



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΑ ΜΗΧΑΝΙΚΑ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΩΝ ΜΕ
ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΥΛΙΚΩΝ ΕΥΚΑΜΠΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ



ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ Κ. ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΑΘΗΝΑ ΜΑΡΤΙΟΣ 2010

Καθηγητής Α. ΛΟΙΖΟΣ



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΠΑΠΑΛΗΣ ΣΤΑ
ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ
ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ
ΥΛΙΚΩΝ ΕΥΚΑΜΗΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ»**

ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ Κ. ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΜΑΡΤΙΟΣ 2010

Εργαστήριο οδοποιίας

Καθηγητής Α. Λοίζος

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κ.κ. Καραχάλιο Τάσο, Ζόμπολα Κώστα, Κατσάκου Μάρθα, Κυρκιλή Πέπη που με βοήθησαν στο εργαστηριακό μέρος αυτής της διπλωματικής εργασίας. Η βοήθεια τους υπήρξε σημαντική.

*Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. **Στ. Κόλια** ο οποίος μου πρότεινε ένα πολύ ενδιαφέρον θέμα και επιμελήθηκε την εργασία μου..*

*Τέλος θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον καθηγητή κ **A. Λοίζο** για την υποστήριξή του στην παρουσίαση, την τελική διαμόρφωση και την εξέταση της εργασίας αυτής.*

Αναγνωστόπουλος Βασίλειος



1 ΓΕΝΙΚΑ	5
1.1 Ορισμός οδοστρώματων	5
1.2 Είδη οδοστρώματων	6
1.2.1 Ευκαμπτα οδοστρώματα	7
1.2.2 Διαστασιολόγηση εύκαμπτων οδοστρώματων	12
1.2.3 Δύσκαμπτα οδοστρώματα	14
1.3 Συντήρηση και ενίσχυση οδοστρώματων	15
1.4 Φθορά των οδοστρώματων	16
1.5 Σταθεροποιητικά μέσα	20
1.5.1 Γενικά	20
1.5.2 Σταθεροποίηση με τσιμέντο	21
1.5.3 Σύγκριση σταθεροποιητικών μέσων	22
1.6 Ανακύκλωση	24
1.6.1 Γενικά	24
1.6.2 Στόχοι και αποτελεσματικότητα της ανακύκλωσης	25
1.6.3 Πλεονεκτήματα ανακύκλωσης	25
1.6.4 Είδη ανακύκλωσης	26
1.6.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ανακύκλωσης	29
1.6.6 Προυποθέσεις και έλεγχοι για τα προς ανακύκλωση οδοστρώματα	30
1.6.7 Μηχανικός εξοπλισμός ανακύκλωσης	30
1.7 Ψυχρή επί τόπου ανακύκλωση	33
1.7.1 Γενικά	33
1.7.2 Κατηγορίες ψυχρής ανακύκλωσης	34
1.7.3 Διαδικασία ψυχρής ανακύκλωσης	35
1.7.4 Έλεγχοι για την αξιολόγηση των φθορών και τη συντήρησή τους με ανακύκλωση	39
1.7.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ανακύκλωσης	40
1.7.6 Ψυχρή επί τόπου ανακύκλωση με τσιμέντο	44

2	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ.....	45
2.1	Σκοπός	45
2.2	Υλικά και εργαστηριακός εξοπλισμός	46
2.3	Παρασκευή δοκιμών	48
2.4	Πραγματοποίηση των δοκιμών	50
2.5	Είδη δοκιμών που παρασκευάστηκαν	52
3	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΙΩ	54
3.1	Παρουσίαση των αποτελεσμάτων	54
3.2	Διαγράμματα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε εφελκυσμό	55
3.3	Διαγράμματα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε θλίψη	86
3.4	Συγκεντρωτικοί πίνακες αποτελεσμάτων	117
4	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	119
4.1	Σύγκριση ποιότητας μιγμάτων θραυστών υλικών	119
4.2	Ανάμιξη θραυστών και φρεζαρισμένων ασφαλικών υλικών και μελέτη της μηχανικής τους συμπεριφοράς	124
4.3	Επίδραση του φρεζαρισμένου υλικού στα μηχανικά χαρακτηριστικά του ανακυκλωμένου μίγματος	128
4.4	Γενικό συμπέρασμα και απαιτούμενη περεταίρω έρευνα	139
5	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	140
6	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	146

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

1.0 ΓΕΝΙΚΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από τέσσερα κεφάλαια. Το πρώτο χωρίζεται σε τρεις υποενότητες : η πρώτη αναφέρεται γενικά στα οδοστρώματα, η δεύτερη στα σθηροποιητικά μέσα (stabilising agents) τον επικρατέστερο όρο στην ξένη βιβλιογραφία με εκτενέστερη αναφορά στο τσιμέντο και η τρίτη εξετάζει την ανακυκλωση των οδοστρωμάτων

Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στις εργαστηριακές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν, με περιγραφή του τρόπου παρασκευής των δοκιμίων στο εργαστήριο και παρουσίασης των αντίστοιχων ελέγχων.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση συνοπτικά των αποτελεσμάτων με πίνακες και διαγράμματα ενώ στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο γίνεται η επεξεργασία και ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων καθώς και καταγράφονται τα συμπεράσματα που εξάγονται κατά τη μελέτη αυτών.—

Στο τέλος παρατίθεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε καθώς και ένα παράρτημα με το ημερολόγιο των εργασιών που έγιναν.

1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

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 λόγο θα μειώσουν την άνεση και την ασφάλεια στην κυκλοφορία οχημάτων , αντιμετωπίζεται με την κατασκευή μιας η και περισσότερων διαδοχικών στρώσεων αποτελούμενο από υλικό ανώτερης ποιότητας πάνω απ αυτό.

Οι επάλληλες στρώσεις στο σύνολο τους που είναι τοποθετημένες πάνω από το φυσικό έδαφος αποτελούν το οδόστρωμα.

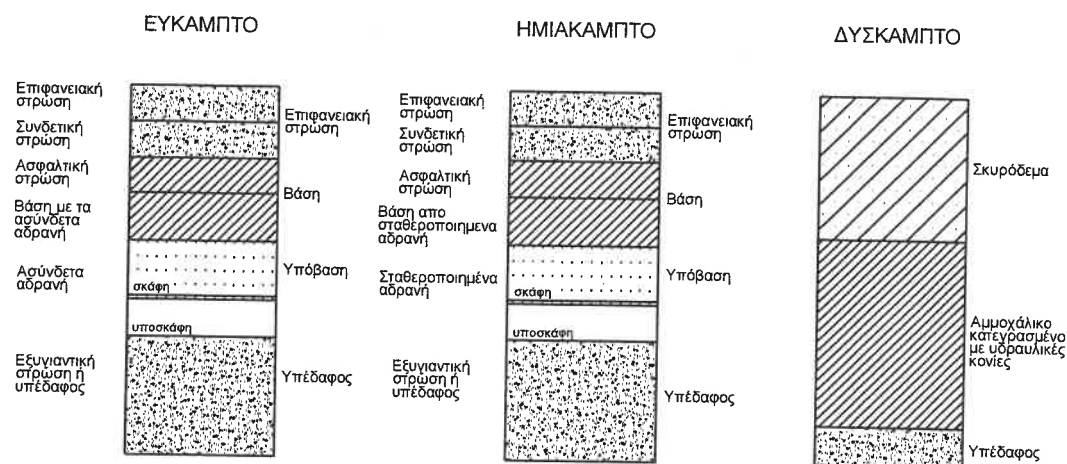
Ουσιαστικά η κατασκευή του οδοστρώματος εξυπηρετεί τρεις σκοπούς . Αρχικά στο να μεταφέρει τις καταπονήσεις και τα φορτία που δέχεται στο φυσικό έδαφος χωρίς ν αστοχήσει, δεύτερον να εξασφαλιστεί μια ομαλή επιφάνεια στην οποία τα οχήματα να μπορούν να κινούνται με ασφάλεια και τέλος να προστατεύει το φυσικό έδαφος από την καταστρεπτική επίδραση των καιρικών συνθηκών όπως βροχή παγετός κ.α Ο βασικός σκοπός όμως είναι η ομοιόμορφη διανομή των πιέσεων των ελαστικών των οχημάτων έτσι ώστε η καταπόνηση του εδάφους θεμελίωσης να μην υπερβαίνει τη φυσική αντοχή του.

1.2 ΕΙΔΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

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

Η περίπτωση των ημιάκαμπτων οδοστρωμάτων αποτελεί μια Τρίτη κατηγορία που συνδυάζει τα τεχνικά χαρακτηριστικά και των δύο παραπάνω κατηγοριών αλλά έχει και τα δικά της ιδιαίτερα χαρακτηριστικά.

Στο σχήμα 1.1 διακρίνονται οι τυπικές κατασκευαστικές διατομές για κάθε κατηγορία οδοστρωμάτων.



Σχήμα 1, Τυπικές κατασκευαστικές τομές οδοστρωμάτων [15]

1.2.1 Εύκαμπτα οδοστρώματα

Τα εύκαμπτα οδοστρώματα , κατασκευαστικά, χωρίζονται σε τρεις κύριες ομάδες στρώσεων:

1. Τις ασφαλικές στρώσεις, οι οποίες αποτελούνται συνήθως από : α) τη στρώση κύλισης (αντιολισθητική στρώση κυκλοφορίας) β) τη συνδετική στρώση και γ) τη στρώση ασφαλικής βάσης
2. Τη στρώση βάσης , η οποία αποτελείται από μία ή περισσότερες στρώσεις από συμπτυκνωμένο καλά διαβαθμισμένο ασύνδετο αμμοχάλικο.
3. Τη στρώση υπόβασης, η οποία αποτελείται από μία η περισσότερες συμπτυκνωμένες στρώσεις από ασύνδετο αμμοχάλικο θραυστό ή συλλέκτο.

Μερικές φορές λόγω ύπαρξης πολύ ασθενούς υπεδάφους κατασκευάζεται και μία ενδιάμεση στρώση μεταξύ υπόβασης και υπεδάφους η οποία είναι γνωστή και ως εξυγιαντική στρώση.

1.2.1.1 Στρώση έδρασης – υπεδάφους

Η στρώση έδρασης-υπεδάφους (subgrade) είναι το διαμορφωμένο και συμπτυκνωμένο έδαφος πάνω από το οποίο θα κατασκευαστεί το οδόστρωμα και εκτείνεται μέχρι βάθους τόσο όσο θα επηρεάσει τη διαστασιολόγηση του οδοστρώματος. Συνήθως το βάθος κυμαίνεται στα 600 χιλιοστά, δεδομένου ότι οι προδιαγραφές απαιτούν επαρκή συμπτυκνωση μέχρι τέτοιο βάθος..

Η φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους είναι καθοριστικής σημασίας, δεδομένου ότι απ' αυτή εξαρτώνται άμεσα τα πάχη των υπερκείμενων στρώσεων. είναι δε συνάρτηση πολλών παραγόντων όπως του μεγέθους των κόκκων, της συνεκτικότητας, της φυσικής υγρασίας και του βαθμού συμπίκνωσης του εδαφικού υλικού που χρησιμοποιείται.

Η φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους εκφράζεται συνηθεστέρα μέσω του καλιφορνιακού δείκτη (C.B.R) που χρησιμοποιείται σε όλες τις εμπειρικές και ημιεμπειρικές μεθοδολογίες διαστασιολόγησης των εύκαμπτων οδοστρωμάτων.

1.2.1.2 Εξυγιαντική στρώση

Η εξυγιαντική στρώση κατασκευάζεται μεταξύ εδάφους και υπεδάφους όταν το τελευταίο είναι πολύ ασθενές με σκοπό να εξυγιάνει και να ενισχύσει τη φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους. Είναι απαραίτητη όταν το CBR του εδάφους είναι μικρότερο του 5%

Συνήθως η επιπλέον στρώση αυτή κατασκευάζεται από κοκκώδη εδαφικά υλικά χωρίς την απομάκρυνση του ασθενούς εδαφικού υλικού. Μόνο στην περίπτωση που το έδαφος είναι πολύ φτωχής ποιότητας κρίνεται απαραίτητη η απομάκρυνση του ασθενούς εδαφικού υλικού και η αντικατάστασή του με καλύτερης ποιότητας υλικό. Στις περιπτώσεις αυτές το πάχος της στρώσης πρέπει να είναι συνήθως μεταξύ 500 και 1000 χιλιοστών. Ο καθορισμός του πάχους της εξυγιαντικής στρώσης υπολογίζεται κατά το στάδιο της μελέτης διαστασιολόγησης του οδοστρώματος αν και στις περισσότερες μεθοδολογίες αφήνεται στην κρίση και την εμπειρία του εκάστοτε μελετητή χωρίς την ύπαρξη συγκεκριμένων.

Η εξυγίανση του υπεδάφους επιτυγχάνεται πολλές φορές και με σταθεροποίηση με ασβέστη ή και τσιμέντο. Η προσθήκη και ανάμειξη των συνδετικών υλικών και του νερού γίνεται επί του έργου, αφού νωρίτερα το εδαφικό υλικό κονιορτοποιηθεί με ειδικά μηχανήματα. Ακολουθεί η συμπύκνωση σε επιμέρους στρώσεις μέγιστου συμπυκνωμένου πάχους 300 χιλιοστών. Ο βαθμός συμπύκνωσης που στην πράξη εκφράζεται με τον αριθμό διελεύσεων του μηχανήματος που χρησιμοποιείται, είναι τόσοσ ώστε στην προκαθορισμένη υγρασία υλικού να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή συμπύκνωση. Όταν το υπέδαφος είναι πολύ ασθενές ($CBR < 2\%$) μπορεί να γίνει χρήση γεωφασμάτων και μπορεί να αντικατασταθεί ένα μέρος της εξυγιαντικής στρώσης ή όταν το CBR είναι 2%-5%, οπότε αντικαθιστά πλήρως την εξυγιαντική στρώση και ίσως είναι ένα μέρος της υπόβασης. Η χρήση γεωφασμάτων γίνεται για δύο λόγους, αφενός για το διαχωρισμό και την προστασία των υπερκείμενων στρώσεων του υπεδάφους, αφετέρου όμως η εφελκυστική αντοχή των γεωφασμάτων αυξάνει έμμεσα τη φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους.

1.2.1.3 Υπόβαση

Η υπόβαση είναι η πρώτη στρώση που τοποθετείται πάνω στο έδαφος ή στην εξυγιαντική στρώση, αν κρίνεται αναγκαία και εξυπηρετεί τους παρακάτω σκοπούς :

- Προστατεύει τα υλικά της βάσης από «μόλυνση» αυτών με εδαφικό υλικό (άργιλο, ιλύ, οργανικά υλικά κ.α)
- Μεταβιβάζει τα φορτία στο έδαφος
- Δρα ως αντιπαγετική προστατευτική στρώση στις περιπτώσεις που υπάρχει κίνδυνος παγετού και το έδαφος είναι παγοπληκτικό
- Μπορεί να λειτουργήσει και ως στρώση αποστράγγισης των υδάτων που πιθανόν να διαπεράσουν τις υπερκείμενες στρώσεις προστατεύοντας το υπέδαφος (όταν οι υπερκείμενες στρώσεις είναι πολύ μικρού πάχους ή τα ασφαλομίγματα είναι ανοιχτής υφής

Σε περίπτωση που η υπόβαση χρησιμοποιείται και ως στραγγιστική στρώση είναι αναγκαία η χρήση υδρομονωτικής μεμβράνης στη διεπιφάνεια με το υπέδαφος. Ο ρόλος της μεμβράνης είναι καθαρά προστατευτικός και στεγανωτικός.

Η υπόβαση κατασκευάζεται από επιλεγμένα κοκκώδη εδαφικά υλικά (αμμοχάλικα) και ορισμένες φορές από εδαφικά υλικά σταθεροποιημένα με συνδετικό υλικό όπως τσιμέντο ή ασβέστη. Το πάχος της υπόβασης υπολογίζεται με κριτήριο τη μη ανάπτυξη υψηλών θλιπτικών και διατμητικών τάσεων στο υπέδαφος ικανών να προκαλέσουν αισθητές παραμορφώσεις. Η ακριβής τιμή του ωστόσο καθορίζεται από τη μεθοδολογία διαστασιολόγησης.

Αν το υπέδαφος-στρώση έδρασης κρίνεται αρκετά καλό ($CBR > 7\%$) μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να παραλείπεται η υπόβαση και να κατασκευάζεται μόνο η βάση από τα ασύνδετα αδρανή.

1.2.1.4 Βάση

Η βάση αποτελεί βασική δομική στρώση του εύκαμπτου οδοστρώματος και κατασκευάζεται μεταξύ του υπεδάφους και των επιφανειακών ασφαλτικών στρώσεων. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της είναι συμπυκνωμένο θραυστό, αμμοχάλικο ορισμένης διαβάθμισης (εύκαμπτα οδοστρώματα) ή αμμοχάλικο κατεργασμένο με τσιμέντο (ημιάκαμπτα οδοστρώματα). Τα αδρανή που

χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της βάσης είναι ανωτέρας ποιότητας από αυτά που χρησιμοποιούνται για της υπόβασης. Επίσης τα θραυστά υλικά, δεδομένου ότι πληρούν τις απαιτήσεις των προδιαγραφών, μπορεί να είναι πετρώματα ή φυσικές αποθέσεις ή σκωρίες ή υλικά που προέρχονται από ανακύκλωση οδοστρωμάτων. Τα τελευταία αποτελούν το βασικό αντικείμενο μελέτης στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

Σκοπός της κατασκευής της βάσης είναι :

- Να παραλαμβάνει τα φορτία της κυκλοφορίας και να τα κατανέμει μειωμένα στις υποκείμενες στρώσεις.
- Να παρέχει μια κατάλληλη επιφάνεια να δεχτεί τις επιφανειακές στρώσεις με την απαιτούμενη ομαλότητα και ακαμψία.

Στο μίγμα αδρανών που αποτελούν τη βάση, ουσιαστική σημασία έχει η κοκκομετρική καμπύλη τους και θα πρέπει να είναι εντός συγκεκριμένων ορίων. Επίσης η απαιτούμενη υγρασία των αδρανών κατά τη συμπίκνωση καθορίζεται εργαστηριακά με τη μέθοδο προσδιορισμού σχέσεως υγρασίας-πυκνότητας κατά την τροποποιημένη δοκιμή Proctor

Η συμπίκνωση εξαρτάται από το πάχος της στρώσης και της ενέργειας που θα επιβληθεί. Στην περίπτωση αυτή που το πάχος ξεπερνά τα 250 χιλιοστά η συμπίκνωση γίνεται με επιπλέον στρώσεις από δεν ξεπερνούν τα 100 χιλιοστά.

1.2.1.5 Επιφανειακές στρώσεις

Οι επιφανειακές στρώσεις συνίστανται από τον τάπητα κυκλοφορίας, τη συνδετική στρώση και την ασφατική βάση

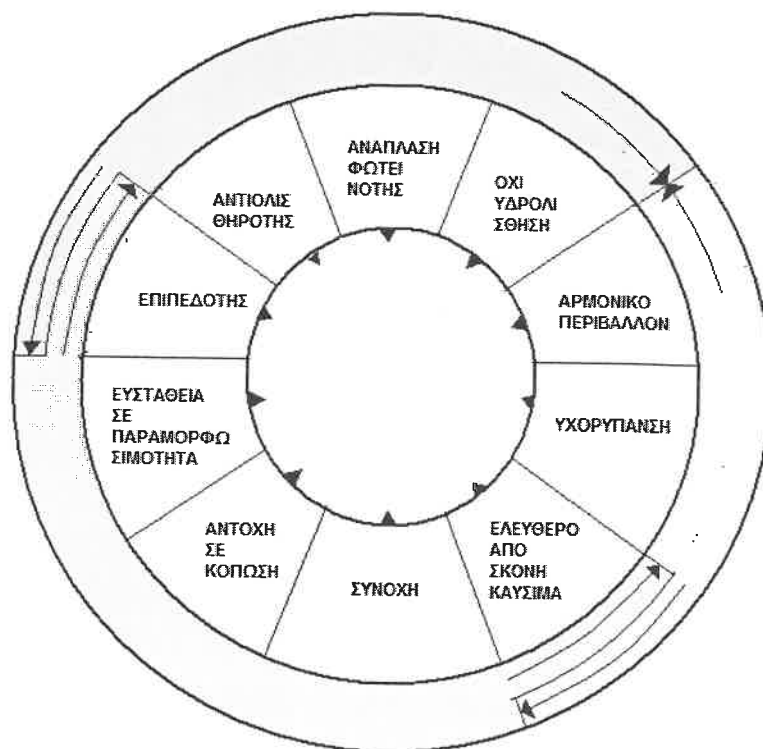
Ο τάπητας κυκλοφορίας είναι η ανώτερη ασφατική στρώση και έρχεται σε άμεση επαφή με τους τροχούς γι αυτό πρέπει να παρέχει την καλύτερη δυνατή επιφάνεια κύλισης . η στρώση αυτή θα πρέπει να τελεί τις κάτωθι προϋποθέσεις :

- Να είναι ανθεκτική στη δράση της κυκλοφορίας και των καιρικών συνθηκών και να μην παραμορφώνεται
- Να παρέχει καλή αντισλίσθητική επιφάνεια κύλισης είτε από μόνη της είτε με την προσθήκη αντισλίσθητων αδρανών ή αντισλίσθητων ασφατικών επαλείψεων η άλλης ασφατικής επεξεργασίας.

- Να μην υφίσταται ρηγμάτωση που προέρχεται από θερμοκρασιακές συστολοδιαστολές και αναπτυσσόμενες εφελκυστικές τάσεις.
- Να παρέχει συνθήκες καλής ορατότητας και ασφάλειας στη οδήγηση
- Να παρέχει επιφάνεια κύλισης με χαμηλό επίπεδο θορύβου
- Να μη διαπερνάται όσο δυνατόν από το νερό ώστε να μη διεισδύει στις υποκείμενες στρώσεις. (εξαιρέση αποτελεί ο τάπητας ανοιχτού τύπου)

Η συνδετική στρώση βρίσκεται ενδιάμεσα στον τάπητα κυκλοφορίας και την ασφαλική βάση και κατασκευάζεται με σκοπό να παρέχει μια κατάλληλη επιφάνεια της οποίας θα διαστρωθεί ο τάπητας. Η κατασκευή της κρίνεται απαραίτητη όταν ο τάπητας κυκλοφορίας είναι πορώδης και η ασφαλική βάση μέσης ή ανοιχτής υφής. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να μην είναι διαπερατή από το νερό να μην παραμορφώνεται και να μη ρηγματώνεται εύκολα.

Τέλος η ασφαλική βάση είναι η σημαντικότερη στρώση βάσης διότι ουσιαστικά αυτή είναι που παραλαμβάνει και κατανέμει τα φορτία στις υποκείμενες στρώσεις και προδίδει στο οδόστρωμα δυσκαμψία και αντοχή στην κόπωση. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι πρέπει να κατασκευάζεται με τα γενικά χαρακτηριστικά δηλαδή δυσκαμψία και αντοχή στην κόπωση



.Σχήμα 1.2 Βασικές απαιτήσεις σε ένα εύκαμπτο οδόστρωμα [15]

1.2.2 Διαστασιολόγηση εύκαμπτων οδοστρωμάτων

Με τη διαστασιολόγηση των οδοστρωμάτων επιδιώκεται ο καθορισμός του πάχους κάθε στρώσης ο οποίος εξαρτάται άμεσα από το μέγεθος και τη συχνότητα του επιβαλλόμενου φορτίου (κυκλοφοριακός φόρτος), τα μηχανικά χαρακτηριστικά της κάθε στρώσης, τη φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους και τις κλιματολογικές συνθήκες (κυρίως θερμοκρασία και υγρασία). Εξίσου σημαντικοί παράγοντες είναι το κόστος, η κατασκευή, η συντήρηση και η διάρκεια ζωής.

Για τα εύκαμπτα οδοστρώματα χρησιμοποιείται κυρίως η θεωρία επάλληλων ελαστικών στρώσεων εδραζόμενων επί ελαστικού εδαφικού ημιχώρου (burmister).

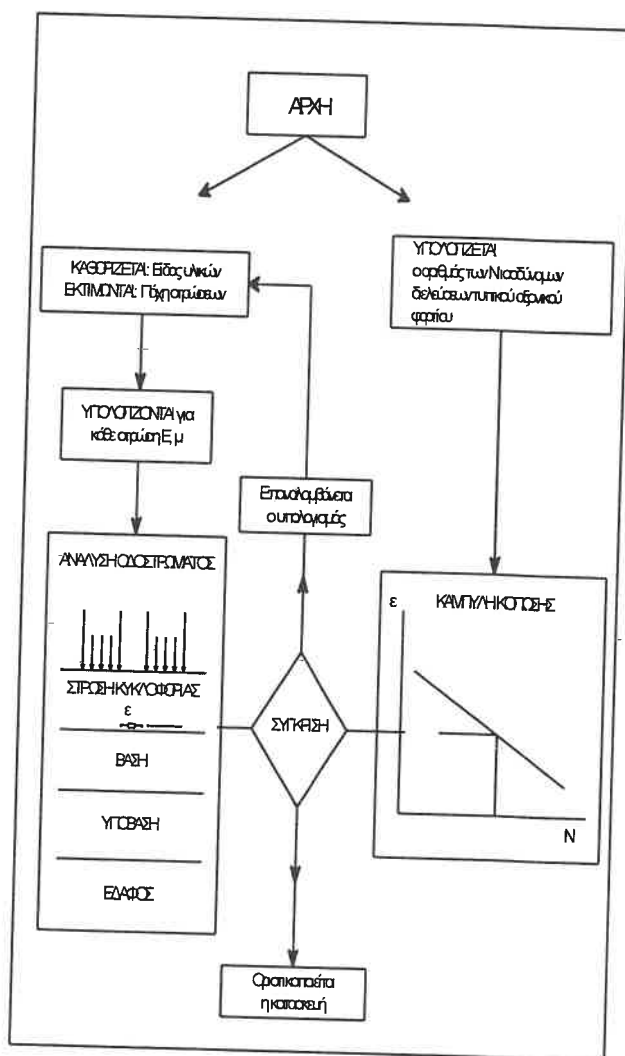
Για τον πλήρη ορισμό του υπολογιστικού μοντέλου οδοστρώματος είναι απαραίτητη η γνώση του μέτρου ελαστικότητας, του λόγου του Poisson και του πάχους κάθε στρώσης. Πρέπει να επισημανθεί ότι οι στρώσεις θεωρείται πως έχουν άπειρες διαστάσεις στο μήκος και πλάτος τους αλλά δεδομένο πάχος. Η διαφοροποίηση στην ποιότητα των υλικών συνιστά σύστημα πολλών στρώσεων ενώ αυτό απλοποιείται σε σύστημα τριών στρώσεων όσο μειώνονται οι ποιοτικές διαφορές στα υλικά που τις αποτελούν. Αν πχ τα υλικά της βάσης και της υπόβασης μοιάζουν ποιοτικά (αν χρησιμοποιηθούν αμμοχάλικα) οι στρώσεις αυτές μπορούν να λογιστούν ως μία οπότε καταλήγουμε σε σύστημα τριών στρώσεων. Επίσης όταν το αμμοχάλικο που αποτελείται η βάση έχει κατεργαστεί με ασφαλτό, η τελευταία μπορεί να θεωρηθεί ενιαία με τη στρώση κυκλοφορίας. Η μεγάλη απλοποίηση γίνεται αν τα μη κατεργασμένα υλικά βάσης θεωρηθούν τμήμα της στρώσης του εδάφους οπότε και θεωρείται σύστημα δύο στρώσεων.

Το σύστημα των επάλληλων στρώσεων που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό τάσεων-παραμορφώσεων απαιτεί την παραδοχή ότι τα υλικά είναι ελαστικά ομογενή και ισότροπα. Στην πραγματικότητα καμία από τις παραδοχές δεν είναι απολύτως αληθείς, όμως έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι υπό τις δυναμικές συνθήκες φόρτισης των οδοστρωμάτων από τα κυκλοφορούντα οχήματα, τα υλικά συμπεριφέρονται με αρκετή προσέγγιση σαν ελαστικά στρώματα.

Αστοχία ενός εύκαμπτου οδοστρώματος θεωρείται στην περίπτωση που παρατηρηθούν ρωγμές στην ασφαλική στρώση ή όταν έχει παραμορφωθεί η επιφάνεια κύλισης. Η συχνότερη αιτία που ρηγματώνεται ένα εύκαμπτο οδόστρωμα είναι η υπέρβαση της αντοχής σε κόπωση από κάμψη.

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

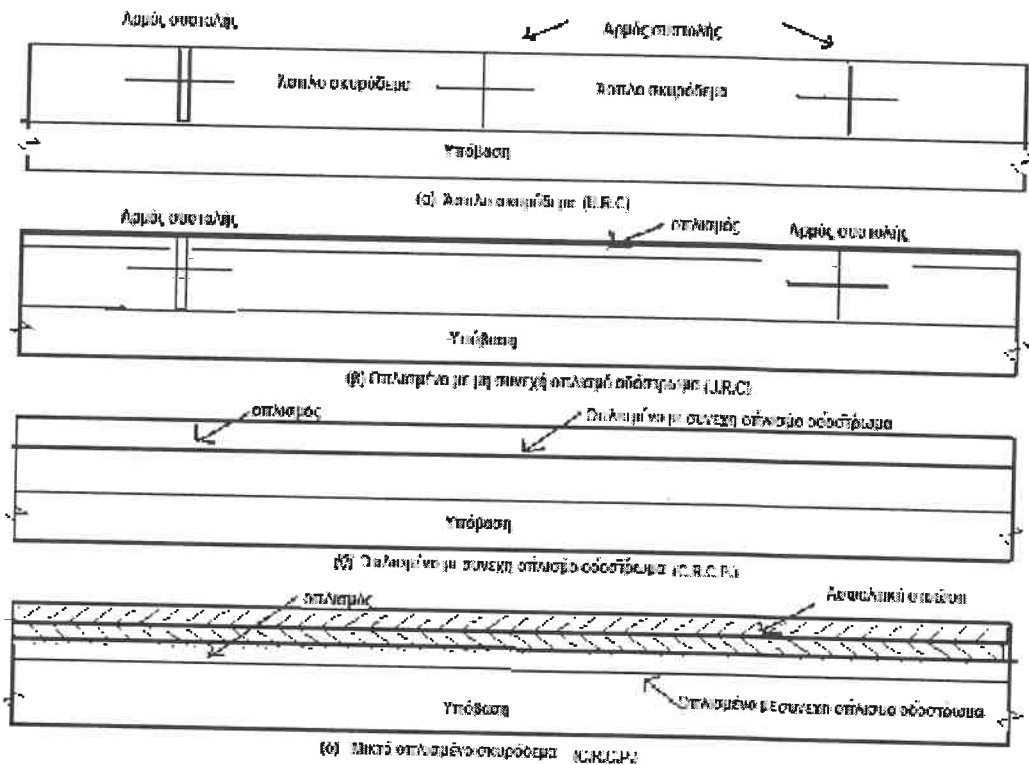
- Στον πυθμένα της ασφατικής στρώσης το κρίσιμο παραμορφωσιακό μέγεθος είναι η οριζόντια ανηγμένη εφελκυστική παραμόρφωση, που καθορίζει την αστοχία της ασφατικής στρώσης σε κόπωση από κάμψη.
- Στη επιφάνεια της στρώσης έδρασης . το κρίσιμο μέγεθος είναι η κατακόρυφη ανηγμένη παραμόρφωση, που καθορίζει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



Σχήμα 1.3 Στάδια υπολογισμού εύκαμπτου οδοστρώματος σε κόπωση της ασφατικής στρώσης [15]

1.2.3 ΔΥΣΚΑΜΠΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ

Στα δύσκαμπτα οδοστρώματα οι τοπικές καθιζήσεις που πιθανών να εμφανιστούν κάτω απ αυτά δεν ανακλώνται στην επιφάνεια κύλισης λόγω της μεγάλης ακαμψίας που διαθέτουν. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται οι κατηγορίες που διαχωρίζονται τα δύσκαμπτα οδοστρώματα ανάλογα με την κατασκευή της πλάκας του σκυροδέματος και τον τύπο του οπλισμού που διαθέτει.



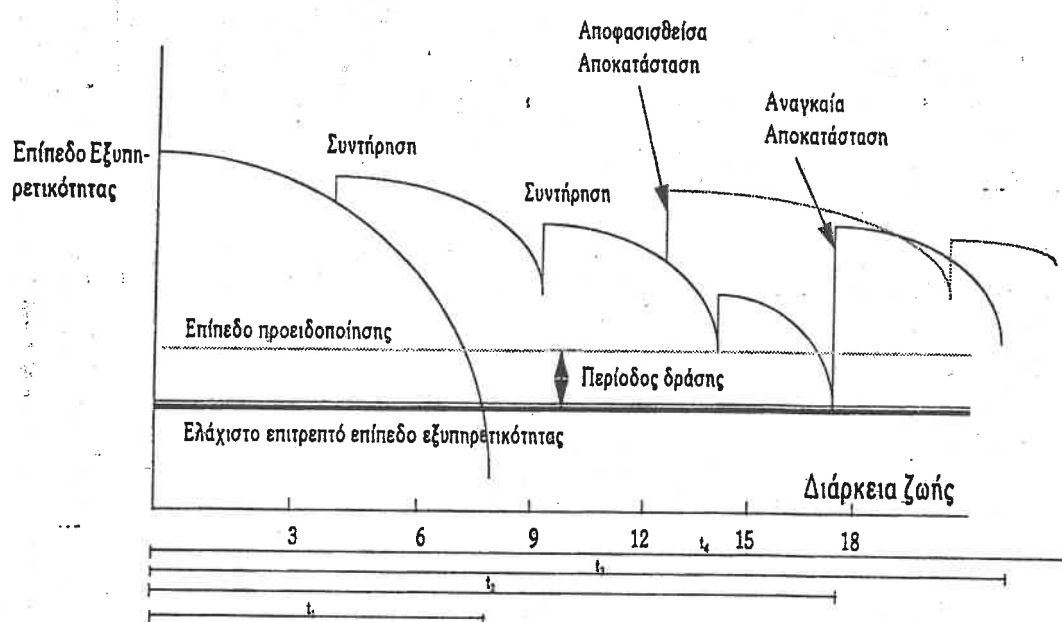
Σχήμα 1.4 Κατηγορίες δύσκαμπτων οδοστρώματων [15]

Στα δύσκαμπτα οδοστρώματα το σκυρόδεμα που είναι το κύριο υλικό της βασικής, πολλές φορές και μοναδικής στρώσης του οδοστρώματος, είναι υλικό με μεγάλο μέτρο ελαστικότητας και με σημαντική αντοχή σε κάμψη οπότε και δεν υπάρχει ανάγκη πολλαπλών στρώσεων. Κατασκευαστικά το άοπλο σκυρόδεμα είναι απλή και οικονομική λύση. Το σοβαρότερο μειονέκτημα που παρουσιάζεται είναι η συχνή εμφάνιση εγκάρσιων τομών που προκαλεί μείωση άνεσης στην οδήγηση, πιθανότητα κατασκευαστικών αστοχιών και διαφορετικών καθιζήσεων, αλλά διορθώνεται με τη χρήση σιδηρού οπλισμού.

Στην Ελλάδα η εφαρμογή των δύσκαμπτων οδοστρώματων περιορίζεται σε δάπεδα που ασκούνται υψηλά στατικά φορτία όπως χώροι στάθμευσης αεροσκαφών ή σταθμοί διόδων καθώς επίσης και σε ακριτικές περιοχές που δεν υπάρχουν μονάδες παραγωγής ασφαλτομίγματος.

1.3 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Η κατασκευή ενός οδοστρώματος είναι μια επένδυση με οικονομικές και κοινωνικές παραμέτρους. Το κράτος ως διαχειριστής του κεφαλαίου που επενδύθηκε για την κατασκευή και τη συντήρηση του οδοστρώματος, έχει την ευθύνη να το διατηρήσει αλλά και να το αξιοποιήσει ώστε να αποδώσει κέρδος. Το κέρδος αυτό είναι οικονομικό (μείωση του χρόνου και του κόστους μετακίνησης και μείωσης του κόστους συντήρηση των οχημάτων) καθώς και κοινωνικό (ασφαλής μετακίνηση του κοινωνικού συνόλου για τις κοινωνικές ή επαγγελματικές δραστηριότητες). Κάθε οδόστρωμα σχεδιάζεται για μια συγκεκριμένη διάρκεια ζωής. Μετά την παραχώρηση του οδοστρώματος στην κυκλοφορία το επίπεδο εξυπηρέτησης συνεχώς μειώνεται, άρα υπάρχει ανάγκη επέμβασης για την αποκατάσταση σε τακτές περιόδους για να διατηρείται σε κάποιο επιθυμητό σημείο.



Σχήμα 1.5 Επίδραση συντήρησης και αποκατάστασης οδοστρώματος στο επίπεδο εξυπηρέτησης και στη διάρκεια ζωής αυτού [15]

Συνήθεις αιτίες για τις δομικές αστοχίες στα εύκαμπτα οδοστρώματα είναι : κόπωση ασφατικής στρώσης, υποχώρηση στο έδαφος , την υπόβαση , τη βάση ή την επιφανειακή στρώση. Όλες οι φθορές που εμφανίζονται στα εύκαμπτα οδοστρώματα μπορούν να ταξινομηθούν σε ρηγματώσεις παραμορφώσεις αποσαθρώσεις και λείανση της επιφάνειας κύλισης.

1.4 ΦΘΟΡΑ ΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Από τη στιγμή που θα παραδοθεί μία οδός στην κυκλοφορία , το οδόστρωμα εκτίθεται σε φαινόμενα φθοράς τα οποία μειώνουν τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της οδού και την κατασκευαστική της συμπεριφορά. Οι δύο αυτοί παράγοντες συνίστανται στη συνολική μείωση της ποιότητας του οδοστρώματος .

Η μεταβολή της φθοράς του οδοστρώματος στην πάροδο του χρόνου ονομάζεται συμπεριφορά του οδοστρώματος.

Τα αίτια που προκαλούν βλάβες στο σύνολο του οδοστρώματος χωρίζονται στους παράγοντες δυναμικής φόρτισης και στους εξωτερικούς παράγοντες. Στους πρώτους αναφέρονται στα αποτελέσματα εντατικής κατάστασης όπου ορισμένα μεγέθη (τάσεις παραμορφώσεις) έχουν υπερβεί τα αντίστοιχα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια που καθορίζονται από την ποιότητα των υλικών κατασκευής. Η υπέρβαση αυτή δημιουργεί σε συνδυασμό και με άλλους παράγοντες προϋποθέσεις εμφάνισης βλαβών , είτε στην επιφάνεια , είτε στο σώμα του οδοστρώματος . εκτός από τα φορτία των οχημάτων κυκλοφορίας που προκαλούν τέτοιου είδους βλάβες , στη φθορά του οδοστρώματος συντελούν , σε πολύ μικρότερο βαθμό, διάφοροι εξωτερικοί παράγοντες όπως τα κλιματολογικά φαινόμενα, οι συνθήκες αποστράγγισης και τα γεωμετρικά δεδομένα κάθε συγκεκριμένου προβλήματος .

- **Επιπόνηση οδοστρώματος από τις διελεύσεις οχημάτων**

Τα κυριότερα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι μηχανικοί στη μελέτη των οδοστρωμάτων είναι τόσο το μέγεθος όσο και η συχνότητα στις φορτίσεις τους. 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. Επίσης λόγω της διαφορετικότητας του τύπου οχημάτων (ι.χ., επιβατικά, λεωφορεία, φορτηγά) χρησιμοποιούμε κάποιους συντελεστές ισοδυναμίας και δίνονται από την ακόλουθη σχέση :

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

Όπου :

- P τυχαίο φορτίο
- P_t τυπικό φορτίο
- a εκθέτης που για εύκαμπτα οδοστρώματα λαμβάνει την τιμή 4 και για ημιάκαμπτα και δύσκαμπτα τιμές 8-12
- W ο συντελεστής ισοδυναμίας για το φορτίο P

Από τον παραπάνω τύπο είναι φανερό ότι η κατάσταση του οδοστρώματος ελάχιστα επηρεάζεται από την καταπόνηση των μικρών οχημάτων σε αντίθεση με τα «βαριά» οχήματα που προκαλούν μεγάλες φθορές.

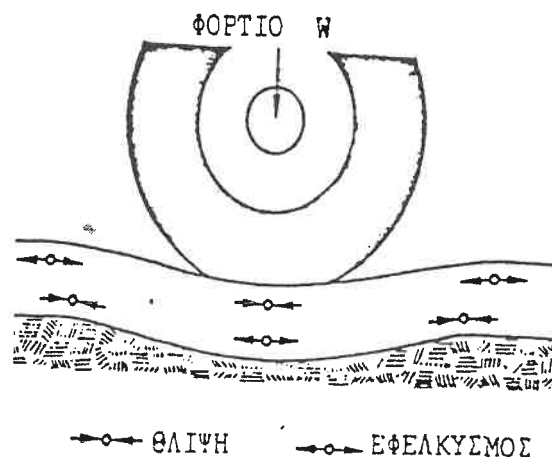
• Φόρτιση οδοστρώματος

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

Έτσι αν : R είναι η ακτίνα του κύκλου, P είναι 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 :

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

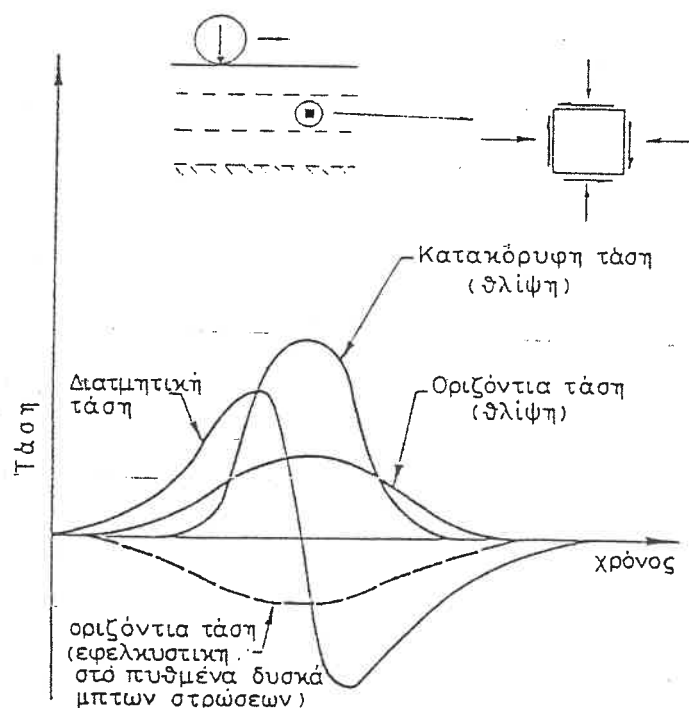
Επειδή πολλά από τα φορτηγά αυτοκίνητα έχουν σε κάθε άξονα δύο ζεύγη τροχών (δίδυμοι τροχοί) συχνά ο υπολογισμός γίνεται με την παραδοχή δύο κυκλικών επιφανειών με ομοιόμορφη φόρτιση.



Σχήμα 1.6 Επιπόνηση οδοστρώματος από απλό τροχό [15]

- **Εξασκούμενη πίεση επί της επιφάνειας του οδοστρώματος**

Η καταπόνηση αυτή από τους τροχούς είναι κοπτικής φύσεως και προκαλεί όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα (σχ 1.6) , 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 ξεπεραστούν καθώς θα προκαλέσουν μερική ή ολική αστοχία. Είναι λοιπόν απαραίτητο να είναι γνωστή η συμπεριφορά των υλικών που θα χρησιμοποιηθεί, σε επαναλαμβανομένη φόρτιση μικρότερου μεγέθους από το οποίο θα τους προκαλούσε αστοχία σε συνθήκες στατικής φόρτισης. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η μεταβολή των τάσεων οριζοντίων και κατακόρυφων που αναπτύσσονται σε τυχαίο σημείο του οδοστρώματος κατά τη διάρκεια διέλευσης του φορτίου από την περιοχή του σημείου αυτού.



Σχήμα 1.7 Μεταβολή των αναπτυσσόμενων σε τυχαίο σημείο τάσεων κατά τη διάρκεια διέλευσης φορτίου [15]

Παρατηρείται ότι οι οριζόντιες και κατακόρυφες τάσεις μεταβάλλονται με παρόμοιο τρόπο αν και διαφέρουν ως προς το μέγεθος και ως προς το ότι στις οριζόντιες τάσεις το κύμα φορτίσεως είναι μεγαλύτερο . Οι δύσκαμπτες στρώσεις δέχονται εφελκυστικές τάσεις στο κατώτερο τμήμα τους. Ακόμα παρατηρούμε ότι η διατμητική τάση αλλάζει πρόσημο εκατέρωθεν του σημείου που μελετάμε.

Τα αρτιότερα αποτελέσματα προς μελέτη θα υπήρχαν αν ερευνώντο οι ιδιότητες των υλικών επί τόπου όπου υφίσταται ο συνδυασμός της επιβολής των τάσεων αυτών ή σε ομοιώματα οδοστρωμάτων σε πραγματική κλίμακα. Τέτοιες έρευνες έχουν γίνει αρκετές αλλά προσκρούουν σε σημαντικά προβλήματα κόστους. Έχουν επίσης αναπτυχθεί και δυναμικές μέθοδοι ή δονητικές μέθοδοι, οι οποίες υπό ορισμένες προϋποθέσεις δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Οι εργαστηριακές δοκιμές παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα από την άποψη κόστους, ταχύτητας αποδόσεως αποτελεσμάτων, ακρίβειας ελέγχου των συνθηκών επιπονήσεως και ακρίβειας μετρήσεων, αλλά έχουν το σημαντικό μειονέκτημα ότι δεν είναι εύκολο να αποδοθούν στο εργαστήριο οι πραγματικές συνθήκες επιπονήσεως.

Οι κυριότερες πληροφορίες που χρειάζονται για την μελέτη των οδοστρωμάτων είναι η συμπεριφορά των υλικών υπό μορφή σχέσεως τάσεως παραμορφώσεως και οι συνθήκες αστοχίας του υλικού από επαναλαμβανόμενη φόρτιση.

1.5 ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΤΙΚΑ ΜΕΣΑ

1.5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Για την ανακύκλωση των οδοστρωμάτων σε όλο τον κόσμο χρησιμοποιείται ένα ευρύ πεδίο σταθεροποιητικών μέσων που περιλαμβάνουν χημικές ενώσεις όπως γλωριούχο ασβέστιο, διάφορα πολυμερή και προϊόντα θειικού άλατος άλλα και πολλά συμβατικά μέσα όπως τσιμέντο κ ασβέστης (ως άσβεστος ή υδράσβεστος). Τα σταθεροποιητικά μέσα αποσκοπούν στο να αυξήσουν την ευστάθεια του υλικού και συγκεκριμένα τη μηχανική αντοχή του καθώς και την ανθεκτικότητά του σε περιβαλλοντολογικές δράσεις, όπως παγετός και νερό, και άλλες χημικές επιρροές.

Τα σταθεροποιητικά μέσα ποικίλουν στη χρήση τους ανάλογα με τις επιμέρους ανάγκες του κάθε έργου που καθορίζουν και τα κριτήρια επιλογής του. Μερικά σταθεροποιητικά μέσα είναι πιο αποτελεσματικά από άλλα σε συγκεκριμένα υλικά, άλλα περισσότερο φτηνά, όλα όμως είτε για τεχνικούς λόγους είτε για οικονομικούς, έχουν θέση στην αγορά και μπορούν να χρησιμοποιηθούν από σύγχρονα μηχανήματα ανακύκλωσης.

Συνεπώς οι μηχανικοί θα πρέπει να συνδυάζουν κατά περίπτωση τα κριτήρια πριν την τελική επιλογή του κατάλληλου μέσου σταθεροποίησης. Μία τέτοια απόφαση είναι συνδεδεμένη με σειρά προτεραιότητας από :

- Ασφάλεια : πρέπει να εκμηδενιστεί κάθε πιθανότητα αστοχίας του μίγματος υλικού
- Κόστος : το θέμα του κόστους των σταθεροποιητικών μέσων θα είναι πάντα πρωτεύουσας σημασίας
- Διαθεσιμότητα : ορισμένα σταθεροποιητικά μέσα δεν υπάρχουν σε κάποιες περιοχές όπως το ασφαλτικό γαλάκτωμα.
- Χαρακτηριστικά : μερικά σταθεροποιητικά μέσα είναι πιο δραστικά από άλλα σε συγκεκριμένο τύπο υλικών. Για παράδειγμα για την σταθεροποίηση ενός πολύ πλαστικού εδάφους ο ασβέστης προτιμάται να χρησιμοποιείται από το τσιμέντο
- Πολιτική: μερικοί φορείς διαχείρισης οδικών δικτύων εφαρμόζουν σκληρές πολιτικές αναφορικά με τη χρήση συγκεκριμένων σταθεροποιητικών μέσων, στηριζόμενοι σε παλιότερες εμπειρίες.

Έχουν ανακαλυφθεί σταθεροποιητικά μέσα κυρίως σε μορφή τσιμέντου και σε ασφαλικό υλικό. Έχουν ευρύτατη εφαρμογή και υπάρχουν τυποποιημένες δοκιμές ελέγχου παγκοσμίως. Τα πιο διαδεδομένα είναι κατά σειρά τσιμέντο, ασφαλικό γαλάκτωμα και αφρώδης άσφαλτος. Και τα τρία χρησιμοποιούνται ευρέως στις κατασκευές και γενικά είναι διαθέσιμα σ όλο τον κόσμο.

1.5.2 ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ

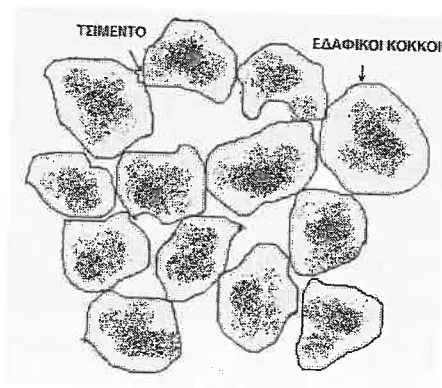
Το τσιμέντο στη σημερινή εποχή είναι ο πλέον διαδεδομένος και κατάλληλος σταθεροποιητής και μπορεί να δράσει και στα συνεκτικά και στα κοκκώδη υλικά.

Στα συνεκτικά εδάφη η ενυδάτωση του τσιμέντου δημιουργεί ισχυρούς δεσμούς μεταξύ των κόκκων του υλικού, υπό μορφή δικτυώματος στο χώρο . συνέπεια αυτού είναι η αύξηση της αντοχής του εδάφους και η μείωση της πλαστικότητάς του. Επίσης το γεγονός του εγκλεισμού ενός μεγάλου μέρους των κόκκων μέσα στο κυψελωτό αυτό οικοδόμημα, έχει σαν αποτέλεσμα την παρεμπόδιση της διαστολής και την αύξηση της ανθεκτικότητας του εδάφους έναντι της δράσης του παγετού.

Κατά τη σταθεροποίηση με τσιμέντο, πραγματοποιείται ποζολάνική αντίδραση μεταξύ της άσβεστου που ελευθερώνεται κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου και της περιεχόμενης στο έδαφος αργίλου, σχηματίζοντας έτσι άνυδρο πυριτικό ασβέστιο.

Αποτέλεσμα της χημικής αυτής αντίδρασης είναι:

- Μείωση της υδροφιλίας των κόκκων της αργίλου, δηλαδή της τάσης που έχουν οι κόκκοι να έλκουν νερό
- Δημιουργία συσσωματωμάτων
- Ανάπτυξη δεσμών μεταξύ των κόκκων του εδαφικού υλικού



Στα κοκκώδη υλικά η δράση του τσιμέντου είναι παρόμοια με αυτή στο σκυρόδεμα , μόνο που εδώ το τσιμέντο δε γεμίζει τα κενά που υπάρχουν μεταξύ των κόκκων, αλλά συγκεντρώνεται στα σημεία επαφής των κόκκων, όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα.

Επομένως όσο πιο καλά διαβαθμισμένο είναι το υλικό , τόσα λιγότερα κενά παρουσιάζει το υλικό και τόσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των σημείων επαφής άρα και πιο βελτιωμένη η σταθεροποίηση του υλικού.

1.5.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΤΙΚΩΝ ΜΕΣΩΝ

- **Τσιμέντο**

Το βασικό πλεονέκτημα του τσιμέντου έναντι άλλων σταθεροποιητικών μέσων είναι η διαθεσιμότητα καθώς υπάρχει σε όλο τον κόσμο σε χύμα ή συσκευασμένη μορφή. Έχει χαμηλό κόστος και είναι φτηνότερο από το ασφαλικό γαλάκτωμα. Έχει μεγάλη ευκολία στη εφαρμογή καθώς μπορεί να διασκορπιστεί και με το χέρι χωρίς να απαιτείται μηχανικός εξοπλισμός. Λόγω του ότι είναι ευρύτατα διαδεδομένο στον κατασκευαστικό τομέα είναι διαθέσιμες τυποποιημένες προδιαγραφές και μέθοδοι ελέγχου, γεγονός που διακρίνει την αξιοπιστία του. Τέλος έχει διαπιστωθεί πειραματικά ότι παρουσιάζει ραγδαία βελτίωση στη θλιπτική αντοχή στα περισσότερα υλικά καθώς και βελτιώνει την αντοχή του υλικού στο νερό.

Το συνηθέστερο πρόβλημα που παρουσιάζει το τσιμέντο σε σταθεροποιητικό μέσο είναι η αναπόφευκτη εμφάνιση ρωγμών, η οποία όμως μπορεί να περιοριστεί με διάφορα πρόσθετα μέσα. Επιπλέον στα υλικά που συμμετέχει αυξάνει η ακαμψία η οποία μειώνει τα χαρακτηριστικά κόπωσης. Κατασκευαστικά η γρήγορη απόδοση της οδού στην κυκλοφορία μπορεί να προκαλέσει ρωγμές στην επιφανειακή στρώση.

- **Ασφαλικό γαλάκτωμα**

Το ασφαλικό γαλάκτωμα παρουσιάζει αποτελεσματική εφαρμογή στα εύκαμπτα οδοστρώματα, όπου σε σταθεροποιητικό μέσο δημιουργεί ένα ελαστικό υλικό με αυξημένη αντοχή σε κόπωση. Είναι και αυτό εύκολο στην εφαρμογή διότι ο ανακυκλωτής είναι συνδεδεμένος με το βυτιοφόρο φορτηγό μέσω σωλήνα. Επίσης είναι αξιόπιστα αφού είναι σχετικά γνωστά στον τομέα των κατασκευών και υπάρχουν διαθέσιμες τυποποιημένες προδιαγραφές και μέθοδοι ελέγχου.

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα του ασφαλικού γαλακτώματος είναι το μεγάλο κόστος του σε σχέση με το τσιμέντο. Το ασφαλικό γαλάκτωμα δεν παρασκευάζεται επί τόπου. Απαιτείται αυστηρός ποιοτικός έλεγχος, Ο γαλακτοποιητής είναι ακριβός και χρειάζεται επιπλέον μεταφορά νερού και όχι μόνο γαλακτώματος. Η ύπαρξη υγρασίας σε ένα οδόστρωμα είναι ορισμένες φορές υψηλή και με την προσθήκη γαλακτώματος το μίγμα γίνεται πολύ ιξώδες. Επίσης η απόκτηση της αντοχής του οδοστρώματος επιτυγχάνεται με την απώλεια υγρασίας κι αυτό καθυστερεί την απόδοση της οδού στην κυκλοφορία. Τέλος η διαθεσιμότητα του ασφαλικού

γαλακτώματος δεν είναι πολύ μεγάλη, ώστε ορισμένες φορές η απαιτούμενη ποσότητα για την ανακύκλωση μπορεί να μην επιτευχθεί.

- **Αφρώδης ασφαλτος**

Η αφρώδης ασφαλτος είναι πολύ εύκολη στην εφαρμογή αφού γίνεται παρόμοια με το ασφαλικό γαλάκτωμα βυτιοφόρου φορτηγού. Δημιουργεί ισχυρό εύκαμπτο οδόστρωμα αφού προκαλεί πολύ καλή σύνδεση μεταξύ των χονδρόκοκκων αδρανών. Ιδιαίτερα έχει μεγάλη αντοχή σε παραμόρφωση και σε κόπωση. Έχει σχετικά μικρό κόστος αφού για την παρασκευή του απαιτείται γαλάκτωμα συγκεκριμένου βαθμού διείσδυσης. Τέλος σημαντικό πλεονέκτημα είναι η σύντομη απόδοση της οδού στην κυκλοφορία μετά την επίστρωση.

Η αφρώδης ασφαλτος απαιτεί το γαλάκτωμα να είναι ζεστό, τυπικά στους 170° C έτσι χρειάζονται ειδικές εγκαταστάσεις θέρμανσης και κανόνες ασφαλείας. Η ποιότητα της ασφάλτου δεν είναι σταθερή αφού η ποιότητα του σταθεροποιητικού υλικού καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά της αφρώδους ασφάλτου που εξαρτώνται από την ποιότητα της ασφάλτου. Δεν εφαρμόζεται σε όλες τις συνθήκες, ειδικά σε υλικά με υψηλή υγρασία και υλικά με χαμηλή κοκκομετρική σύνθεση, δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

1.6 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

1.6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ανακύκλωση ενός οδοστρώματος ορίζεται ως η μετατροπή ενός φθαρμένου και ανομοιογενούς οδοστρώματος σε μια ομοιογενή κατασκευή η οποία έχει ως βάση τα χρησιμοποιούμενα υλικά υπό μορφή σταθεροποιημένων υλικών για την κατασκευή μίας νέας ανθεκτικής στρώσης ενός καινούριου οδοστρώματος. Το υλικό που προκύπτει από την αποσύνθεση του παλιού οδοστρώματος θρυμματίζεται και επεξεργάζεται κατάλληλα, με την πρόσθεση κάποιου σταθεροποιητικού υλικού ως συνδετικό μέσο (τσιμέντο, ασφαλικό γαλάκτωμα ή αφρώδης άσφαλτος), νερού (για την ενυδάτωση ανάμειξη και συμπίκνωση) πιθανών αδρανών ή άλλων λεπτών υλικών (για τη διόρθωση της κοκκομετρικής καμπύλης του παλιού υλικού) και ίσως κάποιου χημικού πρόσθετου, το είδος και η δοσολογία του οποίου καθορίζεται από τα αποτελέσματα των δοκιμών στο εργαστήριο. Αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι ένα ομοιογενές μίγμα το οποίο διαστρώνεται συμπτυκνώνεται και συντηρείται κατάλληλα και αποτελεί τη βάση ή μία στρώση ενός νέου οδοστρώματος με μεγαλύτερη δομική αντοχή.

Η ανακύκλωση των οδοστρωμάτων ήρθε σαν ιδέα για να προσφέρει σημαντική βοήθεια σε βασικά προβλήματα που αντιμετωπίζει κάθε υπηρεσία που διαχειρίζεται θέματα οδοποιίας, όπως την προμήθεια πρώτων υλών (αδρανή και άσφαλτο), την μείωση διαθέσιμων κονδυλίων, την εξοικονόμηση ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος. Η επαναχρησιμοποίηση ή ανακύκλωση των υλών των παλαιών οδοστρωμάτων όπως ασφαλτόμιγμα ή σκυρόδεμα ή αδρανή υλικά στρώσεων χωρίς συνδετικό υλικό δίνει ικανοποιητικές λύσεις και ανακουφίζει τα παραπάνω προβλήματα.

Επιπλέον η ανακύκλωση των οδοστρωμάτων χρησιμοποιείται ως ισοδύναμη εναλλακτική λύση για τη συντήρηση, την αποκατάσταση και την ενίσχυση η και ανακατασκευή των οδοστρωμάτων. Εφαρμογή αυτής της μεθόδου μπορεί να γίνει σε ασφαλικές στρώσεις ή σε στρώσεις με ασύνδετα αδρανή καθώς και στα δύσκαμπτα οδοστρώματα.

1.6.2 ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ

Για να προτιμηθεί η διαδικασία της ανακύκλωσης έναντι της παραδοσιακής μεθόδου αντικατάστασης του οδοστρώματος θα πρέπει το αποτέλεσμα της να πληροί κάποιες προϋποθέσεις. Κύριος στόχος της ανακύκλωσης είναι η βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών και της συμπεριφοράς του οδοστρώματος κάτω από την επίδραση της κυκλοφορίας

Συγκεκριμένα οι στόχοι για μια αποτελεσματική ανακύκλωση είναι :

- Μετατροπή ενός φθαρμένου και ανομοιογενούς οδοστρώματος σε μία ανθεκτική και πιο ομοιωμένη κατασκευή.
- Αύξηση της φέρουσας ικανότητας του οδοστρώματος ώστε να είναι ικανό να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της παρούσας και της μελλοντικής κυκλοφορίας
- Προστασία της στρώσης έδρασης και των κατώτερων στρώσεων του οδοστρώματος, τα χαρακτηριστικά των οποίων είναι κακής ποιότητας
- Αύξηση της ανθεκτικότητας, μικρότερη ευπάθεια στο νερό και μεγαλύτερη αντίσταση στη διάβρωση.

1.6.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ

Με την εφαρμογή της μεθόδου της ανακύκλωσης γίνεται εξοικονόμηση των αποθεμάτων πετρελαίου που χρησιμοποιείται σε έργα οδοποιίας ειδικά σε χώρες που δε διαθέτουν φυσικά αποθέματα. Για την εκ νέου παρασκευή ενός οδοστρώματος απαιτούνται περίπου 6% ασφάλτου σε αντίθεση με ένα ανακυκλωμένο οδόστρωμα που απαιτούνται από 1% μέχρι 3%. Η ετήσια παραγωγή ασφαλικού σκυροδέματος στην Ελλάδα υπολογίζεται περίπου στα 5 εκατομμύρια τόνους και εκτιμάται ότι αν ένα τμήμα αυτής της ποσότητας προέρχεται από ανακυκλωμένο ασφαλτόμιγμα, είναι πιθανό να επαρκεί η παραγωγή ασφάλτου στα ελληνικά διυλιστήρια και να μην απαιτείται εισαγωγή από το εξωτερικό.

Η μέθοδος της ανακύκλωσης συμβάλει σημαντικά στην προστασία του περιβάλλοντος γιατί μειώνεται η ανάγκη δημιουργίας νέων λατομείων καθώς και δέσμευσης χώρων για την εναπόθεση των υλικών από τους κατεστραμμένους τάπητες. Δίνονται λοιπόν λύσεις στα προβλήματα όσον αφορά τα την αναζήτηση εκτάσεων και

το κόστος αυτών για την απόρριψη παλαιού υλικού (μπαζών) , την αντιαισθητική διαμόρφωση του φυσικού τοπίου στην περιοχή αυτή καθώς και τη μόλυνση κυρίως των υπογείων υδάτων της γύρω περιοχής.

Σημαντικό πλεονέκτημα της ανακύκλωσης είναι ότι μειώνεται ο κόστος τόσο για την ανακατασκευή οδοστρωμάτων όσο και για την αποκατάσταση ή την ενίσχυσή τους. Κυριότερη αιτία για τη μείωση του κόστους είναι η μείωση του κόστους μεταφοράς των απαιτούμενων υλικών και κατά δεύτερον η μείωση του κόστους παραγωγής, που στη μικρότερη χρήση θερμικής ενέργειας. Ειδικά στην περίπτωση της εν ψυχρώ ανακύκλωσης το κόστος παραγωγής περιορίζεται στο ελάχιστο. Το ποσοστό της μείωσης του κόστους κατασκευής με τη μέθοδο της ανακύκλωσης ποικίλει από έργο σε έργο και ανάλογα αν η ανακύκλωση γίνει σε συγκρότημα παραγωγής ή επιτόπου στο εργοστάσιο κατασκευής μπορεί να φτάσει ως και το 30%. Παρά το ότι είναι πολύ σημαντικό το γεγονός αυτό , δεν αποτελεί αποκλειστικό παράγοντα για την επιλογή της μεθόδου ανακύκλωσης. Σε ορισμένες χώρες οι προτεραιότητες για τη λήψη αποφάσεων αφορούν τη μείωση της δαπανώμενης ενέργειας, την εξοικονόμηση αδρανών υλικών, την προστασία του περιβάλλοντος τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης καθώς και τα κρατικά συμφέροντα (συμφωνίες με ιδιώτες επιχειρηματίες ή δέσμευση εξαιτίας συμφώνου μιας διακρατικής συμφωνίας που ανήκουν). Σημειώνεται επίσης πως με την ανακύκλωση, δηλαδή με την χρησιμοποίηση των επιτόπου υλικών μειώνεται σημαντικά η επιβάρυνση και η φθορά του οδικού δικτύου από τη μεταφορά των απαιτούμενων υλικών σε περίπτωση της κλασικής ανακατασκευής.

1.6.4 ΕΙΔΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ

Η ανακύκλωση εφαρμόζεται με διάφορους τρόπους οι οποίοι ποικίλουν ανάλογα με την τεχνική που χρησιμοποιείται, το είδος των υλικών, τη θερμοκρασία που επικρατεί κατά τη διάρκεια της ανάμειξης, τον τόπο που θα παρασκευαστεί το νέο υλικό και την αιτία που θα επιλεγεί η χρήση της (συντήρηση φθορών, βελτίωσης ποιότητας κύλισης με ή χωρίς ενίσχυση της δομικής αντοχής του οδοστρώματος). Διακρίνεται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες : την επιφανειακή ανακύκλωση, την ανακύκλωση εν θερμώ, την ανακύκλωση εν ψυχρώ και την ανακύκλωση δύσκαμπτων οδοστρωμάτων. Εκτός από την επιφανειακή ανακύκλωση οι υπόλοιπες μπορούν να εφαρμοστούν είτε επί του έργου, είτε σε μια μόνιμη μονάδα παρασκευής.

- **Επιφανειακή ανακύκλωση**

Η εφαρμογή τέτοιου είδους ανακύκλωσης επιλέγεται κυρίως για την εξάλειψη ρηγματώσεων ασφαλικών στρώσεων και ταυτόχρονα για τη βελτίωση της επιφάνειας κύλισης. Πραγματοποιείται με απόξεση σε βάθος 20 με 25 χιλιοστά και την απομάκρυνση του φθαρμένου ασφατομίγματος. Το εξαγόμενο υλικό επαναχρησιμοποιείται σε σταθεροποιημένες ή ασύνδετες βάσεις, για την κατασκευή ρείθρων αλλά ακόμη και επιφανειακών στρώσεων αφού προηγηθεί επεξεργασία με σταθεροποιητικό υλικό και νέα αδρανή. Η στρώση που απομακρύνθηκε αντικαθίσταται από νέο θερμό ασφατόμιγμα. Βασικό μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η εκπομπή σκόνης κατά την απόξεση που επιβαρύνει το περιβάλλον και δημιουργεί μεγάλη ενόχληση στην περιοχή ώσπου να ολοκληρωθεί η διαδικασία.

- **Ανακύκλωση εν θερμώ**

Η ανακύκλωση εν θερμώ είναι μια κατηγορία ανακύκλωσης που στο στάδιο της ανάμιξης και της επαναδιάστρωσης των ανακυκλωμένων υλικών απαιτείται θέρμανση αυτών. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την απόξεση και τον κατακερματισμό του οδοστρώματος σε βάθος μεγαλύτερο των 20 με 25 χιλιοστών και εν συνεχεία την ανάμιξη αυτού εν θερμώ επί της οδού με η χωρίς την προσθήκη νέων υλικών είτε σε μόνιμη εγκατάσταση με την προσθήκη νέων υλικών. Σε αντίθεση με τις άλλες μορφές ανακύκλωσης, με την ανακύκλωση εν θερμώ βελτιώνεται αισθητά και η αντοχή του οδοστρώματος. Η ανακύκλωση αυτής της μορφής εκτελείται σε ασφατικές στρώσεις αλλά μπορεί να επεκταθεί και στις στρώσεις από ασύνδετα αδρανή.

- **Ανακύκλωση εν ψυχρώ**

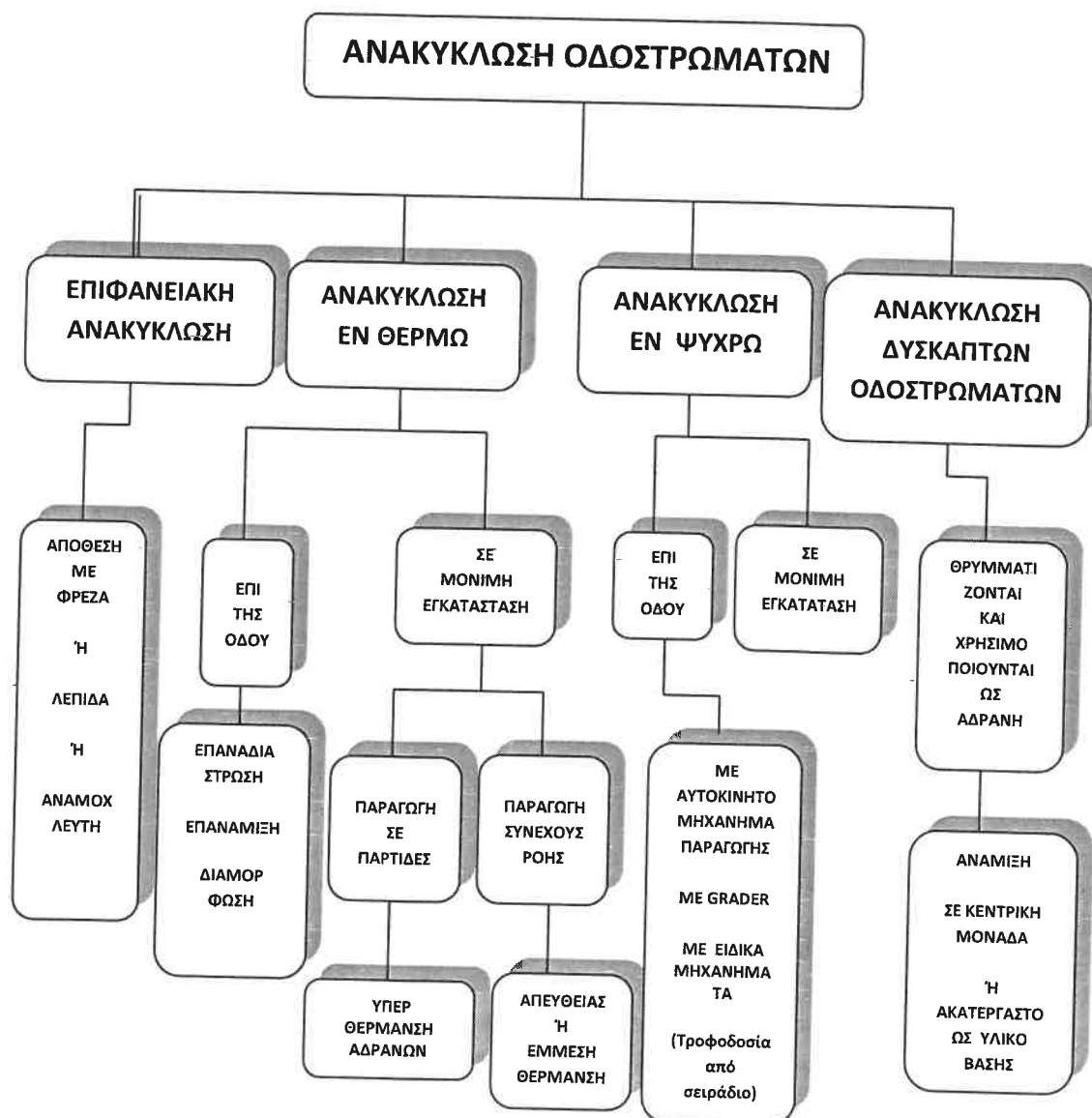
Η ανακύκλωση εν ψυχρώ είναι η κατηγορία της ανακύκλωσης που σε κανένα στάδιο των εργασιών δεν απαιτείται θέρμανση των υλικών και πραγματοποιείται συνήθως επί τόπου με τις υπάρχουσες θερμοκρασιακές συνθήκες. Η θραύση και ο κατακερματισμός του παλαιού οδοστρώματος πραγματοποιείται σε βάθος μεγαλύτερο των 20 με 25 χιλιοστών και εν συνεχεία η ανάμιξη εν ψυχρώ επί της οδού με την προσθήκη κατάλληλων σταθεροποιητικών υλικών (ασφατικό γαλάκτωμα, αφρώδης ασφαλτος, τσιμέντο) ή ορισμένες φορές και σε μονάδα παραγωγής με προσθήκη σταθεροποιητικών μέσων και νέων αδρανών υλικών. Τα εν ψυχρώ ανακυκλωμένα μίγματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μίγματα για την κατασκευή βάσεων και

υποβάσεων και συνθετικών στρώσεων και ως μίγματα για επιφανειακές στρώσεις σε οδούς μικρής και μέσης κυκλοφορίας.

- **Ανακύκλωση δύσκαμπτων οδοστρωμάτων**

Η ανακύκλωση δύσκαμπτων οδοστρωμάτων περιλαμβάνει τη διαδικασία θραύσης και κατακερματισμού του παλαιού οδοστρώματος της πλάκας του δύσκαμπτου οδοστρώματος και την επαναχρησιμοποίηση του κατακερματισμένου υλικού ως χονδρόκοκκου αδρανούς για την κατασκευή νέου οδοστρώματος με σταθεροποιημένη βάση. Η διαδικασία γίνεται συνήθως επί της οδού.

Συνοπτικά οι κατηγορίες ανακύκλωσης και τα χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 1.8 Γενικές κατηγορίες ανακύκλωσης [17]

1.6.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ

Η ανακύκλωση και μόνος σαν ιδέα είναι μια κατασκευαστική μέθοδος που έχει το βασικό πλεονέκτημα ότι σέβεται το περιβάλλον ενώ ταυτόχρονα είναι οικονομική γιατί επαναχρησιμοποιεί όλα τα παλιά υλικά και μειώνει το κόστος μεταφοράς τους. Ωστόσο κάθε μέθοδος ανακύκλωσης ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της παρουσιάζει και τα αντίστοιχα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που πρέπει να λαμβάνονται υπ όψιν για την επιλογή της εφαρμογής τους. Η σύγκριση μεταξύ τους και η αποτελεσματικότητά τους παρατίθεται στον παρακάτω πίνακα.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ		ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ		-Βελτιώνεται η επιτεδότητα οδού - Βελτιώνεται η συνοχή με τον υπερκείμενο τάπητα - Βελτιώνεται η αντιστάθιση ικανότητα - Αποκαθίστανται πτυχώσεις & αυλακώσεις ασφάλτου -Αποφεύγεται υπερύψωση της ερυθράς -Μικρή όχληση κατά την εφαρμογή	-Μη βελτίωση δομικής ικανότητας -Το μηχανήμα απόξεσης δεν είναι αποτελεσματικό για ασφάλτομγμα με μεγάλο μέτρο δυσκαμψίας >25mm -Εκπομπή σκόνης
ΕΝ ΘΕΡΜΩ	ΕΠΙ ΤΗΣ ΟΔΟΥ	-Εκμηδενίζονται οι ρωγμές ανάκλασης -Αποκατάσταση των επιφανειακών κακώσεων - Βελτιώνεται η ποιότητα οδήγησης - Βελτιώνεται η δομική ικανότητα	-Ανεπαρκής ποιοτικός έλεγχος -Παρενόχληση της κυκλοφορίας -Κόστος μηχανημάτων φρεζαρίσματος -Συχνή συντήρηση μηχανημάτων φρεζαρίσματος
	ΜΟΝΙΜΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	-Επέρχεται ουσιαστική βελτίωση δομικής ικανότητας -Εκμηδενίζονται οι ρωγμές ανάκλασης -Αποκατάσταση των επιφανειακών κακώσεων -Βελτιώνεται η ποιότητα οδήγησης -Αποτελεσματική διόρθωση των κλίσεων -Καλός ποιοτικός έλεγχος	-Μεγαλύτερη παρενόχληση στην κυκλοφορία -Συμβολή στην ατμοσφαιρική ρύπανση από το συγκρότημα παραγωγής
ΕΝ ΨΥΧΡΩ	ΕΠΙ ΤΗΣ ΟΔΟΥ	-Εξοικονόμηση ενέργειας -Σχεδόν μηδενική ατμοσφαιρική ρύπανση -Εκμηδενίζονται ρωγμές ανάκλασης -Αποκατάσταση επιφανειακών κακώσεων -Βελτιώνεται η ποιότητα οδήγησης - Βελτιώνεται η δομική ικανότητα -Χαμηλότερο κόστος	-Απαιτείται ασφαλική επάλειψη η διάστρωση ασφαλικής στρώσης από θερμό ασφαλτόμγμα -Ανεπαρκής ποιοτικός έλεγχος -Παρενόχληση της κυκλοφορίας -Κόστος μηχανημάτων φρεζαρίσματος -Συχνή συντήρηση μηχανημάτων φρεζαρίσματος -Απαιτείται ωρίμανση του μίγματος για περισσότερη ευστάθεια
	ΜΟΝΙΜΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	-Καλύτερος ποιοτικός έλεγχος -Εξοικονόμηση ενέργειας -Σχεδόν μηδενική ατμοσφαιρική ρύπανση -Εκμηδενίζονται ρωγμές ανάκλασης -Αποκατάσταση επιφανειακών κακώσεων -Βελτιώνεται η ποιότητα οδήγησης - Βελτιώνεται η δομική ικανότητα -Χαμηλότερο κόστος -Επιφανειακή επάλειψη ή τάπητας δεν είναι απαραίτητα	-Παρενόχληση στην κυκλοφορία -Απαιτείται ασφαλική επάλειψη η διάστρωση ασφαλικής στρώσης από θερμό ασφαλτόμγμα -Ανεπαρκής ποιοτικός έλεγχος -Παρενόχληση της κυκλοφορίας -Κόστος μηχανημάτων φρεζαρίσματος -Συχνή συντήρηση μηχανημάτων φρεζαρίσματος -Απαιτείται ωρίμανση του μίγματος για περισσότερη ευστάθεια
ΔΥΣΚΑΜΠΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ		-Δεν έχω εναπόθεση πλακών -Παραγωγή τεχνητών αδρανών για χώρες που έχουν έλλειψη φυσικών πόρων -Αυξάνεται η αντίσταση σε διαδοχική ψύξη θέρμανση σε σχέση με ορισμένα φυσικά αδρανή. -Χαμηλότερο κόστος	-Υψηλό πορώδες -Αν χρησιμοποιηθεί ως άμμος μειώνεται η εργασιμότητα του μίγματος και αυξάνεται η ποσότητα του τσιμέντου στο μίγμα. -Υπαρξη σιδήρου αυξάνει το μηχανικό και το εργατικό κόστος θραύσης.

Πίνακας 1.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ανακύκλωσης [17]

1.6.6 ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΙΑ ΤΑ ΠΡΟΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ

Για να προτιμάται η εφαρμογή της μεθόδου την ανακύκλωσης ενός οδοστρώματος θα πρέπει τα παραγόμενα ασφαλομίγματα να έχουν παρόμοια συμπεριφορά με τα συμβατικά ασφαλομίγματα καθώς και να αποτιμάται το οικονομικό όφελος που προέρχεται από αυτά.

Θα πρέπει να προηγηθεί ωστόσο ένας έλεγχος στο προς ανακύκλωση ασφαλομίγμα προκειμένου να εξεταστούν και να ρυθμιστούν βασικοί παράμετροι που επηρεάζουν το ποιοτικά επιθυμητό αποτέλεσμα. Η εξέταση περιλαμβάνει τον έλεγχο της διεισδυτικότητας και του ιξώδους της ανακτηθείσας άσφαλτο, τον έλεγχο της κοκκομετρικής διαβάθμισης των αδρανών και τον καθορισμό της περιεκτικότητας ασφάλτου στο μίγμα. Πέραν των τυπικών αυτών ελέγχων σε μεγάλα έργα ανακύκλωσης ή σε ειδικές συνθήκες (υψηλός κυκλοφοριακός φόρτος, θερμοκρασίες περιβάλλοντος) μπορεί να απαιτηθούν πιο αναλυτικοί έλεγχοι όπως για τον καθορισμό της μηχανικής συμπεριφοράς των αδρανών και της ασφάλτου του μίγματος.

Ένα τυπικό ασφαλομίγμα προς ανακύκλωση για να θεωρηθεί κατάλληλο θα πρέπει να είναι ομοιόμορφο και χωρίς συχνές εναλλαγές στην υφή του. Σε κάποια τμήματα οδού που θα αντιμετωπίζονται προβλήματα ποιοτικής ασυνέχειας και θα πρέπει κατόπιν ελέγχου να απορρίπτεται η ανακύκλωσή τους ή να πραγματοποιείται με κατάλληλες διορθωτικές παρεμβάσεις αν είναι εφικτό.

Τέλος ο τρόπος διαστασιολόγησης των ανακυκλωμένων οδοστρωμάτων είναι κοινός ανεξάρτητα από τη μέθοδο ανακύκλωσης που εφαρμόστηκε για να παραχθούν (εν θερμώ ή εν ψυχρώ). Δε διαφέρει μάλιστα σε τίποτα από τον τρόπο που διαστασιολογούνται οι στρώσεις από τα ασφαλομίγματα με αμιγή υλικά από λατομεία και μονάδες παραγωγής ασφαλτικού υλικού.

1.6.7 ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου της ανακύκλωσης εκτός από τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται συνήθως σε κάθε έργο οδοποιίας (συμπυκνωτές, οδοστρωτήρες, φορτηγά αυτοκίνητα, προωθητές κ.α) απαιτείται η χρήση και εξειδικευμένων μηχανημάτων.

Η φρέζα (milling machine) είναι το μηχάνημα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάθε μορφή ανακύκλωσης τόσο των εύκαμπτων όσο και των δύσκαμπτων

οδοστρωμάτων. Κινείται πάνω σε τροχούς ή ερπύστριες και φέρει οδοντωτό τύμπανο το οποίο με την περιστροφή του αποξάνει το οδόστρωμα. Το πλάτος του τυμπάνου κυμαίνεται από 1 έως 3,5 μέτρα, ενώ σήμερα υπάρχουν φρέζες που μπορούν να φρεζάρουν σε βάθος έως και 35 εκατοστά. Η ταχύτητα κίνησης κατά τη λειτουργία του μηχανήματος συνήθως 3 έως 12 μ ανά λεπτό, έχει άμεση σχέση με το βάθος που φρεζάζεται. Η ταχύτητα μειώνεται όσο αυξάνεται το βάθος.

Επίσης όσο μεγαλύτερο είναι το βάθος και κυρίως το βάθος που μπορεί να φρεζάρει το μηχάνημα τόσο μεγαλύτερο είναι το κόστος αγοράς και συντήρησης αυτού. Μια βέλτιστη λύση είναι το μηχάνημα που να μπορεί να φρεζάρει σε πλάτος 1.25 m ή 1,9 m και βάθος έως και 80 mm. Μπορεί να απομακρύνει τα εξαγόμενα υλικά με τη βοήθεια ενός συστήματος μεταφορικών ταινιών σε περίπτωση σε μόνιμη εγκατάσταση.



Εικόνα 1.1 Τυπικό μηχάνημα φρεζαρίσματος. [22]

Τα μηχανήματα/συστήματα θέρμανσης της επιφάνειας, τα οποία μπορεί να είναι ενσωματωμένα με τη φρέζα ή να αποτελούν ένα ξεχωριστό μηχάνημα είναι βασικά δύο ειδών: του υπέρθερμου συμπιεσμένου αέρα και των υπέρυθρων ακτινών (μικροκυμάτων), το οποίο είναι και το συνηθέστερο.

Στην επιφανειακή ανακύκλωση για την απόξεση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ελπιδοφόρο μηχάνημα(planer), ισοπεδωτήρας (grader) με ειδικά προσαρμοσμένη σκληρυμένη λεπίδα ή ειδικός αναμοχλευτής (scarifier). Τα πρώτα δύο μηχανήματα χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιπτώσεις προσωρινής αποκατάστασης των

πτυχώσεων, της παραμόρφωσης ή της ανάδυσης ασφάλτου καθώς και για την αποξήλωση ασφαλικών εξαλείψεων και λεπτοτάπητων. Ο αναμοχλευτής διαθέτει κοπτικά εργαλεία που περιστρέφονται σε κάθετο άξονα και χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση των επιφανειακών ανωμαλιών του οδοστρώματος. Πριν από τη χρήση του χρειάζεται απαραίτητα προθέρμανση της επιφάνειας.

Στην περίπτωση της θερμής ανακύκλωσης με επαναδιάστρωση χρησιμοποιείται ένας συρμός μηχανημάτων που αποτελείται από ένα σύστημα θέρμανσης της επιφάνειας του οδοστρώματος, αναμοχλευτή ή φρέζα, λεπίδα για την εξομάλυνση της αναμοχλευθείσας επιφάνειας, σύστημα ταινιών για τη μεταφορά του ασφαλτομίγματος στο διαστρωτήρα, χοάνη υποδοχής του ασφαλτομίγματος και ένα υδραυλικό διαστρωτήρα (finisher) σαν αυτόν που χρησιμοποιείται σε κάθε εργασία διάστρωσης θερμού ασφαλτομίγματος.



Εικόνα 1.2 Συνδυασμός μηχανημάτων για την εν θερμώ ανακύκλωση [22]

Για την εν θερμώ ανακύκλωση σε μόνιμη εγκατάσταση, υπάρχουν δύο ειδών συγκροτήματα παραγωγής ανακυκλωμένου μίγματος : το συγκρότημα παραγωγής ανά παρτίδες και το συγκρότημα παραγωγής συνεχούς ροής. Η παραγωγή ανά παρτίδες γίνεται με την υπερθέρμανση των αδρανών, στον ξηραντήρα/θερμαντήρα και κατόπιν προσθήκη του παλαιού ασφαλτομίγματος στον αναμικτήρα χωρίς να έχει θερμανθεί. Το συγκρότημα αυτό υστερεί σε ημερήσια/ωριαία παραγωγικότητα και επιπλέον είναι

απαραίτητη η συχνή συντήρηση λόγω της γρήγορης φθοράς του τυμπάνου θέρμανσης των αδρανών από τις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται.

Για την ανακύκλωση στο συγκρότημα συνεχούς ροής χρησιμοποιούνται δύο τύποι συγκροτημάτων, της απευθείας θέρμανσης και της έμμεσης θέρμανσης. Στο συγκρότημα απευθείας θέρμανσης το προς ανακύκλωση ασφαλτόμιγμα προστίθεται μαζί με τα αδρανή στο περιστρεφόμενο τύμπανο θέρμανσης και αναμιγνύονται όλα μαζί. Σημαντικό μειονέκτημα αποτελεί ανεπιθύμητων ρύπων («μπλε» καπνός) όταν το παλαιό ασφαλτόμιγμα έρχεται σε επαφή με τη θερμαντική φλόγα και τις πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Ενώ στο έμμεσης θέρμανσης η επεξεργασία είναι πιο οικολογική αφού δεν υπάρχει εκπομπή ρύπων διότι το τύμπανο δεν θερμαίνεται από καυστήρα, αλλά από σωλήνες εναλλαγής θερμότητας που είναι περιμετρικά τοποθετημένοι γύρω από αυτό.

1.7 ΨΥΧΡΗ ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

1.7.1 ΓΕΝΙΚΑ

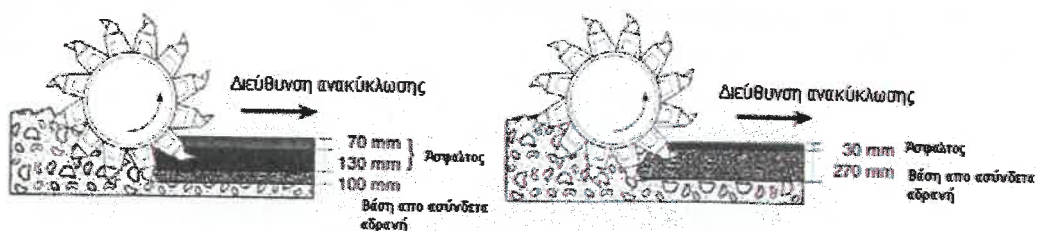
Η ιδέα της ψυχρής επιτόπου ανακύκλωσης εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στις ΗΠΑ. Τα τελευταία χρόνια με την ανάπτυξη της τεχνολογίας είχαμε αυξημένο σχεδιασμό και παραγωγή πιο εξειδικευμένων μηχανημάτων που καθιστούν πιο εύκολη τη μέθοδο αυτή με αποτέλεσμα να προκληθεί το ενδιαφέρον όλο και περισσότερων χωρών (Αγγλία, Ολλανδία, Αυστρία, Γερμανία, Γαλλία, Ιαπωνία κ.α) και η επέκταση της εφαρμογής σε μεγάλους αυτοκινητοδρόμους και αεροδρόμια. Έχει διαπιστωθεί ότι παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους επισκευής και ενίσχυσης οδοστρωμάτων (ανακύκλωσης εν θερμώ, ασφατικές επανεπιστροφές).

Η ανάπτυξη της μεθόδου αυτής οφείλεται κατά κύριο λόγο στην πετρελαϊκή κρίση που δημιούργησε την ανάγκη οικονομίας των αποθεμάτων καθώς και στις νομοθετικές διατάξεις που θεσπίστηκαν δημοκρατικά για την προστασία του περιβάλλοντος. Στην Ελλάδα παρ' όλα αυτά δεν έχει διαδοθεί ιδιαίτερα η ιδέα της ψυχρής ανακύκλωσης και η εφαρμογή της περιορίζεται σε λίγα μεμονωμένα τμήματα οδού.

1.7.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΨΥΧΡΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ

Διακρίνονται τρεις κατηγορίες ψυχρής ανακύκλωσης :η ανακύκλωση σε βάθος, η επιφανειακή ανακύκλωση και η ανακύκλωση μόνο από χαλίκι.

- **Ανακύκλωση σε βάθος** : πραγματοποιείται σε βάθος μεγαλύτερου των 150mm και καλύπτει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών συμπεριλαμβανομένου από μια μέση έως μακροπρόθεσμη στρατηγική σχεδιασμού. Με την προσθήκη της επιφανειακής στρώσης επιτυγχάνονται καλύτερα λειτουργικά χαρακτηριστικά όπως αντοχή σε ολίσθηση και ποιότητα επιφάνειας κύλισης



Σχήμα 1.9 Ανακύκλωση οδοστρώματος με παχιά και λεπτή ασφαλτική στρώση [18]

- **Επιφανειακή ανακύκλωση** : Η επιφανειακή ανακύκλωση εκτείνεται σε βάθος από 80 έως 150mm. Κύρια εφαρμογή της επιλέγεται για την εξαφάνιση των επιφανειακών ρηγματώσεων λόγω κάμψης αλλά και για τη βελτίωση της ποιότητας κύλισης. Ανήκει στις βραχυπρόθεσμες στρατηγικές βελτίωσης.



Εικόνα 1.3 Εφαρμογή της επιφανειακής ανακύκλωσης [22]

- **Ανακύκλωση οδοστρωμάτων από χαλίκι :** εφαρμόζεται σε βάθος από 100 έως 200 mm και μπορεί να πραγματοποιηθεί με την ανακύκλωση του υπάρχοντος υλικού προσθέτοντας τα ανάλογα σταθεροποιητικά υλικά (ασφαλτικό γαλάκτωμα, αφρώδης άσφαλτος, ένυδρο ασβέστη ή τσιμέντο) και στη συνέχεια διαστρώνεται ένας λεπτοτάπητας κυκλοφορίας. Σοβαρό μειονέκτημα είναι η μεγάλη εκπομπή σκόνης γι αυτό και κατά τη διαδικασία προτιμούνται υγρές καιρικές συνθήκες ώστε να περιοριστεί. Η επιφανειακή στρώση που παράγεται με τη μέθοδο αυτή έχει μεγάλη ασφάλεια και σταθερότητα ειδικά κατά τη διάρκεια της βροχής.

1.7.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ

Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει απλοποιήσει θεαματικά τη διαδικασία της ανακύκλωσης σε σχέση με πριν μερικά χρόνια. Οι μηχανές φρεζαρίσματος έχουν μετατραπεί από ένα απλό αποξυτικό μηχάνημα στα εξειδικευμένα μηχανήματα του σήμερα. Ο μοντέρνος σχεδιασμός τους είναι τέτοιος ώστε να μπορούν με ένα απλό πέρασμα να ανακυκλώσουν σημαντικό πάχος της επιφάνειας του οδοστρώματος από 20 έως 50 cm.



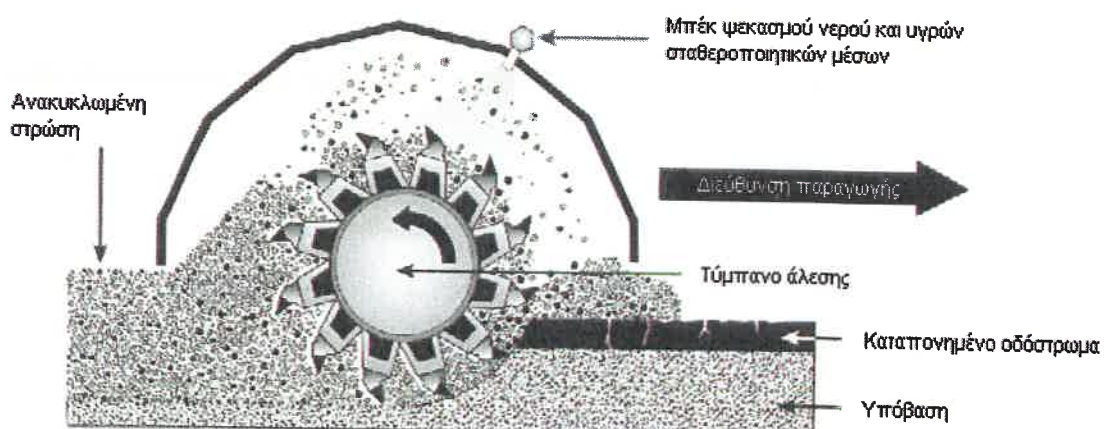
Εικόνα 1.4 Τυπικό μηχάνημα φρεζαρίσματος [22]

Το βασικό μηχανισμό τέτοιων συστημάτων αποτελεί ο κύλινδρος άλεσης/ ανάμιξης στον οποίο είναι προσαρμοσμένα στην επιφάνειά του ειδικά κοπτικά εξαρτήματα γνωστές ως κεφαλές θρυμματισμού. Κατά τη διαδρομή της μηχανής φρεζαρίσματος το τύμπανο περιστρέφεται και αποξύνει το υφιστάμενο οδόστρωμα όπως φαίνεται στο σχήμα παρακάτω.



Εικόνα 1.5 Τύμπανο φρεζαρίσματος και θρυμματισμού [23]

Κατά τη διάρκεια του θρυμματισμού εισέρχεται στον ανακυκλωτή νερό από βυτιοφόρο όχημα μέσω ενός εύκαμπτου σωλήνα στον κύλινδρο ανάμιξης για τη συμπύκνωση του μίγματος. Για να προκύψουν επιθυμητά αποτελέσματα είναι σημαντικό η συμπύκνωση να είναι η βέλτιστη, για το λόγο αυτό η απαιτούμενη ποσότητα νερού που αναμιγνύεται ταυτόχρονα με το θρυμματισμένο υλικό καθορίζεται μέσω ενός μικροεπεξεργαστή ελεγχόμενης αντλίας.



Σχήμα 1.10 Τύμπανο άλεσης με μπεκ ψεκασμού [17]

Η προσθήκη των σταθεροποιητικών μέσων (ρευστό τσιμέντο, ασφαλτικό γαλάκτωμα) γίνεται ξεχωριστά ή ταυτόχρονα στον κύλινδρο ανάμιξης πάλι με

εξωτερικό σωλήνα εισαγωγής σε ελεγχόμενη ποσότητα. Επιπλέον για αφρώδη άσφαλτο η εισαγωγή γίνεται από ένα ξεχωριστό ειδικά διαμορφωμένο μπεκ ψεκασμού. Για να επιτευχθεί ομοιόμορφη ανάμιξη νέου και παλαιού υλικού χρησιμοποιείται ένα σύστημα αυτοκαθαρισμού των κεφαλών ψεκασμού.

Για τα σταθεροποιητικά μέσα που υπάρχουν σε μορφή σκόνης, όπως το τσιμέντο, η διαδικασία εισαγωγής κατά την ανάμιξη διαφέρει. Γίνεται διασκόρπιση κονιάματος μπροστά από τον ανακυκλωτή και ο τελευταίος με το πέρασμά του πάνω από αυτό τα ανακατεύει μαζί με το νερό και το υφιστάμενο υλικό.

Η τελευταία φάση πραγματοποιείται με τη διάστρωση του υλικού στην απαιτούμενη μορφή (κλίσεις – επικλίσεις) και το πάχος μέσω ενός ειδικού συστήματος διάστρωσης του ανακυκλωτή (πήχης μόρφωσης και επιφανειακού τελειώματος).

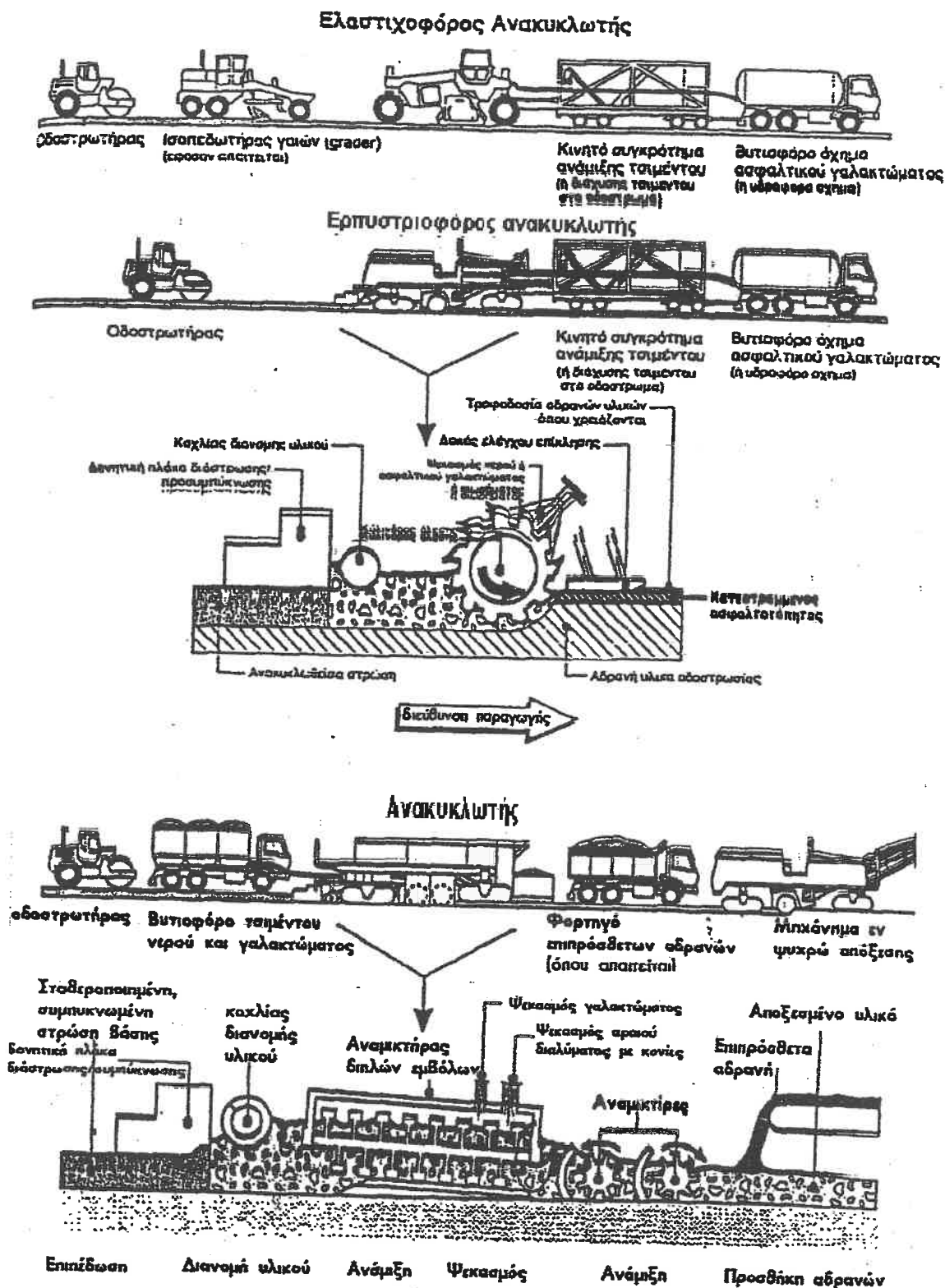
Ο συνδυασμός μηχανημάτων για τη σύνθεση ενός συρμού ανακύκλωσης ποικίλει ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες του έργου, τον τύπο των σταθεροποιητικών μέσων που χρησιμοποιούνται και την οικονομική διαθεσιμότητα για τον εξοπλισμό. Για να πραγματοποιείται ομαλά η διαδικασία της ανακύκλωσης και με σταθερή ταχύτητα τα μέλη του συρμού του εξοπλισμού συνδέονται μεταξύ τους κι έλκονται από ειδικά συστήματα – οδηγούς. Τυπικός ανακυκλωτής – συρμός φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 1.6 τυπικός ανακυκλωτής-συρμός επί τόπου ψυχρής ανακύκλωσης [22]

Το τελικό αποτέλεσμα εξαρτάται ιδιαίτερα από την επιτυχημένη συμπίκνωση του μίγματος. Ο συνδυασμός ενός βαρέως οδοστρωτήρα με έναν δονούμενο είναι συνήθως αρκετός για να επιτευχθεί το αποτέλεσμα αυτό. Για στρώσεις πάνω από 25 εκατοστά απαιτούνται ειδικές τεχνικές συμπίκνωσης.

ΤΥΠΙΚΗ ΟΜΑΔΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΥΛΙΚΩΝ



Σχήμα 1.11 Τυπική ομάδα μηχανημάτων ψυχρής επί τόπου ανακύκλωσης [17]

Είναι πολύ σημαντικό να υπάρχει η ιδανική υγρασία και η ιδανική πυκνότητα κατά τη συμπύκνωση. Συχνά χρησιμοποιούνται πυρηνικές συσκευές για τον άρτιο έλεγχο

της διότι, αν η υγρασία δεν είναι αρκετή, το μίγμα είναι σκληρό και δεν συμπυκνώνεται εύκολα ενώ, αν είναι υψηλή, το μίγμα έχει μεγάλη ρευστότητα και δεν μπορεί να συμπυκνωθεί. Η απαιτούμενη ποσότητα νερού συνήθως είναι 4% με 5 %. Τέλος χρειάζεται ένα χρονικό διάστημα για τη συντήρηση του μίγματος ώστε ν' αναπτύξει εσωτερική συνοχή πριν καλυφθεί από τη στρώση κυκλοφορίας.

1.7.4 Έλεγχοι για την αξιολόγηση των φθορών και τη συντήρησή τους με ανακύκλωση

Η ανακύκλωση των οδοστρωμάτων γενικά αποσκοπεί στη συντήρησή τους και την αποκατάσταση των φθορών. Δεν είναι όμως πάντα αποτελεσματική σε όλες τις φθορές γι' αυτό και χρειάζεται ένας έλεγχος για να αξιολογηθεί αν η εφαρμογή της μεθόδου θα έχει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Γίνεται κατ' αρχήν οπτική αξιολόγηση που εκτελείται σε δύο φάσεις:

- Μια αρχική επιθεώρηση για να δοθεί μία γενική εντύπωση του έργου και να επισημανθούν τα τμήματα με κοινό τύπο και είδος καταπόνησης.
- Κατόπιν γίνεται μια πιο λεπτομερής εξέταση περπατώντας σε όλο το μήκος του δρόμου, καταγράφονται αναλυτικά τα προβλήματα σε όλο το πλάτος της οδού καθώς και ανωμαλίες, γεωλογικές αλλαγές και γεωμετρικά χαρακτηριστικά (απότομες βαθμίδες, μπαλώματα).
- Βασικός στόχος είναι να καθοριστεί η σοβαρότητα των φθορών του οδοστρώματος και να επισημανθούν αυτές που μπορούν να διορθωθούν με την εφαρμογή της ανακύκλωσης. Τέτοιες είναι:
 - Μόνιμες παραμορφώσεις που οφείλονται σε τροχαυλάκωση είτε σε ερπυστική οριζόντια παραμόρφωση.
 - Ρωγμές λόγω γήρανσης, έντονων μεταβολών της θερμοκρασίας, κόπωσης και αντανεκλαστικές ρωγμές.
 - Απώλεια συνοχής των υλικών του οδοστρώματος και των ασφαλιστικών στρώσεων, επιφανειακή αποσάθρωση και εμφάνιση τοπικών οπών και αποφλοΐωση της ασφάλτου.
 - Μία λεπτομερής επιθεώρηση θα πρέπει να παρέχει αναλυτικές πληροφορίες για τη φύση και την έκταση των φθορών. Θα πρέπει παράλληλα να εκτιμάται το πάχος των στρώσεων η επιφανειακή κατάσταση και να διερευνάται η περίπτωση για τυχόν εσωτερικά προβλήματα στη βάση και την υπόβαση.

Τέλος η επιτόπου ψυχρή ανακύκλωση εφαρμόζεται και σε οδοστρώματα που έχουν σοβαρές παραμορφώσεις και διαταραχές και κυρίως η αιτία είναι προβλήματα στη βάση από ασύνδετα υλικά όπως κακή κοκκομετρική ανάλυση, μικρό πάχος και ελαφρά ελαστικότητα. Η ανακύκλωση δε χρησιμοποιείται σε οδοστρώματα με ζημιές στην υπόβαση.

- **Ποιοτικός έλεγχος ανακυκλωμένης στρώσης**

Η ποιότητα του τελικού έργου καθορίζεται από τα αποτελέσματα των ελέγχων που δείχνουν:

- Τη φέρουσα ικανότητα του υλικού της ανακυκλωμένης στρώσης. Μπορεί να καθοριστεί είτε έμμεσα, λαμβάνοντας υλικό από τον ανακυκλωτή, είτε άμεσα με τη λήψη πυρήνων (καρότων) από το δρόμο.
- Την ξηρή πυκνότητα του συμπυκνωμένου υλικού. Η μέτρηση της ξηρής πυκνότητας είναι ο πιο συνήθης έλεγχος από κατασκευαστικής άποψης.
- Το πάχος της συνολικής στρώσης. Αποτελεί την μία από τις δύο κρίσιμες μεταβλητές που επηρεάζουν την κατάσταση της σταθεροποιημένης στρώσης.

Φυσικά δεν θα πρέπει να γίνεται συζήτηση για ποιότητα χωρίς να αναφέρεται το ζήτημα της αποστράγγισης του οδοστρώματος. Ένα πρόβλημα που εμφανίζεται, λόγω ανεπαρκούς αποστράγγισης είναι η συγκέντρωση νερού και η δημιουργία λακκουβών υπό τη φόρτιση της κυκλοφορίας.

1.7.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ψυχρής επί τόπου ανακύκλωση

Η ψυχρή επί τόπου ανακύκλωση παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα τα οποία μπορούν να χωριστούν σε κατηγορίες σε σχέση με την οικολογική της σημασία, την ποιοτική της ως προς το αποτέλεσμα, την ταχεία απόδοση του έργου, την ασφάλεια κυκλοφορίας και το οικονομικό της όφελος.

Περιβάλλον

- Η διαδικασία της ανάμιξης του υπάρχοντος υλικού και των σταθεροποιητικών προσθέτων γίνεται στο τύμπανο άλεσης του ανακυκλωτή και εφ' όσον το περιβάλλον είναι ελεγχόμενο, μειώνεται στο ελάχιστο η όχληση από το θόρυβο και τη σκόνη.
- Στις συμβατικές μεθόδους ο θόρυβος, η σκόνη και τα αιωρούμενα σωματίδια παράγονται και από τη διαδικασία των πολλών διελεύσεων, κάτι που εδώ αποφεύγεται.

Ποιοτικό αποτέλεσμα

Είναι εγγυημένο διότι έχει να κάνει με την υψηλή ποιότητα άλεσης/ανάμιξης των φρεζαρισμένων υλικών, με το νερό και τα σταθεροποιητικά πρόσθετα των οποίων η προσθήκη ελέγχεται ηλεκτρονικά και διαχέεται μέσω ακροφυσίων σε όλο το πλάτος του κυλίνδρου.

- Έχει μεγάλη ακρίβεια στο πάχος της στρώσης κοπής (απόκλιση 5mm)
- Άριστη ομοιογένεια με τις διπλανές στρώσεις οπότε δεν υπάρχουν κενά ή ανωμαλίες στα όρια μεταξύ τους.
- Γίνεται άμεσα η συμπίεση κατόπιν της ανάμιξης. Ορισμένες φορές ο ανακυκλωτής φέρει δονητική πλάκα.

Ταχύτητα έργου

- Χρειάζεται το λιγότερο χρόνο για την ολοκλήρωση του έργου από οποιαδήποτε άλλη μέθοδο αποκατάστασης.
- Δεν χρειάζονται οι πολλές διελεύσεις διότι οι ερπύστριες έρχονται σε επαφή με επιφάνεια που ανακυκλώνεται οπότε δεν ενοχλεί την υποδομή σε αντίθεση με τα συμβατικά μέσα.

- Δεν επηρεάζεται από τις κλιματολογικές συνθήκες κατά την εργασία σε μικρά τμήματα οδού.

- Δεν τίθεται θέμα καθυστέρησης για ανεφοδιασμό νερού αφού τα μηχανικά μέσα είναι εξοπλισμένα με ντεπόζιτα νερού και μπορούν αν συνεχίσουν μόνα τους τις εργασίες για περιορισμένο χρονικό διάστημα μέχρι να επιστρέψουν οι υδροφόρες.

Ασφάλεια κατά τις εργασίες ανακύκλωσης

- Η διαδικασία ανακύκλωσης πραγματοποιείται κάτω από συνθήκες μεγάλης ασφάλειας σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους. Κύρια αιτία είναι η πολύ μικρή όχληση των εργασιών στην κυκλοφορία και η παράλληλη χρήση της οδού από οχήματα. Ο συρμός των μηχανημάτων ανακύκλωσης προσαρμόζεται άνετα στο πλάτος μιας κυκλοφοριακής λωρίδας έτσι ώστε να ανακυκλώνεται και να παραδίδεται στο προγραμματισμένο μήκος της χωρίς να χρειάζεται να αποκλειστεί όλο το τμήμα της οδού μέχρι το πέρας των εργασιών. Για το λόγο ότι οι παράλληλες λωρίδες μένουν ανεπηρέαστες κατά την κυκλοφορία, ο κίνδυνος των ατυχημάτων περιορίζεται στο ελάχιστο.

- Η μόνη εμπλοκή της κυκλοφορίας στις παράλληλες λωρίδες με τα μηχανήματα ανακύκλωσης, αν εξαιρεθούν τα οχήματα που περιστασιακά τα ανεφοδιάζουν με νερό ή σταθεροποιητικά μέσα για την ανάμιξη, γίνεται με την αναστροφή τους στο τέλος της διαδρομής άλεσης του οδοστρώματος. Σε αντίθεση με τις συμβατικές μεθόδους, όπου κάθε μηχανήμα πρέπει να γυρίσει πίσω μετά από κάθε πέρασμα πολλαπλήν διαδικασίας, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε δυσάρεστα ατυχήματα με τα διερχόμενα αυτοκίνητα των υπολοίπων λωρίδων κυκλοφορίας.

Οικονομικά οφέλη

- Ο ανακυκλωτής μπορεί να ρυθμίσει την ταχύτητα περιστροφής του κυλίνδρου άλεσης και τη θέση του συστήματος ελέγχου διαβάθμισης επιτυγχάνει κατάλληλη κοκκομετρική διαβάθμιση για το επαναχρησιμοποιήσιμο υλικό. Στις συμβατικές μεθόδους προκύπτουν υπερμεγέθη υλικά, ειδικά κατά την αναμόχλευση των ασφαλικών που απαιτούν την αντικατάστασή τους από αδρανή καλής ποιότητας.

- Η αύξηση του πάχους της υπόβασης κατά μόνο 50 χιλιοστά επιτρέπει τη μείωση της ασφάλτου κατά 25 χιλιοστά τουλάχιστο χωρίς να μεταβάλει τη ζωή του οδοστρώματος. Οι μειωμένες ανάγκες για άσφαλτο μεταφράζονται σε σημαντική εξοικονόμηση χρημάτων αφού για την επιτόπου ψυχρή ανακύκλωση απαιτούνται έως και το 1/5 έναντι των συμβατικών μεθόδων.

- Τα πολλαπλά περάσματα που απαιτούνται για την ανακατασκευή με συμβατικές μεθόδους προξενούν αστάθεια σε αδύνατα ή κορεσμένα υποστρώματα. Το κόστος του έργου αυξάνεται σημαντικά προκειμένου να αντιμετωπιστούν τέτοια προβλήματα.

- Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου με ένα μόνο πέρασμα, σε συνδυασμό με τα παραπάνω καθιστούν την επί τόπου ψυχρή ανακύκλωση ως τη φθηνότερη λύση με κέρδος από 15 έως 30% σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους.

Μειονεκτήματα επί τόπου ψυχρής ανακύκλωσης

Η επιτόπου εν ψυχρώ ανακύκλωση ενός οδοστρώματος παρουσιάζει και μειονεκτήματα όπως τη μεγάλη ανομοιογένεια του μίγματος, την έλλειψη συγκεκριμένης τεχνικής με προδιαγραφές, αφού γίνεται η χρήση των τεχνικών προδιαγραφών από συμβατικές λύσεις «εν ψυχρώ» με μερικές προσαρμογές, τη δυσκολία ή την αδυναμία να εκτελεστεί η τεχνική σε κρύο και βροχερό καιρό, την έλλειψη γνώσης των ως προς ανακύκλωση υλικών και των αντίστοιχων χαρακτηριστικών τους και τέλος την εκτέλεση της μεθόδου ανά λωρίδες με την πιθανότητα να εμφανιστούν διαμήκεις ρωγμές.

1.7.6 Επιτόπου ψυχρή ανακύκλωση με τσιμέντο

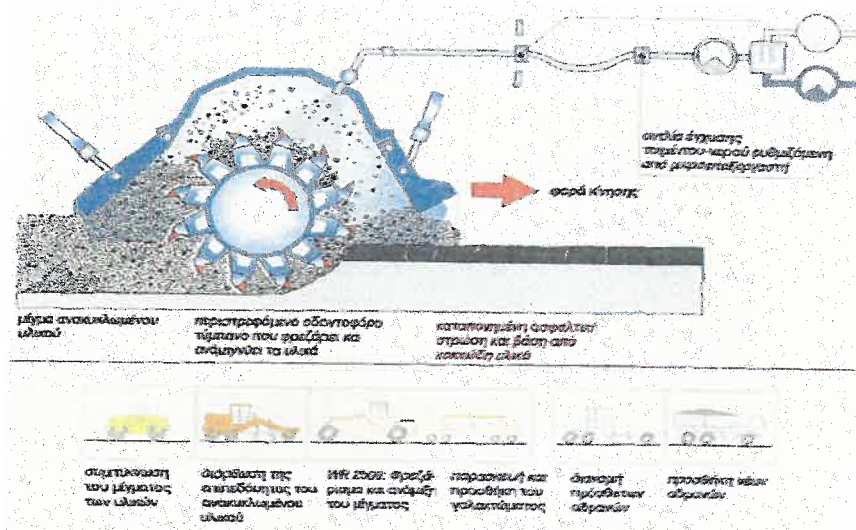
Η επιτόπου ψυχρή ανακύκλωση με τσιμέντο είναι η πιο διαδεδομένη μορφή ανακύκλωσης. Κατά τη διάρκεια της ψυχρής ανακύκλωσης οι συνδεδεμένες στρώσεις και μέρος των υποκειμένων στρώσεων αλέθονται και αναμειγνύονται με νέες συνδετικές ουσίες. Με την προσθήκη τσιμέντου η φέρουσα ικανότητα του επεξεργασμένου υλικού αυξάνει πολύ. Η ψυχρή ανακύκλωση με τσιμέντο είναι σχετικά φθηνή και διαθέσιμη. Η αναλογία τσιμέντου κατά βάρος για την ανάμιξη κυμαίνεται από 2-6%.

- **Πλεονεκτήματα της επιτόπου ανακύκλωσης με τσιμέντο**

Το τσιμέντο λόγω του ότι παράγεται στις περισσότερες χώρες και είναι εύκολα διαθέσιμο, είναι ένα κατασκευαστικό υλικό που χρησιμοποιείται ευρέως σε παγκόσμια κλίματα. Υπάρχουν πολλές προδιαγραφές και δοκιμαστικές μέθοδοι διαθέσιμες για την επεξεργασία του τσιμέντου όπως και πολλά παραδείγματα οδοστρωμάτων που περιλαμβάνουν στρώσεις σταθεροποιημένες με τσιμέντο και έχουν δείξει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα. Ποιοτικά η επιτόπου ανακύκλωση με τσιμέντο έχει σαν στόχο να δημιουργηθεί μια στρώση ομοιογενής, σταθεροποιημένη και σημαντικού

πάχους, με μηχανικά χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά ενός εδάφους σταθεροποιημένου με τσιμέντο ή ενός αμμοχάλικου κατεργασμένου με τσιμέντο. Τα πάχη που μπορούν να ανακυκλωθούν επιτρέπουν την πραγματοποίηση μια επαρκούς διόρθωσης των ήδη υπαρχουσών στρώσεων και ενίσχυσης της φέρουσας ικανότητας του οδοστρώματος με σκοπό την αποκατάσταση εξαντλημένων οδοστρωμάτων λόγω κόπωσης, παραμορφωμένων και μη ικανών να αντέξουν τον απαιτούμενο κυκλοφοριακό φόρτο. Συχνά πρόκειται για οδοστρώματα με μεγάλες παραμορφώσεις για την ενίσχυση των οποίων επιβάλλεται εκπόνηση ειδικής μελέτης.

Λόγω της αποτελεσματικότητας της ανάμιξης του τσιμέντου ο συντελεστής ασφαλείας που τυπικά εφαρμόζεται όταν καθορίζονται τα επίπεδα προσθήκης σταθεροποιητικών υλικών, μπορεί να μειωθεί σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους.



Σχήμα 1.12 Σχηματική διάταξη της μεθόδου ψυχρής ανακύκλωσης με τσιμέντο [18]

Η οικολογική συμβολή της ανακύκλωσης με τσιμέντο είναι πολύ σημαντική καθώς είναι μία τεχνική που γίνεται εν ψυχρώ, με αποτέλεσμα τη μικρή κατανάλωση ενέργειας. Ταυτόχρονα μειώνεται αισθητά η μόλυνση και οι εκπομπές βλαβερών αναθυμιάσεων. Σε αστικές περιοχές μπορεί να γίνει χρήση αιωρήματος τσιμέντου οπότε εξαφανίζεται η πιθανότητα προσβολής της δημόσιας υγείας. Επίσης θα πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν μας την ολοένα μεγαλύτερη δυσκολία, με το πέρασμα των χρόνων, εύρεσης κάποιου κοιτάσματος προμήθειας αδρανών καλής ποιότητας που να μη βρίσκεται πολύ μακριά από την τοποθεσία του έργου. Η επιτόπου επαναχρησιμοποίηση των υλικών συμβάλλει στην αποφυγή ανοίγματος καινούργιων λατομείων αδρανών αλλά και στη διατήρηση των ήδη υπαρχόντων αποθεμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

Εργαστηριακές Δοκιμές

2.1 ΣΚΟΠΟΣ

Βασικός σκοπός της εργασίας αυτής είναι να διερευνηθεί η μεταβολή των μηχανικών χαρακτηριστικών των ανακυκλωμένων με τσιμέντο μιγμάτων θραυστών αδρανών υλικών (αμμοχάλικων) και φρεζαρισμένου ασφαλτομίγματος σε περιπτώσεις κατά τις οποίες μεταβάλλεται ένα ή και τα δύο από τα υλικά που συνθέτουν το μίγμα (δηλ μεταβάλλεται το φρεζαρισμένο υλικό ή το θραυστό αμμοχάλικο). Οι περιπτώσεις αυτές θα πρέπει να θεωρούνται συνήθεις διότι στα υπάρχοντα ασφαλτικά οδοστρώματα τόσο το ασφαλτόμιγμα των ασφαλτικών στρώσεων όσο και το υποκείμενο ασύνδετο υλικό βάσεως ή και υποβάσεως δεν είναι σταθερό σε όλο το μήκος του δρόμου (διαφορετικές πηγές υλικών, διάφοροι κατασκευαστές, διαφορετικές χρονικές στιγμές κατασκευής).

Για τον σκοπό αυτό αποφασίστηκε να ληφθούν δύο φρεζαρισμένα ασφαλτομίγματα από διαφορετικές εργασίες ανακαίνισης δρόμων της Αθήνας και δύο θραυστά αμμοχάλικα από διαφορετικά λατομεία και να αναμιχθούν σε ποσοστά θραυστού υλικού και φρεζαρισμένου αμμοχάλικου αντίστοιχα 100%/0%, 75%/25% και 50%/50%.

Με τον τρόπο αυτό παρέχεται η δυνατότητα να εξετασθούν οι ακόλουθες επιδράσεις:

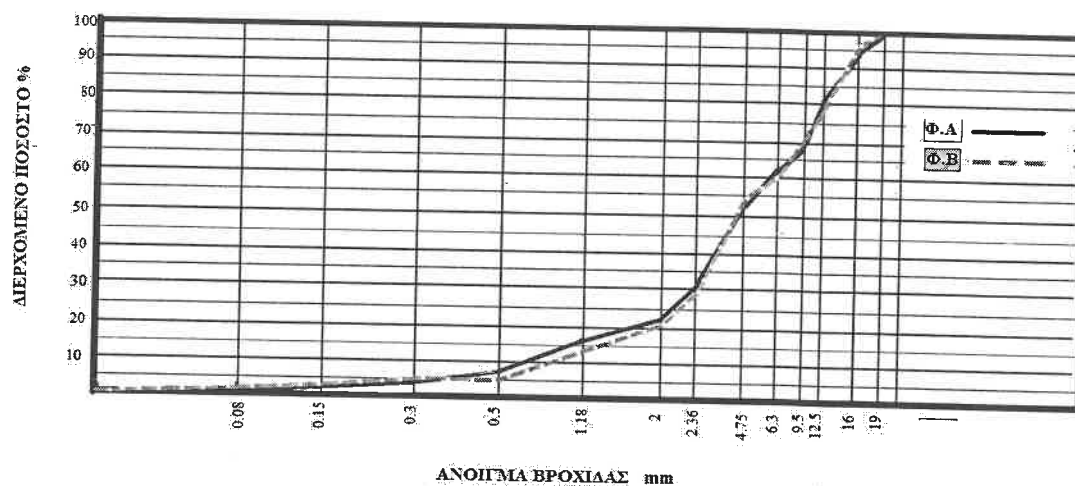
1. Επίδραση του ποσοστού του φρεζαρισμένου υλικού στο ανακυκλωμένο μίγμα (ποσοστά 0, 25% και 50%)
2. Επίδραση του είδους του φρεζαρισμένου ασφαλτομίγματος στα ανακυκλωμένα με τσιμέντο μίγματα της περίπτωσης 1
3. Επίδραση του είδους του θραυστού υλικού στα ανακυκλωμένα με τσιμέντο μίγματα της περίπτωσης 1

Αποφασίστηκε επίσης να μην εξετασθεί η επίδραση της διαβάθμισης των υλικών και για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε μία διαβάθμιση για τα φρεζαρισμένα υλικά και μία για τα θραυστά.

2.2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

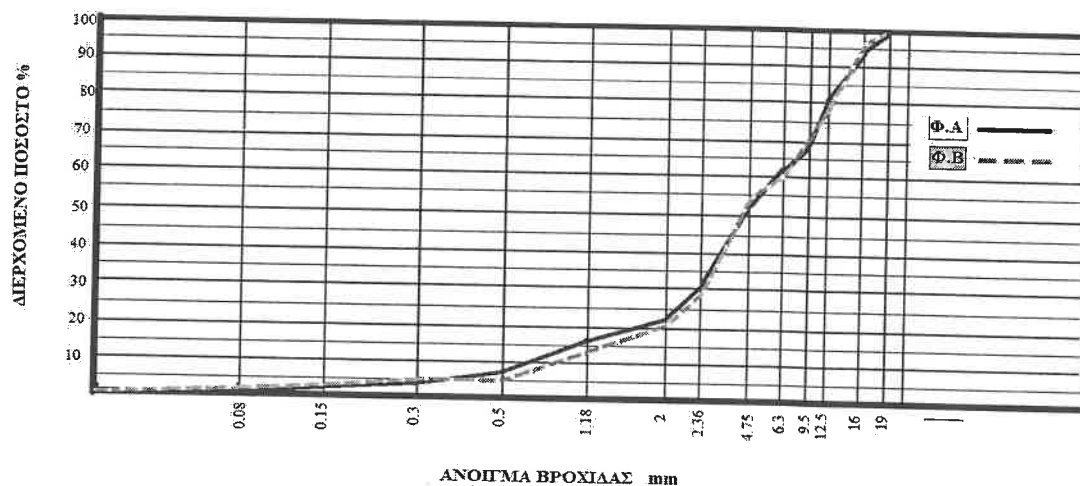
• Υλικά

Για το σκοπό αυτό λήφθηκαν δύο φρεζαρισμένα ασφαλτομίγματα (ΦΑ και ΦΒ) από διαφορετικές περιοχές. Το Φ.Α από έργα ανανέωσης ασφαλτοτάπητα στην λεωφόρο Θηβών και το Φ.Β από αντίστοιχες εργασίες στην περιοχή του Βοτανικού. Η διαβάθμιση των υλικών αυτών παρουσιάζεται στο σχήμα 2.1 από το οποίο διαπιστώνεται ότι δεν υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ τους



Σχήμα 2.2.1 Κοκκομετρικές καμπύλες φρεζαρισμένου υλικού

Επίσης ελήφθησαν δύο θραυστά υλικά λατομείου (ΘΑ και ΘΒ) των οποίων η διαβάθμιση παρουσιάζεται στο σχήμα 2.2.2



Σχήμα 2.2.2 Κοκκομετρικές καμπύλες θραυστού υλικού

Το υλικό ΘΑ (λατομείο εταιρείας TITAN, Καμάρι) ήταν το ίδιο με το υλικό που χρησιμοποιήθηκε σε προγενέστερη έρευνα του Εργαστηρίου οδοποιίας του ΕΜΠ και χαρακτηρίζεται από το σχετικά υψηλό ποσοστό παιπάλης (13,2% < 0.075mm) (εντός των απαιτήσεων της ΠΤΠ Ο 155). Το υλικό ΘΒ χαρακτηρίζεται από μικρότερο ποσοστό παιπάλης (3%).

Για την παρασκευή των δοκιμών με όσο το δυνατόν σταθερότερη διαβάθμιση αποφασίστηκε τόσο τα φρεζαρισμένα όσο και τα θραυστά υλικά να χωριστούν σε τρία κλάσματα 25/20, 20/10 και 10/0 και να ανασυντίθενται κάθε φορά με σταθερά ποσοστά των ως άνω επιμέρους κλασμάτων αντίστοιχα, τα οποία καθορίστηκαν 30/15/55 για το φρεζαρισμένο ασφαλτόμιγμα (ΦΑ' και ΦΒ') και 20/25/55 για το υλικό ΘΑ'. Για το υλικό ΘΒ' τα ποσοστά ανάμιξης ήταν 15/20/55 με πρόσθετο υλικό ψηφίδα η οποία προστέθηκε σε ποσοστό 10% για να προσεγγιστεί η κοκκοδιαβάθμιση του υλικού ΘΒ' σε εκείνη του υλικού ΦΑ'. Τα νέα υλικά που προήλθαν από την ως άνω ανασύνθεση των επιμέρους κλασμάτων ονομάζονται υλικά ΦΑ, ΦΒ, ΘΑ και ΘΒ.

Το τσιμέντο είναι τύπου ΙΙ Π 35 και το νερό από το υδραγωγείο ΕΜΠ.

• Εργαστηριακός εξοπλισμός

Για την παρασκευή των δοκιμών στο εργαστήριο χρησιμοποιήθηκαν :

- Τρία είδη πλέγματος ανοίγματος 20, 13 και 5 mm αντίστοιχα για τον διαχωρισμό των αδρανών στις τρεις βασικές κατηγορίες (χαλίκι, γαρμπίλι και άμμο) ενώ για την κοκκομετρική ανάλυσή τους χρησιμοποιήθηκαν 14 κόσκινα με ανοίγματα (οι τιμές είναι σε mm):
19.05 , 15.85, 12.7 , 9.52 , 6.35 , 4.76 , 2.38 , 1.19 , 0.59 , 0.297 , 0.149 , 0.074 και μια δονητική μηχανή .
- Δύο φούρνοι με ακριβείς ενδείξεις θερμοκρασίας που χρειάστηκαν για την αποτελεσματικότερη εξάλειψη της υγρασίας που ενδεχομένως υπήρχε στα αδρανή αμέσως μετά τη συλλογή τους
- Δύο ζυγοί ψηφιακής ένδειξης .Ένας ικανότητας έως 50 Kgr και ελάχιστης μέτρησης έως 100 gr και ο έτερος ικανότητας έως 3 Kgr και ελάχιστης μέτρησης 0.1 gr για την όσο το δυνατό σωστότερη αναλογία των υλικών στα μίγματα.
- Ο ειδικός αναμικτήρας που υπάρχει στο εργαστήριο οδοστρωμάτων του Ε.Μ.Π

- Δέκα μήτρες κατασκευασμένες από μαλακό χάλυβα πρισματικού σχήματος διαστάσεων 10cm*50cm*10 cm
- Μία δονητική ηλεκτρόσφυρα για την αποτελεσματικότερη συμπίκνωση των δοκιμίων.



Εικόνα 2.1 Αναμικτήρας και καλούπι για την παρασκευή δοκιμίων με συμπίκνωση με ηλεκτρόσφυρα

2.3 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Για την παρασκευή των δοκιμίων ακολουθήθηκαν τα παρακάτω στάδια. :

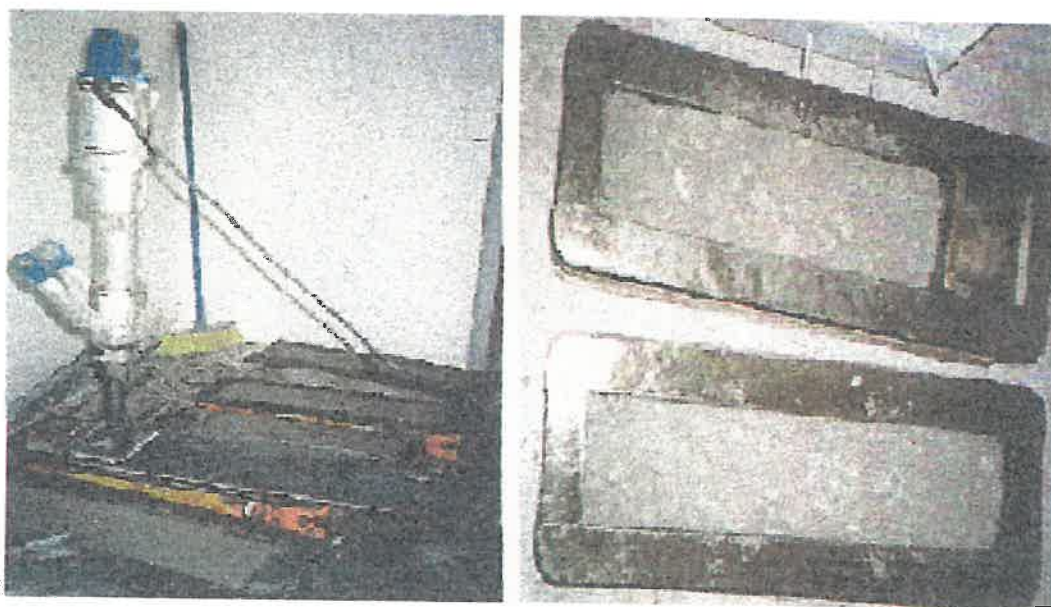
α) Προετοιμάζεται επαρκής ποσότητα αδρανών για την παραγωγή δοκιμίων η οποία ξηραίνεται στους εξωτερικούς χώρους των εργαστηρίων του Ε.Μ.Π σε θερμοκρασία περίπου 50° C. Για την ξήρανση των λεπτόκοκκων αδρανών (άμμος, ψηφίδα) χρησιμοποιούνται οι φούρνοι οπότε και θερμαίνονται ομοιόμορφα στους 90° C για 15 ώρες έτσι ώστε να μην υποστούν αλλοιώσεις στη δομή τους .

β) Υπολογίζονται εξ αρχής οι ποσότητες κάθε υλικού που θα περιέχεται στα μίγματα και ζυγίζονται με ακρίβεια. Επίσης με ακρίβεια ζυγίστηκαν οι ποσότητες νερού και τσιμέντου ώστε να είναι στο 5% του μίγματος έκαστο.

γ) Το μίγμα των αδρανών τοποθετείται στον αναμικτήρα και αρχίζει η διαδικασία ανάμιξης που διαρκεί 3 λεπτά. Στη συνέχεια προστίθεται μέρος της ποσότητας νερού και συνεχίζεται η διαδικασία για άλλα 60 δευτερόλεπτα. Το μίγμα σκεπάζεται για την

αποφυγή απώλειας της υγρασίας και αφήνεται για 30 λεπτά. Κατόπιν προστίθεται το υπόλοιπο νερό και το τσιμέντο και συνεχίζει η ανάδευση για άλλα 3 λεπτά. Εάν παρατηρηθεί ότι τα λεπτόκοκκα αδρανή έχουν κολλήσει στα τοιχώματα του κάδου, διακόπτεται η ανάμιξη για λίγο διάστημα και συνεχίζεται αφού αποκολληθεί με τη βοήθεια μηχανικού μέσου. (σπάτουλα, μυστρί)

δ) Μετά την ανάμιξη αδειάζεται μέρος του μίγματος και κατανέμεται ισόποσα σε τέσσερις μήτρες οι οποίες έχουν λιπανθεί κατάλληλα για να μην κολλήσει το υλικό. Με χρήση της δονητικής ηλεκτρόσφυρας της οποίας το κάτω μέρος φέρει ειδική βάση που προσαρμόζεται ακριβώς στα όρια της μήτρας για να μην επιτρέψει λόγω της πίεσης τη εκροή λεπτόκοκκου υλικού, γίνεται η πρώτη φάση συμπίεσης. Η συμπίκνωση γίνεται σε δύο επαναλήψεις από 5 δευτερόλεπτα έκαστη. Αφού συμπυκνωθεί σε όλες τις μήτρες η πρώτη στρώση, το υλικό χαράσσεται επιφανειακά ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη συγκόλληση με τη δεύτερη. Με τον ίδιο τρόπο επαναλαμβάνεται η διαδικασία προσέχοντας το υλικό να διαλέγεται ομοιόμορφα για να μην έχουν διαφορές τα δοκίμια ως προς τη διαβάθμισή τους. Τέλος για να επιτευχθούν οι ακριβείς διαστάσεις των δειγμάτων, καλύπτεται η ελεύθερη επιφάνεια της μήτρας με ειδικό μεταλλικό έλασμα που πιέζεται από την ηλεκτρόσφυρα και λειαίνει την εκτιθέμενη πλευρά του δοκιμίου.



Εικόνα 2.2 Συμπύκνωση δοκιμίων

ε) Οι μήτρες μεταφέρονται σε ένα ειδικό θάλαμο συντηρήσεως σταθερής θερμοκρασίας 20° C και σχετικής υγρασίας άνω του 95 % στο εργαστήριο οδοστρωμάτων του ΕΜΠ όπου σκεπάζονται και διατηρούνται εκεί για 24 ώρες

στ) Στη συνέχεια αποσυναρμολογούνται οι μήτρες και εξάγονται τα δοκίμια προσεκτικά προς αποφυγή αποκόλλησης τεμαχίων από την επιφάνειά τους. Τέλος ζυγίζονται και αφού καταγραφεί το βάρος τους επικαλύπτονται με νάιλον μεμβράνη και αποθηκεύονται πάλι στο θάλαμο συντηρήσεως για 60 ημέρες.



Εικόνα 2.3 Συμπυκνωμένα δοκίμια μεταφέρονται στο θάλαμο συντήρησης

2.4 ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

2.5

Για την πραγματοποίηση των δοκιμών χρησιμοποιήθηκε η μηχανή αντοχής υλικών M.T.S. Αφού σημειωθεί στις πλευρές του ένα διάστημα στη μέση μήκους 10 cm για τη σύγκριση της περιοχής θράυσης, προσαρμόζονται στα σημειωμένα όρια επαγωγικά μηχανισιόμετρα (LVDT'S) με τη διάταξη που φαίνεται στη φωτογραφία 2.4 για τη μέτρηση των παραμορφώσεων .Μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή κατά τη διάρκεια της δοκιμής γίνεται η καταγραφή του φορτίου και των παραμορφώσεων. Η πραγματοποίηση των δοκιμών έγινε στο εργαστήριο οδοστρωμάτων του Ε.Μ.Π.



Εικόνα 2.4 Δοκιμή σε εφελκυσμό με συσκευή MTS

Αρχικά το δοκίμιο υποβάλλεται σε μονοαξονική θλίψη με ταχύτητα φόρτισης 0.58 kN/sec με στόχο τον προσδιορισμό του μέτρου ελαστικότητας σε θλίψη. Πρέπει να σημειωθεί εδώ πως από προηγούμενη ερευνητική εργασία είναι γνωστό το όριο θραύσης σε θλίψη ισοδύναμου κύβου των εξεταζόμενων μιγμάτων. Κάνοντας χρήση αυτών των τιμών υπολογίζεται περίπου το η αντοχή των μιγμάτων σε θλίψη. Δηλαδή το δοκίμιο φορτίζεται στο ένα τρίτο του εκ των προτέρων εκτιμηθέντος ορίου θραύσης .

Στη συνέχεια στις άκρες του δοκιμίου προσαρμόζονται ειδικές άρπαγες για τη δοκιμή του σε εφελκυσμό. Το δοκίμιο εφελκύεται με μια ταχύτητα 2 MPa/min έως τη θράυση του. Από τα αποτελέσματα που καταγράφονται υπολογίζεται η αντοχή και το μέτρο ελαστικότητας του κάθε μίγματος.

Τέλος για τον προσδιορισμό της αντοχής σε θλίψη σε ισοδύναμο κύβο , τα δοκίμια μετά τη θράυση τους σε δύο τμήματα κατά την δοκιμή σε εφελκυσμό, μεταφέρονται σε ειδική πρέσα με την οποία ασκείται θλιπτικό φορτίο με ταχύτητα 0.58 kN/sec σε τετραγωνική επιφάνεια 10cm*10cm ως τη θράυση τους. Καταγράφεται η αντοχή τους και η τελική τιμή του κάθε δοκιμίου καθορίζεται από το μέσο όρο των δύο επιμέρους τμημάτων.

2.6 ΕΙΔΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΠΟΥ ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣΤΗΚΑΝ

Όπως προαναφέρθηκε χρησιμοποιήθηκαν δύο είδη θραυστού και φρεζαρισμένου υλικού. Ένα ποσοστό του θραυστού υλικού ΘΑ πλύθηκε οπότε προκύψαν τρεις κατηγορίες θραυστού. Το Θ.Α το Θ.Β και το πλ. Θ.Α.

Συνδυάζοντας τα συγκεκριμένα είδη εναλλάξ με τα φρεζαρισμένα υλικά Α και Β προκύπτουν τελικά έξι μίγματα Α,Β,Γ,Δ,Ε,Ζ,ΣΤ.. Στο κάθε μίγμα ανάλογα με το ποσοστό περιεκτικότητάς του σε φρεζαρισμένο υλικό προκύπτουν τρεις αναλογίες :

i για 100% θραυστό , ii για 75 % θραυστό και iii για 50 % θραυστό.

Για κάθε τέτοια αναλογία παρασκευάζονται 4 δοκίμια .

ΜΙΓΜΑ	ΑΝ/ΓΙΑ	ΔΟΚ	ΜΙΓΜΑ	ΑΝ/ΓΙΑ	ΔΟΚ	ΜΙΓΜΑ	ΑΝ/ΓΙΑ	ΔΟΚ
A Θ.Α+Φ.Α	i 100/0	Ai1	Γ Θ.Β+Φ.Α	i 100/0	Γi1	E πλ.Θ.Α+Φ.Α	i 100/0	Ei1
		Ai2			Γi2			Ei2
		Ai3			Γi3			Ei3
		Ai4			Γi4			Ei4
	ii 75/25	Aii1		ii 75/25	Γii1		ii 75/25	Eii1
		Aii2			Γii2			Eii2
		Aii3			Γii3			Eii3
		Aii4			Γii4			Eii4
	iii 50/50	Aiii1		iii 50/50	Γiii1		iii 50/50	Eiii1
		Aiii2			Γiii2			Eiii2
		Aiii3			Γiii3			Eiii3
		Aiii4			Γiii4			Eiii4
B Θ.Α+Φ.Β	ii 75/25	Bii1	Δ Θ.Β+Φ.Β	ii 75/25	Δii1	ΣΤ πλ.Θ.Α+Φ.Β	ii 75/25	ΣΤii1
		Bii2			Δii2			ΣΤii2
		Bii3			Δii3			ΣΤii3
		Bii4			Δii4			ΣΤii4
	iii 50/50	Biii1		iii 50/50	Δiii1		iii 50/50	ΣΤiii1
		Biii2			Δiii2			ΣΤiii2
		Biii3			Δiii3			ΣΤiii3
		Biii4			Δiii4			ΣΤiii4

Πίνακας 2.1.1 Ονοματολογία των δοκιμών που παρασκευάστηκαν σε αντιστοιχία με το είδος και την αναλογία θραυστού και φρεζαρισμένου υλικού στα μίγματα

Οι κοκκομετρικές διαβαθμίσεις των ανωτέρω προκυπτόντων υλικών παρατίθενται στον πίνακα 2.5.2

Μέγεθος κόσκινου (mm)	19	16	12.5	9.5	6.3	4.75	2.36	2	1.18	0.6	0.3	0.15	0.08
Φ.Α	98.2	96.1	81.5	68.3	61.6	53.7	31.2	19.1	16	6.2	2.9	1.6	0
Φ.Β	99.9	97.2	81.2	69	60.7	54.4	26.5	18.4	12.4	5	2.8	1.9	1.4
Θ.Α (Αi)	99.6	95.2	84.5	70.3	58.8	56.3	43.2	32.1	24.2	19.2	16.2	14	13.2
Αii	99.3	95.4	82.4	69.8	59.5	55.3	42.5	31.5	23.6	18.3	12.6	10.2	4
Αiii	98.9	95.6	83	69.3	60.2	54.8	38.7	27.4	21.1	14.3	9.4	7.8	6.6
Βii	99.7	95.7	83.7	70	59.3	55.5	41.3	31.3	22.7	18	12.6	10.2	4
Βiii	99.8	96.2	82.9	69.7	59.8	55.1	36.4	27	19.3	13.7	9.3	7.5	3
Θ.Β (Γi)	99.5	91.5	82.4	67.1	59.3	57.3	39	27.2	22.4	16	12.4	7	3
Γii	99.2	92.7	82.2	67.4	59.9	56.4	37.1	25.2	20.8	13.6	10	5.7	2.3
Γiii	98.9	47.6	82	35.2	60.5	27.9	23.1	17.8	13.1	11.15	7.7	7	6.6
Δii	99.6	92.9	82.1	67.6	59.7	56.6	35.9	25	19.9	13.3	10	5.7	2.6
Δiii	99.7	93.5	81.8	68.1	60	55.9	32.8	22.8	17.4	10.5	7.6	4.5	2.2
πλ.Θ.Α. (Εi)	84.5	80.7	71.7	59.6	49.9	47.4	39.2	30.2	22.1	18.91	13.4	11.9	0
Εii	87.9	84.6	74.1	61.8	52.8	48.9	37.2	27.4	20.6	15.7	10.8	9.3	0
Εiii	92	86.1	77	63.4	54.6	52.3	38.1	28.7	22.3	17.5	12.9	9.4	1.5
ΣΤii	88.3	84.8	74	62	52.6	49	36	27.2	19.7	15.4	10.7	9.4	0.3
ΣΤiii	92.2	89	78.4	64.3	55.3	50.9	32.9	24.3	17.3	11.2	8.1	6.89	0.7

Πίνακας 2.1.2

Διερχόμενο επί τοις εκατό ποσοστό αδρανών των μιγμάτων συναρτήσει με το μέγεθος κόσκινου που χρησιμοποιήθηκε για την κοκκομετρική ανάλυση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

Αποτελέσματα δοκιμών

3.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Για τη μελέτη της μηχανικής συμπεριφοράς των δοκιμίων όταν αυτά υποβάλλονται σε στατική φόρτιση κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα.

- τάσεων - ανηγμένων παραμορφώσεων σε εφελκυσμό
- τάσεων - ανηγμένων παραμορφώσεων σε θλίψη

Με βάση τα διαγράμματα αυτά εκτός της αντοχής σε εφελκυσμό υπολογίστηκε το μέτρο ελαστικότητας σε θλίψη και εφελκυσμό από το λόγο της επιβαλλόμενης τάσης προς την ανηγμένη παραμόρφωση.

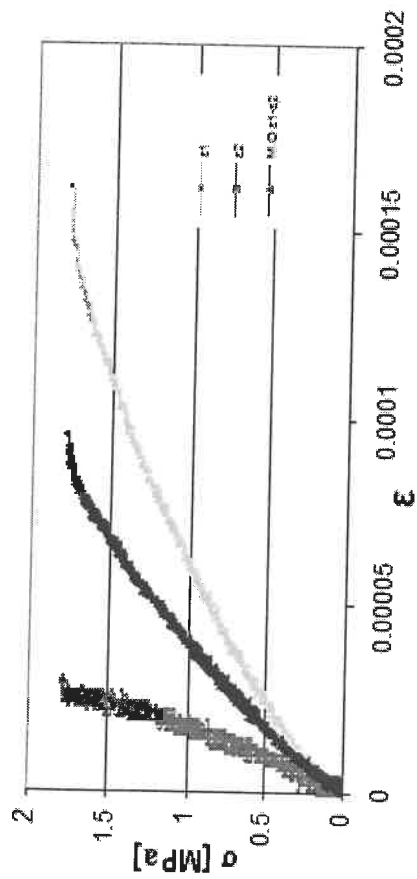
Για τη βέλτιστη μελέτη των αποτελεσμάτων στα συγκεκριμένα πειράματα, κατασκευάστηκαν διαγράμματα ξεχωριστά για κάθε δοκίμιο και για τα δύο είδη φόρτισης. (θλίψη,εφελκυσμό). Σε κάθε διάγραμμα απεικονίζονται οι τιμές των παραμορφώσεων ϵ_1 και ϵ_2 που καταγράφονται από τα δύο επαγωγικά ηλεκτρομηκυσιόμετρα LVDT#1 και LVDT#2 αντίστοιχα που έχουν, προσαρμοστεί στα δοκίμια, καθώς και ο μέσος όρος τους .

Στο τέλος παρατίθενται συγκεντρωτικοί πίνακες των μέσων τιμών των αποτελεσμάτων για κάθε κατηγορία μίγματος τόσο στην αντοχή όσο και στο μέτρο ελαστικότητας με σκοπό την καλύτερη σύγκριση και τον επαρκή σχολιασμό τους .

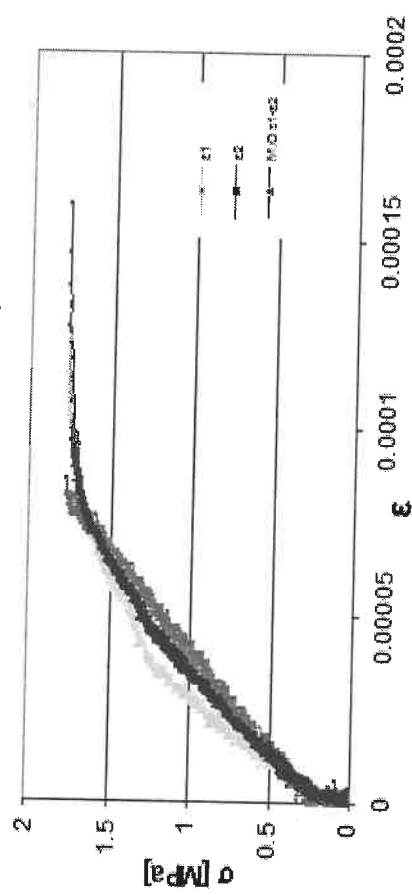
3.2

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΑΣΗΣ-ΑΝΗΓΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

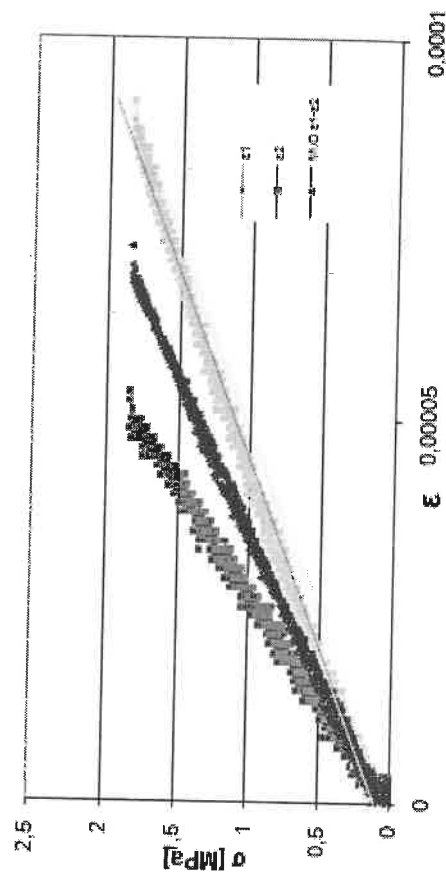
100% Θραυστό ΘΑ (ΑΙ1)



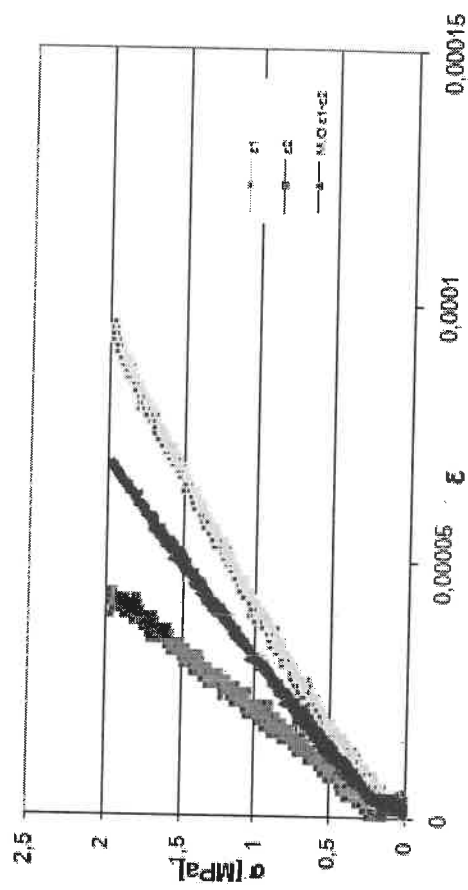
100% Θραυστό ΘΑ (ΑΙ2)



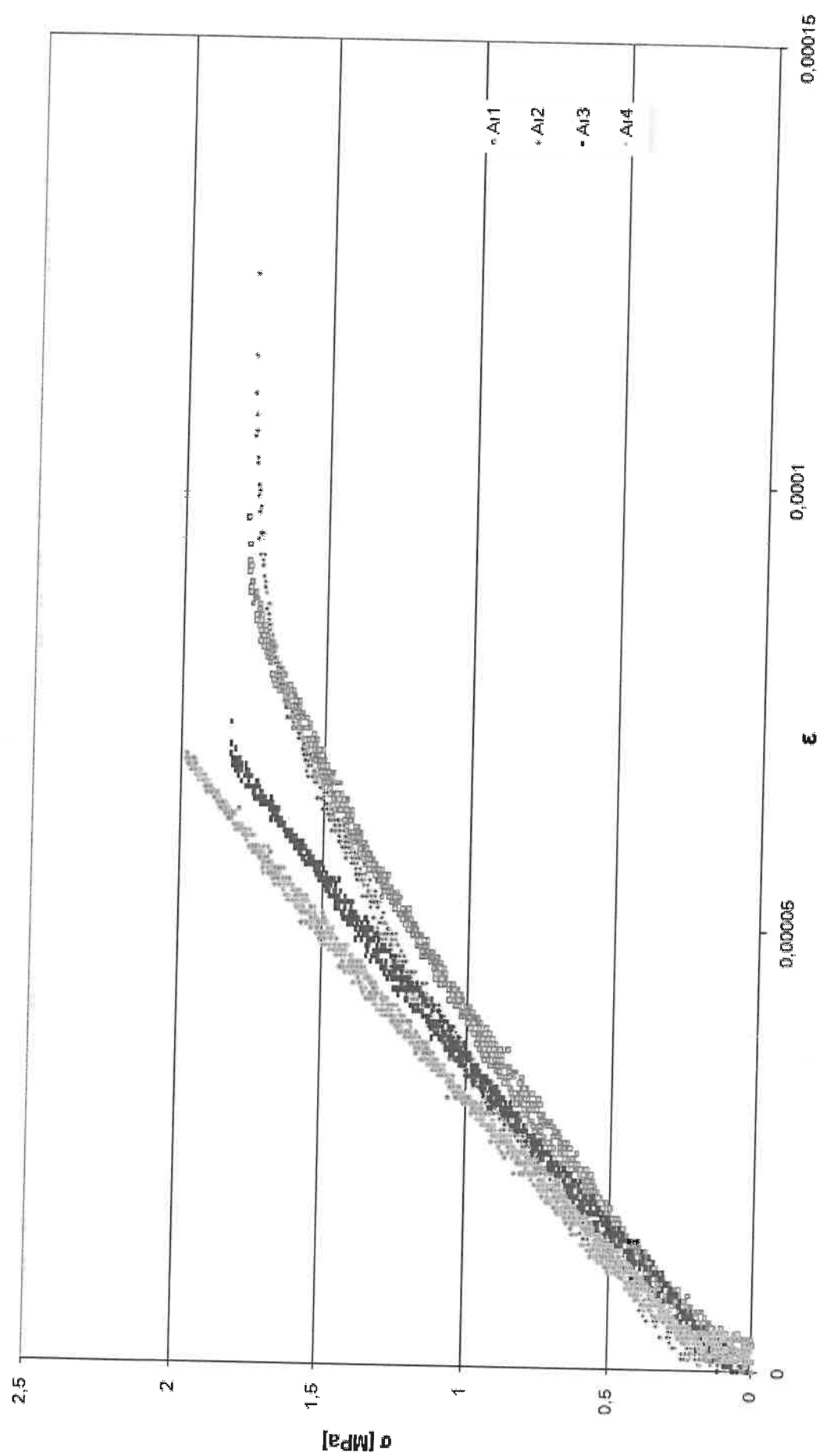
100% Θραυστό ΘΑ (ΑΙ3)



100% Θραυστό ΘΑ (ΑΙ4)

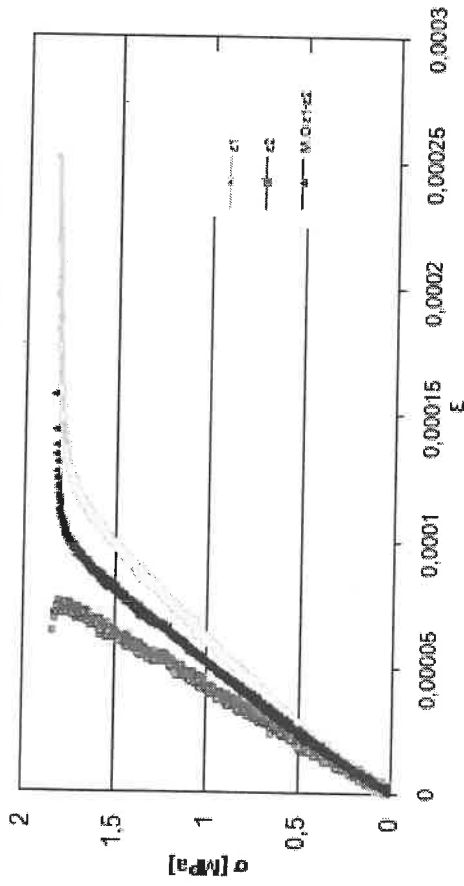


Σχήμα 3.2.1 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε εφεκλυσμό μίγματος 100% θραυστού ΘΑ

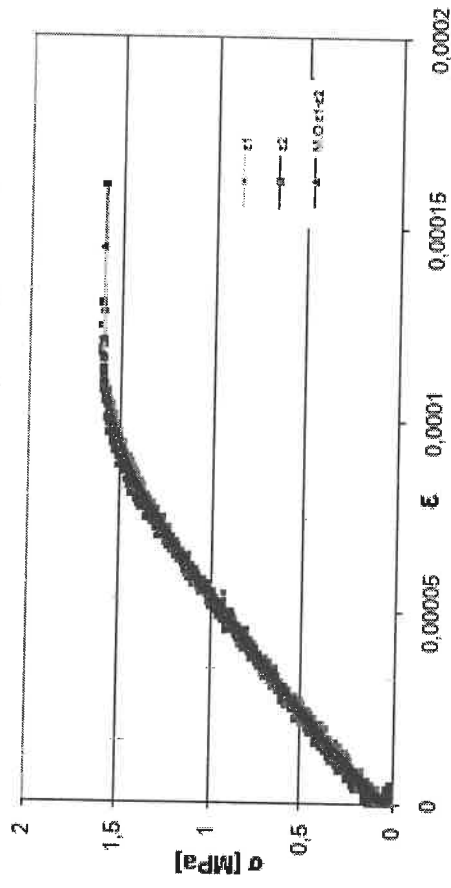


Σχήμα 3.2.2 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε εφελκυσμό μίγματος αναλογίας 100% θραυστού ΘΑ
(4 δοκίμια όπου σε καθένα αντιστοιχεί ένα διάγραμμα σ - ϵ από το Μ.Ο των δύο μηχανοσιόμετρων)

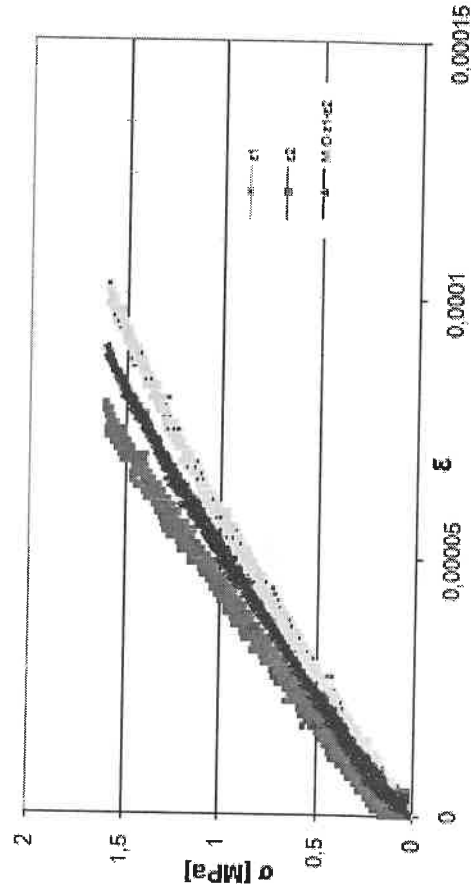
75% θραυστό ΘΑ +25% ασφαλτόμγμα ΦΑ (Aii1)



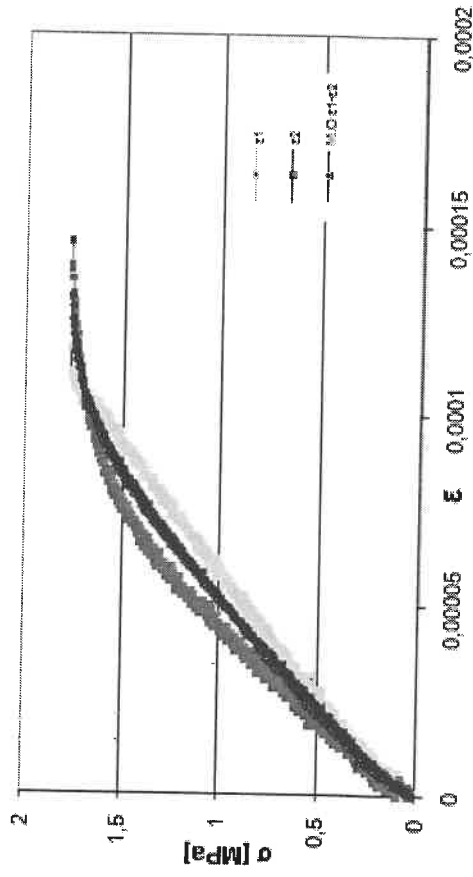
75% θραυστό ΘΑ +25% ασφαλτόμγμα ΦΑ (Aii2)



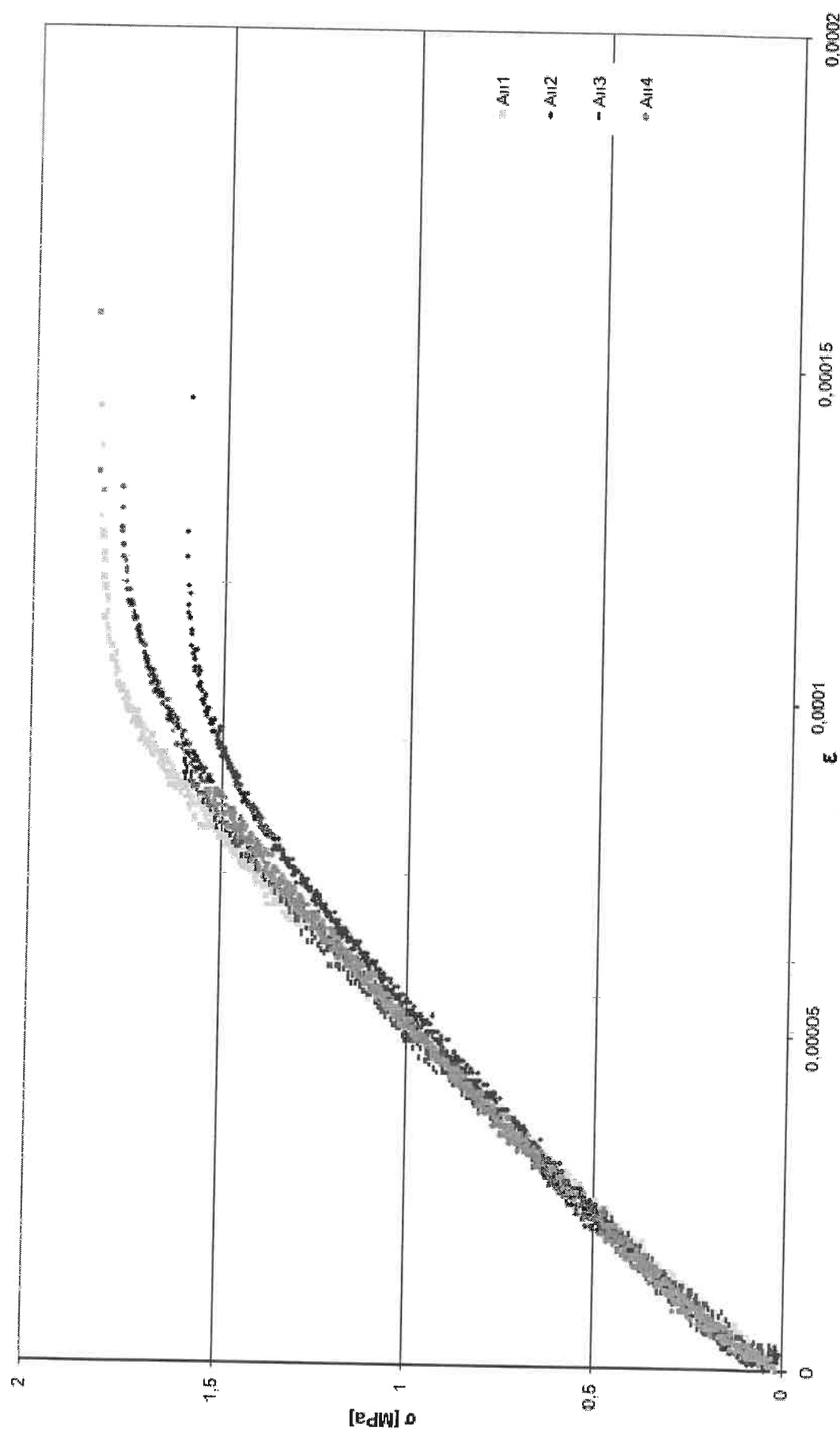
75% θραυστό ΘΑ +25% ασφαλτόμγμα ΦΑ (Aii3)



75% θραυστό ΘΑ +25% ασφαλτόμγμα ΦΑ (Aii4)

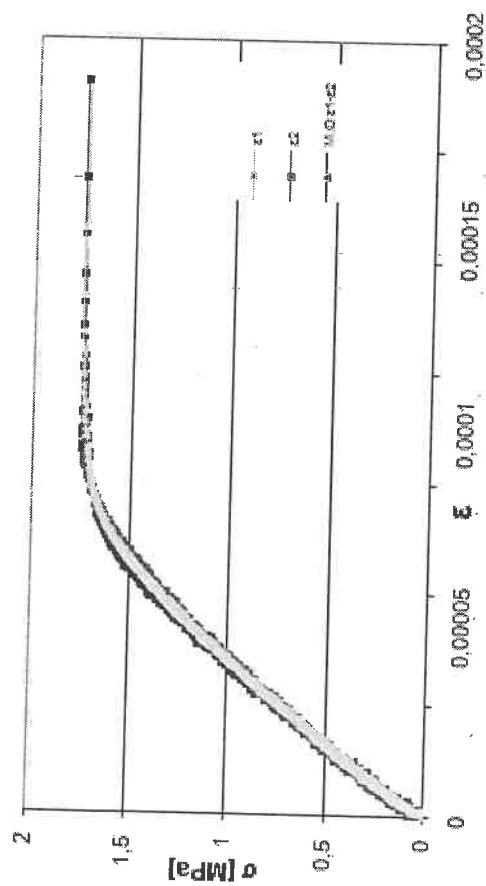


Σχήμα 3.2.3 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε εφελκυσμό μίγματος αναλογίας 75% θραυστό ΘΑ+25% ασφαλτόμγμα ΦΑ

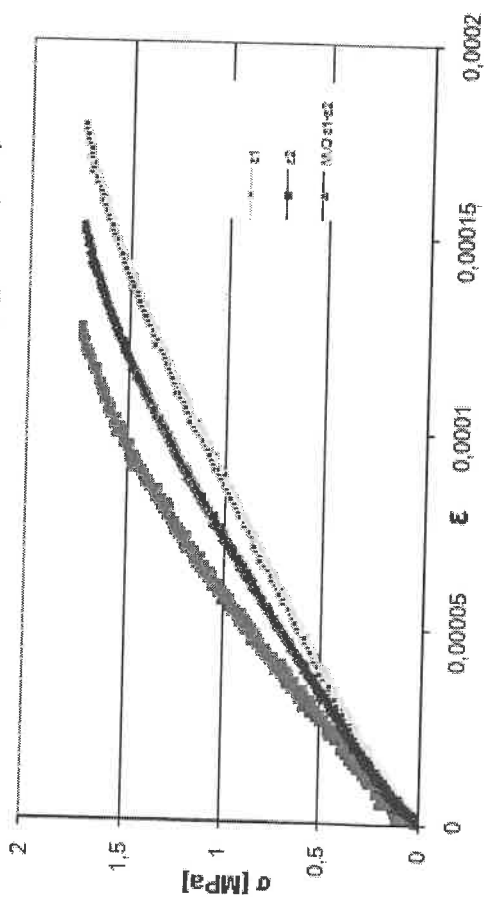


Σχήμα 3.2.4 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε εφελκυσμό μίγματος αναλογίας 75% θραυστού ΘA + 25% ασφαλτόμαγμα ΦA (AII)
(4 δοκίμια όπου σε κάθε ένα αντιστοιχεί ένα διάγραμμα σ - ϵ από το Μ.Ο των δύο μηκηνοσιόμετρων)

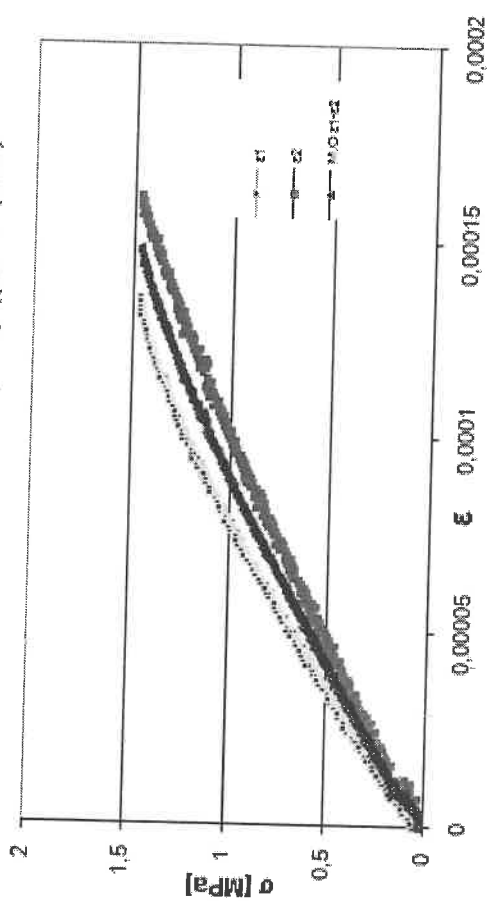
50% θραυστό ΘΑ +50% ασφαλτόμγμα ΦΑ (AIII1)



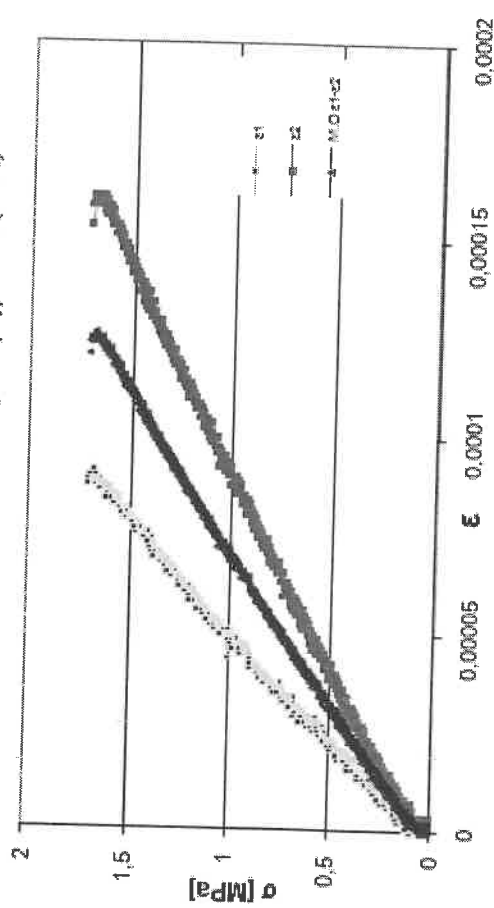
50% θραυστό ΘΑ +50% ασφαλτόμγμα ΦΑ (AIII3)



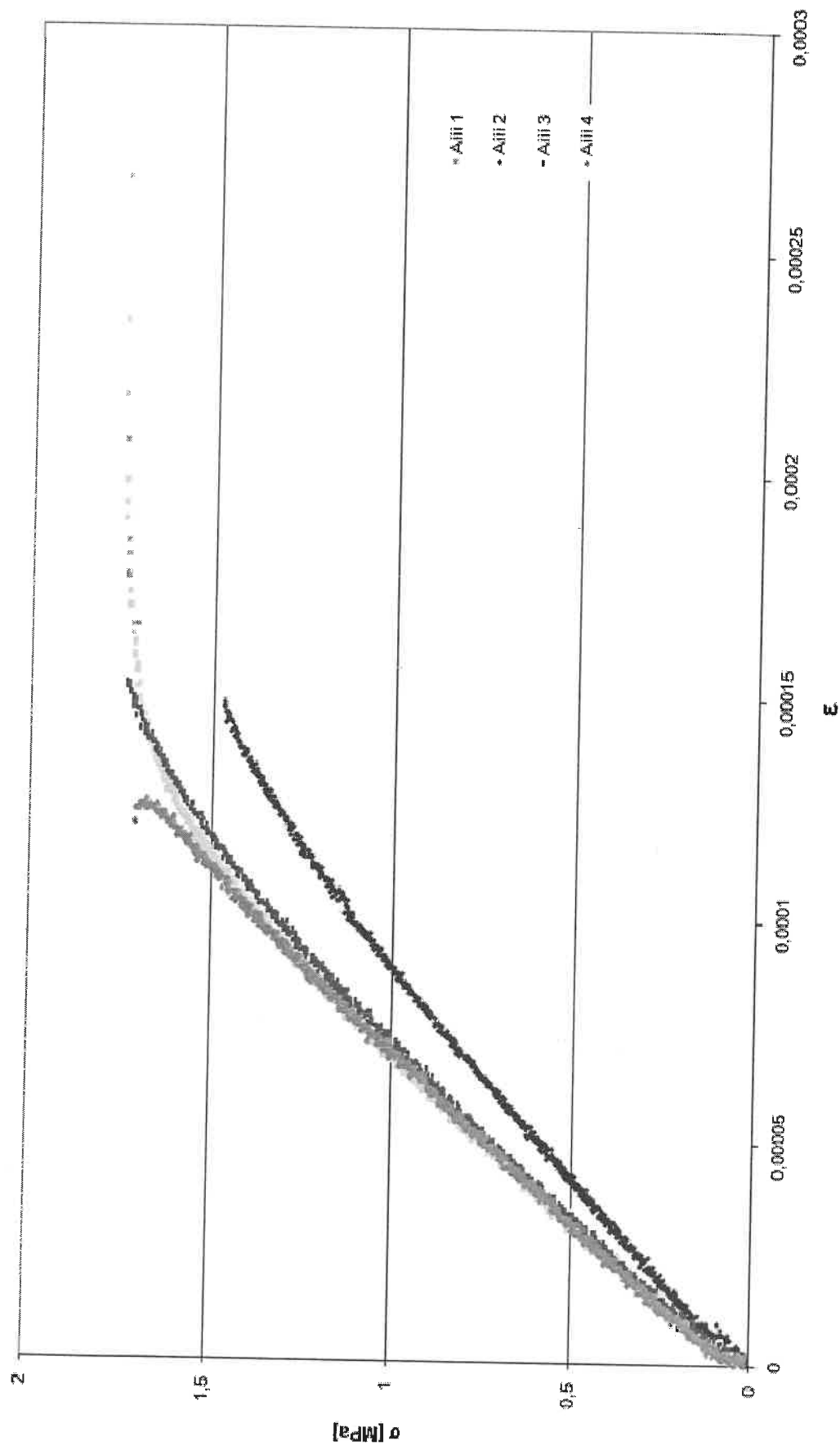
50% θραυστό ΘΑ +50% ασφαλτόμγμα ΦΑ (AIII2)



50% θραυστό ΘΑ +50% ασφαλτόμγμα ΦΑ (AIII4)

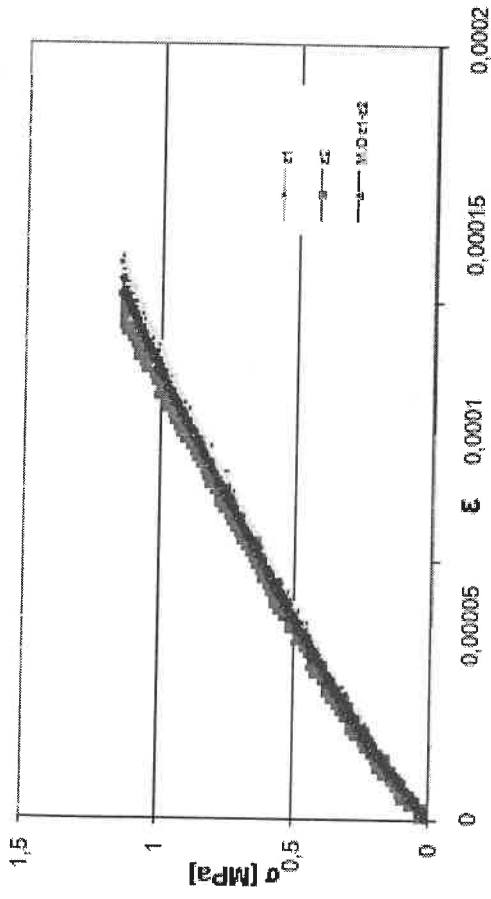


Σχήμα 3.2.5 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε εφελκυσμό μίγματος αναλογίας 50% θραυστό ΘΑ+50% ασφαλτόμγμα ΦΑ

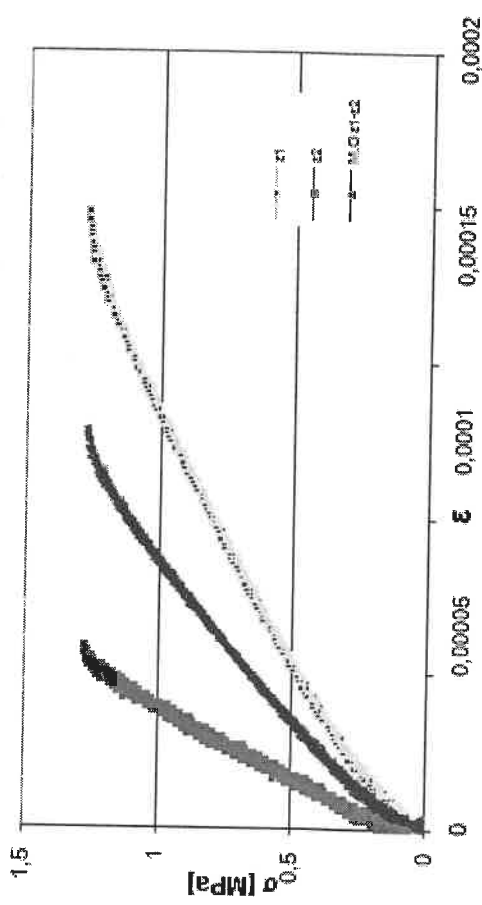


Σχήμα 3.2.6 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε εφελκυσμό μίγματος αναλογίας 50% θραυστού ΘΑ + 50% ασφαλτόμγμα ΦΑ (AIII)
(4 δοκίμια όπου σε κάθε ένα αντιστοιχεί ένα διάγραμμα σ-ε από το Μ.Ο των δύο μηχανοσιόμετρων)

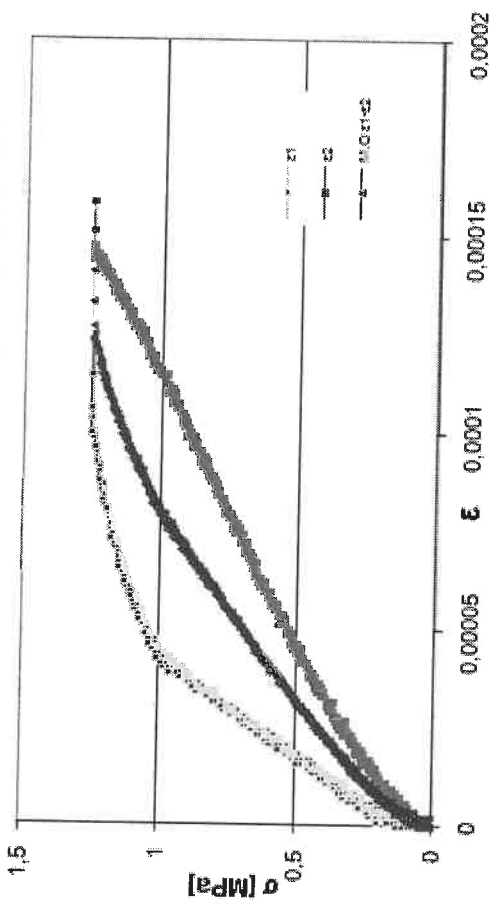
75% θραυστό ΘΑ +25% ασφαλτόμγμα ΦΒ (Bii1)



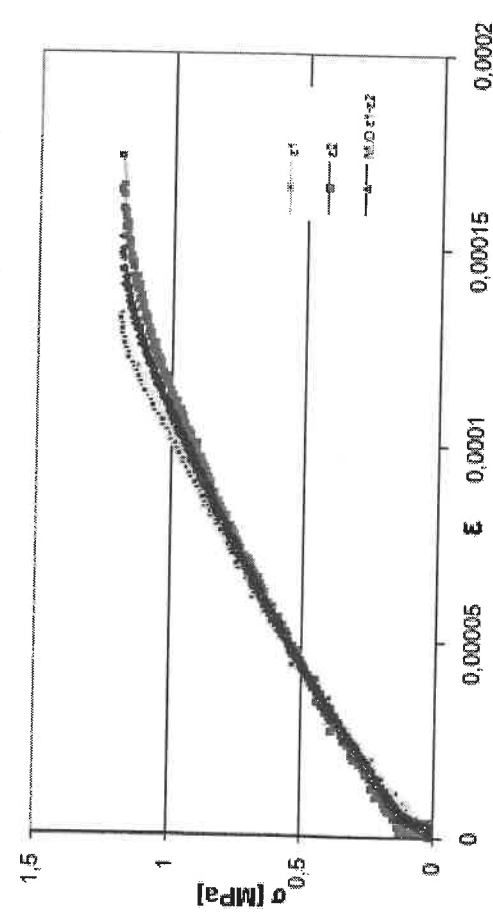
75% θραυστό ΘΑ +25% ασφαλτόμγμα ΦΒ (Bii3)



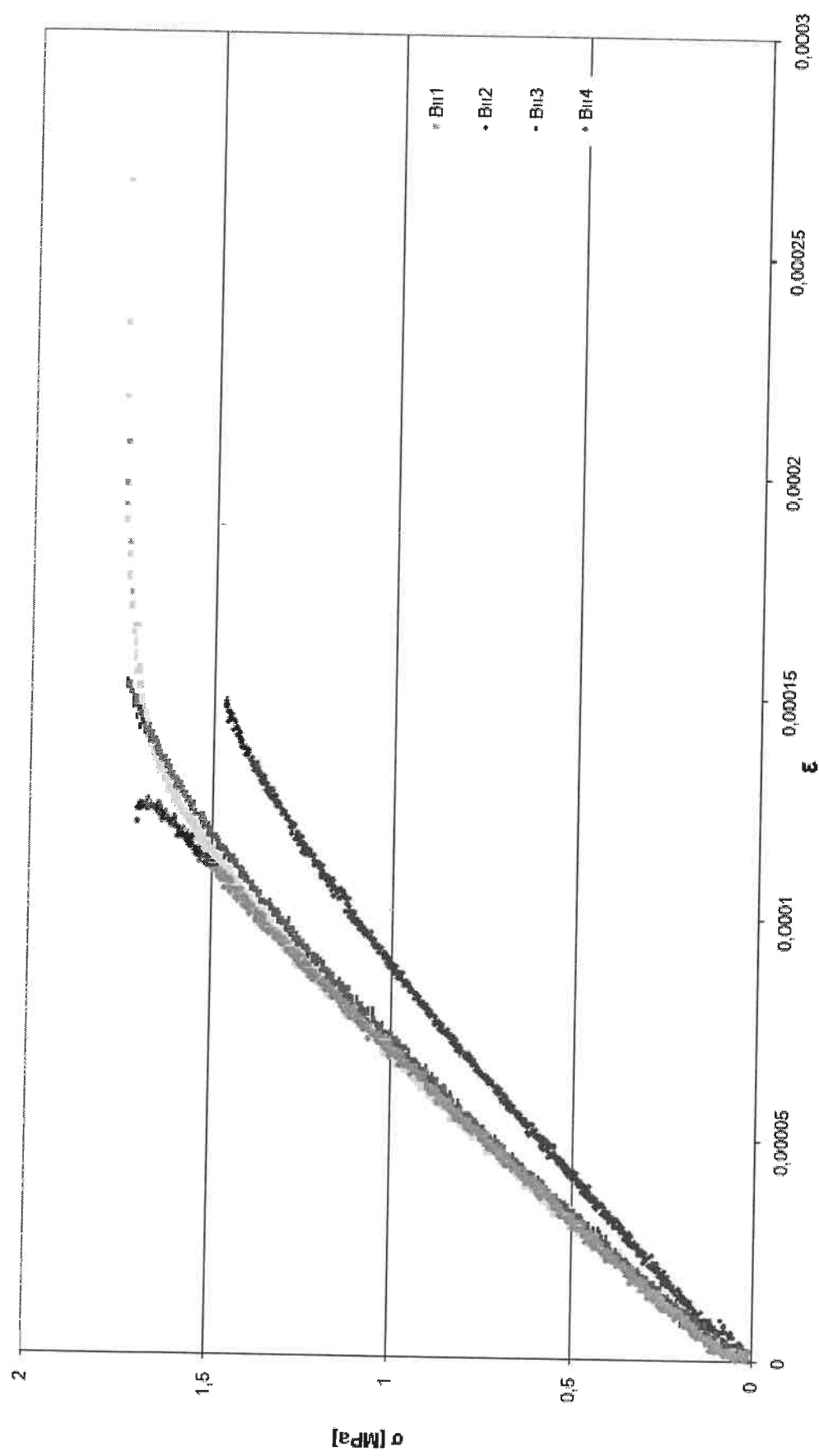
75% θραυστό ΘΑ +25% ασφαλτόμγμα ΦΒ (Bii2)



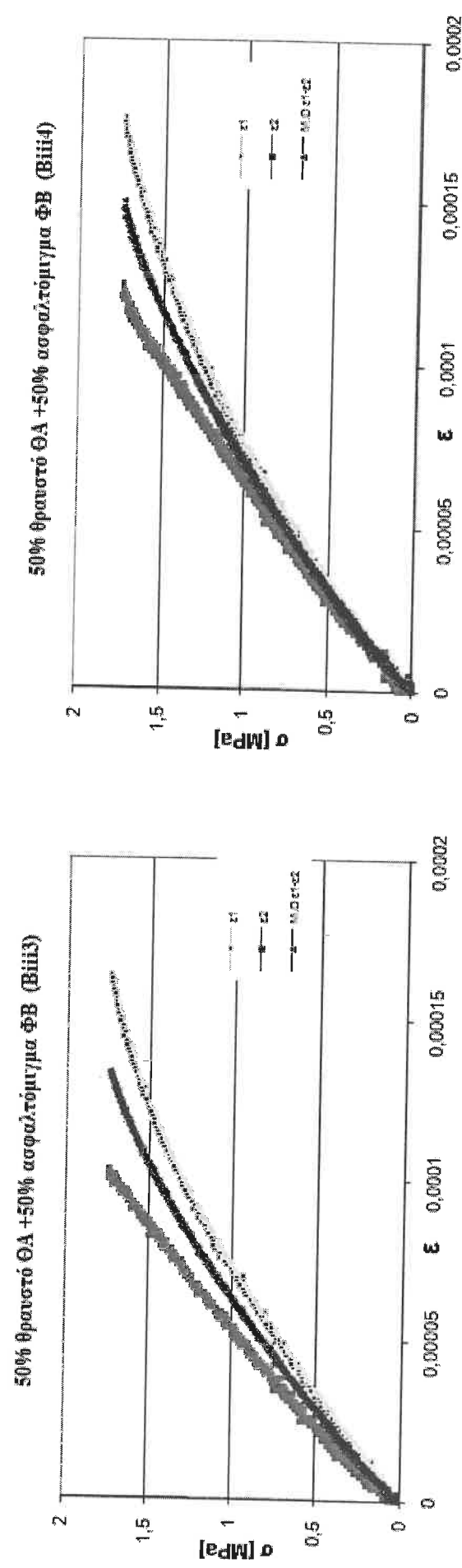
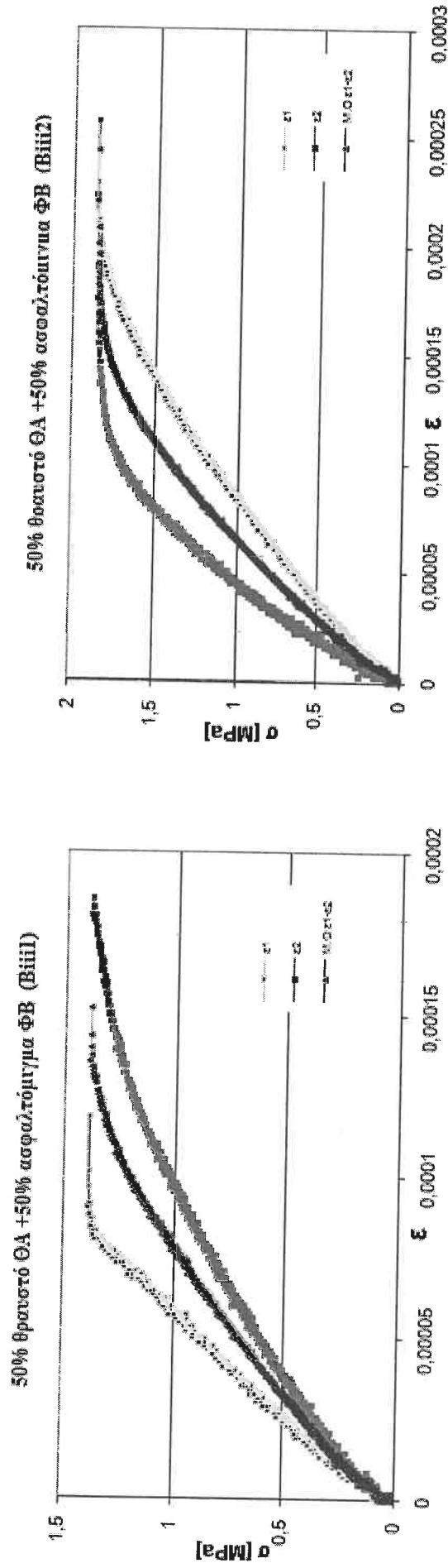
75% θραυστό ΘΑ +25% ασφαλτόμγμα ΦΒ (Bii4)



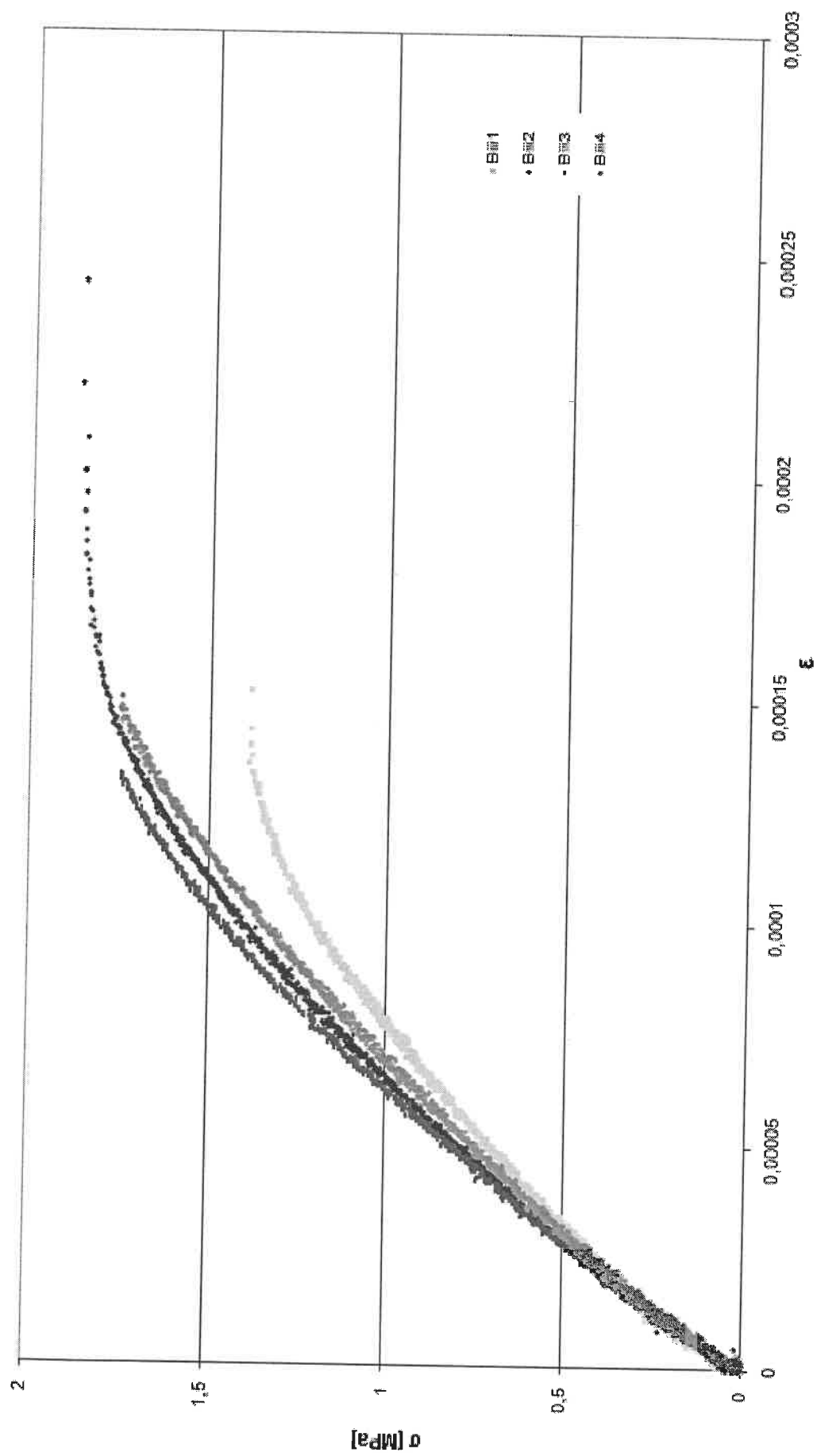
Σχήμα 3.2.7 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε εφελκυσμό μίγματος αναλογίας 75% θραυστό ΘΑ+25% ασφαλτόμγμα ΦΒ



Σχήμα 3.2.8 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε εφελκισμό μίγματος αναλογίας 75% θραυστού ΘΑ + 25% ασφαλτόμγμα ΦΒ (BII)
(4 δοκίμια όπου σε κάθε ένα αντιστοιχεί ένα διάγραμμα σ-ε από το Μ.Ο των δύο μηχανισιομέτρων)



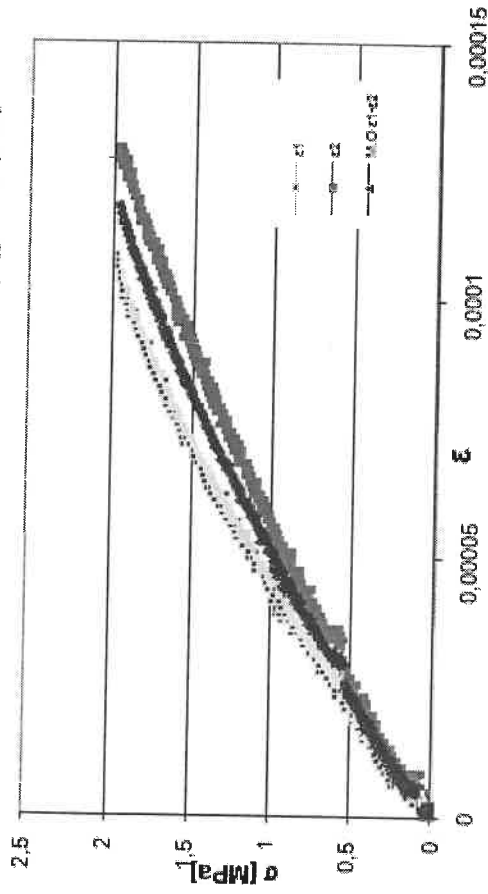
Σχήμα 3.2.9 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε εφελκυσμό μίγματος αναλογίας 50% θραυστό ΘΑ+50% ασφαλτόμγμα ΦΒ



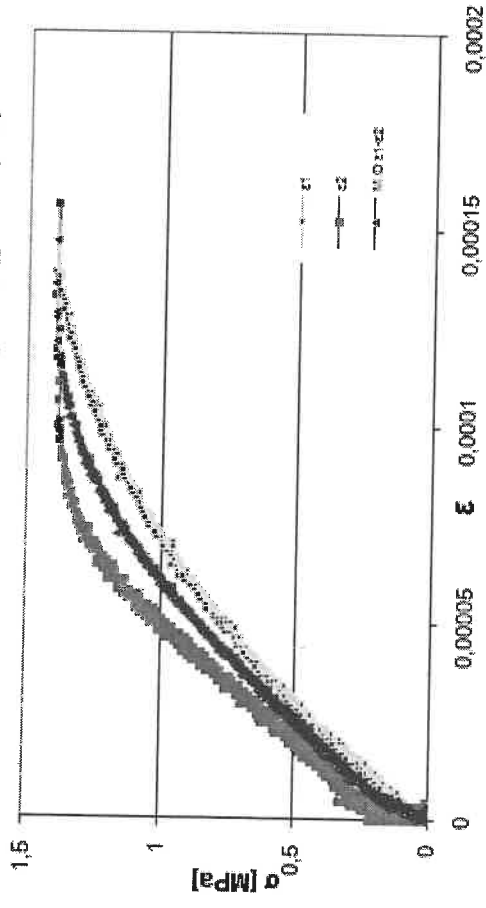
Σχήμα 3.2.10 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε εφελκυσμό μίγματος αναλογίας 50% θραυστού ΘΑ + 50% ασφαλτόμγμα ΦΒ (BIII)

(4 δοκίμια όπου σε κάθε ένα αντιστοιχεί ένα διάγραμμα σ - ϵ από το ΜΟ των δύο πηκτισιομέτρων)

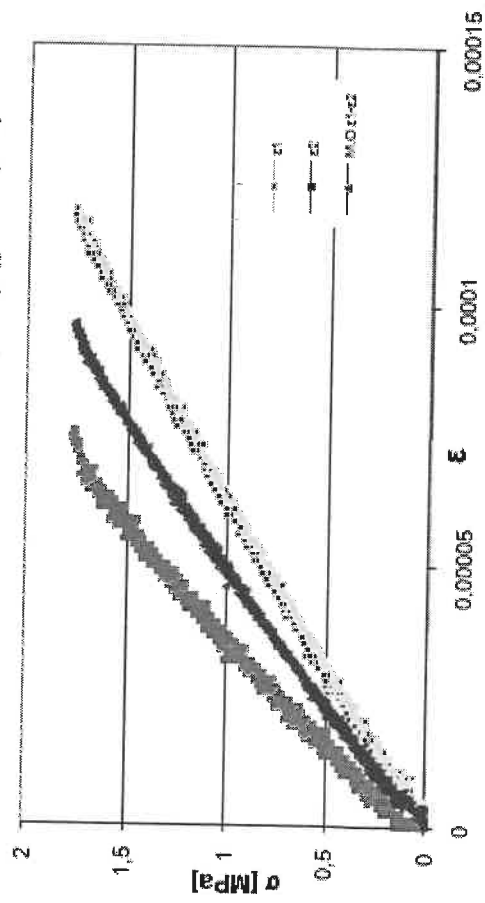
75% θραυστό ΘΒ +25% ασφαλτόμγμα ΦΑ (Γii1)



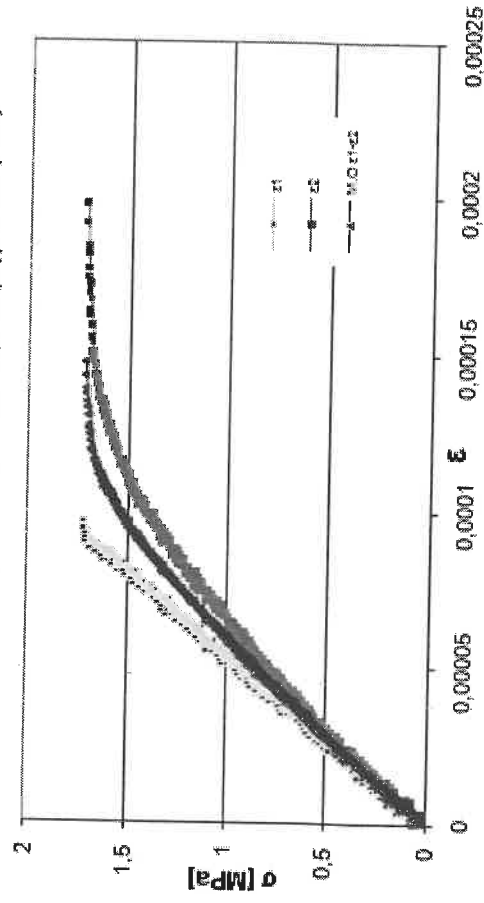
75% θραυστό ΘΒ +25% ασφαλτόμγμα ΦΑ (Γii2)



75% θραυστό ΘΒ +25% ασφαλτόμγμα ΦΑ (Γii3)

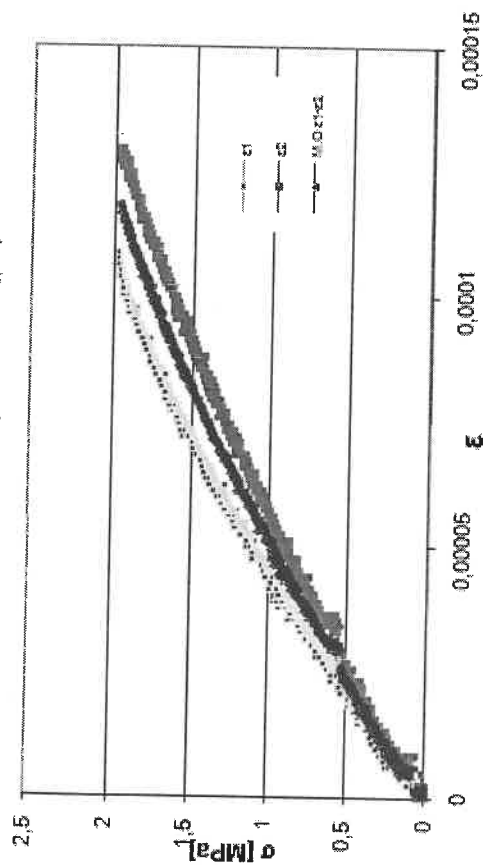


75% θραυστό ΘΒ +25% ασφαλτόμγμα ΦΑ (Γii4)

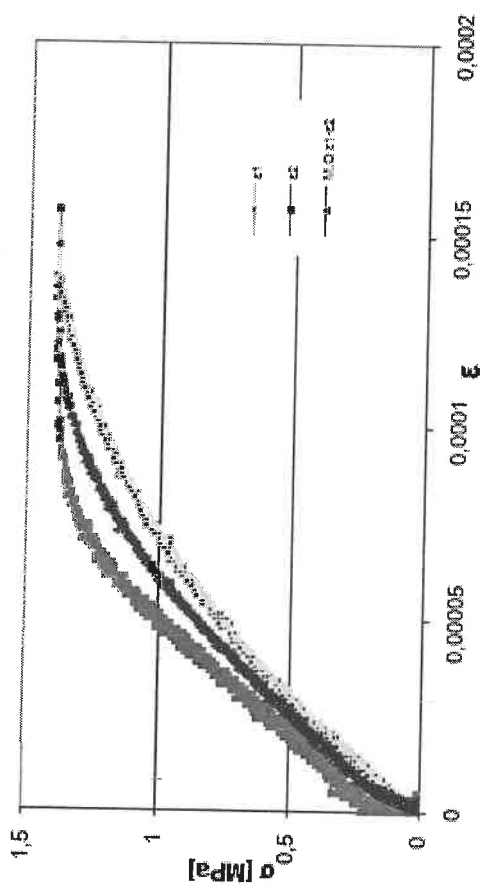


Σχήμα 3.2.13 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε εφελκυσμό μίγματος αναλογίας 75% θραυστό ΘΒ+25% ασφαλτόμγμα ΦΑ

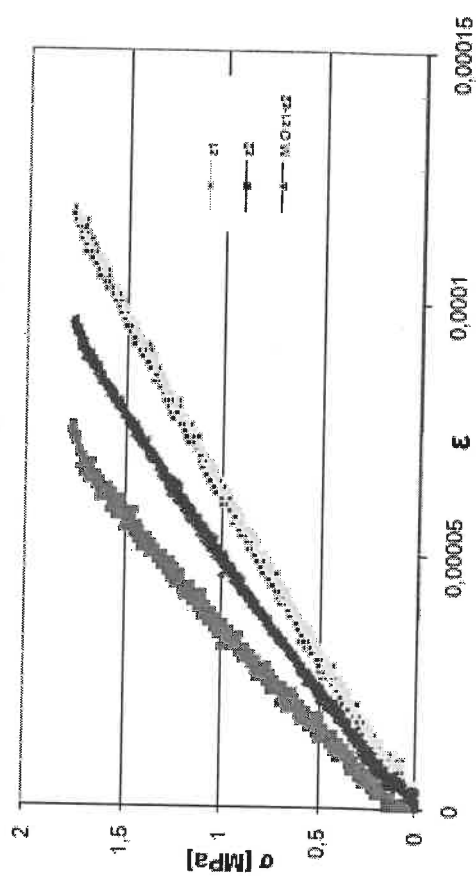
100% θραυστό ΘΒ (Γ11)



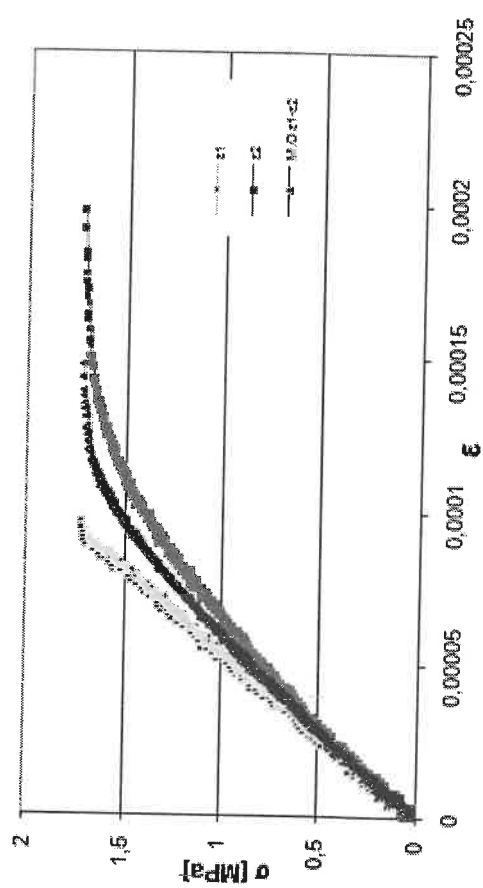
100% θραυστό ΘΒ (Γ12)



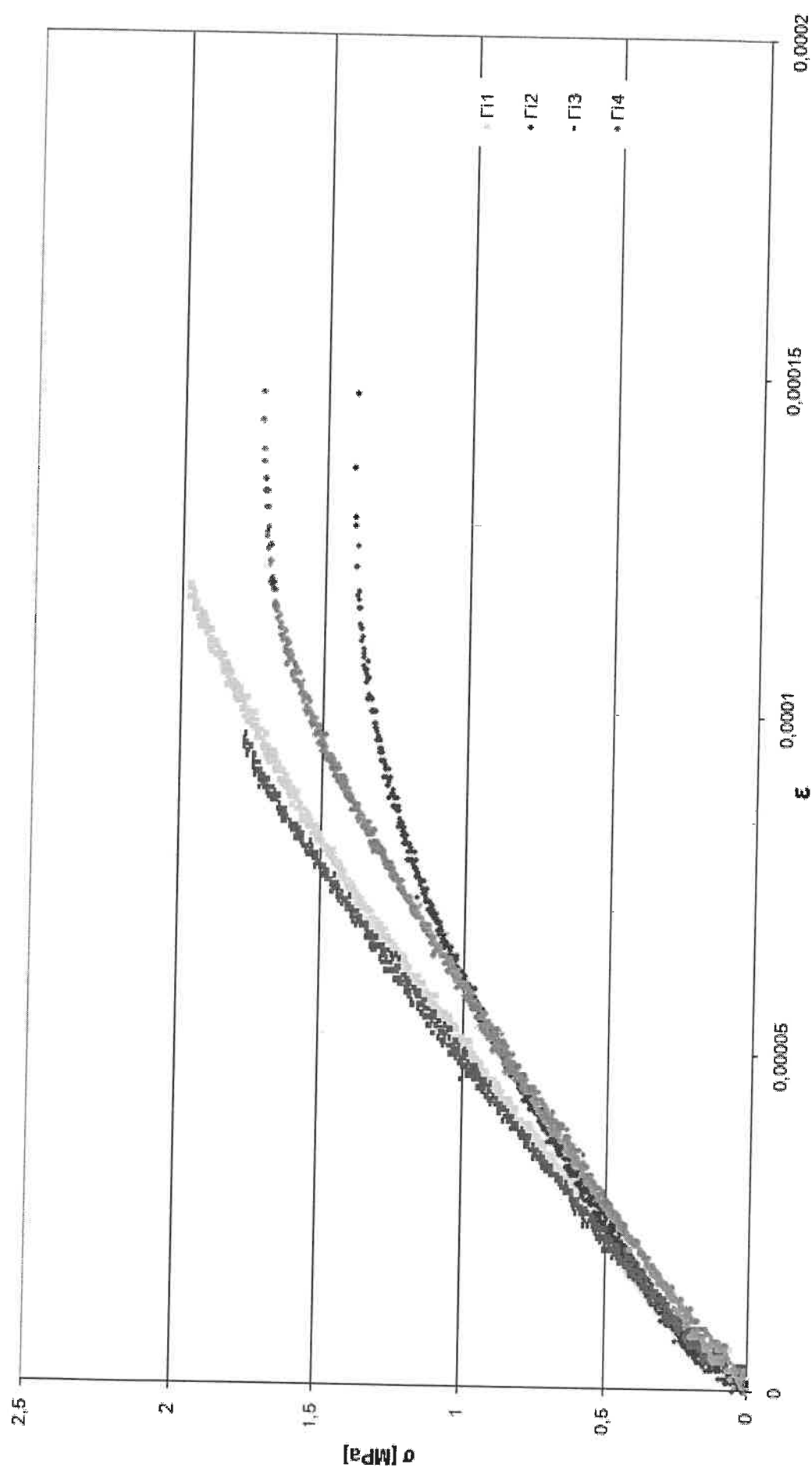
100% θραυστό ΘΒ (Γ13)



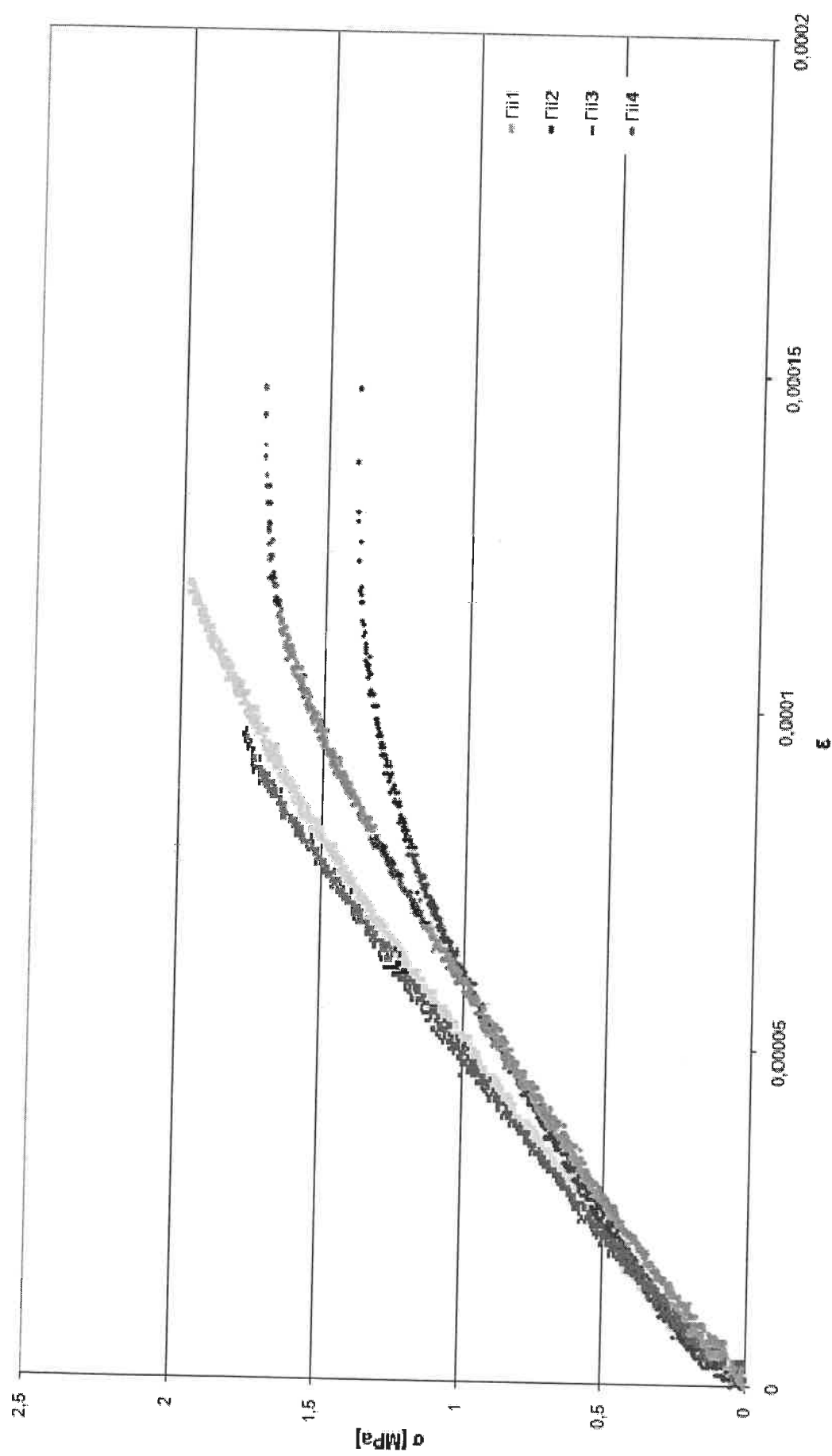
100% θραυστό ΘΒ (Γ14)



Σχήμα 3.2.11 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε εφελκυσμό μίγματος αναλογίας 100% θραυστό ΘΒ



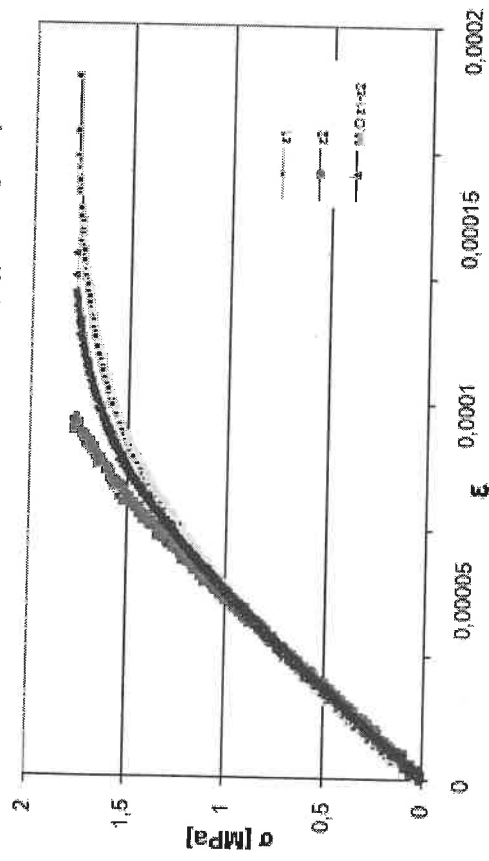
Σχήμα 3.2.12 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε εφελκυσμό μίγματος αναλογίας 100% θραυστού ΘΒ ($\Gamma 1$)
(4 δοκίμια όπου σε κάθε ένα αντιστοιχεί ένα διάγραμμα σ - ϵ από το Μ.Ο των δύο μηχανισιομέτρων)



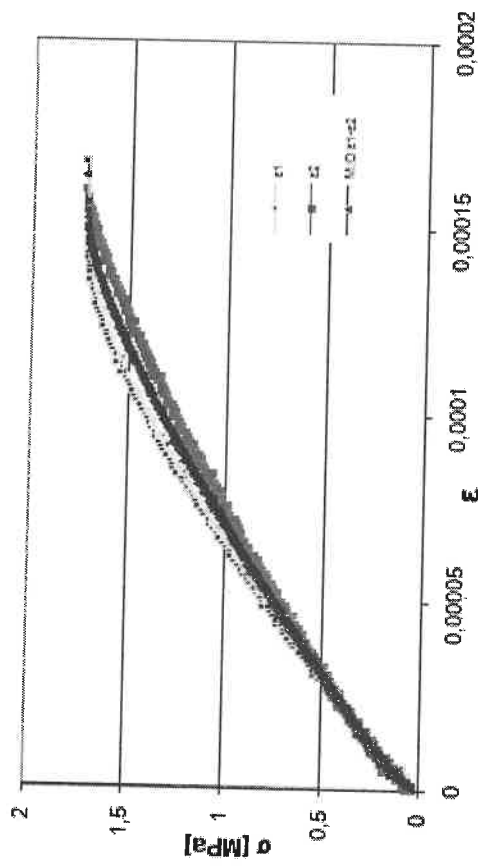
Σχήμα 3.2.14 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε εφελκυσμό μίγματος αναλογίας 75% θραυστού ΘΒ+ 25% ασφαλτόμαχα ΦΑ (ΓΉ)

(4 δοκίμια όπου σε κάθε ένα αντιστοιχεί ένα διάγραμμα σ-ε από το Μ.Ο των δύο μηχανομετρών)

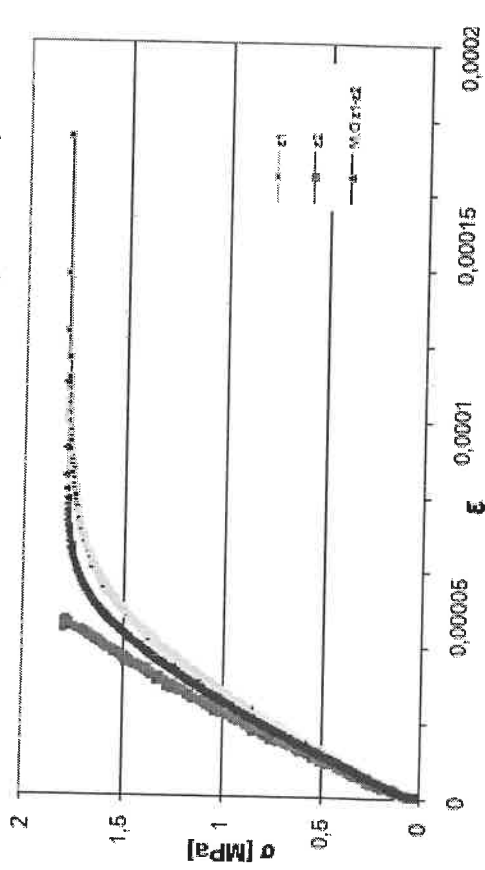
50% θραυστό ΘΒ +50% ασφαλτόμγμα ΦΑ (ΓΉΙ1)



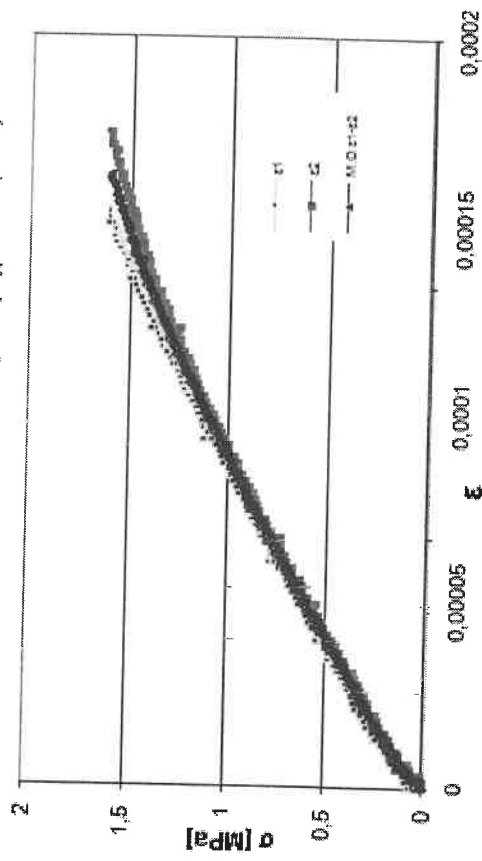
50% θραυστό ΘΒ +50% ασφαλτόμγμα ΦΑ (ΓΉΙ2)



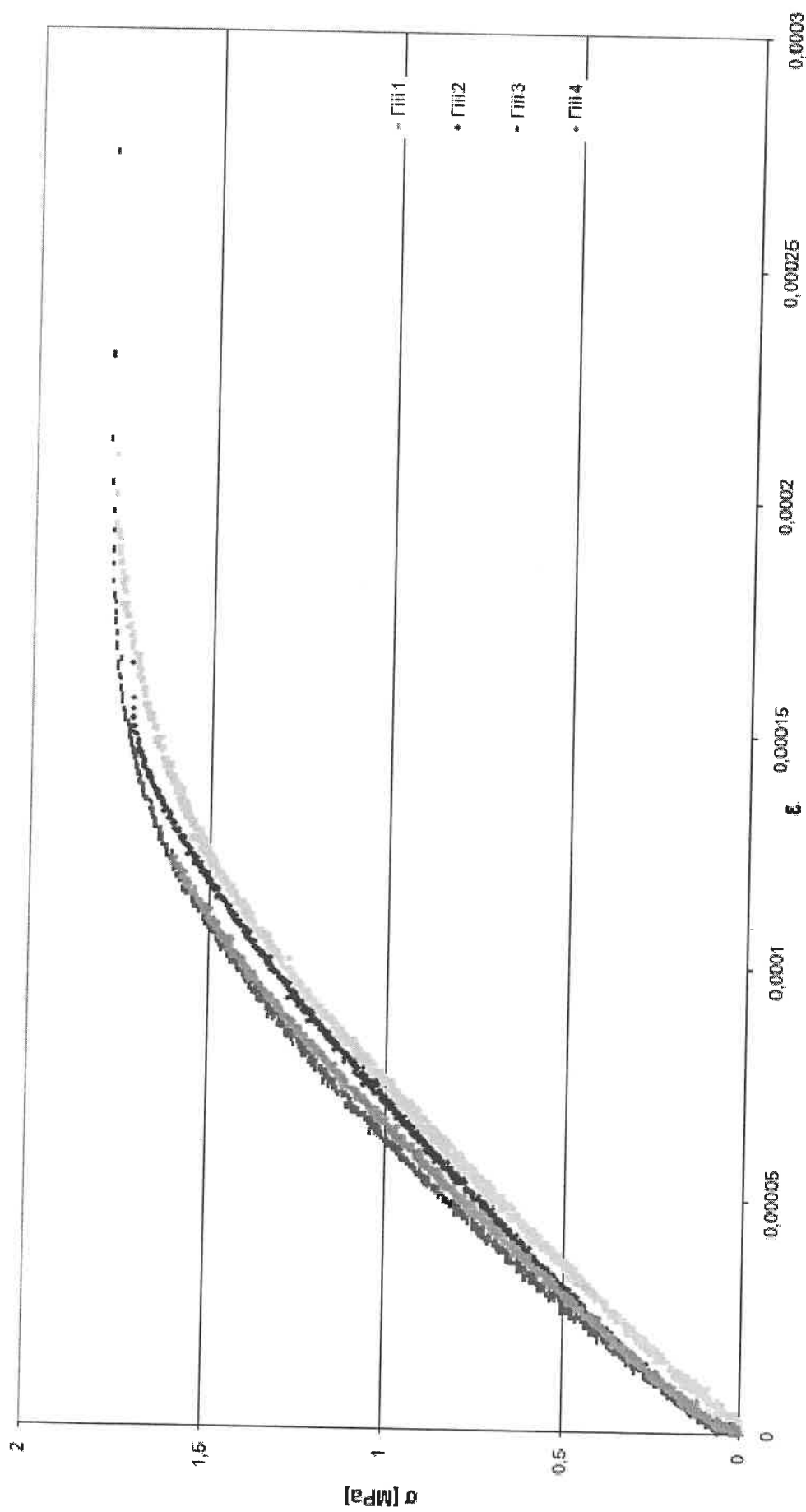
50% θραυστό ΘΒ +50% ασφαλτόμγμα ΦΑ (ΓΉΙ3)



50% θραυστό ΘΒ +50% ασφαλτόμγμα ΦΑ (ΓΉΙ4)

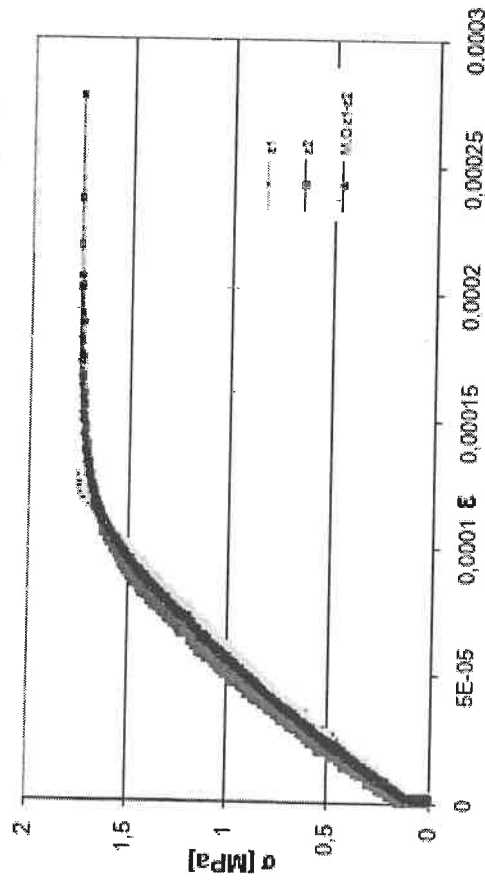


Σχήμα 3.2.15 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε εφελκυσμό μίγματος αναλογίας 50% θραυστό ΘΒ+50% ασφαλτόμγμα ΦΑ

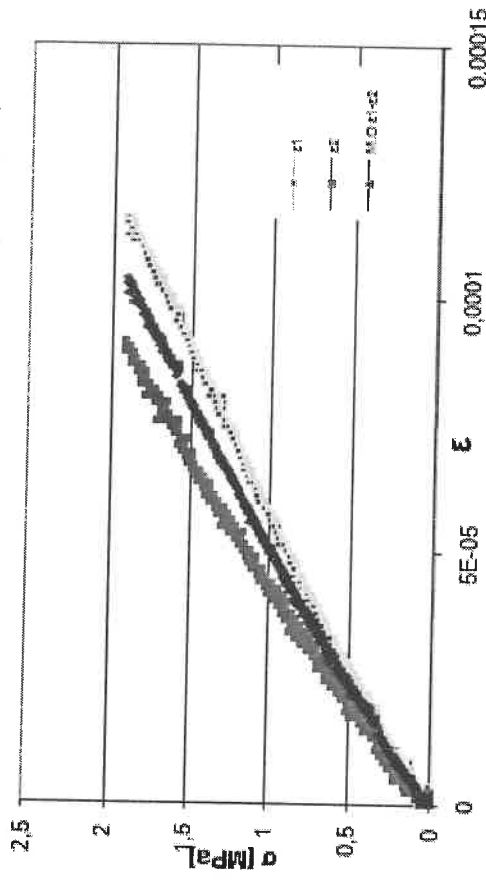


Σχήμα 3.2.16 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε εφελκυσμό μίγματος αναλογίας 50% θραυστού ΘΒ + 50% ασφαλτόμγμα ΦΑ (ΓIII)
(4 δοκίμια όπου σε κάθε ένα αντιστοιχεί ένα διάγραμμα σ-ε από το Μ.Ο των δύο μηχανισιομέτρων)

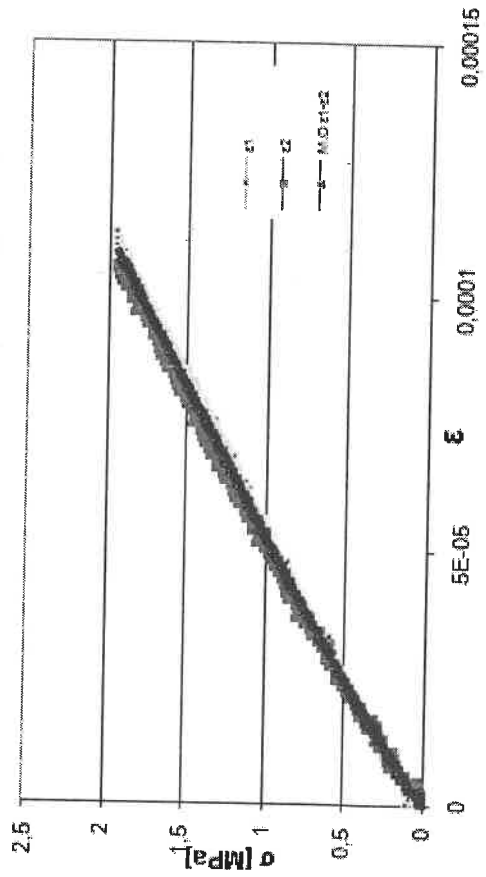
75% θραυστό ΘΒ +25% ασφαλτόμγμα ΦΒ (Δii1)



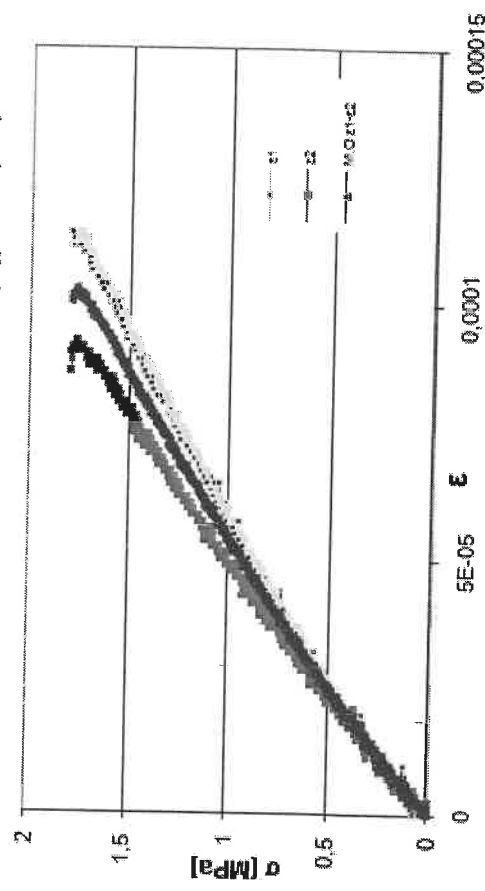
75% θραυστό ΘΒ +25% ασφαλτόμγμα ΦΒ (Δii2)



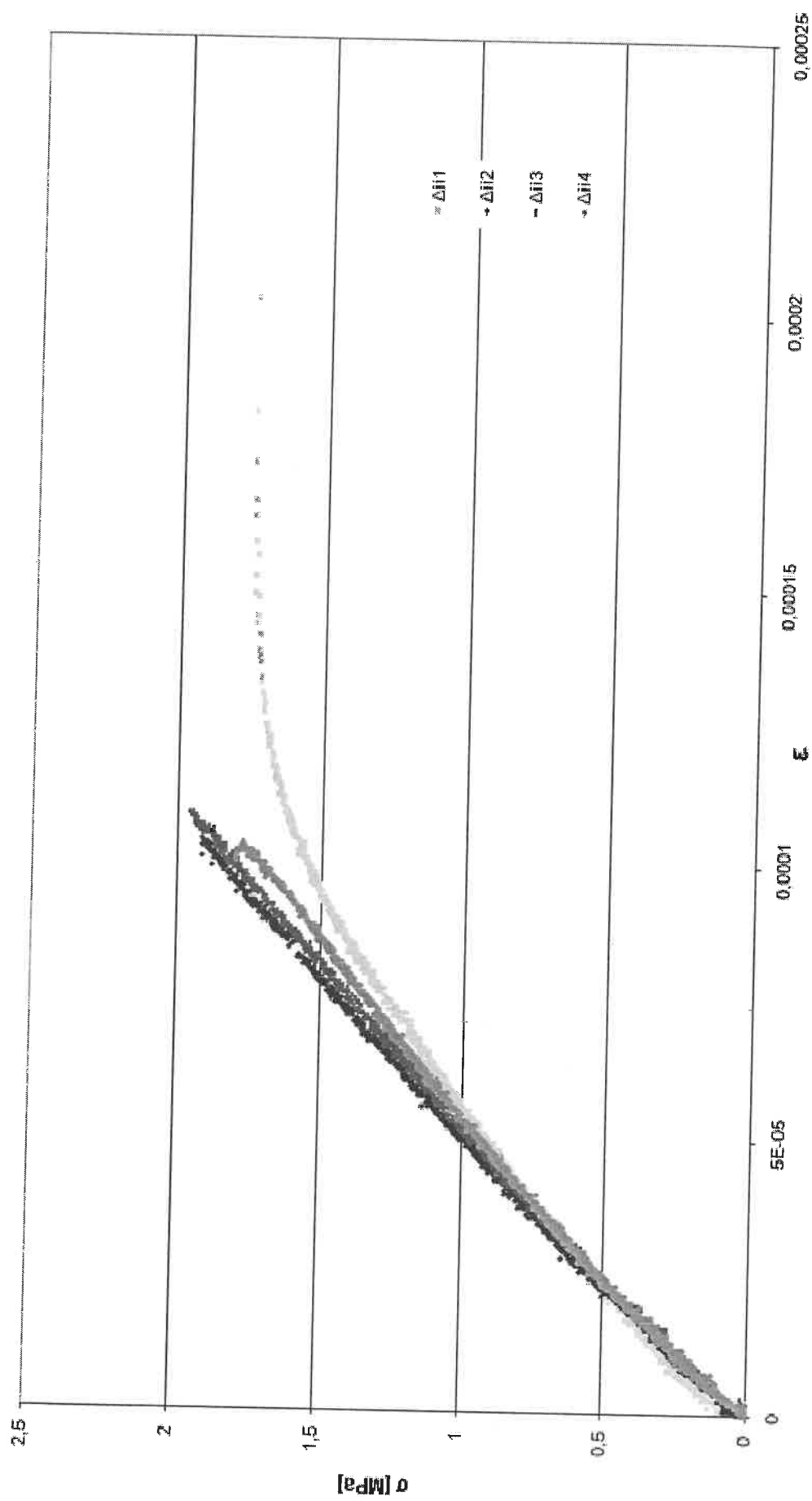
75% θραυστό ΘΒ +25% ασφαλτόμγμα ΦΒ (Δii3)



75% θραυστό ΘΒ +25% ασφαλτόμγμα ΦΒ (Δii3)

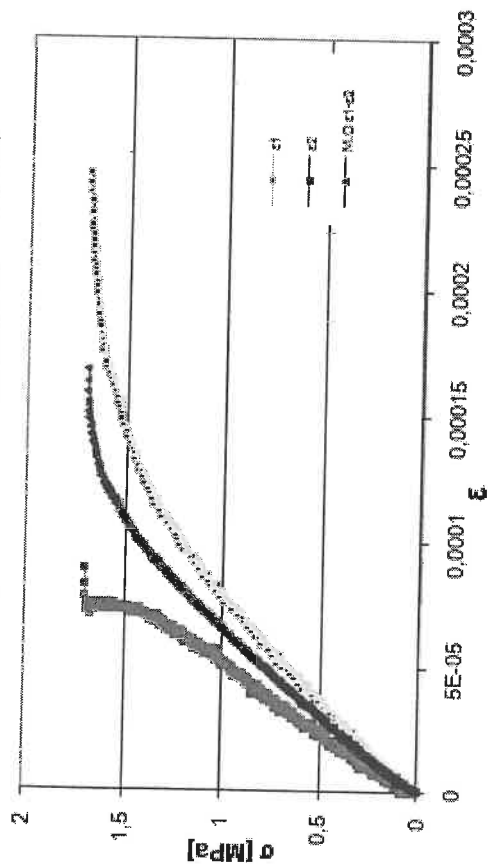


Σχήμα 3.2.17 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε εφελκυσμό μίγματος αναλογίας 75% θραυστό ΘΒ+25% ασφαλτόμγμα ΦΒ

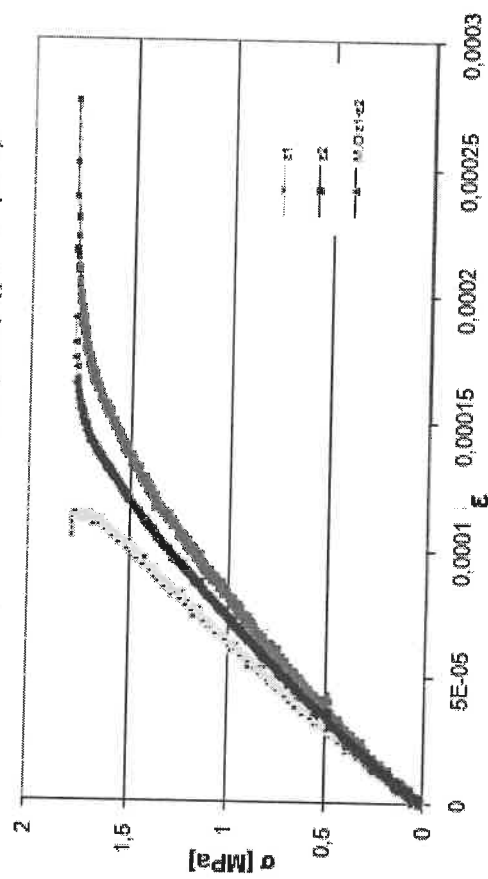


Σχήμα 3.2.18 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε εφελευσμό μίγματος αναλογίας 75% θραυστού ΦΒ + 25% ασφαλτόμυγα ΦΒ (Δii)
(4 δοκίμια όπου σε κάθε ένα αντιστοιχεί ένα διάγραμμα σ-ε από το Μ.Ο των δύο μηχανομετρών)

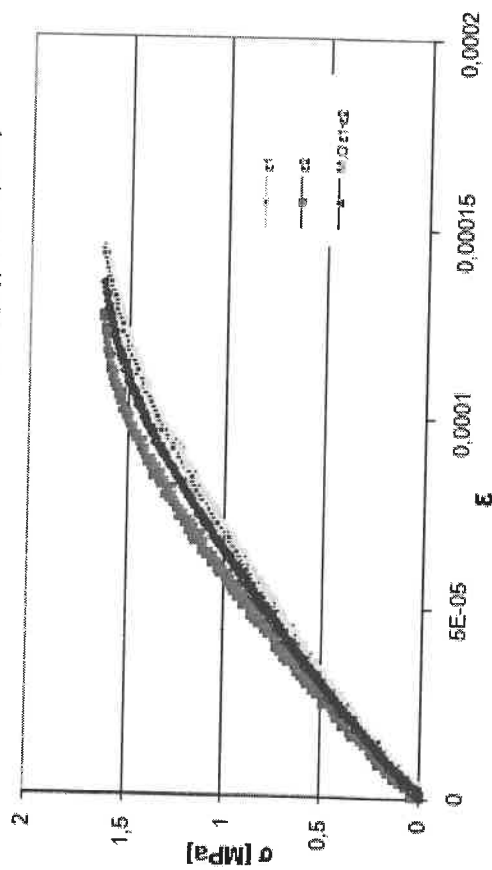
50% θραυστό ΘΑ +50% ασφαλτόμγμα ΦΒ (Δiii1)



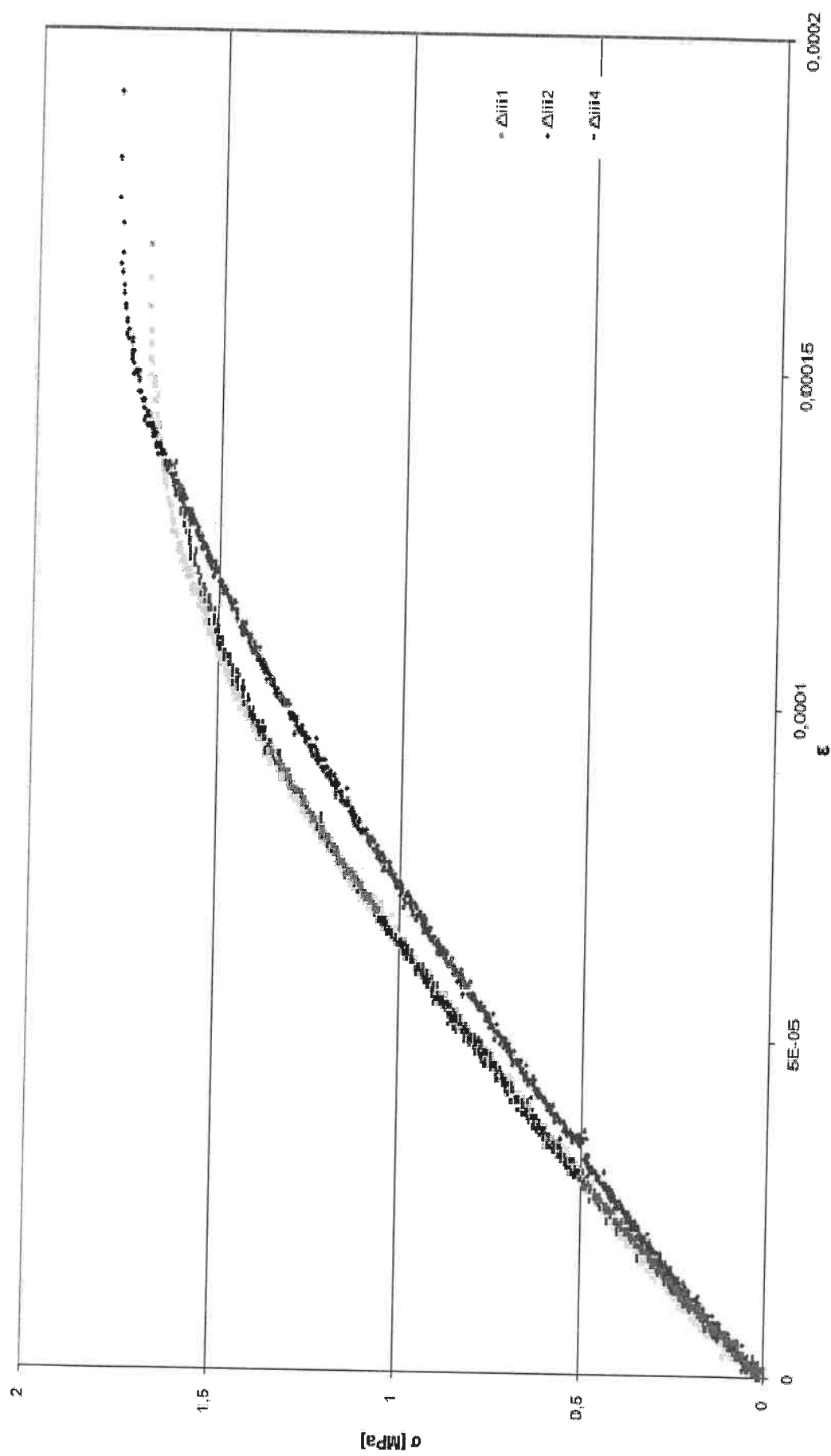
50% θραυστό ΘΑ +50% ασφαλτόμγμα ΦΒ (Δiii2)



50% θραυστό ΘΑ +50% ασφαλτόμγμα ΦΒ (Δiii3)



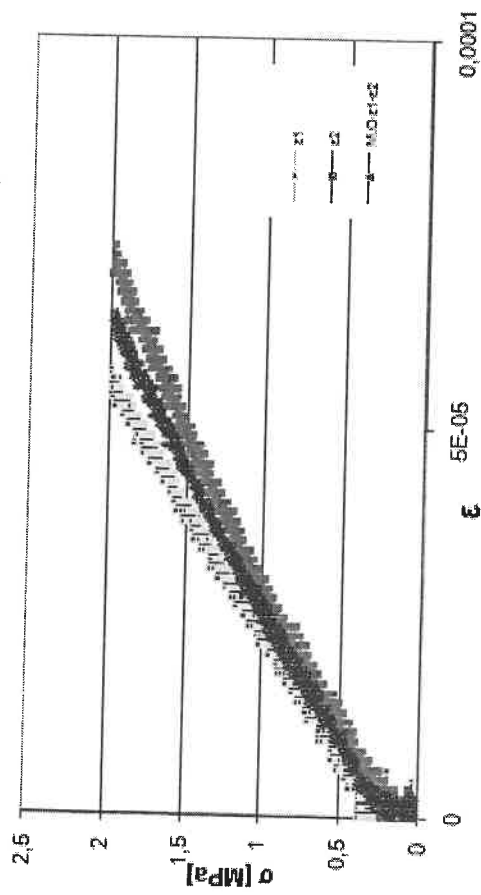
Σχήμα 3.2.19 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε εφελκυσμό μίγματος αναλογίας 50% θραυστό ΘΒ+50% ασφαλτόμγμα ΦΒ



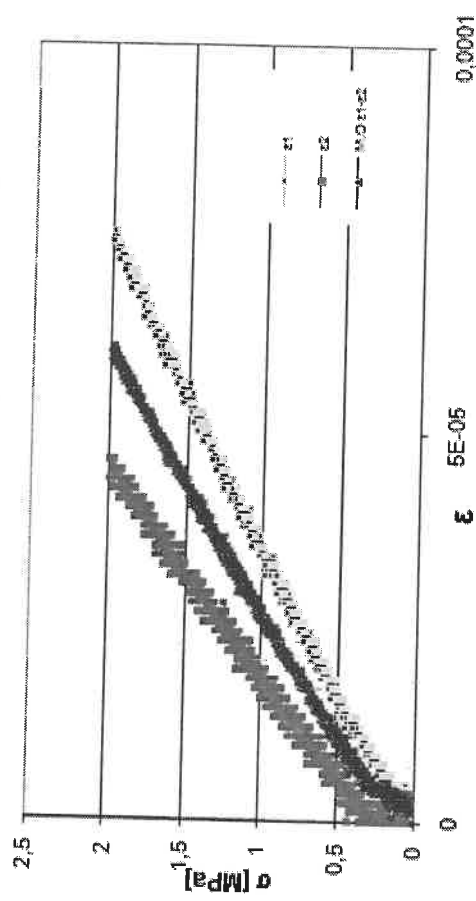
Σχήμα 3.2.20 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε εφελκυσμό μίγματος αναλογίας 50% θραυστού ΘB + 50% ασφαυτόμγμα ΦB (Δ_{iii})

(4 δοκίμια όπου σε κάθε ένα αντιστοιχεί ένα διάγραμμα σ - ϵ από το Μ.Ο των δύο μηχανομομέτρων)

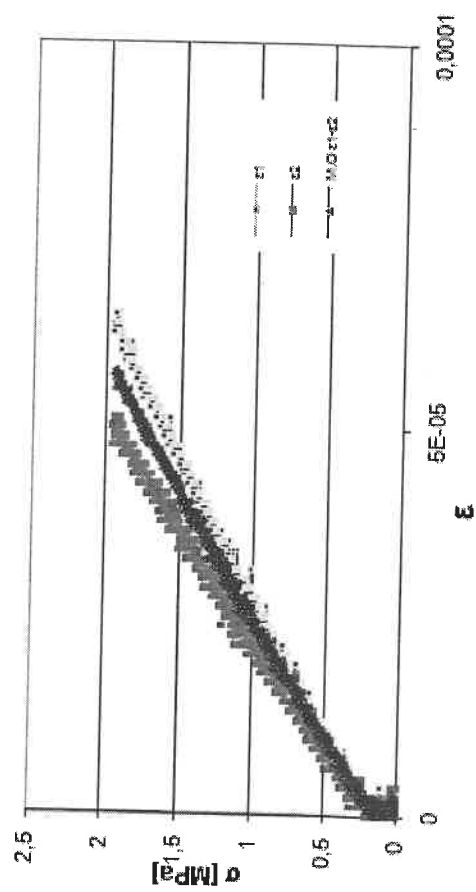
100% πλυμένο θραυστό πλ.ΘΑ (Ei4)



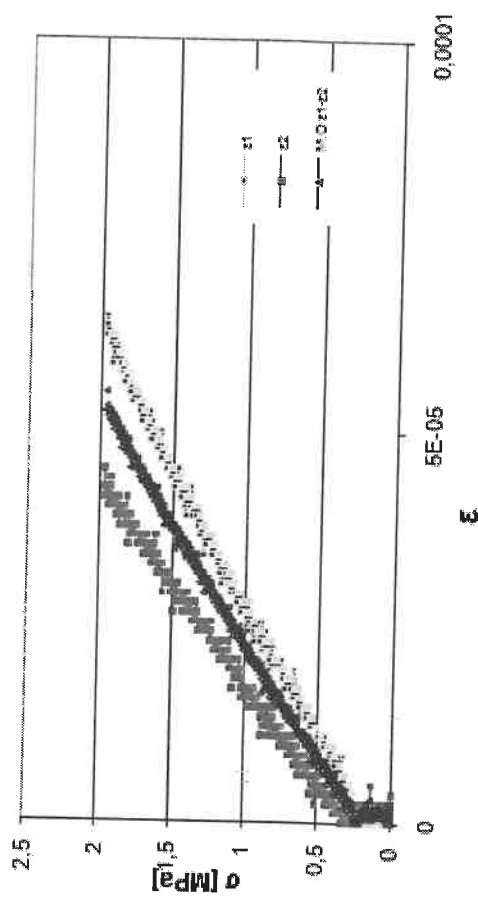
100% πλυμένο θραυστό πλ.ΘΑ (Ei4)



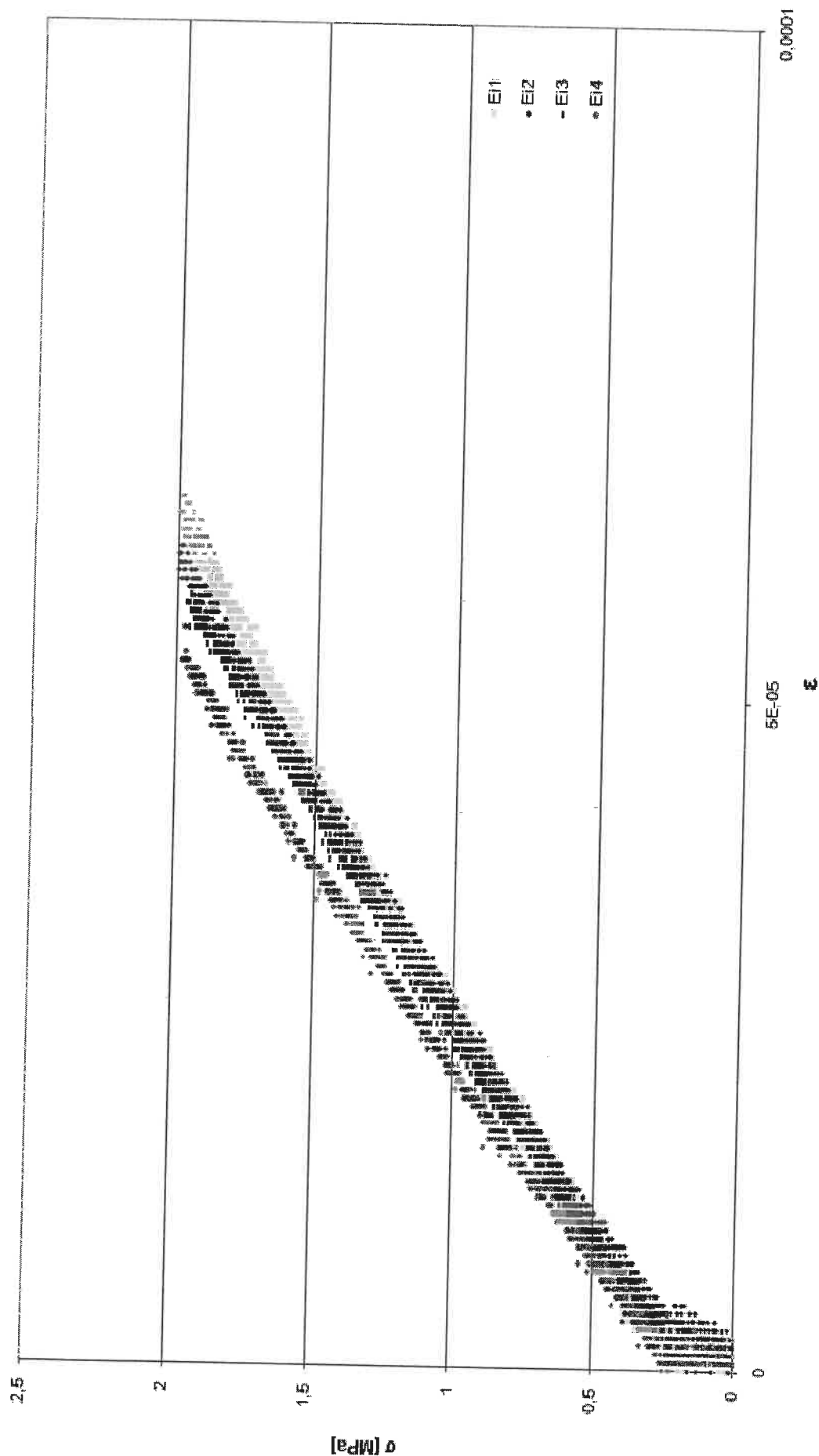
100% πλυμένο θραυστό πλ.ΘΑ (Ei3)



100% πλυμένο θραυστό πλ.ΘΑ (Ei4)

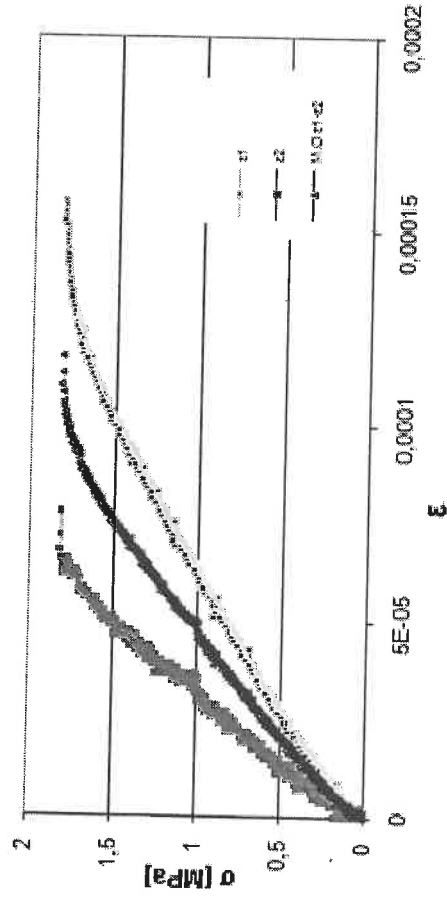


Σχήμα 3.2.21 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε εφέκυσμό μίγματος αναλογίας 100% Πλυμένο θραυστό πλ.ΘΑ

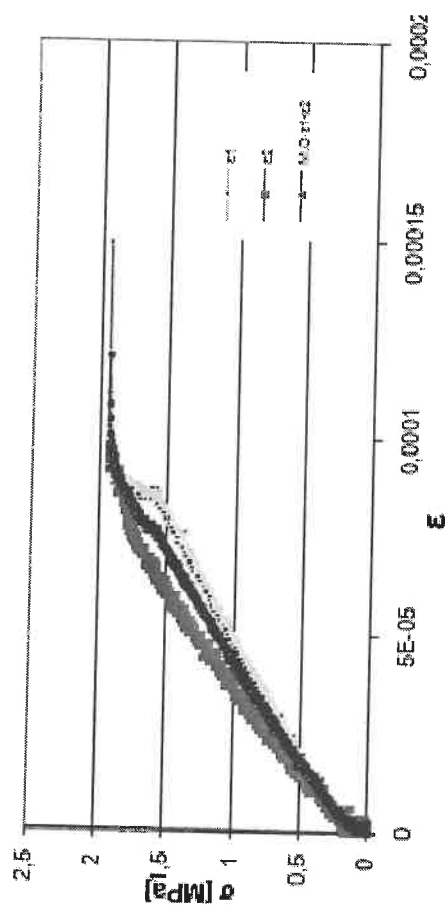


Σχήμα 3.2.22 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε εφελκυσμό έως τη θράυση μίγματος αναλογίας 100% πλυμμένου θραυστού πλ.ΘΑ Εί
(4 δοκίμια όπου σε καθένα αντιστοιχεί ένα διάγραμμα σ-ε από το Μ.Ο των δύο μηχανοσιμέτρων)

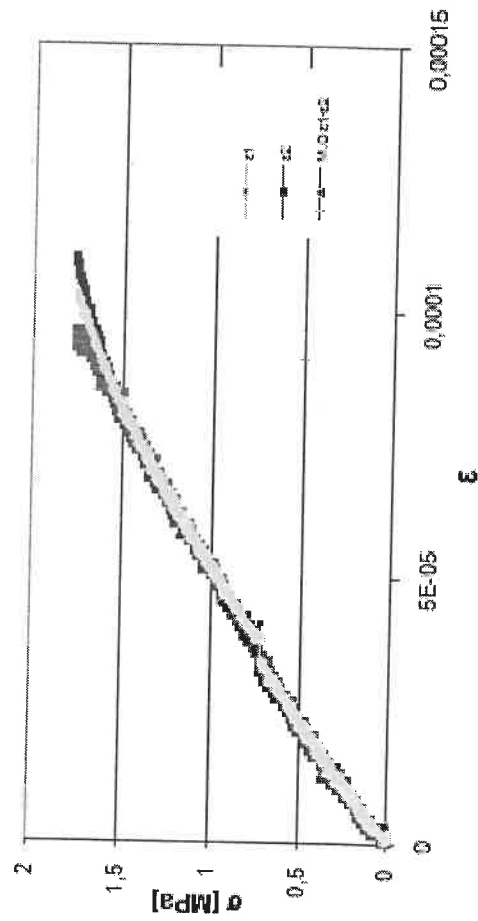
75% Πλ.θραυστό ΘΑ +25% ασφαλτόμγμα ΦΑ (ΕΗ1)



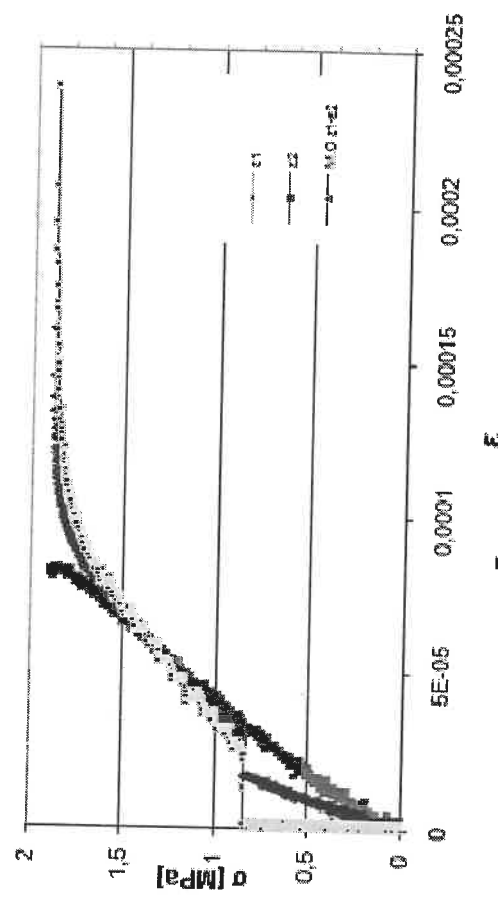
75% Πλ.θραυστό ΘΑ +25% ασφαλτόμγμα ΦΑ (ΕΗ2)



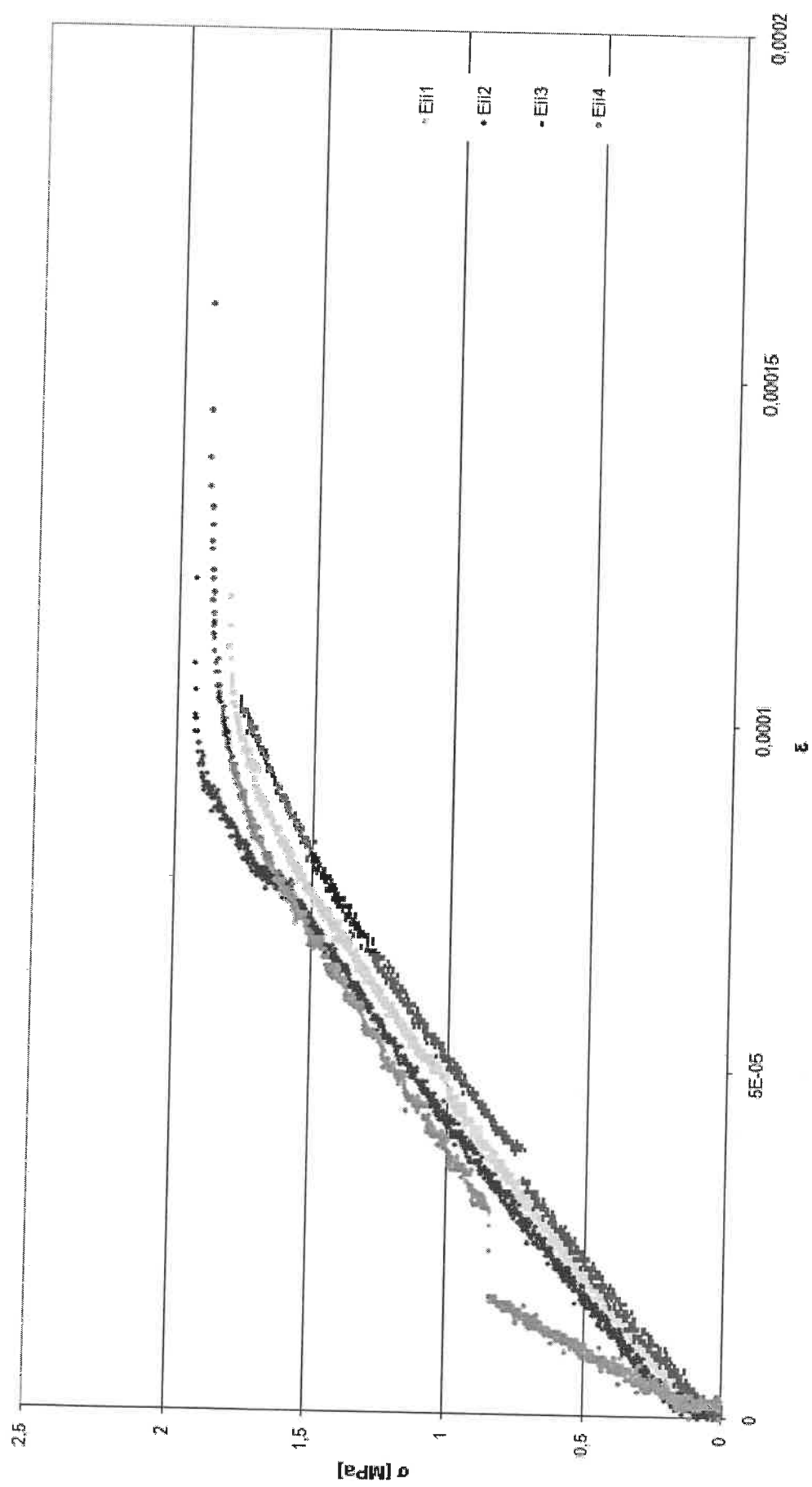
75% Πλ.θραυστό ΘΑ +25% ασφαλτόμγμα ΦΑ (ΕΗ3)



75% Πλ.θραυστό ΘΑ +25% ασφαλτόμγμα ΦΑ (ΕΗ4)



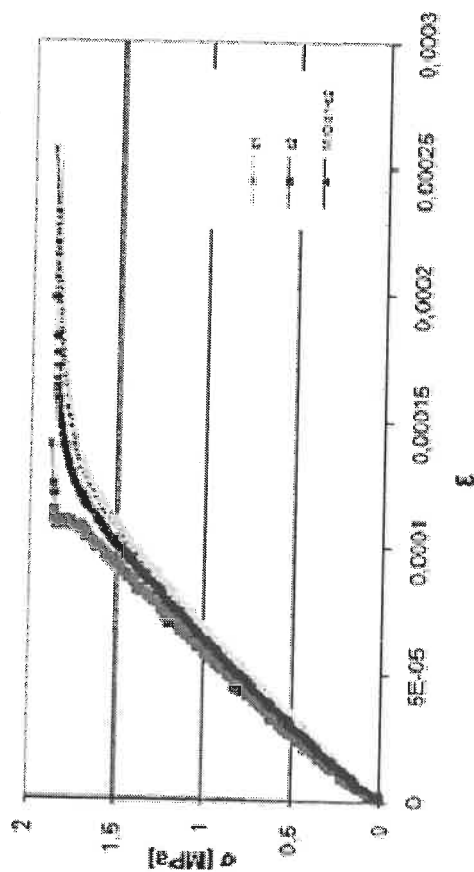
Σχήμα 3.2.23 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε εφελκυσμό μίγματος αναλογίας 75% πλυμένο θραυστό πλ.ΘΑ+25% ασφαλτόμγμα ΦΑ



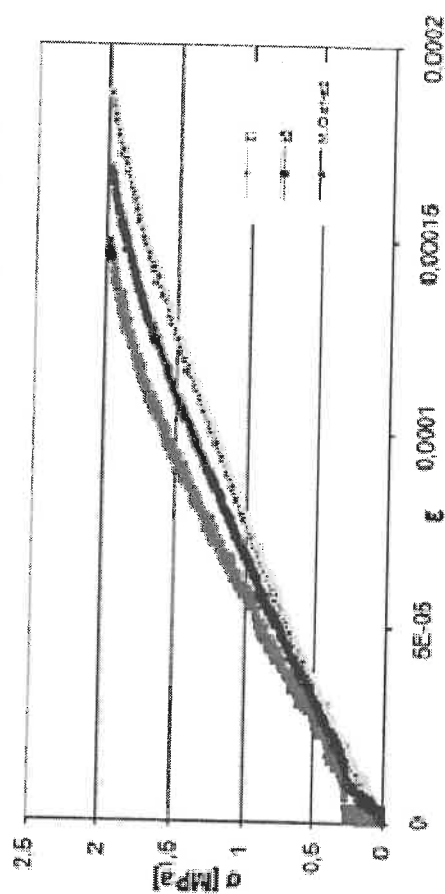
Σχήμα 3.2.24 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε εφελκυσμό μίγματος αναλογίας 75% πλυμένου θραυστού πλ. ΘΑ + 25% ασφαλτόμγμα ΦΑ (ΕII)

(4 δοκίμια όπου σε κάθε ένα αντιστοιχεί ένα διάγραμμα σ - ϵ από τα Μ.Ο των δύο μηκνσιομέτρων)

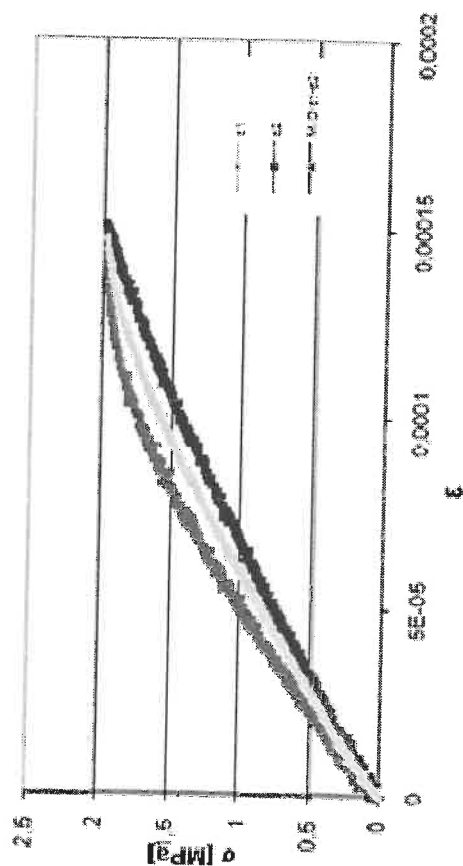
50% πλ.θραυστό ΘΑ +50% ασφαλτόμγμα ΦΑ (ΕΙΙΙ1)



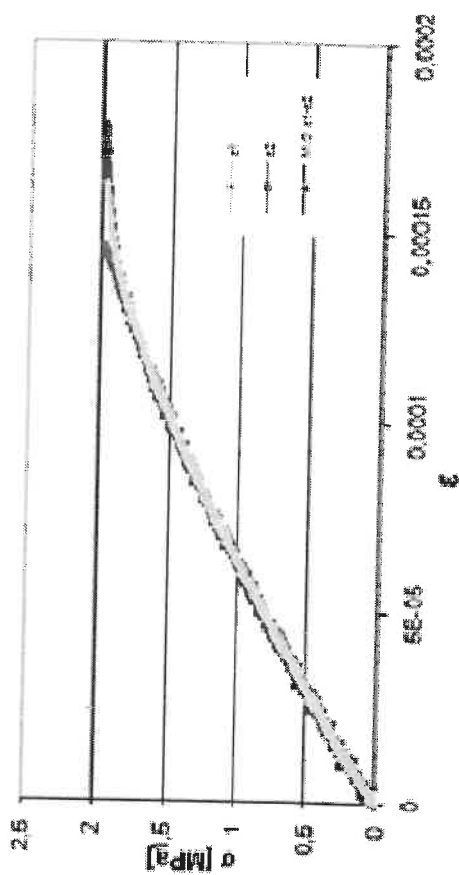
50% πλ.θραυστό ΘΑ +50% ασφαλτόμγμα ΦΑ (ΕΙΙΙ2)



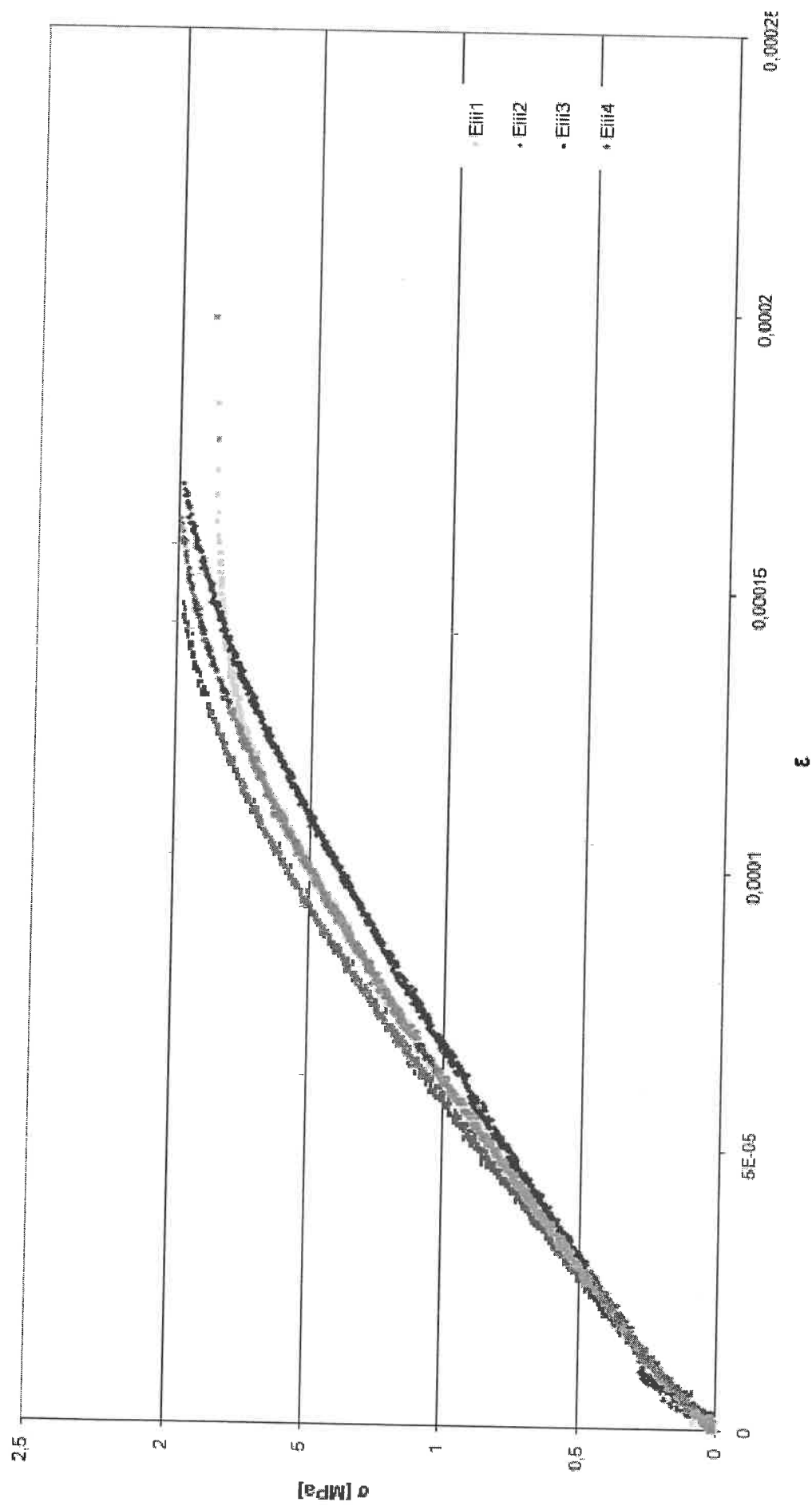
50% πλ.θραυστό ΘΑ +50% ασφαλτόμγμα ΦΑ (ΕΙΙΙ3)



50% πλ.θραυστό ΘΑ +50% ασφαλτόμγμα ΦΑ (ΕΙΙΙ4)

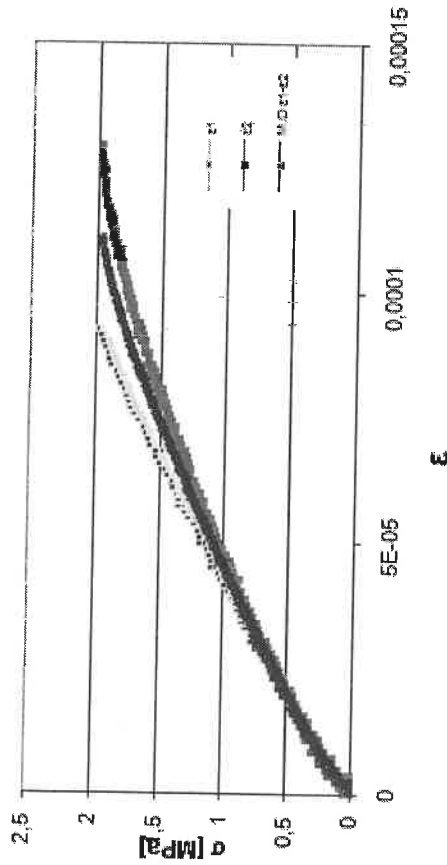


Σχήμα 3.2.25 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε εφελκυσμό μίγματος αναλογίας 50% πλυμμένο θραυστό πλ.ΘΑ+50% ασφαλτόμγμα ΦΑ

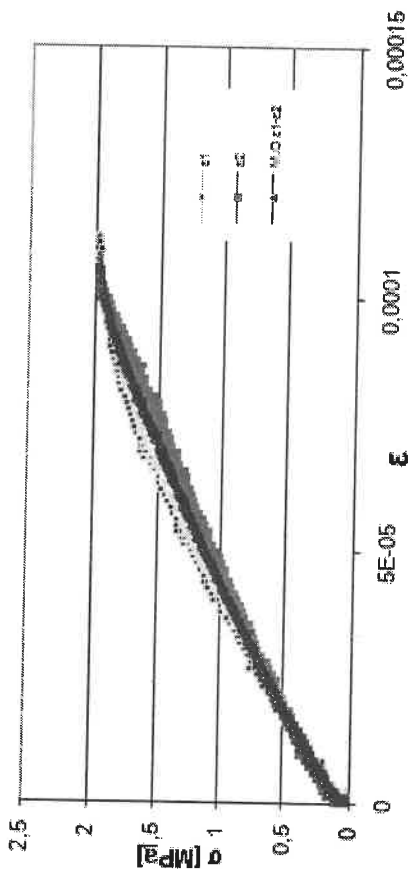


Σχήμα 3.2.26 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε εφελκισμό μίγματος αναλογίας 50% πλυμένου θραυστού πλ. ΘΑ + 50% ασφαλτόμγμα ΦΑ (Eiii)
(4 δοκίμια όπου σε κάθε ένα αντιστοιχεί ένα διάγραμμα σ - ϵ από το Μ.Ο των δύο μηχανισιομέτρων)

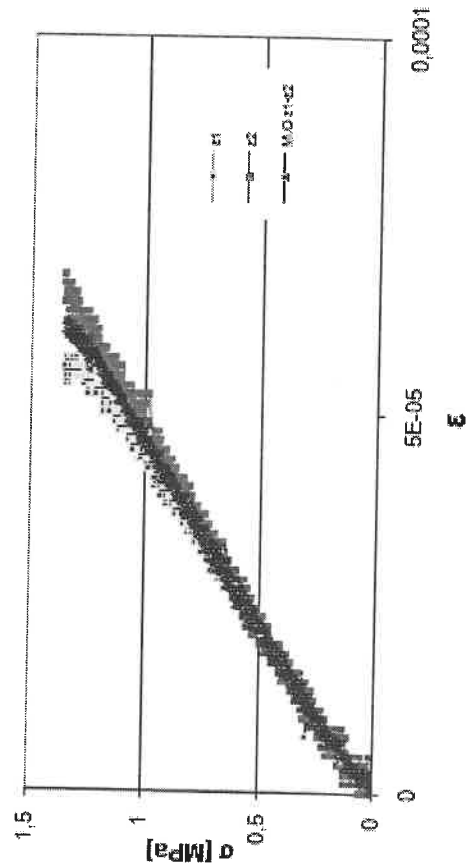
75% Πλ.θραυστό ΘΑ +25% ασφαλότομγμα ΦΒ (ΣΤΙΙΙ)



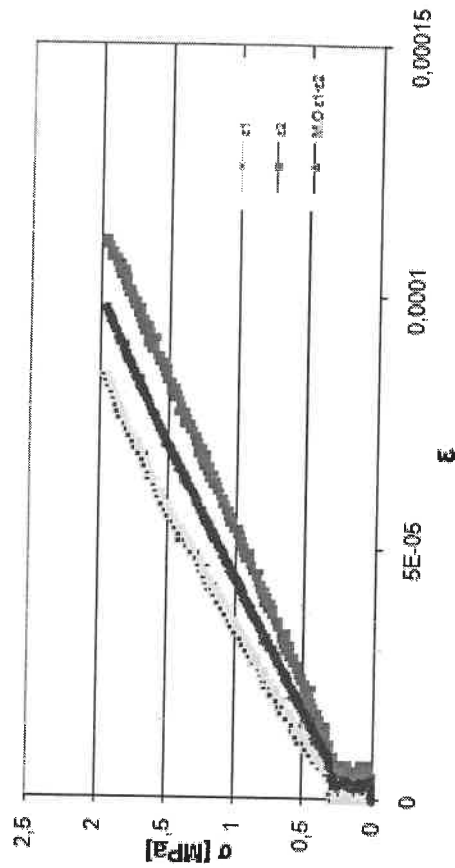
75% Πλ.θραυστό ΘΑ +25% ασφαλότομγμα ΦΒ (ΣΤΙΙ2)



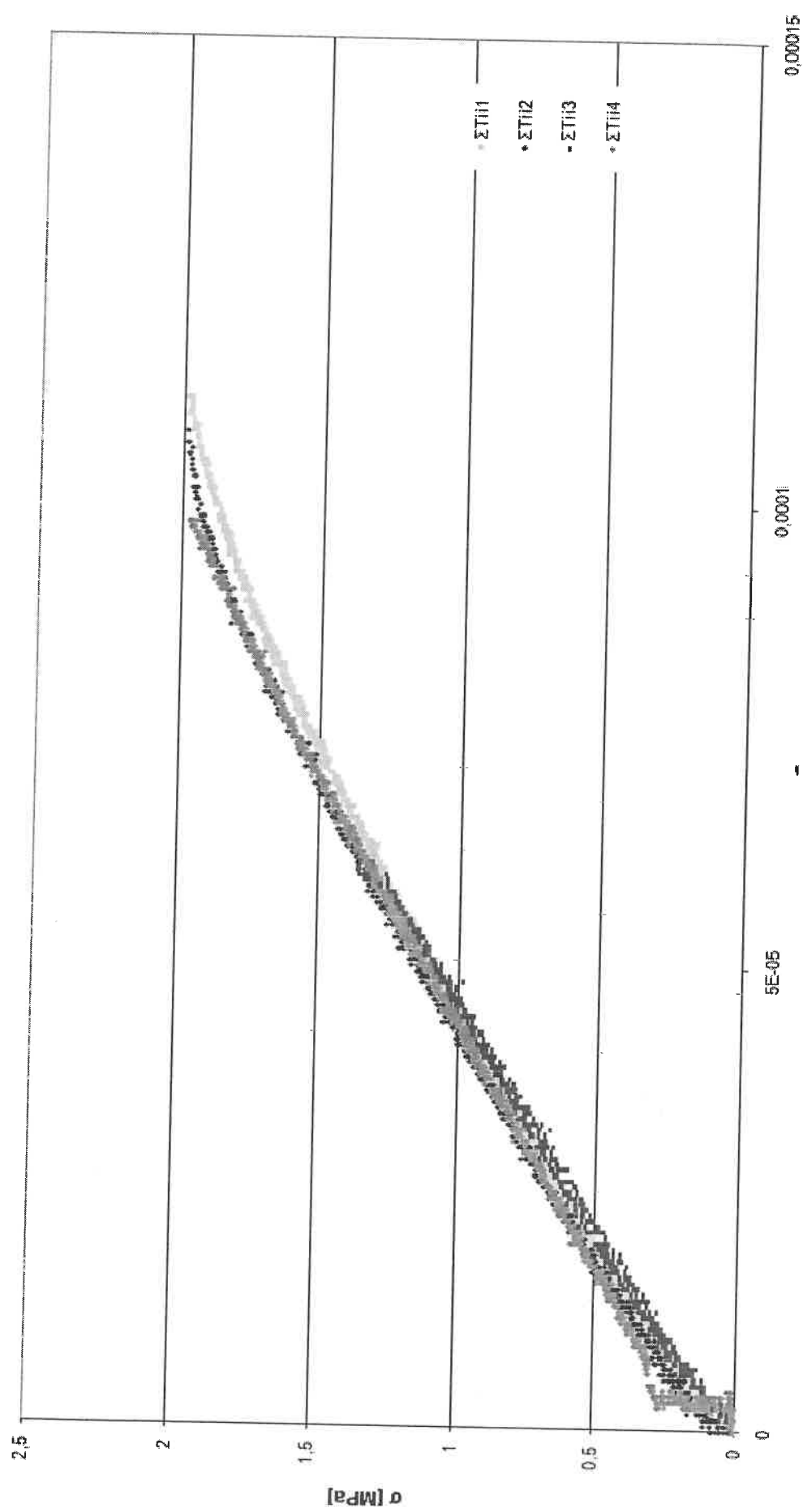
75% Πλ.θραυστό ΘΑ +25% ασφαλότομγμα ΦΒ (ΣΤΙΙ3)



75% Πλ.θραυστό ΘΑ +25% ασφαλότομγμα ΦΒ (ΣΤΙΙ4)

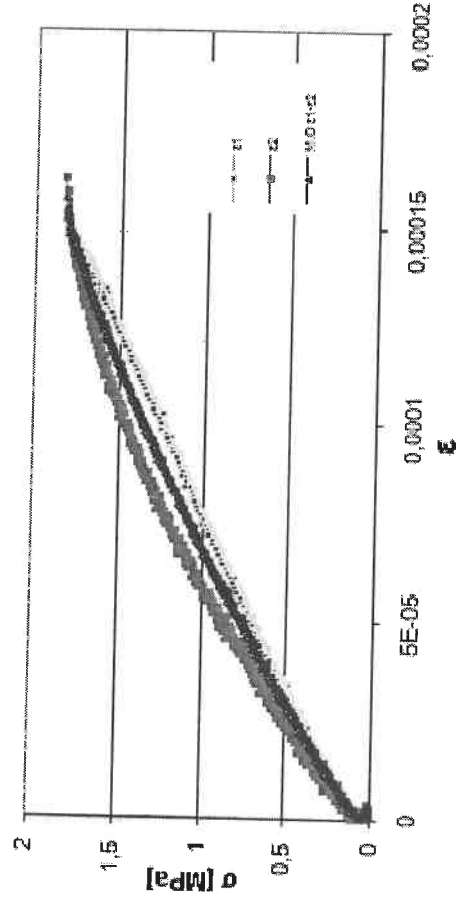


Σχήμα 3.2.27 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε εφελκυσμό μίγματος αναλογίας 75% θραυστό ΘΑ+25% ασφαλότομγμα ΦΒ

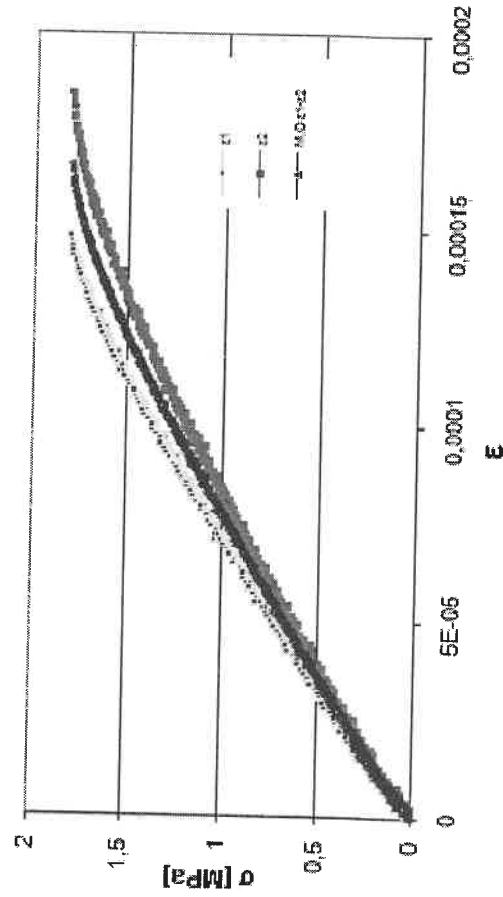


Σχήμα 3.2.28 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε εφελκυσμό μίγματος αναλογίας 75% Πλημμένου θραυστού πλ.ΘΑ + 25% ασφαυτόμγμα ΦΒ (ΣΤΙ)
(4 δοκίμια όλου σε κάθε ένα αντιστοιχεί ένα διάγραμμα σ - ϵ από το Μ.Ο των δύο μηχανομετρών)

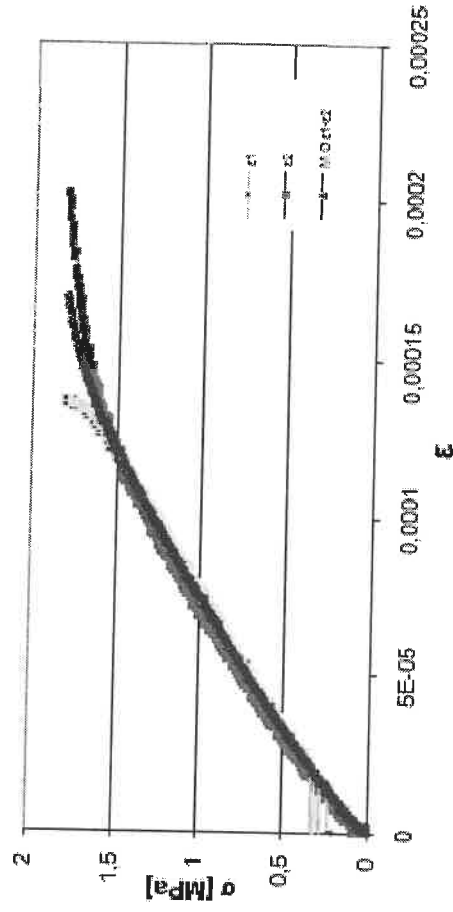
50% Πλημ.θραυστό Πλ. ΘΑ +50% ασφαλτόμγμα ΦΒ (ΣΤΗ11)



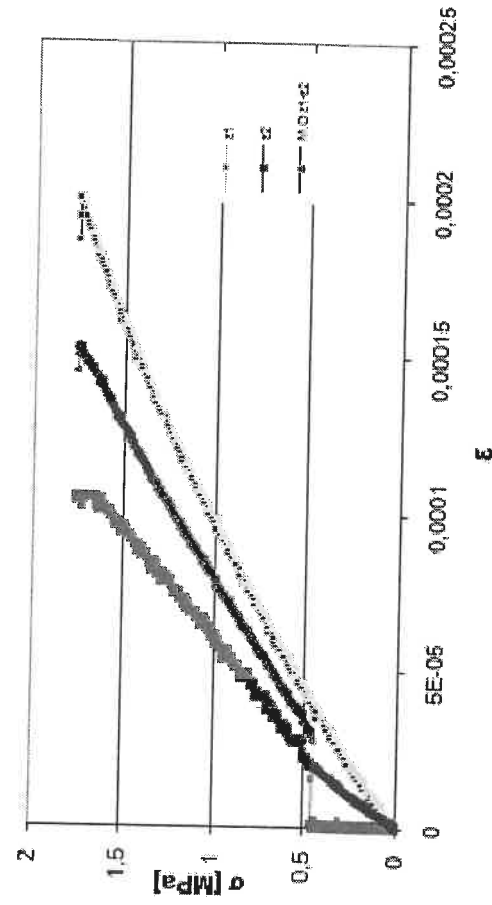
50% Πλημ.θραυστό Πλ. ΘΑ +50% ασφαλτόμγμα ΦΒ (ΣΤΗ13)



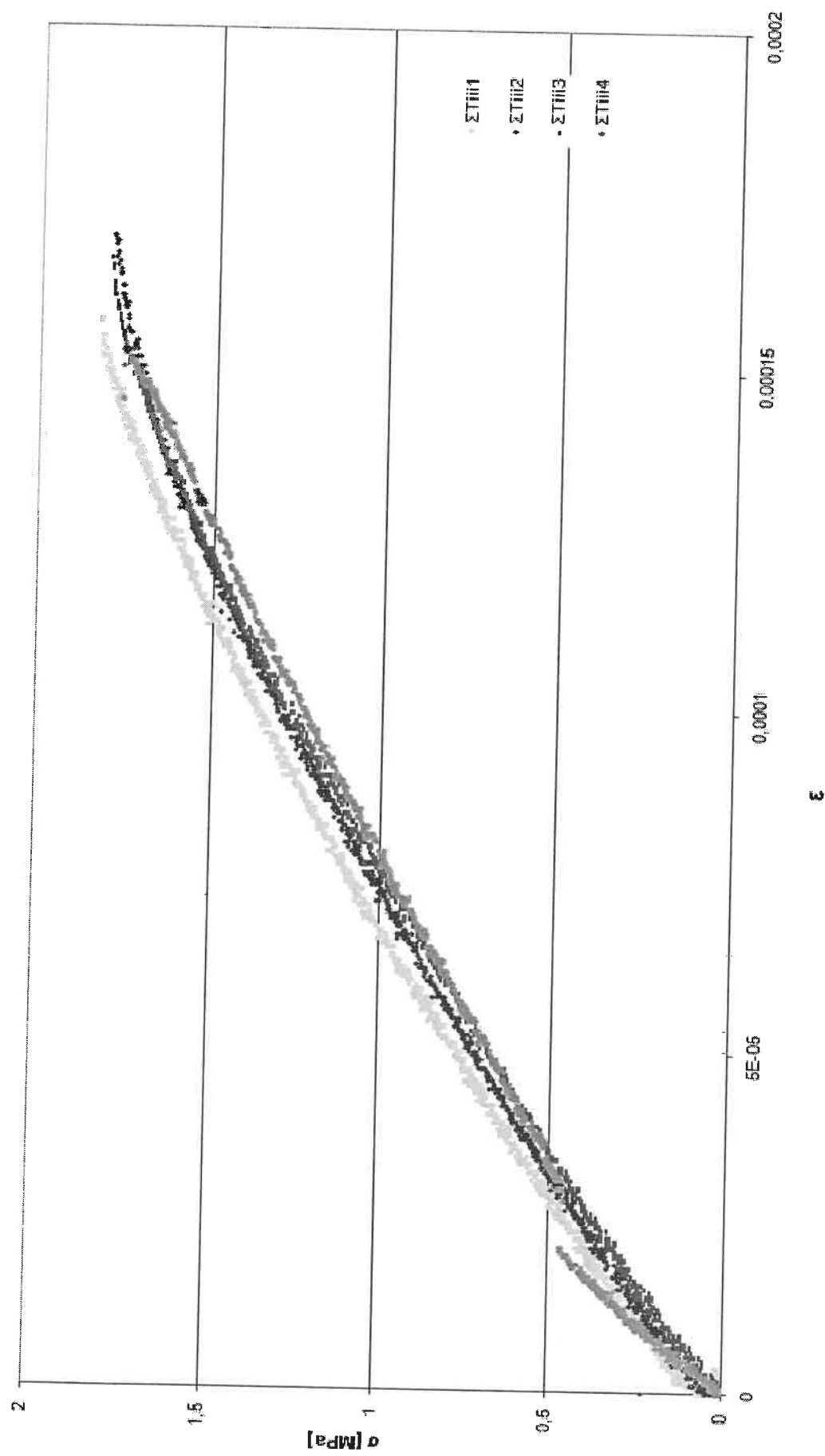
50% Πλημ.θραυστό Πλ. ΘΑ +50% ασφαλτόμγμα ΦΒ (ΣΤΗ23)



50% Πλημ.θραυστό Πλ. ΘΑ +50% ασφαλτόμγμα ΦΒ (ΣΤΗ4)



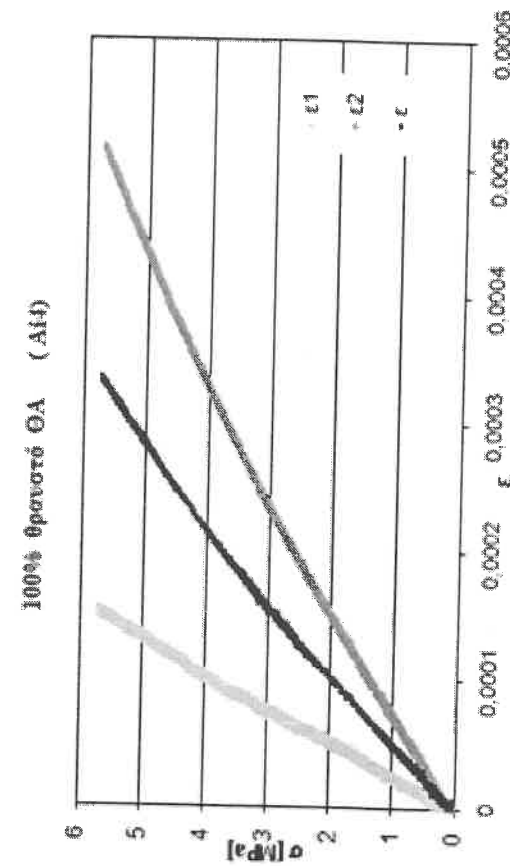
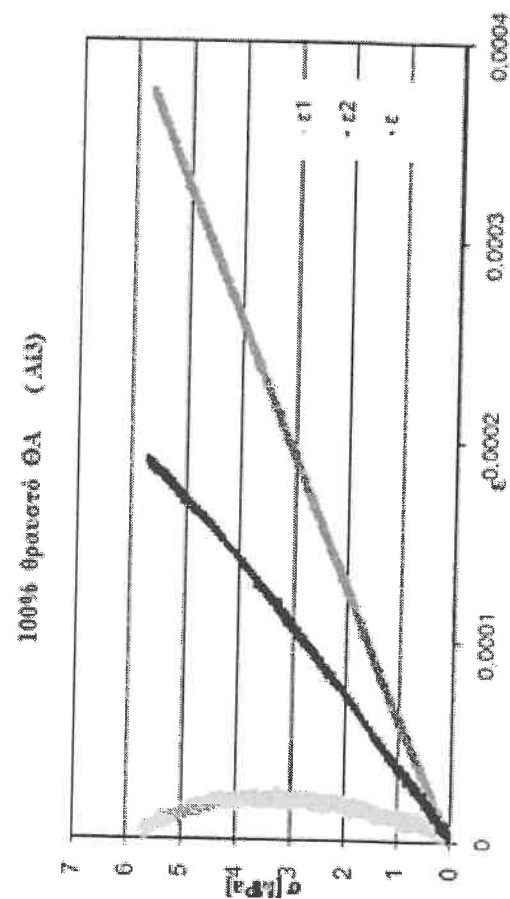
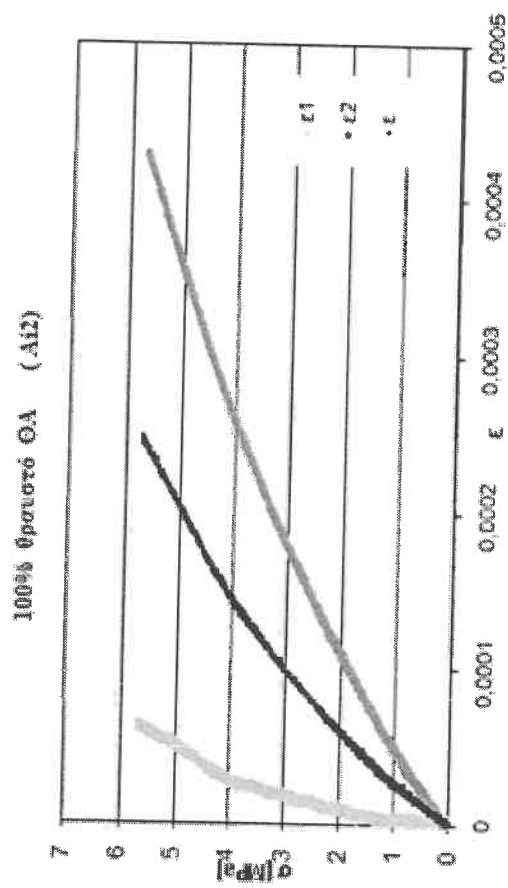
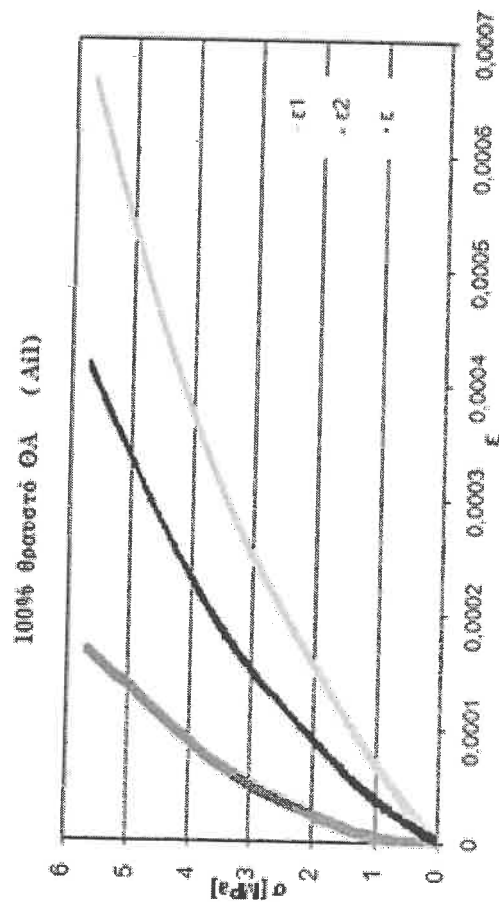
Σχήμα 3.2.29 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε εφελκυσμό μίγματος αναλογίας 50% πλυμένο θραυστό πλ.ΘΑ+50% ασφαλτόμγμα ΦΒ



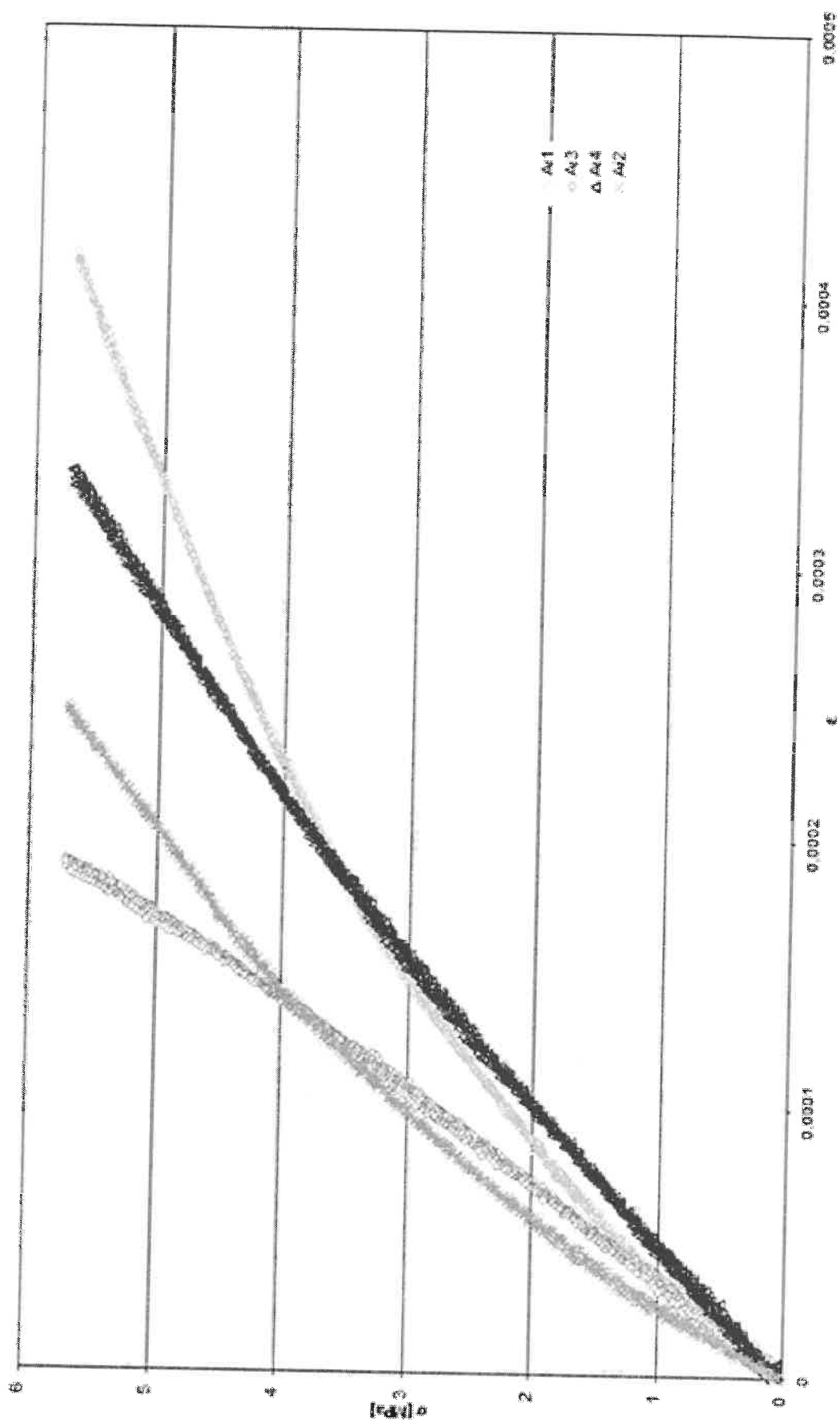
Σχήμα 3.2.30 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε εφελκυσμό μίγματος αναλογίας 50% Πλασμένου θραυστού πλ.ΘΑ + 50% ασφαλιτόγραμμα ΦΒ (ΣΤΙΙΙ)
(4 δοκίμια όπου σε κάθε ένα αντιστοιχεί ένα διάγραμμα σ - ϵ από το ΜΟ των δύο ιπκηνοποιετρών)

3.3

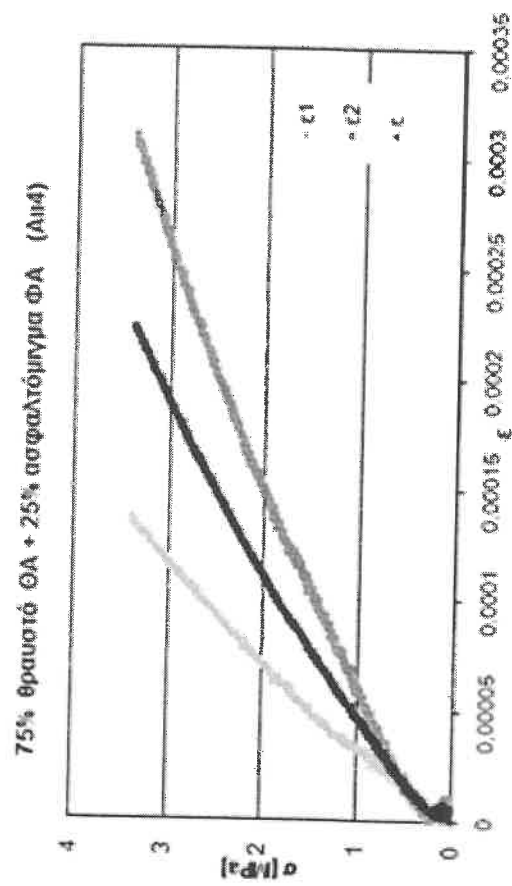
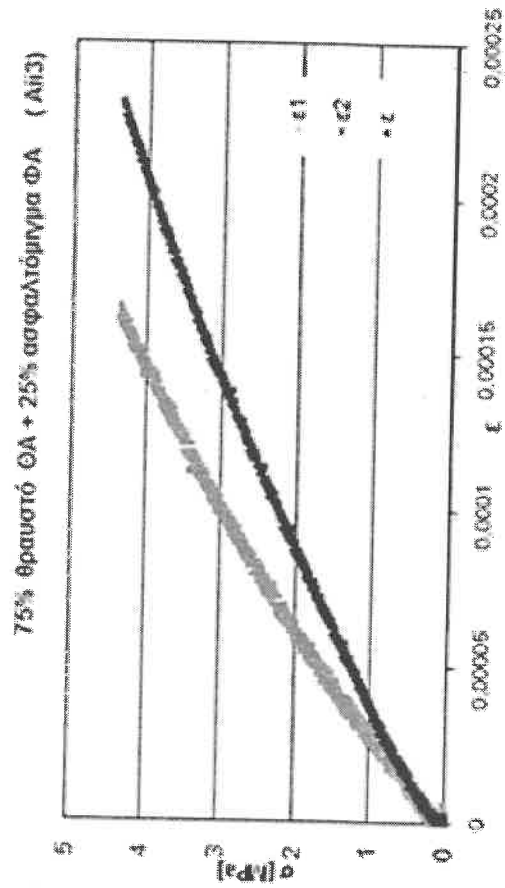
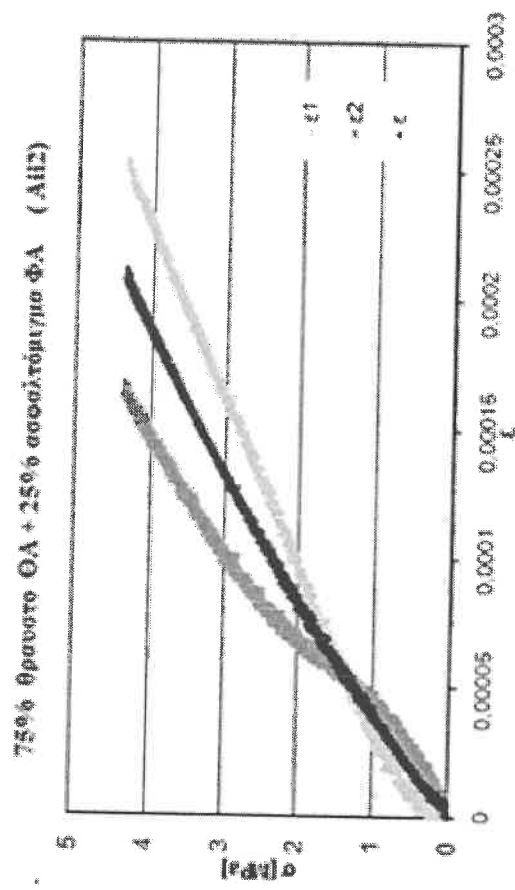
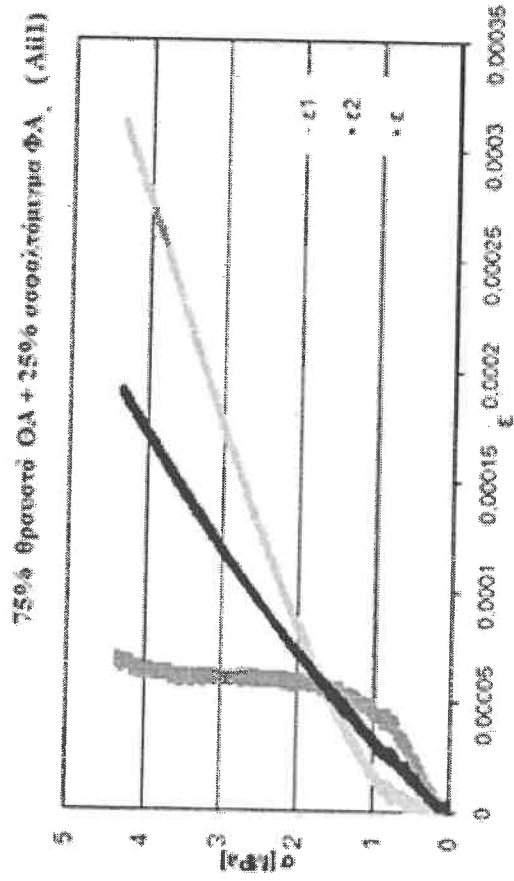
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΑΣΗΣ-ΑΝΗΓΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΕΩΣ ΤΟ 1/3 ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΘΡΑΥΣΗΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ



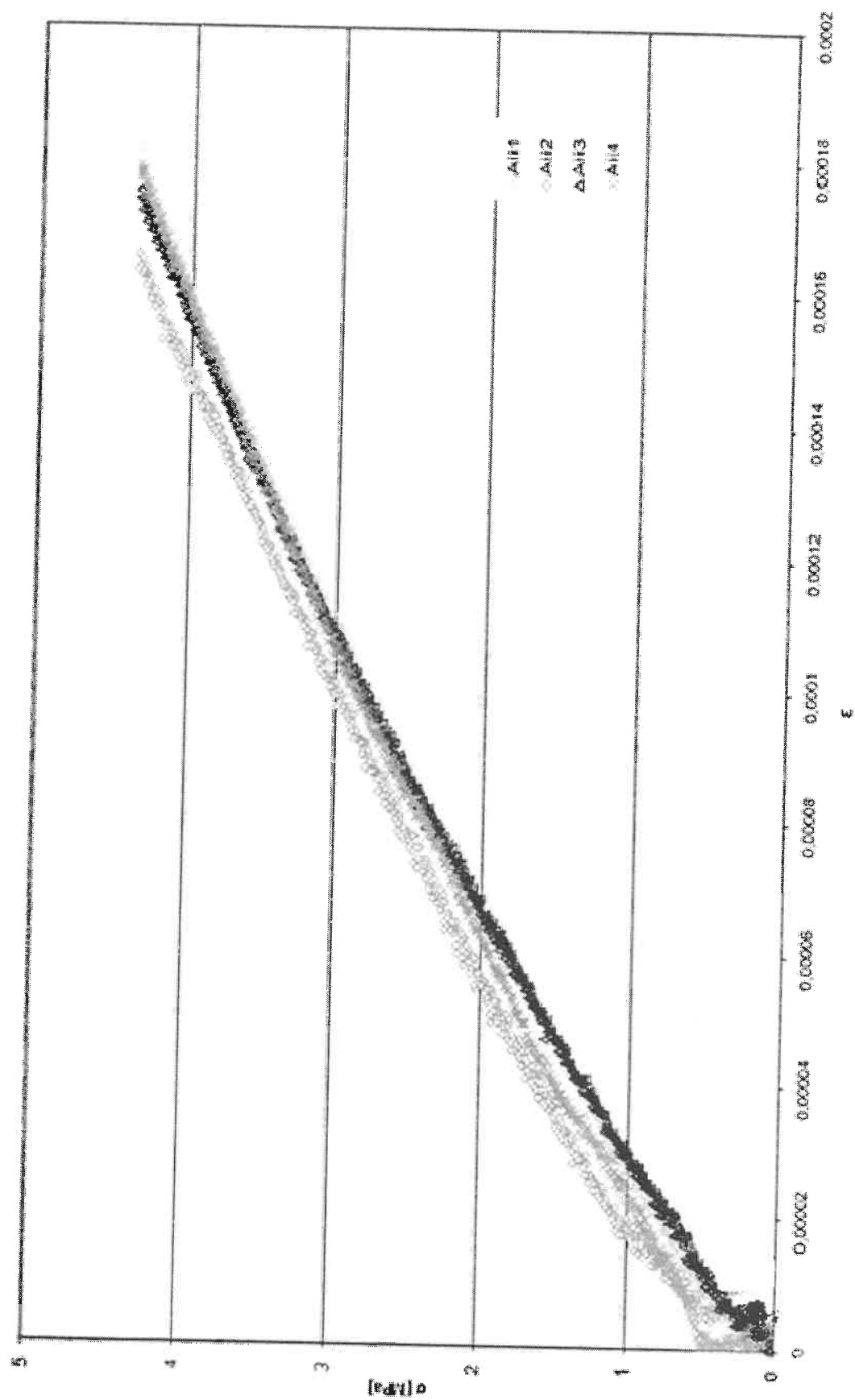
Σχήμα 3.3.1 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε θλίψη μίγματος 100% θραυστού ΘΑ



Σχήμα 3.3.2 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε θλίψη (1/3 φορτίου θραύσεως) μύγατος αναλόγως 100% θραυστού ΘΑ (4 δοκίμια όπου σε κάθε ένα αποτυνεί ένα διάγραμμα σ-ε από το Μ.Ο των δύο μηχανισιόμετρων)

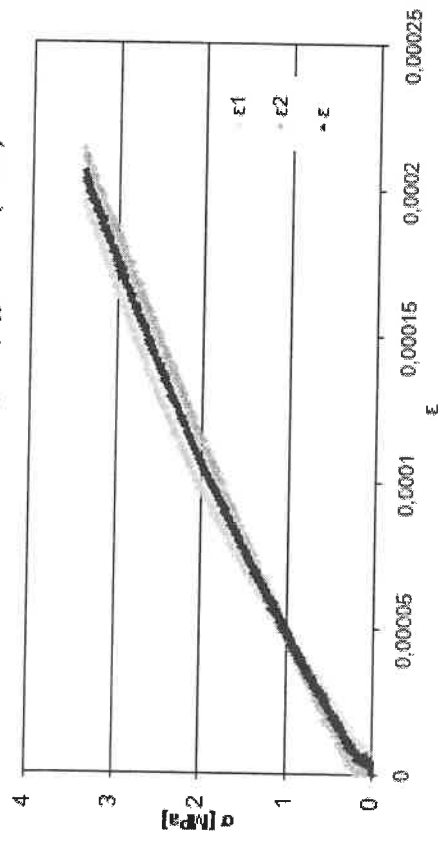


Σχήμα 3.3.3 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης μίγματος 75% θραυστό ΟΑ + 25% ασφαλτόμνημα ΦΑ

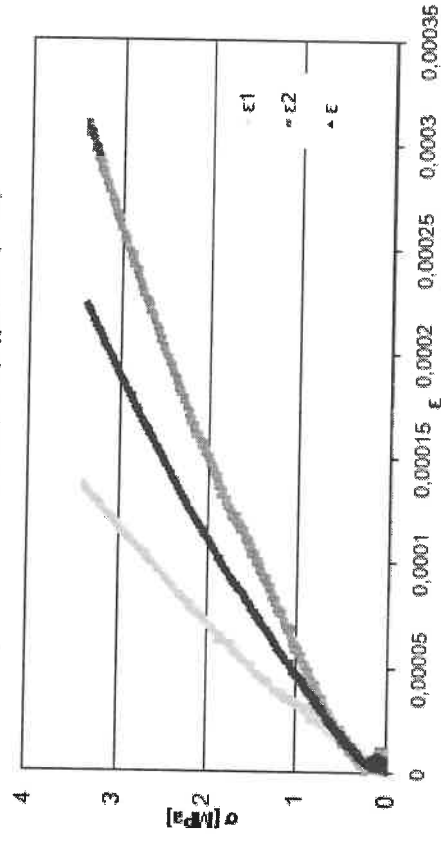


Σχήμα 3.3.4 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε θλίψη (1/3 φορτίου θραύσεως) μίγματος αναλογίας 75% θραυστού ΘΑ +25% ασφαλομίγματος ΦΑ (ΑII)
(4 δοκίμια όπου σε κάθε ένα αντιστοιχεί ένα διάγραμμα σ-ε από το Μ.Ο των δύο μητρονοσιμέτρων)

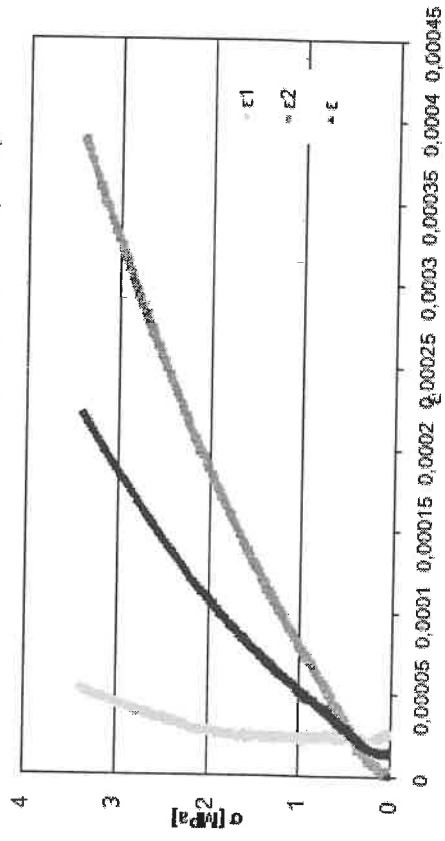
50% θραυστό ΘΑ + 50% ασφαλτόμγμα ΦΑ (ΑIII1)



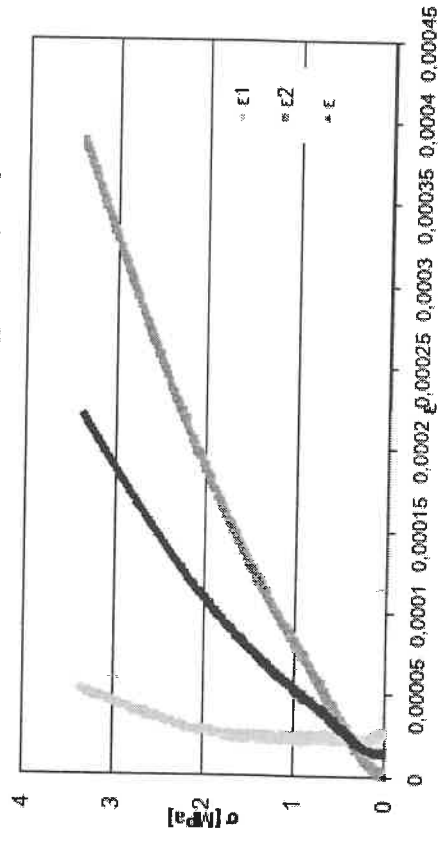
50% θραυστό ΘΑ + 50% ασφαλτόμγμα ΦΑ (ΑIII3)



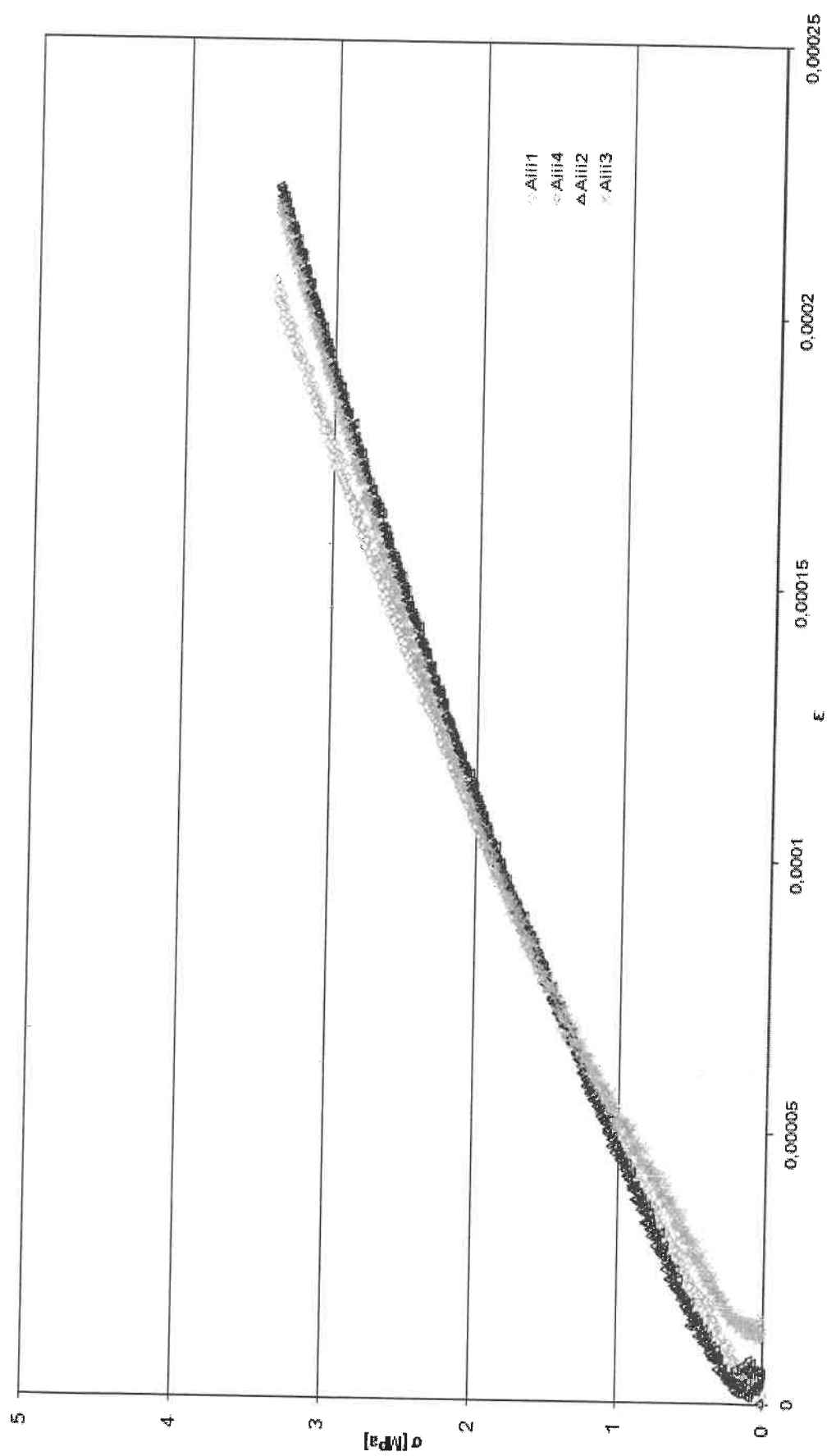
50% θραυστό ΘΑ + 50% ασφαλτόμγμα ΦΑ (ΑIII2)



50% θραυστό ΘΑ + 50% ασφαλτόμγμα ΦΑ (ΑIII4)

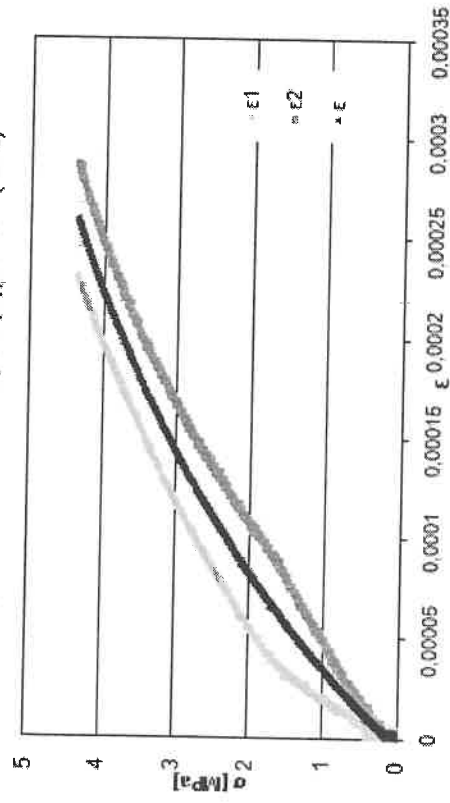


Σχήμα 3.3.5 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης μίγματος 50% θραυστό ΘΑ + 50% ασφαλτόμγμα ΦΑ

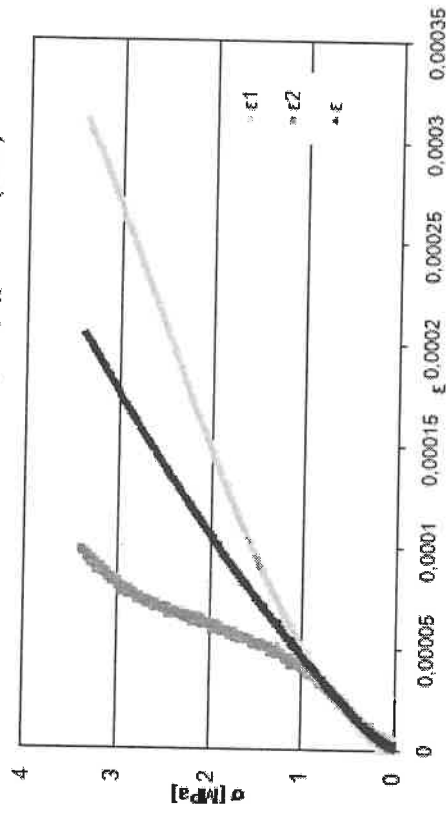


Σχήμα 3.3.6 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε θλίψη (1/3 φορτίου θραύσεως) μίγματος αναλογίας 50% θραυστού ΘΑ +50% ασφαλομίγματος ΦΑ (AIII)
(4 δοκίμια, όπου σε κάθε ένα αντιστοιχεί ένα διάγραμμα σ-ε από το Μ.Ο των δύο μηχανοστομέτρων)

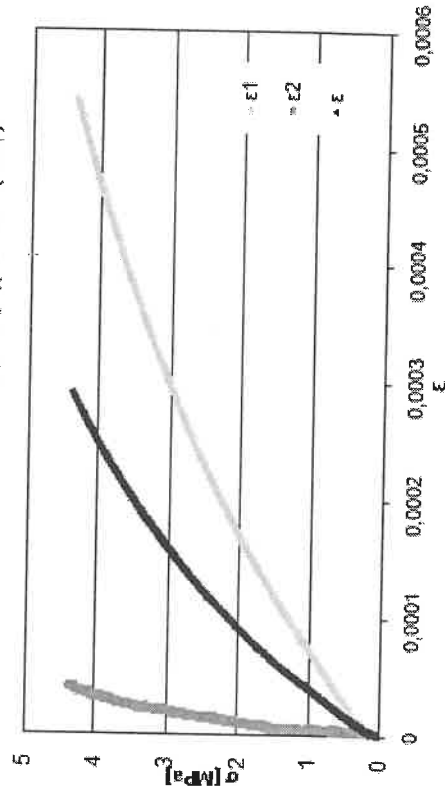
75% θραυστό ΘΑ + 25% ασφαλτόμγμα ΦΒ (Bii1)



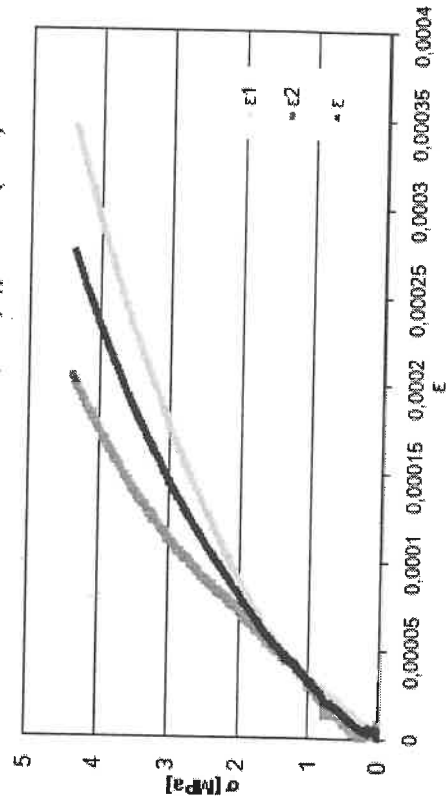
75% θραυστό ΘΑ + 25% ασφαλτόμγμα ΦΒ (Bii2)



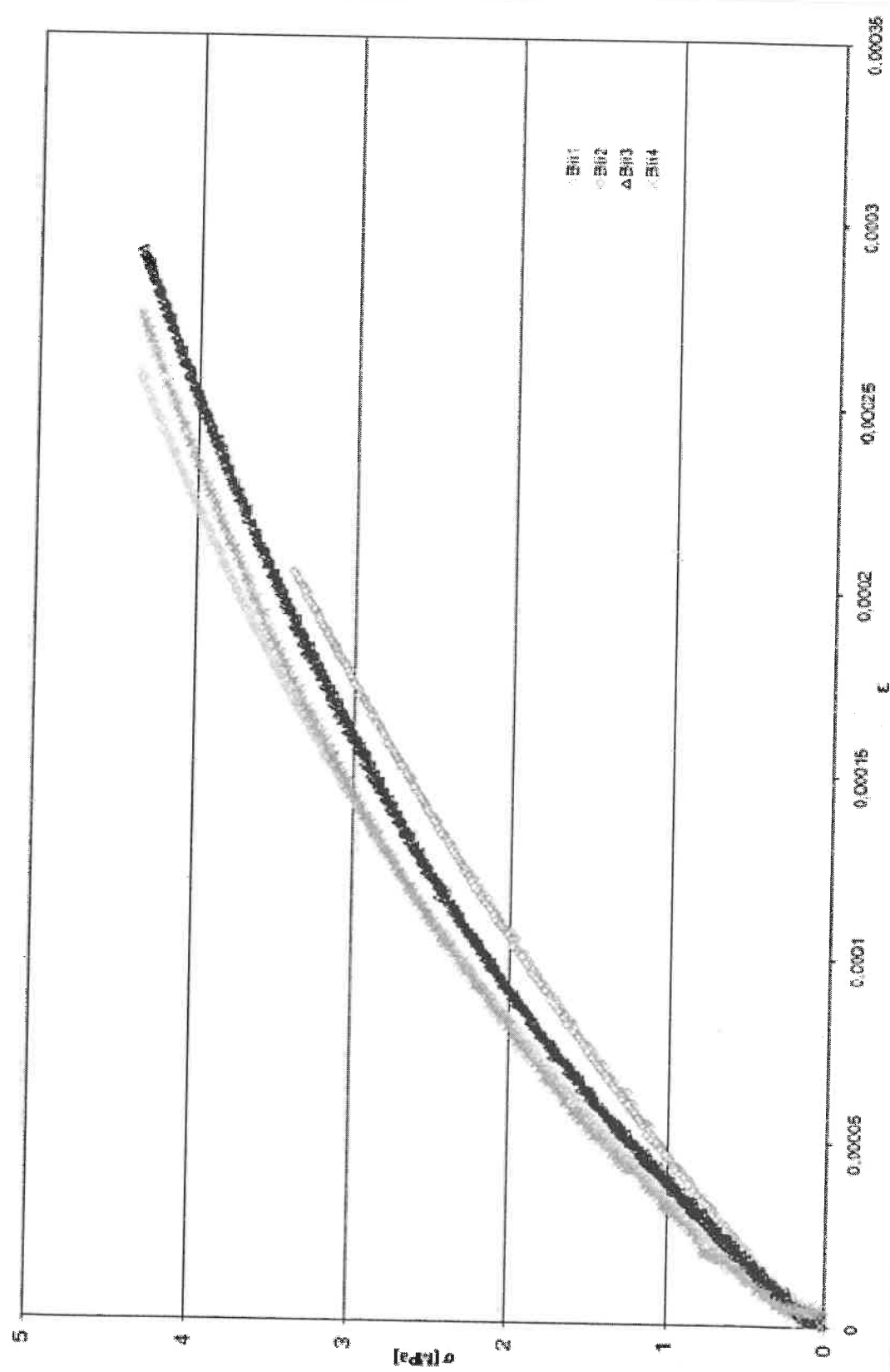
75% θραυστό ΘΑ + 25% ασφαλτόμγμα ΦΒ (Bii3)



75% θραυστό ΘΑ + 25% ασφαλτόμγμα ΦΒ (Bii4)

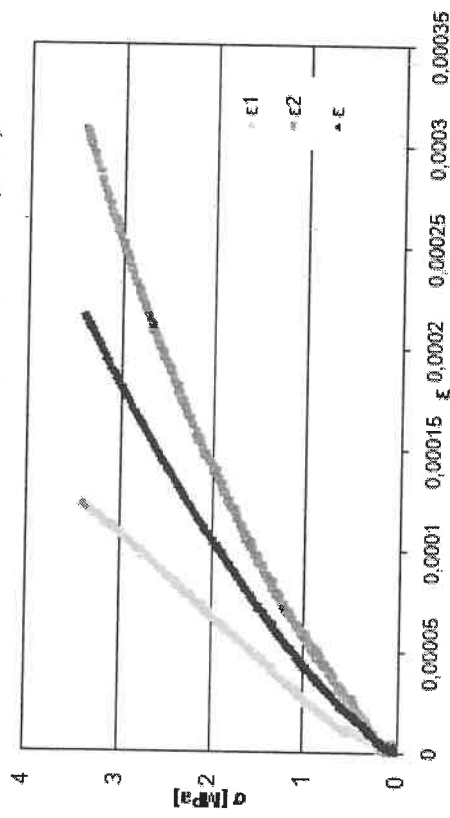


Σχήμα 3.3.7 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης μίγματος 75% θραυστού ΘΑ + 25% ασφαλτομίγματος ΦΒ

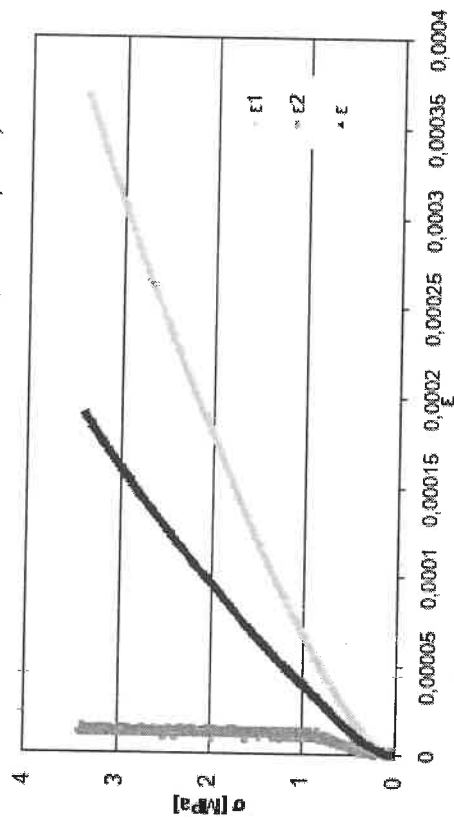


Σχήμα 3.3.8 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης μίγματος αναλογίας 75% θραυστού ΘΑ + 25% ασφαλομήγματος ΦΒ

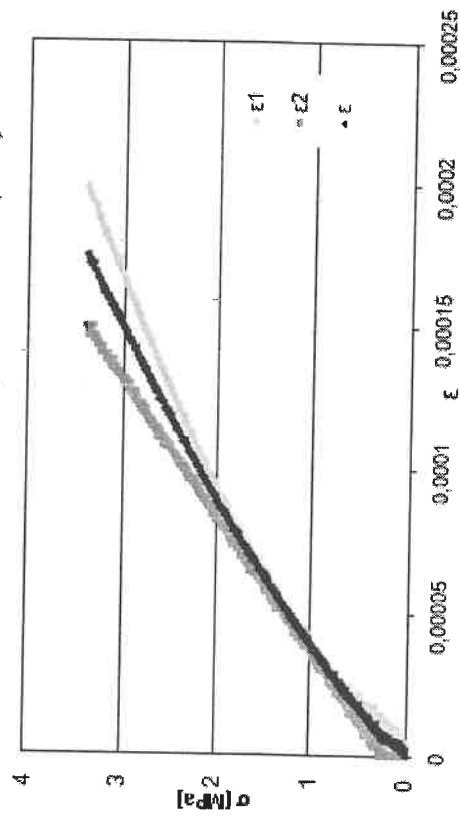
50% θραυστό ΘΑ + 50% ασφαλτόμυγα ΦΒ (Biii1)



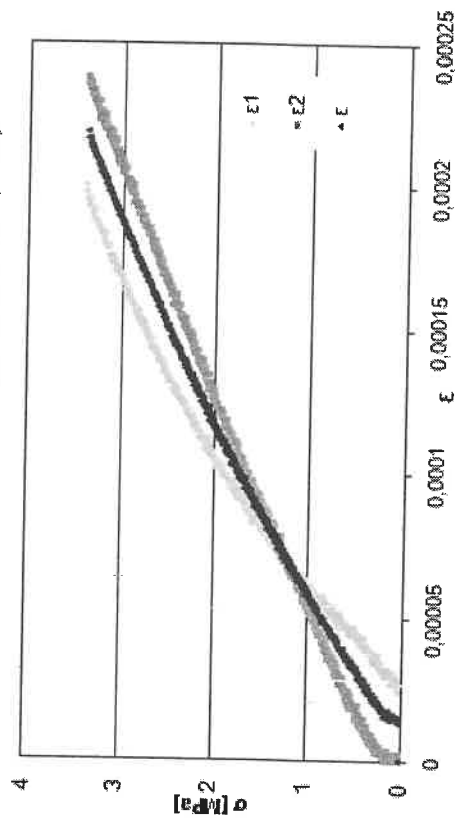
50% θραυστό ΘΑ + 50% ασφαλτόμυγα ΦΒ (Biii2)



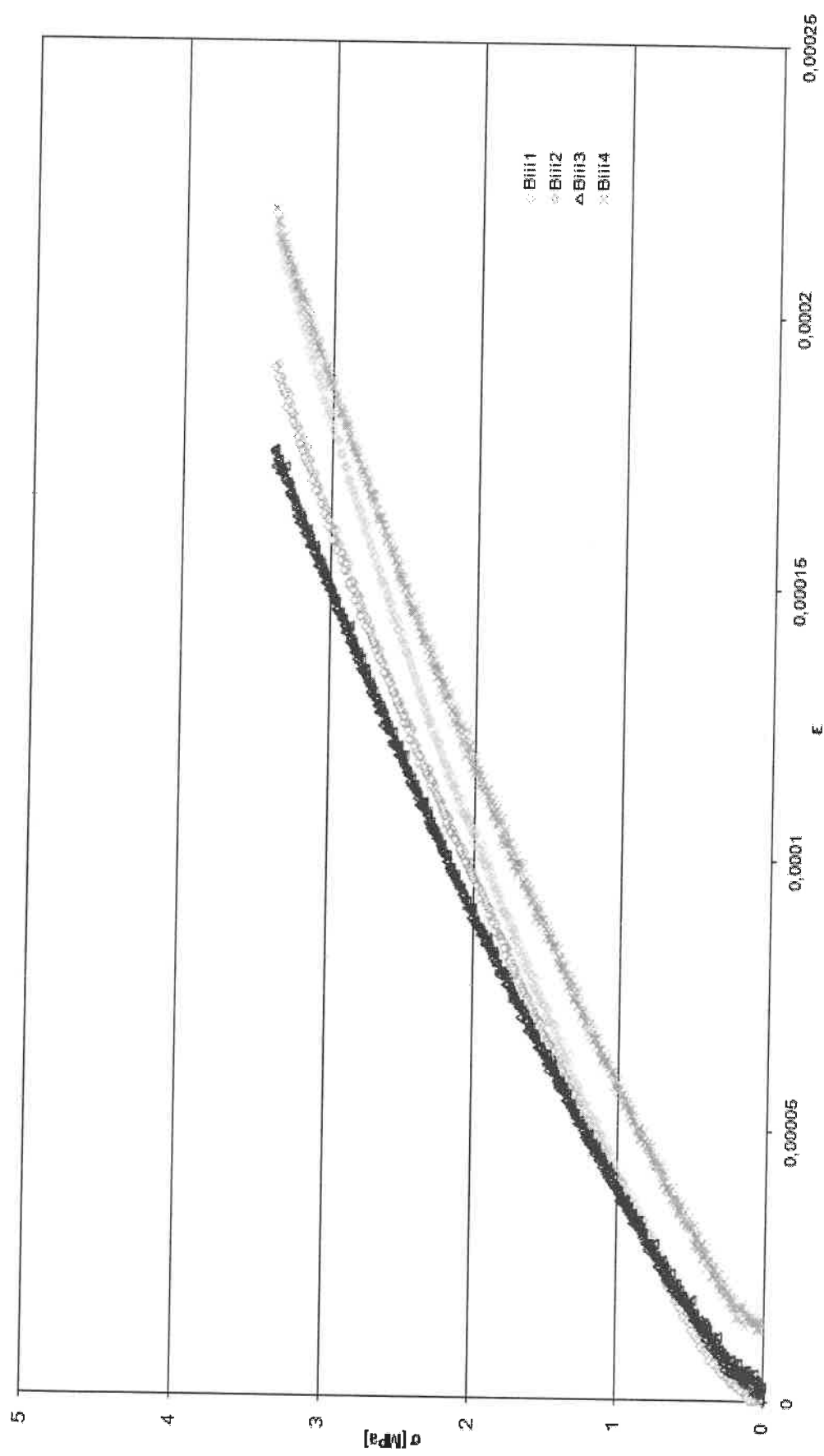
50% θραυστό ΘΑ + 50% ασφαλτόμυγα ΘΒ (Biii3)



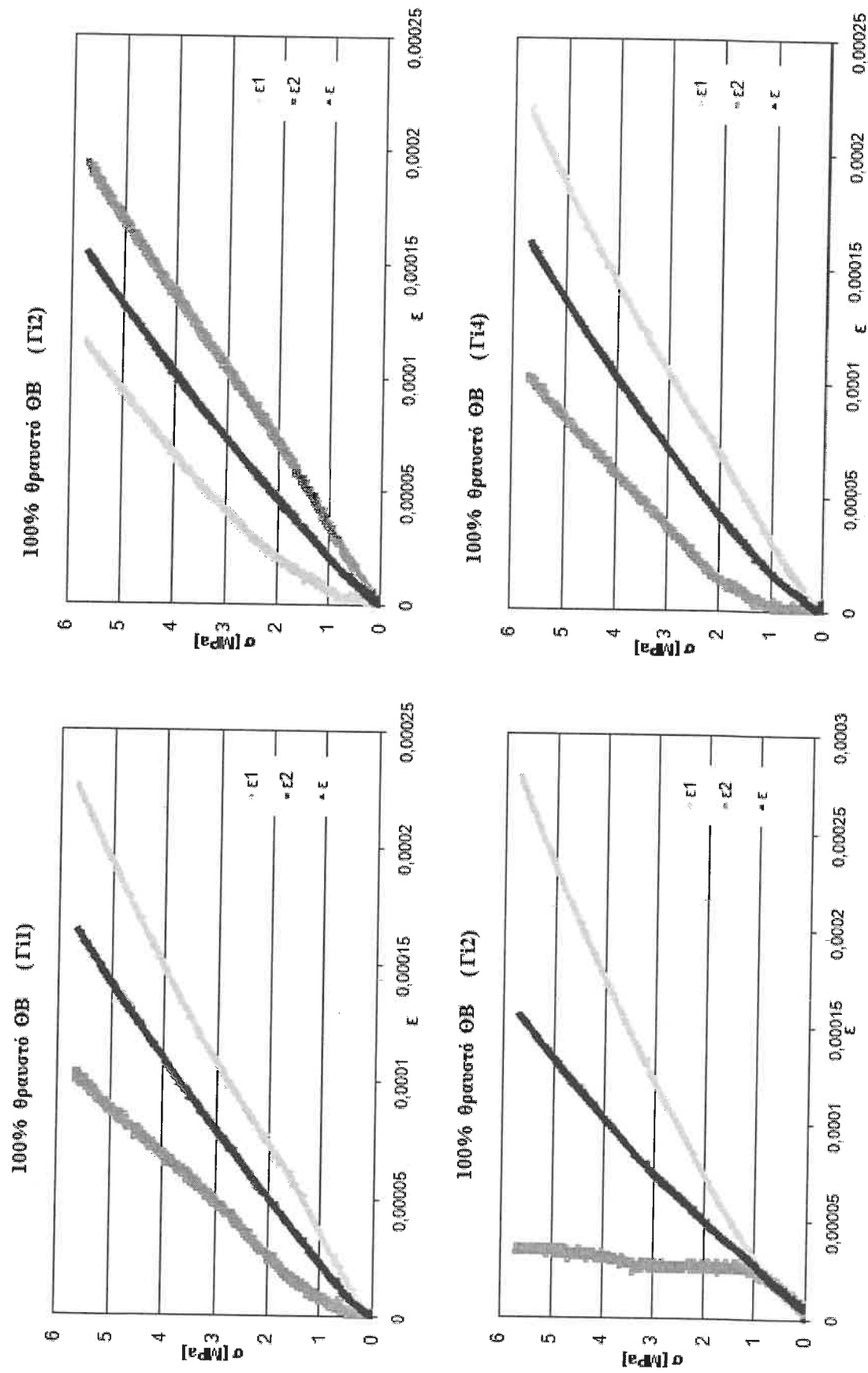
50% θραυστό ΘΑ + 50% ασφαλτόμυγα ΦΒ (Biii4)



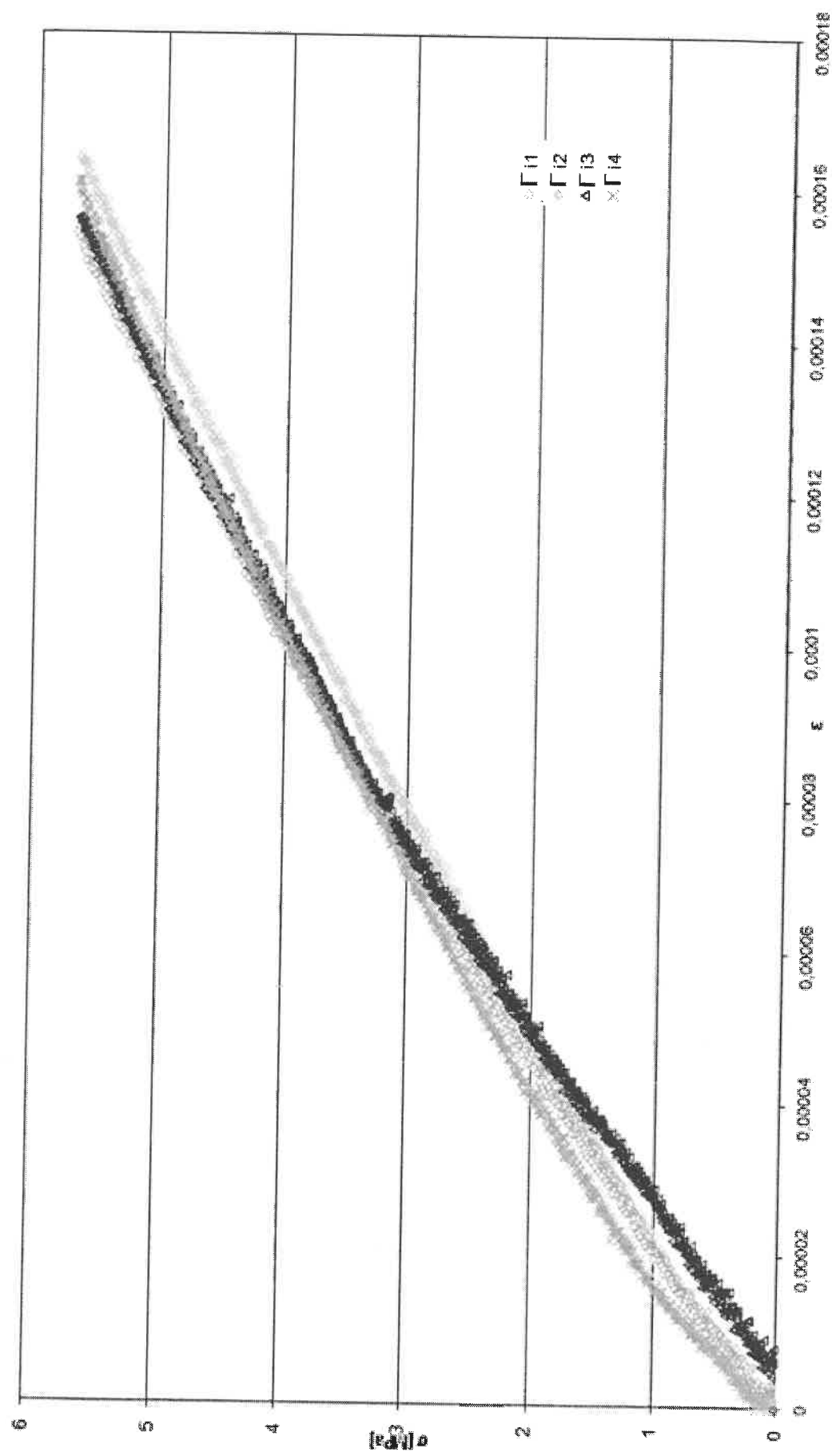
Σχήμα 3.3.9 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης μίγματος 50% θραυστό ΘΑ + 50% ασφαλτόμυγα ΦΒ



Σχήμα 3.3.10 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε θλίψη ($1/3$ φορτίου θραύσεως) μίγματος αναλογίας 50% θραυστού ΘΑ +50% ασφαλομίγματος ΦΒ (Bi)
(4 δοκίμια όπου σε κάθε ένα αντιστοιχεί ένα διάγραμμα σ-ε από το Μ.Ο των δύο μηχανομέτρων)

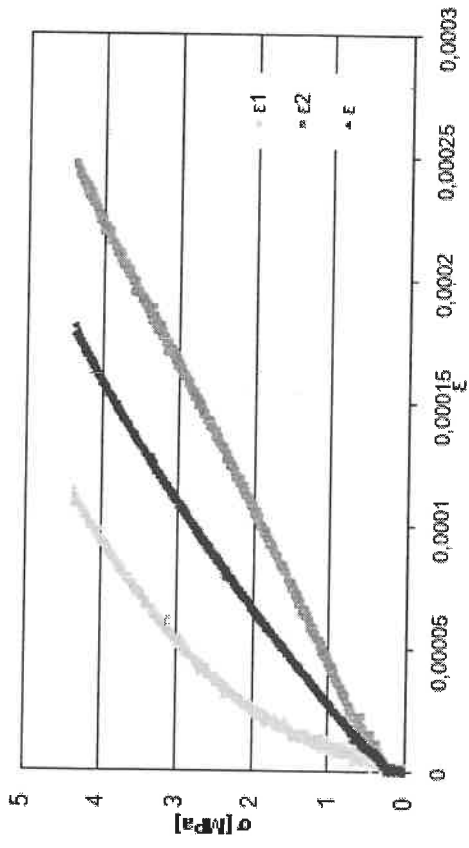


Σχήμα 3.3.11 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε θλίψη μίγματος 100% θραυστού ΘΒ

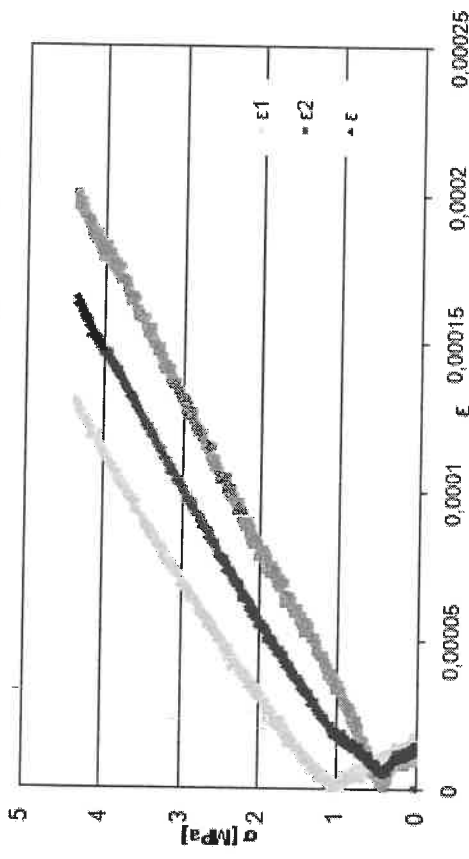


Σχήμα 3.3.12 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε θλίψη (1/3 φορτίου θραύσεως) μίγματος αναλογίας 100% θραυστού ΘΒ (4 δοκίμια όπου σε κάθε ένα αντιστοιχεί ένα διάγραμμα σ - e από το ΜΟ των δύο μηχανομετρών)

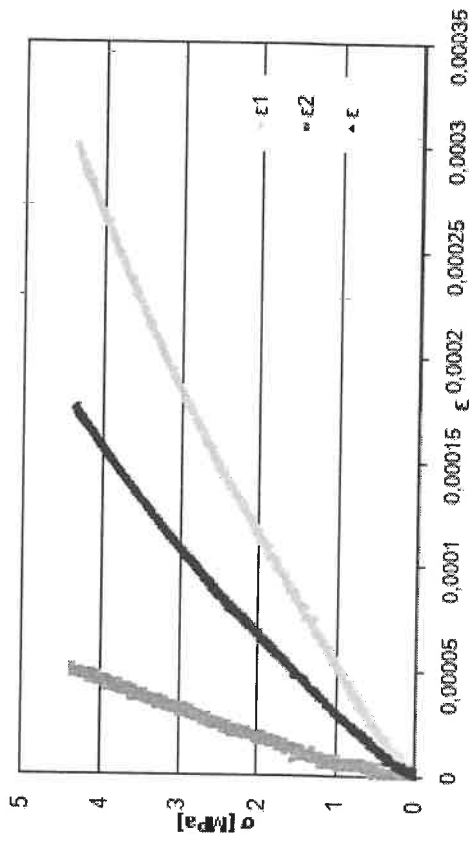
75% θραυστό ΘΒ + 25% ασφαλτόμγμα ΦΑ (Γii1)



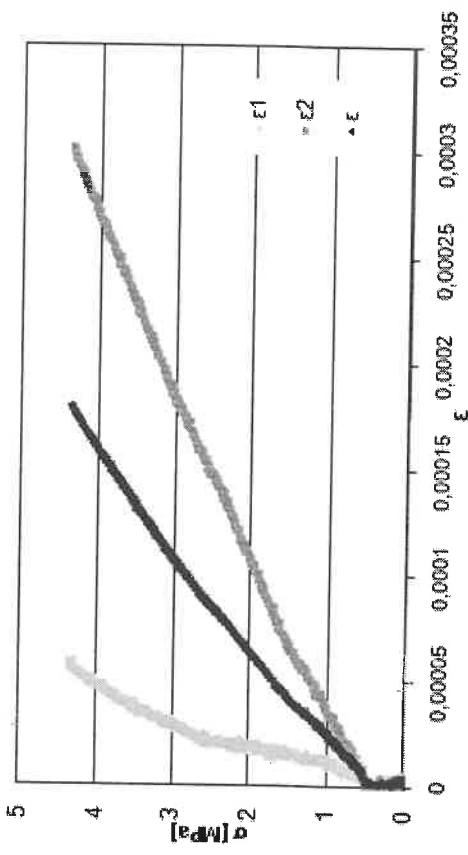
75% θραυστό ΘΒ + 25% ασφαλτόμγμα ΦΑ (Γii2)



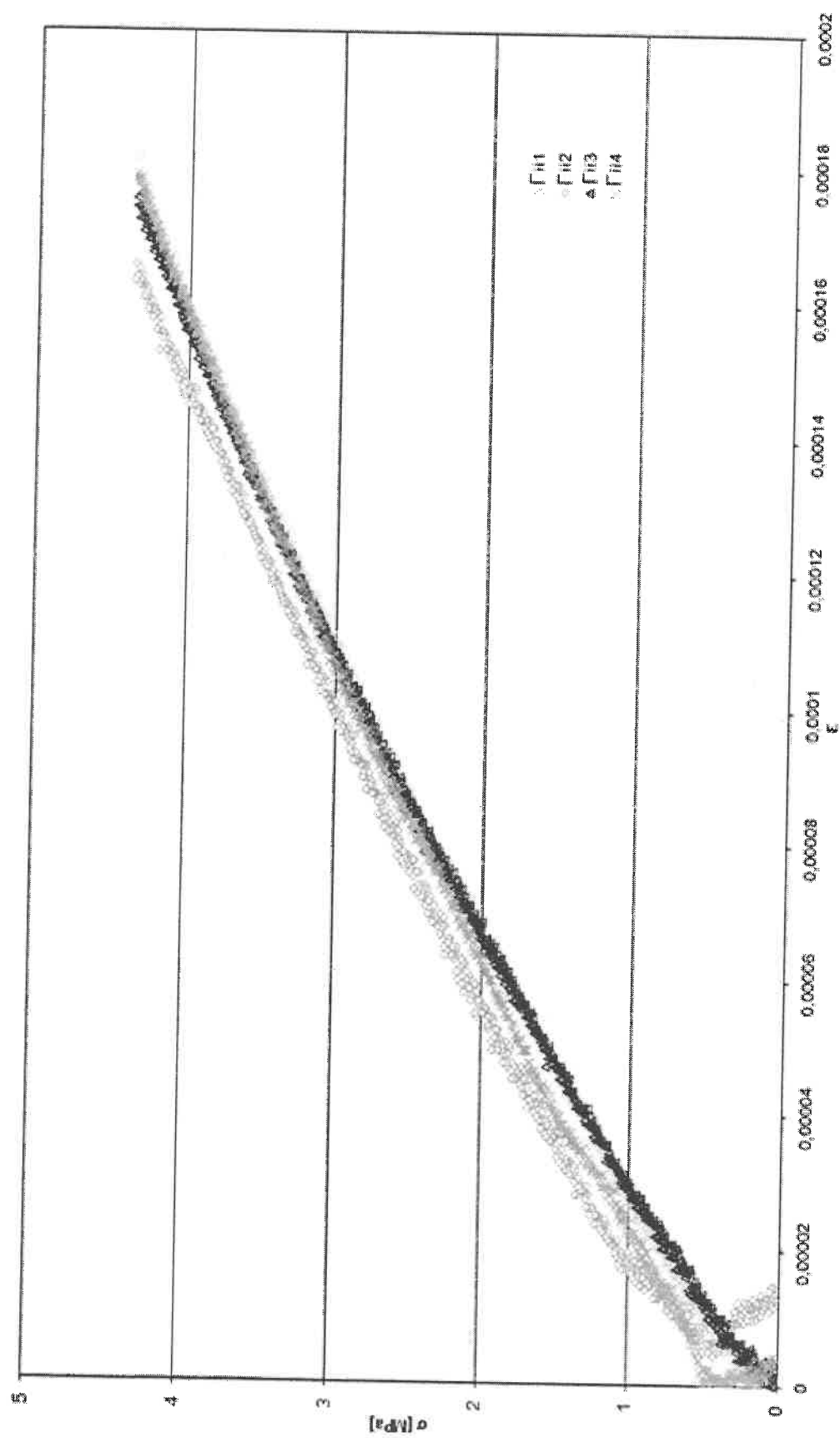
75% θραυστό ΘΒ + 25% ασφαλτόμγμα ΦΑ (Γii3)



75% θραυστό ΘΒ + 25% ασφαλτόμγμα ΦΑ (Γii4)

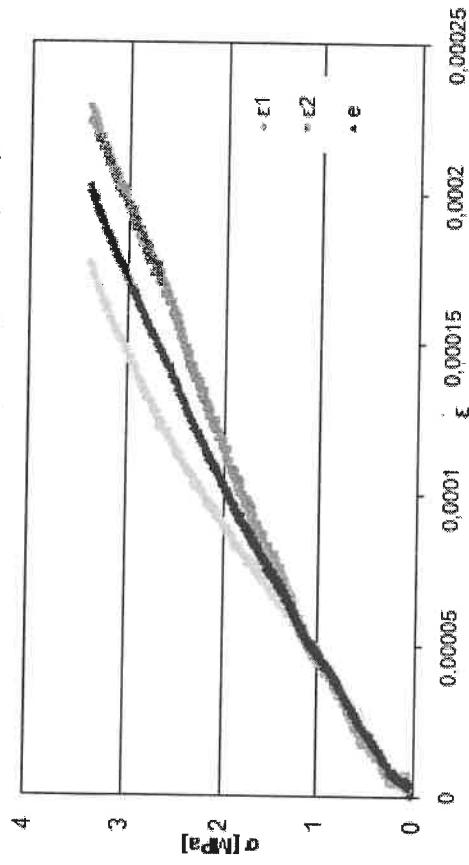


Σχήμα 3.3.13 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης μίγματος 75% θραυστό ΘΒ + 25% ασφαλτόμγμα ΦΑ

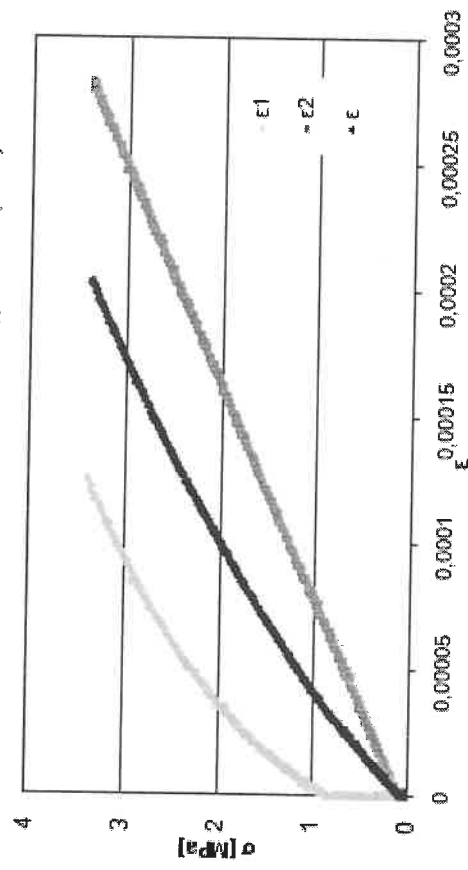


Σχήμα 3.3.14 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε θλίψη (1/3 φορτίου θραύσεως) μίγματος ανάλογης 75% θραυστού ΘΒ +25% σφαλτομίγματος ΦΑ (ΓII) (4 δοκίμια όπου σε κάθε ένα αντιστοιχεί ένα διάγραμμα σ-ε από το Μ.Ο των δύο μηχανισιομέτρων)

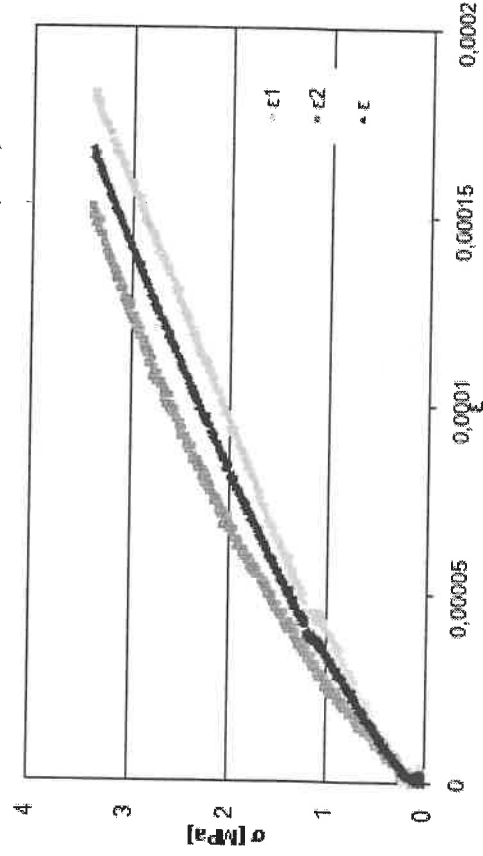
50% θραυστό ΘΑ + 50% ασφαλτόμυγμα ΦΒ (Γiii1)



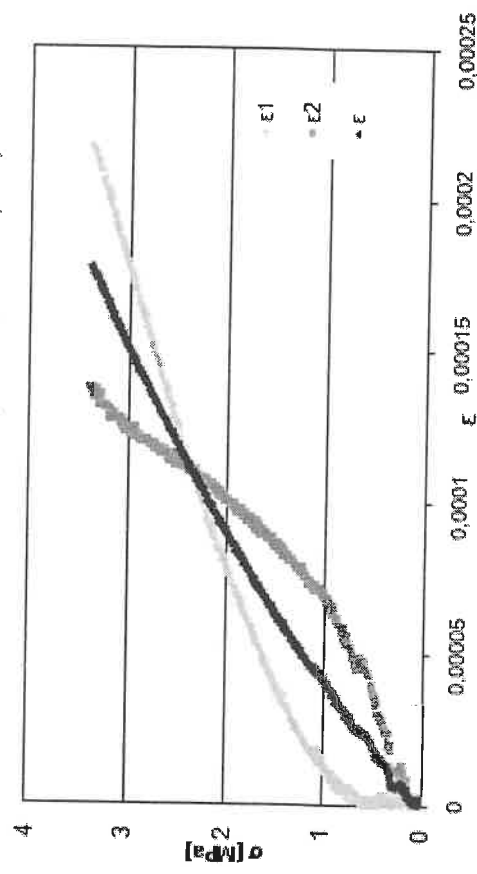
50% θραυστό ΘΑ + 50% ασφαλτόμυγμα ΦΒ (Γiii2)



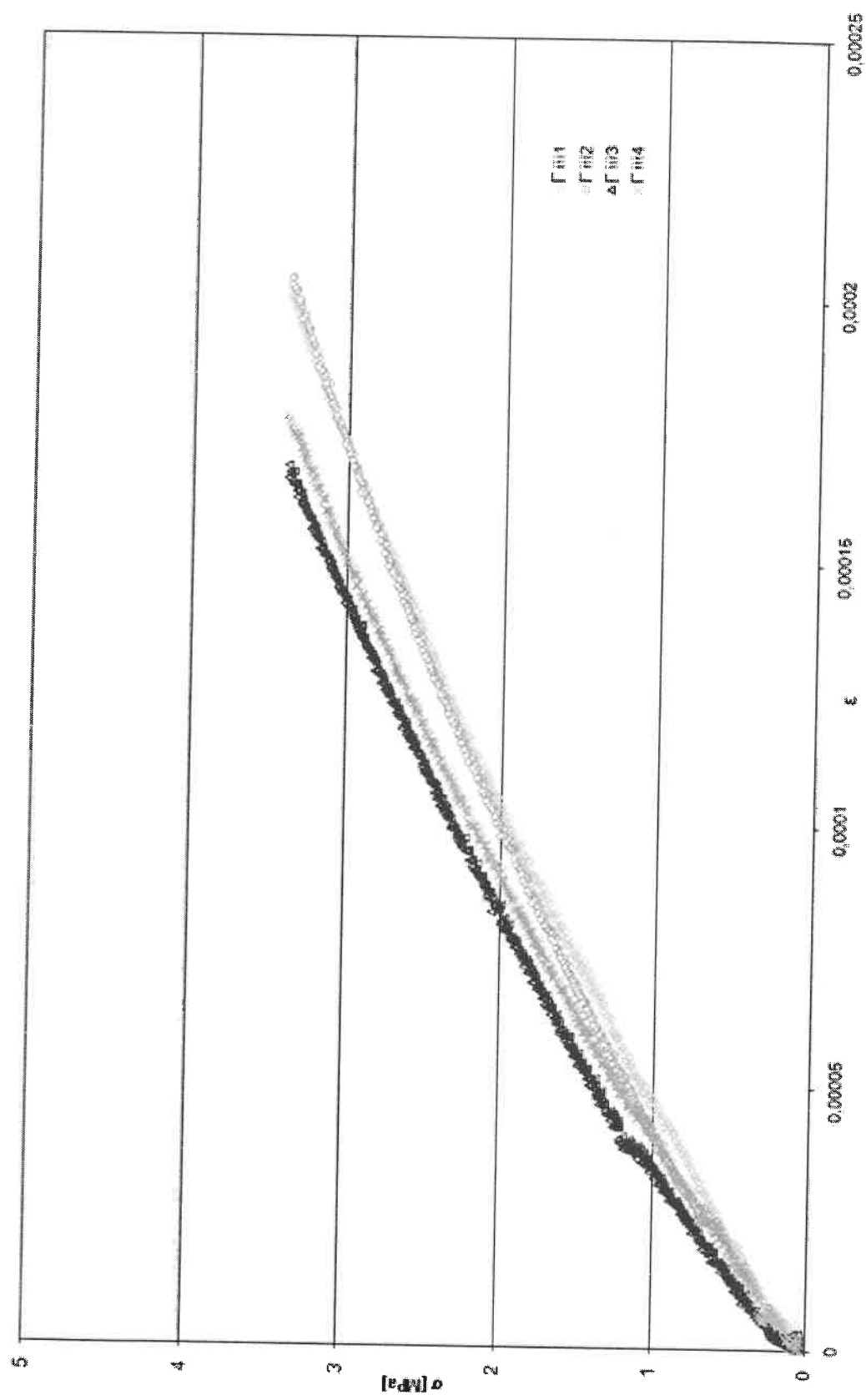
50% θραυστό ΘΑ + 50% ασφαλτόμυγμα ΦΒ (Γiii3)



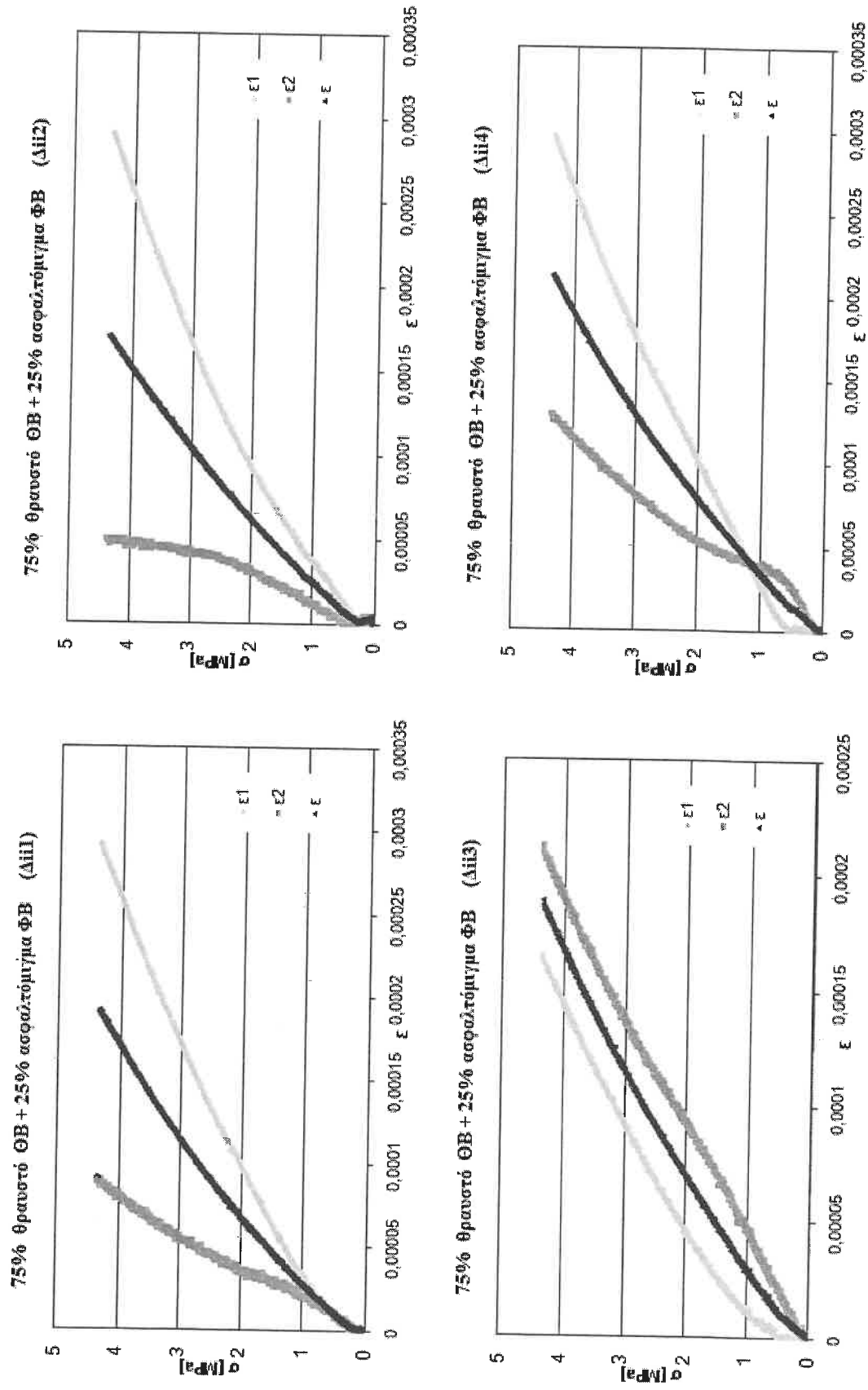
50% θραυστό ΘΑ + 50% ασφαλτόμυγμα ΦΒ (Γiii4)



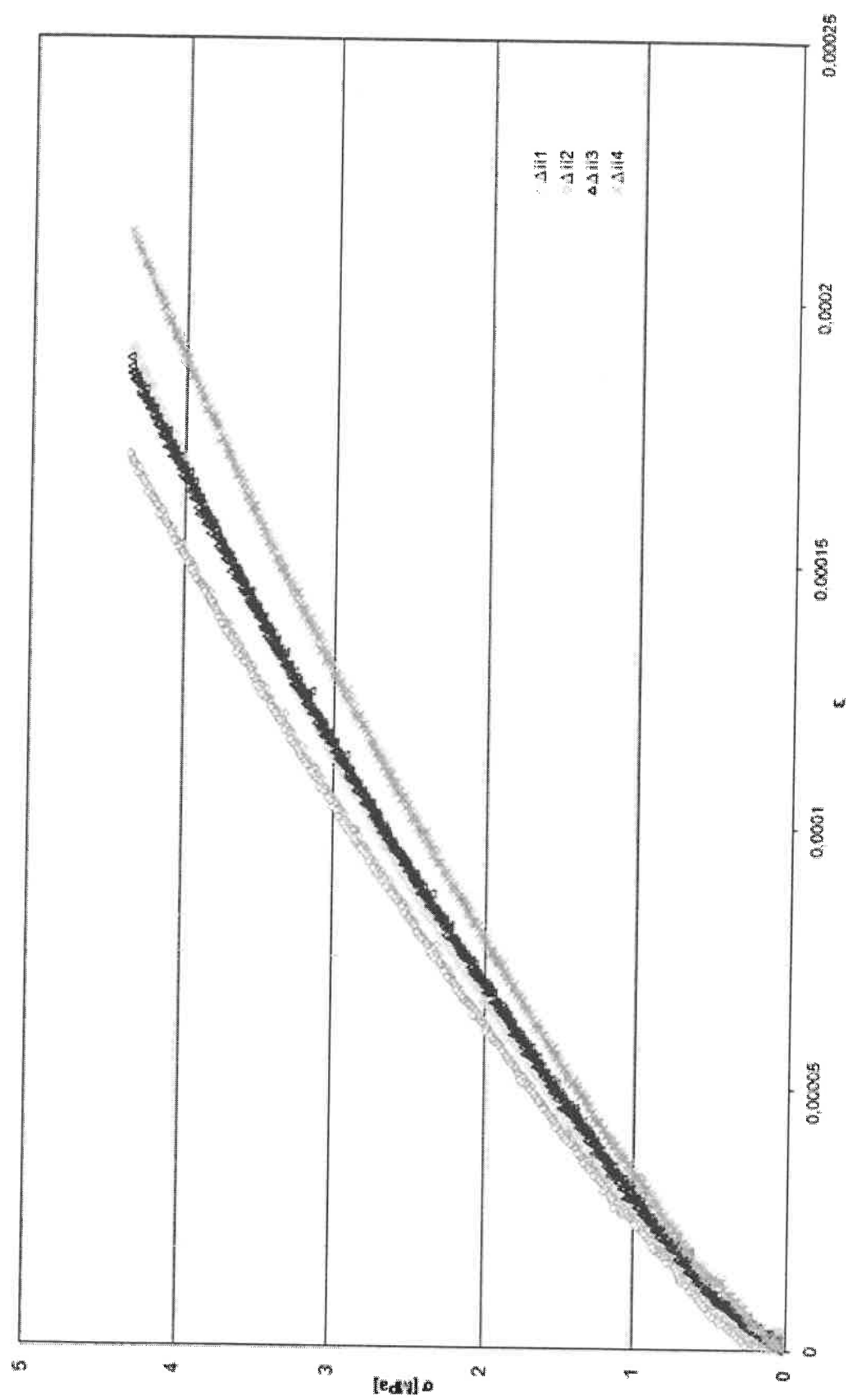
Σχήμα 3.3.15 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης μίγματος 50% θραυστό ΘΒ + 50% ασφαλτόμυγμα ΦΑ



Σχήμα 3.3.16 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε θλίψη (1/3 φορτίου θραύσεως) μίγματος αναλογίας 50% θραυστού ΘΒ + 50% ασφαλτομίγματος ΦΑ (Γ III)
(4 δοκίμια όπου σε κάθε ένα αντιστοιχεί ένα διάγραμμα σ-ε από το Μ.Ο των δύο μηχανοστομέτρων)

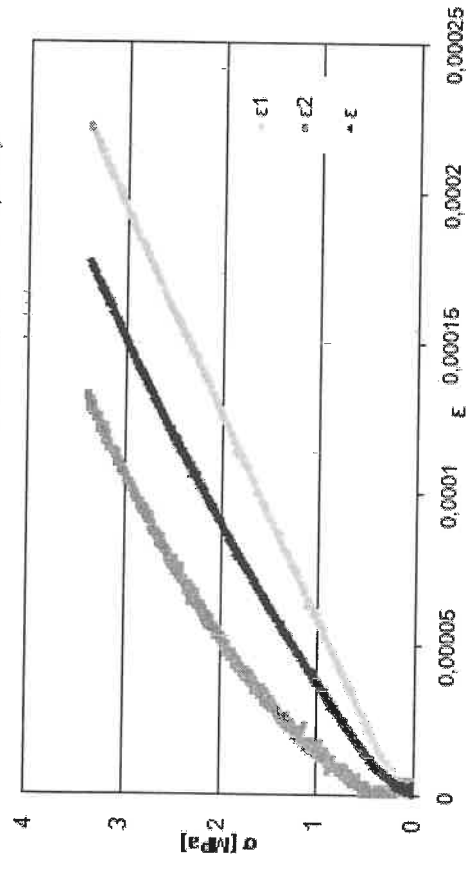


Σχήμα 3.3.17 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης μίγματος 75% θραυστό ΘΒ + 25% ασφαλτόμιγμα ΦΒ

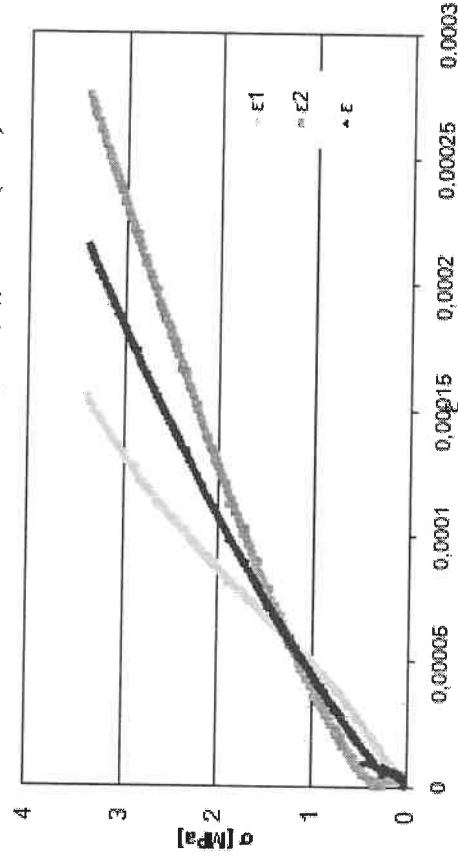


Σχήμα 3.3.18 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε θλίψη (1/3 φορτίου θραύσεως) μίγματος αναλογίας 75% θραυστού ΦΒ +25% ασφαλομίγματος ΦΒ (Δ11)
(4 δοκίμια όπου σε κάθε ένα αντιστοιχεί ένα διάγραμμα σ-ε από το Μ.Ο των δύο μηχανομετρών)

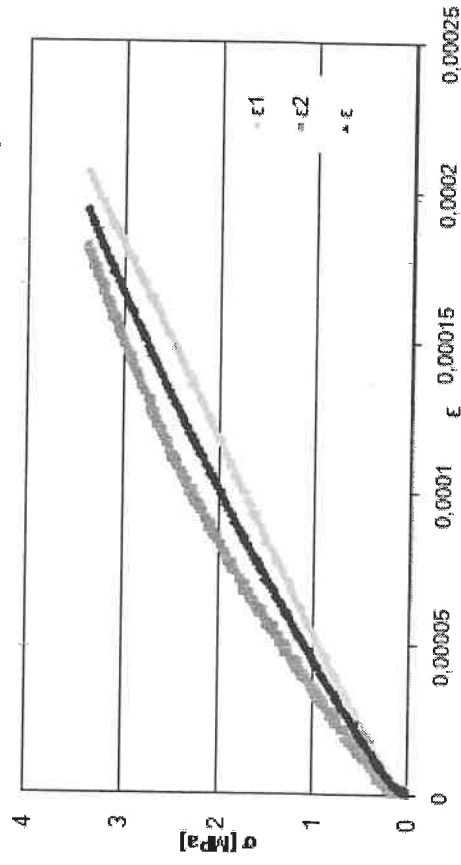
50% θραυστό ΘΒ + 50% ασφαλότυγμα ΦΒ (Δiii1)



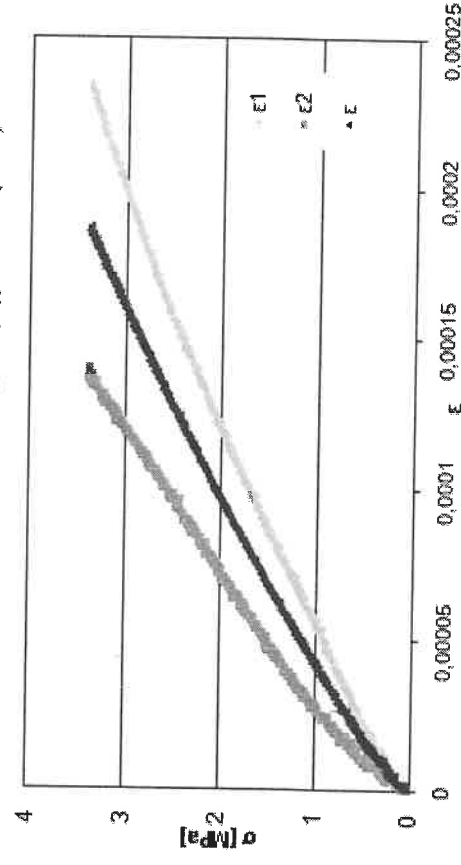
50% θραυστό ΘΒ + 50% ασφαλότυγμα ΦΒ (Δiii2)



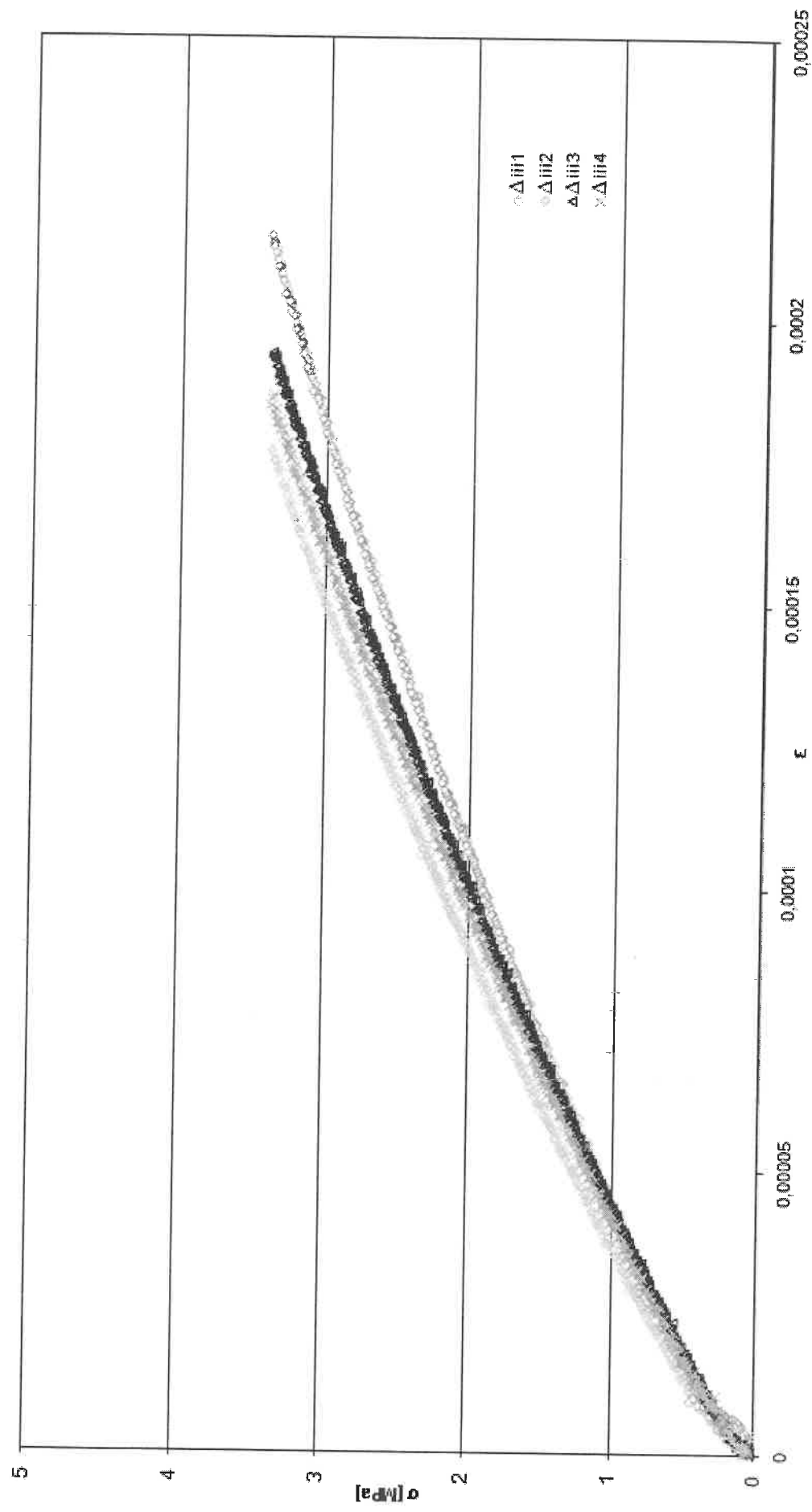
50% θραυστό ΘΒ + 50% ασφαλότυγμα ΦΒ (Δiii3)



50% θραυστό ΘΒ + 50% ασφαλότυγμα ΦΒ (Δiii4)

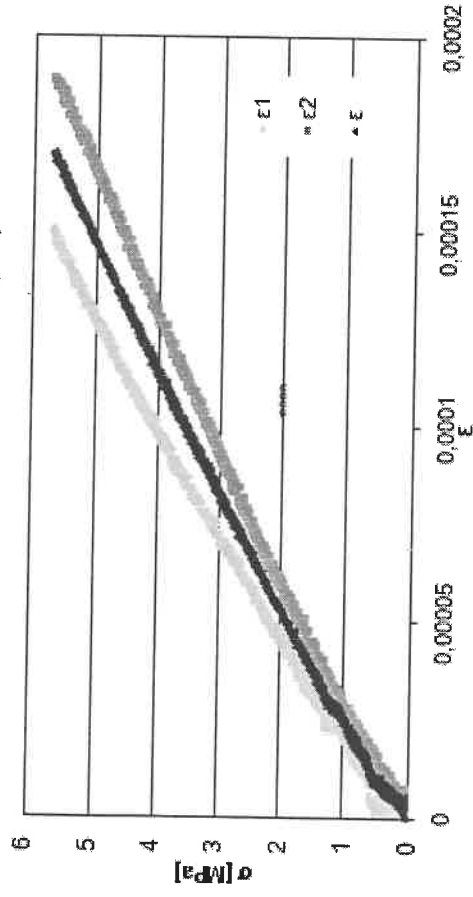


Σχήμα 3.3.19 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης μίγματος 50% θραυστό ΘΒ + 50% ασφαλότυγμα ΦΒ

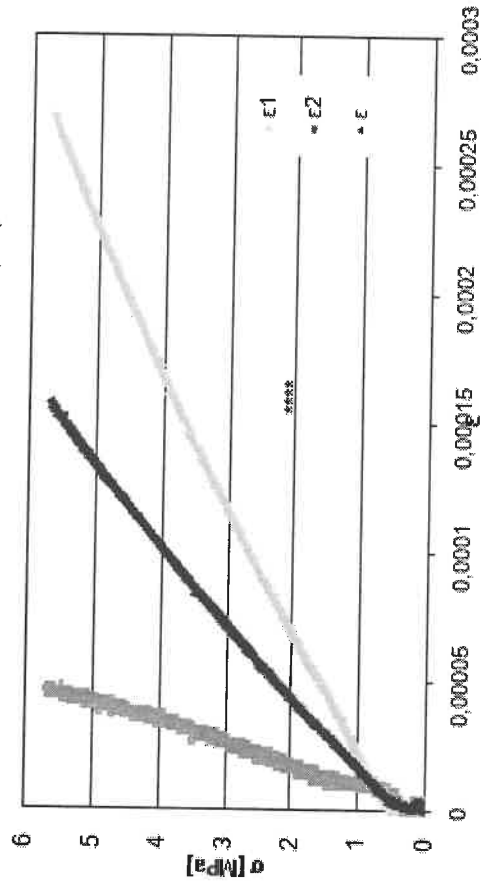


Σχήμα 3.3.20 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε θλίψη (1/3 φορτίου θραύσεως) μίγματος αναλογίας 50% θραυστού ΘΒ +50% ασφαλτομίγματος ΦΒ (4 δοκίμια, όπου σε κάθε ένα αντιστοιχεί ένα διάγραμμα σ-ε από το Μ.Ο των δύο μηχανοσιμέτρων)

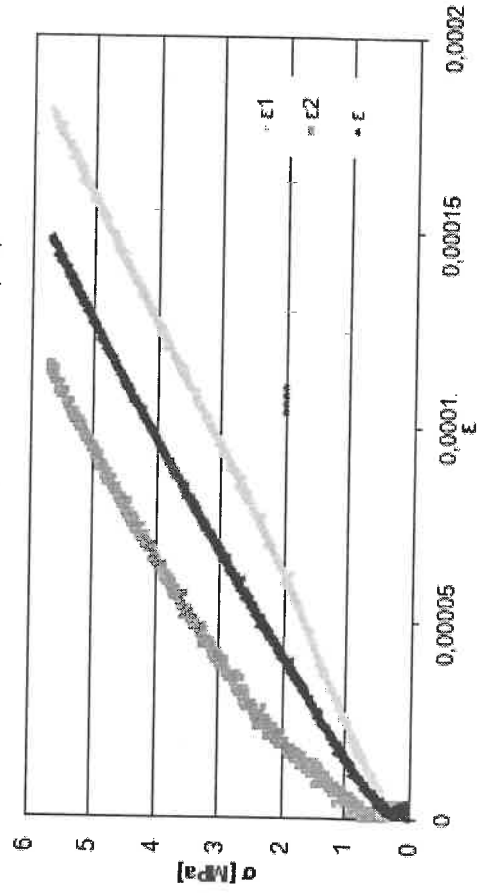
100% πλ. θραυστό πλ.ΘΑ (Ei1)



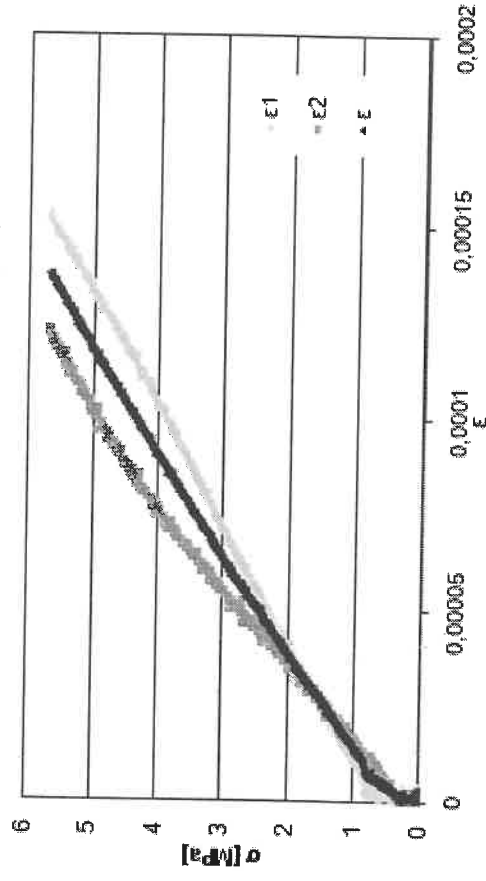
100% πλ. θραυστό πλ.ΘΑ (Ei2)



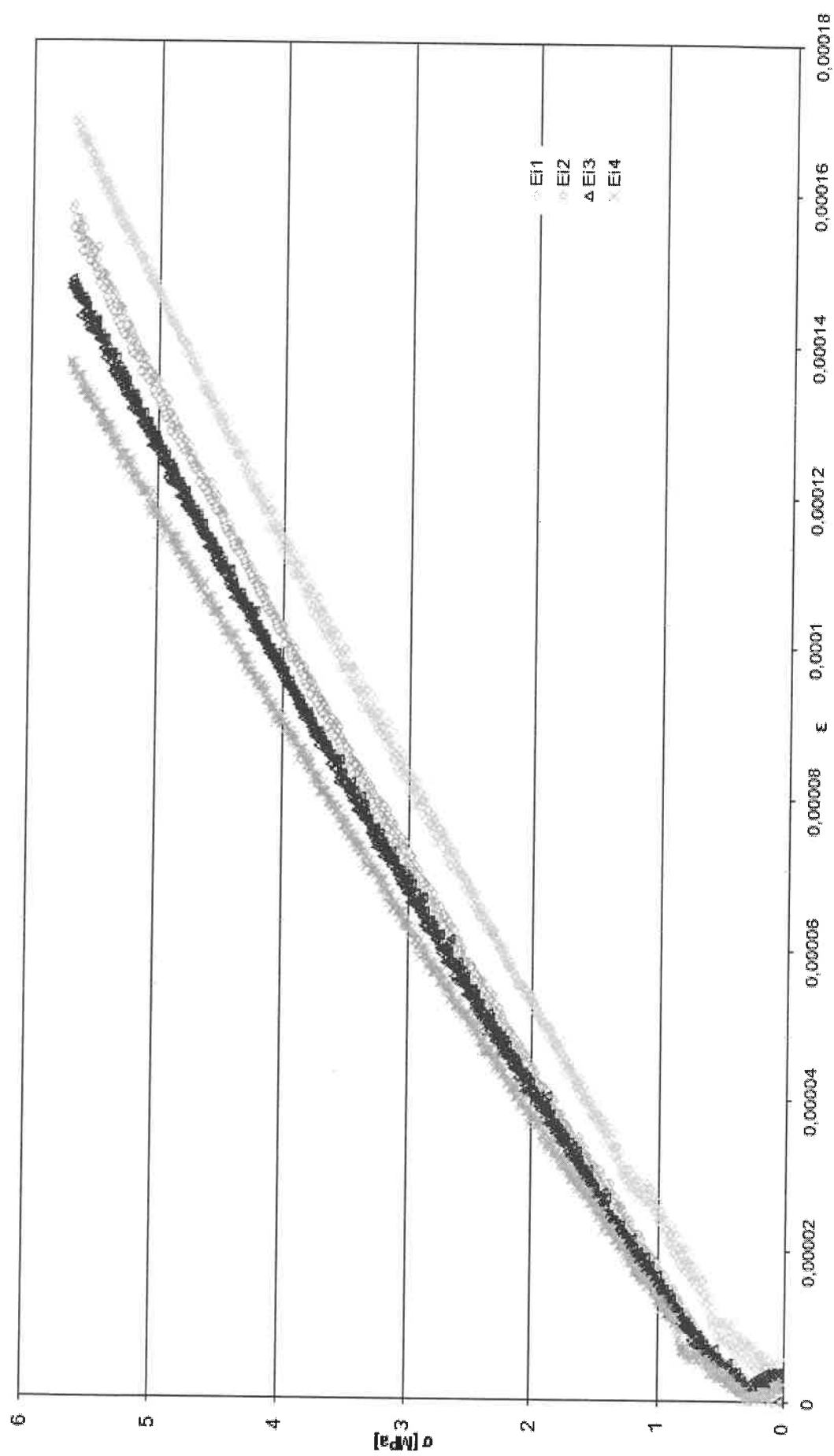
100% πλ. θραυστό πλ.ΘΑ (Ei3)



100% πλ. θραυστό πλ.ΘΑ (Ei4)

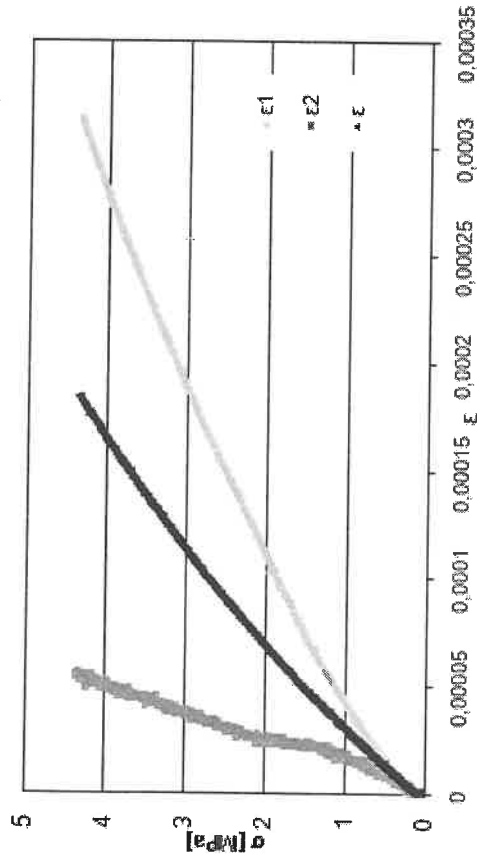


Σχήμα 3.3.21 Διάγραμμα τάσης - ανηγμένης παραμόρφωσης σε θλίψη μίγματος 100% πλυμένου θραυστού πλ. ΘΑ

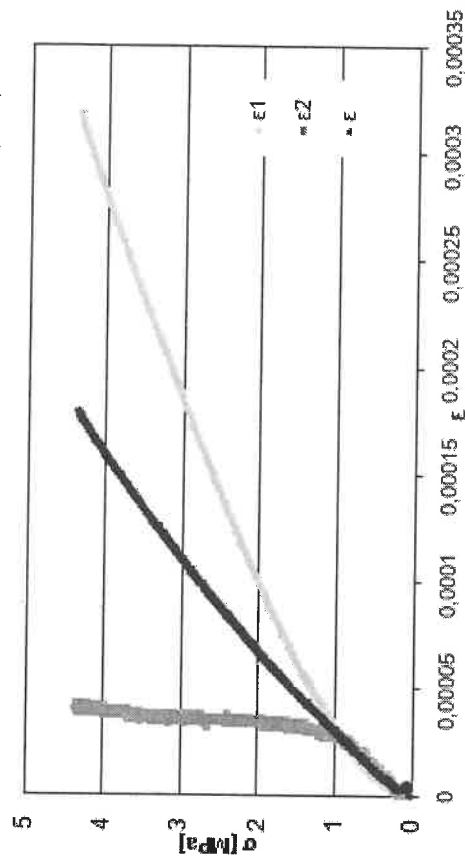


Σχήμα 3.3.22 Διάγραμμα τάσης-απηγμένης παραμόρφωσης σε θλίψη (1/3 φορτίου θραύσεως) μίγματος αναλογίας 100% πλυμένου θραυστού πλ ΘΑ (4 δοκίμια όπου σε κάθε ένα αντιστοιχεί ένα διάγραμμα σ-ε από το Μ.Ο των δύο μηκηρισιομέτρων)

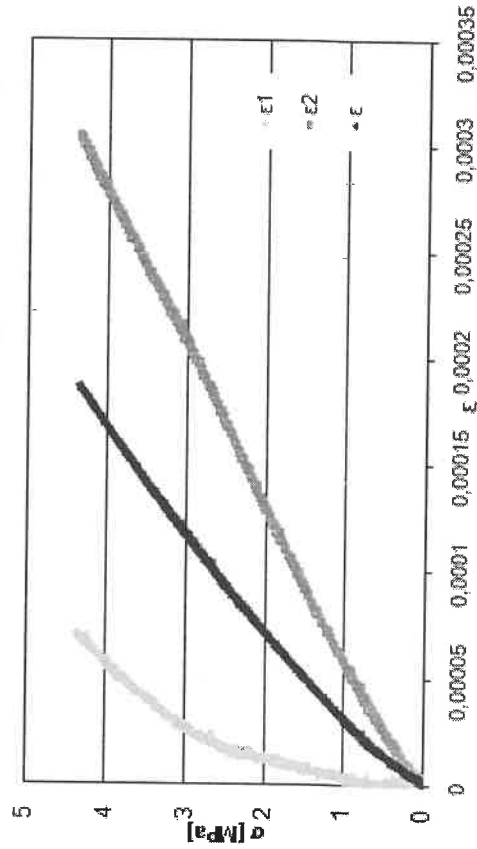
75% πλ. θραυστό πλΘΑ + 25% ασφαλτόμγμα φΑ (Eii1)



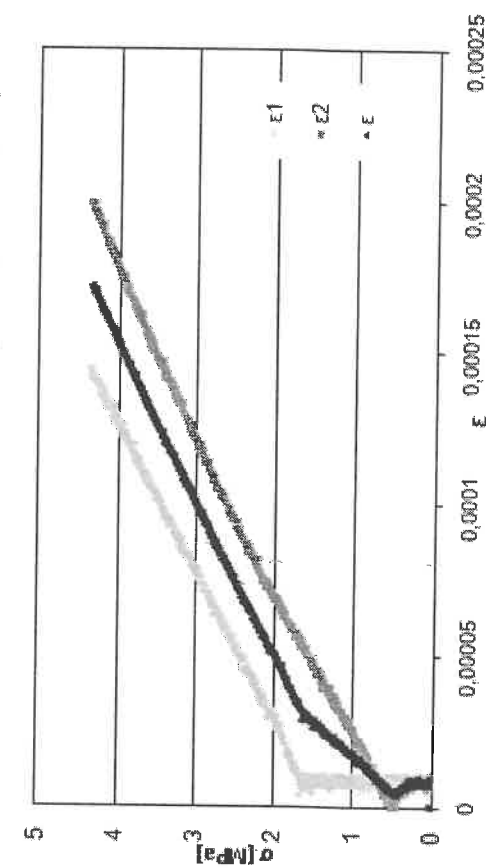
75% πλ. θραυστό πλΘΑ + 25% ασφαλτόμγμα ΦΑ (Eii2)



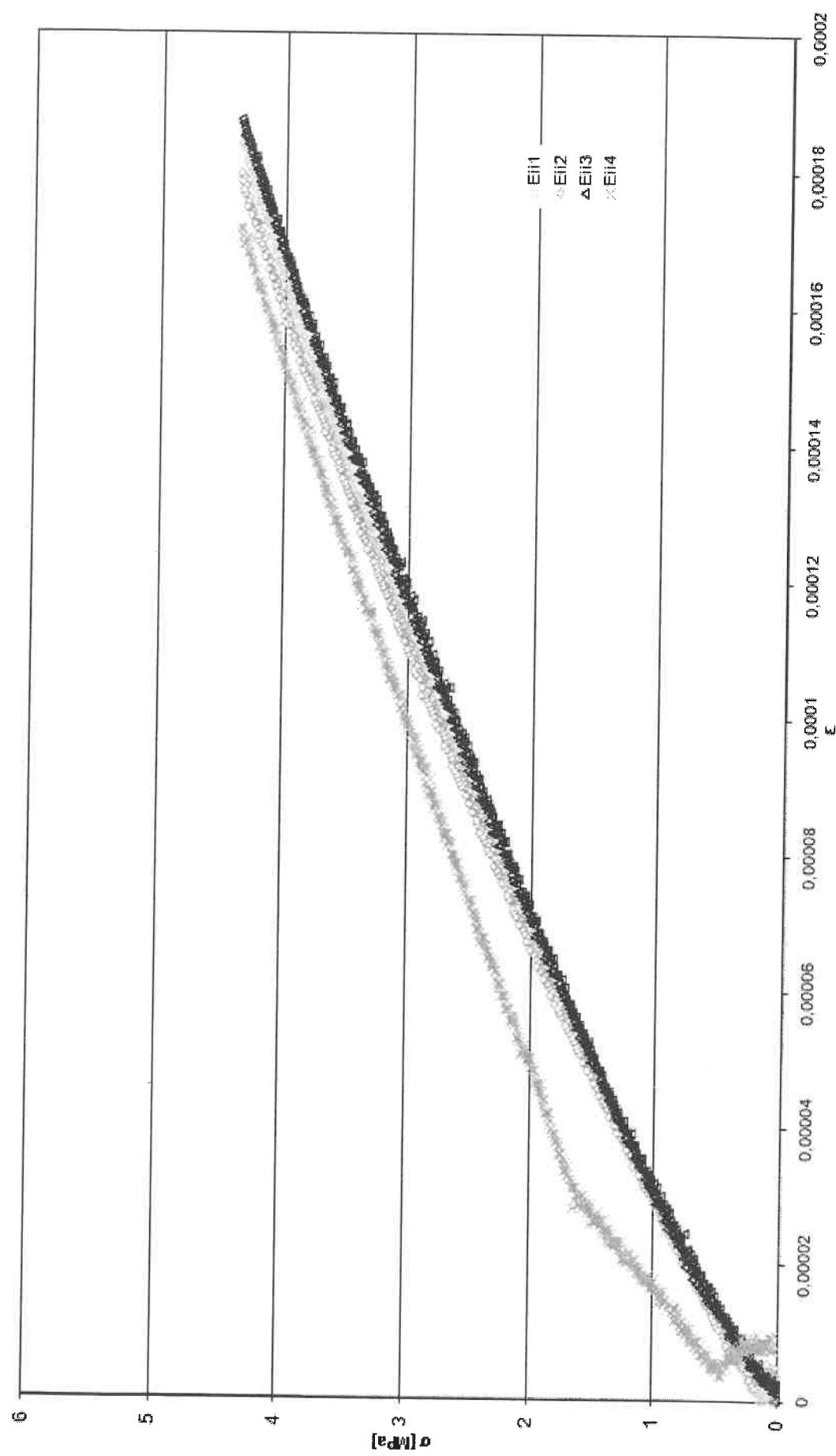
75% πλ. θραυστό πλΘΑ + 25% ασφαλτόμγμα ΦΑ (Eii3)



75% πλ. θραυστό πλΘΑ + 25% ασφαλτόμγμα ΦΑ (Eii4)

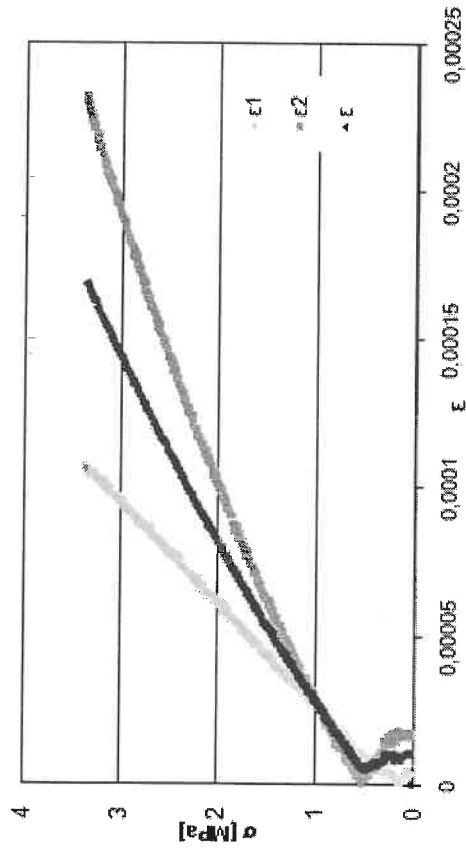


Σχήμα 3.3.23 Διάγραμμα τάσης - ανηγμένης παραμόρφωσης μίγματος 75% πλυμένου θραυστού πλΘΑ + 25% ασφαλτόμματος ΦΑ

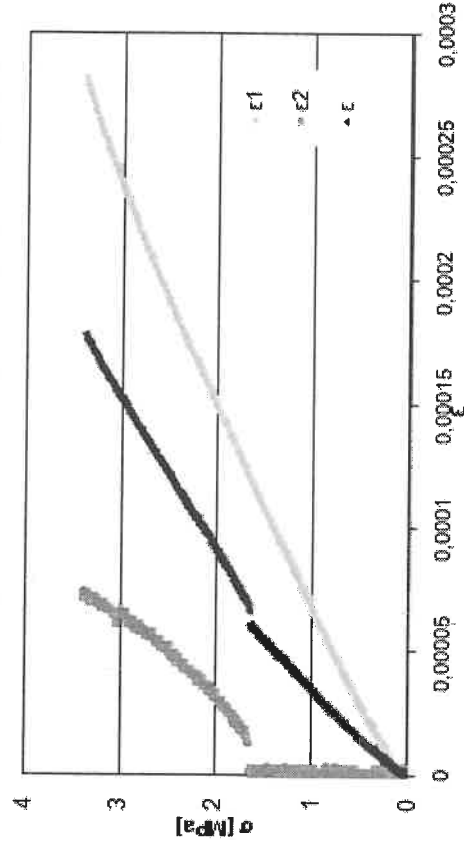


Σχήμα 3.3.24 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε θλίψη (1/3 φορτίου θραύσεως) μίγματος αναλογίας 75% πλυμένου θραυστού πλ ΘΑ +25% ασφαλομίγματος ΦΑ (Eii)
(4 δοκίμια όπου σε κάθε ένα αντιστοιχεί ένα διάγραμμα σ-ε από το Μ.Ο των δύο μηκηνοσιμέτρων)

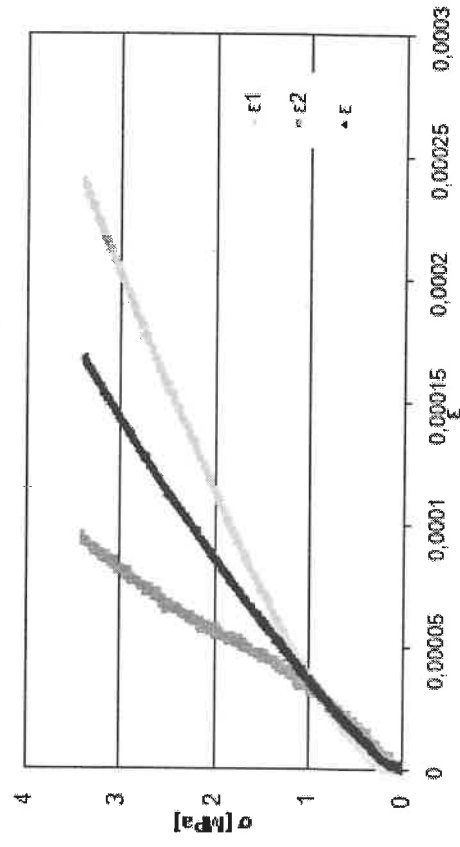
50% πλ. θραυστό πλΘΑ + 50% ασφαλτόμγμα ΦΑ (Eiii1)



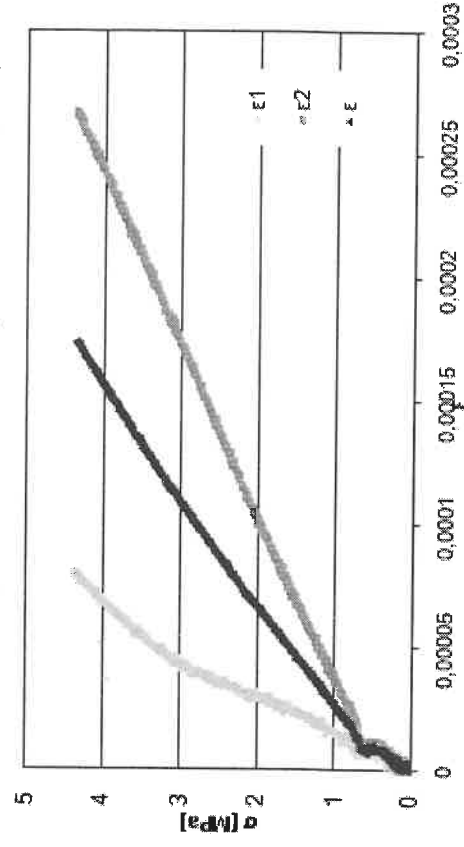
50% πλ. θραυστό πλΘΑ + 50% ασφαλτόμγμα ΦΑ (Eiii2)



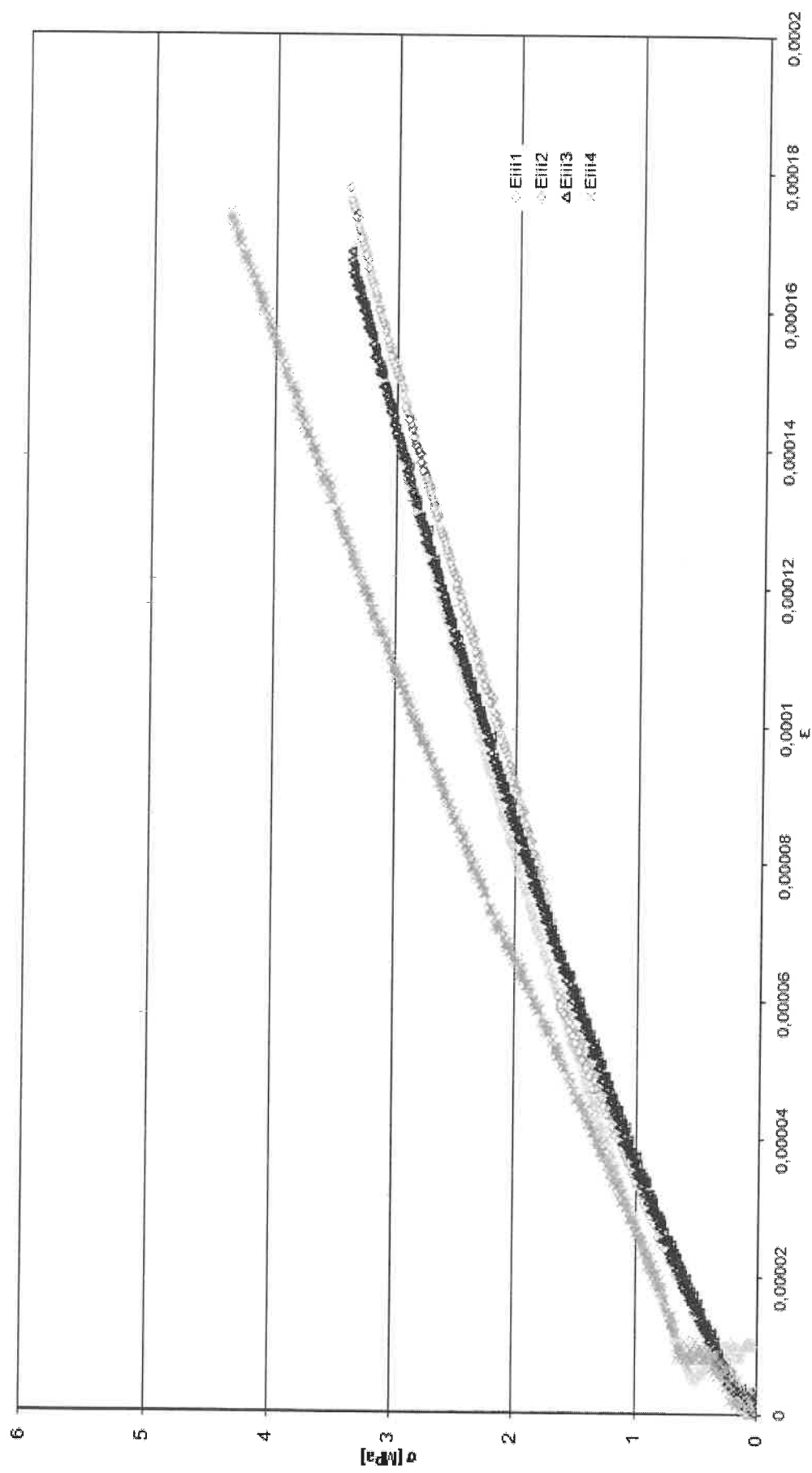
50% πλ. θραυστό πλΘΑ + 50% ασφαλτόμγμα ΦΑ (Eiii3)



50% πλ. θραυστό πλΘΑ + 50% ασφαλτόμγμα ΦΑ (Eiii4)

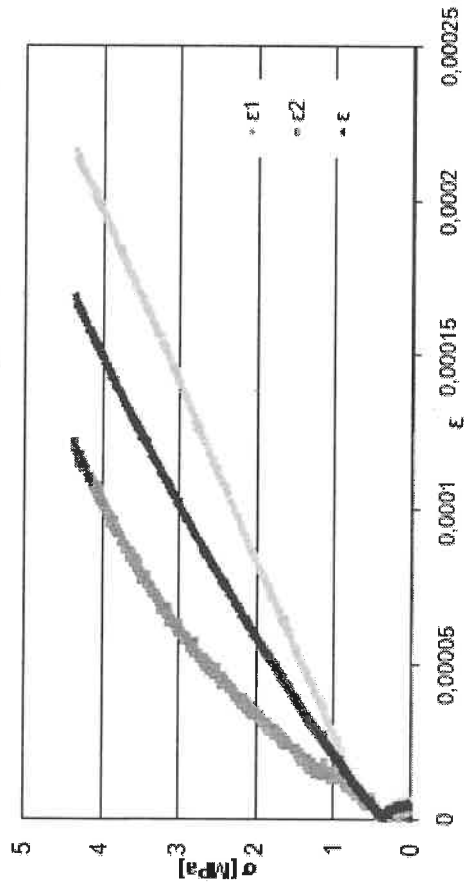


Σχήμα 3.3.25 Διάγραμμα τάσης - ανηγμένης παραμόρφωσης μίγματος 50% πλυμένου θραυστού πλ ΘΑ + 50% ασφαλτομίγματος ΦΑ

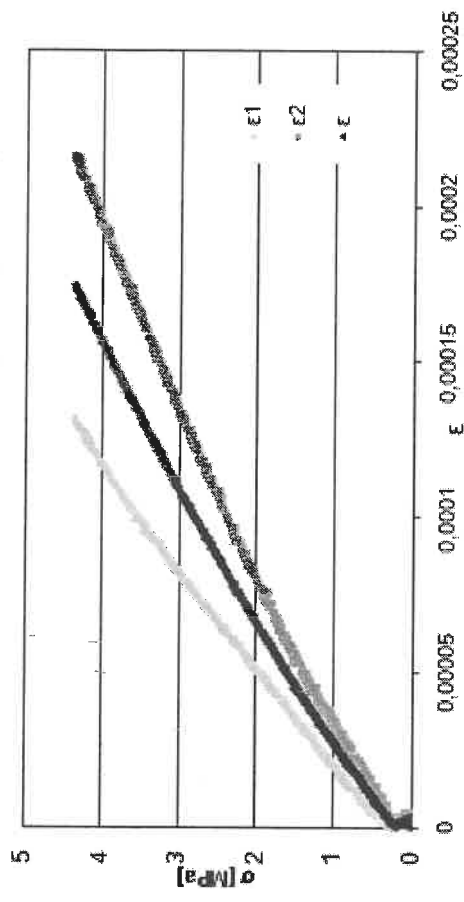


Σχήμα 3.3.26 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε θλίψη (1/3 φορτίου θραύσεως) μύγματος αναλογίας 50% πλυμένου θραυστού πλ. ΘΑ +50% ασφαλισμένου ΦΑ (EIII)
(4 δοκίμια όπου σε κάθε ένα αντιστοιχεί ένα διάγραμμα σ-ε από το Μ.Ο των δύο μηκησιόμετρων)

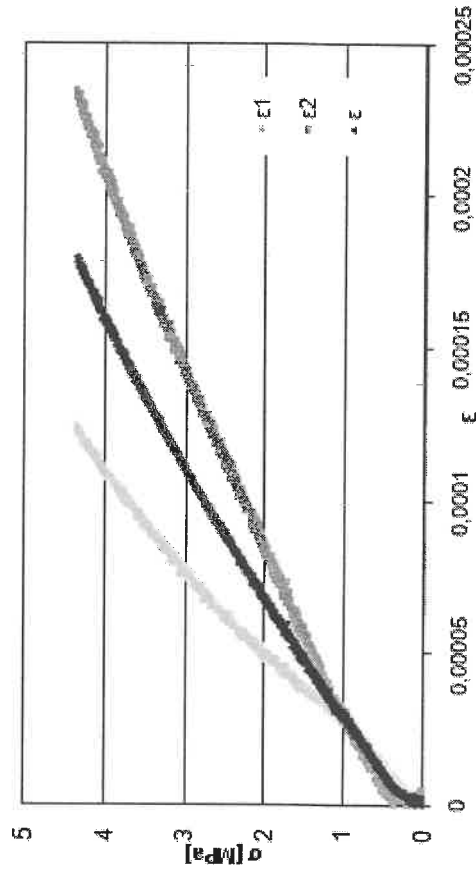
75% πλ. θραυστό πλΘΑ + 25% ασφαλτόμγμα ΦΒ (ΣΤΗ1)



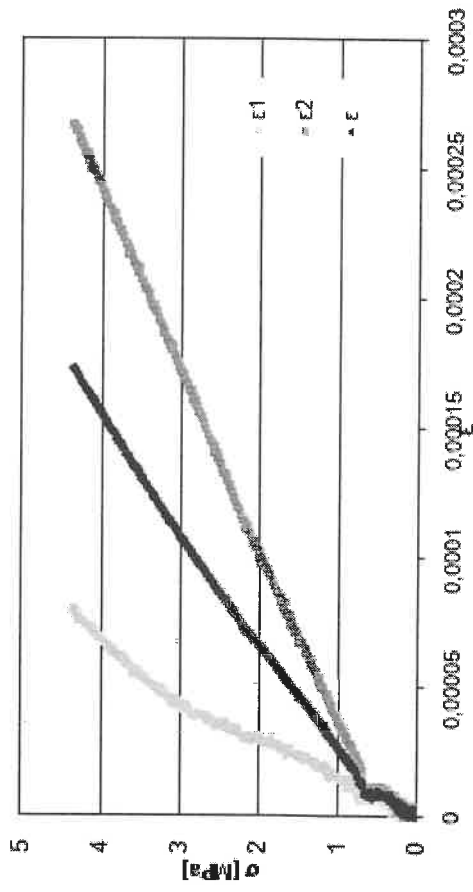
75% πλ. θραυστό πλΘΑ + 25% ασφαλτόμγμα ΦΒ (ΣΤΗ2)



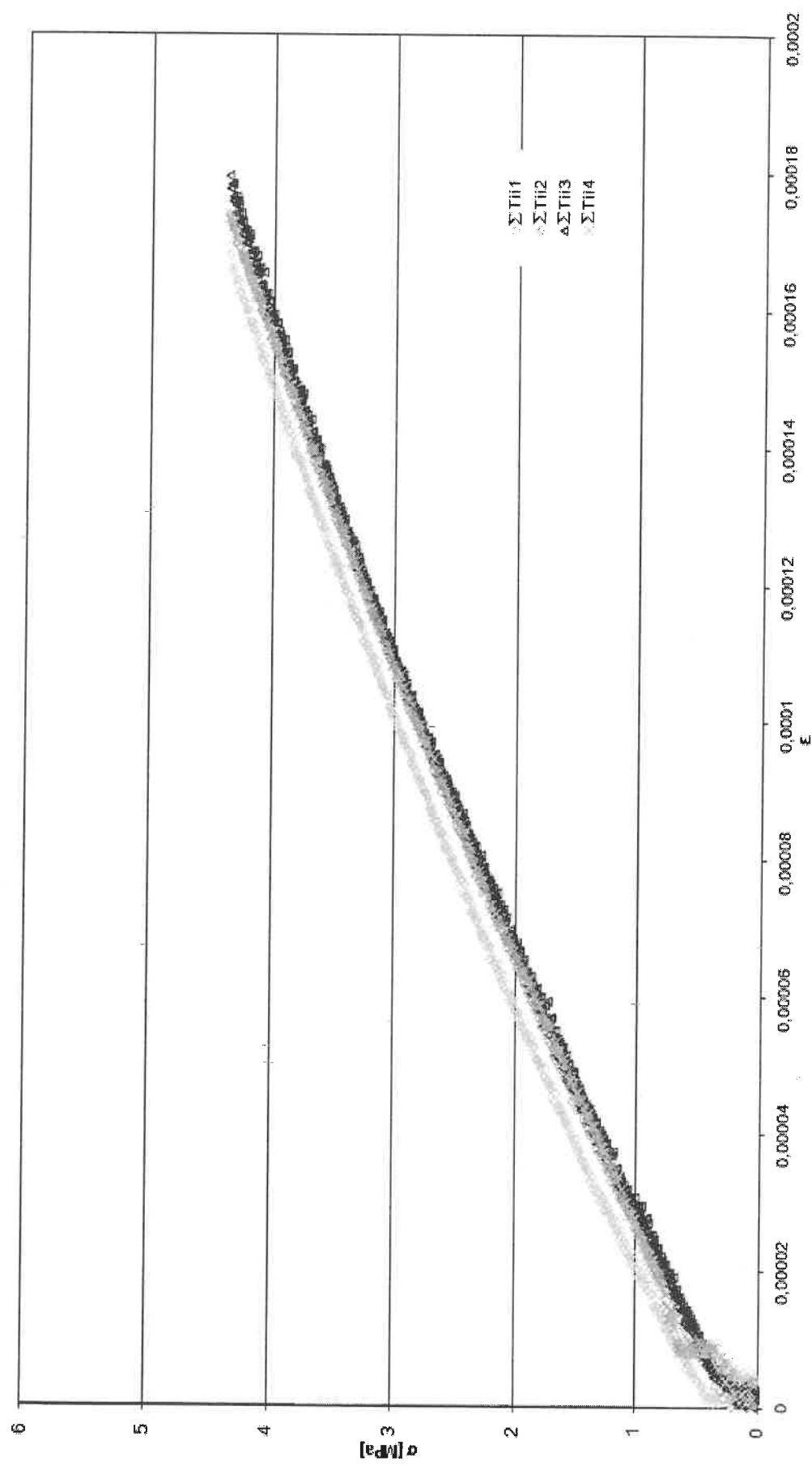
75% πλ. θραυστό πλΘΑ + 25% ασφαλτόμγμα ΦΒ (ΣΤΗ3)



75% πλ. θραυστό πλΘΑ + 25% ασφαλτόμγμα ΦΒ (ΣΤΗ4)

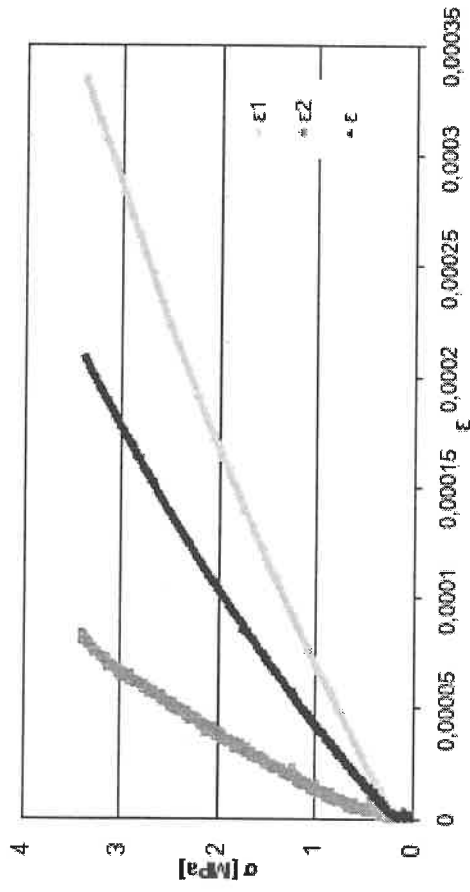


Σχήμα 3.3.27 Διάγραμμα τάσης - ανηγμένης παραμόρφωσης μίγματος 75% πλυμένου θραυστού πλΘΑ + 25% ασφαλτομίγματος ΦΒ

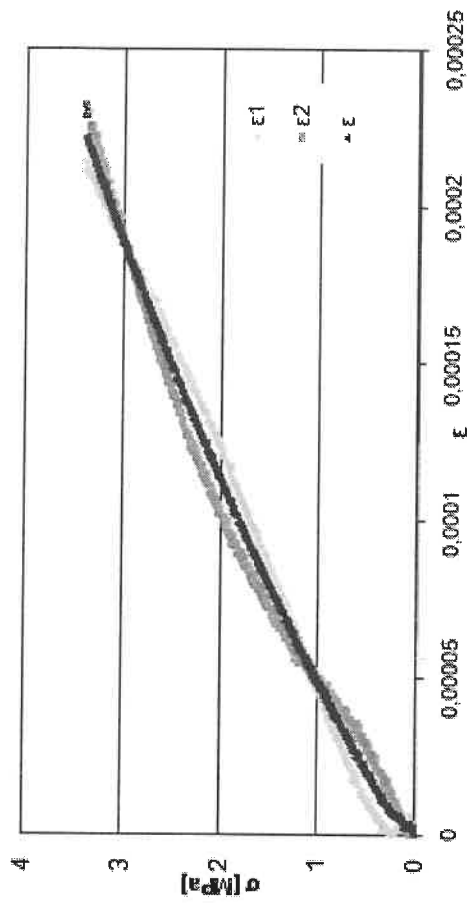


Σχήμα 3.3.28 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε θλίψη (1/3 φορτίου θραύσεως) μίγματος αναλογίας 75% πλυμένου θραυστού πλΘΑ +25% ασφαλομίγματος ΦΑ (ΣΤii)
(4 δοκίμια όλων σε κάθε ένα αντιστοιχεί ένα διάγραμμα σ-ε από το Μ.Ο των δύο μηχανιστομέτρων)

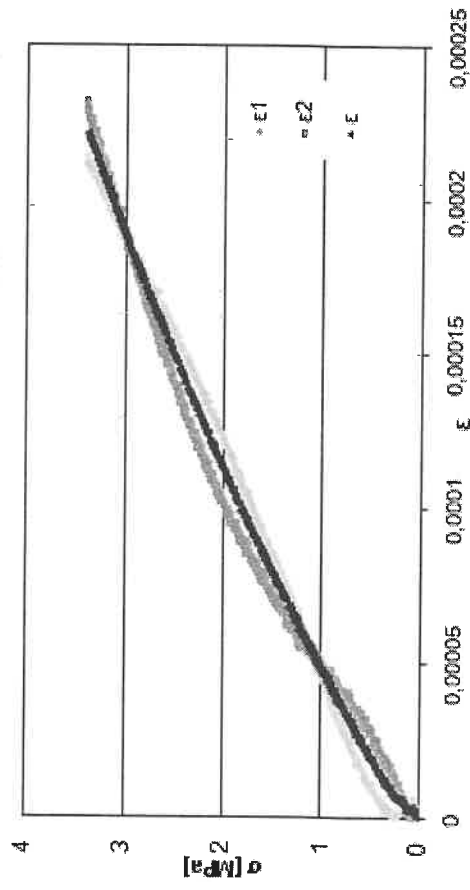
50% πλ. θραυστό πλΘΑ + 50% ασφαλτόμγμα ΦΒ (ΣΤΙΙΙ1)



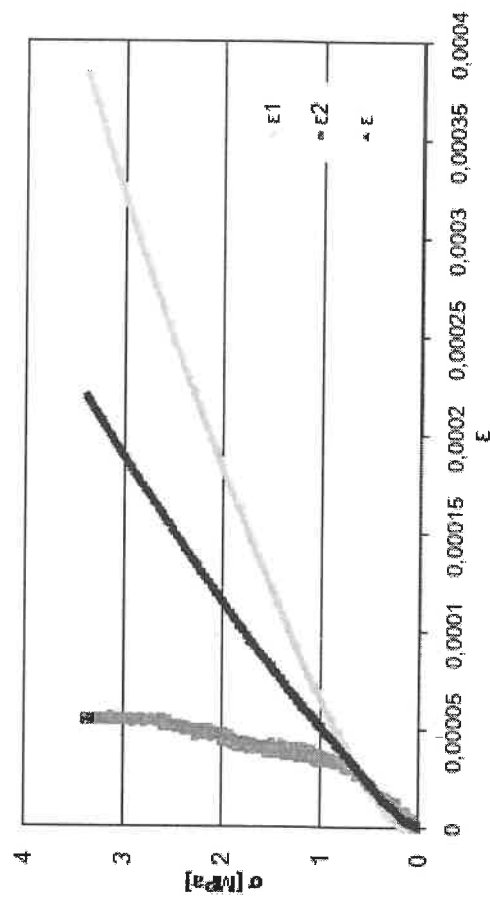
50% πλ. θραυστό πλΘΑ + 50% ασφαλτόμγμα ΦΒ (ΣΤΙΙΙ2)



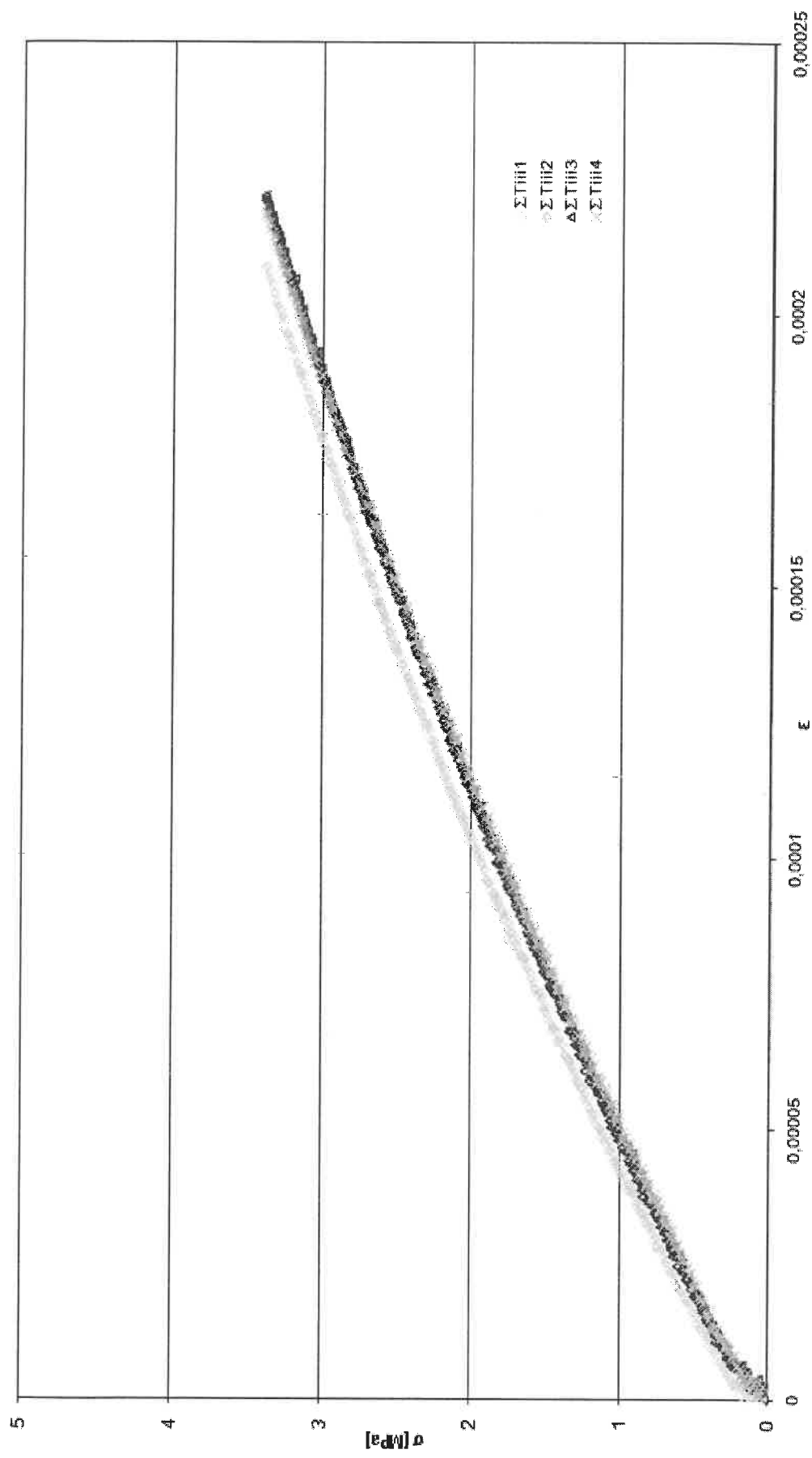
50% πλ. θραυστό πλΘΑ + 50% ασφαλτόμγμα ΦΒ (ΣΤΙΙΙ3)



50% πλ. θραυστό πλΘΑ + 50% ασφαλτόμγμα ΦΒ (ΣΤΙΙΙ4)



Σχήμα 3.3.29 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης μίγματος 50% πλυμένου θραυστού πλΘΑ + 50% ασφαλτόμματος ΦΒ



Σχήμα 3.3.30 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης σε θλίψη (1/3 φορτίου θραύσεως) μίγματος αναλογίας 50% πλυμένου θραυστού πλ ΘΑ +50% ασφαλομίγματος ΦΒ (ΣΤΙΙΙ) (4 δοκίμια όπου σε κάθε ένα αντιστοιχεί ένα διάγραμμα σ-ε από το Μ.Ο των δύο μηχανισιομέτρων)

3.4 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

	ΔΙΓΜΑ	$\sigma_{\text{σπλ}}$ εφελκυσμός [MPa]	$\sigma_{\text{ισοδ. Κύβου}}$ ισοδ. Κύβου [MPa]	E εσφυλιτισμός	E θλίψη
100 %Θ.A	A i	1.8	22.7	32470	23553
75%Θ.A+25%Φ.A	A ii	1.7	16.8	21281	20853
50%Θ.A+50%Φ.A	A iii	1.7	13.5	14478	15638
75%Θ.A+25%Φ.B	B ii	1.8	16.7	16461	17167
50%Θ.A+50%Φ.B	B iii	1.2	12.6	14705	15980
100 %Θ.B	Γ i	2.6	24	38986	36014
75%Θ.B+25%Φ.A	Γ ii	1.8	17.8	22536	23050
50%Θ.B+50%Φ.A	Γ iii	1.7	14	16007	18232
75%Θ.B+25%Φ.B	Δ ii	1.9	18	20413	23131
50%Θ.B+50%Φ.B	Δ iii	1.7	14.2	16059	17726
100 %πλ.Θ.A	E i	2.4	27.4	41865	38803
75% πλ.Θ.A+25%Φ.A	E ii	1.9	17.7	24257	24201
50%πλ.Θ.A+50% Φ.A	E iii	1.9	14.5	16789	19856
75%πλ.Θ.A+25%Φ.B	ΣΤ ii	1.9	17.4	24826	25134
50%πλ.Θ.A+50% Φ.B	ΣΤ iii	1.8	13.7	16283	17826

Πίνακας 3.4.1 Μέσος όρος τιμών αντοχής και μέτρου ελαστικότητας για κάθε μίγμα και κάθε αναλογία θραυστού-φρεζαρισμένου υλικού

100 %Θ.A	A i	0.07929515
75% Θ.A+25% Φ.A	A ii	0.10119048
50% Θ.A+50% Φ.A	A iii	0.125
75% Θ.A+25% Φ.B	B ii	0.10778443
50% Θ.A+50% Φ.B	B iii	0.09448819
100 %Θ.B	Γ i	0.10833333
75% Θ.B+25% Φ.A	Γ ii	0.1
50% Θ.B+50% Φ.A	Γ iii	0.12142857
75% Θ.B+25% Φ.B	Δ ii	0.10555556
50% Θ.B+50% Φ.B	Δ iii	0.11971831
100 % πλ.Θ.A	E i	0.08759124
75% πλ.Θ.A+25% Φ.A	E ii	0.10734463
50%πλ.Θ.A+50% Φ.A	E iii	0.13013699
75%πλ.Θ.A+25% Φ.B	ΣΤ ii	0.1091954
50%πλ.Θ.A+50% Φ.B	ΣΤ iii	0.13138686

Πίνακας 3.4.2 Λόγος αντοχής σε εφελκυσμό προς αντοχή σε θλίψη

	Αντοχή σε εφελκυσμό [MPa]	Αντοχή σε θλίψη ισοδ. Κύβου [MPa]	Μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό [MPa]	Μέτρο ελαστικότητας σε θλίψη ισοδ. Κύβου [MPa]
0% ΦΡΕΖΑΡΙΣΜΕΝΟ				
Θ.Α - Θ.Β	1,8-2,6 44,50%	22,7-24 5,70%	32500-39000 23,50%	23600-36000 52,50%
Θ.Α -πλ.Θ.Α	1,8-2,4 33,30%	22,7-27,4 20,70%	32400-41900 29,30%	23600-38900 64,80%
πλ.Θ.Α -Θ.Β	2,4-2,6 8,30%	27,4-24 14,20%	41900-39000 -4,80%	38900-36000 -14,30%
25% ΦΡΕΖΑΡΙΣΜΕΝΟ Α				
Θ.Α - Θ.Β	1,7-1,8 5,90%	16,8-18 7,10%	21300-20500 -1,40%	20900-25100 19,60%
Θ.Α -πλ.Θ.Α	1,7-1,9 11,80%	16,8-17,7 5,30%	21300-24300 14,10%	20900-24200 15,80%
πλ.Θ.Α -Θ.Β	1,9-1,8 -5,20%	17,7-18 1,70%	24300-20500 -13,60%	24200-25100 3,30%
50% ΦΡΕΖΑΡΙΣΜΕΝΟ Α				
Θ.Α - Θ.Β	1,7-1,7 0	13,6-14 2,90%	14500-16100 10,30%	15600-18200 16,70%
Θ.Α -πλ.Θ.Α	1,7-1,9 11,80%	13,6-14,6 7,90%	14500-16800 15,90%	15600-19900 27,60%
πλ.Θ.Α -Θ.Β	1,9-1,7 10,50%	14,6-14 4,20%	16800-16100 -4,80%	19900-18200 -8,50%
25% ΦΡΕΖΑΡΙΣΜΕΝΟ Β				
Θ.Α - Θ.Β	1,8-1,9 5,60%	16,7-18 7,20%	16500-20400 24,40%	16000-23100 44,40%
Θ.Α -πλ.Θ.Α	1,8-1,9 5,60%	18-17,4 -3,30%	16500-24800 51,20%	16000-25100 56,90%
πλ.Θ.Α -Θ.Β	1,9-1,9 0	17,4-16,7 -4%	24800-20400 -17%	25100-23100 -8%
50% ΦΡΕΖΑΡΙΣΜΕΝΟ Β				
Θ.Α - Θ.Β	1,2-1,7 41,70%	12,7-14,3 12,60%	14700-16100 8,80%	17200-17700 2,90%
Θ.Α -πλ.Θ.Α	1,2-1,8 50%	12,7-13,7 7,90%	14700-16300 8,20%	17200-15600 -7,00%
πλ.Θ.Α -Θ.Β	1,8-1,7 5,50%	13,7-14,3 4,30%	16300-16000 5,90%	15600-17700 10,6

Πίνακας 3.4.3

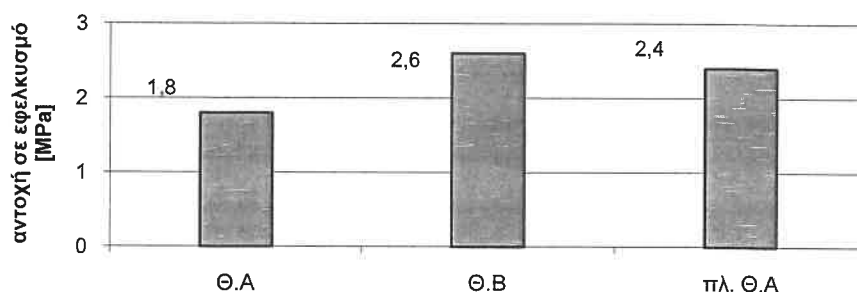
Διαφορά μέσου όρου τιμών αντοχής και μέτρου ελαστικότητας σε εφελκυσμό και θλίψη σε ισοδ. Κύβο αντιστοίχως μεταξύ των θραυστών ΘΑ, ΘΒ και πλ.ΘΑ ανάλογα με το ποσοστό φρεζαρισμένου ΦΑ και ΦΒ (η διαφορά εκφράζει την αύξηση από το ένα υλικό στο άλλο γι αυτό και υπολογίστηκαν διαιρώντας με την πρώτη τιμή που θεωρείται κατά κανόνα μικρότερη).

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

4.1 Σύγκριση ποιότητας μιγμάτων θραυστών υλικών

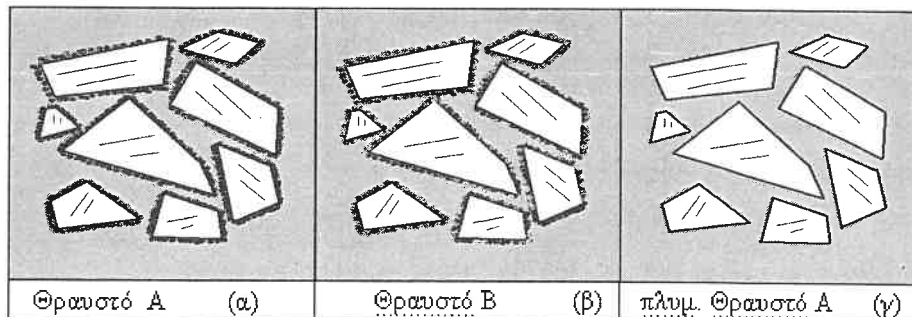
α) Δοκιμή σε εφελκυσμό

Από τον πίνακα 3.1.1 συγκρίνοντας την αντοχή σε εφελκυσμό μίγματος θραυστών αδρανών, χωρίς την χρήση φρεζαρισμένου ασφαλικού υλικού, παρατηρείται μια αισθητή πτώση εάν χρησιμοποιήσουμε το θραυστό ΘΑ αντί του θραυστού ΘΒ. Αντίθετα διαπιστώνεται μια μεγάλη αύξηση της αντοχής όταν το ίδιο θραυστό Α πλυθεί, αύξηση που φτάνει στα όρια του θραυστού ΘΒ. (Σχήμα 4.1.1)



Σχήμα 4.1.1 Αντοχή σε εφελκυσμό των τριών μιγμάτων 100% θραυστού ΘΑ, ΘΒ και πλυμ ΘΑ. αντιστοίχως

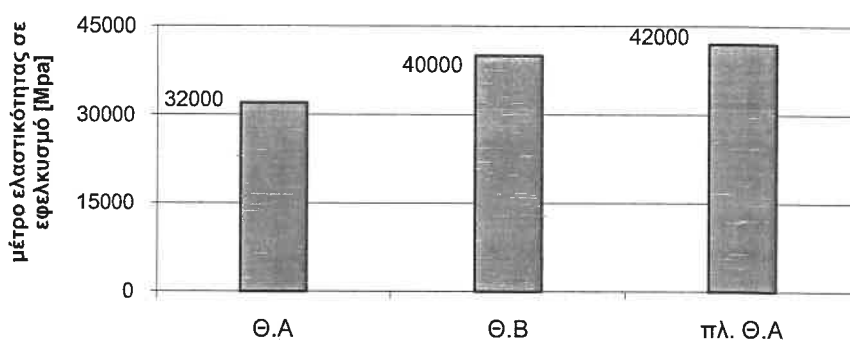
Όπως φαίνεται από τον πίνακα 2.5.2 και από τις κοκκομετρικές καμπύλες (Σχήμα 2.1.1), το θραυστό ΘΑ έχει παιπάλη σε ποσοστό 13.2% του βάρους του ενώ το θραυστό ΘΒ 3%. Αυτός είναι και ο βασικότερος λόγος στον οποίο αποδίδονται τα παραπάνω αποτελέσματα. Πιστεύεται ότι η επικαθήμενη παιπάλη γύρω από τα αδρανή του ΘΑ μειώνει την αντοχή συνάφειας στη διεπιφάνεια του χονδρόκοκκου αδρανούς και του τσιμεντοπολτού κάνοντας πιο εύκολη την αποκόλληση κατά την εφελκυστική φόρτιση. (Σχήμα 4.1.2.α.)



Σχήμα 4.1.2 Λειτουργία παιπάλης κατά τον εφελκυσμό

Αυτό επιβεβαιώνεται από το γεγονός , όταν πλένεται το θραυστό ΘΑ, η απουσία παιπάλης στην επιφάνεια των αδρανών επιτρέπει την καλύτερη σύνδεσή τους με τον τσιμεντοπολτό, οπότε και ενισχύονται οι δυνάμεις συνάφειας , με αποτέλεσμα την αύξηση της αντοχής σε εφελκυσμό, η οποία πλησιάζει εκείνη του χονδρόκοκκου θραυστού ΘΒ. (Σχήμα 4.1.2.γ.)

Ανάλογα αποτελέσματα προκύπτουν και από τις τιμές στον πίνακα 3.1.1 όσον αφορά το μέτρο ελαστικότητας των ίδιων δοκιμών κατά τον εφελκυσμό (Σχήμα 4.1.3)



Σχήμα 4.1.3 Μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό των τριών μιγμάτων 100% θραυστού ΘΑ, ΘΒ και πλυμ ΘΑ. αντιστοίχως

Παρατηρείται μια αύξηση κατά 25% μεταβαίνοντας από το θραυστό ΘΑ στο ΘΒ , ενώ ανάλογη αύξηση , περίπου 31%, σημειώνεται μεταξύ του ΘΑ και όταν αυτό πλυθεί. Σε αντίστοιχη σύγκριση μεταξύ του θραυστού ΘΒ και του πλυμένου πλΘΑ παρατηρείται ελάχιστη διαφορά 4,8% που εντάσσεται στο πλαίσιο του πειραματικού σφάλματος.

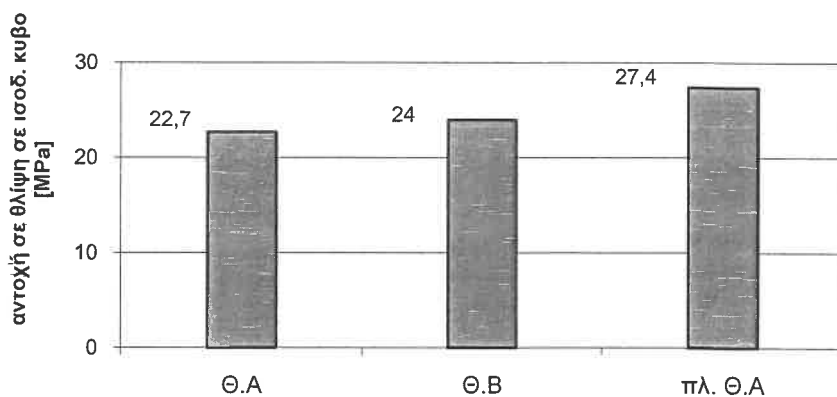
Το φαινόμενο αυτό μπορεί επίσης να αποδοθεί στην ύπαρξη παιπάλης. Η τελευταία στο μίγμα με θραυστό ΘΑ περιβάλλει την επιφάνεια των μεγάλων κόκκων και μειώνει τη συνάφεια επιτρέποντας μεγαλύτερες παραμορφώσεις με συνέπεια να ελαττώνεται το μέτρο ελαστικότητας κατά τον εφελκυσμό.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι ο έλεγχος γενικά σε εφελκυσμό είναι από τις δυσκολότερες εργαστηριακές δοκιμές (δεν έχει άλλωστε τυποποιηθεί η δοκιμή) και παρουσιάζει σημαντική διασπορά αποτελεσμάτων. Το γεγονός αυτό θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη στη σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Για την πληρέστερη μελέτη των μηχανικών χαρακτηριστικών των μιγμάτων αυτών, κρίνεται απαραίτητη η δοκιμή σε θλίψη σε ισοδύναμο κύβο για τον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής.

β)Δοκιμή σε θλίψη

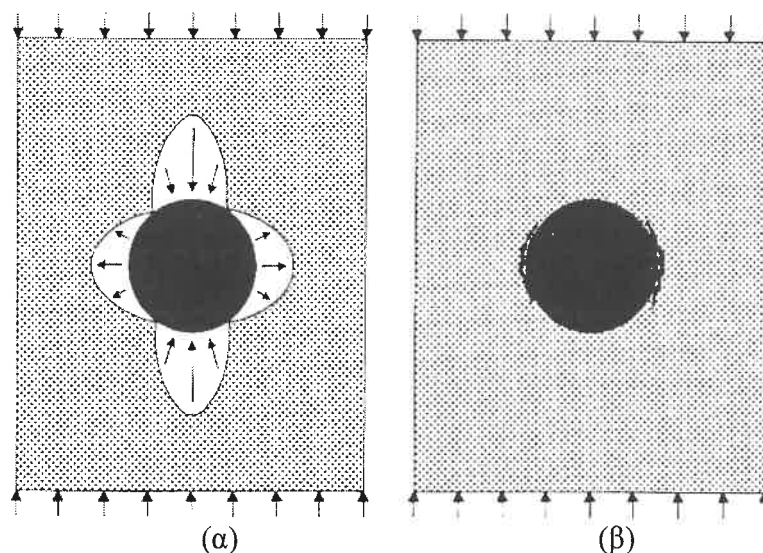
Από τον πίνακα 3.1.1 παρατηρείται μία παρόμοια συμπεριφορά στην αντοχή των μιγμάτων με την αντίστοιχη αντοχή σε εφελκυσμό. Το ΘΑ θραύεται στα 22,7 MPa ενώ το ΘΒ στα 24 MPa . Η αύξηση γίνεται μεγαλύτερη αν συγκριθεί η αντοχή του ΘΑ σε θλίψη σε ισοδ. Κύβο με το πλυμένο πλΘΑ (27,4Mpa) που σημαίνει πως το τελευταίο ξεπερνά και το ΘΒ. (Σχήμα 4.1.4)



Σχήμα 4.1.4 Αντοχή σε θλίψη σε ισοδ. Κύβο των τριών μιγμάτων 100% θραυστού Α, Β και πλυμ Α. αντιστοίχως

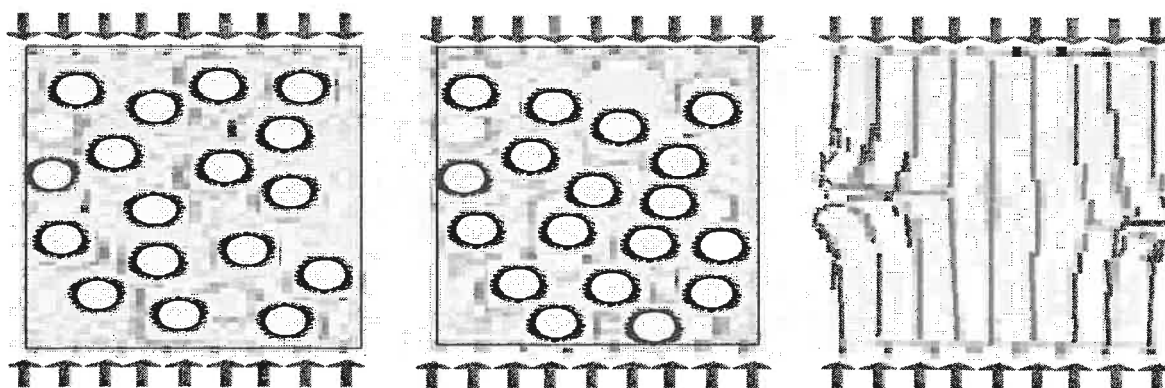
Τα αποτελέσματα αυτά ήταν αναμενόμενα και εξηγούνται με το ίδιο σκεπτικό που χρησιμοποιήθηκε στον εφελκυσμό λαμβάνοντας υπόψη ότι και στην περίπτωση της δοκιμής σε θλίψη αναπτύσσονται έμμεσα εφελκυστικές τάσεις και η αστοχία επέρχεται από τις έμμεσες αυτές τάσεις όπως αναπτύσσεται παρακάτω. Τα αδρανή υλικά έχουν πολύ μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας από εκείνο του μίγματος των λεπτόκοκκων αδρανών και του τσιμεντοπολτού, τον οποίο θα αποκαλούμε στο εξής εν συντομία «συνδετικό κονίαμα». Επομένως όπως θεωρητικά και πειραματικά έχει αποδειχτεί, οι τάσεις που αναπτύσσονται στη διεπιφάνεια του αδρανούς και του περιβάλλοντος αυτού «συνδετικού κονιάματος» θα έχουν τη μορφή του σχήματος 4.1.4

Όπως διαπιστώνεται στο παρακάτω σχήμα 4.1.5, κατά τη δοκιμή σε θλίψη αναπτύσσονται έμμεσα τάσεις εφελκυσμού. Οι θλιπτικές τάσεις εμφανίζονται στις κορυφές των αδρανών ενώ οι εφελκυστικές πλευρικά εφόσον το μέτρο ελαστικότητας των αδρανών είναι μεγαλύτερο από εκείνο του περιβάλλοντος συνδετικού υλικού.



Σχήμα 4.1.5 α) Κατανομή δυνάμεων στα αδρανή κατά τη θλίψη σε ισοδύναμο κύβο.
β) Δημιουργία αποκολλήσεων στη διεπιφάνεια του αδρανούς

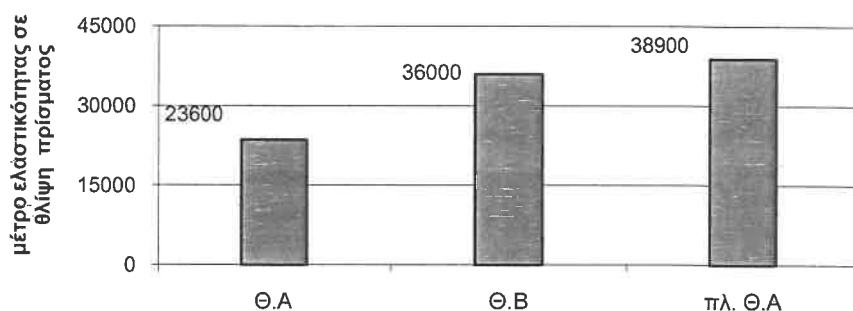
Οι εφελκυστικές τάσεις που παρατηρούνται στις πλευρικές επιφάνειες των αδρανών προκαλούν την έναρξη ρηγμάτωσης (σχήμα 4.1.5 (β)). Είναι φανερό ότι όσο μεγαλύτερη επιφάνεια αδρανούς συμμετέχει στη συγκόλληση με το «συνδετικό κονίαμα» τόσο μεγαλύτερη η συνάφεια και όσο μεγαλύτερη αντοχή θα έχει το υλικό. Η μικρότερη αντοχή σε θλίψη του θραυστού ΘΑ έναντι των άλλων δύο ερμηνεύεται με την παρουσία παιπάλης στην επιφάνεια των χονδρόκοκκων αδρανών η οποία περιορίζει την πληρέστερη επικάλυψή των με συνδετικό κονίαμα, με αποτέλεσμα τη μείωση της αντοχής σε συνάφεια στη διεπιφάνειά τους. Η ανασταλτική λειτουργία της παιπάλης, καθιστά πιο εύκολη τη ρηγμάτωση στα πλευρικά σημεία των αδρανών και γενικότερα στο σύνολο του μίγματος κατά τη θλίψη (Σχήμα 4.1.6)



Σχήμα 4.1.6 Επίδραση παιπάλης στα αδρανή και γενική συμπεριφορά του μίγματος αυτού κατά τη δοκιμή σε μονοαξονική θλίψη

Η συνάφεια που αναπτύσσεται στην διεπιφάνεια των αδρανών και του συνδετικού κονιάματος επηρεάζει και το μέτρο ελαστικότητας κατά τη θλίψη πρίσματος. Κατά την κατακόρυφη

πίεση του μίγματος, αναπτύσσονται παραμορφώσεις οι οποίες αυξάνουν ανάλογα με την αντοχή και την ελαστικότητα της συγκόλλησης στις πλευρικές επιμηκύνσεις τους. (Σχήμα 4.1.5). Βασικός παράγοντας για αυτή τη λειτουργία είναι η αντοχή των δυνάμεων συνάφειας, ενώ έμμεσος ρυθμιστής αυτών όπως έχει αποδειχθεί είναι το ποσοστό παιπάλης που διαθέτει κάθε μίγμα. Μικρή αντοχή σε συνάφεια έχει ως συνέπεια ότι σε σχετικά μικρό φορτίο δημιουργούνται τοπικές αποκολλήσεις του συνδετικού κονιάματος από τα αδρανή με αποτέλεσμα να μετρούνται μεγαλύτερες παραμορφώσεις άρα να μειώνεται και το μέτρο ελαστικότητας. Η αύξηση του μέτρου ελαστικότητας σε αντιστοιχία με την «καθαρότητα» του μίγματος όσον αφορά την παρουσία παιπάλης φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. 4.1.7



Σχήμα 4.1.7 Μέτρο ελαστικότητας σε θλίψη πρίσματος των τριών μιγμάτων 100% θραυστού ΘΑ, ΘΒ και πλυμ ΘΑ. αντιστοίχως

Η γενική εικόνα που έχει σχηματισθεί ως τώρα από τις δοκιμές που υπεβλήθησαν τα θραυστά ΘΑ, ΘΒ και πλυμ. ΘΑ είναι πως το ΘΒ υπερτερεί σε αντοχή και μέτρο ελαστικότητας από το ΘΑ ,είτε μετρηθεί σε εφελκυσμό είτε σε θλίψη ισοδ. κύβου. Αντίθετα όταν στο τελευταίο πλυθούν τα χονδρόκοκκα αδρανή, επαναλαμβάνοντας τις ίδιες μετρήσεις , τα αποτελέσματα συνήθως πλησιάζουν η και ξεπερνούν αυτά του ΘΒ .

Από τον πίνακα 3.1.1 διαπιστώνεται μια παρόμοια συμπεριφορά στα μηχανικά χαρακτηριστικά αυτών των τριών ειδών θραυστών ακόμα κι αν αλλοιώσουμε την καθαρότητα των μιγμάτων με φρεζαρισμένο ασφατικό υλικό ΦΑ ή ΦΒ σε καθορισμένο ποσοστό κάθε φορά.

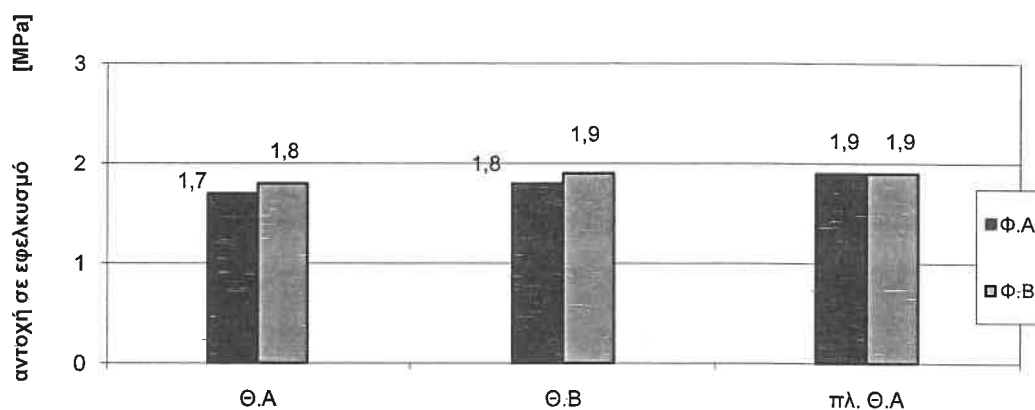
Πριν την παράθεση και μελέτη των παρακάτω αποτελεσμάτων , πρέπει να σημειωθεί πως μερικές τιμές μετρήσεων που δε συμφωνούν με το σκεπτικό που υιοθετήσαμε ως τώρα για το σχολιασμό τους είτε εντάσσονται στο πλαίσιο του πειραματικού σφάλματος (10 %), είτε οφείλονται στη μεγάλη διασπορά ενδείξεων που δικαιολογεί ο μικρός αριθμός δοκιμίων για κάθε μίγμα, είτε αποδίδονται σε λόγους που δεν έχουν τεκμηριωθεί πειραματικά.

4.2 Ανάμιξη θραυστών και φρεζαρισμένων ασφαλτικών υλικών και μελέτη της μηχανικής τους συμπεριφοράς

α) Δοκιμή σε εφελκυσμό

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη των μηχανικών χαρακτηριστικών των παραπάνω μιγμάτων όταν αυτά εμπεριέχουν σε κάποιο ποσοστό φρεζαρισμένο ασφαλτικό υλικό.

Στο μίγμα των τριών ειδών θραυστών αναμιγνύεται φρεζαρισμένο ασφαλτικό υλικό ΦΑ σε ποσοστό 25% της συνολικής μάζας του. Με βάση τις τιμές από τη δοκιμή σε εφελκυσμό (βλ πίνακα 3.1.2) παρατηρείται πως όταν στο μίγμα 75/25 το θραυστό αμμοχάλικο, ΘΑ, αντικατασταθεί με θραυστό αμμοχάλικο, ΘΒ, η αντοχή αυξάνει από 1.7 MPa σε 1.8 MPa ήτοι ποσοστιαία 5.9% ενώ αν αντικατασταθεί με πλυμ.ΘΑ η αντοχή γίνεται 1.9 MPa ήτοι παρουσιάζει ποσοστιαία αύξηση 11.8% (βλ Σχ4.2.1)

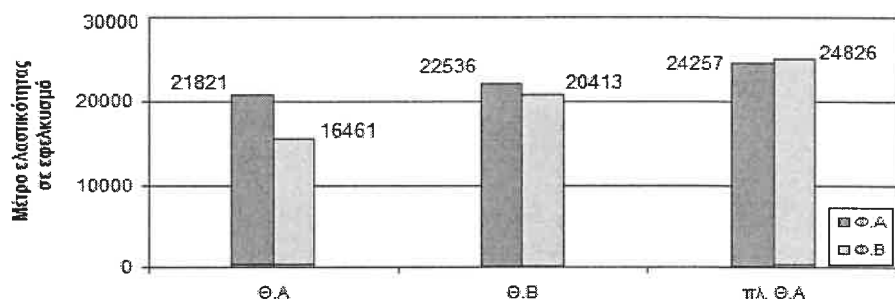


Σχήμα 4.2.1 Αντοχή σε εφελκυσμό των τριών μιγμάτων θραυστού ΘΑ,ΘΒ και πλυμ ΘΑ. αντιστοίχως με ανάμιξη φρεζαρισμένου ΦΑ ή ΦΒ σε αναλογία 75/25

Αν αντικατασταθεί το φρεζαρισμένο υλικό ΦΑ με το ΦΒ στα παραπάνω μίγματα των τριών ειδών θραυστών με το ίδιο ποσοστό, κατά τη δοκιμή σε εφελκυσμό διαπιστώνεται, έστω και με αυξημένες τιμές, μια ανάλογη πορεία αποτελεσμάτων με αυτή του μίγματος Φ.Α με βάση τα στοιχεία του πίνακα 3.1.2. βλ Σχ 4.2.1

Παρόμοια συμπεριφορά διαπιστώνουμε αν εξετάσουμε τα ίδια μίγματα ως προς το μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό. Οι τιμές αυξάνουν όσο μειώνεται η παρουσία παιπάλης στα

θραυστά αδρανή ανεξάρτητα με το τι φρεζαρισμένο ασφαλτόμιγμα Φ.Α ή Φ.Β χρησιμοποιείται για την ανάμιξη, (Σχ 4.2.2)

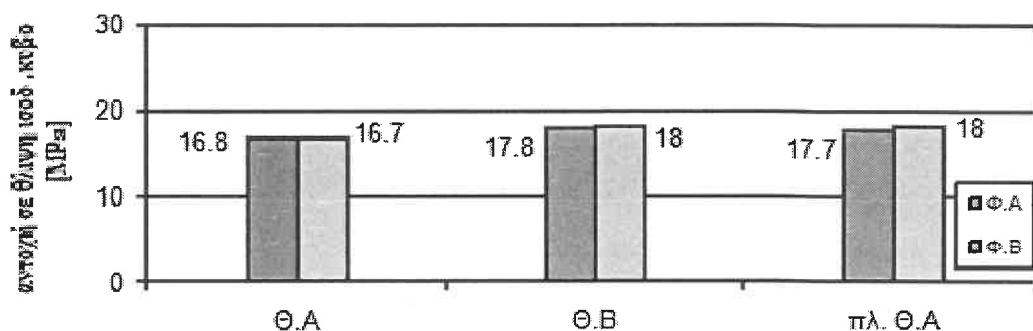


Σχήμα 4.2.2 Μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό των τριών μιγμάτων θραυστού ΘΑ, ΘΒ και πλυμ ΘΑ. αντιστοίχως με ανάμιξη φρεζαρισμένου ΦΑ ή ΦΒ σε αναλογία 75/25

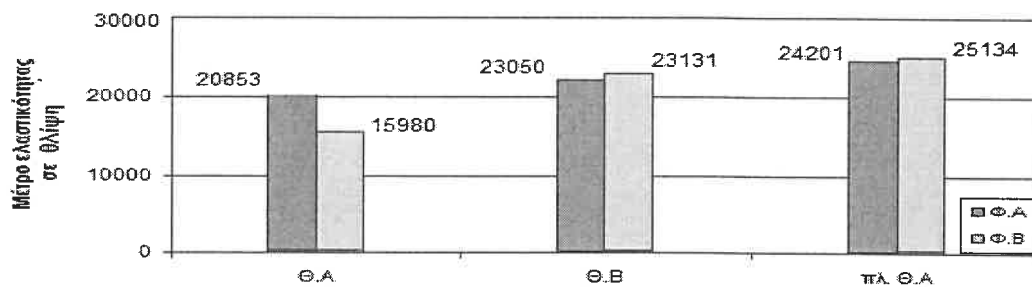
Αντιπαραβάλλοντας τα διαγράμματα στα σχήματα 4.1.1 και 4.1.3 με τα 4.2.1 και 4.2.2 φαίνεται ότι καταρχήν στον εφελκυσμό η μηχανική συμπεριφορά των μιγμάτων είναι ανεξάρτητη από την προέλευση του φρεζαρισμένου υλικού αρκεί να προέρχεται από φρεζαρισμένο ασφαλτικό σκυρόδεμα.

β) Δοκιμή σε θλίψη

Μελετώντας κατά τον ίδιο τρόπο τα αποτελέσματα της αντοχής σε θλίψη ισοδύναμου κύβου για το μίγμα 75/25 (βλ πίνακα 3.1.3) παρατηρείται μια συμφωνία με τις μετρήσεις του εφελκυσμού. Συγκεκριμένα σημειώνεται αύξηση της αντοχής του μίγματος με θραυστό ΘΒ σε σχέση με το μίγμα με θραυστό ΘΑ, ενώ το τελευταίο (ΘΑ) αν απαλλαγεί από την παιπάλη που περιέχει βελτιώνει την αντοχή του κατά 6%. (Σχήμα 4.2.3)



Σχήμα 4.2.3 Αντοχή σε θλίψη ισοδ. κύβου των τριών μιγμάτων θραυστού ΘΑ, ΘΒ και πλυμ ΘΑ. αντιστοίχως με ανάμιξη φρεζαρισμένου ΦΑ ή ΦΒ σε αναλογία 75/25



Σχήμα 4.2.4 Μέτρο ελαστικότητας σε θλίψη ισοδ. Κύβου των τριών μιγμάτων θραυστού ΘΑ, ΘΒ και πλυμ ΘΑ. αντιστοίχως με ανάμιξη φρεζαρισμένου ΦΑ ή ΦΒ σε αναλογία 75/25

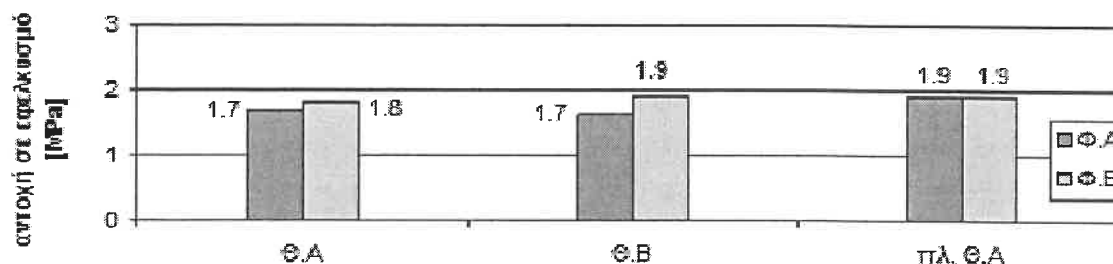
Όπως έχει παρατηρηθεί η διαφορά των αντοχών αλλά και των μέτρων ελαστικότητας μεταξύ θραυστού ΘΒ και πλυμένου θραυστού ΘΑ είναι πολύ μικρή

Η μηχανική συμπεριφορά των τριών μιγμάτων μεταξύ τους, παρά την αντικατάσταση του φρεζαρισμένου ΦΑ με ΦΒ στο ίδιο ποσοστό, δικαιώνει την αρχική εκτίμηση ότι η προέλευση του φρεζαρισμένου ασφαλικού υλικού δεν επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα.. Σημειώνεται επίσης πως οι κοκκομετρικές διαβαθμίσεις των ασφαλικών ΦΑ και ΦΒ δε διαφέρουν

- **Αύξηση του ποσοστού φρεζαρισμένου ασφατομίγματος σε αναλογία 50/50**

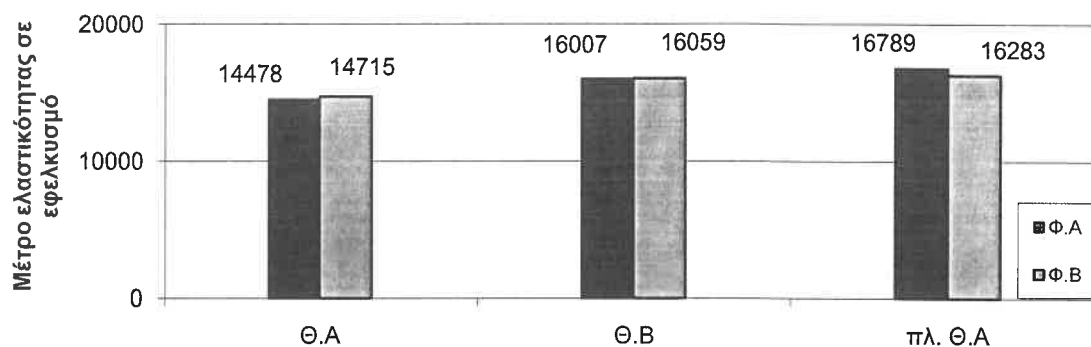
Ενδιαφέρον παρουσιάζει αν διπλασιαστεί στο 50% το ποσοστό συμμετοχής του ανακυκλωμένου ασφαλικού υλικού δηλαδή η αναλογία στα μίγματα να γίνει 50/50.

Όπως παρατηρείται στις τιμές που αναφέρονται στο ποσοστό συμμετοχής 50% φρεζαρισμένου του πίνακα 3.1.3 κατά τις δοκιμές σε εφελκυσμό και θλίψη ισοδ. κύβου ,οι αντίστοιχες αντοχές και τα μέτρα ελαστικότητας των μιγμάτων συγκρινόμενα ανά δύο μεταξύ τους ακολουθούν την ίδια λογική αυτών με 0% και 25% ασφαλικού υλικού. Αυξάνεται δηλαδή η αντοχή του μίγματος με θραυστό αμμοχάλικο ΘΒ σε σύγκριση με το θραυστό αμμοχάλικο ΘΑ, ενώ όταν το ΘΑ πλυθεί (πλ.ΘΑ) το μίγμα αποκτά ακόμη μεγαλύτερες αντοχές (βλ Σχ 4.2.5 και 4.2.6)

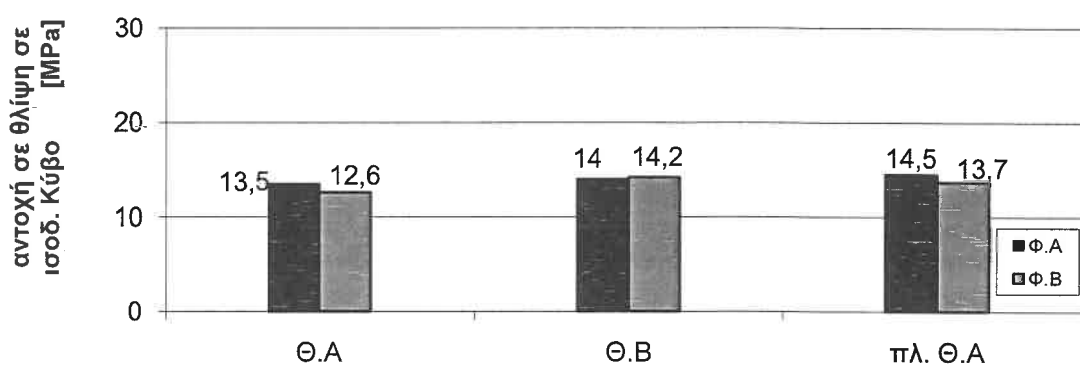


Σχήμα 4.2.5 Αντοχή σε εφελκυσμό των τριών μιγμάτων θραυστού ΘΑ,ΘΒ και πλυμ ΘΑ,

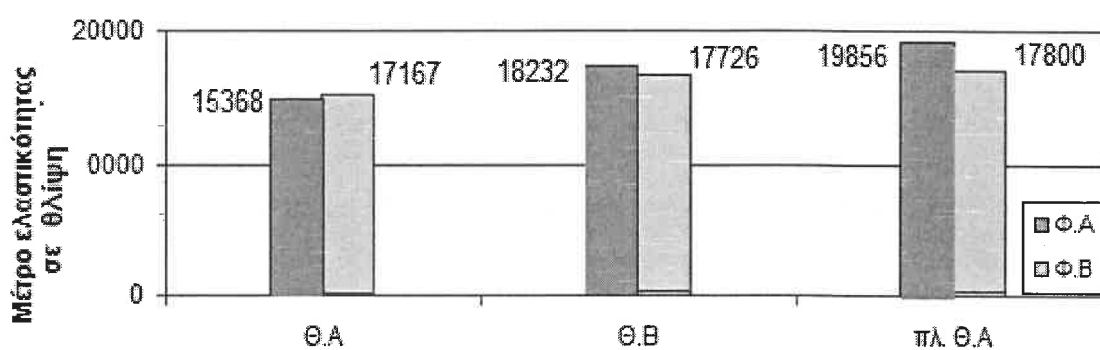
αντιστοίχως με ανάμιξη φρεζαρισμένου ΦΑ ή ΦΒ σε αναλογία 50/50



Σχήμα 4.2.6 Μέτρο ελαστικότητας σ' εφελκυσμό των τριών μειγμάτων θραυστού ΘΑ, ΘΒ και πλυμ ΘΑ. αντιστοίχως με ανάμιξη φρεζαρισμένου ΦΑ ή ΦΒ σε αναλογία 50/50



Σχήμα 4.2.7 Αντοχή σε θλίψη ισοδ. κύβου των τριών μειγμάτων θραυστού ΘΑ, ΘΒ και πλυμ ΘΑ. αντιστοίχως με ανάμιξη φρεζαρισμένου ΦΑ ή ΦΒ σε αναλογία 50/50



Σχήμα 4.2.8 Μέτρο ελαστικότητας σε θλίψη ισοδ κύβου των τριών μειγμάτων θραυστού ΘΑ, ΘΒ και πλυμ ΘΑ. αντιστοίχως με ανάμιξη φρεζαρισμένου ΦΑ ή ΦΒ σε αναλογία 50/50

Με την αντικατάσταση και στην περίπτωση των μειγμάτων 50/50 του φρεζαρισμένου ΦΑ με το ΦΒ όπως φαίνεται και στα σχήματα 4.2.5 4.2.6 4.2.7 και 4.2.8 διατηρείται ίδια η σχέση των μειγμάτων μεταξύ τους οπότε συμπεραίνεται ότι η μεταβολή της προέλευσης του

φρεζαρισμένου υλικού δεν επηρεάζει ουσιαστικά τα μηχανικά χαρακτηριστικά του μίγματος.

4.3 Επίδραση του φρεζαρισμένου υλικού στα μηχανικά χαρακτηριστικά του ανακυκλωμένου μίγματος

Σχολιάστηκε εκτενώς η σχέση των τριών μιγμάτων θραυστού ΘΑ,ΘΒ και πλ. ΘΑ μεταξύ τους με βάση την αντοχή τους και το μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό και θλίψη ισοδ. κύβου. Η μελέτη τους έγινε σε πέντε κατηγορίες. Στην πρώτη τα μίγματα περιείχαν 100% θραυστό ενώ στις υπόλοιπες τέσσερις αναμίχθηκαν σε αναλογία 75/25 και 50/50 με ανακυκλωμένα ασφατικά υλικά ΦΑ και ΦΒ εναλλάξ.. Η μεταβολή και του μέτρου ελαστικότητας κατά τις δοκιμές αυτές συγκρίνοντας ανά δύο τα μίγματα, αποδόθηκε στην παρουσία παιπάλης στα θραυστά υλικά. Η εξέταση των αποτελεσμάτων του ίδιου πίνακα, δίνοντας μεγαλύτερη βαρύτητα στα ποσοστά ανάμιξης των ανακυκλωμένων ασφατικών υλικών, δεν αποκλείει την συμμετοχή και άλλων παραγόντων, εκτός της παιπάλης, που επηρεάζουν τη μηχανική συμπεριφορά των μιγμάτων.

	ΘΑ	ΘΒ	ΘΑ.πλ
0% Φ	1.8	2.6	2.4
25% ΦΑ	1.7	1.8	1.9
50% ΦΑ	1.7	1.7	1.9
25% ΦΒ	1.8	1.9	1.9
50% ΦΒ	1.2	1.7	1.8

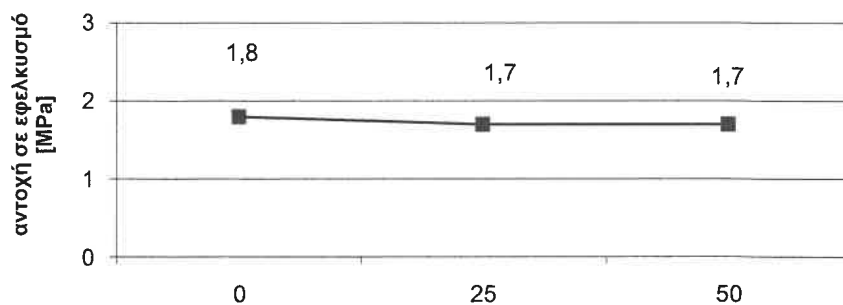
Πίνακας 4.1 Απόσπασμα πίνακα 3.1.3

Τιμές αντοχής σε εφελκυσμό [MPa]

- **Δοκιμή σε εφελκυσμό**

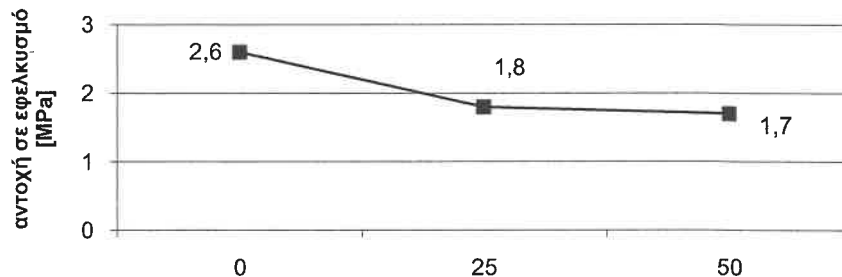
Παρατηρώντας την αντοχή σε εφελκυσμό του θραυστού ΘΑ συναρτήσει του ποσοστού φρεζαρισμένων υλικών στον πίνακα 3.1.3 και για ευκολία, στο απόσπασμα αυτού Πίνακα4,

φαίνεται ότι η αντοχή ελαττώνεται ελαφρώς (5.5 %) από το 1.8 MPa στο «καθαρό» μίγμα, στο 1.7 MPa όταν αναμιχθεί 25% φρεζαρισμένο ΦΑ που διατηρείται στο ίδιο επίπεδο παρά το διπλασιασμό του ποσοστού του φρεζαρισμένου υλικού σε 50%.



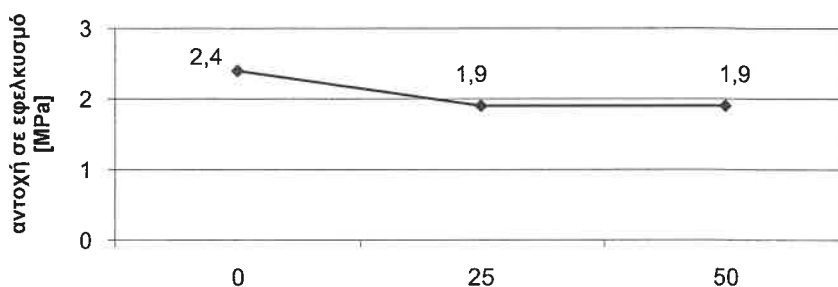
Σχήμα 4.3.1 Αντοχή σε εφέλκυσμό Θ.Α συναρτήσει του επί τοις εκατό ποσοστού ανάμιξης φρεζαρισμένου ΦΑ

Εντονότερη μείωση παρουσιάζει το μίγμα θραυστού ΘΒ. Η τιμή της αντοχής του βάσει του πίνακα 3.1.3 σε ποσοστό 0%, 25 % και 50% φρεζαρισμένου ΦΑ μειώνεται από 2.6 σε 1.8 και 1.7 MPa αντίστοιχα, δηλαδή παρατηρείται ποσοστιαία μείωση από το αμιγές θραυστό ΘΑ είναι 30 % και 35% αντίστοιχα



Σχήμα 4.3.2 Αντοχή σε εφέλκυσμό Θ.Β συναρτήσει του επί τοις εκατό ποσοστού ανάμιξης φρεζαρισμένου ΦΑ

Όταν το θραυστό Θ.Α πλυθεί, παρατηρούνται αυξημένες τιμές αντοχής σε σχέση με το αρχικό ΘΑ αλλά και μια ομοιομορφία στην μείωση αντοχής όσο αυξάνεται το ποσοστό Φ.Α στα μίγματα 25% και 50% με ΦΑ



Σχήμα 4.3.3 Αντοχή σε εφέλκυσμό πλ. Θ.Α συναρτήσει του επί

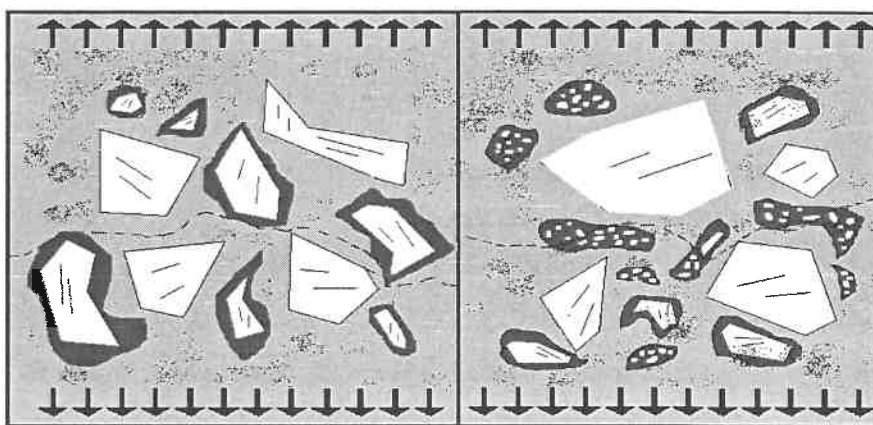
τοις εκατό ποσοστού ανάμιξης φρεζαρισμένου ΦΑ

Είναι εμφανές πως δεν ευθύνεται μόνο η παιπάλη για την πτώση της αντοχής σε εφελκυσμό των μιγμάτων που περιέχουν ασφαλικό υλικό αφού το πλυμένο θραυστό ΘΑ παρόλο που δεν διαθέτει δείχνει ανάλογη συμπεριφορά με τα άλλα δύο. Επίσης αν θωρούνταν ουδέτερο το φρεζαρισμένο υλικό που αναμιγνύεται και επηρέαζε τις τιμές μόνο η διαθέσιμη παιπάλη θα έπρεπε να είχαμε αύξηση της αντοχής αφού ελαττωμένου του θραυστού υλικού ΘΑ και ΘΒ στο 75% και 50% του μίγματος ελαττώνεται και η παιπάλη που περιέχουν.

Για το φαινόμενο αυτό, με μια πιο λεπτομερή μελέτη μπορούν να δοθούν δύο πιθανές εξηγήσεις :

Καταρχήν η αντοχή στις δυνάμεις συνάφειας του συνδετικού κονιάματος-με τα αδρανή (ΘΑ ,ΘΒ κ πλΘΑ) θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι είναι μικρότερη από εκείνη με τα φρεζαρισμένα ασφαλομίγματα ΦΑ και ΦΒ λόγω της ύπαρξης ασφαλικού υμένα γύρω από τους κόκκους των φρεζαρισμένων ασφαλομιγμάτων. (Σχ 4.3.3.α) και επομένως αύξηση του ποσοστού ΦΑ ή ΦΒ συνεπάγεται μείωση της αντοχής και του μέτρου ελαστικότητας.

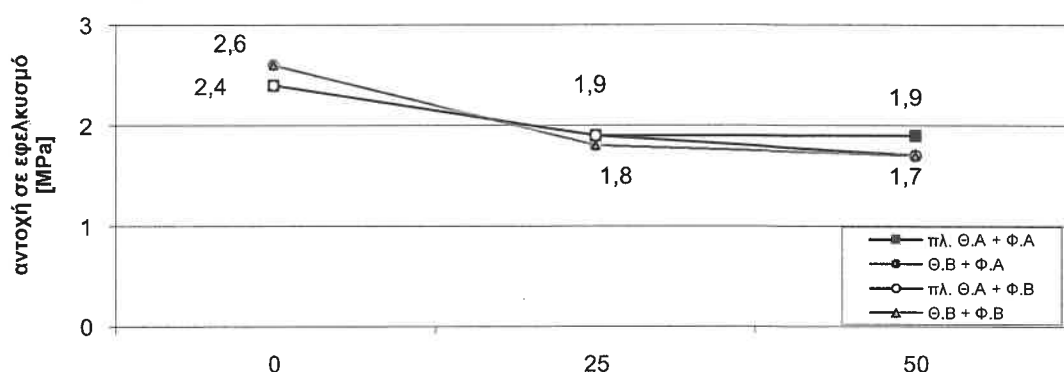
Ως μια δεύτερη εξήγηση της λειτουργίας του ασφαλικού υλικού στο μίγμα., μπορεί να θεωρηθεί η φύση των ίδιων των αδρανών του φρεζαρισμένου ασφαλομίγματος. Αρκετά χονδρόκοκκα αδρανή του φρεζαρισμένου υλικού ΦΑ είναι στην ουσία συσσωματώματα λεπτόκοκκων αδρανών, συνδεδεμένα με ασφαλικό υλικό, οπότε κατά τον εφελκυσμό η μειωμένη τους αντοχή έναντι των κόκκων αμιγούς θραυστού υλικού ή απλά επικαλυμμένων με άσφαλο κόκκων καθιστά πιο εύκολη την παραμόρφωση, ρηγμάτωση και τελικά τη θραύση του μίγματος . (σχ 4.3.3.β)



Σχήμα 4.3.4 Αίτια της μείωσης αντοχής κατά τον εφελκυσμό
α) Επίδραση της ασθενούς τιμής συνάφειας στην επιφάνεια των αδρανών φρεζαρισμένου υλικού ΦΑ
β) Μειωμένη αντοχή στο εσωτερικό των συσσωμάτων

Με αντικατάσταση του φρεζαρισμένου ασφαλτομίγματος ΦΑ με τον τύπο ΦΒ όπως φαίνεται και από τον πίνακα 3.1.1 δεν προκύπτουν σημαντικές διαφορές στην αντοχή σε εφελκυσμό. Σε αναλογία 25 % Φ.Β το θραυστό ΘΑ διατηρεί την αντοχή του στο 1.8 MPa έναντι 1.9 MPa του θραυστού ΘΒ ενώ όταν το ποσοστό ανεβεί στο 50% η τιμή του Θ.Α πέφτει στο 1.2 MPa και το θραυστό Θ.Β διατηρείται στο 1.7 MPa . Πρέπει να σημειωθεί εδώ πως παρά την αναμενόμενη πτώση στο μίγμα με αναλογία 50% Θ.Α + 50% Φ.Β, η μεγάλη απόκλιση σε σχέση με την τιμή στο αντίστοιχο μίγμα με Φ.Α οδηγεί στην πιθανότητα πειραματικού σφάλματος ,λόγω μικρού αριθμού δοκιμών, το οποίο δεν μπορεί να μελετηθεί περαιτέρω κατά τη συγκεκριμένη ερευνητική εργασία. Για το λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητη η λεπτομερέστερη και με μεγαλύτερο αριθμό δοκιμών εξέταση του μίγματος στην αντοχή σε εφελκυσμό.

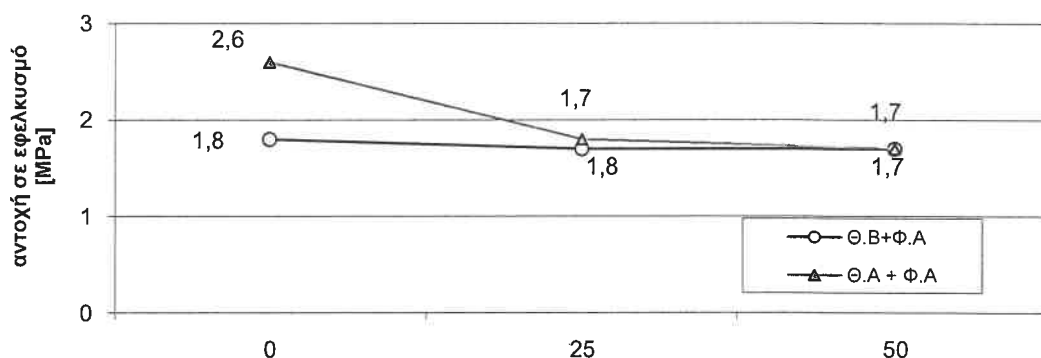
Παρατηρώντας κατά τον ίδιο τρόπο τον πίνακα 3.1.2, στο μίγμα θραυστού ΘΒ όσο και σ' αυτό πλυμένου θραυστού ΘΑ, οι πορείες των υπόλοιπων αποτελεσμάτων της αντοχής τους σε εφελκυσμό συναρτήσει του φρεζαρισμένου υλικού που περιέχουν, έχουν ελάχιστη διαφορά μεταξύ τους και οι αποκλίσεις τους βρίσκονται εντός των ορίων του πειραματικού σφάλματος όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.3.5



Σχήμα 4.3.5 Διαγράμματα αντοχής σε εφελκυσμό των μιγμάτων Θ.Β και πλ. Θ.Α ως προς το ποσοστό αναλογίας φρεζαρισμένου υλικού ΦΑ ή ΦΒ που περιέχουν

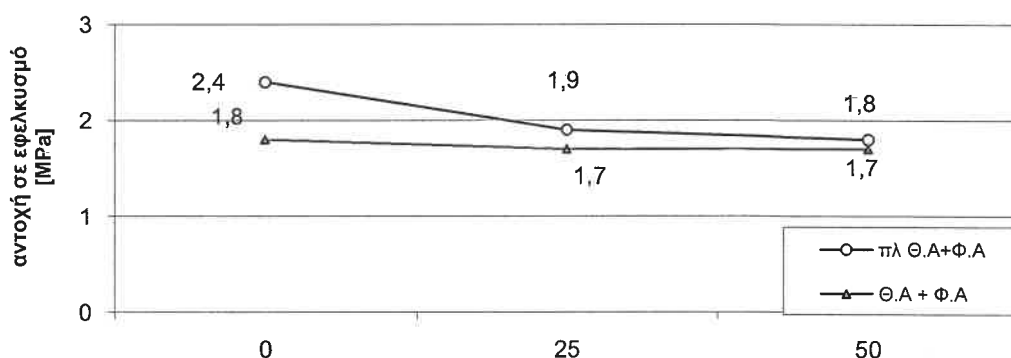
Παραμένοντας στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του ίδιου πίνακα ,παρατηρείται ότι συγκρίνοντας τα παραπάνω στοιχεία με διαφορετικό τρόπο, σημειώνονται ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις. Στο μίγμα 100 % θραυστού ΘΒ η τιμή της αντοχής έχει αυξηθεί κατά 44.5 % της αντίστοιχης του θραυστού ΘΑ στην ίδια αναλογία. Όταν προστίθεται φρεζαρισμένο υλικό ΦΑ σε

ποσοστό 25% των παραπάνω μιγμάτων η διαφορά στην αντοχή τους μειώνεται στο 5.9% ενώ αν διπλασιαστεί στο 50% η διαφορά τους μηδενίζεται όπως φαίνεται στο σχήμα 4.3.6



Σχήμα 4.3.6 Σύγκριση διαφοράς της αντοχής σε εφελκυσμό των μιγμάτων θραυστού ΘΑ και ΘΒ συναρτήσει του ποσοστού του φρεζαρισμένου υλικού ΦΑ που περιέχουν.

Ανάλογα αποτελέσματα προκύπτουν αν συγκριθεί η διαφορά στην αντοχή του μίγματος θραυστού ΘΑ και πλυμένου θραυστού ΘΑ. Όπως προκύπτει από το παρακάτω σχήμα 3.2.14, χωρίς τη συμμετοχή του φρεζαρισμένου Α στο μίγμα το πλυμένο Θ.Α υπερτερεί κατά 33.3% της αντοχής του Θ.Α, ποσοστό που μειώνεται στο 11.8 % όταν η συμμετοχή του Φ.Α φτάσει στο 25 και 50% του μίγματος.



Σχήμα 4.3.7 Σύγκριση διαφοράς της αντοχής σε εφελκυσμό των μιγμάτων θραυστού ΘΑ και πλ.ΘΑ συναρτήσει του ποσοστού του φρεζαρισμένου υλικού ΦΑ που περιέχουν.

Η ερμηνεία του φαινομένου αυτού μπορεί να βασιστεί επίσης στην επίδραση της διαθέσιμης παιπάλης του κάθε υλικού. Έχει διαπιστωθεί βάσει κοκκομετρικής ανάλυσης πως το θραυστο ΘΒ περιέχει μικρότερη ποσότητα παιπάλης από το ΘΑ η οποία όπως

αποδείχθηκε επιδρά αρνητικά στην αντοχή σε εφελκυσμό. Το φρεζαρισμένο ασφαλτόμικγμα ΦΑ που προστίθεται αντικαθιστώντας 25% του μίγματος Θ.Α αφενός δεσμεύει ένα μέρος της παιπάλης , αφ εταίρου περιορίζει στο 75% το την αναλογία του ΘΑ στο μίγμα άρα μειώνει και την περιεκτικότητα σε παιπάλη του τελικού μίγματος. Ο περιορισμός της τελευταίας συγκλίνει τα μηχανικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου μίγματος με αυτά του θραυστού ΘΒ. Αυτό παρατηρείται πιο έντονα όταν διπλασιαστεί το ποσοστό του φρεζαρισμένου ΦΑ σε 50% ώστε τα δύο μίγματα θραυστού να εμφανίζουν σχεδόν ίδιες αντοχές σε εφελκυσμό.

Όμοια συμπεριφορά έχουν τα ίδια μίγματα θραυστού παρά την αντικατάσταση του ασφαλτομίγματος ΦΑ με τον τύπο ΦΒ . Κυρίως εξετάζεται η αναλογία στο 25% του μίγματός αφού η εξαιρετικά χαμηλή τιμή της αντοχής στο 50% Φ.Β του Θ.Α (1.2 MPa) για τη συγκεκριμένη παρατήρηση χρίζει λεπτομερέστερης πειραματικής τεκμηρίωσης.

Δε θεωρείται σκόπιμη η μελέτη της αντίστοιχης διαφοράς των μιγμάτων θραυστού ΘΒ κα πλυμένου θραυστού πλΘΑ διότι η ελάχιστη παιπάλη που περιέχεται στο ΘΒ (3%) δίνει τιμές αντοχής σε εφελκυσμό οι οποίες συγκρινόμενες με αυτές του πλ.Θ.Α προκύπτουν εντός των ορίων του πειραματικού σφάλματος.

Το γενικό συμπέρασμα από τις παραπάνω δοκιμές είναι ότι η προσθήκη φρεζαρισμένου ασφαλτομίγματος στο ανακυκλωμένο μίγμα μειώνει καταρχήν την αντοχή σε εφελκυσμό αλλά η μείωση αυτή είναι μικρότερη όταν το ποσοστό της παιπάλης στο θραυστό αμμοχάλικο είναι υψηλό ή το ποσοστό της παιπάλης που έχει επικαθίσει στην επιφάνεια των μεγαλύτερων αδρανών είναι υψηλό. Αυτό γίνεται γιατί στην περίπτωση μιγμάτων με μηδενικό ποσοστό φρεζαρισμένου ασφαλτομίγματος αλλά με σχετικά υψηλό ποσοστό παιπάλης (επικαθίμενης ή μη) ,πχ ΘΑ, η αντοχή ιδίως σε εφελκυσμό είναι πολύ μικρότερη από εκείνη των μιγμάτων με θραυστό υλικό πλυμένο, πχ πλΘΑ, ή με μικρό ποσοστό παιπάλης, πχ ΘΒ

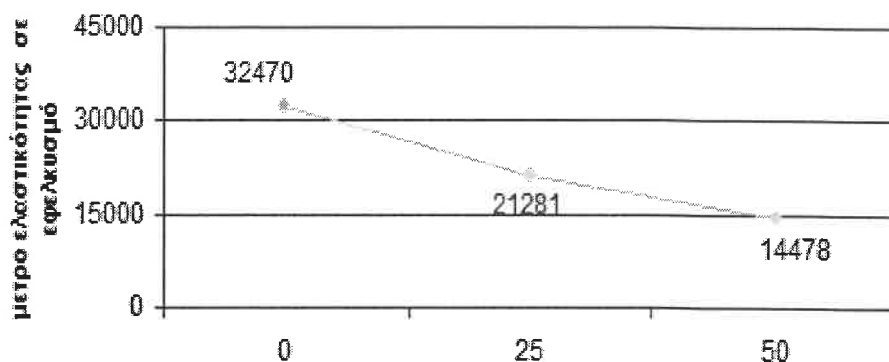
	Θ.Α	Θ.Β	Θ.Α.πλ
0% Φ	32500	39000	41800
25% Φ Α	21300	22500	24200
50% Φ Α	14500	16000	16800
25% Φ Β	16500	20400	24800
50% Φ Β	14700	16000	16300

Πίνακας 4.2

Απόσπασμα πίνακα 3.1.1

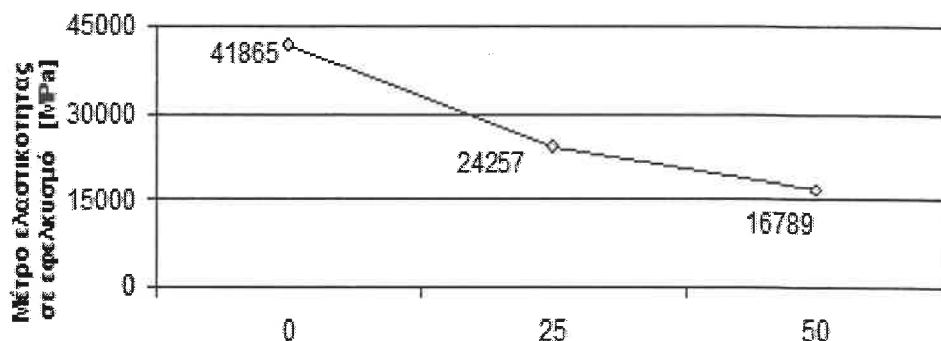
Τιμές μέτρου ελαστικότητας σε εφελκυσμό [MPa]

Με βάση τα στοιχεία του πίνακα 3.1.3 συγκρίνοντας το μέτρο ελαστικότητας του κάθε μίγματος θραυστού μεμονωμένα, (βλ Πίνακα 4.2.) διαπιστώνεται πως αυξανόμενου του ποσοστού συμμετοχής ανακυκλωμένου ασφαλτομίγματος ελαττώνεται η τιμή του.



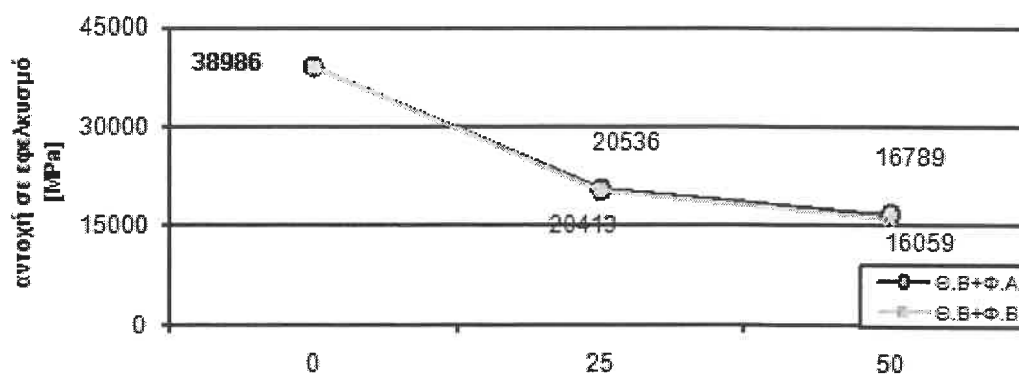
Σχήμα 4.3.8 Μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό Θ.Α συναρτήσει του επί τοις εκατό ποσοστού ανάμιξης φρεζαρισμένου ΦΑ

Η μείωση του μέτρου ελαστικότητας με την αύξηση του ποσοστού του φρεζαρισμένου ασφαλτομίγματος θα πρέπει να αποδοθεί κατά κύριο λόγο στις αυξημένες παραμορφώσεις που υφίστανται τα συσσωματώματα του ασφαλτικού υλικού και των λεπτών αδρανών του ασφαλτομίγματος και στις αυξημένες παραμορφώσεις που επιτρέπουν τα καλυμμένα με ασφαλτικό υμένα αδρανή του φρεζαρισμένου ασφαλτομίγματος. Αυτό φαίνεται καθαρά στο παρακάτω σχήμα που δείχνει την πορεία του μέτρου ελαστικότητας του μίγματος με πλυμένο θραυστο αμμοχάλικο, πλ.Θ.Α, του οποίου η ελάττωση οφείλεται αποκλειστικά στην αύξηση του ποσοστού του φρεζαρισμένου υλικού Α



Σχήμα 4.3.9 Μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό πλ.Θ.Α συναρτήσει του επί τοις εκατό ποσοστού ανάμιξης φρεζαρισμένου ΦΑ

Επίσης αποδεικνύεται μια ακόμα φορά η μικρή ή ασήμαντη επιρροή της προέλευσης/ ποιότητας των φρεζαρισμένων υλικών, αφού και στους δύο τύπους ΦΑ και ΦΒ το μέτρο ελαστικότητας έχει περίπου τις ίδιες τιμές στα αντίστοιχα ποσοστά τους στα μίγματα. βλ.Σχ.4.3.10



Σχήμα 4.3.10 Επίδραση του φρεζαρισμένου υλικού ΦΑ και ΦΒ στο μέτρο ελαστικότητας σε εφέλκυσμό θραυστού ΘΒ

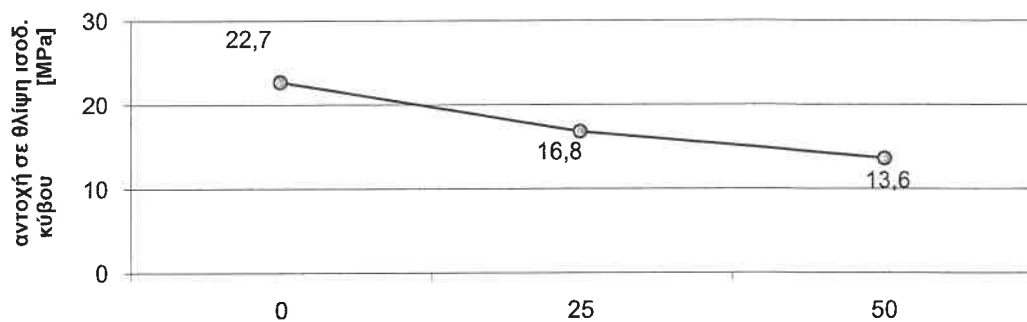
- **Δοκιμή σε θλίψη**

	Θ.Α	Θ.Β	Θ.Α.πλ
0% Φ	22.7	24	27.4
25% ΦΑ	16.8	17.8	17.7
50% ΦΑ	13.5	14	14.2
25% ΦΒ	16.7	18	18
50% ΦΒ	12.6	14.2	13.7

Απόσπασμα 4.3 πίνακα 3.1.1

Τιμές σε θλίψη ισοδ. κύβου [MPa]

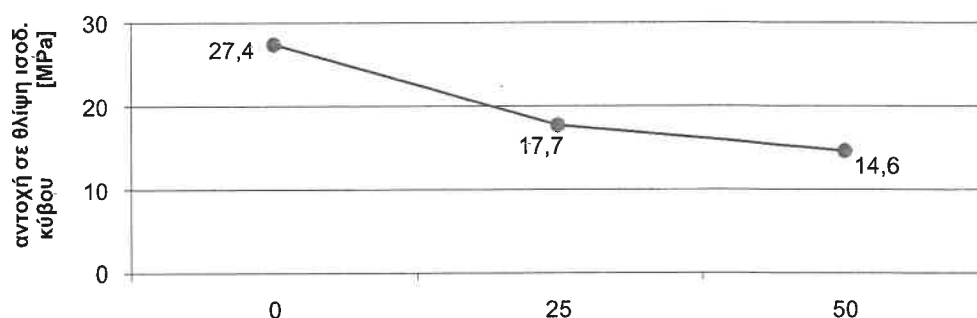
Για την πληρέστερη μελέτη της επίδρασης του φρεζαρισμένου υλικού στα μίγματα θραυστού τα δοκίμια υποβάλλονται σε δοκιμή σε θλίψη ισοδ. κύβου με σκοπό τον προσδιορισμό της αντοχής τους. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.2.17 το μίγμα θραυστού ΘΑ αυξανόμενου του ποσοστού φρεζαρισμένου ΦΑ που περιέχει εμφανίζει μειωμένη αντοχή.



Σχήμα 4.3.11 Αντοχή σε θλίψη ισοδ. Κύβου μίγματος Θ.Α συναρτήσει του επί τοις εκατό ποσοστού ανάμιξης φρεζαρισμένου ΦΑ

Από τα στοιχεία του πίνακα 3.1.1 και του διαπιστώνεται παρόμοια πτώση της αντοχής και στα υπόλοιπα μίγματα θραυστών ΘΒ και πλυμένου ΘΑ. Επομένως τόσο το ποσοστό της παιπάλης στο θραυστό αμμοχάλικο όσο και το ποσοστό του φρεζαρισμένου ασφατομίγματος στο ανακυκλωμένο μίγμα επηρεάζουν σημαντικά τη μηχανική συμπεριφορά (αντοχή σε εφελκυσμό και θλίψη, μέτρο ελαστικότητας) των ανακυκλωμένων μιγμάτων

Η αναμενόμενη πτώση στις τιμές της αντοχής σε θλίψη του μίγματος πλυμένου θραυστού ΘΑ οφείλεται και στους δύο προαναφερθέντες παράγοντες, όμως η μικρή αύξησή τους κατά τη σύγκρισή τους με αυτές του ΘΑ και στα τρία ποσοστά, οφείλεται καθαρά στην παιπάλη αφού είναι το μόνο στοιχείο που μεταβάλλεται..



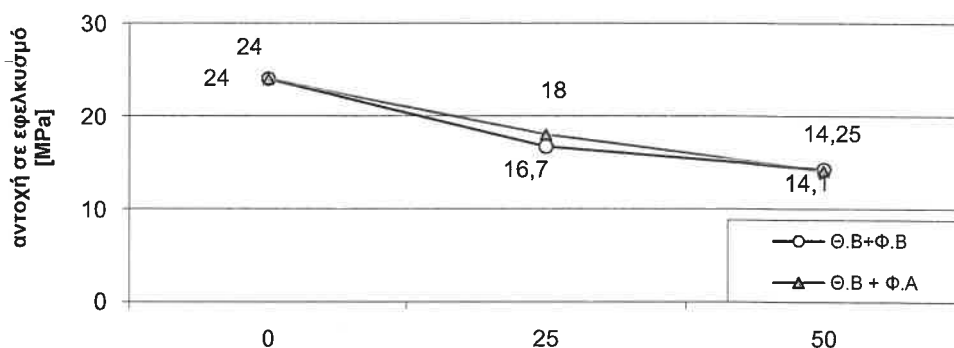
Σχήμα 4.3.12 Αντοχή σε θλίψη ισοδ. κύβου μίγματος πλ. Θ.Α συναρτήσει του ποσοστού ανάμιξης φρεζαρισμένου ΦΑ

Έχοντας υπόψη από την προηγούμενη σύγκριση της αντοχής σε θλίψη των μιγμάτων 100% θραυστών την επίδραση της παιπάλης στα αδρανή (ενότητα 3.2 α)), μπορεί να μελετηθεί κατά παρόμοιο τρόπο και ο πρόσθετος παράγοντας, δηλαδή το ασφατικό υλικό που περιέχεται.

Τα χονδρόκοκκα αδρανή του μίγματος αναλαμβάνουν κατά κύριο λόγο τις θλιπτικές τάσεις του φορτίου μέσω του συνδετικού κονιάματος με συνέπεια να δημιουργούνται εφελκυστηκές τάσεις στα πλευρικά τους τμήματα (σχήμα 3.1.4). Οι μειωμένες δυνάμεις συνάφειας που έχουν αναπτυχθεί στη διεπιφάνεια του αδρανούς του φρεζαρισμένου Α λόγω της ασθενούς συγκόλλησης του ασφαλικού υλικού που το περιβάλλει και του συνδετικού κονιάματος επιτρέπουν επιτόπου παραμορφώσεις και αυτό οδηγεί στη συνολική ρηγμάτωση και θραύση του μίγματος. Όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα τέτοιων αδρανών στο μίγμα αποδυναμώνεται την αντοχή του σε θλίψη.

Ένας επιπλέον λόγος μείωσης της εξεταζόμενης αντοχής με την αύξηση του φρεζαρισμένου υλικού είναι η επίδραση ορισμένων κόκκων του τελευταίου που εμφανίζονται ως ένα πυκνό συσσωμάτωμα λεπτόκοκκων αδρανών και άμμου συνδεδεμένα με ασφαλικό υλικό. Όσο αυξάνεται το θλιπτικό φορτίο τα συγκεκριμένα «αδρανή» του φρεζαρισμένου υλικού παραμορφώνονται έντονα κάτι που δεν μπορεί να συμβεί με το συνδετικό κονίαμα που το πλαισιώνει εξαιτίας του μεγαλύτερου μέτρου ελαστικότητας. Η παρουσία τέτοιων αδρανών στο μίγμα με μικρότερη αντοχή σε θλίψη έναντι του συνολικού υλικού εξαιτίας της μεγάλης ελαστικότητας (ασφαλικό υλικό) ή της εσωτερικής θράυσης τους

Όπως διαπιστώνεται από τα στοιχεία του πίνακα 3.1.2 και απεικονίζεται ενδεικτικά στο σχήμα 4.3.13, οι τιμές της αντοχής στη δοκιμή σε θλίψη ισοδύναμου κύβου δεν επηρεάζονται σημαντικά από την αλλαγή της ποιότητας του ανακυκλωμένου ασφαλτομίγματος από ΦΑ σε ΦΒ.



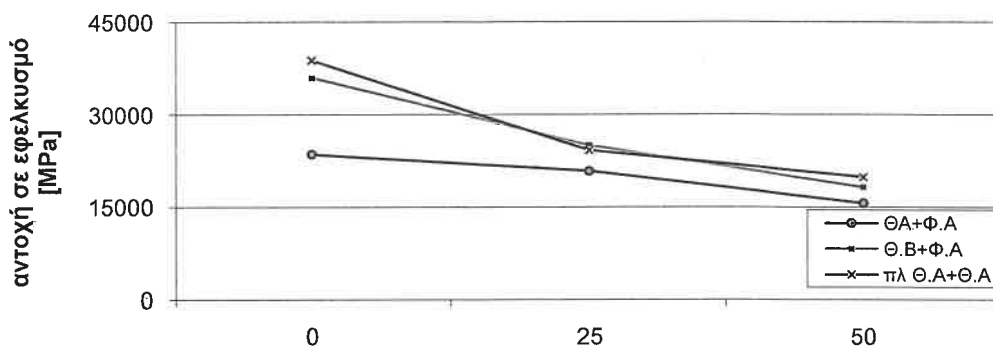
Σχήμα 4.3.13 Επίδραση του φρεζαρισμένου υλικού ΦΑ και ΦΒ στην Αντοχή σε θλίψη ισοδ. κύβου μίγματος θραυστού

	ΘΑ	ΘΒ	Θ.Α.πλ
0% Φ	23500	36000	38800
25% ΦΑ	20900	23000	24200
50% ΦΑ	15600	18100	19900
25% ΦΒ	17200	23100	25100
50% ΦΒ	16000	17700	17800

Πίνακας 4.4 Απόσπασμα πίνακα 3.1.1

Τιμές μέτρου ελαστικότητας σε θλίψη σε ισοδ. κύβο [MPa]

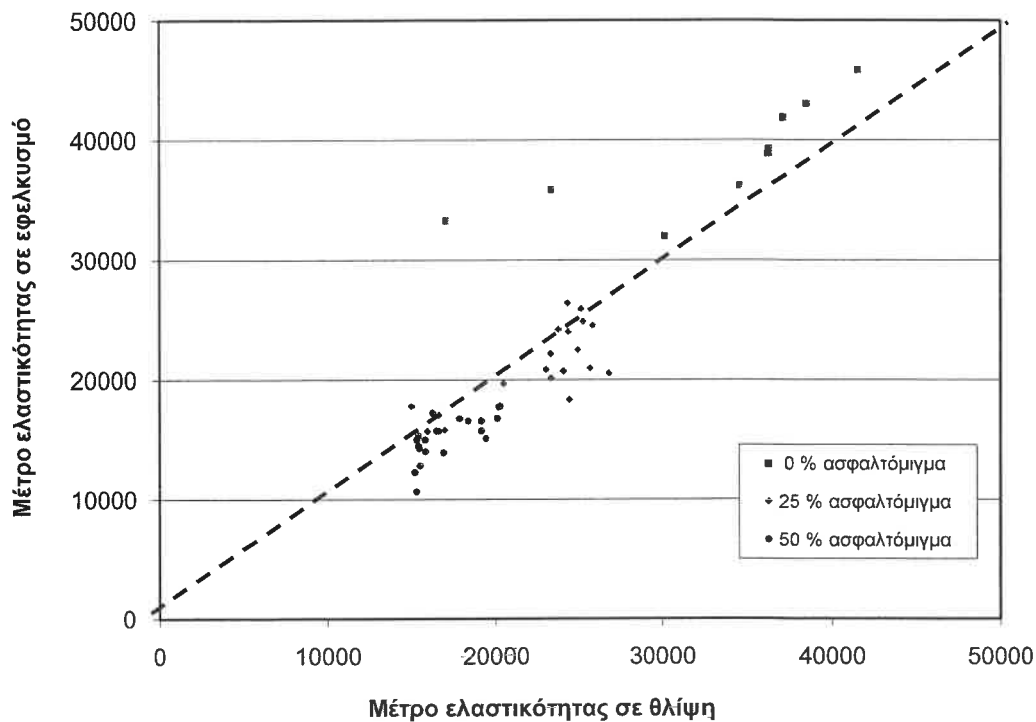
Από τον ίδιο πίνακα 3.1.2 επεξεργάζονται τα στοιχεία που αφορούν το μέτρο ελαστικότητας των μιγμάτων θραυστού κατά της δοκιμή τους σε θλίψη πρίσματος. Είναι εμφανές πως η τιμή τους μειώνεται ανάλογα με την αύξηση του ποσοστού του φρεζαρισμένου υλικού που περιέχεται στα μίγματα. Σχήμα 4.3.14



Σχήμα 4.3.14 Επίδραση του ποσοστού (%) φρεζαρισμένου υλικού ΦΑ στο μέτρο ελαστικότητας σε θλίψη πρίσματος των μιγμάτων θραυστού ΘΑ ,ΘΒ και πλ ΘΑ

Από το παραπάνω σχήμα διακρίνεται η μείωση του μέτρου ελαστικότητας σε θλίψη των μιγμάτων ενώ ταυτόχρονα επιβεβαιώνεται η διαπίστωση ότι με την αύξηση του φρεζαρισμένου υλικού συγκλίνουν οι διαφορές τους, παρατήρηση που είχε γίνει στην προηγούμενη ενότητα 4.2 όπου και εξηγήθηκε επαρκώς.

Διαπιστώνεται μία ομοιομορφία στις τιμές των μέτρων ελαστικότητας σε εφελκυσμό με τις αντίστοιχες αυτών σε θλίψη . Αυτό φαίνεται καθαρά στο σχήμα 4.3.15 καθώς και οι τοπικές συσπειρώσεις τους ανά ποσοστό φρεζαρισμένου υλικού.



Σχήμα 4.3.15 Σύγκριση μέτρου ελαστικότητας σε εφελκυσμό και θλίψη πρίσματος

Παρατηρείται πως όσο περισσότερο φρεζαρισμένο υλικό περιέχεται στα μίγματα οι τιμές στα μέτρα ελαστικότητας συσπειρώνονται γύρω από την διαγώνιο, δηλαδή τείνουν να εξισωθούν..

4.4 ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ.

Από τη συνολική μελέτη των αποτελεσμάτων και τις συγκρίσεις τους με διαφορετικούς τρόπους μεταξύ τους διαπιστώθηκαν τα εξής:

α) Η παιπάλη που βρίσκεται επικολλημένη (ηλεκτροστατικά) στην επιφάνεια των αδρανών μπορεί να μεταβάλει σημαντικά τα μηχανικά χαρακτηριστικά (αντοχή και μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό και θλίψη) των κατεργασμένων με τσιμέντο υλικών. Όσο αυξάνει το ποσοστό της παιπάλης τόσο μειώνονται οι τιμές της αντοχής και του μέτρου ελαστικότητας (θλίψη –εφελκυσμός). Με το πλύσιμο των αδρανών απομακρύνεται η παιπάλη και αυξάνονται τα μηχανικά χαρακτηριστικά του υλικού.

β) Στα μίγματα αδρανών υλικών και φρεζαρισμένου ασφαλτομίγματος μέχρι ποσοστού 50% και 50% δεν παρατηρούνται διαφορές στα μηχανικά χαρακτηριστικά αν μεταβληθεί η προέλευση του φρεζαρισμένου ασφαλτομίγματος.

γ) Επιβεβαιώνεται πως η αύξηση του ποσοστού φρεζαρισμένου ασφαλτικού υλικού μειώνει τα μηχανικά χαρακτηριστικά του μίγματος με θραυστά αδρανή.



ΜΙΓΜΑ Α			ΜΙΓΜΑ Β			ΜΙΓΜΑ Γ		
ΘΡΑΥΣΤΟ ΘΑ + ΦΡΕΖΑΡΙΣΜΕΝΟ ΦΑ			ΘΡΑΥΣΤΟ ΘΑ + ΦΡΕΖΑΡΙΣΜΕΝΟ ΦΒ			ΘΡΑΥΣΤΟ ΘΒ + ΦΡΕΖΑΡΙΣΜΕΝΟ ΦΑ		
ΥΛΙΚΟ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΙΓΜΑΤΟΣ	ΒΑΡΟΣ Kgr	ΥΛΙΚΟ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΙΓΜΑΤΟΣ	ΒΑΡΟΣ Kgr	ΥΛΙΚΟ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΙΓΜΑΤΟΣ	ΒΑΡΟΣ Kgr
I 100/0		55				I 100/0		55
ΘΡΑΥΣΤΟ						ΘΡΑΥΣΤΟ		
ΑΜΜΟΣ	55%	27,5				ΑΜΜΟΣ	55%	27,5
ΓΑΡΜΠΙΛΙ	25%	12,5				ΨΗΦΙΔΑ	10%	5
ΧΑΛΙΚΙ	20%	10				ΓΑΡΜΠΙΛΙ	20%	10
						ΧΑΛΙΚΙ	15%	7,5
ΤΣΙΜΕΝΤΟ	5%	2,5				ΤΣΙΜΕΝΤΟ	5%	2,5
ΝΕΡΟ	5%	2,5				ΝΕΡΟ	5%	2,5
II 75/25		55	II 75/25		55	II 75/25		55
ΘΡΑΥΣΤΟ			ΘΡΑΥΣΤΟ			ΘΡΑΥΣΤΟ		
ΑΜΜΟΣ	55%*0,75=41,25	20,625	ΑΜΜΟΣ	55%*0,75=41,25	20,625	ΑΜΜΟΣ	55%*0,75=41,25%	20,625
ΓΑΡ.	25%*0,750=18,75	9,375	ΓΑΡ.	25%*0,750=18,75	9,375	ΨΗΦΙΔΑ	10%*0,75=7,5%	3,75
ΧΑΛ	20%*0,75=15	7,5	ΧΑΛ	20%*0,75=15	7,5	ΓΑΡ.	20%*0,750=15%	7,5
						ΧΑΛ	15%*0,75=11,25%	5,625
ΦΡΕΖ			ΦΡΕΖ			ΦΡΕΖ		
ΑΜΜΟΣ	55%*0,75=13,75	6,875	ΑΜΜΟΣ	55%*0,75=13,75	6,875	ΑΜΜΟΣ	55%*0,75=13,75%	6,875
ΓΑΡ.	15%*0,750=3,75	1,875	ΓΑΡ.	15%*0,750=3,75	1,875	ΓΑΡ.	15%*0,750=3,75%	1,875
ΧΑΛ	30%*0,75=7,5	3,75	ΧΑΛ	30%*0,75=7,5	3,75	ΧΑΛ	30%*0,75=7,5%	3,75
ΤΣΙΜΕΝΤΟ	5%	2,5				ΤΣΙΜΕΝΤΟ	5%	2,5
ΝΕΡΟ	5%	2,5				ΝΕΡΟ	5%	2,5
III 50/50		55	III 50/50		55	III 50/50		55
ΘΡΑΥΣΤΟ			ΘΡΑΥΣΤΟ			ΘΡΑΥΣΤΟ		
ΑΜΜΟΣ	55%*0,5=27,5	13,75	ΑΜΜΟΣ	55%*0,5=27,5	13,75	ΑΜΜΟΣ	55%*0,5=27,5%	13,75
ΓΑΡ.	25%*0,5=12,5	6,25	ΓΑΡ.	25%*0,5=12,5	6,25	ΨΗΦΙΔΑ	10%*0,5=5%	2,5
ΧΑΛ	20%*0,5=10	5	ΧΑΛ	20%*0,5=10	5	ΓΑΡ.	20%*0,5=10%	5
						ΧΑΛ	15%*0,5=7,5%	3,75
ΦΡΕΖ			ΦΡΕΖ			ΦΡΕΖ		
ΑΜΜΟΣ	55%*0,5=27,5	13,75	ΑΜΜΟΣ	55%*0,5=27,5	13,75	ΑΜΜΟΣ	55%*0,5=27,5%	13,75
ΓΑΡ.	15%*0,50=7,5	3,75	ΓΑΡ.	15%*0,50=7,5	3,75	ΓΑΡ.	15%*0,50=7,5%	3,75
ΧΑΛ	30%*0,5=15	7,5	ΧΑΛ	30%*0,5=15	7,5	ΧΑΛ	30%*0,5=15%	7,5
ΤΣΙΜΕΝΤΟ	5%	2,5	ΤΣΙΜΕΝΤΟ	5%	2,5	ΤΣΙΜΕΝΤΟ		2,5
ΝΕΡΟ	5%	2,5	ΝΕΡΟ	5%	2,5	ΝΕΡΟ		2,5

ΠΙΝΑΚΑΣ Α ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ

ΜΙΓΜΑ Δ			ΜΙΓΜΑ Ε			ΜΙΓΜΑ ΣΤ		
ΘΡΑΥΣΤΟ ΘΒ + ΦΡΕΖΑΡΙΣΜΕΝΟ ΦΒ			ΠΛΥΜ.ΘΡΑΥΣΤΟ ΘΑ + ΦΡΕΖΑΡΙΣΜΕΝΟ ΦΑ			ΠΛΥΜ.ΘΡΑΥΣΤΟ ΘΑ + ΦΡΕΖΑΡΙΣΜΕΝΟ ΦΒ		
ΥΛΙΚΟ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΙΓΜΑΤΟΣ	ΒΑΡΟΣ Kgr	ΥΛΙΚΟ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΙΓΜΑΤΟΣ	ΒΑΡΟΣ Kgr	ΥΛΙΚΟ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΙΓΜΑΤΟΣ	ΒΑΡΟΣ Kgr
II 75/25 ΘΡΑΥΣΤΟ	55%*0.75=41.25 25%*0.750=18.75 20%*0.75=15	20.625 9,375 7,5	I 100/0		55	I 100/0		55
			ΘΡΑΥΣΤΟ					
			ΑΜΜΟΣ	55%	27,5			
			ΨΗΦΙΔΑ	25%	12,5			
			ΓΑΡΕΠΙΛΙ	20%	10			
ΦΡΕΖ	55%*0.75=41.25 25%*0.750=18.75 20%*0.75=15	20.625 9,375 7,5	ΤΣΙΜΕΝΤΟ		2,5			
			ΝΕΡΟ		2,5			
			II 75/25		55	II 75/25		55
			ΘΡΑΥΣΤΟ			ΘΡΑΥΣΤΟ		
			ΑΜΜΟΣ	55%*0.75=41.25 25%*0.750=18.75 20%*0.75=15	20.625 9,375 7,5	ΑΜΜΟΣ	55%*0.75=41.25% 25%*0.750=18.75% 20%*0.75=15%	20.625 9,375 7,5
ΦΡΕΖ	55%*0.75=13.75 15%*0.750=3.75 30%*0.75=7.5	6,875 1,875 3,75	ΦΡΕΖ			ΦΡΕΖ		
			ΑΜΜΟΣ	55%*0.75=13.75 15%*0.750=3.75 30%*0.75=7.5	6,875 1,875 3,75	ΑΜΜΟΣ	55%*0.75=13.75 15%*0.750=3.75 30%*0.75=7.5	6,875 1,875 3,75
			ΓΑΡ.			ΓΑΡ.		
			ΧΑΛ			ΧΑΛ		
			ΤΣΙΜΕΝΤΟ	5% 5%	2,5 2,5	ΤΣΙΜΕΝΤΟ	5% 5%	2,5 2,5
III 50/50 ΘΡΑΥΣΤΟ	55%*0.5=27.5 25%*0.5=12.5 20%*0.5=10	13,75 6,25 5	III 50/50		55	III 50/50		55
			ΘΡΑΥΣΤΟ			ΘΡΑΥΣΤΟ		
			ΑΜΜΟΣ	55%*0.5=27.5 25%*0.5=12.5 20%*0.5=10	13,75 6,25 5	ΑΜΜΟΣ	55%*0.5=27.5 25%*0.5=12.5 20%*0.5=10	13,75 6,25 5
			ΓΑΡ.			ΓΑΡ.		
			ΧΑΛ			ΧΑΛ		
ΦΡΕΖ	55%*0.5=27.5 15%*0.50=7.5 30%*0.5=15	13,75 3,75 7,5	ΦΡΕΖ			ΦΡΕΖ		
			ΑΜΜΟΣ	55%*0.5=27.5 15%*0.50=7.5 30%*0.5=15	13,75 3,75 7,5	ΑΜΜΟΣ	55%*0.5=27.5 15%*0.50=7.5 30%*0.5=15	13,75 3,75 7,5
			ΓΑΡ.			ΓΑΡ.		
			ΧΑΛ			ΧΑΛ		
			ΤΣΙΜΕΝΤΟ	5% 5%	2,5 2,5	ΤΣΙΜΕΝΤΟ	5% 5%	2,5 2,5

ΠΙΝΑΚΑΣ Β ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ

α/α	σ _{max} εφελκυσμός (Μpa)	σ _{max} θλίψη (Μpa)	Ε εφελκυσμός	
A I 1	1,8	22,5	32215,6	22111
A I 2	1,76	24,18	28548,3	23361,6
A I 3	1,83	22,48	30277,1	30219,1
A I 4	1,85	21,6	37186,9	17080,17
A II 1	1,77	16,7	20141,9	22923
A II 2	1,59	17,1	22552,2	21120,3
A II 3	1,6	16,54	22500,6	22305,5
A II 4	1,77	15,64	19434,2	20583,76
A III 1	1,75	13,56	17083,5	16498,7
A III 2	1,71	13,17	15357,8	15210,8
A III 3	1,71	13,56	13111,3	15422,3
A III 4	1,68	13,94	14213,7	15422,3
B II 1	1,15	16,52	18044,8	16985,3
B II 2	1,25	15,72	16780	16646,4
B II 3	1,26	16,82	16131	15010,3
B II 4	1,19	16,91	14864,5	15946,5
B III 1	1,88	12,43	13834,3	15840,8
B III 2	1,86	11,97	13264,8	17877,7
B III 3	1,73	13,69	14811,3	19440,9
B III 4	1,74	12,41	15738,3	15509,4
Γ I 1	2,64	19,99	38198,6	34636,9
Γ I 2	2,6	24,18	41876,1	37111,9
Γ I 3	2,54	22,48	38884,7	36295,8
Γ I 4	2,38	21,6	37789	35589,8
Γ II 1	2	17,78	25740	24053,7
Γ II 2	1,79	18,15	21538,7	26817
Γ II 3	1,77	18,44	22511,7	24919,9
Γ II 4	1,72	17,61	19354,6	24409,2
Γ III 1	1,77	14,34	13944,3	16926,4
Γ III 2	1,72	13,89	15733,8	16622,9
Γ III 3	1,79	13,69	17745	20218,3
Γ III 4	1,6	14,32	16605,8	19161,8

ΠΙΝΑΚΑΣ Δ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

α/α	σ _{max} εφελκυσμός (Μpa)	σ _{max} θλίψη (Μpa)	Ε εφελκυσμός	Ε θλίψη
Δ ΙΙ 1	1,7	15,99	20866,7	23022,3
Δ ΙΙ 2	1,91	17,47	20961,4	25662,7
Δ ΙΙ 3	1,98	16,56	20147,5	23346,09
Δ ΙΙ 4	1,89	16,54	19679,4	20492,8
Δ ΙΙΙ 1	1,7	14,19	16570,5	19172,5
Δ ΙΙΙ 2	1,78	13,95	15416,4	15818,4
Δ ΙΙΙ 3	1,77	15,03	18124,4	17539
Δ ΙΙΙ 4	1,63	13,83	14592	18376,4
Ε Ι 1	2,51	27,99	39309,2	38342,3
Ε Ι 2	2,29	26,19	39252,4	36326,9
Ε Ι 3	2,29	27,67	43034,9	38518,6
Ε Ι 4	2,51	27,75	45866,7	41564,4
Ε ΙΙ 1	1,81	17,59	23195	23760,6
Ε ΙΙ 2	1,93	17,38	26398,9	24326,96
Ε ΙΙ 3	1,77	17,86	24178,07	23296,1
Ε ΙΙ 4	1,89	18,04	23220,08	25423,7
Ε ΙΙΙ 1	1,8	14,5	16787,5	20116,29
Ε ΙΙΙ 2	1,86	14,3	15774,6	19161,7
Ε ΙΙΙ 3	2,02	14,54	17805,4	20292,5
Ε ΙΙΙ 4	2,01	14,92	16728,5	19122,5
ΣΤ ΙΙ 1	2,01	17,74	24531,3	25819,5
ΣΤ ΙΙ 2	1,99	17,7	25902,4	25123,1
ΣΤ ΙΙ 3	1,55	17,26	24001,1	24354,1
ΣΤ ΙΙ 4	2,08	16,99	24870,5	25239,1
ΣΤ ΙΙΙ 1	1,77	14,15	17240,5	16280,5
ΣΤ ΙΙΙ 2	1,72	13,28	15016,4	15316,9
ΣΤ ΙΙΙ 3	1,79	13,73	18696	15316,96418
ΣΤ ΙΙΙ 4	1,9	13,5	14328,3	15466,6

ΠΙΝΑΚΑΣ Ε ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΙΩΝ



BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Wirgten "Wirgten cold in place Recycling Manual" Wirgten GmbH Hohner strabe 2 November 2005,
2. Wirgten cold Recycling "Job report and references about executed jobs" GmbH Hohner strabe 2, 2003
3. Bomag Job report "Mix in place recyglng, the reconstruction of asphalt reoads"
4. Adam Neville, " Creep of concrete and behavior of structures ", Concrete International, May 2002.
5. Neil Jackson and Ravindra k. Dhir, " Civil Engineering Materials ", Εκδόσεις Macmillan fifth edition, 1996.
6. Ανακυκλωτής WR 2500. Τα Εξαιρετικά Χαρακτηριστικά και Ένας Πλούτος Εφαρμογών, Wirtgen, GR 06/97 Printed in Germany.
7. 10ο Πανελλήνιο Συνέδριο, "Ασφαλτοσκυροδέματος και Ευκάμπτων Οδοστρωμάτων ", από Εργαστήριο Οδοποιίας Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκης, Ιανουάριος 1992.
8. Αθ. Φ. Νικολαΐδης, " Οδοποιία Οδοστρωμάτων- Υλικά Έλεγχος Ποιότητας ", 2η Έκδοση 2002.
9. Σ.Κόλιας, Σημειώσεις Μεταπτυχιακού Μαθήματος " Δομοστατικός Σχεδιασμός και Ανάλυση Κατασκευών".
10. Πρασιαννάκης – Μηλός, Πειραματική Αντοχή Υλικών, Εκδόσεις Συμμετρία.
13. 2ο Πανελλήνιο Συνέδριο οδοποιίας, Βόλος 2005
14. Σ.Κόλιας, Ερευνητικό Πρόγραμμα «Μέτρηση Του Μέρου Δυσκαμψίας Και Των Χαρακτηριστικών Μόνιμης Παραμόρφωσης Των Ελληνικών Οδοστρωμάτων», Αθήνα 30/07/93.
15. Σ.Κόλιας-Α.Λοΐζος, «Σημειώσεις Οδοστρωμάτων», Ε.Μ.Π, Αθήνα 1999.
16. Ι.Κ.Βάγιας, «Σύμμικτες Κατασκευές», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2η Έκδοση, 2001.

- 17 Σεργεδάκης Λουκάς Διπλωματική εργασία "Μελέτη της μηχανικής συμπεριφοράς του ανακυκλωμένου οδοστρώματος με προσθήκη ασφαλικού γαλακτώματος και τσιμέντου»
- 18 Δρόλια Κρινιώ-Μαρία - Φεραδούρου Αφροδίτη . Διπλωματική εργασία «Μέτρηση ερπυσμού σε ανακυκλωμένα με τσιμέντο μίγματα φρεζαρισμένου ασφαλτομίγματος και θραυστού αμμοχάλικου»
- 19 ΑΤΤΙ-ΚΑΤ ΑΤΕ «Ανακατασκευή τμημάτων λεωφόρου Συγγρού με τη μέθοδο της ψυχρής επί τ όπου ανακύκλωσης» Αθήνα 1996
20. Wirtgen Cold Recycling Manual, Wirtgen, Wirtgen GmbH, November 2009
21. The Various Uses Of Small Milling Machines Up To 1 Working Width, Wirtgen, Wirtgen GmbH 2001 Printed in Germany.
- 22 www.wirtgen-group.com
- 22 www.millergroup.com