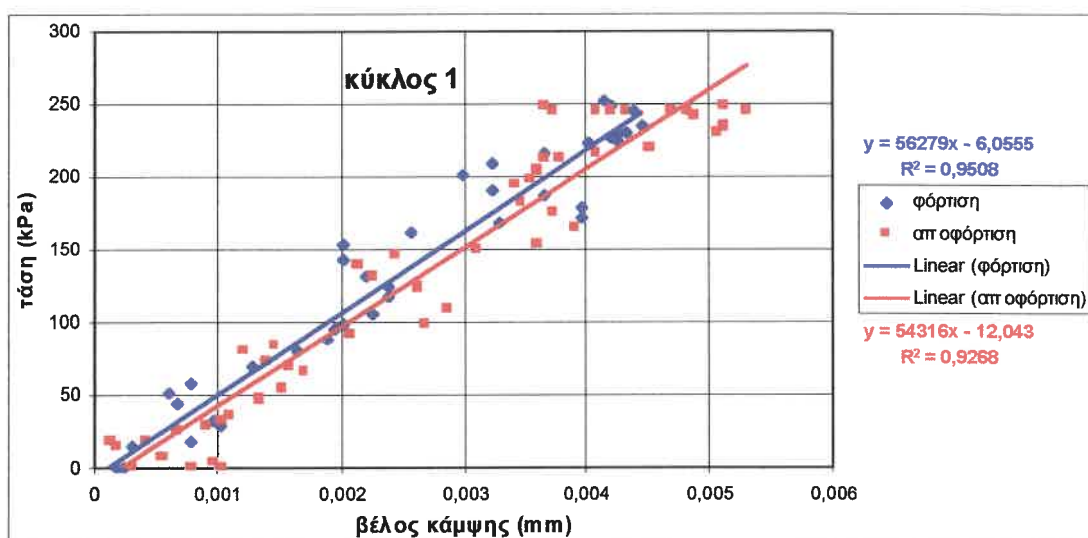
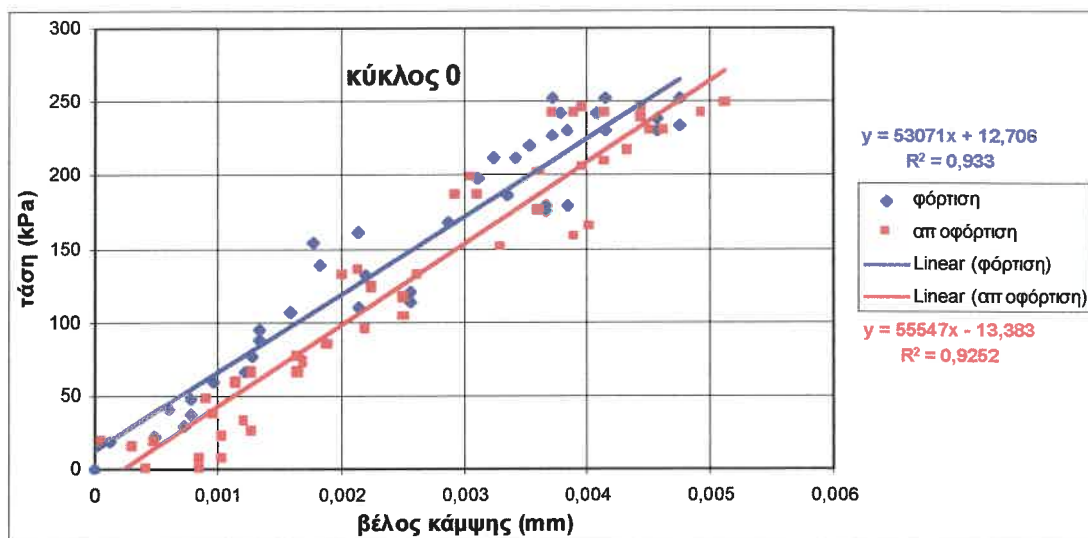
Σχήμα Β-6: Τάση – ανηγμένη παραμόρφωση για το μίγμα 1% γαλάκτωμα – 4% τσιμέντο. Παρουσιάζονται οι μετρήσεις κάθε μηχανοστοιμέτρου, καθώς και ο μέσος όρος τους



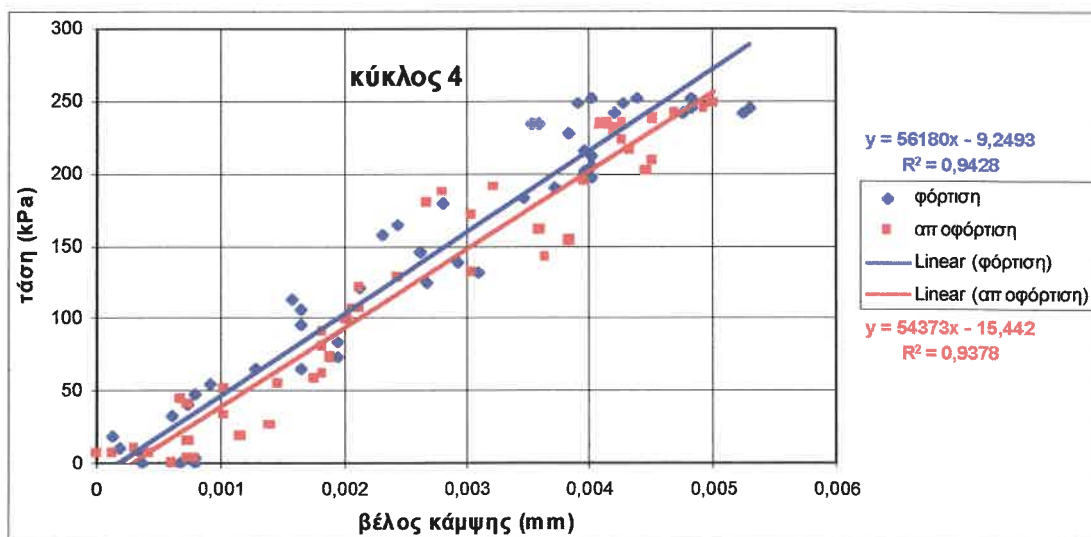
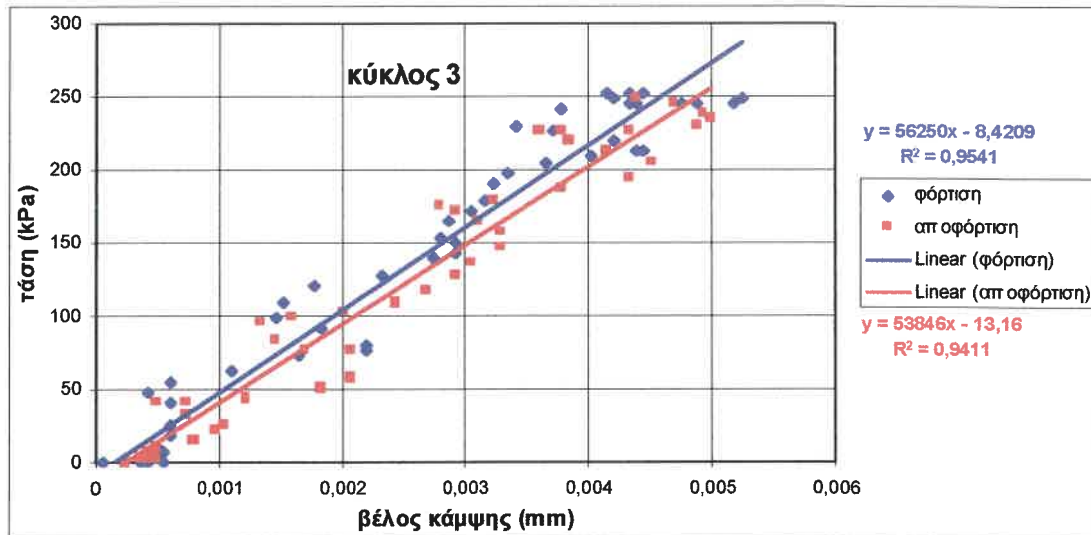
Σχήμα Β-7: Τάση – ανηγμένη παραμόρφωση για το μίγμα 2% γαλάκτωμα – 4% τσιμέντο. Παρουσιάζονται οι μετρήσεις κάθε μηχανοστοιχείου, καθώς και ο μέσος όρος τους

Παράρτημα Γ

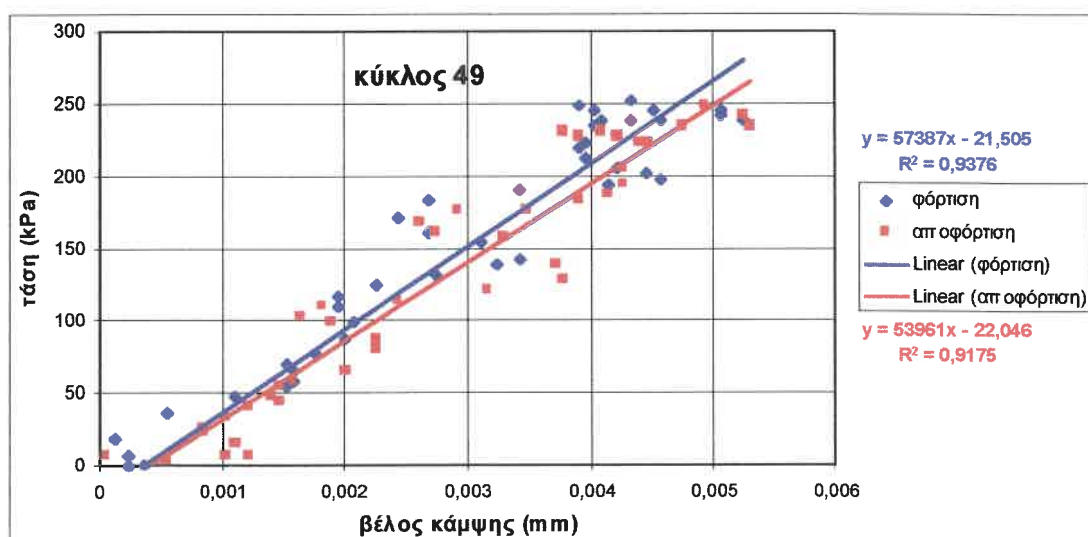
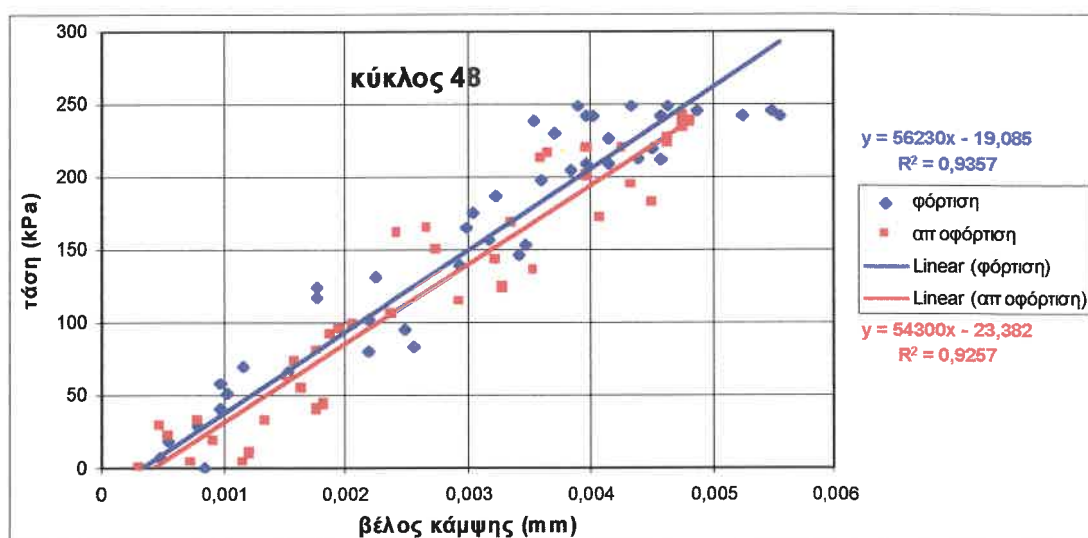
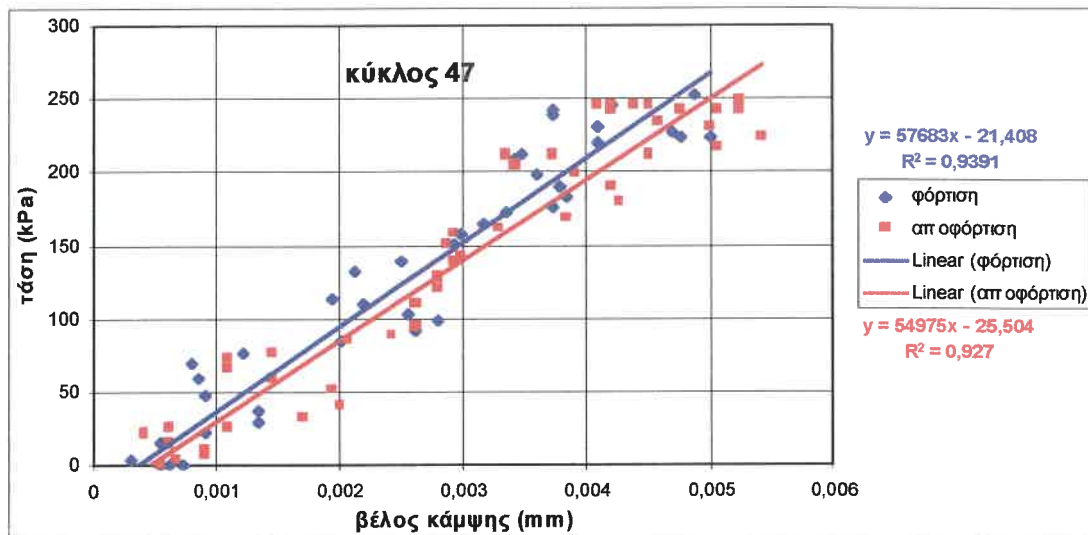
Στο παράρτημα αυτό, παρατίθενται τα διαγράμματα τάσης – βέλους κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (με τις ευθείες παλλινδρόμησης), για κάθε κύκλο φόρτισης, όπως αυτά προέκυψαν από τη δοκιμή επαναλαμβανόμενης φόρτισης, για ένα αντιπροσωπευτικό δοκίμιο από κάθε μίγμα. Παρουσιάζονται τα δοκίμια 3 (γαλάκτωμα 2% - τσιμέντο 2%), 5 (γαλάκτωμα 1% - τσιμέντο 3%), 9 (γαλάκτωμα 0% - τσιμέντο 3%), 11 (γαλάκτωμα 0% - τσιμέντο 4%), 17 (γαλάκτωμα 1% - τσιμέντο 4%) και 20 (γαλάκτωμα 2% - τσιμέντο 4%).



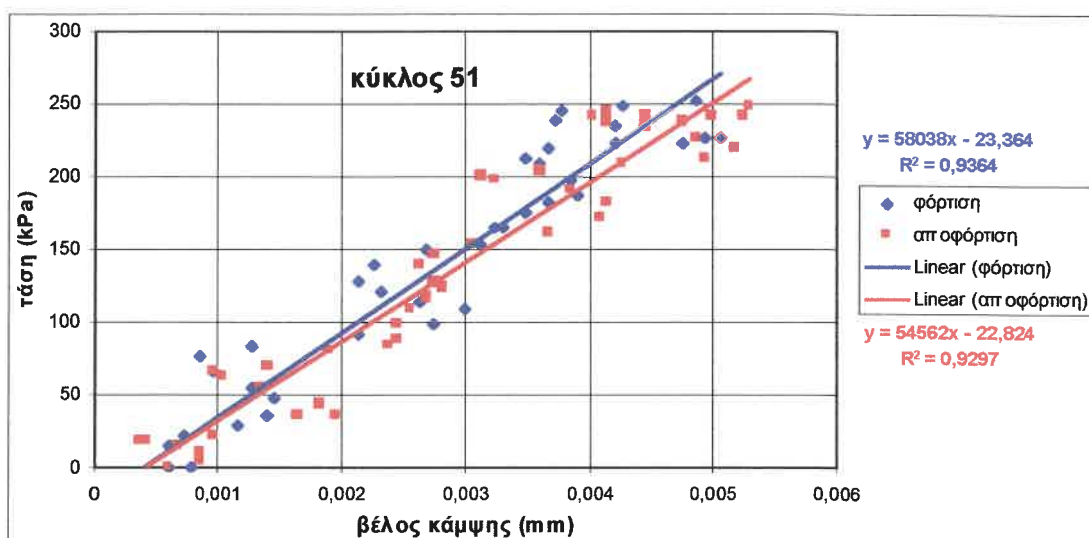
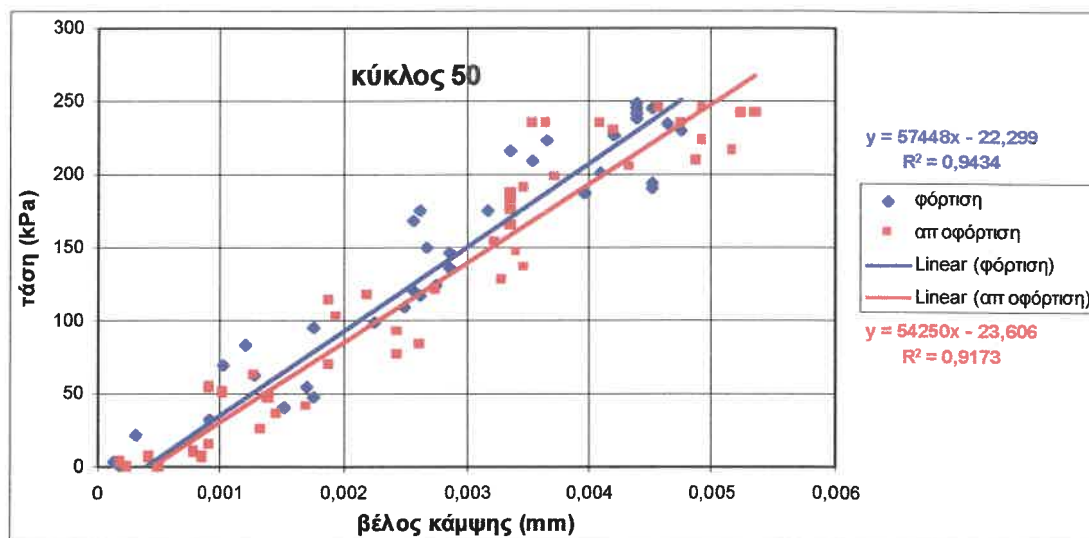
Σχήμα Γ-1: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 0, 1, 2, για το δοκίμιο 3 (γαλάκτωμα 2% - τσιμέντο 2%)



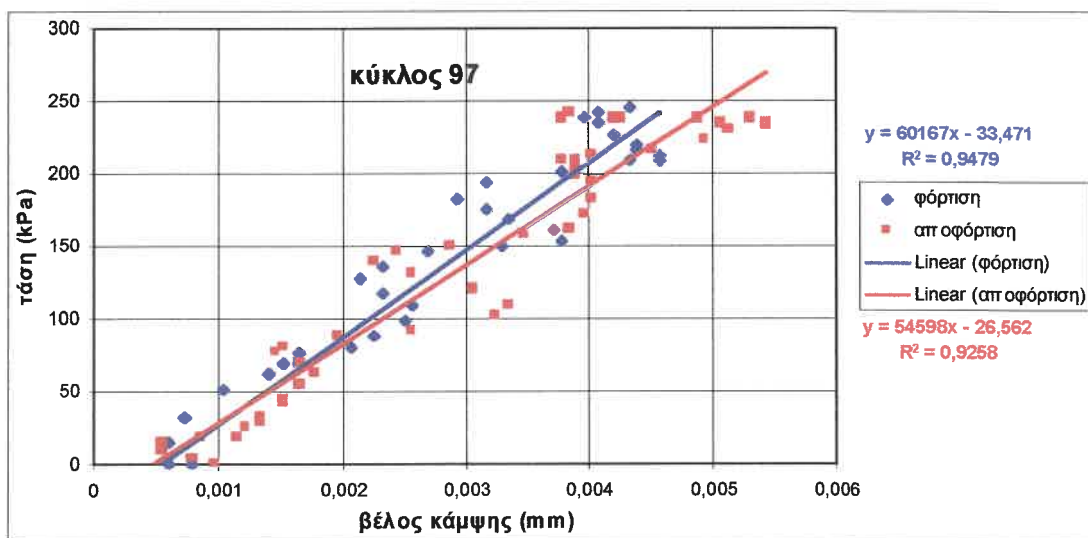
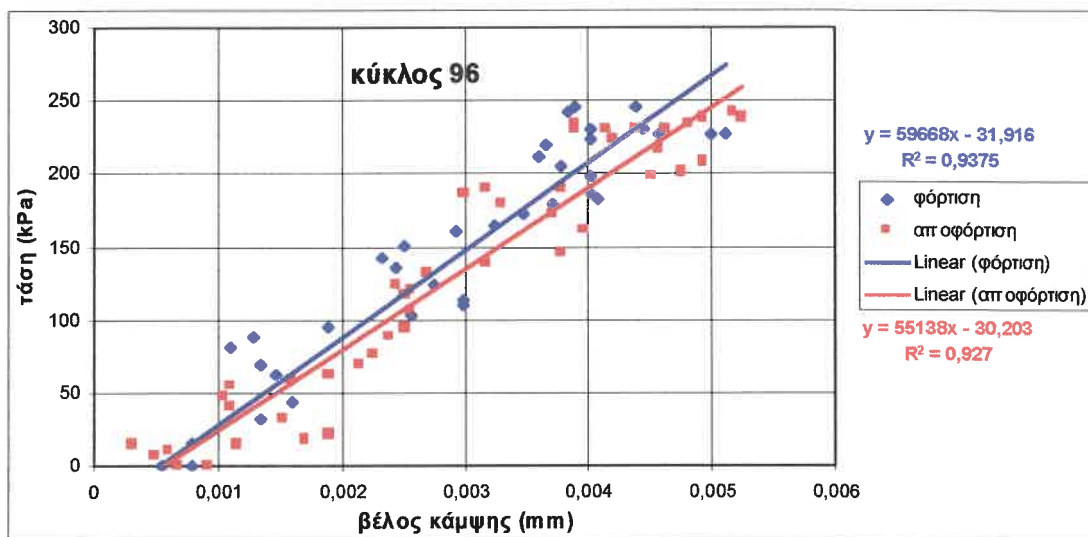
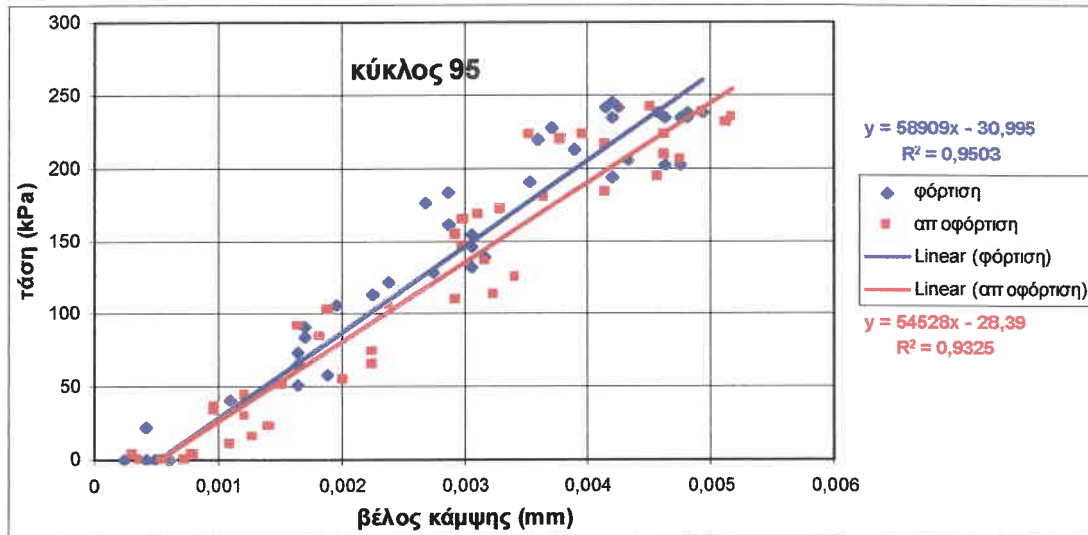
Σχήμα Γ-2: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 3, 4, για το δοκίμιο 3 (γαλάκτωμα 2% - τσιμέντο 2%)



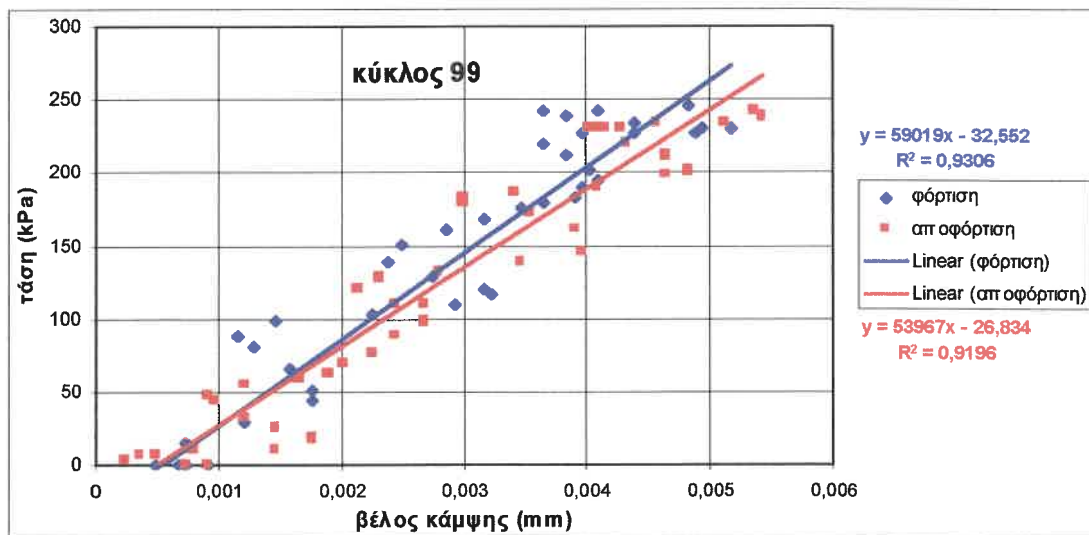
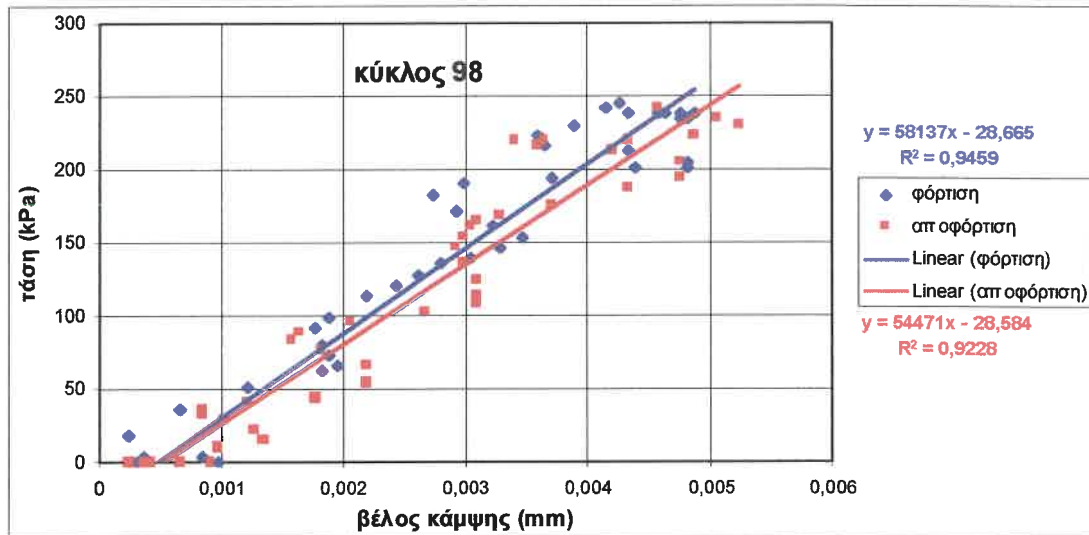
Σχήμα Γ-3: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 47, 48, 49 για το δοκίμιο 3 (γαλάκτωμα 2% - τσιμέντο 2%)



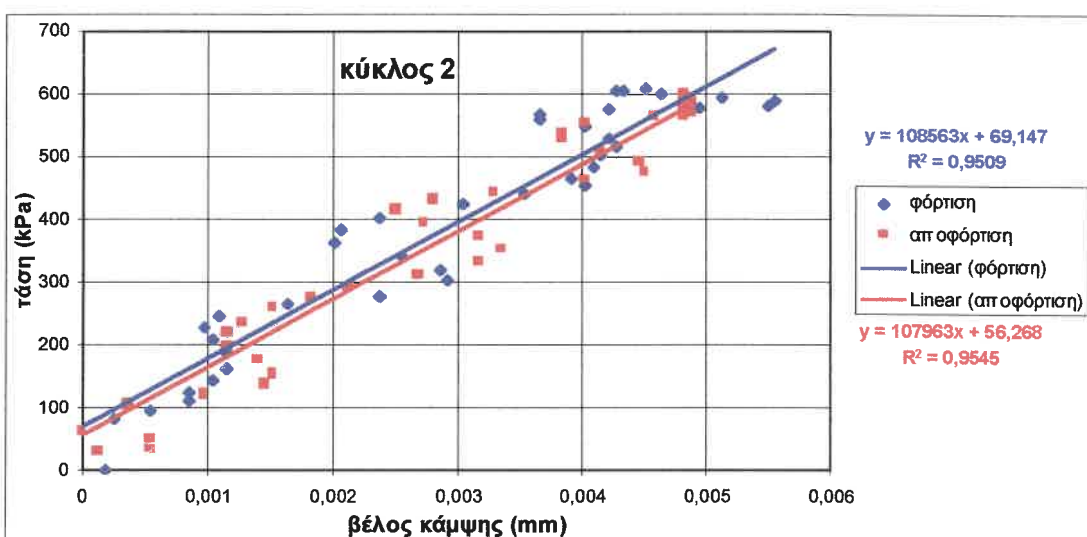
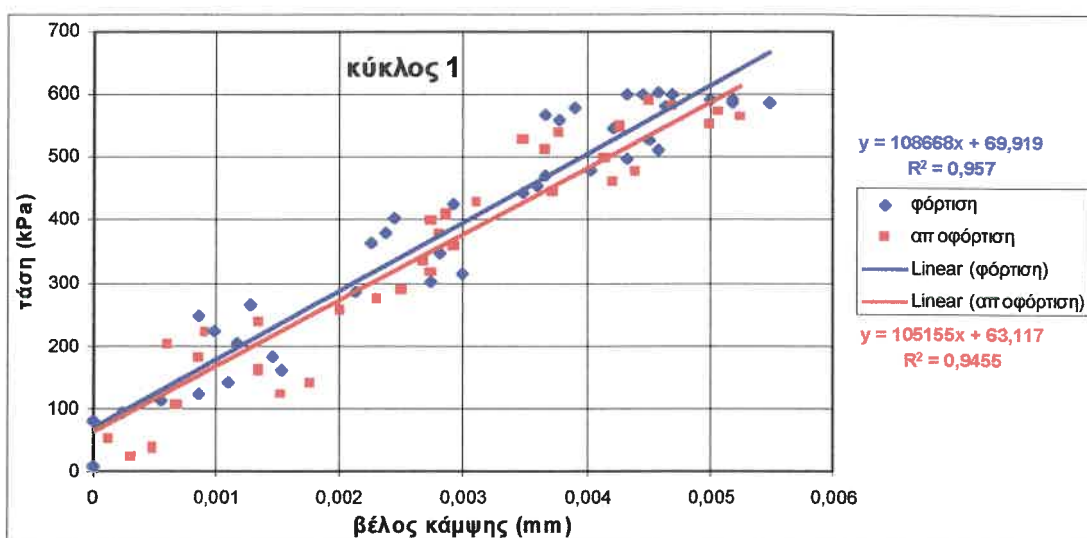
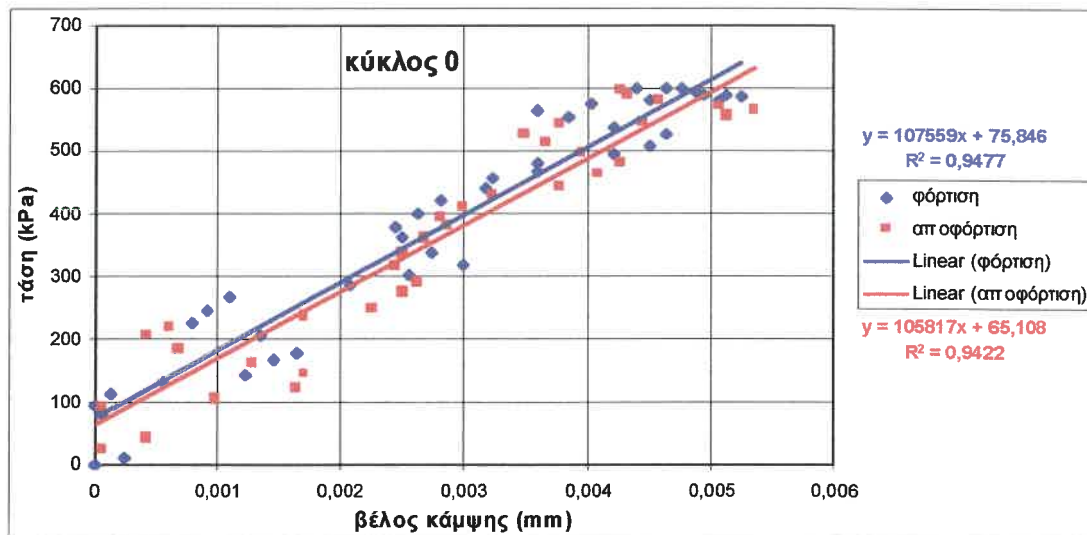
Σχήμα Γ-4: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 50, 51, για το δοκίμιο 3 (γαλάκτωμα 2% - τσιμέντο 2%)



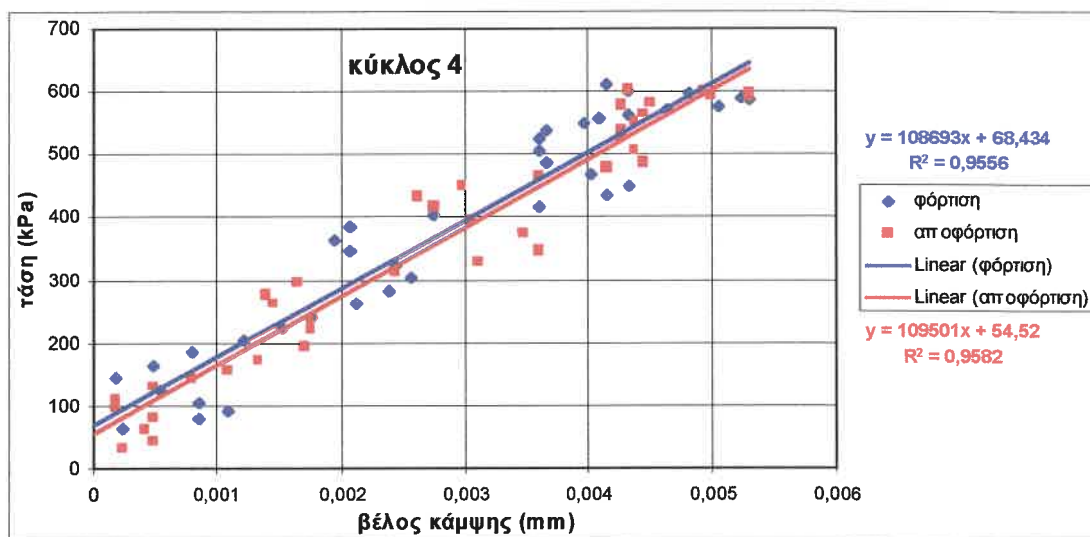
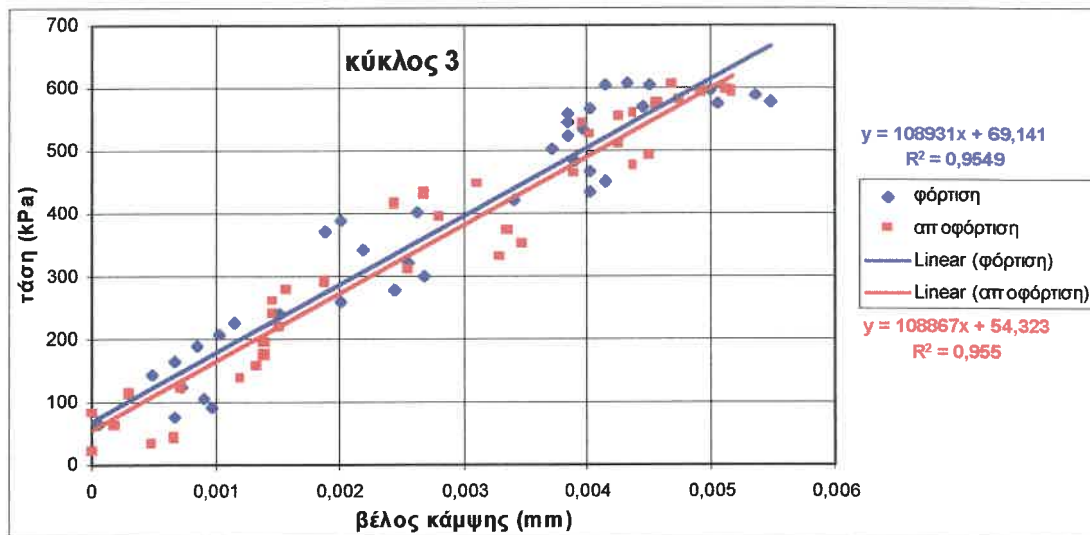
Σχήμα Γ-5: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 95, 96, 97, για το δοκίμιο 3 (γαλάκτωμα 2% - τσιμέντο 2%)



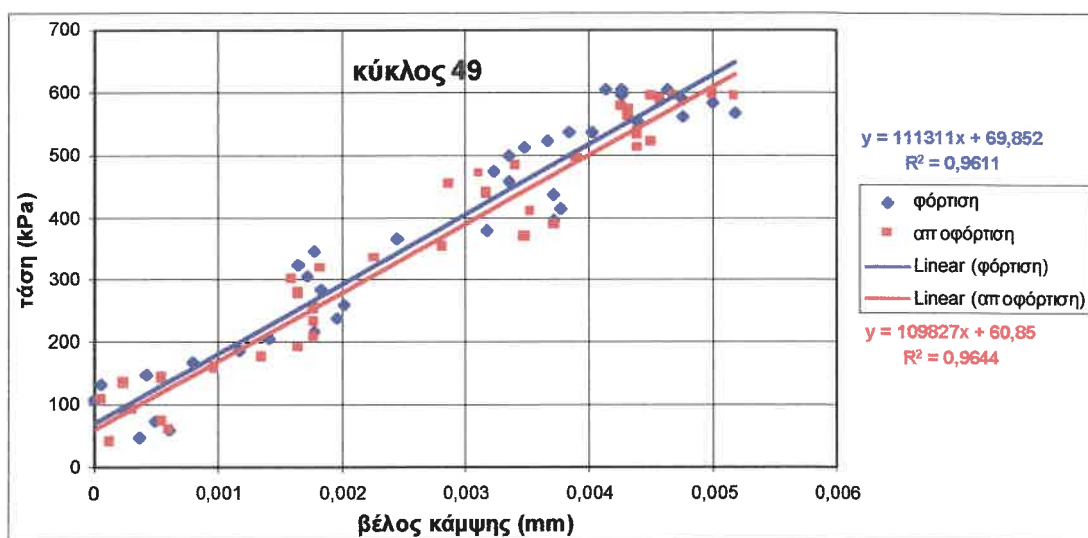
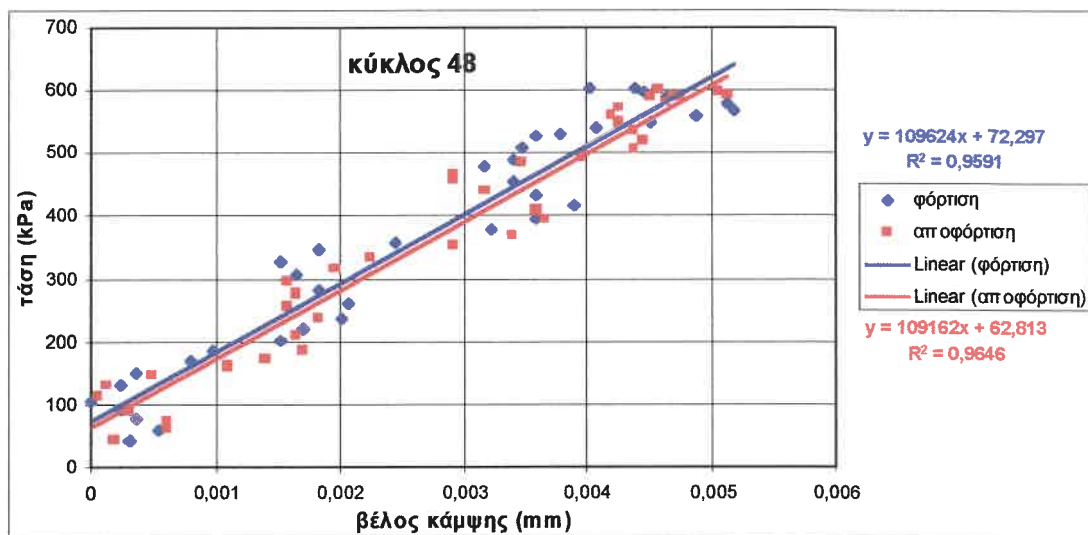
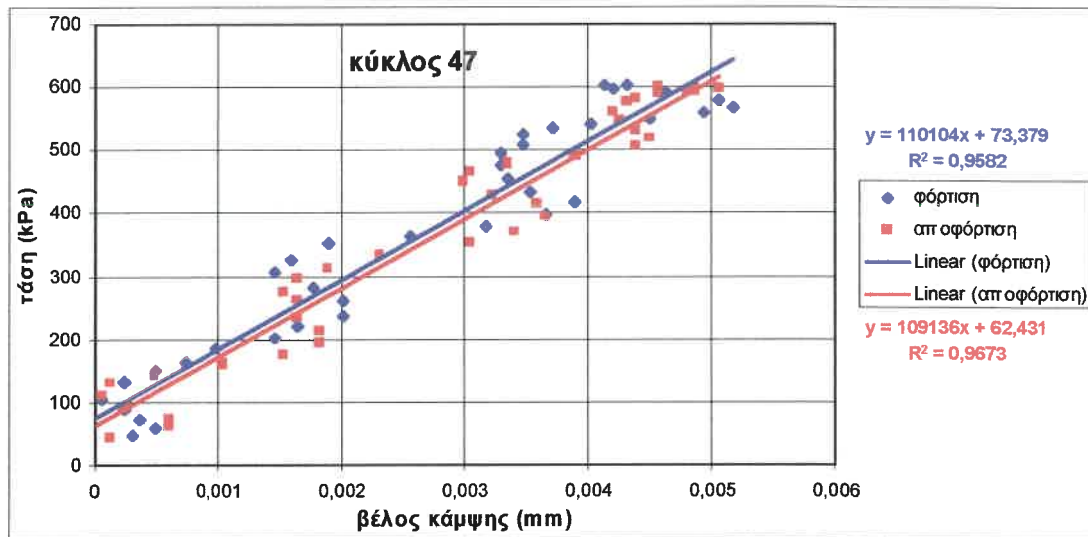
Σχήμα Γ-6: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλινδρόμησης), κύκλοι 98, 99, για το δοκίμιο 3 (γαλάκτωμα 2% - τσιμέντο 2%)



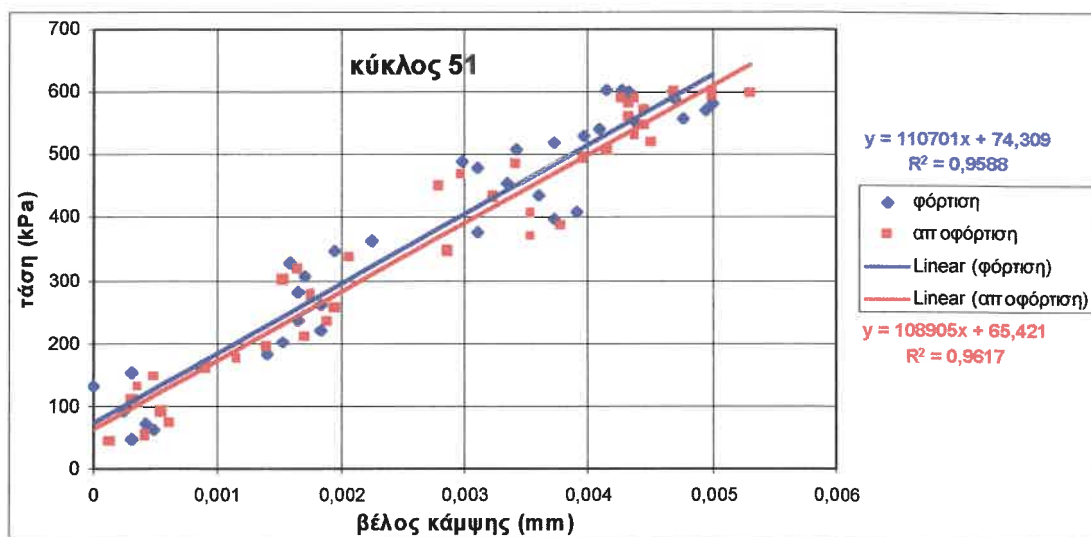
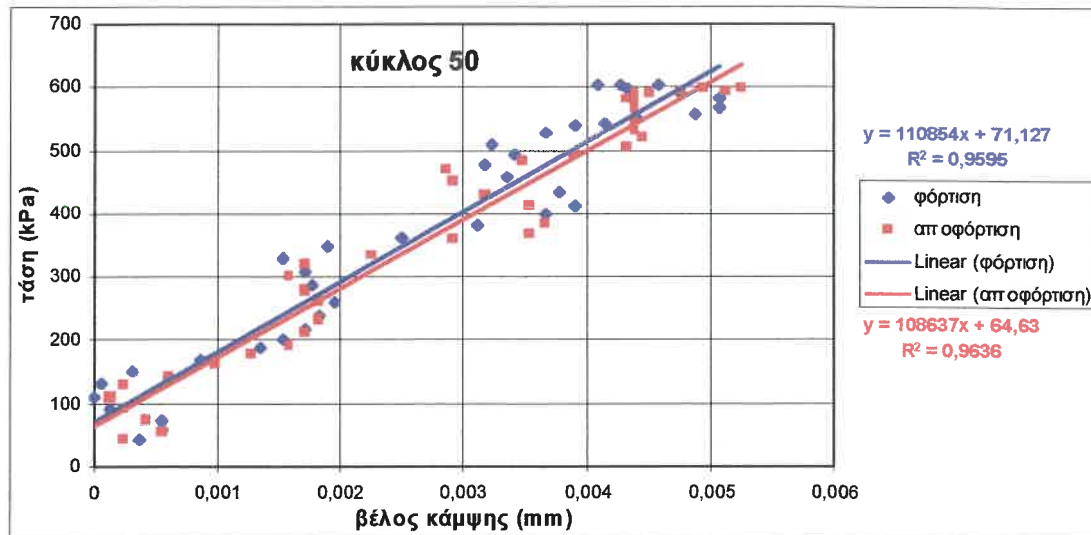
Σχήμα Γ-7: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλινδρόμησης), κύκλοι 0, 1, 2 για το δοκίμιο 5 (γαλάκτωμα 1% - τσιμέντο 3%)



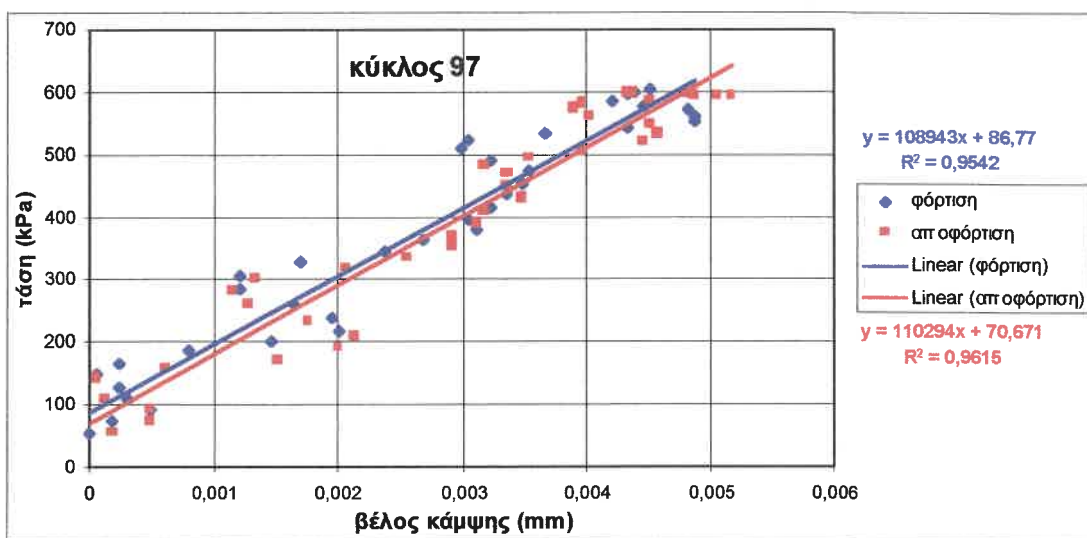
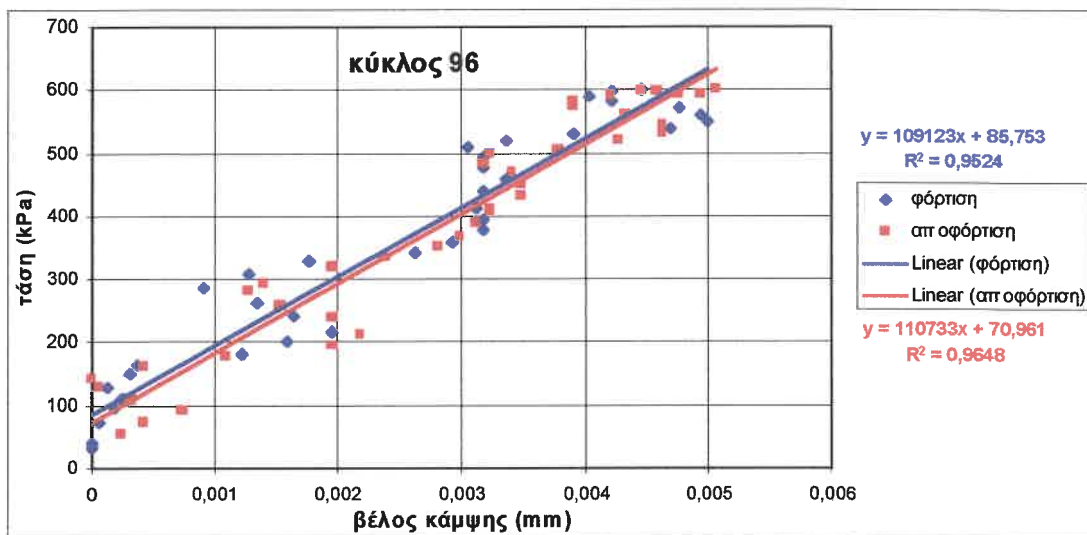
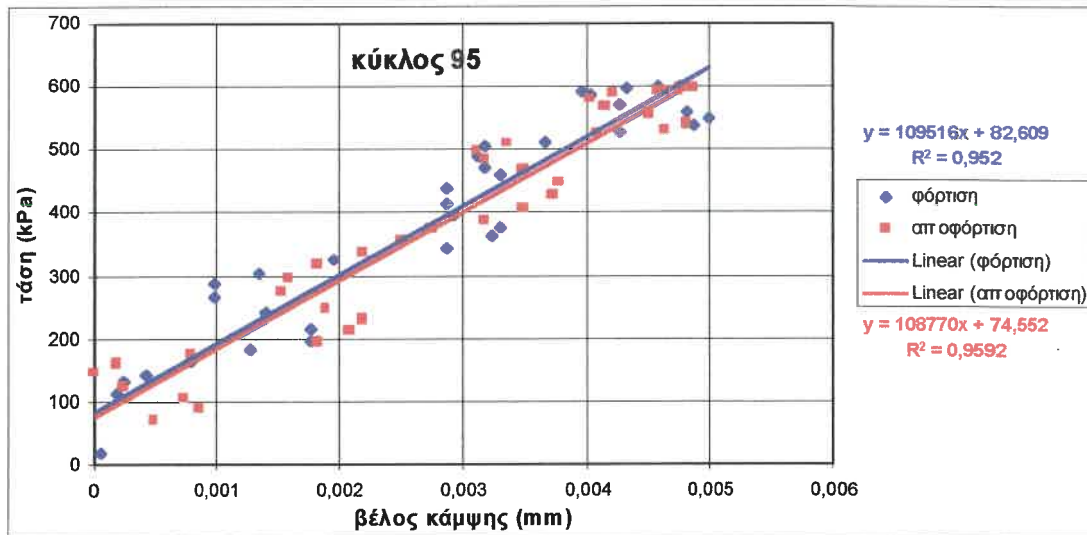
Σχήμα Γ-8: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλινδρόμησης), κύκλοι 3, 4 για το δοκίμιο 5 (γαλάκτωμα 1% - τσιμέντο 3%)



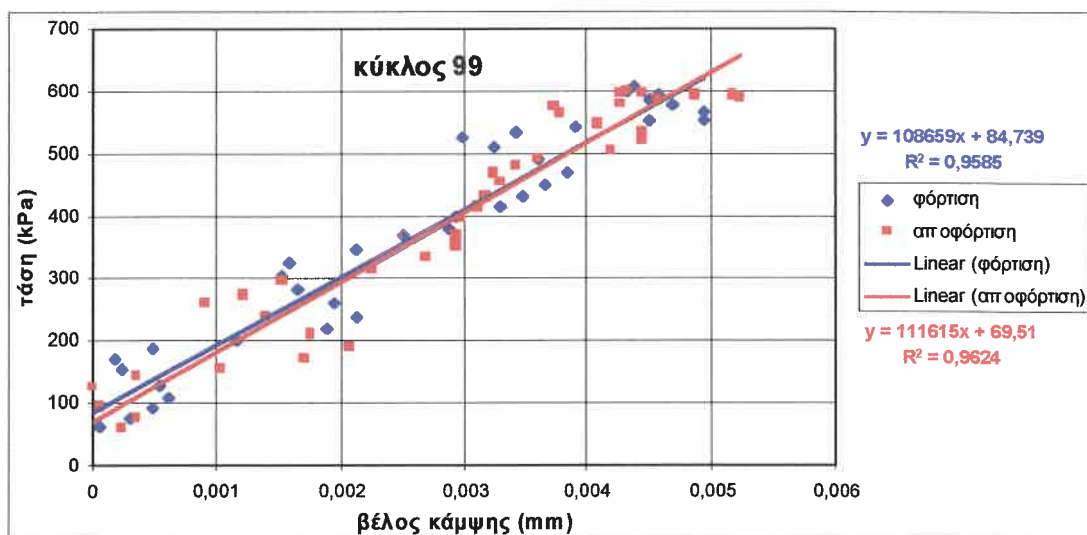
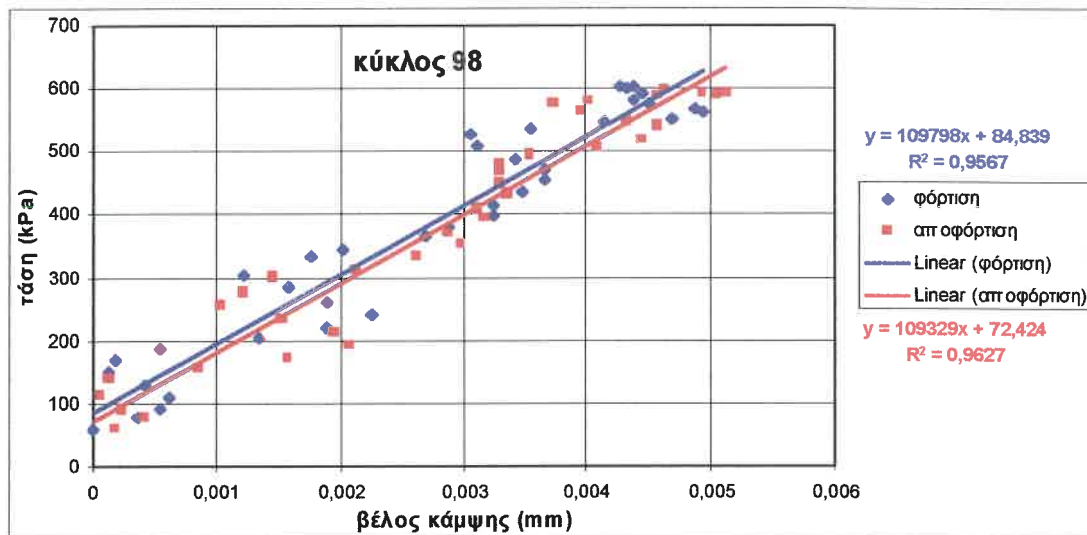
Σχήμα Γ-9: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 47, 48, 49 για το δοκίμιο 5 (γαλάκτωμα 1% - τσιμέντο 3%)



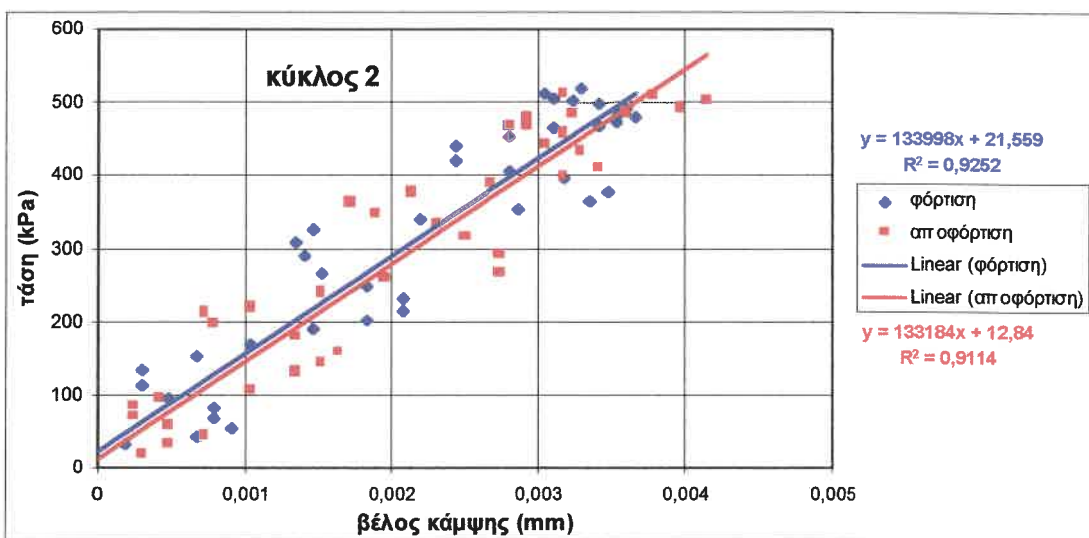
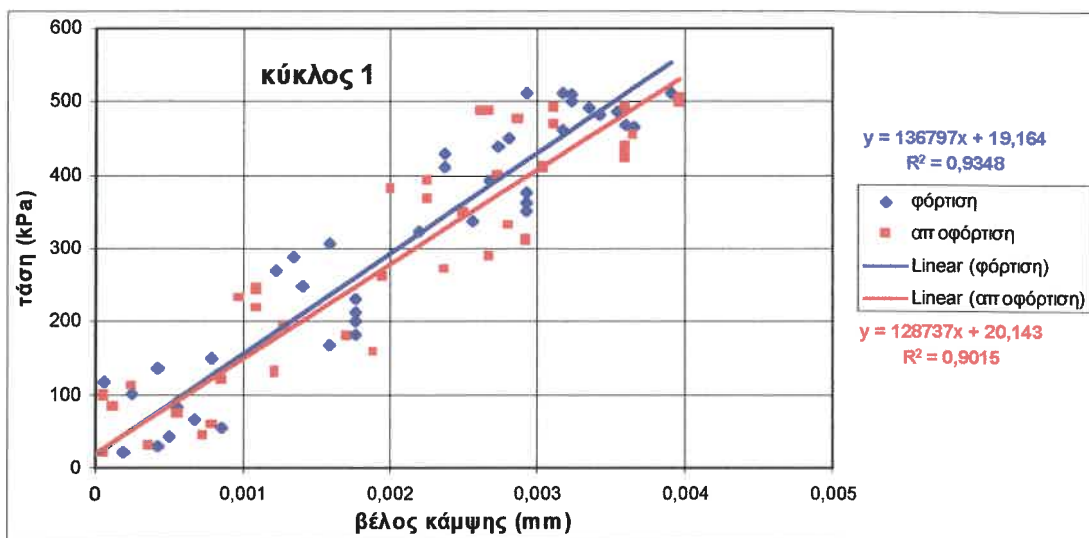
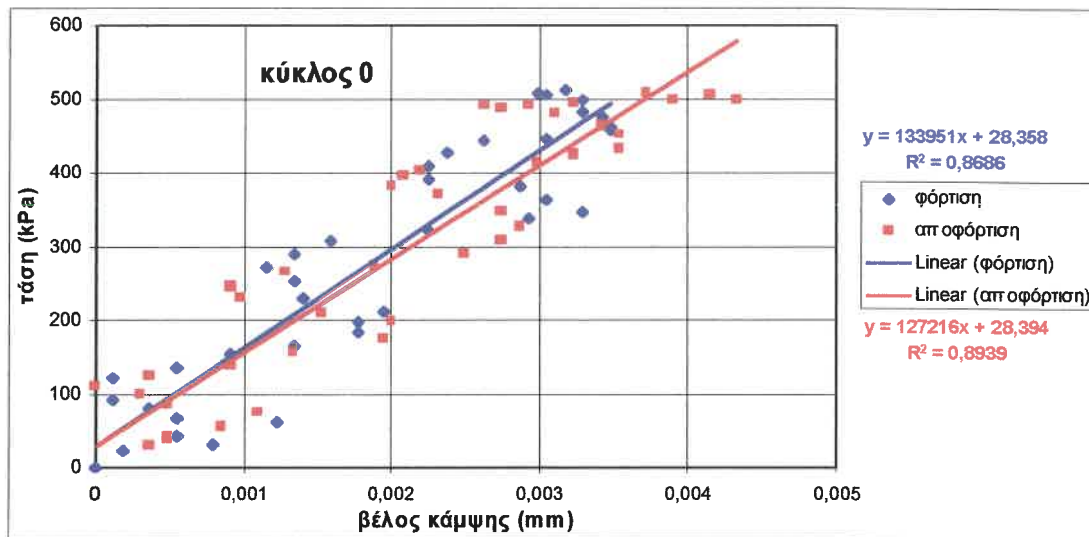
Σχήμα Γ-10: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 50, 51 για το δοκίμιο 5 (γαλάκτωμα 1% - τσιμέντο 3%)



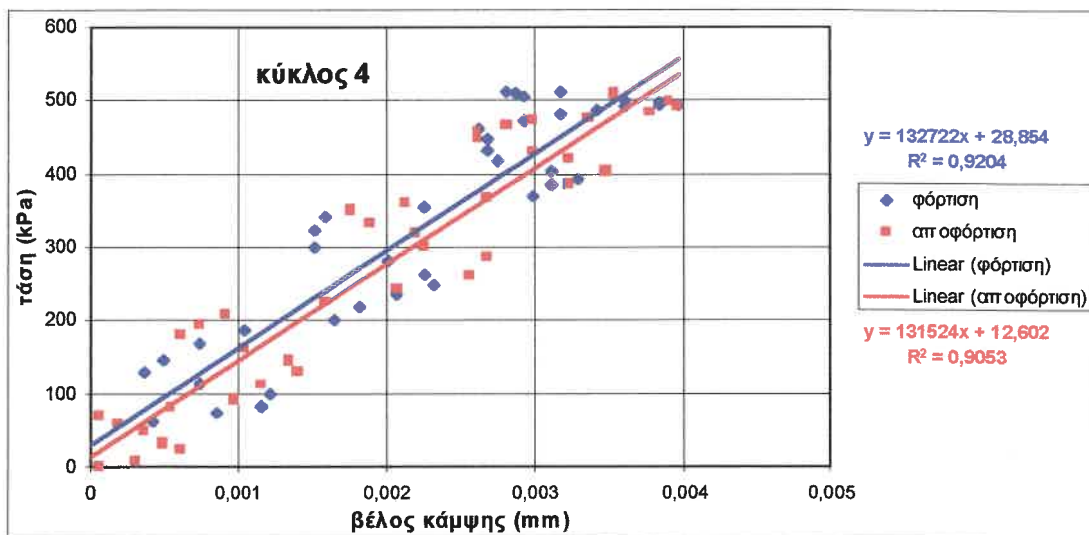
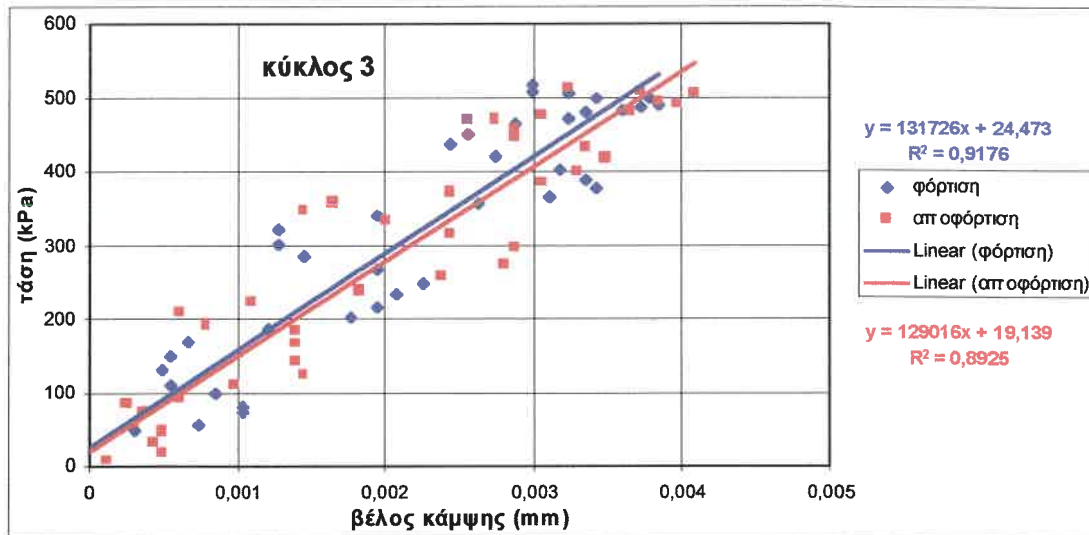
Σχήμα Γ-11: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 95, 96, 97 για το δοκίμιο 5 (γαλάκτωμα 1% - τσιμέντο 3%)



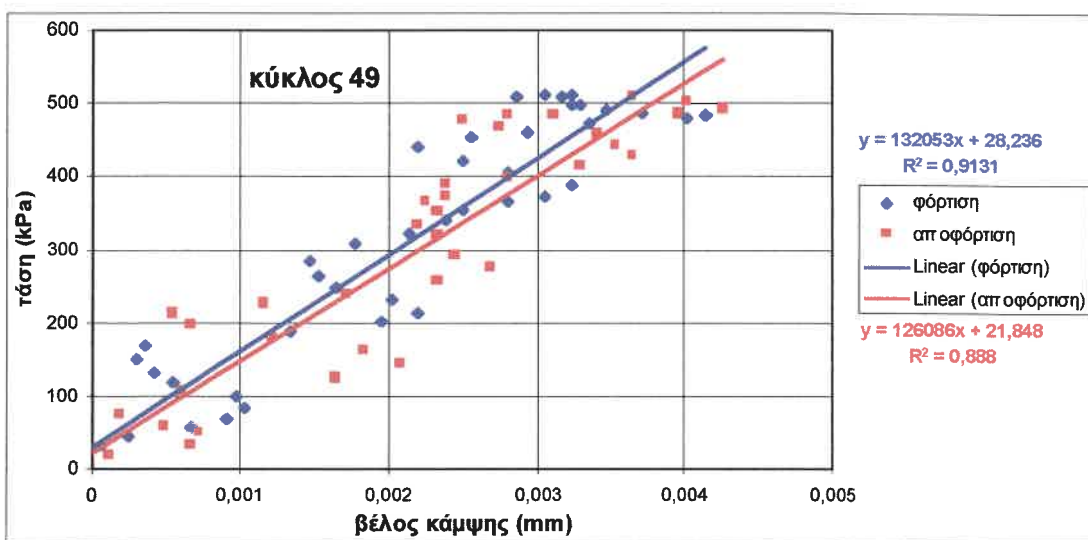
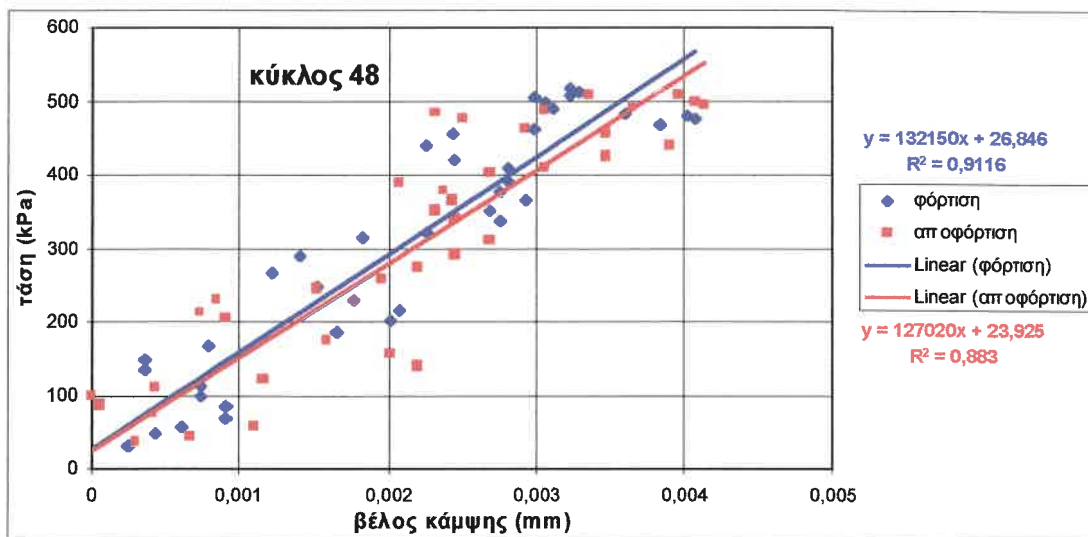
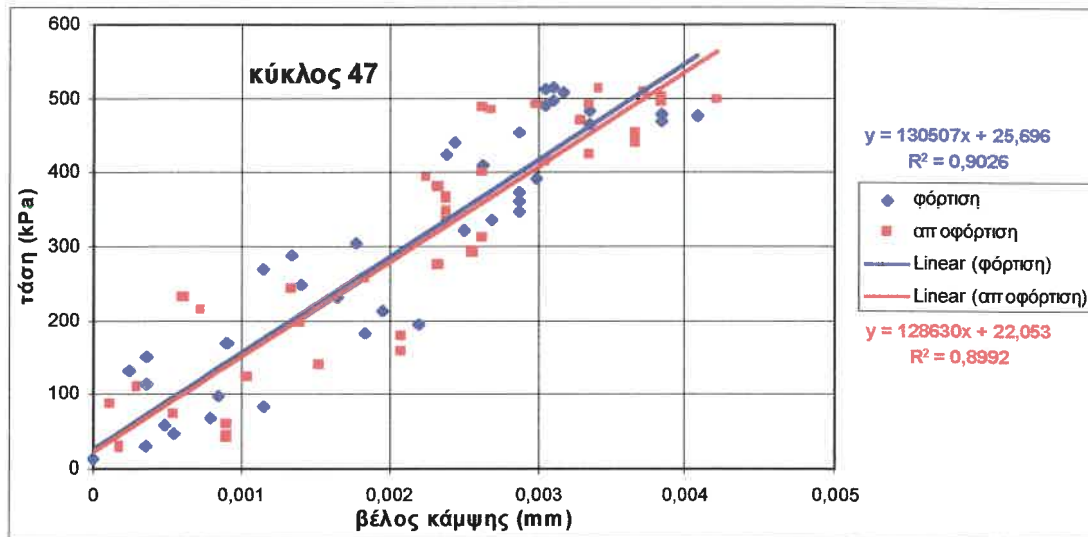
Σχήμα Γ-12: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 98, 99 για το δοκίμιο 5 (γαλάκτωμα 1% - τσιμέντο 3%)



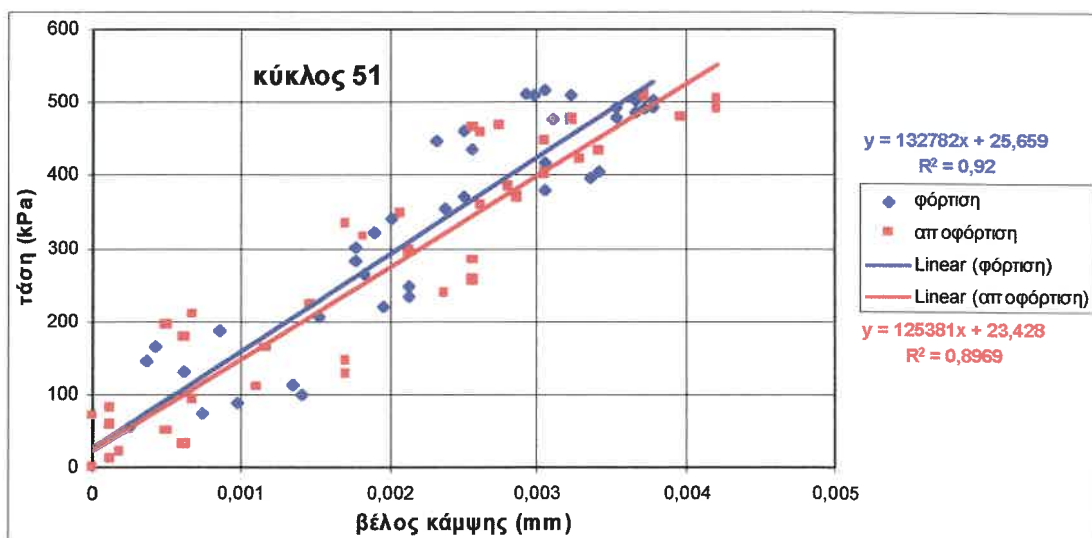
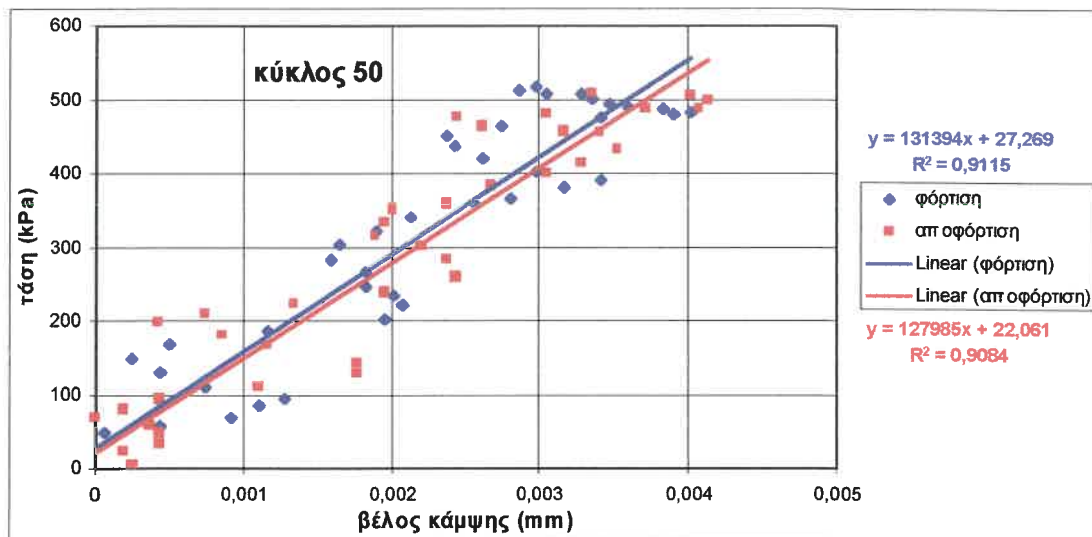
Σχήμα Γ-13: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 0, 1, 2 για το δοκίμιο 9 (γαλάκτωμα 0% - τσιμέντο 3%)



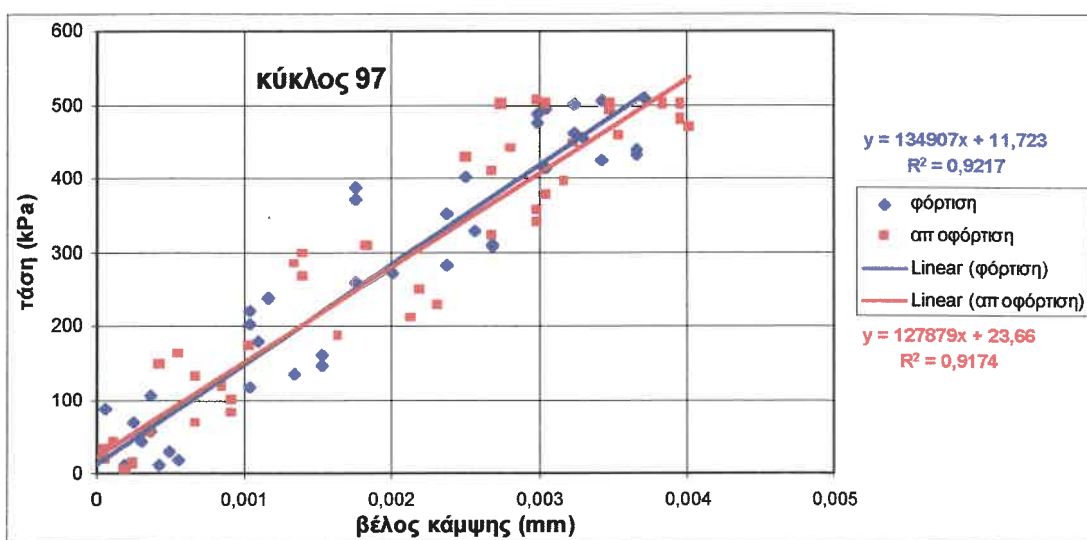
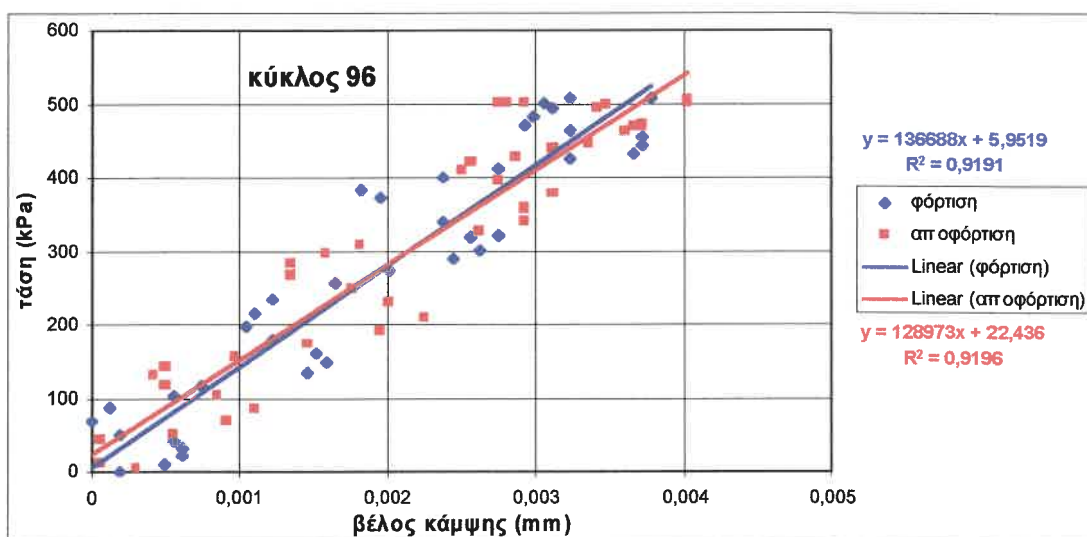
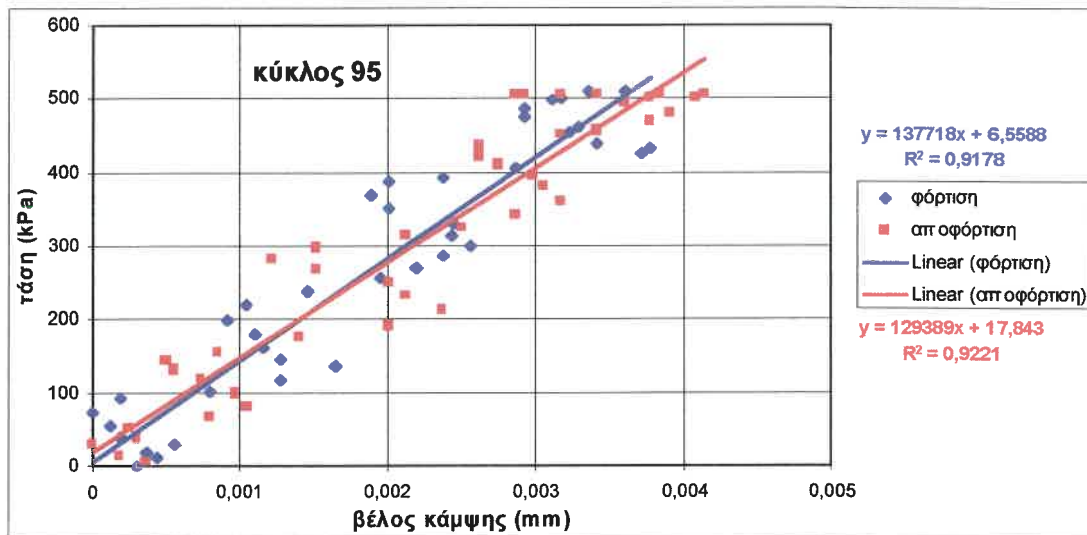
Σχήμα Γ-14: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλινδρόμησης), κύκλοι 3, 4 για το δοκίμιο 9 (γαλάκτωμα 0% - τσιμέντο 3%)



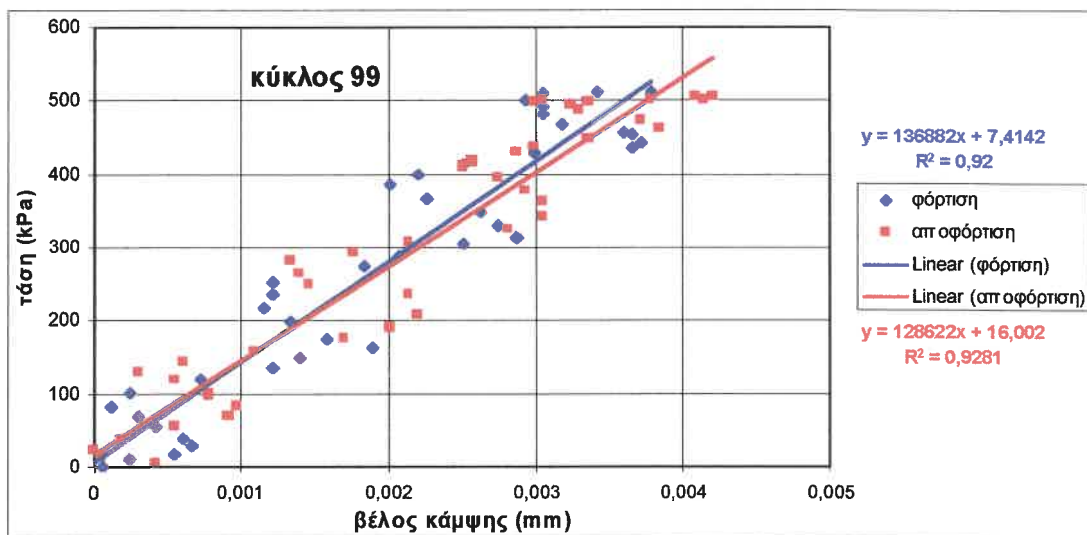
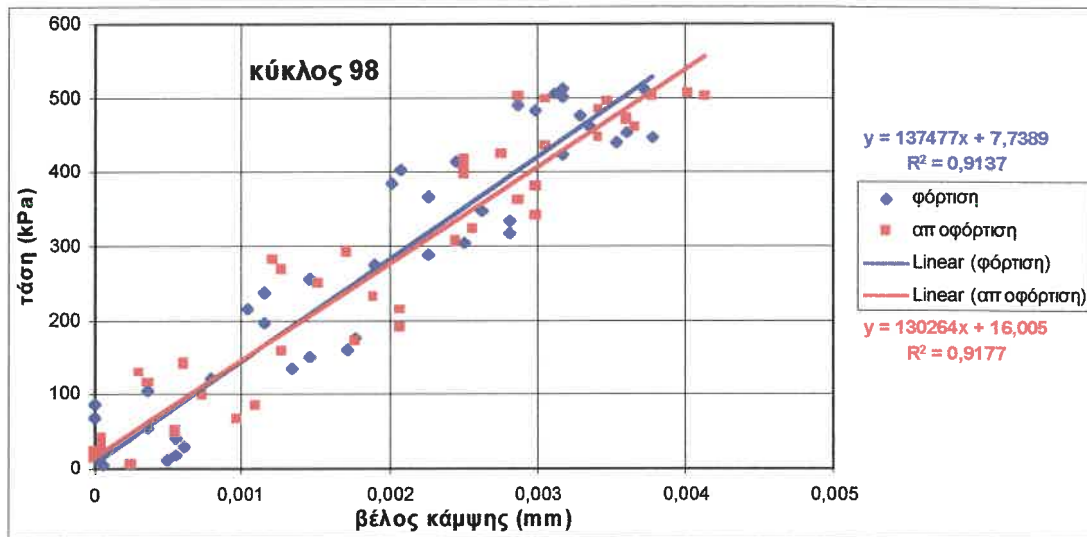
Σχήμα Γ-15: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 47, 48, 49 για το δοκίμιο 9 (γαλάκτωμα 0% - τσιμέντο 3%)



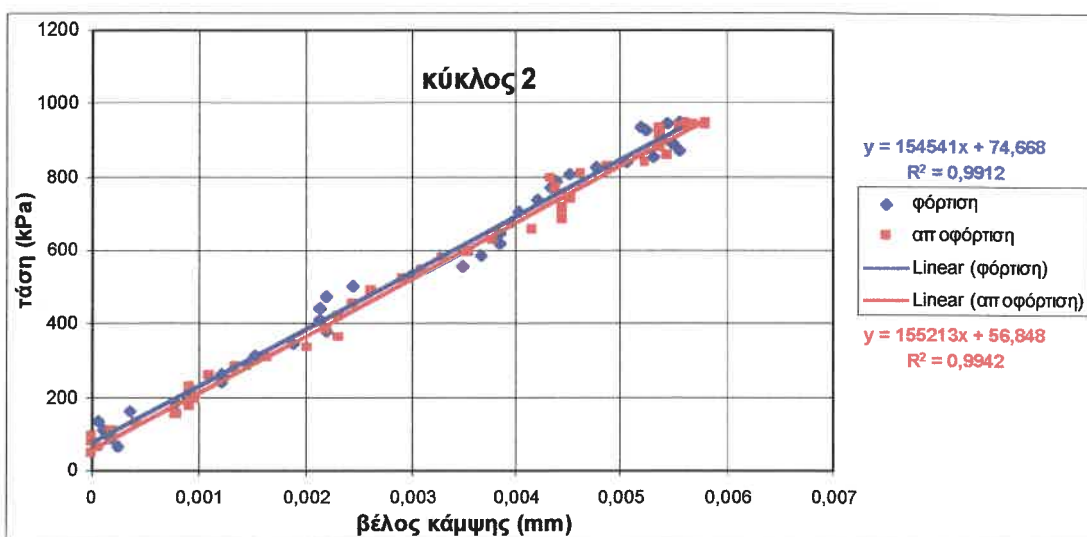
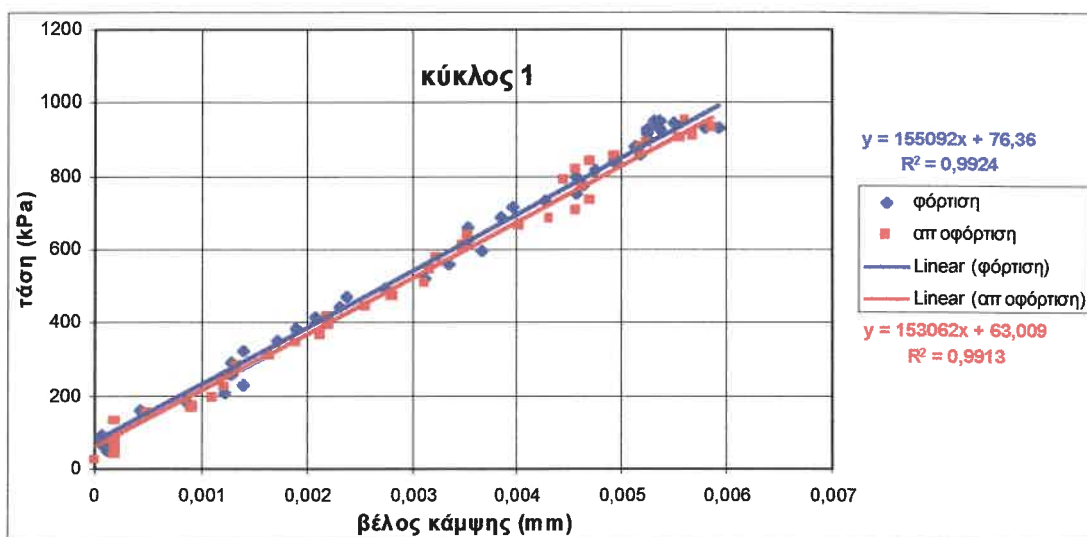
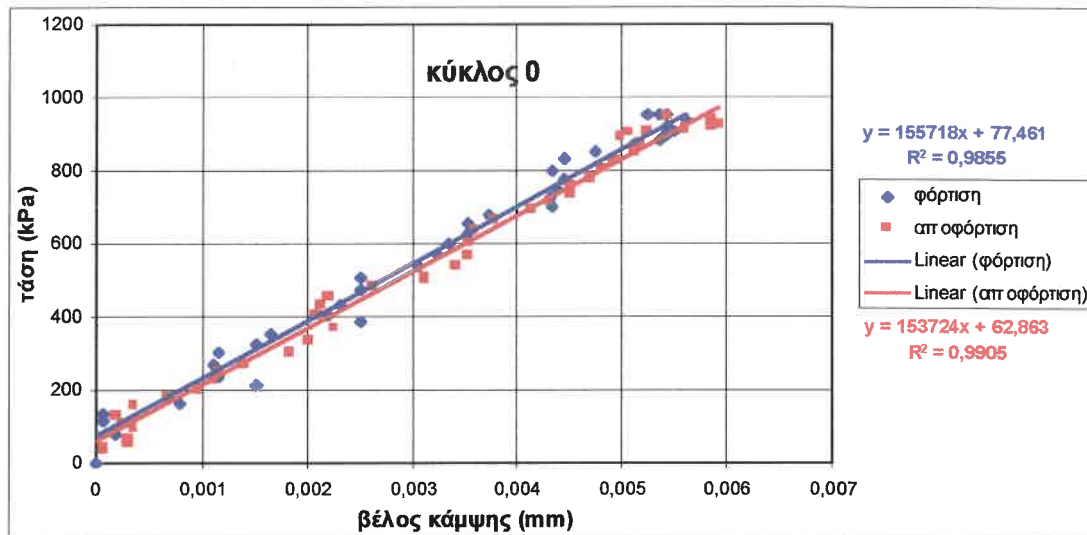
Σχήμα Γ-16: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 50, 51 για το δοκίμιο 9 (γαλάκτωμα 0% - τσιμέντο 3%)



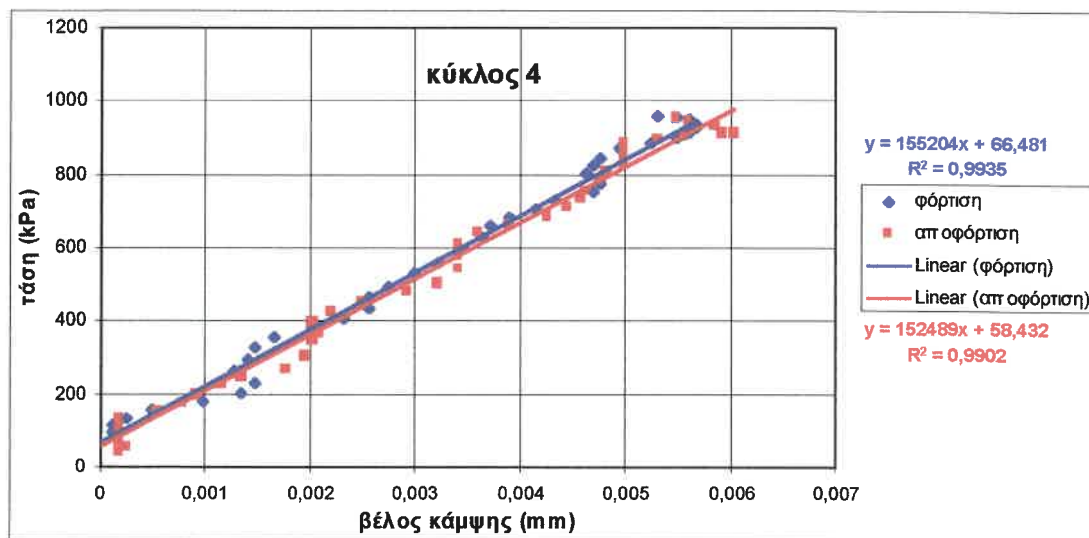
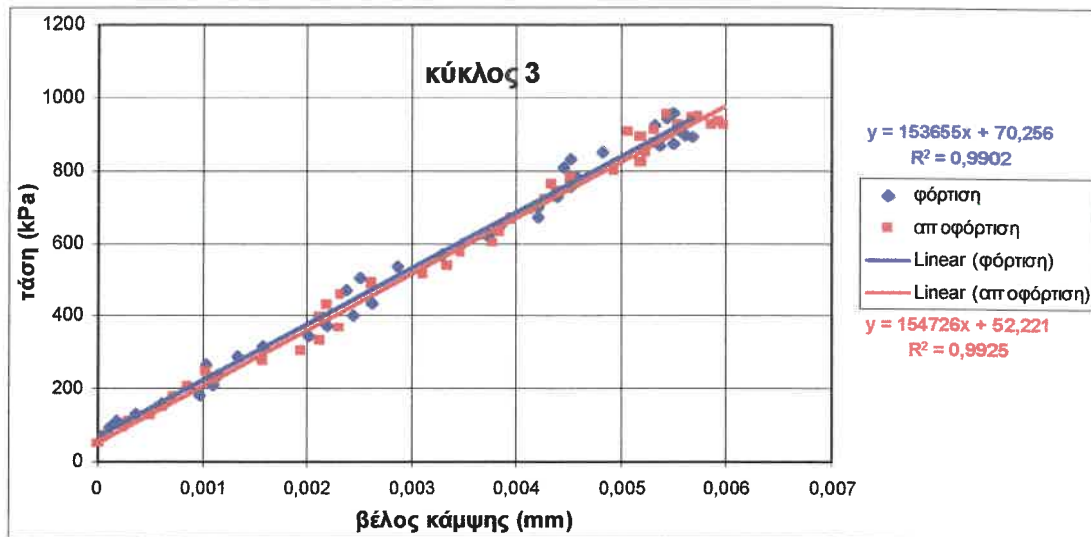
Σχήμα Γ-17: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 95, 96, 97 για το δοκίμιο 9 (γαλάκτωμα 0% - τσιμέντο 3%)



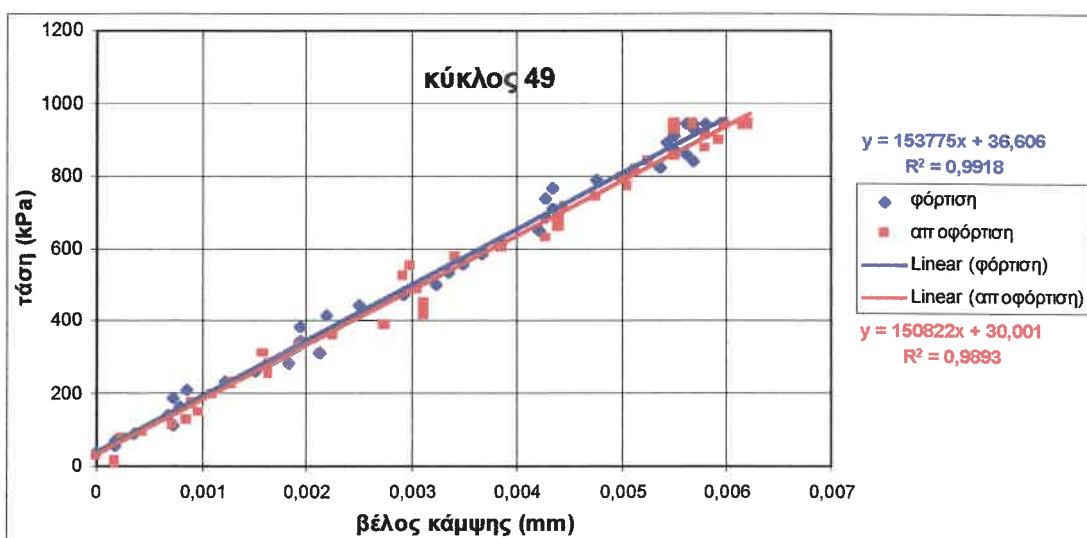
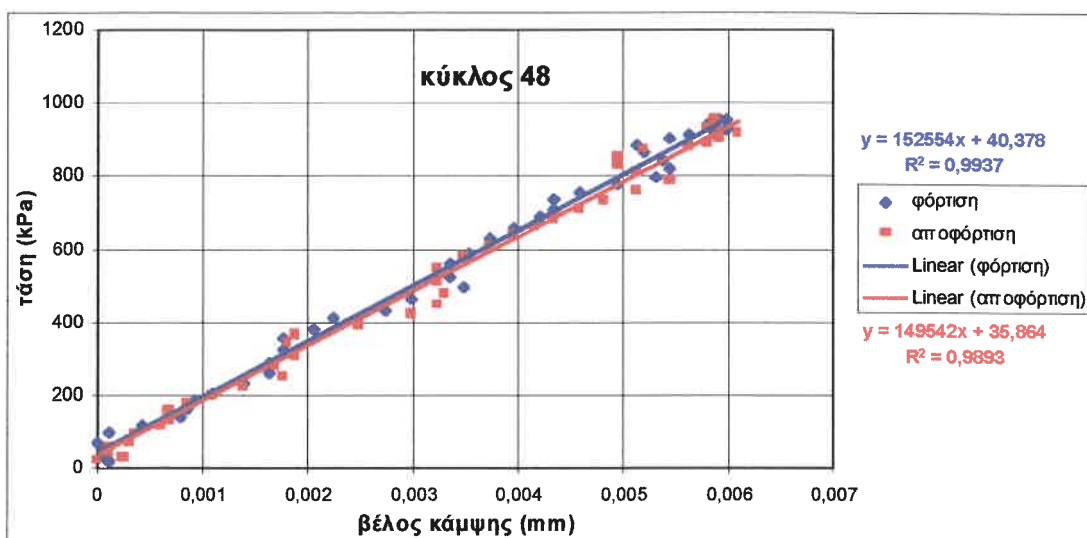
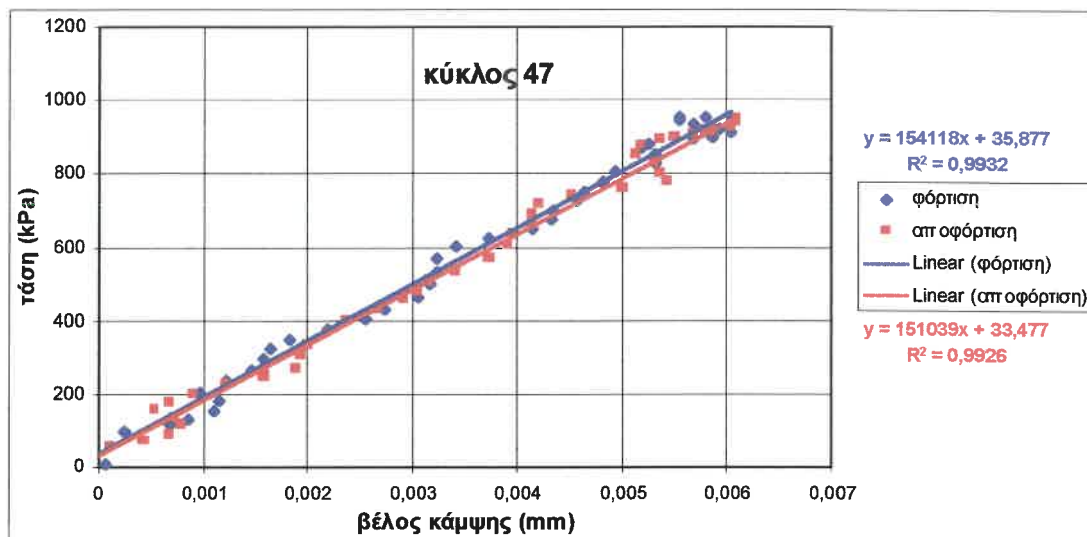
Σχήμα Γ-18: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 98, 99 για το δοκίμιο 9 (γαλάκτωμα 0% - τσιμέντο 3%)



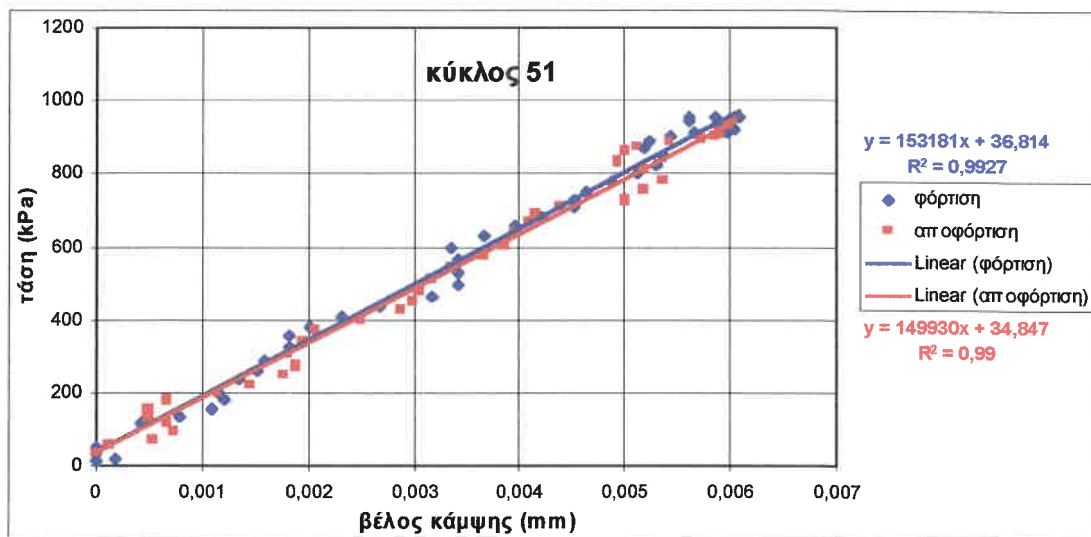
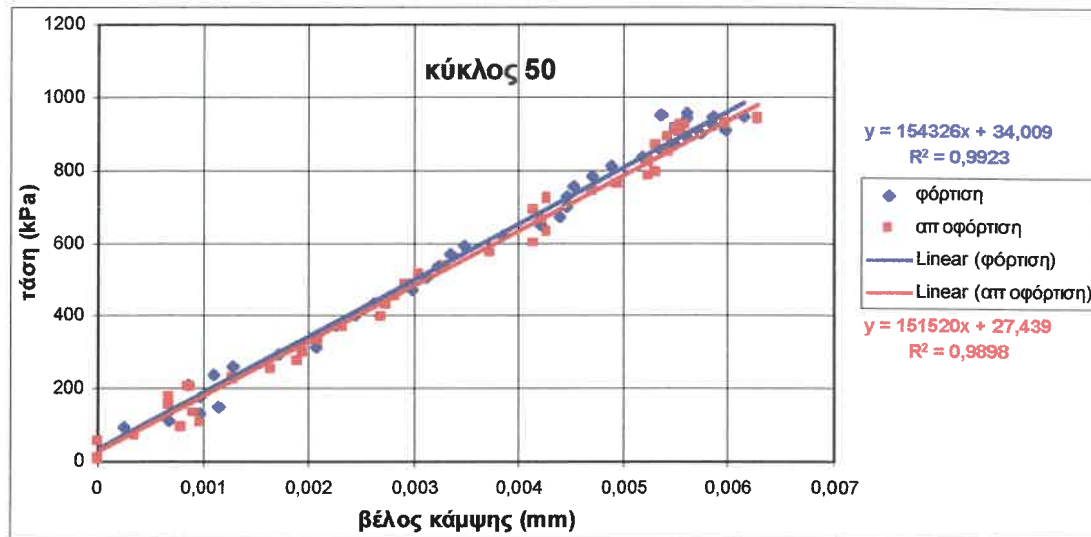
Σχήμα Γ-19: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 0, 1, 2 για το δοκίμιο 11 (γαλάκτωμα 0% - τσιμέντο 4%)



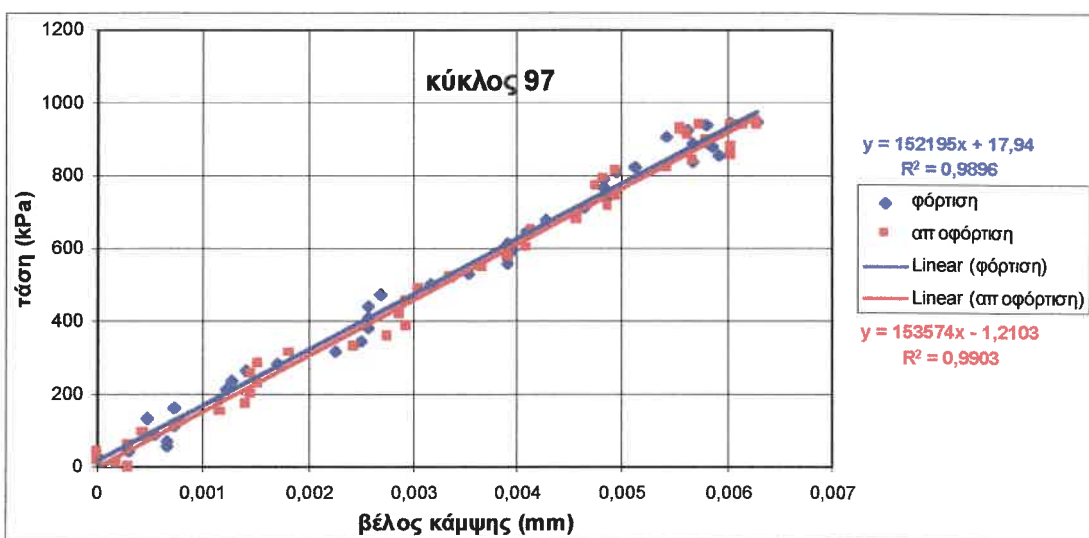
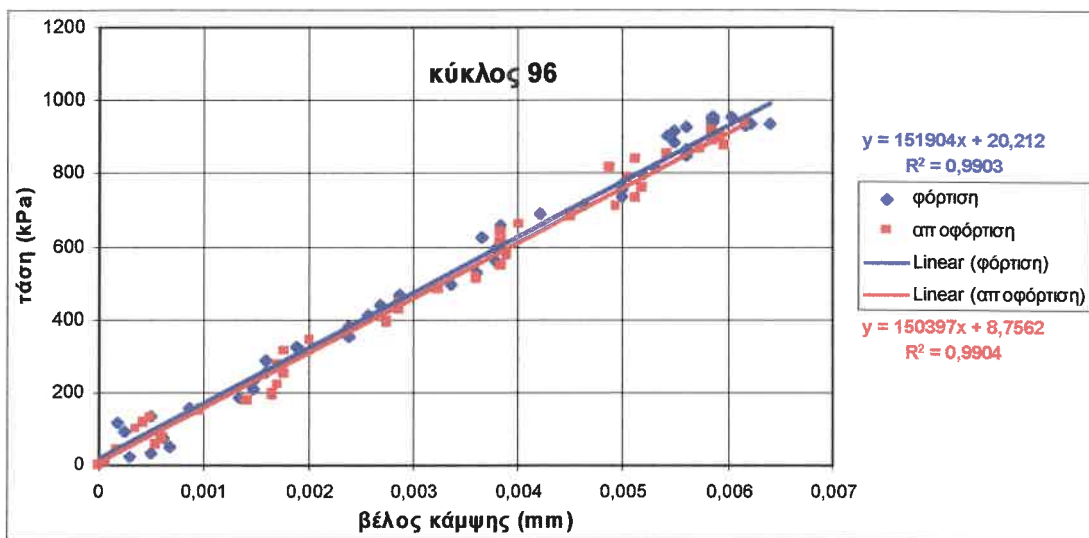
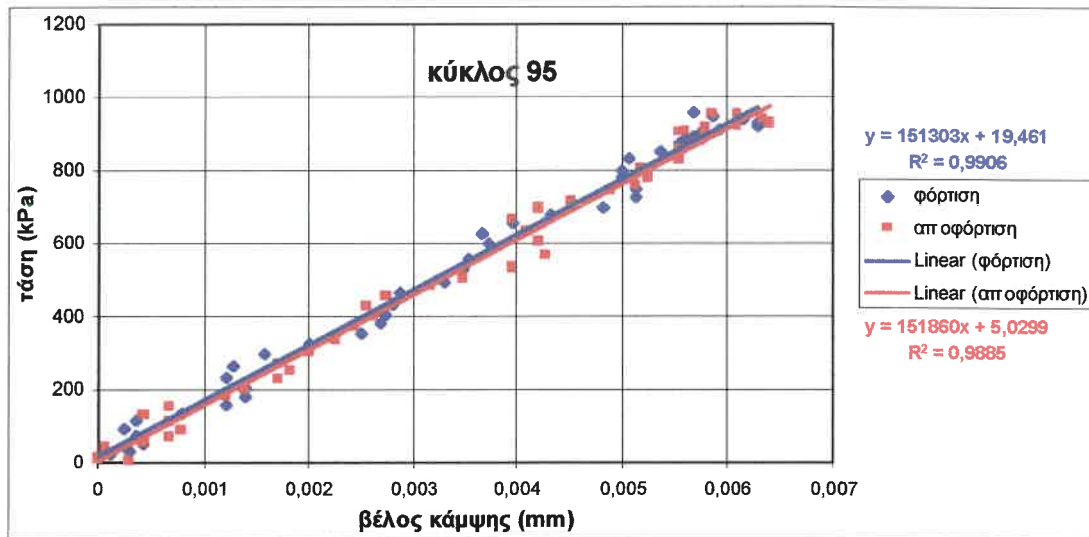
Σχήμα Γ-20: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 3, 4 για το δοκίμιο 11 (γαλάκτωμα 0% - τσιμέντο 4%)



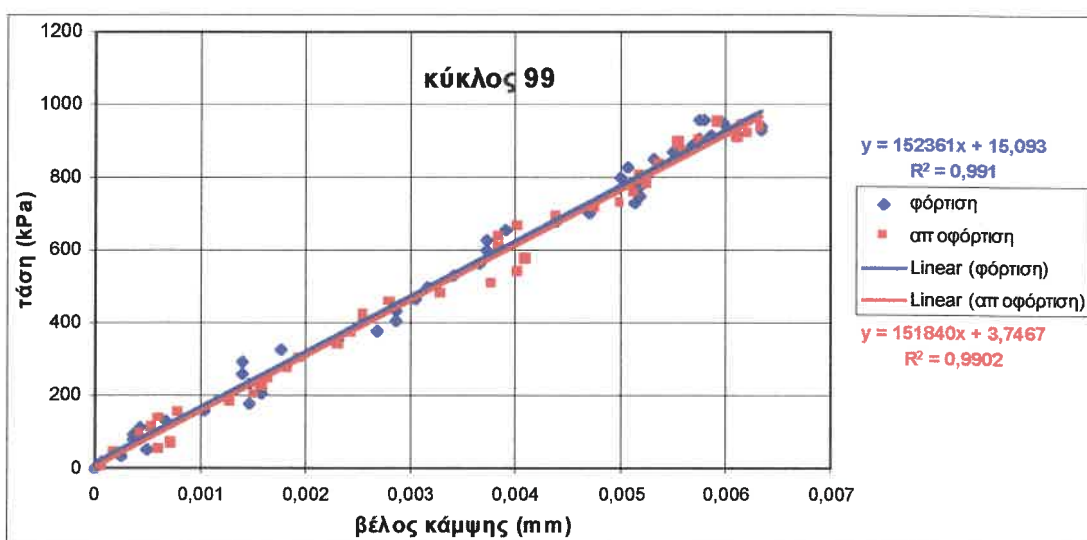
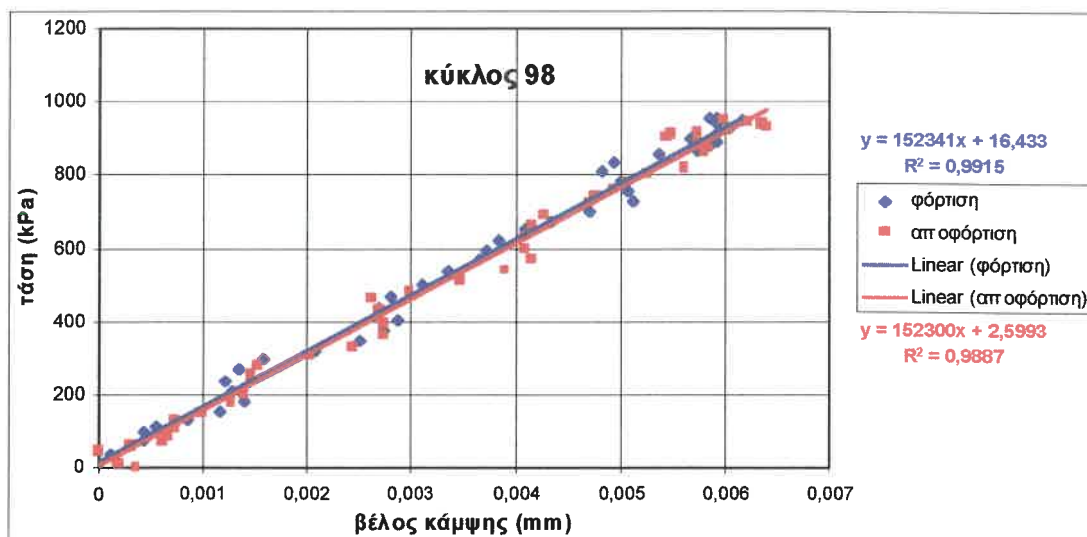
Σχήμα Γ-21: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 47, 48, 49 για το δοκίμιο 11 (γαλάκτωμα 0% - τσιμέντο 4%)



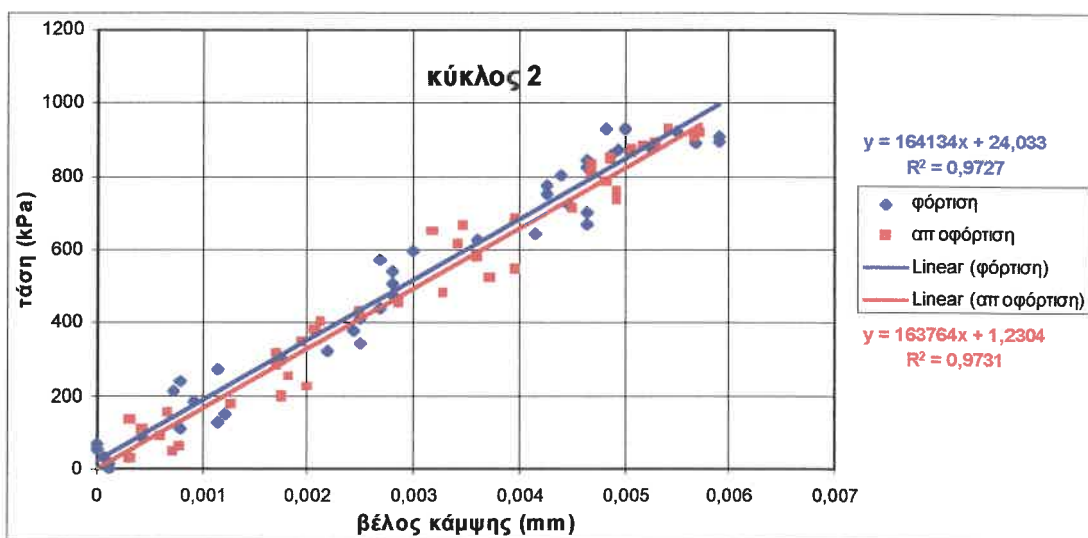
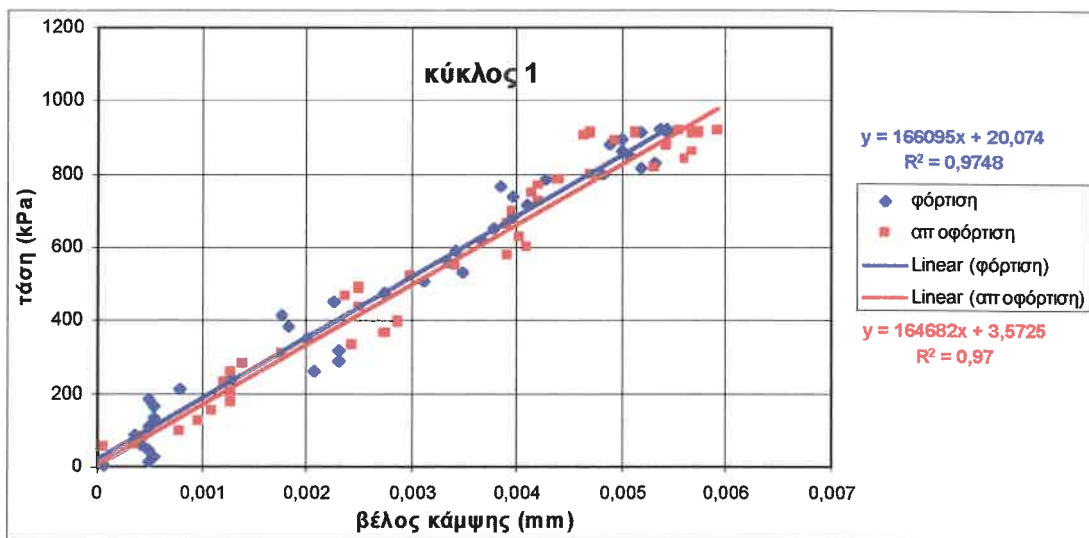
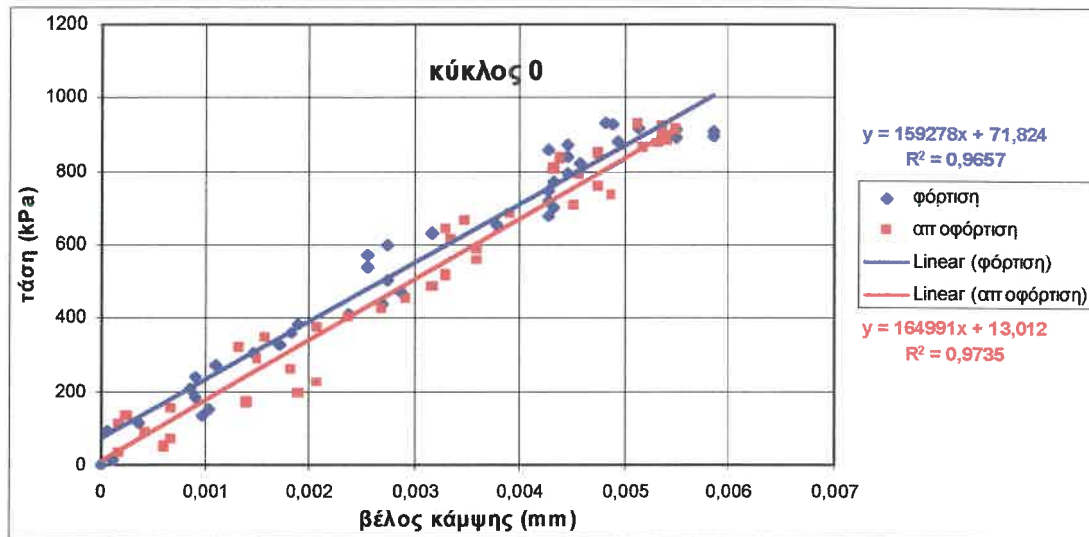
Σχήμα Γ-22: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 50, 51 για το δοκίμιο 11 (γαλάκτωμα 0% - τσιμέντο 4%)



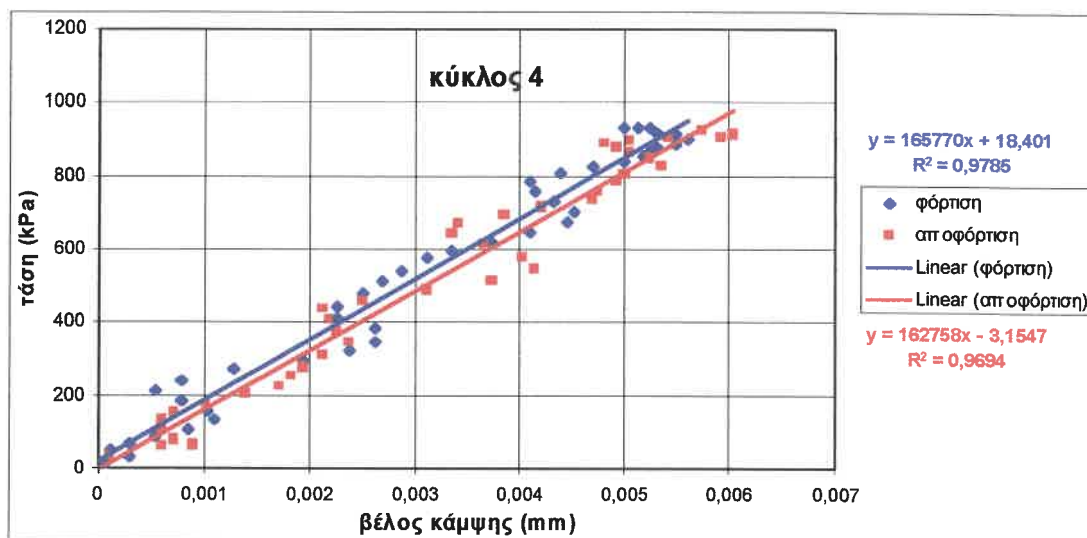
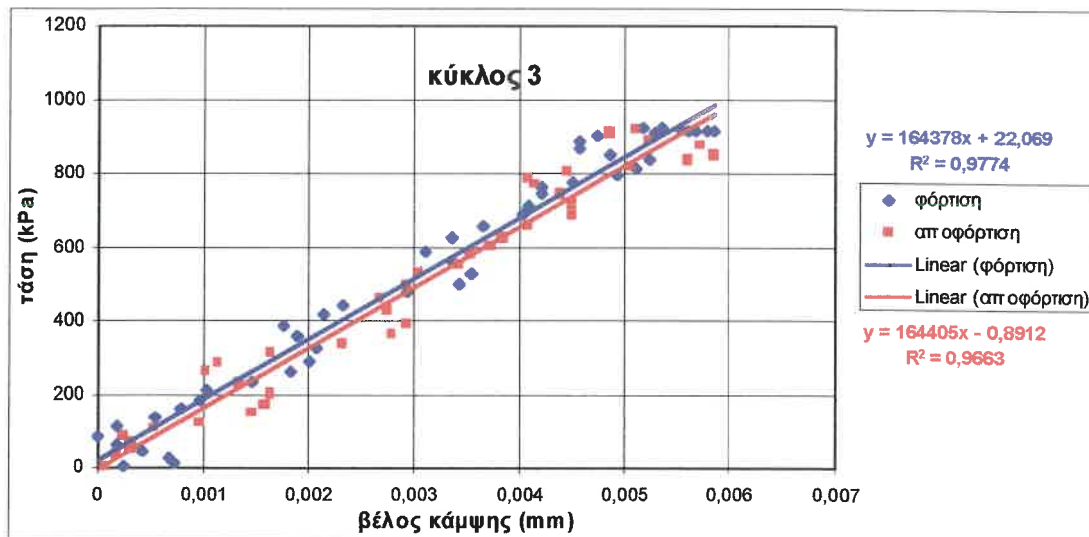
Σχήμα Γ-23: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 95, 96, 97 για το δοκίμιο 11 (γαλάκτωμα 0% - τσιμέντο 4%)



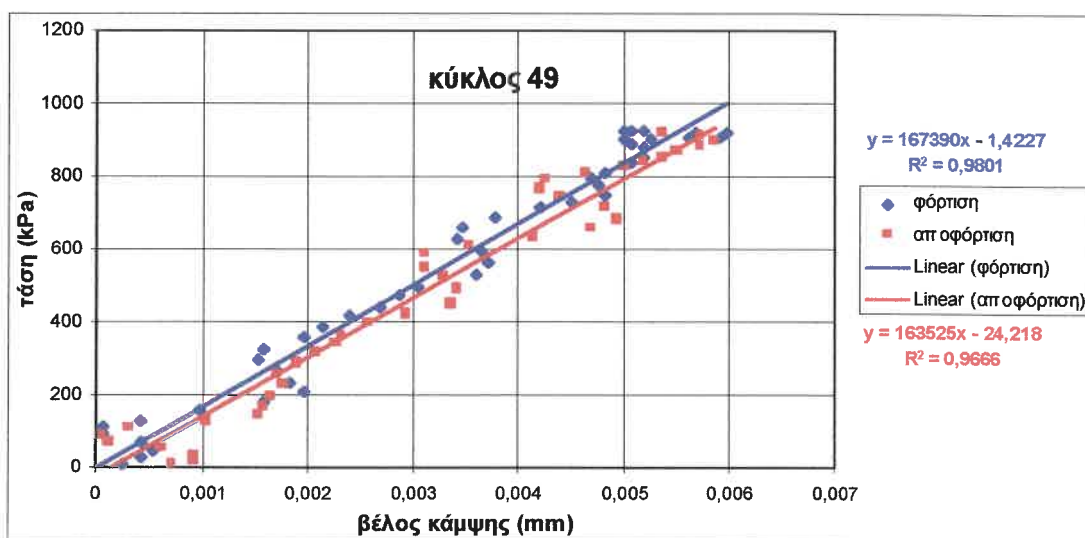
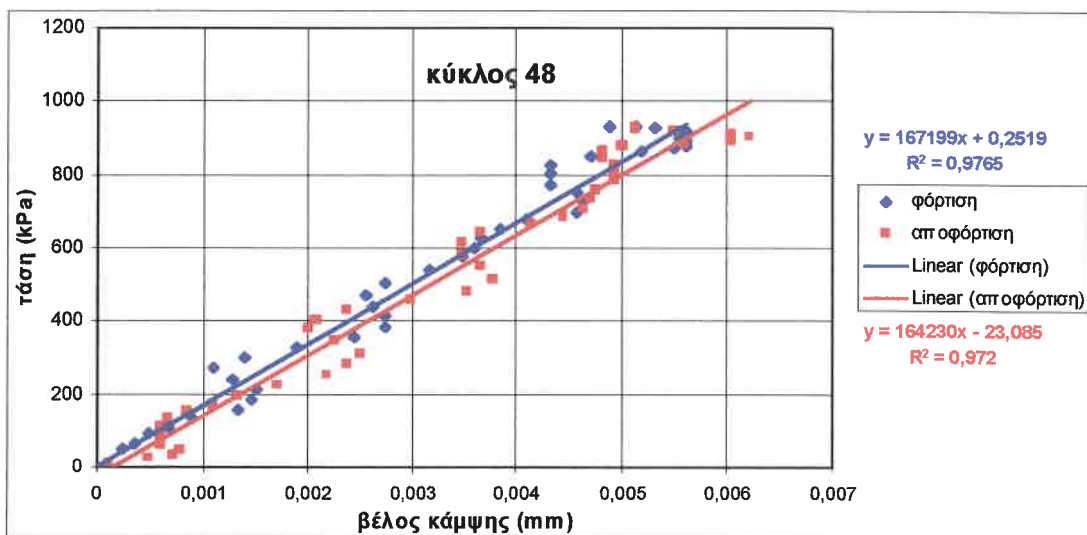
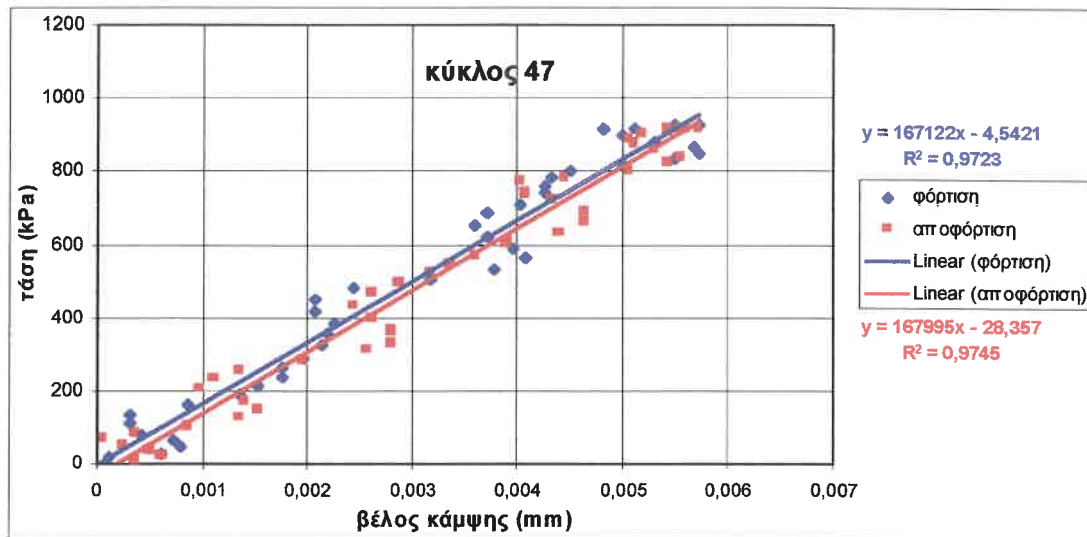
Σχήμα Γ-24: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 98, 99 για το δοκίμιο 11 (γαλάκτωμα 0% - τσιμέντο 4%)



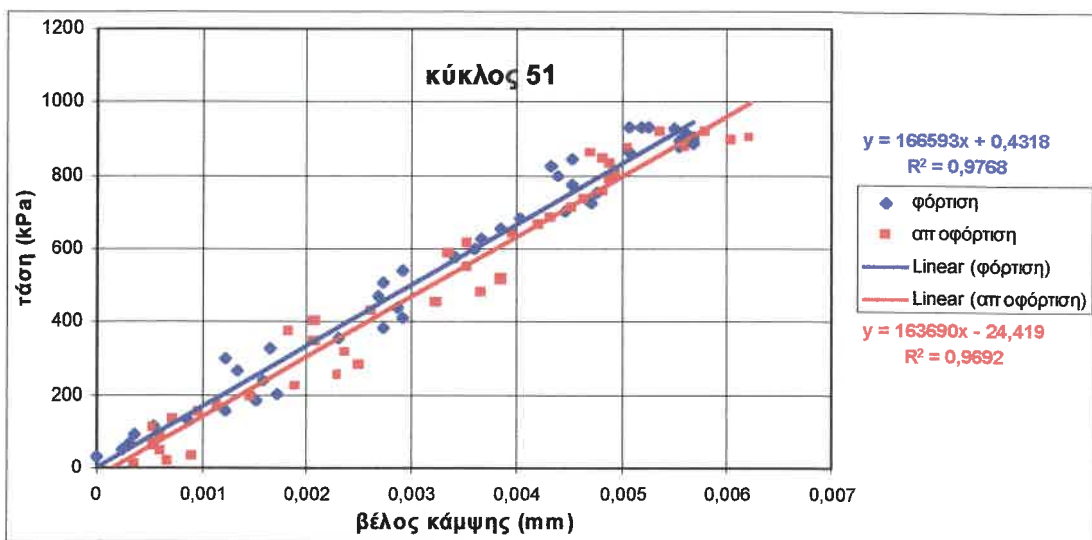
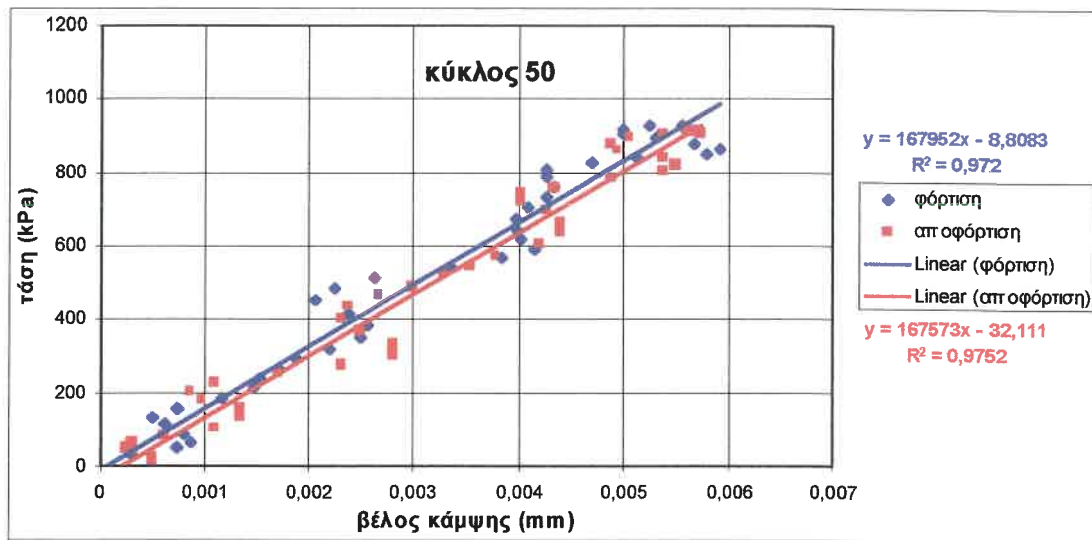
Σχήμα Γ-25: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 0, 1, 2 για το δοκίμιο 17 (γαλάκτωμα 1% - τσιμέντο 4%)



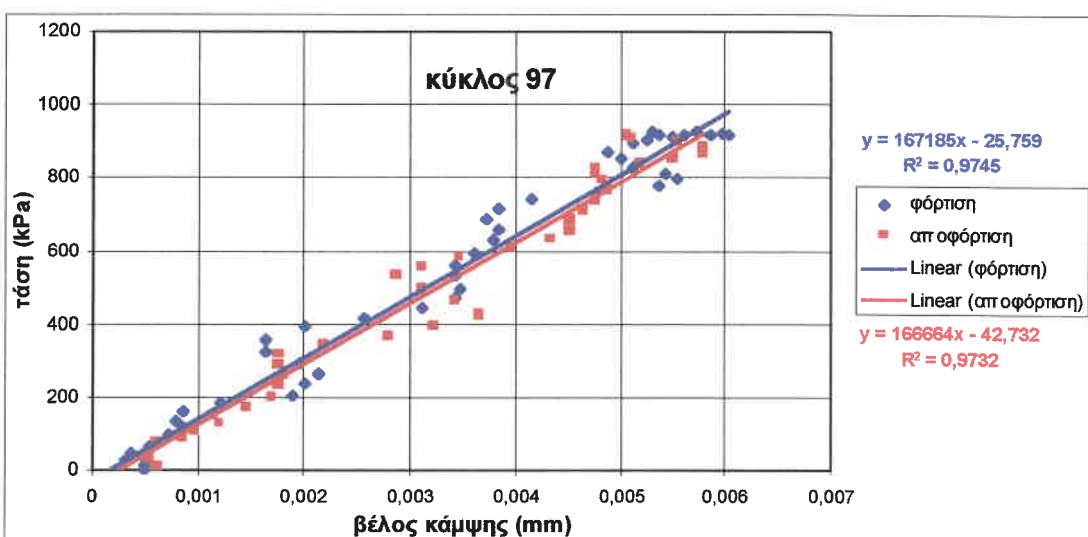
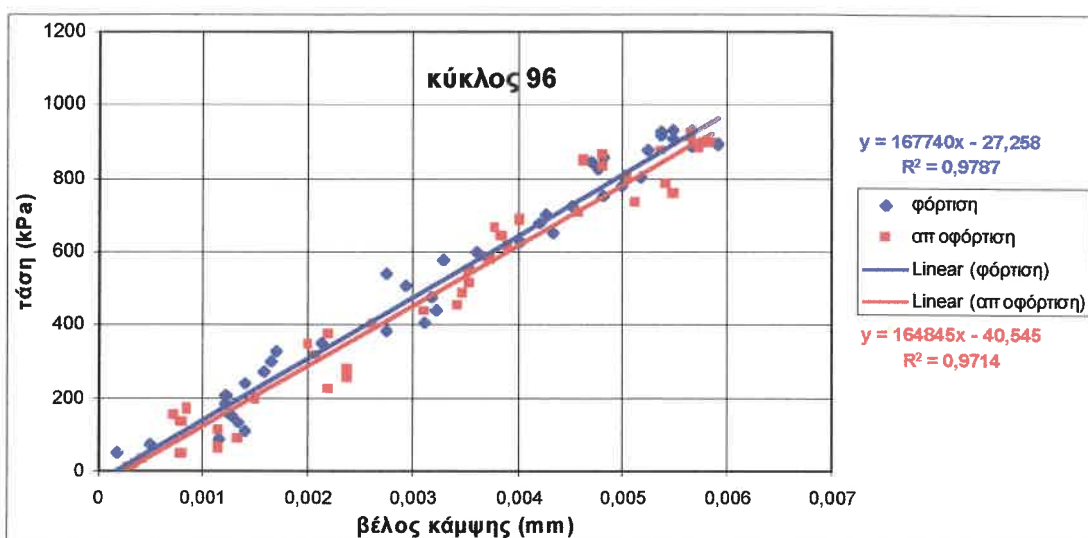
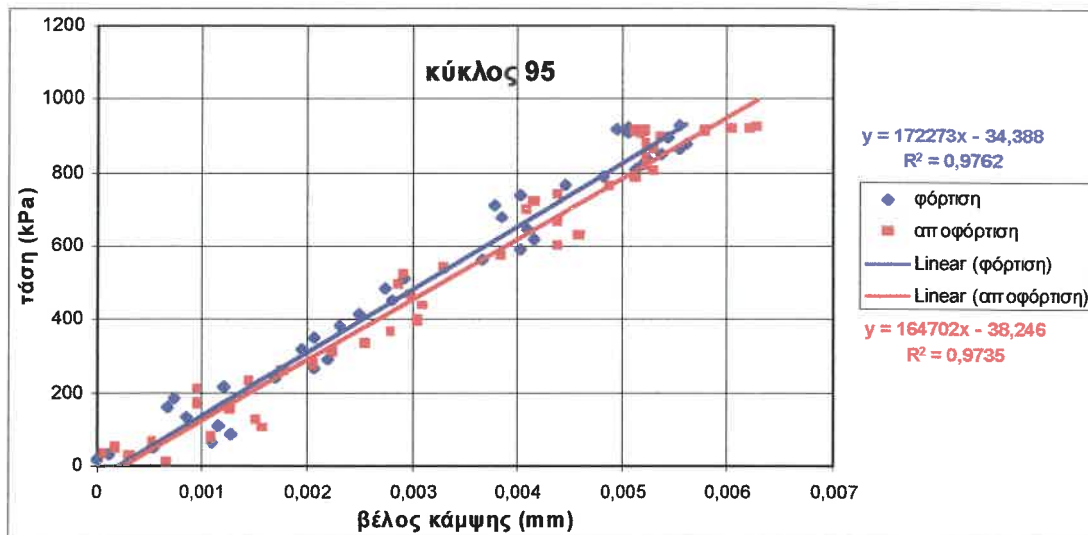
Σχήμα Γ-26: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 3, 4 για το δοκίμιο 17 (γαλάκτωμα 1% - τσιμέντο 4%)



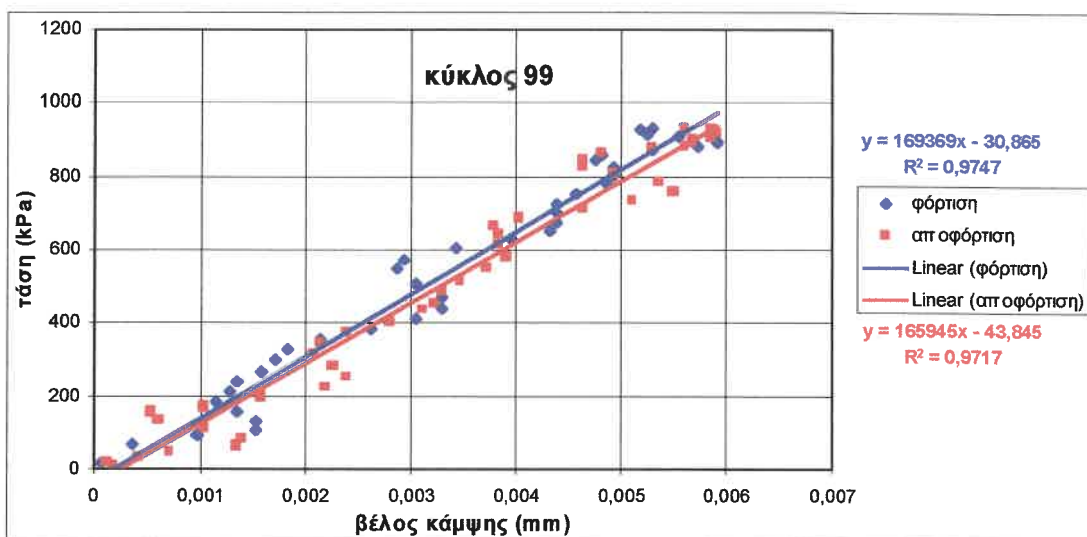
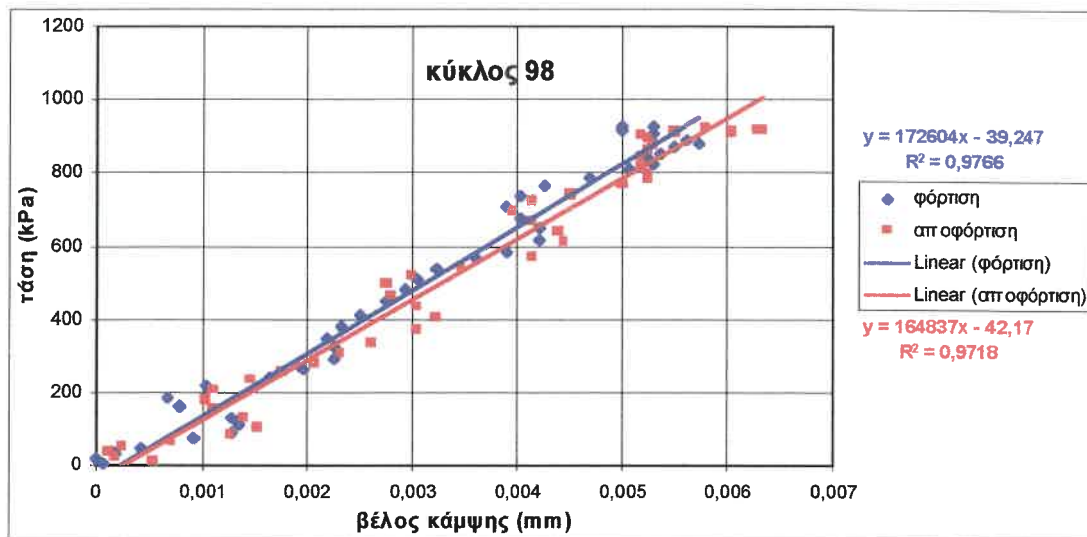
Σχήμα Γ-27: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 47, 48, 49 για το δοκίμιο 17 (γαλάκτωμα 1% - τσιμέντο 4%)



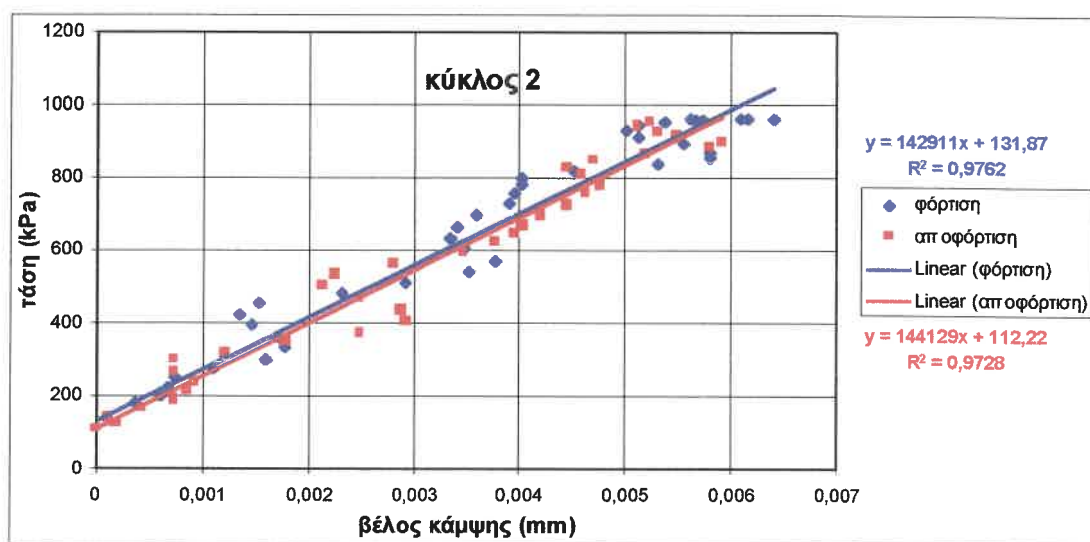
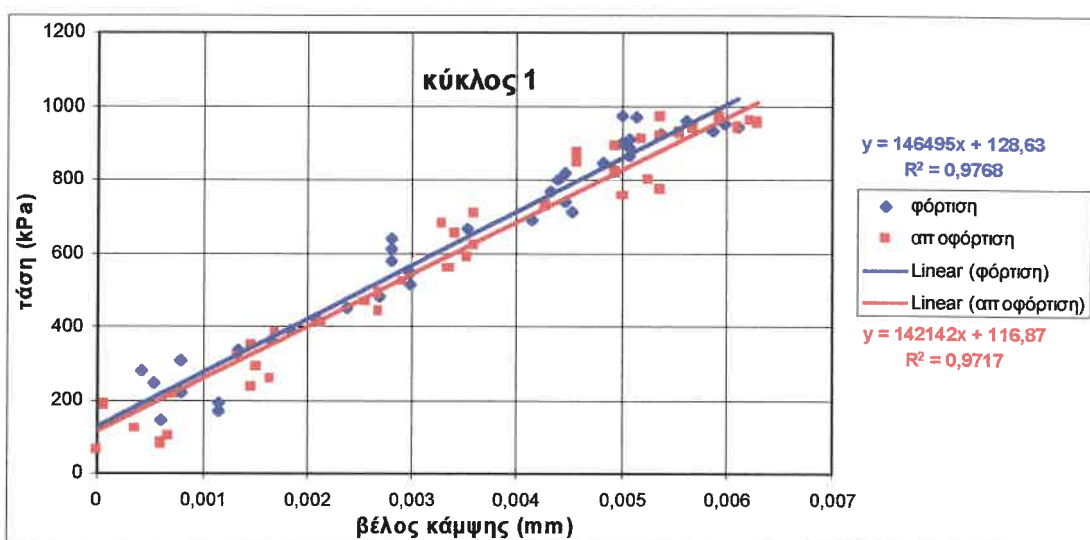
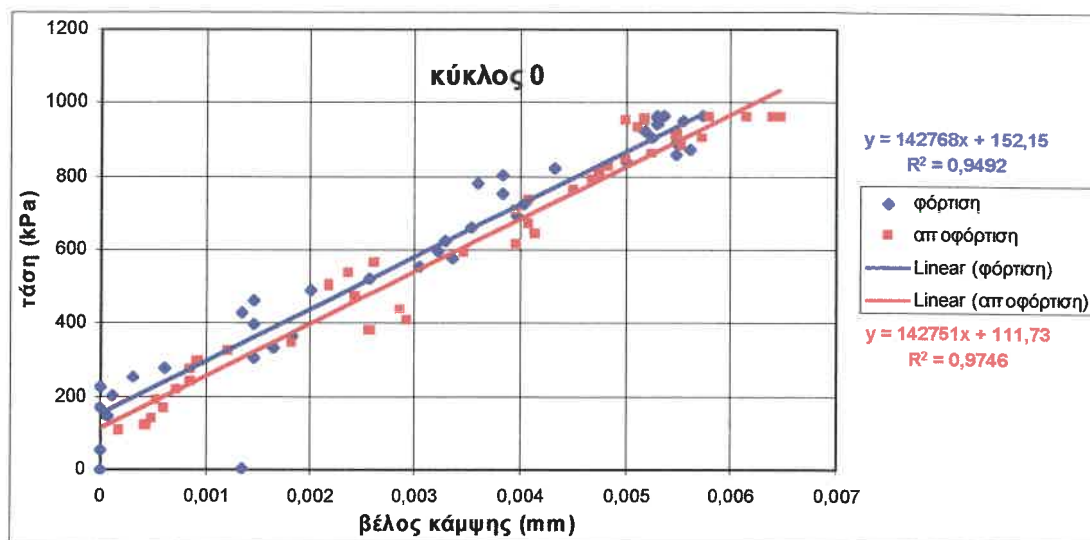
Σχήμα Γ-28: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 50, 51 για το δοκίμιο 17 (γαλάκτωμα 1% - τσιμέντο 4%)



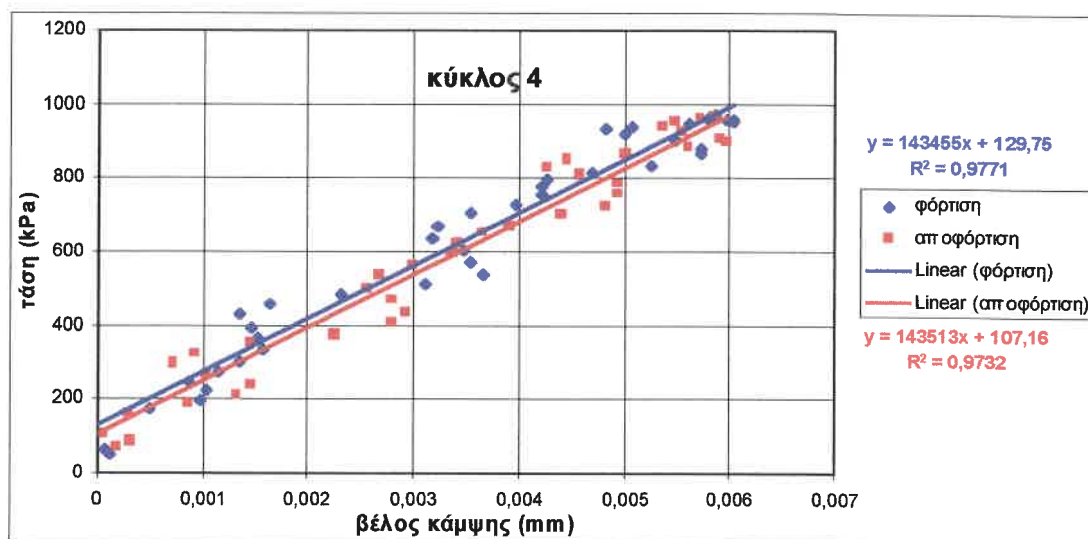
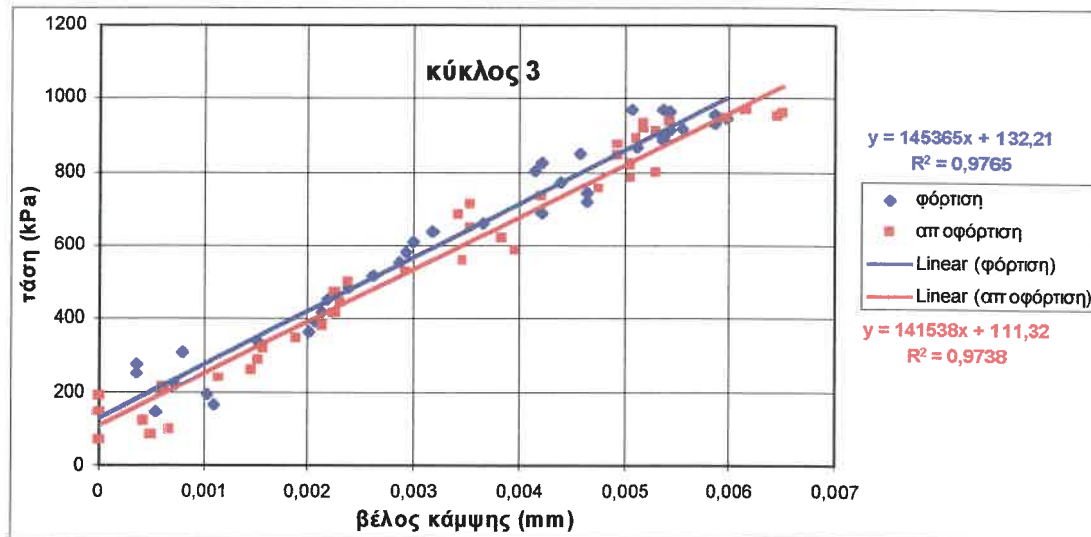
Σχήμα Γ-29: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 95, 96, 97 για το δοκίμιο 17 (γαλάκτωμα 1% - τσιμέντο 4%)



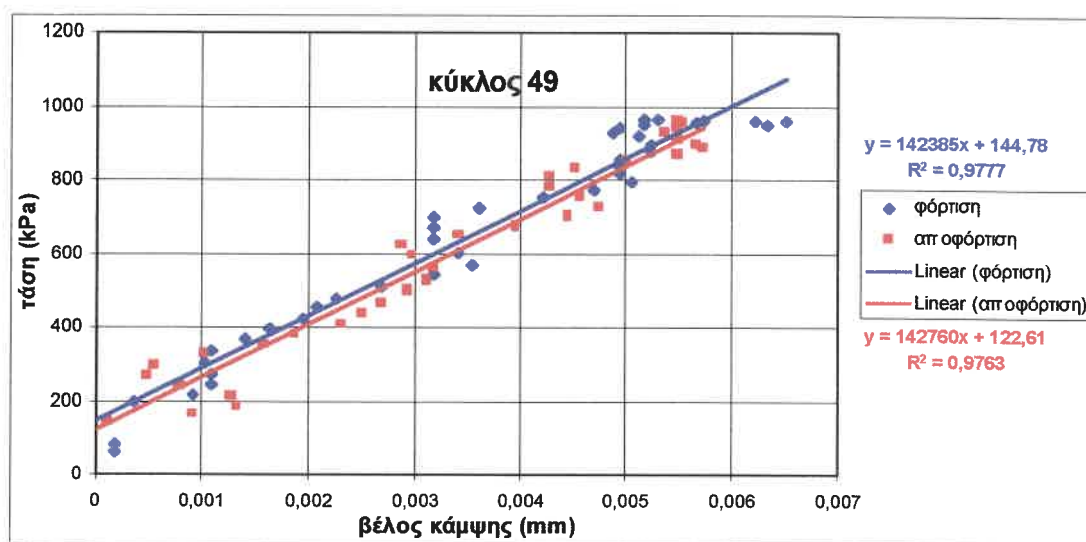
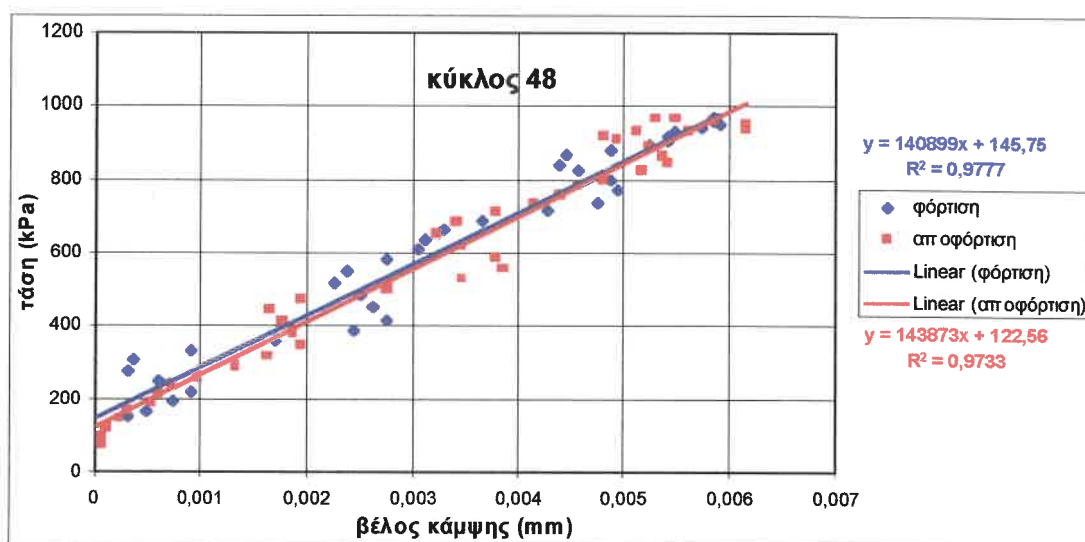
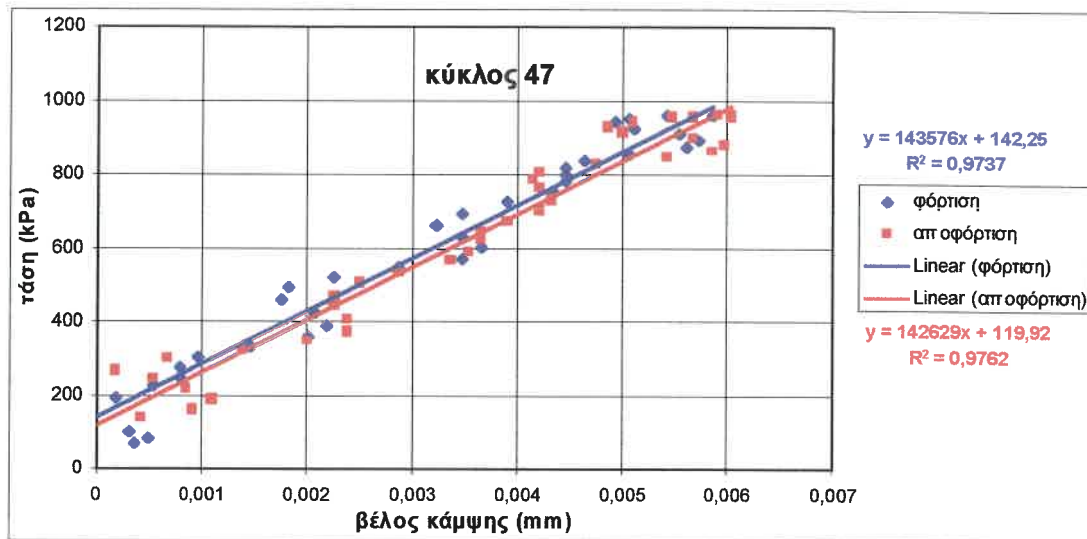
Σχήμα Γ-30: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλινδρόμησης), κύκλοι 98, 99 για το δοκίμιο 17 (γαλάκτωμα 1% - τσιμέντο 4%)



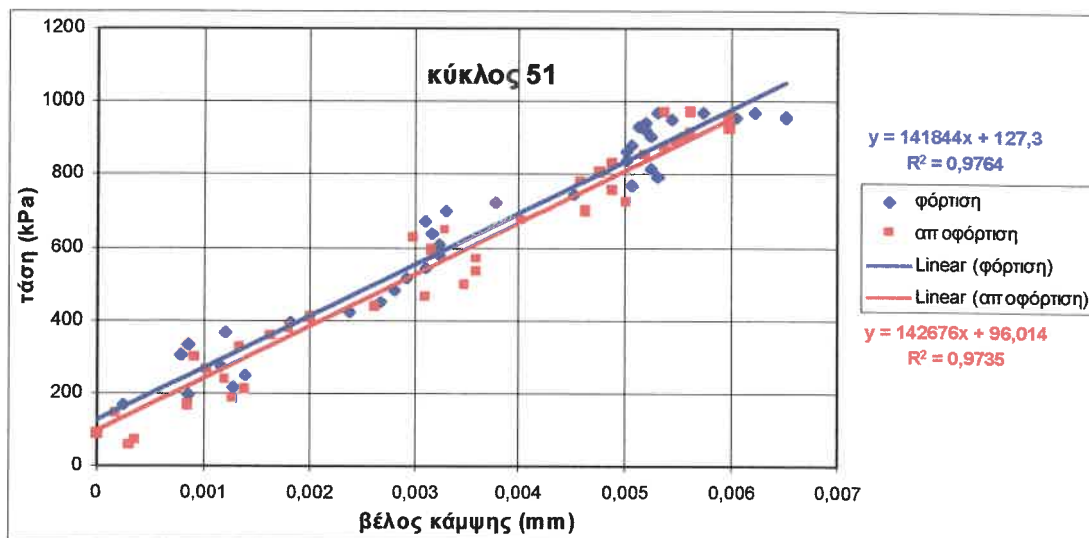
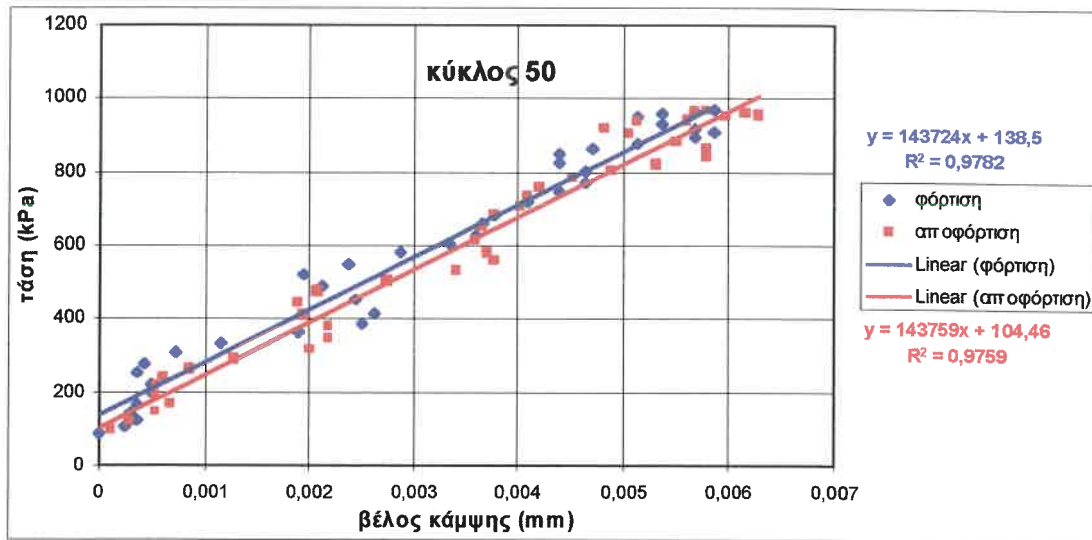
Σχήμα Γ-31: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλινδρόμησης), κύκλοι 0, 1, 2 για το δοκίμιο 20 (γαλάκτωμα 2% - τσιμέντο 4%)



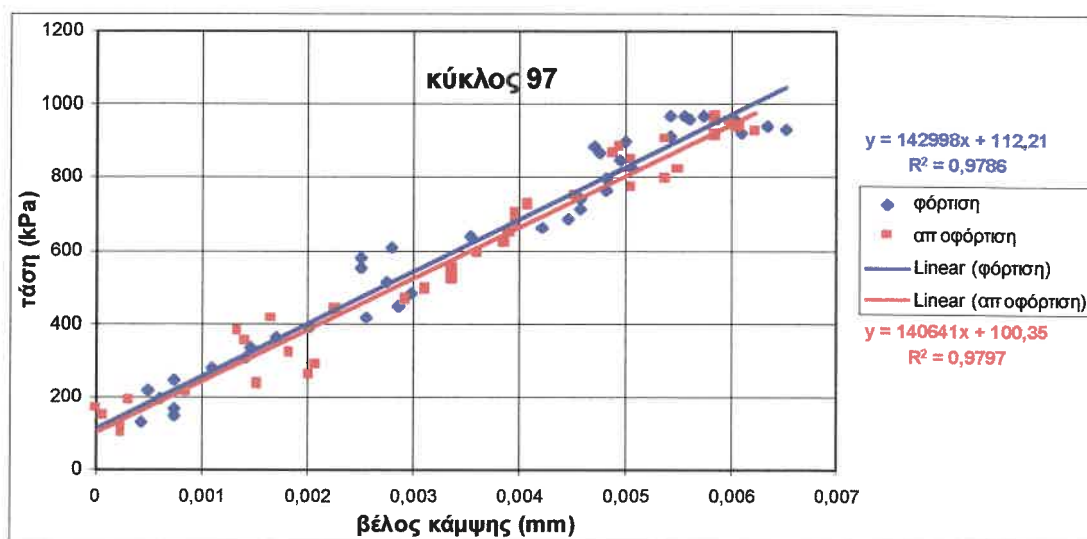
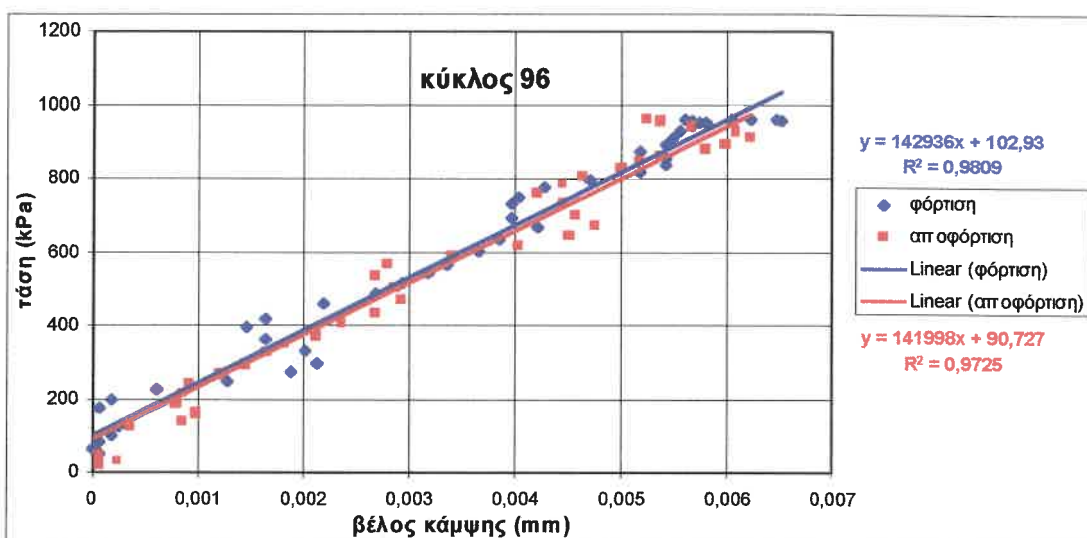
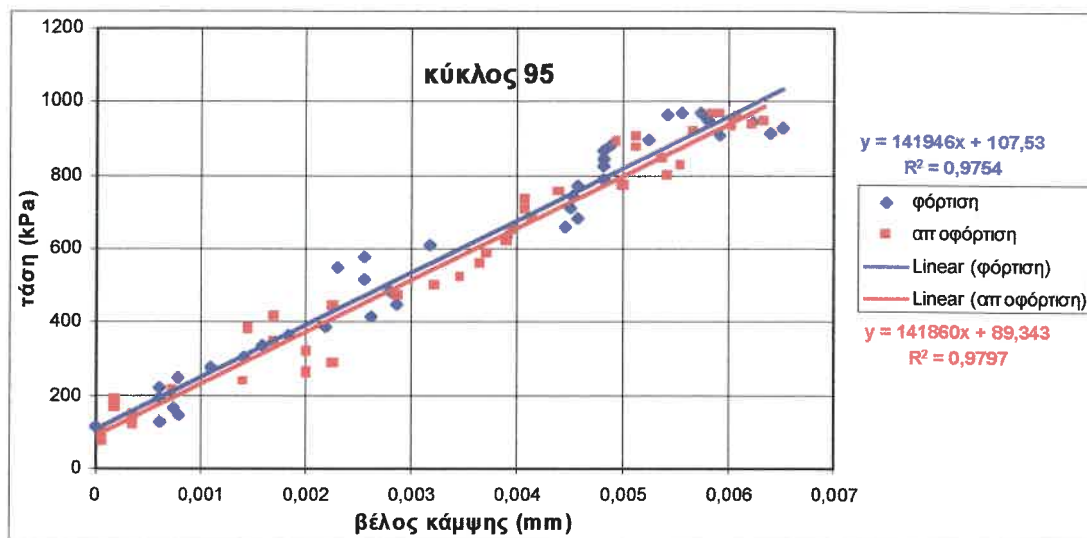
Σχήμα Γ-32: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 3, 4 για το δοκίμιο 20 (γαλάκτωμα 2% - τσιμέντο 4%)



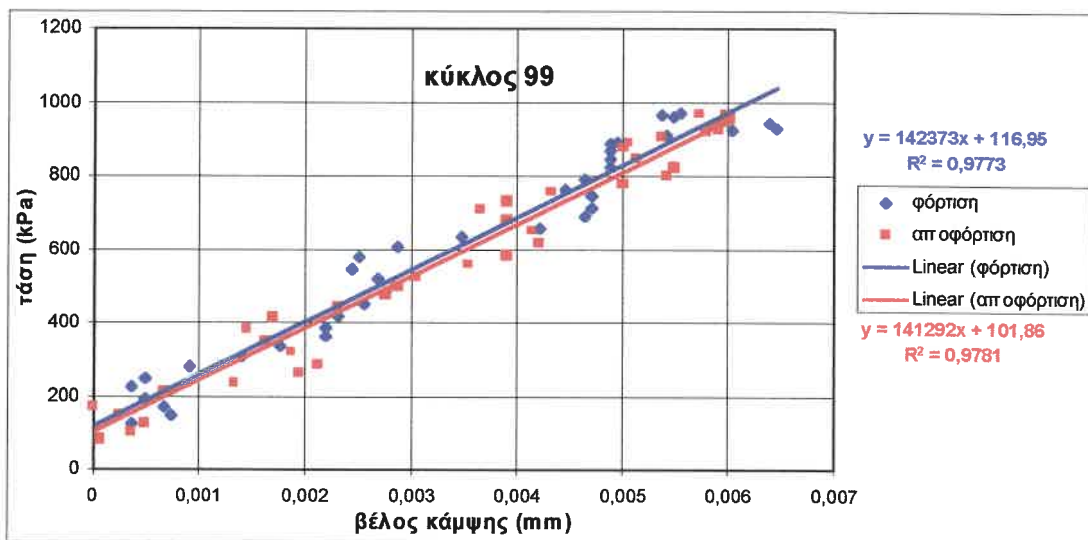
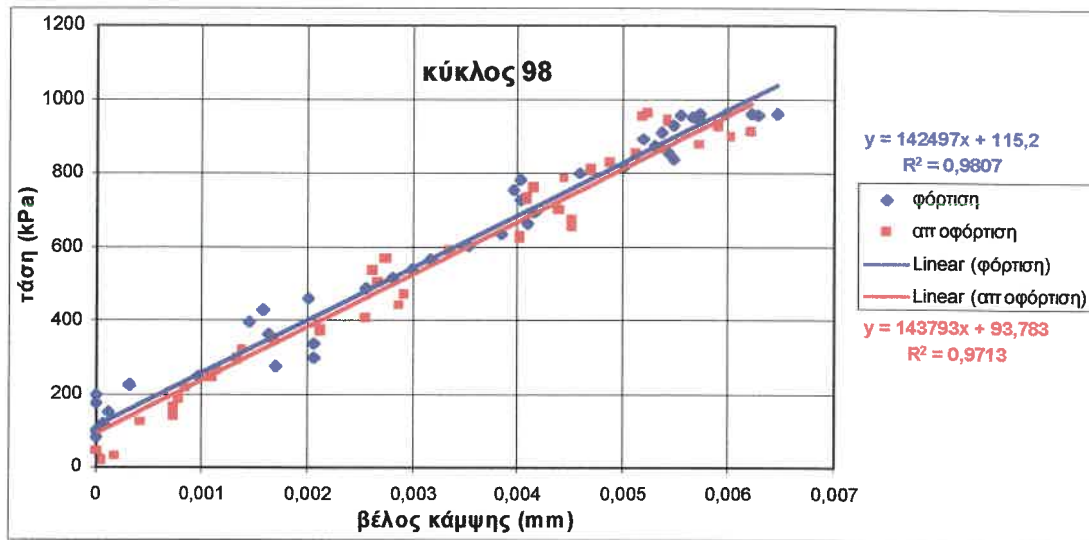
Σχήμα Γ-33: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 47, 48, 49 για το δοκίμιο 20 (γαλάκτωμα 2% - τσιμέντο 4%)



Σχήμα Γ-34: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 50, 51 για το δοκίμιο 20 (γαλάκτωμα 2% - τσιμέντο 4%)



Σχήμα Γ-35: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 95, 96, 97 για το δοκίμιο 20 (γαλάκτωμα 2% - τσιμέντο 4%)



Σχήμα Γ-36: Τάση – βέλος κάμψης για φόρτιση και αποφόρτιση (ευθείες παλλινδρόμησης), κύκλοι 98, 99 για το δοκίμιο 20 (γαλάκτωμα 2% - τσιμέντο 4%)

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Αρ. Δείγματος

1^η

Στοιχεία Δείγματος

ΑΜΜΟΣ

4000 kg

Παλιν 7000

Ημερομηνία δοκιμής

4-4-2002

30' 2000

Ονοματεπώνυμο

Βάρος ολικού δείγματος			Διαρχόμενο βάρος	
Πρότυπο μέγεθος κόσκινου (mm)	Αρ. κόσκινου	Συγκρατούμενο βάρος σε (gr)	gr	%
75.00	3"			
63.00	2 1/2"			
50.00	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 V	43		
2.50	No 8 V	673.6		
2.00	No 10			
1.18	No 16 V	323.4		
0.60	No 30 V	822.0		
0.43	No 40			
0.30	No 50 V	439.3		
0.18	No 80 V			
0.15	No 100 V	223.6		
0.08	No 200 V	421.0		
	Παλιν V	(572)	(651.3)	Παλιν 24
	Ολικό βάρος			

1000

Ο εκπέλεας τη δοκιμή

Αρ. Διγματος

Ημερομηνία δοκιμής

Ονοματεπώνυμο

Ο εκπέλεσας τη δοκιμη

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Αρ. Δείγματος

3

Στοιχεία Δείγματος

Αίλος (υποδοχόν)

Ημερομηνία δοκιμής

-- -- 2002

Όνοματεπώνυμο

Βάρος ολικού δείγματος			Διαρχόμενο βάρος	
Πρότυπο μέγεθος κόσκινου (mm)	Αρ. κόσκινου	Συγκρατούμενο βάρος σε (gr)	gr	%
75.00	3"			
63.00	2 1/2"			
50.00	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 ✓	5,9 5,9 gr		
2.36	No 8 ✓	746,9		
2.00	No 10			
1.18	No 16 ✓	916,4		
0.60	No 30 ✓	830,9		
0.43	No 40			
0.30	No 50 ✓	414,5		
0.18	No 80			
0.15	No 100 ✓	290,8		
0.08	No 200 ✓	221,4		
	Πασιάλη	569,4		
	Ολικό βάρος			

Ο εκτελέσας τη δοκιμή

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Αρ. Δείγματος

15

Στοιχεία Δείγματος

Σαμπότι Δ1 (3000 Kg)

Ημερομηνία δοκιμής

2-4-2002

15' 000000

Όνοματεπώνυμο

Βάρος ολικού δείγματος			Διαρχόμενο βάρος	
Πρότυπο μέγεθος κόσκινου (mm)	Αρ. κόσκινου	Συγκρατούμενο βάρος σε (gr)	gr	%
75.00	3"			
63.00	2 1/2"			
50.00	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" ✓	61,8		
9.50	3/8" ✓	1405,9		
6.30	1/4" ✓	1320,8		
4.75	No 4 ✓	176,2		
2.36	No 8 ✓	18,8		
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			
	Πασιάλη ✓	8,7		
	Ολικό βάρος			

Ο εκτελέσας τη δοκιμή

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Αρ. Δείγματος

2^a

Στοιχεία Δείγματος

Γαββίς (3000 kg)

Ημερομηνία δοκιμής

3-4-2002

15' 1000 kg

Ονοματεπώνυμο

Βάρος ολικού δείγματος			Διαρτόμενο βάρος	
Πρότυπο μέγεθος κόσκινου (mm)	Αρ. κόσκινου	Συγκρατούμενο βάρος σε (gr)		
			gr	%
75.00	3"			
63.00	2 1/2"			
50.00	"			
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" ✓	58,8		
9.50	3/8" ✓	1379,9		
6.30	1/4" ✓	1359,2		
4.75	No 4 ✓	156,2		
2.36	No 8 ✓	39,7		
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			
	Πασιάλι ✓	13		
	Ολικό βάρος			

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Αρ. Δείγματος

1

Στοιχεία Δείγματος

X21161 (4000 kg)

Ημερομηνία δοκιμής

2-4-2002

Ονοματεπώνυμο

Βάρος αλικού δείγματος			Διαρχόμενο βάρος	
Πρότυπο μέγεθος κόσκινου (mm)	Αρ. κόσκινου	Συγκρατούμενο βάρος σε (gr)	gr	%
75.00	3"			
63.00	2 1/2"			
50.00	2"			
37.50	1 1/2"			
31.50	1 1/4"			
25.00	1" ✓	615		
19.00	3/4" ✓	1922,4		
16.00	5/8" ✓	736,6		
12.50	1/2" ✓	983,6		
9.50	3/8" ✓	239,7		
6.30	1/4" ✓	36,7		
4.75	No 4 ✓	4,1		
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			
	Παιπαλή			
	Ολικό βάρος			

Ο εκτελέσας τη δοκιμή

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Αρ. Δείγματος

29

Στοιχεία Δείγματος

Χαλίκι

Ημερομηνία δοκιμής

3-4-2002

Όνοματεπώνυμο

Βάρος ολικού δείγματος			Διαρχόμενο βάρος	
Πρότυπο μέγεθος κόσκινου (mm)	Αρ. κόσκινου	Συγκρατούμενο βάρος σε (gr)	gr	%
75.00	3"			
63.00	2 1/2"			
50.00	2"			
37.50	1 1/2"			
31.50	1 1/4"			
25.00	1" ✓	0		
19.00	3/4" ✓	56,9		
16.00	5/8" ✓	1343,7		
12.50	1/2" ✓	1871,8		
9.50	3/8" ✓	632,6		
6.30	1/4" ✓	53,2		
4.75	No 4 ✓	6,5		
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			
	Παπαλιν			
	Όλικο βάρος			

Ο εκτελέσας τη δοκιμή

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Αρ. Δείγματος

3^ο

Στοιχεία Δείγματος

ΧΑΛΙΚΙ

(4000 kg)

Ημερομηνία δοκιμής

3-4-2002

6 κίτωνα

Ονοματεπώνυμο

Βάρος ολικού δείγματος			Διαρχόμενο βάρος	
Πρότυπο μέγεθος κόσκινου (mm)	Αρ. κόσκινου	Συγκρατούμενο βάρος σε (gr)		
			gr	%
75.00	3"			
63.00	2 1/2"			
50.00	2"			
37.50	1 1/2"			
31.50	1 1/4"			
25.00	1" ✓	0		
19.00	3/4" ✓	167,4		
16.00	5/8" ✓	1668,1		
12.50	1/2" ✓	1603,9		
9.50	3/8" ✓	481,9		
6.30	1/4" ✓	44,7		
4.75	No 4 ✓	8,0		
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			
	Παιπαλή			
	Ολικό βάρος			

Ο εκτελέσας τη δοκιμή

Καυσίμια Subst. 1100

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

100%

K9A

Αρ. Δείγματος

Στοιχεία Δείγματος

Ημερομηνία δοκιμής

Ονοματεπώνυμο

Βάρος ολικού δείγματος			Διαρτόμενο βάρος	
Πρότυπο μέγεθος κόσκινου (mm)	Αρ. κόσκινου	Συγκρατούμενο βάρος σε (gr)	gr	%
75.00	3"			
63.00	2 1/2"			
50.00	2"			
37.50	1 1/2"			
31.50	1 1/4"			
25.00	1"			
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"			61,2
4.75	No 4			55,1
3.36	No 8			46,3
2.00	No 10			
1.18	No 16			
0.60	No 30			35,7
0.43	No 40			26,1
0.30	No 50			20,8
0.18	No 80			
0.15	No 100			16,2
0.08	No 200			12,7
	Παιπαλή			
	Όλικο βάρος			

Ο εκτελέσας τη δοκιμή



ΑΣΦΑΛΤΙΚΑ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΑ ΟΔΟΠΟΪΑΣ

Τα ασφαλτικά γαλακτώματα, είναι ρευστά ασφαλτικά υλικά, αποτελούμενα από μικρά σωματίδια ασφάλτου μεγέθους 1 - 10 μικρών, ευρισκόμενα εν αιωρήσει μέσα σε νερό, που αποτελεί το μέσο διασποράς του συστήματος.

Τα ασφαλτικά γαλακτώματα χρησιμοποιούνται εις την κατασκευήν Εργων Οδοποιίας ως και Αεροδρομίων.

Με την διάχυσή τους επί της επιφανείας των οδοστρωμάτων ή των αδρανών διασπώνται γρήγορα καταλείποντας επί αυτών έναν ασφαλτικό υμένα που αποτελεί την συνδετική ύλη.

Η ταχύτητα διασπάσεως, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως :

- Τύπος Γαλακτώματος
- Φύση των αδρανών
- Διαβάθμιση των αδρανών
- Καιρικές συνθήκες & υγρασία αδρανών (Δευτερευόντως)

Τα ασφαλτικά γαλακτώματα διακρίνονται σε διάφορους τύπους, αναλόγως της τιμής του pH και της ταχύτητος διασπάσεως, σύμφωνα με τις προδιαγραφές ΠΤΠ Α-202 & ΠΤΠ Α-203:

ΚΕ-1 : Οξινο ασφαλτικό γαλάκτωμα, ταχείας διασπάσεως, μικρού ιξώδους περιεκτικότητας σε άσφαλτο 55-60 %. Ο τύπος αυτός είναι κατάλληλος για συγκολλητικές επαλείψεις, επιφανειακές επεξεργασίες και εμποτισμούς σκυρωτών.

ΚΕ-2 : Οξινο ασφαλτικό γαλάκτωμα, ταχείας διασπάσεως, υψηλού ιξώδους περιεκτικότητας σε άσφαλτο 60-65 %. Ο τύπος αυτός είναι κατάλληλος για σφραγιστικές επαλείψεις, επιφανειακές επεξεργασίες και εμποτισμούς σκυρωτών όπου απαιτείται μικρότερη ρευστότητα.

ΚΕ-5 : Οξινο ασφαλτικό γαλάκτωμα, μέσης ταχύτητας διασπάσεως, μικρού ιξώδους περιεκτικότητας σε άσφαλτο 55-60 %. Ο τύπος αυτός είναι κατάλληλος για προεπαλείψεις βάσεων όπως 3Α, ως επίσης και για προαναμίξεις αδρανών για επιφανειακές επεξεργασίες.

ΑΕ-5 : Αλκαλικό ασφαλτικό γαλάκτωμα, βραδείας διασπάσεως, αυξημένου ιξώδους περιεκτικότητας σε άσφαλτο 60-65 %. Ο τύπος αυτός είναι κατάλληλος για σφραγιστικές επαλείψεις. Ειδικός τύπος διατίθεται για φυτοκαλύψεις, υδροσπορές κ.λ.π.

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

ΔΟΚΙΜΕΣ	ΚΕ-1	ΚΕ-2	ΚΕ-5	ΑΕ-5
1. Δοκιμές επι γαλακτώματος				
Ιξώδες Furol εις 25 °C (sec)	20 – 100	-	20 – 100	20 – 100
Ιξώδες Furol εις 50 °C (sec)	-	75 – 400	-	-
Υπόλειμμα αποστάξεως, %	55 min	60 min	55 min	57 min
Δείκτης PH	3 – 7	3 - 7	3 - 7	7 – 14
2. Δοκιμαί επι υπολείμματος				
Διείσδυση (ASTM D5)	80 – 320	80 - 320	100 – 320	100 – 200
Διαλυτότης εις τετραχλωράνθρακα, %	97,5 min	97,5 min	97,5 min	97,5 min
Τέφρα, %	2 max	2 max	2 max	2 max
Ολκιμότης εις 25 °C (cm)	40 min	40 min	-	40 min