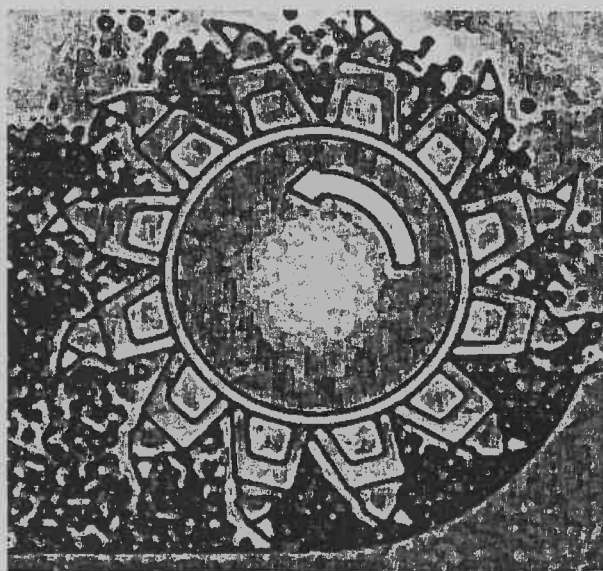




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

**ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΕΝ ΨΥΧΡΩ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ
ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ**



Διπλωματική Εργασία
ΑΥΛΩΝΙΤΗ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗΣ

Επιβλέπων: Σ. ΚΟΛΙΑΣ – αναπληρωτής καθηγητής

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2002

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΕΝ ΨΥΧΡΩ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ
ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Διπλωματική Εργασία
ΑΥΛΩΝΙΤΗ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗΣ

Επιβλέπων: Σ. ΚΟΛΙΑΣ – αναπληρωτής καθηγητής

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2002

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο τμήμα πολιτικών μηχανικών και συγκεκριμένα, στον τομέα μεταφορών και συγκοινωνιακής υποδομής υπό την εποπτεία και επιστημονική καθοδήγηση του καθηγητή κύριου Σ. Κόλια.

Ιδιαίτερα, επιθυμώ να εκφράσω τις βαθύτατες ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή, κύριο **Στέλιο Κόλια**, αφενός για την υπόδειξη ενός τόσο σύγχρονου και ενδιαφέροντος θέματος, όπως είναι το θέμα της ανακύκλωσης των οδοστρωμάτων και αφετέρου για την συγκατάθεση και παρότρυνσή του να εκπονήσω μέρος της διπλωματικής μου εργασίας στην Ισπανία - με τη συμμετοχή μου στο πρόγραμμα ανταλλαγής φοιτητών ERASMUS - αποκτώντας έτσι, μια σύντομη αλλά πολύτιμη εμπειρία. Το διαρκές και έντονο ενδιαφέρον που έδειξε τόσο κατά την παραμονή μου στη Valencia όσο και κατά την εργαστηριακή έρευνα που ακολούθησε μετά στην Ελλάδα, συντέλεσαν στην επίτευξη μιας πολύ καλής συνεργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή του Πολυτεχνείου της Valencia κύριο **Carlos Kraemer** για την πολύ καλή συνεργασία που είχα μαζί του κατά τη διάρκεια της παραμονής μου στη Valencia. Η συμβολή του ήταν εξαιρετικά ουσιαστική αφού, οι ενέργειες που έκανε για να επισκεφτώ από κοντά έργα επιτόπου ανακύκλωσης οδοστρωμάτων με τσιμέντο, που δεν γίνονται ακόμα στην Ελλάδα, με βοήθησαν πολύ στην καλύτερη προσέγγιση του θέματος. Επιπλέον, μου δόθηκε η δυνατότητα να αποκτήσω μια μικρή εμπειρία στο εργοτάξιο, να κατανοήσω τις δυσκολίες που αντιμετωπίζονται κατά την εκτέλεση ενός έργου και να παραβρεθώ σε κατατοπιστικές συζητήσεις με τους μηχανικούς. Οι χρήσιμες ανταλλαγές απόψεων που είχαμε καθώς επίσης και το βιβλιογραφικό υλικό που μου παρείχε αποτέλεσαν σημαντική βοήθεια για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Ακόμα, οφείλω να ευχαριστήσω τους υπευθύνους των έργων που επισκέφτηκα και συγκεκριμένα τον μηχανικό, κύριο **Miguel Lopez-Bachiller Fernández**, υπεύθυνο της αναδόχου εταιρείας SOLTEC, τόσο για τη φιλοξενία όσο και την προθυμία του να με ξεναγήσει και να αποσαφηνίσει κάθε μου απορία κατά τη διάρκεια των επισκέψεών μου στο εργοτάξιο.

Επιπλέον, δε θα πρέπει να παραλείψω τους **Elke Brenner** και **Adreas Marquardt** του γερμανικού οίκου κατασκευής μηχανημάτων ανακύκλωσης οδοστρωμάτων WIRTGEN, για το υλικό το οποίο με προμήθευσαν ταχυδρομικώς.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον **Κώστα Ζόμπολα** για την βοήθειά του στην παρασκευή των δοκιμών, τον **Τάσο Καραχάλιο** και την **Ευτέρπη Κιρκιλή** για την θαυμάσια συνεργασία και υποστήριξη, και ιδιαίτερα τη **Μάρθα Κατσάκου** για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε τόσο για το χειρισμό των μηχανημάτων κατά την εκτέλεση των δοκιμών όσο και κατά την ανάλυση των μετρήσεων, κατά τη διάρκεια της εργαστηριακής έρευνας.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου για τη συμπαράστασή τους κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας και γενικότερα, που όλα αυτά τα χρόνια δεν μου στέρησαν ποτέ την δυνατότητα για απόκτηση καινούριων εμπειριών και γνώσεων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η διπλωματική αυτή εργασία συντάχθηκε μετά την επί πέντε μήνες παραμονή μου στη Valencia της Ισπανίας, στα πλαίσια του προγράμματος ανταλλαγής φοιτητών SOCRATES – ERASMUS, υπό την καθοδήγηση των καθηγητών κ. Σ. Κόλια (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο) και κ. C. Kraemer (Universidad Politécnica de Valencia). Εκεί, μου δόθηκε η ευκαιρία να ενημερωθώ σε κατασκευαστικά θέματα της μεθόδου ανακύκλωσης των οδοστρωμάτων με τσιμέντο. Μου παρασχέθηκε η δυνατότητα αφενός μεν να παραβρεθώ σε εποικοδομητικές και πολύ κατατοπιστικές συζητήσεις με τεχνικούς επίβλεψης και κατασκευής καθώς και με τον καθηγητή κ. C. Kraemer. Κατά την παραμονή μου στην Ισπανία επισκέφτηκα δύο έργα επιτόπου εν ψυχρώ ανακύκλωσης οδοστρωμάτων με τσιμέντο. Ένα κατά τη διάρκεια της κατασκευής και ένα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του. Επιπλέον, συγκέντρωσα επιλεγμένη βιβλιογραφία (προδιαγραφές και εγχειρίδια κατασκευής^[2,11], άρθρα από συνέδρια) και σε συνδυασμό με την προσωπική μου εμπειρία σύνταξα τα κεφάλαια 1 έως 11. Μετά την επιστροφή μου από την Ισπανία και διαπιστώνοντας ότι εκεί δεν υπήρχαν πολλά εργαστηριακά δεδομένα και εργαστηριακές ερευνητικές εργασίες, η διπλωματική εργασία επεκτάθηκε στους ακόλουθους τομείς:

- α) Ανάλυση των επιπλοκών ενός ανακυκλωμένου με τσιμέντο οδοστρώματος για να διερευνηθεί η επίδραση των μηχανικών χαρακτηριστικών των ανακυκλωμένων με τσιμέντο στρώσεων στη συμπεριφορά του οδοστρώματος. Στην ανάλυση αυτή συμπεριλήφθηκε και η ανάλυση ευαισθησίας για τις τιμές του λόγου Poisson, για τις οποίες δεν εντοπίστηκαν δημοσιευμένες τιμές.
- β) Εργαστηριακή έρευνα για τη μέτρηση του μέτρου ελαστικότητας και της αντίστοιχης αντοχής σε δοκιμές κάμψης, θλίψης και καθαρού εφελκυσμού.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελ.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ	2
1.1. Ορισμός	2
1.2. Ιστορική αναδρομή	3
1.3. Στόχοι ανακύκλωσης οδοστρωμάτων	6
1.4. Τύποι ανακύκλωσης	7
1.5. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου επιτόπου εν ψυχρώ ανακύκλωσης οδοστρωμάτων	13
2. ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ	16
2.1. Πλεονεκτήματα της επιτόπου ανακύκλωσης με τσιμέντο	16
2.2. Σύγκριση της ανακύκλωσης με τσιμέντο και της ανακύκλωσης με ασφαλτικό γαλάκτωμα ή με αφρώδη άσφαλτο	17
2.3. Σύγκριση της ανακύκλωσης με τσιμέντο και της εν θερμώ ανακύκλωσης	18
2.4. Σύγκριση της ανακύκλωσης με τσιμέντο και της ενίσχυσης του οδοστρώματος	19
2.5. Πεδίο εφαρμογής της εν ψυχρώ επιτόπου ανακύκλωσης οδοστρωμάτων με τσιμέντο	21
3. ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ	23
3.1. Γενικά	23
3.2. Επαλήθευση της εφικτότητας της ανακύκλωσης	23
4. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΟΥ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΥΛΙΚΟΥ	31
4.1. Μηχανικά χαρακτηριστικά	31
4.2. Άλλα χαρακτηριστικά υλικών ανακυκλωμένων με τσιμέντο	44
5. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	47
6. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΝΟΣ ΥΠΑΡΧΟΝΤΟΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΕΝ ΨΥΧΡΩ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ	51
7. ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΕΡΓΩΝ ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΕΝ ΨΥΧΡΩ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ	54
7.1. Γενικά	54
7.2. Διανεμητήρες σταθεροποιητικού υλικού	54
7.3. Ανακυκλωτήρες	58
7.4. Μηχανικός εξοπλισμός για την πραγματοποίηση των αρμών σε νωπό ανακυκλωμένο με τσιμέντο οδόστρωμα	63
7.5. Οδοστρωτήρες	63
8. ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	67
8.1. Διαδικασία εκτέλεσης του έργου	67
9. ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ	76
9.1. Έλεγχοι κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των έργων	76
9.2. Έλεγχοι στην τελική στρώση	79
10. ΠΡΟΤΑΣΗ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ ΓΕΝΙΚΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ	82
10.1. Ορισμός επιτόπου ανακύκλωσης με τσιμέντο οδοστρώματος	82
10.2. Υλικά	83
10.3. Τύπος και σύνθεση του μίγματος	87
10.4. Εξοπλισμός για την εκτέλεση των έργων	88
10.5. Εκτέλεση του έργου	90
10.6. Προδιαγραφές της τελικής ενότητας του έργου	102

	Σελ.
10.7. Μέθοδος δοκιμών στο εργαστήριο για τον καθορισμό της χρονικής περιόδου εργασιμότητας.....	104
10.8. Έλεγχος ποιότητας.....	109
10.9. Αποζημίωση.....	118
10.10. Κανονισμοί.....	119
11. ΕΠΙΣΚΕΨΗ ΣΕ ΕΡΓΟ ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΕΝ ΨΥΧΡΩ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΣΤΟ HERMISENTE ΤΗΣ ΙΣΠΑΝΙΑΣ.....	120
11.1. Εισαγωγή.....	120
11.2. Περιγραφή του έργου ανακύκλωσης οδοστρώματος με τσιμέντο.....	120
11.3. Επιθεώρηση ανακυκλωμένου με τσιμέντο οδοστρώματος.....	132
11.4. Συμπεράσματα.....	132
12. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	148
12.1. Σκοπός.....	148
12.2. Παρασκευή πρισματικών δοκιμών.....	149
12.3. Περιγραφή των δοκιμών.....	151
12.4. Παρουσίαση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων.....	154

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Η ανακύκλωση είναι μια τεχνική, της οποίας το κυρίως αντικείμενο είναι η μετατροπή ενός φθαρμένου και ανομοιογενούς οδοστρώματος σε μία ομοιογενή κατασκευή, ικανή να αντέξει τον κυκλοφοριακό φόρτο που της επιβάλλεται.

Πιο συγκεκριμένα, η ανακύκλωση ενός οδοστρώματος συνίσταται από την επαναχρησιμοποίηση των υλικών του παλιού οδοστρώματος, για την κατασκευή μίας νέας και ανθεκτικής στρώσης ενός καινούριου οδοστρώματος. Το παλιό οδόστρωμα αποσυντίθεται μέχρι ένα συγκεκριμένο βάθος και σε αυτό το υλικό προστίθεται ένα συνδετικό υλικό (τσιμέντο ή/και γαλάκτωμα ή αφρώδης άσφαλτος), νερό (για την ενυδάτωση, ανάμιξη και συμπίκνωση), πιθανόν αδρανή ή άλλα λεπτά υλικά (για τη διόρθωση της κοκκομετρικής καμπύλης του παλιού υλικού) και ενίοτε κάποιο χημικό πρόσθετο, με δοσολογία η οποία προσδιορίζεται μέσω δοκιμών στο εργαστήριο. Δημιουργείται λοιπόν ένα ομοιογενές μίγμα, το οποίο διαστρώνεται, συμπυκνώνεται και συντηρείται κατάλληλα, αποτελώντας τη βάση ή μια στρώση ενός νέου οδοστρώματος με μεγαλύτερη δομική αντοχή.

Η στρώση αυτή επεξεργάζεται επιφανειακά προκειμένου να προστατευθεί από την κυκλοφορία κατά τη διάρκεια των έργων. Έπειτα διαστρώνονται μία ή δύο ασφαλικές στρώσεις που εξασφαλίζουν την λειτουργικότητα και την ανθεκτικότητα του οδοστρώματος. Συμπερασματικά, η ανακύκλωση είναι μία τεχνική αποκατάστασης οδοστρωμάτων με μεγάλο τεχνικό και οικονομικό ενδιαφέρον.

Η ιδέα της ανακύκλωσης ως μέτρο αποκατάστασης των οδοστρωμάτων είναι σχετικά καινούρια. Εκτός από μερικές τεχνικές έρευνες, πολύ λίγες είναι οι προσπάθειες που έχουν γίνει για την έκδοση κάποιων «οδηγών» για τους μηχανικούς και για τη σύνταξη των απαιτούμενων προδιαγραφών για την εφαρμογή της ανακύκλωσης οδοστρωμάτων. Η έλλειψη των παραπάνω στοιχείων αποτελεί τροχοπέδη στην εφαρμογή των τεχνικών της ανακύκλωσης στην

Ελλάδα. Βασισμένοι λοιπόν σε σχετικές εργασίες ^[1,2] και σε σχετική εργασία γερμανικού οίκου κατασκευής ειδικών μηχανημάτων ανακύκλωσης^[3] στη διπλωματική αυτή εργασία έγινε μια προσπάθεια σύνταξης του προαναφερθέντος «οδηγού» των μηχανικών (κεφ. 2-9). Η εφαρμογή της μεθόδου δεν είναι δυνατή χωρίς την ύπαρξη κατάλληλης προδιαγραφής. Στην εργασία αυτή έγινε προσπάθεια κάλυψης αυτού του κενού με βάση κυρίως την αντίστοιχη ισπανική προδιαγραφή, η οποία παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι στηρίζεται στην μεγάλη πείρα που έχει αποκτηθεί στη χώρα αυτή (κεφ. 10).

1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων πενήντα χρόνων υπήρξε μία απρόβλεπτη ανάπτυξη της οδικής υποδομής. Πολλές χιλιάδες χιλιόμετρα καινούριων δρόμων κατασκευάστηκαν σε όλο τον κόσμο, προκειμένου να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των ολοένα αυξανόμενων κυκλοφοριακών φόρτων. Πολλοί από αυτούς τους δρόμους βρίσκονται σε λειτουργία πάνω από είκοσι χρόνια και έχουν φθάσει στο τέλος της χρονικής περιόδου σχεδιασμού τους απαιτώντας αυξημένες εργασίες για τη συντήρησή τους, έτσι ώστε τα επίπεδα εξυπηρέτησης να παραμείνουν μέσα στα όρια αποδοχής τους. Επιπλέον, ο μέσος κυκλοφοριακός φόρτος αυξάνεται με σταθερό ρυθμό εφόσον η προτίμηση για οδική μεταφορά αγαθών είναι αισθητή ως πιο ευέλικτη και γρηγορότερη λύση. Αυξανόμενος κυκλοφοριακός φόρτος, μεγάλες πιέσεις ελαστικών στο οδόστρωμα, μεγαλύτερο αξονικό φορτίο, σε συνδυασμό με τη μεγάλη ηλικία των δρόμων είναι οι αιτίες που οδηγούν στη φθορά τους. Η ανάγκη για αποκατάσταση των οδοστρωμάτων σε πολλές χώρες αυξάνεται με σημαντικό ρυθμό και υπάρχει επιτακτική ανάγκη να αναπτυχθούν νέες μέθοδοι που να συνδυάζουν ορθή τεχνική λύση, οικονομικότητα και σεβασμό στις περιβαλλοντικές απαιτήσεις.

Μεγάλη σημασία έχει ο δομικός σχεδιασμός των οδοστρωμάτων, ο οποίος είχε σκοπό την εξασφάλιση της αντοχής τους προκειμένου να δεχθούν με ασφάλεια τον προβλεπόμενο κυκλοφοριακό φόρτο. Η σύνθεση και η αντοχή της στρώσης της βάσης του οδοστρώματος είναι εξίσου σημαντικές με τη ποιότητα της στρώσης κυκλοφορίας. Η εμφάνιση επεξεργασμένων βάσεων είχε πολλά πλεονεκτήματα, δεδομένου ότι με τη χρήση τους, αποφεύχθηκαν πολλά

προβλήματα που παρουσίαζαν οι βάσεις με κοκκώδη υλικά. Ψάχνοντας καινούριες μεθόδους για τη βελτίωση της δομικής ικανότητας του οδοστρώματος και ταυτόχρονα τη μείωση του κόστους και της χρήσης καινούριων υλικών, ξεκίνησε η επαναχρησιμοποίηση και η επιδιόρθωση των ήδη υπάρχοντων οδοστρωμάτων μέσω της αποσύνθεσής τους και της προσθήκης σε αυτά κάποιου συνδετικού ή σταθεροποιητικού υλικού.

Μία πρώτη εφαρμογή της τεχνικής της ανακύκλωσης έγινε στο Ηνωμένο Βασίλειο της Αγγλίας μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο^{[1],[2]}. Για την αποκατάσταση κάποιων δευτερευόντων δρόμων, οι οποίοι είχαν πάθει βλάβες από τον πόλεμο, έγινε εφαρμογή της ανακύκλωσης, σύμφωνα με μία μέθοδο που αποκαλέστηκε «μέθοδος επανεπεξεργασίας». Η διαδικασία της μεθόδου αυτής αποτελούταν από φρεζάρισμα του παλιού οδοστρώματος, προσθήκη μιας μικρής ποσότητας νέων αδρανών (αν αυτό κρίνόταν απαραίτητο) και επιτόπου ανάμιξη των δύο υλικών με τη βοήθεια ενός ισοπεδωτήρα (grader). Στη συνέχεια γινόταν εμποτισμός με ένα ασφαλτικό γαλάκτωμα χαμηλής περιεκτικότητας συνδετικού και αμέσως ακολουθούσε η συμπύκνωση του μίγματος. Την πρώτη μέρα πραγματοποιούνταν μόνο η διάστρωση του μίγματος ενώ η συμπύκνωση ολοκληρωνόταν την επόμενη μέρα (δεδομένου ότι περιείχε πολύ νερό). Ήταν μία μέθοδος πολύ απλή, αλλά όταν η εκτέλεση ήταν σωστή έδινε αποδεκτά αποτελέσματα.

Οι τεχνικές της ανακύκλωσης των οδοστρωμάτων εμφανίζονται έπειτα, με την έναρξη της κρίσης των τιμών του πετρελαίου το έτος 1973, ως συνέπεια της αύξησης της τιμής της ασφάλτου και του ενδιαφέροντος για εξοικονόμηση ενέργειας. Η χώρα που τις προώθησε πρώτη ήταν η Αμερική. Οι οικολογικές ανησυχίες της δεκαετίας του '80 και συγκεκριμένα η έλλειψη υπαρχόντων κοιτασμάτων αδρανών και η δυσκολία ανοίγματος καινούριων λατομείων με εκρήξεις για εξόρυξη αδρανών, οδήγησαν στην ανάπτυξη των τεχνικών της ανακύκλωσης, ειδικά στις χώρες που η τιμή των αδρανών ή το κόστος για το άνοιγμα ενός λατομείου ήταν πολύ υψηλά. Επιπλέον, η βελτίωση της γνώσης των μηχανικών χαρακτηριστικών των υλικών κατεργασμένων με τσιμέντο και της συμπεριφοράς των ημιάκαμπτων οδοστρωμάτων, καθώς και η ανάπτυξη καινούριου μηχανικού εξοπλισμού με μεγαλύτερες δυνατότητες, αποδοτικότητα

και βάθος επεξεργασίας έδωσαν ποιοτικά καλύτερο τελικό προϊόν, με αποτέλεσμα την ολοένα αυξανόμενη εφαρμογή της ανακύκλωσης.

Η ανακύκλωση των οδοστρωμάτων με τσιμέντο είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται ευρέως σε μεγάλο αριθμό χωρών σε όλο τον κόσμο. Αυστραλία, Ηνωμένες Πολιτείες, Γαλλία, Νότια Αφρική και Ισπανία είναι μερικές από τις χώρες που εφάρμοσαν την τεχνική της ανακύκλωσης. Οι εφαρμογές της δεν περιορίστηκαν μόνο σε οδοστρώματα δρόμων αλλά ακόμα και σε οδοστρώματα αεροδρομίων^[1]. Οι ευρωπαϊκές χώρες που κάνουν τη μεγαλύτερη χρήση ανακυκλωμένων υλικών είναι η Ολλανδία, η Δανία, η Ελβετία και η Γερμανία. Στην τελευταία μάλιστα, λόγω περιβαλλοντικών θεμάτων κυριάρχησε ως υποχρεωτική η τεχνική της ανακύκλωσης οδοστρωμάτων έτσι ώστε να μπορούν να τηρηθούν οι αρχές της Ομοσπονδιακής Κυβέρνησης για την αποφυγή, τη μείωση και την επαναχρησιμοποίηση ασφαλικών υπολειμμάτων. Σε αυτές τις ευρωπαϊκές χώρες, το ποσοστό χρησιμοποίησης ανακυκλωμένων μιγμάτων σε σχέση με την ολική κατανάλωση σε ασφαλτομίγματα υπερβαίνει το 15% (στη Δανία φτάνει μέχρι και το 34%)^[2].

Στην Ισπανία, η επιτόπου ανακύκλωση οδοστρωμάτων άρχισε να εφαρμόζεται στις αρχές του 1980 σε παραμορφωμένα ασφατικά οδοστρώματα. Χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της ανακύκλωσης εν θερμώ, που είχε όμως ποικίλες αδυναμίες και αποτελέσματα μη ικανοποιητικά και για αυτό εγκαταλείφθηκε. Στις αρχές του 1990 άρχισαν να μελετούνται οι τεχνικές της εν ψυχρώ ανακύκλωσης, τόσο με γαλάκτωμα όσο και με τσιμέντο. Επανεμφανίστηκε λοιπόν η ανακύκλωση στο κρατικό οδικό δίκτυο και συγκεκριμένα στην Huesca το 1990, με τη μορφή της εν ψυχρώ ανακύκλωσης με γαλάκτωμα. Ανακυκλώθηκε ένα τμήμα δρόμου που λειτούργησε ως δοκιμαστικό, για μία πολύ σημαντική αποκατάσταση μιας ζώνης με κίνηση πολλών βαρέων οχημάτων. Έπειτα, δοκιμάστηκαν και άλλες τεχνικές επιτόπου ανακύκλωσης και έτσι η γενίκευσή της άρχισε το 1993.

Στην πράξη, οι χώρες που χρησιμοποιούν τη τεχνική της επιτόπου ανακύκλωσης οδοστρώματος με τσιμέντο είναι Αμερική, η Αυστραλία, η Γερμανία και η Γαλλία. Στην τελευταία ανακυκλώνεται ετησίως με προσθήκη τσιμέντου, οδόστρωμα έκτασης της τάξης των δύο εκατομμυρίων τετραγωνικών μέτρων

(2.000.000m²)^[2]. Στην Ισπανία, η πρώτη αποκατάσταση οδοστρώματος με προσθήκη τσιμέντου πραγματοποιήθηκε σε ένα μήκος λίγο μεγαλύτερο των δώδεκα χιλιομέτρων (12 km.), στον αυτοκινητόδρομο N-431, μεταξύ των περιοχών Huelva και Catraya. Το έργο αυτό βρίσκεται υπό λειτουργία από τις αρχές του 1992 και μέχρι σήμερα, παρά τον έντονο κυκλοφοριακό φόρτο στον οποίο υποβάλλεται και το ελάχιστο πάχος των έξι εκατοστών (6cm) της στρώσης του ασφαλτομίγματος που έχει τοποθετηθεί πάνω από την ανακυκλωμένη στρώση, το οδόστρωμα έχει παρουσιάσει πολύ καλή συμπεριφορά,. Τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον έχει μεγαλώσει και τα έργα της ανακύκλωσης οδοστρωμάτων ιδιαίτερα στην Καστίγια (Castilla), Λεόν (León) και Ανταλουσία (Andalucía) έχουν αυξηθεί αισθητά.

Στην Ελλάδα, δυστυχώς δεν έχει εφαρμοστεί ακόμα καμία τεχνική της μεθόδου ανακύκλωσης οδοστρωμάτων. Παρά τη μεγάλη εργαστηριακή εμπειρία^[8], ο φόβος μεγάλης πιθανότητας αποτυχίας λόγω έλλειψης εμπειρίας σε μεγάλα έργα στην πραγματικότητα, σε συνδυασμό με την επιφυλακτικότητα των Ελλήνων να δοκιμάσουν καινούριες μεθόδους έχουν αφήσει την Ελλάδα αρκετά πίσω στον τομέα αυτό.

1.3 ΣΤΟΧΟΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Ο κύριος στόχος της ανακύκλωσης ενός οδοστρώματος είναι η βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών και της συμπεριφοράς του κάτω από την επίδραση της κυκλοφορίας. Συγκεκριμένα, θα μπορούσαμε να επισημάνουμε τους ακόλουθους επιμέρους στόχους^[6]:

- μετατροπή ενός φθαρμένου και ανομοιογενούς οδοστρώματος σε μία ανθεκτική και πιο ομοιογενή κατασκευή.
- αύξηση της αντοχής έτσι ώστε το οδόστρωμα να είναι ικανό να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της κυκλοφορίας.
- αύξηση της ανθεκτικότητας – μικρότερη ευπάθεια στο νερό και μεγαλύτερη αντίσταση στη διάβρωση.
- προστασία της στρώσης έδρασης και των κατώτερων στρώσεων του οδοστρώματος, των οποίων τα χαρακτηριστικά πολλές φορές δεν είναι καλά.

Η μέθοδος της ανακύκλωσης οδοστρώματων ανταγωνίζεται με τη κλασική τεχνική της αποκατάστασής τους μέσω ενίσχυσης του υπάρχοντος οδοστρώματος με ασφαλτόμιγμα, αμμοχάλικο κατεργασμένο με τσιμέντο ή σκυρόδεμα. Και οι δύο μέθοδοι έχουν κοινό σκοπό την αύξηση της δομικής ικανότητας του οδοστρώματος, με τη διαφορά ότι η πρώτη εκμεταλλεύεται τα υπάρχοντα υλικά και μεταβάλλει λιγότερο το επίπεδο του ήδη υπάρχοντος δρόμου.

Ένα μεγάλο πλεονέκτημα της εν ψυχρώ επιτόπου ανακύκλωσης είναι ότι δεν απαιτείται η μεταφορά υλικών από μία κεντρική βιομηχανική εγκατάσταση. Η ανακύκλωση μπορεί να θεωρηθεί ως μια σταθεροποίηση με πρόσθετα, αφού στο υπάρχον υλικό προστίθεται ένα συνδετικό ή στερεοποιητικό υλικό που αλλάζει τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του μίγματος^[4].

1.4 ΤΥΠΟΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ

α) Από τον τόπο στον οποίο πραγματοποιείται η ανάμιξη

▪ Επιτόπου

Η ανάμιξη του φρεζαρισμένου υλικού με το συνδετικό ή με το σταθεροποιητικό υλικό λαμβάνει χώρα επιτόπου, στον ίδιο το δρόμο. Σε αυτή τη μέθοδο, αν και πολλές φορές γίνεται εκ των προτέρων η προσθήκη μιας μικρής ποσότητας νέων αδρανών το υλικό που χρησιμοποιείται είναι κυρίως αυτό του ήδη υπάρχοντος οδοστρώματος. Το συνδετικό υλικό διαστρώνεται κατά μήκος της επιφάνειας του οδοστρώματος μέσω κατάλληλων μηχανών διανομής, που στο εξής θα αναφέρονται ως διανεμητήρες, και στη συνέχεια αναμιγνύεται πολύ καλά με αυτό (η διανομή του συνδετικού με ανθρώπινα χέρια, είναι αποδεκτή μόνο σε περιπτώσεις που το έργο είναι μικρής σημασίας). Το νερό, αν χρειαστεί, προστίθεται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της ανάμιξης. Συχνότερα όμως, γίνεται ταυτόχρονα προσθήκη νερού και τσιμέντου σε μορφή γαλακτώματος. Επίσης είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν άλλα συνδετικά όπως ασφαλικό γαλάκτωμα ή αφρώδης άσφαλτος ή συνδυασμοί αυτών με τσιμέντο. Τελικά, πραγματοποιείται η συμπύκνωση και η διαμόρφωση της τελικής επιφάνειας του ανακυκλωμένου υλικού.

- Σε κεντρική βιομηχανική εγκατάσταση

Το φρεζαρισμένο υλικό μεταφέρεται τμηματικά, επεξεργάζεται για να αποκτήσει μία κατάλληλη κοκκομετρία και στη συνέχεια μεταφέρεται σε μια κεντρική βιομηχανική εγκατάσταση στην οποία χρησιμοποιείται ως αδρανές σε μία εκ νέου ανάμιξή του με τσιμέντο ή ασφαλτόμιγμα. Οι διάφορες παράμετροι που επηρεάζουν την παρασκευή του μίγματος αυτού προσαρμόζονται με μεγαλύτερη ακρίβεια στην κεντρική εγκατάσταση. Το κόστος όμως είναι πολύ μεγαλύτερο. Οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις μπορεί να είναι συνεχείς ή ασυνεχείς.

Έπειτα, το ανακυκλωμένο υλικό μεταφέρεται στο σημείο τοποθέτησης, όπου διαστρώνεται με μηχανικές μεθόδους. Τελικά, συμπυκνώνεται και διαμορφώνεται η τελική επιφάνεια όπως και στην προηγούμενη μέθοδο.

β) Από τη θερμοκρασία που επικρατεί κατά τη διάρκεια της ανάμιξης

- Εν ψυχρώ

Η εν ψυχρώ ανακύκλωση, χωρίς θέρμανση των ήδη υπαρχόντων υλικών, πραγματοποιείται γενικά επιτόπου.

- Εν θερμώ

Αν αυτή πραγματοποιείται σε κεντρική βιομηχανική εγκατάσταση, το αποσυντιθέμενο υλικό αναμιγνύεται εν θερμώ με ασφαλτόμιγμα και αδρανή που προστίθενται ενίοτε για τη διόρθωση της κοκκομετρίας. Τα μίγματά αυτά συνήθως περιέχουν λιγότερο από σαράντα τοις εκατό (40%) ανακυκλωμένο υλικό.

Αν πραγματοποιείται επιτόπου, ειδικός μηχανικός εξοπλισμός θέρμανσης, ανεβάζει τη θερμοκρασία του οδοστρώματος και διευκολύνει την αποσύνθεση και ανάμιξή του.

γ) Από τον τύπο του συνδετικού

- Τσιμέντο

Το τσιμέντο συνεισφέρει στη γρήγορη ανάπτυξη αντοχών και επιπλέον, επιτρέπει την ανακύκλωση του ήδη υπάρχοντος οδοστρώματος σε σημαντικά βάθη -

πράγμα που δεν μπορεί να επιτευχθεί σε μία ανακύκλωση με γαλάκτωμα. Γι' αυτό όταν απαιτείται μεγάλη αύξηση αντοχής του υπάρχοντος οδοστρώματος με μειωμένη προσθήκη καινούριου υλικού, η ανακύκλωση με τσιμέντο είναι η πλέον προτεινόμενη τεχνική.

Παρέχει συνοχή και αντοχή που αυξάνουν με το χρόνο. Επιπλέον, παρατηρείται ότι σε περίπτωση που το υπάρχον υλικό έχει μεγάλη πλαστικότητα (για παράδειγμα λόγω μόλυνσης των αδρανών), μετά την ανακύκλωσή του με τσιμέντο η τιμή της μειώνεται. Όλο αυτό μεταφράζεται ως μία μεγαλύτερη ογκομετρική σταθεροποίηση και δυνατότητα διατήρησης της φέρουσας ικανότητας κάτω από ποικίλες συνθήκες υγρασίας.

Η περιεκτικότητα σε τσιμέντο επιλέγεται έτσι ώστε να αποκτηθεί κατ' ελάχιστο μία αντοχή παρόμοια με αυτή του εδαφικού υλικού σταθεροποιημένου με τσιμέντο. Ωστόσο, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του προς ανακύκλωση υλικού και με το ποσοστό συμμετοχής του τσιμέντου, μπορούν να επιτευχθούν πολύ υψηλές τιμές αντοχής. Έτσι, στην περίπτωση που έχουμε σχετικά καθαρά χαλίκια, τα χαρακτηριστικά και η αντοχή του ανακυκλωμένου υλικού θα είναι παρόμοια με αυτά ενός αμμοχάλικου κατεργασμένου με τσιμέντο (ΚΘΑ).

▪ Άσβεστος και τσιμέντο

Με υλικά πολύ πλαστικά, όπως συγκεκριμένα αμμοχάλικα μολυσμένα με άργιλο, μπορεί να είναι καλύτερη η επεξεργασία με συνδυασμό άσβεστου και τσιμέντου. Κάθε συνδετικό εκτελεί διαφορετική αποστολή:

- * Η άσβεστος εξασθενεί τη δράση των λεπτών υλικών (LL, PL, PI), με μία γρήγορη αντίδραση ανταλλαγής ιόντων, μειώνοντας ταυτόχρονα την υγρασία.
- * Το τσιμέντο αυξάνει γρήγορα την μηχανική αντοχή του ανακυκλωμένου υλικού.

Το υλικό αρχικά αποσυντίθεται και επεξεργάζεται με μία μειωμένη δοσολογία ασβέστου (1-2%), μέχρι να αποκτήσει μία κοκκώδη μορφή. Έπειτα, πραγματοποιείται η ανακύκλωση με τσιμέντο, αφού προηγουμένως προσδιοριστεί η υγρασία του υλικού.

- Ασφαλτικό γαλάκτωμα

Τα ασφαλτικά γαλακτώματα παράχθηκαν προκειμένου να αποφευχθούν οι δυσκολίες της εργασίας με θερμή ασφαλτο και να επιτευχθεί η σταθεροποίηση και ανάμιξη με υγρό υλικό σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Το αποσυντιθέμενο υλικό αναμιγνύεται με γαλάκτωμα και αναγκαία ποσότητα νερού. Απο τη στιγμή που διαστρώνεται και συμπυκνώνεται, μπορεί να επιτευχθεί ένα υλικό με χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά του αμμοχάλικου κατεργασμένου με γαλάκτωμα ή ενός εν ψυχρώ πυκνού ασφαλτομίγματος. Τα περισσότερο κατάλληλα γαλακτώματα είναι αυτά που διασπώνται αργά.

- Αφρώδης ασφαλτος

Για να αφρίσει η ασφαλτος, θερμαίνεται σε μία θερμοκρασία των 180°C και σε ειδικούς χώρους εγχέεται μία ελεγχόμενη ποσότητα κρύου νερού (συνήθως ένα 2 ή 3% του βάρους της ασφάλτου) και αέρα. Κατά την έγχυση του νερού στη θερμή ασφαλτο, το νερό εξατμίζεται απότομα προκαλώντας το άφρισμα της. Αυτό βοηθά στη διαστολή της ασφάλτου, αυξάνοντας τον αρχικό της όγκο μέχρι τριάντα φορές. Ο βαθμός αφρίσματος της ασφάλτου μπορεί να ελέγχεται από τις φυσικές συνθήκες που επικρατούν, όπως είναι η πίεση και η θερμοκρασία. Λόγω του αφρίσματος το ιξώδες της ασφάλτου μειώνεται σημαντικά, πράγμα που επιτρέπει την εύκολη ανάμιξή του με το υλικό που προέρχεται από το φρεζαρισμένο υλικό του υπάρχοντος οδοστρώματος.

- Τσιμέντο και ασφαλτικό γαλάκτωμα

Αυτό το σύστημα είναι συνδυασμός των δύο προαναφερθέντων συνδετικών. Πρόκειται για την επίτευξη ενός μίγματος με αντοχή παρόμοια με αυτή ενός υλικού ανακυκλωμένου με τσιμέντο, αλλά λόγω της παρουσίας του γαλακτώματος παρέχεται μεγάλη ευκαμψία και λιγότερες ρωγμές λόγω συστολής ξηράνσεως, με αποτέλεσμα τη μείωση του μέτρου ελαστικότητας.

- Τσιμέντο και αφρώδης ασφαλτος

Είναι πολύ συνήθης η προσθήκη μικρής ποσότητας τσιμέντου όταν πραγματοποιείται ανακύκλωση με αφρώδη ασφαλτο. Η δράση του τσιμέντου ως σταθεροποιητικό αρχίζει από τη στιγμή που η στεγνή του σκόνη έρχεται σε επαφή με υγρασία. Δεσμεύονται τα πολύ λεπτά υλικά και μειώνονται αποτελεσματικά τα

στοιχεία με μέγεθος της τάξης των 0.075mm. Η ποιότητα του μίγματος είναι πολύ φτωχή όταν στη συνέχεια προστίθεται η αφρώδης ασφαλτος, λόγω του ότι λόγω έλλειψης λεπτών υλικών είναι πολύ δύσκολο να διασπαστούν τα μόρια της ασφάλτου.

Επιπλέον έχει γίνει μία κατηγοριοποίηση της εν ψυχρώ επι τόπου ανακύκλωσης ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του προς ανακύκλωση υλικού και με το βάθος επεξεργασίας του παλιού οδοστρώματος. Συγκεκριμένα η εν ψυχρώ ανακύκλωση μπορεί για λόγους ευκολίας να χωριστεί σε τρεις κατηγορίες: ανακύκλωση στρώσης μεγάλου βάθους, μικρού βάθους και ανακύκλωση για αναβάθμιση χαλικοστρωμένων δρόμων με μη επίπεδη επιφάνεια^[3]. Σε πολλές περιπτώσεις η διάκριση μεταξύ των δύο πρώτων κατηγοριών δεν είναι σαφής και επομένως κάποια επικάλυψη των δύο αυτών προσεγγίσεων είναι πολύ συχνό φαινόμενο.

i) Από τα χαρακτηριστικά του ως προς ανακύκλωση υλικού

- μία σχετικά ομοιογενής στρώση (για παράδειγμα, μία στρώση από χονδρόκοκκα υλικά καλυμμένη από μία στρώση ασφαλτομίγματος μειωμένου πάχους).
- δύο ή περισσότερες στρώσεις από διαφορετικά υλικά (για παράδειγμα, μια στρώση από χονδρόκοκκα υλικά καλυμμένη από ποικίλες στρώσεις, σημαντικού πάχους τελικά, ασφαλτομιγμάτων, ως αποτέλεσμα διαδοχικών ενισχύσεων).

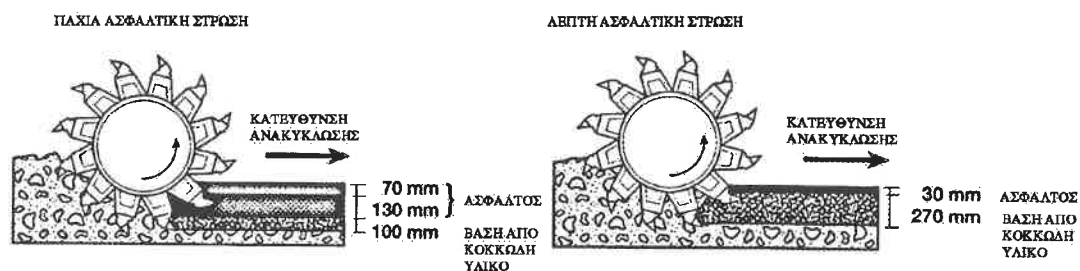
Ως πιο ειδική περίπτωση, μπορεί να αναφερθεί ότι σε μερικές στρώσεις που έχουν έλλειψη σε λεπτά υλικά (για παράδειγμα, βάσεις από μακάνταμ) μπορεί να απαιτηθεί η ανάμιξη των υλικών τους με άμμο, με σκοπό το τελικό μίγμα να αποκτήσει την καταλληλότερη κοκκομετρική σύνθεση για τη σταθεροποίησή του με το τσιμέντο.

ii) Ανακύκλωση στρώσης μεγάλου βάθους

Η ανακύκλωση στρώσης μεγάλου βάθους καλύπτει ένα μεγάλο πεδίο των εφαρμογών της ανακύκλωσης. Περιλαμβάνει από μεσοπρόθεσμες έως μακροπρόθεσμες σχεδιαστικές στρατηγικές με σκοπό την ενίσχυση του καταπονημένου οδοστρώματος. Στρώσεις μεταγενέστερες πάνω από την

ανακυκλωμένη στρώση βελτιώνουν τις λειτουργικές ιδιότητες του οδοστρώματος, όπως η αντιστοιχιστικότητα και η ποιότητα οδήγησης.

Η ανακύκλωση στρώσης μεγάλου βάθους είναι κατάλληλη για την ενίσχυση υπάρχοντος καταπονημένου οδοστρώματος με λεπτή ή χοντρή ασφατική στρώση. Στο ακόλουθο σχήμα (Σχ.1.1) φαίνονται δύο αντίστοιχα παραδείγματα. Και στις δύο περιπτώσεις το βάθος στο οποίο γίνεται ανακύκλωση είναι 300mm, με τη διαφορά ότι το ένα έχει παχιά ασφατική στρώση ενώ το άλλο σχετικά λεπτή.



Σχήμα 1. 1 Περιπτώσεις ανακύκλωσης οδοστρώματος - με παχιά και λεπτή ασφατική στρώση.

Από τη στιγμή που η διαδικασία της ανακύκλωσης έχει ολοκληρωθεί, απαιτείται διαμόρφωση νέας επιφάνειας. Για δρόμους ελαφράς κυκλοφορίας αυτή μπορεί να είναι μία λεπτή στρώση θερμού ασφαλτομίγματος ενώ για δρόμους βαριάς κυκλοφορίας απαιτείται τόσο μία ασφατική βάση όσο και μία επιφανειακή ασφατική στρώση.

iii) Ανακύκλωση στρώσης μικρού βάθους

Η ανακύκλωση λεπτής στρώσης οδοστρώματος ουσιαστικά γίνεται για την εξαφάνιση σοβαρών ρηγματώσεων των ασφατικών στρώσεων, και ταυτόχρονα για τη βελτίωση της ποιότητας κύλησης. Αυτή η κατηγορία θεωρείται ως μία βραχυπρόθεσμη στρατηγική - συχνά όμως χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που έχουν ρηγματωθεί οι επιφανειακές ασφατικές στρώσεις, λόγω αδυναμίας παραλαβής των επιβαλόμενων φορτίων. Αυτός ο τύπος ανακύκλωσης συνήθως πραγματοποιείται σε βάθη που κυμαίνονται από 80 έως 150mm.

Επιπλέον, με την ανακύκλωση λεπτής στρώσης οδοστρώματος γίνεται μία βελτίωση στη δομική ικανότητα του οδοστρώματος, λόγω της επιρροής της μεταγενέστερης ασφατικής στρώσης που συνήθως τοποθετείται. Ο περιορισμός

της εισόδου του νερού στις κατώτερες στρώσεις συμβάλλει στην παράταση της ζωής του οδοστρώματος.

iv) Αναβάθμιση μη επίπεδων χαλικοστρωμένων δρόμων

Η αναβάθμιση χαλικοστρωμένων, μη επίπεδων δρόμων μπορεί να πραγματοποιηθεί με ανακύκλωση των υπάρχοντων χαλικιών είτε με ασφαλτικό γαλάκτωμα είτε με αφρώδη άσφαλτο, εφαρμόζοντας μία λεπτή επιφανειακή στρώση. Τα πλεονεκτήματα αυτού του τρόπου αναβάθμισης οδοστρώματος συμπεριλαμβάνουν την δυνατότητα οδήγησης χωρίς να σηκώνεται σκόνη από το πέρασμα των οχημάτων όταν επικρατούν ξηρές καιρικές συνθήκες και ασφαλέστερη οδήγηση σε βροχερό καιρό. Επιπλέον, γίνεται μία πολύ καλή χρήση των πηγών του υλικού αφού το χαλίκι δε χρειάζεται να αντικατασταθεί σε συχνά μικρά χρονικά διαστήματα - είναι πολύ συχνό το φαινόμενο της απώλειας χαλικιού, της τάξης των 20 έως 30 mm ετησίως, σε μη επίπεδους, χαλικοστρωμένους δρόμους λόγω της κίνησης της κυκλοφορίας και της επίδρασης του καιρού. Αυτή η κατηγορία ανακύκλωσης οδοστρωμάτων συνήθως πραγματοποιείται σε βάθος 100mm έως 150mm. Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι η ανακύκλωση χαλικοστρωμένων μη επίπεδων οδοστρωμάτων μπορεί να γίνει είτε με τσιμέντο είτε με υγρό ασβέστη. Σε αυτή την περίπτωση όμως, απαιτείται μεγαλύτερο βάθος επεξεργασίας, της τάξης των 200mm, κι επομένως μεταπίπτουμε στην κατηγορία της ανακύκλωσης στρώσης μεγάλου βάθους.

1.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΗΣ ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΕΝ ΨΥΧΡΩ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται κάποια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των τεχνικών της ανακύκλωσης σε σχέση με τη τεχνική ενίσχυσης, για την αποκατάσταση των οδοστρωμάτων.

Η εν ψυχρώ, επιτόπου ανακύκλωση ενός οδοστρώματος τόσο με γαλάκτωμα όσο και με τσιμέντο παρουσιάζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα^[2,3,5]:

- εκμετάλλευση των παλιών υλικών, μολυσμένων ή με μη επαρκή χαρακτηριστικά για το υπάρχον οδόστρωμα. Έτσι, έχουμε μικρότερη

συμμετοχή νέων αδρανών και ασφάλτου. μειωμένη επιβάρυνση του οδικού δικτύου λόγω μεταφοράς υλικών.

- ομοιογένεια στην αντοχή και στη γεωμετρία του οδοστρώματος.
- εξάλειψη ή ελάττωση των αποθεσιοθαλάμων και μείωση της εξαγωγής αδρανών από κοιτάσματα ή λατομεία, με τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα που συνεπάγονται.
- δυνατότητα για αποκατάσταση ανεξάρτητων λωρίδων - πράγμα πολύ σημαντικό σε ενιαία καταστρώματα οδών, με δύο ή περισσότερες λωρίδες. Φθαρμένες μπορεί να είναι μόνο οι εξωτερικές οι οποίες αποτελούν λωρίδες κυκλοφορίας βαρέων οχημάτων.
- δε χρειάζεται επέκταση του καταστρώματος της οδού για την εκτέλεση του έργου.
- μικρότερο οικονομικό κόστος για την αποκατάσταση του οδοστρώματος σε σχέση με την απλή ενίσχυση ή το φρεζάρισμα του παλιού και την αντικατάστασή του με καινούρια υλικά.
- επιτρέπεται η διατήρηση του ύψους του αρχικού επιπέδου της οδού, αποφεύγοντας περαιτέρω διαπλατύνσεις και επέκταση των άκρων του δρόμου. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία στις περιπτώσεις που ο δρομος διασχίζει σήραγγα και μας ενδιαφέρει ιδιαίτερα να μην ανυψωθεί η ερυθρά. Σε αντίθετη περίπτωση υπάρχει κίνδυνος να μην χωράνε κάποια βαρέα και ψηλά οχήματα να τη διασχίσουν.
- μπορεί να πραγματοποιηθεί ταυτόχρονα και η εκτέλεση μίας διαπλάτυνσης. Αυτό παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον σε περιπτώσεις που συνδυάζεται αποκατάσταση υπάρχοντος οδοστρώματος και διαπλάτυνση αυτού. Χρησιμοποιώντας παρόμοια υλικά με το προς ανακύκλωση οδόστρωμα και το μηχανικό εξοπλισμό της ανακύκλωσης μπορεί να αποφευχθεί η κατασκευή στενών ερεισμάτων των διαπλατύνσεων, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν πολλά προβλήματα. Εξάλλου, δεν υπάρχει προσδιορισμός ως προς την ακρίβεια του πλάτους διαπλάτυνσης.
- η ταχύτατη εκτέλεση του έργου με τη βοήθεια του νέου διαθέσιμου μηχανικού εξοπλισμού: ανακύκλωσης, ανάμιξης και διάστρωσης
- η δυνατότητα για πολύ γρήγορη αποκατάσταση της κυκλοφορίας χωρίς τη διαμόρφωση πλευρικών ανισοπεδώσεων μεταξύ των λωρίδων που

προκαλούνται αν ακολουθήσουμε τις παραδοσιακές λύσεις, κυρίως όταν το πάχος του φρεζαρίσματος ή της ενίσχυσης είναι σεβαστό.

Συμπερασματικά, η ανακύκλωση είναι μία κατασκευαστική μέθοδος που σέβεται το περιβάλλον ενώ ταυτόχρονα είναι οικονομική, αφού επαναχρησιμοποιεί όλα τα παλιά υλικά και μειώνει το κόστος μεταφοράς τους.

Όπωςδήποτε όμως, η ανακύκλωση ενός οδοστρώματος παρουσιάζει και μερικά μειονεκτήματα:

- μεγαλύτερη ανομοιογένεια σε σχέση με ένα μίγμα καινούριων υλικών.
- εκτέλεση ανά λωρίδες, με την πιθανότητα εμφάνισης διαμήκων ρωγμών, εφόσον δεν λαμβάνονται τα ενδεδειγμένα μέτρα για την εγγύηση της απαιτούμενης ενότητας μεταξύ των υλικών των γειτονικών λωρίδων.
- εκτέλεση λίγο πιο αργή από την απλή ενίσχυση με στρώσεις ασφαλτομίγματος, όπου δεν είναι απαραίτητη η διαδικασία φρεζαρίσματος του ήδη υπάρχοντος οδοστρώματος.
- η έλλειψη μιας συγκεκριμένης τεχνικής με Προδιαγραφές, αφού γίνεται η χρήση των τεχνικών προδιαγραφών από συμβατικές λύσεις «εν ψυχρώ», με μερικές προσαρμογές. Αυτός είναι ο κυριότερος λόγος που οι κατασκευές αυτές χαρακτηρίζονται γενικά από έλλειψη συστήματος ελέγχου ποιότητας.
- η έλλειψη γνώσης, σε επίπεδο μελέτης, των ως προς ανακύκλωση υλικών και των αντίστοιχων χαρακτηριστικών τους, έτσι ώστε να προγραμματιστεί και να συστηματοποιηθεί ευκολότερα η εκτέλεση της ανακύκλωσης.
- η δυσκολία ή η αδυναμία να εκτελεστεί η τεχνική σε κρύο και βροχερό καιρό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ

2.1. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Το τσιμέντο είναι ένα κατασκευαστικό υλικό που χρησιμοποιείται ευρέως σε παγκόσμια κλίμακα. Ο βασικότερος λόγος της ευρείας χρήσης του είναι η μεγάλη διαθεσιμότητά του. Το τσιμέντο παράγεται στις περισσότερες χώρες και είναι εύκολα διαθέσιμο. Ένας άλλος λόγος είναι η αποδοχή του ως κατασκευαστικό υλικό. 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. Η επιτόπου ανακύκλωση οδοστρωμάτων με τσιμέντο είναι μία τεχνική που προσφέρει τριών ειδών πλεονεκτήματα:

Τεχνικά

Η επιτόπου ανακύκλωση με τσιμέντο επιτρέπει 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. Μέσω αυτής, είναι δυνατό να δημιουργηθεί μία στρώση ομοιογενής, σταθεροποιημένη και σημαντικού πάχους, με μηχανικά χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά ενός εδάφους σταθεροποιημένου με τσιμέντο ή ενός αμμοχάλικου κατεργασμένου με τσιμέντο. Επιπλέον, τα πάχη που μπορούν να ανακυκλωθούν επιτρέπουν τη πραγματοποίηση μιας επαρκούς διόρθωσης των υπάρχουσών κυκλοφοριακών στρώσεων και ενίσχυσης της φέρουσας ικανότητας του οδοστρώματος.

Οικονομικά

Η επιτόπου επαναχρησιμοποίηση των υλικών σημαίνει μια πολύ σημαντική εξοικονόμηση, εφόσον μειώνεται στο ελάχιστο ο απαραίτητος όγκος νέων αδρανών που θα χρησιμοποιηθούν στο έργο και επιπλέον το κόστος μεταφοράς τους. Θα πρέπει στο σημείο αυτό να υπενθυμίσουμε 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.

Αυτή η μεγάλη μείωση της μεταφοράς των αδρανών δεν επιβαρύνει το οδικό δίκτυο που βρίσκεται κοντά στο έργο.

Για όλα τα παραπάνω η ανακύκλωση είναι μια οικονομική τεχνική, που μπορεί να φθάσει σε μία εξοικονόμηση τάξης μεγέθους 30%, σε σχέση με τις κλασικές λύσεις ενίσχυσης ή επανακατασκευής του οδοστρώματος^[2].

❖ Οικολογικά

Η ανακύκλωση με τσιμέντο είναι μία τεχνική που γίνεται εν ψυχρώ, με αποτέλεσμα τη μικρή κατανάλωση ενέργειας. Ταυτόχρονα, μειώνεται αισθητά η μόλυνση και οι εκπομπές βλαβερών αναθυμιάσεων.

Η επιτόπου επαναχρησιμοποίηση των υλικών συμβάλλει στην αποφυγή ανοίγματος καινούριων λατομείων αδρανών, αλλά και στη διατήρηση των ήδη υπάρχοντων αποθεμάτων. Επιπλέον, δε χρειάζεται η εύρεση αποθεσιοθαλάμων για την εναπόθεση των παλιών υλικών, εφόσον αυτά επαναχρησιμοποιούνται.

2.2. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΜΕ ΑΣΦΑΛΤΙΚΟ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑ Ή ΜΕ ΑΦΡΩΔΗ ΑΣΦΑΛΤΟ

Τα πλεονεκτήματα της επιτόπου ανακύκλωσης με τσιμέντο σε σχέση με την ανακύκλωση με γαλάκτωμα ή με αφρώδη άσφαλτο είναι:

- μεγαλύτερη αύξηση της αντοχής του οδοστρώματος, τόσο λόγω του μεγαλύτερου μέτρου ελαστικότητας, όσο και λόγω του μεγάλου πάχους που είναι δυνατό να ανακυκλωθεί με τσιμέντο.
- μεγαλύτερη σταθερότητα σε κλιματολογικές αλλαγές, αφού το μέτρο ελαστικότητας είναι ανεξάρτητο της θερμοκρασίας.
- δεν απαιτείται μία περίοδος ωρίμανσης για την εξάτμιση του νερού και των διαλυτών, στην οποία το μίγμα να αποκτήσει τα τελικά χαρακτηριστικά του και η οποία θέτει περιορισμούς στην εκτέλεση του έργου.

- επιτρέπει επαρκή επιδιόρθωση των ήδη υπαρχουσών στρώσεων κυκλοφορίας λόγω του μεγάλου πάχους οδοστρώματος που είναι δυνατό να ανακυκλωθεί.
- το υλικό μοντελοποιείται και χαρακτηρίζεται πιο εύκολα.
- δέχεται ανακύκλωση υλικών χειρότερης ποιότητας, πιο πλαστικών και με περισσότερα λεπτά υλικά.

Ένα βασικό μειονέκτημα όμως, είναι η πιθανότητα εμφάνισης ρωγμών στην επιφάνεια του οδοστρώματος λόγω της συστολής του υλικού. Η δημιουργία αρμών σε κοντινές αποστάσεις, στις ανακυκλωμένες στρώσεις μπορεί να μειώσει ή ακόμα και να εξαφανίσει το πρόβλημα αυτό, ιδιαίτερα σε δρόμους με βαριά κυκλοφορία, στους οποίους απαιτείται ασφαλική στρώση μεγάλου πάχους. Σε δρόμους με όχι τόσο έντονη κυκλοφοριακή φόρτιση, οι λεπτές ρωγμές που δημιουργούνται στην επιφάνεια, που έχουν άνοιγμα μικρότερο των 0.5mm, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του οδοστρώματος^[2].

2.3. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΝ ΘΕΡΜΩ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ

Τα πλεονεκτήματα της εν ψυχρώ ανακύκλωσης με τσιμέντο σε σχέση με την εν θερμώ ανακύκλωση είναι:

- υπάρχει ένα ευρύτερο πεδίο εφαρμογής - εφαρμόζεται στη βελτίωση οδοστρωμάτων από ασφαλτόμιγμα εν θερμώ και/ή εν ψυχρώ, και των υποκείμενων χονδρόκοκκων στρώσεων
- οι κλιματολογικές συνθήκες επηρεάζουν λιγότερο την εκτέλεση του έργου
- γίνεται εξοικονόμηση στις μεταφορές και στην ενέργεια
- ελάχιστη μόλυνση του περιβάλλοντος, εφόσον δεν είναι απαραίτητη η θέρμανση του προς επεξεργασία υλικού
- μηχανικός εξοπλισμός πιο οικονομικός και πιο απλός

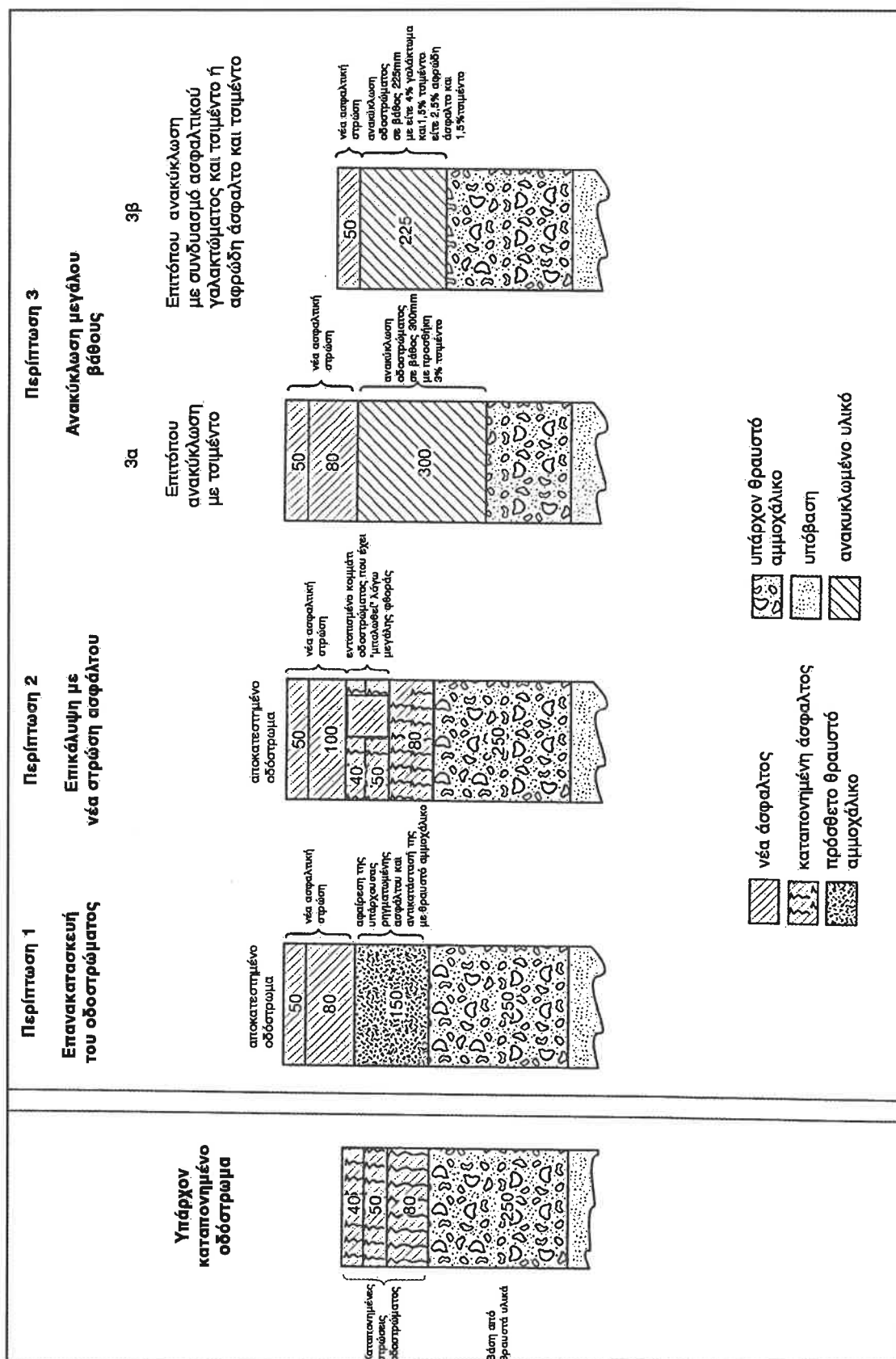
Οποσδήποτε, στην περίπτωση που ανακυκλώνονται στρώσεις χονδρόκοκκου υλικού με ασφαλτόμιγμα υπάρχει μικρότερη εκμετάλλευση της ικανότητας σύνδεσης της εναπομένουσας ασφάλτου.

2.4. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Η επιλογή μεταξύ των δύο αυτών λύσεων, θα πρέπει να είναι αποτέλεσμα μιας τεχνικό-οικονομικής μελέτης που θα συμπεριλαμβάνει:

- το συνολικό κόστος κατασκευής, συμπεριλαμβανομένων των διαπλατυνσεων και των ερεισμάτων, ως λύσεις λειτουργικά ισοδύναμες
- τα αναμενόμενα αποτελέσματα της ανακύκλωσης, που μπορούν να καθοριστούν μέσω μιας μελέτης των υλικών που προέρχονται από το ήδη υπάρχον οδόστρωμα και από τη σύνθεση του νέου μίγματος
- την τελική ποιότητα που θα προσφέρει το νέο οδόστρωμα, στην οποία θα αναφέρεται η προσαρμογή του στην κυκλοφορία και η περίοδος μελέτης του έργου, η συμπεριφορά του οδοστρώματος στις κλιματολογικές αλλαγές και το προβλεπόμενο κόστος συντήρησης.
- τη διαθεσιμότητα υλικών που βρίσκονται κοντά στην τοποθεσία του έργου και το κόστος των αδρανών συνεισφοράς σε περίπτωση που η χρήση τους κριθεί απαραίτητη.
- τις λύσεις σε προβλήματα όπως η ύπαρξη σιράγγων, διαφόρων προσβάσεων κ.α.

Στο παρακάτω σχήμα^[3] (Σχ.2.1), παρουσιάζονται περιγραφικά διαφορετικές δυνατότητες επιλογής τρόπου αποκατάστασης ενός καταπονημένου οδοστρώματος. Στην πρώτη περίπτωση γίνεται επανακατασκευή του οδοστρώματος αφαιρώντας όλο το πάχος της φθαρμένης ασφάλτου (170mm) και επανασυμπυκνώνοντας την αποκαλυμμένη στρώση της βάσης, πάνω από την οποία προστίθεται μία στρώση 150mm θραυστού αμμοχάλικου. Τέλος προστίθεται μία ασφαλική στρώση βάσης 80mm και αντίστοιχα μια άλλη επιφανειακή στρώση κυκλοφορίας των 50mm. Το αναμενόμενο κόστος της επιλογής αυτής είναι 30,12\$ ανά m². Στη δεύτερη περίπτωση αφαιρούνται και «μπαλώνονται» κάποιες περιοχές που έχουν εντοπιστεί να έχουν φθαρθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό. Υποτίθεται ότι το 12% της περιοχής έχει υποστεί τη μεγαλύτερη καταπόνηση και επομένως αυτό αφαιρείται μέχρι βάθους 90mm και «μπαλώνεται» με άσφαλτο. Από τη στιγμή που θα ολοκληρωθεί αυτό, γίνεται



Σχήμα 2.1. Περιπτώσεις αποκατάστασης οδοστρώματος^[3]

επικάλυψη του οδοστρώματος σε όλο το πλάτος του, με άσφαλτο. Αρχικά με μία ασφαλτική στρώση βάσης 80mm πάχους και έπειτα με μία άλλη 50mm. Το αναμενόμενο κόστος εκτιμάται περίπου στα 20,40\$ ανά m^2 .

Στην τρίτη περίπτωση, γίνεται ανακύκλωση 300mm του υπάρχοντος οδοστρώματος, χρησιμοποιώντας 3% τσιμέντο. Έπειτα διαστρώνεται μία στρώση βάσης ασφάλτου 80mm και μία επιπλέον, επιφανειακή, πάχους 50mm. Το εκτιμώμενο κόστος αυτής της λύσης είναι 18,86\$ ανά m^2 . Αν γίνει ανακύκλωση με συνδυασμό είτε γαλακτώματος και τσιμέντου είτε αφρώδους ασφάλτου και τσιμέντου πραγματοποιούνται τα εξής: Ανακυκλώνεται το οδόστρωμα σε βάθος 225mm χρησιμοποιώντας 4% ασφαλτικό γαλάκτωμα και 1.5% τσιμέντο, ή 2.5% αφρώδη άσφαλτο και 1.5% τσιμέντο. Έπειτα διαστρώνεται μία ασφαλτική στρώση πάχους 50mm. Εφαρμόζοντας τον πρώτο συνδυασμό το εκτιμώμενο κόστος είναι 12.07\$ ανά m^2 , ενώ εφαρμόζοντας το δεύτερο συνδυασμό περίπου 10.72\$ ανά m^2 . Σημειώνεται ότι όλες οι προαναφερθείσες τιμές αναφέρονται στο έτος 1998.

2.5. ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΕΝ ΨΥΧΡΩ, ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Μέσω της εν ψυχρώ επιτόπου ανακύκλωσης οδοστρώματος με τσιμέντο, θεωρητικά, αυτό που επιτυγχάνεται είναι η βελτίωση της αντοχής του οδοστρώματος. Η ανακύκλωση με τσιμέντο είναι κατάλληλη για οδοστρώματα που έχουν υποστεί πολύ μεγάλες παραμορφώσεις, δεδομένου ότι υπάρχει δυνατότητα επεξεργασίας σε μεγάλο βάθος, επιτρέποντας την πλήρη αποκατάστασή του. Οποσδήποτε, στην πράξη ο διαχωρισμός του πεδίου εφαρμογής κάθε τεχνικής ανακύκλωσης, δεν είναι σαφής. Πιο συγκεκριμένα όμως, μπορούμε να πούμε ότι η εφαρμογή μιας επιτόπου ανακύκλωσης γίνεται^[6]:

- σε οδοστρώματα ρηγματωμένα, λόγω κόπωσης
- σε οδοστρώματα χωρίς επιφανειακές ρηγματώσεις, αλλά ετερογενή ή παραμορφωμένα, πάνω από τα οποία δεν είναι εύκολη η απευθείας εφαρμογή καινούριων στρώσεων. Είναι οδοστρώματα με επιφάνειες με πολλαπλά «μπαλώματα» ή λακκούβες, που είναι ετερογενή κατά την εγκάρσια τομή τους ή όπου υπάρχουν περιστατικά αποκόλλησης των στρώσεών τους.)

- σε οδοστρώματα που αποτελούνται κυρίως από χονδρόκοκκα υλικά, με ένα μικρό πάχος ασφατικής στρώσης. Επιθυμείται η σταθεροποίηση του υπάρχοντος χονδρόκοκκου υλικού με τα ασφατικά υλικά, τόσο για την αύξηση της αντοχής του οδοστρώματος, όσο και για τη μείωση της ευπάθειας του στο νερό.
- σε οδοστρώματα με ρωγμές συστολής, στρώσεων επεξεργασμένων με τσιμέντο.

Το πεδίο εφαρμογής της επιτόπου ανακύκλωσης περιλαμβάνει όλους τους τύπους των δικτύων και μαζί με αυτά, το κατάστρωμα των οδών, τα ερείσματα και δευτερεύοντες δρόμους. Από πλευράς έντασης της κυκλοφορίας, παρόλο που υπάρχουν περιπτώσεις εφαρμογής ανακύκλωσης σε δρόμους με βαριά κυκλοφορία, μέχρι τώρα η ανακύκλωση έχει κυρίως εφαρμοστεί σε δρόμους με μικρό ή μέσο κυκλοφοριακό φόρτο.

Με την τεχνική της ανακύκλωσης γίνεται η επεξεργασία ασφατικών και χονδρόκοκκων στρώσεων κατά την οποία οι στρώσεις ανακυκλώνονται τμηματικά με τσιμέντο. Με την εφαρμογή της ανακύκλωσης των οδοστρωμάτων με τσιμέντο, έχει λυθεί το πρόβλημα της επεξεργασίας των παλιών στρώσεων από σκυρωτά εμποτισμένα ή μη (μακάνταμ), που χαρακτηρίζονταν από μικρή αντοχή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

3.1. ΓΕΝΙΚΑ

Σε μία προκαταρκτική μελέτη θα πρέπει να πραγματοποιηθεί μια σειρά δοκιμών προκειμένου να επαληθευθεί ότι η λύση της ανακύκλωσης του οδοστρώματος ως μέτρο αποκατάστασης αυτού είναι εφικτή, να καθοριστεί ο τύπος της ανακύκλωσης, να γίνει προσδιορισμός των χαρακτηριστικών των ανακυκλωμένων υλικών ώστε να προσδιοριστεί ο τρόπος εργασίας που θα ακολουθηθεί.

3.2. ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΤΗΣ ΕΦΙΚΤΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ

Στην επιτόπου ανακύκλωση γίνεται εκμετάλλευση του υπάρχοντος οδοστρώματος, αφού αυτό χρησιμοποιείται ως πηγή αδρανών. Προκειμένου να επαληθευθεί η δυνατότητα πραγματοποίησης μιας ανακύκλωσης, τα χαρακτηριστικά των υλικών του υπάρχοντος οδοστρώματος, καθώς και το πάχος των στρώσεων που το αποτελούν πρέπει να είναι γνωστά.

Τα υλικά του ήδη υπάρχοντος οδοστρώματος μπορούν να υποβληθούν, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, σε μία ανακύκλωση με τσιμέντο. Τα οδοστρώματα με ασυνεχή κοκκομετρική διαβάθμιση, τύπου μακάνταμ, χρειάζονται οπωσδήποτε την προσθήκη καινούριων αδρανών που παίζουν διορθωτικό ρόλο στην κοκκομετρική τους καμπύλη. Τέτοια υλικά μπορεί να είναι η άμμος ή το χαλίκι. Επίσης απαιτείται η κατάλληλη προσαρμογή της ταχύτητας της μηχανής ανακύκλωσης (ανακυκλωτήρας), αφού όσο πιο χονδρόκοκκο είναι το προς ανακύκλωση υλικό τόσο αυξάνεται η δυσκολία φρεζαρίσματός του. Επιπλέον, για την αποσύνθεση οδοστρωμάτων που αποτελούνται από υλικά με στοιχεία μεγέθους μεγαλύτερου των 80 ή 100mm, σε μερικές περιπτώσεις γίνεται χρήση ειδικού μηχανικού εξοπλισμού.

Τελικά, η παρουσία συγκεκριμένων στοιχείων όπως οργανικά υλικά, υδροθειικό άλας (πυρίτης), θειικό άλας (γύψος) ή χλωρίδια (κρύσταλλα αλατιού), μπορεί να διαταράζουν ή ακόμα και να εμποδίσουν την πήξη του τσιμέντου.

Η εφικτότητα του έργου ανακύκλωσης ενός οδοστρώματος πρέπει να εξασφαλίζεται μέσω της γνώσης της κατασκευής του ήδη υπάρχοντος οδοστρώματος και των χαρακτηριστικών των υλικών που το αποτελούν. Για το σκοπό αυτό απαιτείται: η επίγνωση των στοιχείων του δρόμου από κατασκευαστικής απόψεως, η γνώση των χαρακτηριστικών των υλικών του οδοστρώματος, η απόκτηση των δεδομένων κυκλοφορίας του δρόμου και των κλιματολογικών συνθηκών.

3.2.1. ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΟΥ ΔΡΟΜΟΥ

α) Ιστορική μελέτη του δρομου

Είναι απαραίτητη η συλλογή όλων των μελετών και πληροφοριών όλων των ενεργειών που έχουν πραγματοποιηθεί στον υπό μελέτη δρόμο. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να αποφευχθούν πολλές μετέπειτα εργασίες, μειώνοντας τον αριθμό των πυρήνων που πρέπει να εξαχθούν. Με αυτά τα στοιχεία από την αρχή της μελέτης είναι γνωστός ο αριθμός των στρώσεων από τις οποίες αποτελείται το οδόστρωμα, το πάχος της κάθε στρώσης καθώς και κάποια χαρακτηριστικά των υλικών τους. Επιπλέον, τα στοιχεία αυτά θα χρησιμοποιηθούν για την επιλογή του χωρισμού του ως προς ανακύκλωση οδοστρώματος σε μικρότερα, σχετικά ομοιογενή τμήματα, με όσο το δυνατό μεγαλύτερο μήκος – ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των υπαρχουσών στρώσεων και τον κυκλοφοριακό φόρτο που τους επιβάλλεται. Θα πρέπει όμως, στο σημείο αυτό να τονιστεί ότι πολλές φορές τα στοιχεία αυτά μπορεί να μην είναι επαρκή ή ακόμα και να είναι λανθασμένα. Η γεωμετρία της οδού είναι επίσης πολύ σημαντική, εφόσον αυτή καθορίζει τον απαιτούμενο αριθμό περασμάτων του ανακυκλωτήρα προκειμένου να ανακυκλωθεί όλο το πλάτος της οδού.

β) Επιθεώρηση του υπάρχοντος οδοστρώματος

Γίνεται συγκέντρωση όλων των στοιχείων εκείνων που επιτρέπουν την αναγνώριση της δομικής κατάστασης του οδοστρώματος. Τέτοια στοιχεία είναι το υλικό και το πάχος των στρώσεων που το αποτελούν. Επιπλέον, είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθούν:

- μία οπτική εκτίμηση της φθοράς του οδοστρώματος, δίνοντας ιδιαίτερη σημασία:

- ❖ στο βαθμό σοβαρότητας και την επέκταση της φθοράς,
 - ❖ στον εντοπισμό τμημάτων δρόμου που έχουν υποστεί παρόμοιες φθορές,
 - ❖ στον εντοπισμό τμημάτων δρόμου που χρειάζονται μία διόρθωση στην επιπεδότητα,
 - ❖ στα σοβαρά προβλήματα που εντοπίζονται στα ερείσματα (σύνθεση και κατάστασή τους), στις προσβάσεις του δρόμου και στα χωρίσματα ασφαλείας,
 - ❖ στον εντοπισμό απομονωμένων, πολύ φθαρμένων ζωνών που χρειάζεται να επισκευαστούν ξεχωριστά,
 - ❖ στον εντοπισμό προβλημάτων της στρώσης έδρασης, των πρανών και συγκεκριμένα προβλημάτων που οφείλονται στην αποστράγγιση,
 - ❖ στον εντοπισμό τούνελ και σημείων που υπάρχει περιορισμός στην αύξηση του ύψους του επιπέδου του δρόμου,
- μια δειγματοληπτική έρευνα των παραμορφώσεων, της κατά μήκος και εγκάρσιας επιπεδότητας. Η αναγκαιότητα και ευρύτητα της θα εξαρτηθούν από τον τύπο του έργου.

Υπάρχουν όμως περιπτώσεις, που δεν είναι εύκολο να βρεθεί η σύνθεση του προς ανακύκλωση οδοστρώματος. Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιείται το γεωραντάρ. Είναι ένα όργανο που τοποθετείται σε ένα όχημα κινούμενο με ταχύτητα 60-80 km/h και χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του πάχους των διαφορετικών στρώσεων του προς μελέτη οδοστρώματος. Η ανίχνευση της αλλαγής των στρώσεων από το γεωραντάρ, στηρίζεται στην αποστολή ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος και την ανάλυση του κύματος που ανακλάται. Βέβαια, με αυτό το σύστημα δεν επιτρέπεται ο καθορισμός της φύσης των στρώσεων. Για το σκοπό αυτό λαμβάνουμε επιπλέον πυρήνες.

Με τη συγκέντρωση των παραπάνω πληροφοριών μπορεί να πραγματοποιηθεί στη συνέχεια ο διαχωρισμός του οδοστρώματος σε τμήματα όσο το δυνατό πιο ομοιογενή ανάλογα με τον κυκλοφοριακό φόρτο, τον τύπο του οδοστρώματος, την κατάστασή του και τις ανάγκες για ενίσχυση αυτού.

γ) Λήψη αντιπροσωπευτικών δειγμάτων

Προγραμματίζεται η λήψη δειγμάτων και το άνοιγμα φρεατίων σε κάθε τμήμα της οδού, προκειμένου να επαληθευθούν τα πάχη των στρώσεων και τα χαρακτηριστικά του οδοστρώματος και της στρώσης έδρασης τόσο στο κατάστρωμα της οδού όσο και στα ερείσματα.

Η λήψη των δειγμάτων σε κάθε τμήμα πρέπει να είναι επαρκής έτσι ώστε τα αποτελέσματα να συμφωνούν με την πραγματικότητα. Ο αριθμός των δειγμάτων που λαμβάνεται εξαρτάται από τον τύπο και την σημασία του έργου. Γενικά συνήθως, είναι επαρκής η πραγματοποίηση μια ή δυο γεωτρήσεων και το άνοιγμα ενός φρεατίου ανά χιλιόμετρο. Τα φρεάτια ανοίγονται εγκάρσια, τουλάχιστον στο μέσο της εξωτερικής λωρίδας του καταστρώματος της οδού, εφόσον προς αυτή την διεύθυνση μπορούν να εμφανιστούν οι μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ των παχών των στρωμάτων οφειλόμενες στην καναλοποίηση των φορτίων.

Τόσο οι γεωτρήσεις όσο και τα φρεάτια δεν θα περιοριστούν στο βάθος της ανακύκλωσης, αλλά θα πρέπει να περιλαμβάνουν και τη στρώση έδρασης, δεδομένου ότι είναι απαραίτητο να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά τόσο της στρώσης έδρασης όσο και όλων των στρώσεων που αποτελούν το οδόστρωμα.

Η αποκτούμενη εμπειρία ενός μεγάλου αριθμού έργων ανακύκλωσης οδοστρωμάτων επιβεβαιώνει ότι πολύ συχνά τα πάχη των στρώσεων διαφέρουν όπως και τα επίπεδα των παραμορφώσεων και η κατάσταση της στρώσης έδρασης, πράγμα που μπορεί να οδηγήσει στην αλλαγή της αρχικής επιλογής διαχωρισμού του οδοστρώματος σε τμήματα. Επίσης, το μήκος των τμημάτων αυτών θα πρέπει να είναι κατασκευαστικά εφικτό, όχι κατώτερο από 500 μέτρα.

3.2.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Τα ληφθέντα δείγματα αναλύονται στο εργαστήριο, προκειμένου να βρεθεί η φύση και η υγρασία του υλικού της στρώσης έδρασης και των στρώσεων του υπάρχοντος οδοστρώματος, καθώς και η πιθανή παρουσία βλαβερών ουσιών που μπορεί να διαταράξουν ή να εμποδίσουν την πήξη του τσιμέντου.

Αρχικά, γίνεται η αναγνώριση των υλικών του οδοστρώματος και της στρώσης έδρασης. Στη φάση αυτή προσδιορίζονται τα εξής:

- Η κοκκομετρία: η εύρεση της κοκκομετρικής καμπύλης βοηθά στο να κρίνουμε αν είναι αναγκαία ή όχι η προσθήκη κάποιων επιπλέον αδρανών που θα λειτουργήσουν ως διορθωτικά της καμπύλης αυτής. Όσο μεγαλύτερο είναι το βάθος της ανακύκλωσης τόσο μεγαλύτερο θα είναι το ποσοστό των χονδρόκοκκων υλικών και μικρότερο το ποσοστό του συνδετικού της ασφάλτου. Επιπλέον, το μέγιστο μέγεθος κόκκου μπορεί να επηρεάσει την επιλογή του μηχανικού εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί, έτσι ώστε να εξαλειφθούν ή να θρυμματιστούν όλα τα χονδρόκοκκα υλικά.
- Μελέτη των λεπτών υλικών: προκειμένου να βρεθεί η ποσότητα και η δράση των αργιλικών στοιχείων του υλικού υιοθετείται ο δείκτης πλαστιμότητας (I_p) ή αλλιώς η τιμή του μπλε του μεθυλενίου (VAM). Μέσω αυτών των τιμών μπορεί να γίνει μια πρώτη εκτίμηση για το αν είναι απαραίτητη ή όχι η ανακύκλωση οδοστρώματος μικτού τύπου, με άσβεστο και τσιμέντο, δεδομένου ότι η άσβεστος εξουδετερώνει τη δράση των αργιλικών στοιχείων. Αυτός ο τύπος ανακύκλωσης γίνεται όταν ο δείκτης πλαστιμότητας βρεθεί μεγαλύτερος του 15 και το ποσοστό των λεπτόκοκκων υλικών είναι αρκετά υψηλό. Στο εργαστήριο επαληθεύεται μέσω δοκιμών η ανάγκη για χρήση άσβεστου, εφόσον πολλές φορές το τσιμέντο από μόνο του δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Στη συνέχεια γίνεται ο προσδιορισμός της υγρασίας των υλικών, η οποία αποτελεί πολύ σημαντική παράμετρο για την πραγματοποίηση της ανακύκλωσης κάποιου οδοστρώματος. Έτσι, προσδιορίζεται:

- Η φυσική υγρασία w_{nat} του ως προς ανακύκλωση υλικού, λαμβανομένου υπόψη ότι αυτή ποικίλει ανάλογα με τις κλιματολογικές συνθήκες της αντίστοιχης περιοχής.
- Η ιδανική υγρασία συμπύκνωσης w_{opt} , στην οποία επιτυγχάνεται η μέγιστη πυκνότητα του υλικού. Αυτή προσδιορίζεται μέσω της τροποποιημένης δοκιμής Proctor, ανακυκλώσιμου υλικού στο οποίο έχει ενσωματωθεί και το τσιμέντο. Γνωρίζοντας, λοιπόν, την ιδανική υγρασία συμπύκνωσης έχουμε

μία τιμή αναφοράς την οποία επιδιώκουμε να πετύχουμε κατά τη συμπύκνωση στο έργο.

Συγκρίνοντας τις τιμές των δύο υγρασιών, φυσικής και ιδανικής, προσδιορίζεται η ποσότητα του νερού που θα πρέπει να προστεθεί στο προς ανακύκλωση υλικό ή σε άλλες περιπτώσεις, επισημαίνεται η ανάγκη για εξαιρεισμό του υλικού αυτού ώστε να εξατμιστεί η περίσσεια του νερού που υπάρχει.

Τέλος, κατά τη μελέτη θα πρέπει να προσδιοριστεί η παρουσία ή απουσία ευπαθών στοιχείων βλαβερών για την πήξη του τσιμέντου. Για αυτόν ακριβώς το λόγο πρέπει να πραγματοποιηθεί μία δοκιμή ικανότητας πήξης του μίγματος. Τα υλικά που μπορούν να την επηρεάσουν περισσότερο ή ακόμα και να εμποδίσουν την πραγματοποίησή της, είναι τα θειικά άλατα (γύψος), τα χλωρίδια (κρυσταλλικά άλατα) και οι οργανικές ύλες.

Από τη στιγμή που έχει ολοκληρωθεί το στάδιο αυτό, υπάρχουν ήδη αρκετά στοιχεία για να μπορούμε να κρίνουμε αν μπορεί ή όχι να εφαρμοστεί η ανακύκλωση με τσιμέντο.

Το πρόβλημα της αναγνώρισης και του χαρακτηρισμού των υλικών εντοπίζεται στο γεγονός ότι πολλές φορές, στην επιτόπου ανακύκλωση, αυτά γίνονται γνωστά **αφού** έχει φρεζαριστεί και αποσυντεθεί το ήδη υπάρχον οδόστρωμα.

3.2.3. ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗ

Είναι απαραίτητο να εντοπιστούν και να διορθωθούν όλα τα προβλήματα αποστράγγισης που μπορεί να παρουσιαστούν στο κατάστρωμα της οδού: χαντάκια, έργα με επιφανειακή αποστράγγιση, υπόγεια στραγγιστήρια κ.α. Πολλές φορές, στα προβλήματα αυτά περιλαμβάνεται η ύπαρξη λιμναζόντων νερών τα οποία θα πρέπει να εξαλειφθούν.

3.2.4. ΚΛΙΜΑ

Όσον αφορά το κλίμα της περιοχής στην οποία πραγματοποιείται το έργο, η επιτόπου ανακύκλωση οδοστρώματος με τσιμέντο είναι λιγότερο επιρρεπής σε αυτό από την ανακύκλωση με γαλάκτωμα. Συγκεκριμένα, μπορεί να

πραγματοποιηθεί σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των δύο βαθμών Κελσίου (2°C) , ενώ η ανακυκλωμένη στρώση θα πρέπει πάντοτε να καλύπτεται από μία λεπτή στρώση πολυαιθυλενίου που λειτουργεί ως προστατευτική, για την περίπτωση που κατά τη διάρκεια της νύχτας αναμένεται παγετός.

Σε περίπτωση βροχής μεγάλης έντασης αναβάλλονται οι εργασίες, καθώς μια καταρρακτώδη βροχή μπορεί να μεταβάλλει αισθητά την υγρασία του εδάφους, η τιμή της οποίας είναι πολύ σημαντική για τη συμύκνωση της ανακυκλωμένης στρώσης.

3.2.5. ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΣ ΦΟΡΤΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Προκειμένου να γίνει η διαστασιολόγηση ενός οδοστρώματος πρέπει να είναι γνωστή η μέση ημερήσια κυκλοφορία των βαρέων οχημάτων κατά τη διάρκεια του πρώτου χρόνου μετά την αποκατάσταση του οδοστρώματος. Όταν πρόκειται για δρόμους που ήδη βρίσκονται σε κατάσταση λειτουργίας, η εκτίμησή της είναι σχετικά εύκολη. Όταν δεν υπάρχουν δεδομένα, γίνονται οι απαιτούμενες μετρήσεις. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζονται οι δρόμοι με μικρή κυκλοφορία αλλά με έντονη εποχιακή χρήση (επαρχιακοί, δασικοί δρόμοι).

3.2.6. ΔΙΑΠΛΑΤΥΝΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΡΕΙΣΜΑΤΑ

Θα πρέπει να γίνει ακριβής αποτύπωση των υπαρχόντων ερεισμάτων και να αποφασισθεί αν υπάρχει η ανάγκη για διαπλάτυνση του δρόμου. Πολλές φορές όταν η αποκατάσταση ενός δρόμου γίνεται μέσω της επιτόπου ανακύκλωσής του, παρουσιάζεται η δυνατότητα παράλληλης διαπλάτυνσης του καταστρώματος της οδού και κατασκευής ερεισμάτων με καλύτερη αντοχή. Για τη διαπλάτυνση, χρησιμοποιούνται αδρανή με χαρακτηριστικά παρόμοια με τα προς ανακύκλωση υλικά του δρόμου. Ο βασικότερος σκοπός είναι, μετά από την ανακύκλωση του παλιού δρόμου και την ταυτόχρονη διαπλάτυνσή του, να δημιουργηθεί ένα οδόστρωμα με όσο το δυνατό πιο ομοιογενή χαρακτηριστικά σε μια εγκάρσια διατομή.

3.2.7. ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ

Πρέπει να συγκεντρωθούν όλες οι πληροφορίες που έχουν σχέση με τις υπάρχουσες λειτουργίες, που λαμβάνουν χώρα στον προς ανακύκλωση δρόμο (καλώδια τηλεπικοινωνιών, υπόνομοι κ.α). Οι πληροφορίες, πρέπει να είναι πολύ ακριβείς και λεπτομερείς ιδιαίτερα όταν αφορούν σε αστικές περιοχές και ειδικά όταν οι εγκαταστάσεις των λειτουργιών βρίσκονται σε μικρό βάθος (λιγότερο από 150mm κάτω από την επιφάνεια του οδοστρώματος) και είναι πολύ παλιές. Η συγκέντρωση τέτοιου είδους πληροφοριών έχει σκοπό να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μην προκληθούν καταστροφές των εγκαταστάσεων των λειτουργιών αυτών, κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης των έργων της ανακύκλωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΟΥ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΥΛΙΚΟΥ

4.1 ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Η γνώση των μηχανικών χαρακτηριστικών του ανακυκλωμένου υλικού είναι απαραίτητη προκειμένου να αποφασισθεί ο τρόπος εργασίας και να γίνει η διαστασιολόγηση του νέου ανακυκλωμένου οδοστρώματος (να προσδιορισθεί, δηλαδή, το πάχος του οδοστρώματος που θα ανακυκλωθεί και των ασφαλικών στρώσεων που θα διαστρωθούν από πάνω). Για το λόγο αυτό, πριν ακόμα πραγματοποιηθεί η εκτέλεση των έργων της ανακύκλωσης, είναι απαραίτητη η εκτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών του μελλοντικού, ανακυκλωμένου υλικού. Αυτό αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες δυσκολίες της τεχνικής της ανακύκλωσης, εφόσον τα υλικά είναι σχετικά ετερογενή και η εκ των προτέρων γνώση της φθοράς που θα υποστεί το έργο με το πέρασμα του χρόνου είναι ανέφικτη.

Θα ήταν αδύνατο να αλλάζει συνεχώς ο τρόπος εργασίας κατά μήκος ενός έργου ανακύκλωσης οδοστρώματος, έτσι ώστε να εξαλείφονται οι τυχόν διαφορές στην κοκκομετρική καμπύλη και στα μηχανικά χαρακτηριστικά του υπάρχοντος υλικού. Θεωρείται λοιπόν απαραίτητη η επιλογή ενός μίγματος μιας μέσης σύνθεσης^[2] και καθορίζονται οι αποκλίσεις των μηχανικών χαρακτηριστικών μεταξύ αυτού και του προς ανακύκλωση υλικού. Αν η ετερογένεια του τελευταίου είναι πολύ μεγάλη, η διασπορά των αποτελεσμάτων των δοκιμών που πραγματοποιούνται θα είναι επίσης μεγάλη και επομένως ο προσδιορισμός των μηχανικών χαρακτηριστικών στο εργαστήριο είναι πολύ δύσκολος.

Συγκεκριμένα, σχετικά με την ομοιογένεια ή ετερογένεια του προς ανακύκλωση υλικού μπορούμε να διακρίνουμε τις παρακάτω περιπτώσεις^[2]:

- αν το προς επεξεργασία οδόστρωμα είναι ομοιογενές, είναι δυνατό να εκτιμήσουμε τα μηχανικά χαρακτηριστικά του ανακυκλωμένου με τσιμέντο υλικού με μικρή διασπορά μέσω μιας εργαστηριακής μελέτης.
- αν το προς επεξεργασία οδόστρωμα είναι ετερογενές και το έργο καταλαμβάνει μεγάλη έκταση, μπορούν να κατασκευαστούν μικρά, όσο το

δυνατό πιο ομοιογενή δοκιμαστικά τμήματα δρόμου, τα οποία θα επεξεργαστούν με διαφορετικό τρόπο. Από το κάθε τμήμα, μετά την ολοκλήρωση της αποσύνθεσης και ανάμιξης των υλικών από τον ανακυκλωτήρα, λαμβάνεται η απαιτούμενη ποσότητα υλικού για τη δημιουργία δοκιμών στο εργαστήριο. Αν αυτό δεν είναι εφικτό τότε μπορούμε να αυξήσουμε το ποσοστό συμμετοχής του τσιμέντου κατά μήκος όλης της οδού, υπέρ της ασφαλείας.

Μετά από αναλύσεις ανακυκλωμένου υλικού επιτόπου με τσιμέντο έχει αποδειχθεί ότι το επεξεργασμένο υλικό έχει αντοχή και μέτρο ελαστικότητας παρόμοια με αυτά ενός σταθεροποιημένου θραυστού αμμοχάλικου ή ενός σταθεροποιημένου εδαφικού υλικού με τσιμέντο. Αντίστοιχα, η συμπεριφορά των υλικών στην κόπωση είναι παρόμοια με αυτή του σκυροδέματος ή του σταθεροποιημένου με τσιμέντο αμμοχάλικου – δηλαδή, πρόκειται για μίγματα των οποίων η καμπύλη κόπωσης εμφανίζει πολύ μικρή κλίση. Επομένως, μικρή μείωση τάσεων που εφαρμόζονται στην ανακυκλωμένη στρώση, μεταφράζεται σε μεγάλη αύξηση της ζωής λειτουργίας του οδοστρώματος. Αντιθέτως, αύξηση των επιβαλλόμενων τάσεων, για παράδειγμα λόγω έλλειψης του απαιτούμενου πάχους στρώσεως, προκαλεί σημαντική μείωση του φορτίου που μπορεί να αντέξει το οδόστρωμα. Το πάχος της ανακυκλωμένης στρώσης του οδοστρώματος πρέπει να είναι τέτοιο ώστε το οδόστρωμα να μην είναι πολύ αδύναμο, για να μπορεί να ανταποκριθεί στις κυκλοφοριακές απαιτήσεις χωρίς να υποστεί καταστροφές. ^[1]

Οι μεγάλες διαφορές τόσο στη αντοχή όσο και στο μέτρο ελαστικότητας που αποκτώνται κατά την επιτόπου εν ψυχρώ ανακύκλωση οδοστρώματος με τσιμέντο, σε τυχαία σημεία αυτού, οφείλεται σε πολλούς παράγοντες μερικοί από τους οποίους είναι:

- η περιεκτικότητα του μίγματος σε τσιμέντο
- τα υλικά που ανακυκλώνονται - αδρανή καλύτερης ή χειρότερης ποιότητας, παρουσία αργιλικών στοιχείων, πάχος στρώσης ασφαλομίγματος που φρεζάρεται.
- η αποτελεσματικότητα της αποσύνθεσης του οδοστρώματος και η ανάμιξή του με το σταθεροποιητικό υλικό
- η αποκτούμενη πυκνότητα κατά τη συμπίκνωση

- η υγρασία του μίγματος
- η ηλικία του προς ανακύκλωση υλικού

Σε κάθε περίπτωση, δεδομένου ότι οι υπόλοιποι προαναφερθέντες παράγοντες δε μεταβάλλονται, η αντοχή αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα του μίγματος σε τσιμέντο. Μια αρχική προσέγγιση τιμών των χαρακτηριστικών ανακυκλωμένου υλικού φαίνονται στον παρακάτω πίνακα^[2] (πίν.4.1):

Χαρακτηριστικά	Τύπος Α	Τύπος Β
minR _c σε 7ημέρες	2,5 MPa	3,5 Mpa
E μετά από 90ημέρες	6000 MPa	10000 MPa
ελάχιστη περιεκτικότητα σε τσιμέντο	3%	3,5%

Πίνακας 4.1 όπου: R_c: αντοχή σε θλίψη και E: το μέτρο ελαστικότητας

Σύμφωνα με έρευνα που διεξάχθηκε στο Εργαστήριο της Οδοποιίας του ΕΜΠ με κατεύθυνση τη γνώση των μηχανικών χαρακτηριστικών κατεργασμένων με τσιμέντο μιγμάτων φρεζαρισμένου ασφαλτομίγματος και αμμοχάλικου υπήρξαν τα παρακάτω συμπεράσματα.

- 1) Η αναλογία του ασφαλτομίγματος στο φρεζαρισμένο υλικό, όπως έχει ήδη αναφερθεί, αποτελεί μια πολύ σημαντική παράμετρο για τον προσδιορισμό τόσο της αντοχής όσο και του μέτρου ελαστικότητας του ανακυκλωμένου υλικού. Με την αύξηση του ποσοστού του ασφαλτομίγματος, τα προαναφερθέντα μεγέθη μειώνονται. Αυτό αποδίδεται στη συνεπαγόμενη αύξηση της επιρροής των κόκκων του φρεζαρισμένου ασφαλτομίγματος οι οποίοι αποτελούνται είτε από συμπαγείς κόκκους αδρανούς περιβλημένους με άσφαλτο είτε από συσσωματώματα λεπτόκοκκου υλικού συνδεδεμένου με άσφαλτο. Και στις δύο περιπτώσεις ο υμένας της ασφάλτου μειώνει τη συνάφεια και επιτρέπει την ολίσθηση μεταξύ «κόκκων» και τσιμεντοπολτού. Επιπλέον τα συσσωματώματα αποτελούν στο μίγμα «αδρανή» με μειωμένο μέτρο ελαστικότητας (εικ.12.18), αυξημένη παραμορφωσιμότητα και μειωμένη αντοχή^[8,12,13]. Όταν η περιεκτικότητα ασφαλτομίγματος στο προς ανακύκλωση υλικό είναι της τάξης του 30% (π.χ. όταν ανακυκλώνεται οδόστρωμα με πάχος 10cm συνδετικού και 20cm αδρανών), η τιμή των

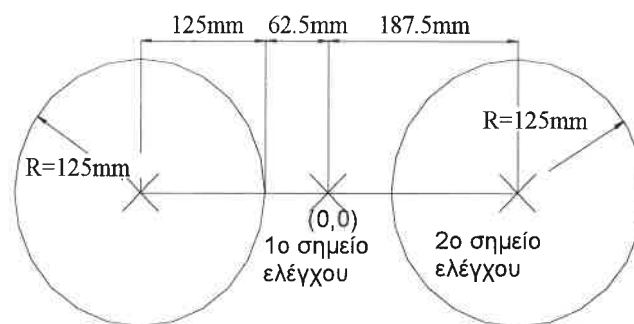
χαρακτηριστικών αυτών μπορεί να μειωθεί κατά 50% από την τιμή που θα είχαν αν αναμιγνύονταν μόνο τα καθαρά αδρανή υλικά με το τσιμέντο^[1]. Όσο, δηλαδή αυξάνει, το ποσοστό του φρεζαρισμένου ασφαλτομίγματος τόσο η αντοχή και το μέτρο ελαστικότητας μειώνονται, αλλά με διαφορετικό ρυθμό το καθένα, με αποτέλεσμα το απαιτούμενο πάχος της στρώσης να μην αυξάνει αναλογικά.

- 2) Τα μίγματα που περιέχουν σημαντικά ποσοστά φρεζαρισμένου ασφαλτομίγματος υφίστανται σημαντική «χαλάρωση» λόγω ερπυσμού.
- 3) Οι θερμοκρασιακές τάσεις (εποχιακές ή ημερήσιες) είναι σημαντικά μειωμένες στα ανακυκλωμένα υλικά σε σύγκριση με τα κατεργασμένα καθαρά υλικά. Επομένως, τα υλικά που περιέχουν φρεζαρισμένο ασφαλτόμιγμα είναι λιγότερο επιρρεπή στη δημιουργία ρωγμών από θερμοκρασιακές τάσεις.
- 4) Ο λόγος της αντοχής σε κάμψη ή της αντοχής σε εφελκυσμό από διάρρηξη προς το μέτρο ελαστικότητας αυξάνει όσο το ποσοστό του φρεζαρισμένου ασφαλτομίγματος αυξάνει.
- 5) Η επιρροή της θερμοκρασίας και της ταχύτητας φόρτισης (όπως και η συχνότητα φόρτισης) είναι πολύ μικρή για το κατεργασμένο με τσιμέντο καθαρό αμμοχάλικο και αυξάνει σημαντικά όσο το ποσοστό του φρεζαρισμένου ασφαλτομίγματος αυξάνει.

Στη συνέχεια, θεωρείται μια εγκάρσια τομή σε ανακυκλωμένο με τσιμέντο δρόμο και εξετάζεται η μεταβολή των τάσεων που αναπτύσσονται σε δύο κρίσιμα σημεία ανάμεσα στην ανακυκλωμένη στρώση και στην στρώση έδρασης κατά τη διέλευση οχημάτων. Το σημείο 1 στο μέσο του τμήματος του άξονα που ενώνει τους δίδυμους τροχούς και το σημείο 2 αναφέρεται στο σημείο που βρίσκεται στο κέντρο ενός εκ των διδύμων τροχών του οχήματος (Σχ. 4.1.). Πρόκειται για οχήματα με βάρος 13t ανά άξονα, που φέρουν δίδυμους τροχούς ακτίνας $R=125\text{mm}$ και μεταξύ τους απόσταση επίσης ίση με R , όπως φαίνεται στο παρακάτω σκίτσο. Εξετάζονται διάφορες περιπτώσεις πάχους (h_2) και λόγου Poisson (ν) της ανακυκλωμένης στρώσης, πάχους (h_1) της στρώσης του ασφαλτομίγματος που διαστρώνεται πάνω από αυτή και συνδυασμός των παραπάνω. Η μελέτη γίνεται με τη βοήθεια του προγράμματος Bisar. Ακολουθούν οι πίνακες (πίν.4.2 - 4.4) και τα αντίστοιχα διαγράμματα (διαγρ.4.1-

4.4) των αποτελεσμάτων που προκύπτουν για κάθε περίπτωση. Συμπερασματικά μέσω των διαγραμμάτων συμπεραίνεται ότι:

- όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος της ανακυκλωμένης στρώσης, τόσο μικρότερες είναι οι τάσεις που αναπτύσσονται στα κρίσιμα σημεία. Γενικά οι τάσεις που αναπτύσσονται είναι περίπου ανάλογες του αντιστρόφου του πάχους υψωμένου στο τετράγωνο: $\sigma = f(1/h^2)$.
- Όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος της στρώσης του ασφαλτομίγματος, τόσο μικρότερες είναι οι προαναφερθείσες τάσεις.
- Όσο αυξάνεται το μέτρο ελαστικότητας της ανακυκλωμένης στρώσης, τόσο μεγαλύτερες τάσεις αναπτύσσονται στα κρίσιμα σημεία.
- Ο λόγος σ/f εκφράζει την αντοχή του υλικού σε κόπωση. Αν $\sigma/f < 0,5$ το οδόστρωμα αντέχει σε κόπωση.
- Όσο αυξάνεται ο λόγος του Poisson τόσο αυξάνονται και οι αναπτυσσόμενες τάσεις στα υπό εξέταση σημεία.



ΤΡΟΧΟΣ 1

ΤΡΟΧΟΣ 2

Σχήμα 4.1. Διάταξη διδύμων τροχών (οι διαστάσεις σε mm)

E(MPa)	Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =20,v=0.15				Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =25,v=0.15			
		STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)			STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)	
		XX	YY	XX	YY		XX	YY	XX	YY
5000	1	0.229	0.323	3.83	5.99	1	0.186	0.257	3.11	4.76
10000		0.344	0.471	2.82	4.28		0.276	0.370	2.27	3.35
15000		0.426	0.573	2.31	3.44		0.338	0.445	1.85	2.67
20000		0.490	0.651	1.99	2.92		0.386	0.501	1.58	2.24
25000		0.543	0.715	1.77	2.56		0.425	0.546	1.39	1.95
30000		0.588	0.769	1.60	2.29		0.458	0.584	1.25	1.73
E(MPa)	Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =20,v=0.15				Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =25,v=0.15			
		STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)			STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)	
		XX	YY	XX	YY		XX	YY	XX	YY
5000	2	0.191	0.335	3.03	6.35	2	0.178	0.273	2.92	5.09
10000		0.301	0.489	2.37	4.53		0.270	0.391	2.18	3.57
15000		0.384	0.595	2.02	3.64		0.335	0.469	1.80	2.83
20000		0.450	0.677	1.78	3.08		0.385	0.528	1.56	2.38
25000		0.506	0.744	1.60	2.70		0.426	0.575	1.38	2.06
30000		0.553	0.800	1.46	2.41		0.460	0.614	1.24	1.83

E(MPa)	Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =30,v=0.15				Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =35,v=0.15			
		STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)			STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)	
		XX	YY	XX	YY		XX	YY	XX	YY
5000	1	0.155	0.210	2.60	3.87	1	0.132	0.175	2.23	3.21
10000		0.227	0.298	1.88	2.69		0.191	0.245	1.59	2.21
15000		0.276	0.355	1.52	2.12		0.231	0.290	1.27	1.73
20000		0.313	0.397	1.29	1.77		0.260	0.323	1.07	1.44
25000		0.343	0.431	1.13	1.53		0.283	0.348	0.93	1.24
30000		0.367	0.458	1.01	1.35		0.302	0.369	0.83	1.09
E(MPa)	Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =30,v=0.15				Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =35,v=0.15			
		STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)			STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)	
		XX	YY	XX	YY		XX	YY	XX	YY
5000	2	0.161	0.225	2.69	4.16	2	0.143	0.188	2.42	3.45
10000		0.237	0.317	1.95	2.87		0.207	0.262	1.72	2.36
15000		0.288	0.377	1.58	2.26		0.248	0.309	1.37	1.84
20000		0.327	0.421	1.34	1.88		0.279	0.343	1.15	1.52
25000		0.358	0.456	1.17	1.62		0.303	0.37	1.00	1.31
30000		0.384	0.484	1.05	1.43		0.323	0.391	0.89	1.15

E(MPa)	Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =20,v=0.20				Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =25,v=0.20			
		STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)			STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)	
		XX	YY	XX	YY		XX	YY	XX	YY
5000	1	0.245	0.335	3.84	6.01	1	0.198	0.267	3.12	4.78
10000		0.368	0.489	2.82	4.27		0.295	0.385	2.27	3.34
15000		0.455	0.595	2.31	3.43		0.361	0.462	1.84	2.65
20000		0.523	0.676	1.98	2.90		0.412	0.521	1.57	2.23
25000		0.579	0.743	1.76	2.54		0.453	0.568	1.38	1.93
30000		0.627	0.798	1.58	2.27		0.488	0.607	1.24	1.72
E(MPa)	Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =20,v=0.20				Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =25,v=0.20			
		STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)			STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)	
		XX	YY	XX	YY		XX	YY	XX	YY
5000	2	0.206	0.345	3.04	6.37	2	0.191	0.282	2.93	5.11
10000		0.326	0.505	2.37	4.52		0.290	0.405	2.18	3.56
15000		0.414	0.616	2.01	3.62		0.359	0.486	1.80	2.82
20000		0.485	0.701	1.77	3.07		0.412	0.548	1.55	2.36
25000		0.544	0.77	1.59	2.68		0.455	0.596	1.37	2.05
30000		0.594	0.828	1.46	2.39		0.492	0.637	1.23	1.82

Πίνακας 4.2: Τάσεις και παραμορφώσεις στα δύο κρίσιμα σημεία του σχήματος 4.1 σε σχέση με το μέτρο ελαστικότητας της ανακυκλωμένης στρώσης για διάφορες τιμές πάχους ασφαλομίγματος και ανακυκλωμένης στρώσης και λόγου Poisson

E(MPa)	Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =30,ν=0.20				Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =35,ν=0.20			
		STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)			STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)	
		XX	YY	XX	YY		XX	YY	XX	YY
5000	1	0.165	0.218	2.61	3.89	1	0.141	0.182	2.23	3.22
10000		0.243	0.310	1.88	2.69		0.204	0.255	1.59	2.20
15000		0.294	0.370	1.51	2.11		0.245	0.302	1.26	1.72
20000		0.333	0.413	1.28	1.76		0.276	0.336	1.06	1.42
25000		0.364	0.448	1.12	1.52		0.300	0.362	0.93	1.22
30000		0.390	0.477	1.00	1.34		0.320	0.384	0.82	1.08
E(MPa)	Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =30,ν=0.20				Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =35,ν=0.20			
		STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)			STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)	
		XX	YY	XX	YY		XX	YY	XX	YY
5000	2	0.172	0.233	2.70	4.17	2	0.153	0.196	2.43	3.46
10000		0.253	0.33	1.95	2.87		0.220	0.273	1.72	2.35
15000		0.308	0.392	1.57	2.25		0.264	0.322	1.36	1.83
20000		0.349	0.438	1.33	1.87		0.296	0.357	1.15	1.51
25000		0.381	0.474	1.17	1.61		0.322	0.385	1.00	1.30
30000		0.409	0.503	1.04	1.42		0.343	0.407	0.88	1.14

E(MPa)	Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =20,ν=0.25				Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =25,ν=0.25			
		STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)			STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)	
		XX	YY	XX	YY		XX	YY	XX	YY
5000	1	0.262	0.348	3.85	6.02	1	0.212	0.278	3.13	4.79
10000		0.394	0.509	2.81	4.25		0.315	0.401	2.26	3.33
15000		0.486	0.619	2.29	3.40		0.385	0.482	1.83	2.63
20000		0.558	0.704	1.97	2.88		0.439	0.542	1.56	2.21
25000		0.618	0.773	1.74	2.51		0.482	0.591	1.37	1.91
30000		0.669	0.831	1.57	2.24		0.519	0.631	1.23	1.70
E(MPa)	Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =20,ν=0.25				Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =25,ν=0.25			
		STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)			STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)	
		XX	YY	XX	YY		XX	YY	XX	YY
5000	2	0.223	0.356	3.05	6.37	2	0.205	0.293	2.94	5.12
10000		0.352	0.523	2.36	4.50		0.311	0.421	2.17	3.55
15000		0.447	0.638	2.00	3.59		0.384	0.505	1.78	2.80
20000		0.522	0.726	1.76	3.04		0.44	0.569	1.53	2.34
25000		0.584	0.798	1.58	2.65		0.486	0.62	1.36	2.02
30000		0.638	0.859	1.44	2.36		0.524	0.662	1.22	1.79

E(MPa)	Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =30,ν=0.25				Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =35,ν=0.25			
		STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)			STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)	
		XX	YY	XX	YY		XX	YY	XX	YY
5000	1	0.177	0.228	2.62	3.90	1	0.150	0.190	2.24	3.23
10000		0.259	0.323	1.87	2.67		0.217	0.266	1.58	2.19
15000		0.314	0.385	1.50	2.09		0.261	0.315	1.25	1.70
20000		0.355	0.430	1.27	1.74		0.293	0.350	1.05	1.41
25000		0.387	0.466	1.11	1.50		0.319	0.378	0.92	1.21
30000		0.415	0.496	0.99	1.33		0.340	0.400	0.81	1.06
E(MPa)	Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =30,ν=0.25				Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =35,ν=0.25			
		STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)			STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)	
		XX	YY	XX	YY		XX	YY	XX	YY
5000	2	0.184	0.243	2.70	4.18	2	0.163	0.204	2.44	3.47
10000		0.27	0.344	1.94	2.85		0.234	0.285	1.71	2.34
15000		0.328	0.408	1.56	2.23		0.281	0.335	1.35	1.81
20000		0.371	0.456	1.32	1.85		0.314	0.372	1.13	1.49
25000		0.405	0.493	1.15	1.59		0.341	0.401	0.98	1.28
30000		0.434	0.524	1.03	1.40		0.363	0.424	0.87	1.13

Πίνακας 4.3: Τάσεις και παραμορφώσεις στα δύο κρίσιμα σημεία του σχήματος 4.1 σε σχέση με το μέτρο ελαστικότητας της ανακυκλωμένης στρώσης για διάφορες τιμές πάχους ασφαλομήγματος και ανακυκλωμένης στρώσης και λόγου Poisson

E(MPa)	Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =20,v=0.30				Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =25,v=0.30			
		STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)			STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)	
		XX	YY	XX	YY		XX	YY	XX	YY
5000	1	0.280	0.364	3.86	6.02	1	0.227	0.291	3.14	4.79
10000		0.422	0.532	2.79	4.23		0.337	0.418	2.25	3.31
15000		0.520	0.646	2.27	3.37		0.411	0.503	1.81	2.60
20000		0.596	0.734	1.95	2.84		0.468	0.566	1.54	2.18
25000		0.659	0.805	1.72	2.48		0.513	0.616	1.35	1.88
30000		0.713	0.865	1.55	2.21		0.552	0.658	1.21	1.67
E(MPa)	Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =20,v=0.30				Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =25,v=0.30			
		STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)			STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)	
		XX	YY	XX	YY		XX	YY	XX	YY
5000	2	0.242	0.369	3.05	6.37	2	0.221	0.305	2.94	5.12
10000		0.381	0.543	2.36	4.47		0.334	0.438	2.16	3.52
15000		0.482	0.663	1.99	3.56		0.411	0.526	1.77	2.76
20000		0.561	0.755	1.74	3.00		0.471	0.592	1.52	2.31
25000		0.627	0.829	1.56	2.61		0.519	0.645	1.34	1.99
30000		0.684	0.892	1.43	2.33		0.559	0.688	1.20	1.76

E(MPa)	Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =30,v=0.30				Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =35,v=0.30			
		STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)			STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)	
		XX	YY	XX	YY		XX	YY	XX	YY
5000	1	0.189	0.238	2.62	3.90	1	0.161	0.199	2.24	3.23
10000		0.277	0.338	1.86	2.65		0.232	0.279	1.57	2.17
15000		0.334	0.402	1.48	2.07		0.278	0.329	1.24	1.68
20000		0.377	0.449	1.25	1.72		0.311	0.365	1.04	1.39
25000		0.412	0.486	1.09	1.48		0.338	0.394	0.90	1.19
30000		0.440	0.517	0.97	1.30		0.360	0.417	0.80	1.05
E(MPa)	Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =30,v=0.30				Σημείο ελέγχου	h ₁ =10, h ₂ =35,v=0.30			
		STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)			STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)	
		XX	YY	XX	YY		XX	YY	XX	YY
5000	2	0.197	0.254	2.70	4.18	2	0.174	0.214	2.44	3.47
10000		0.289	0.359	1.92	2.83		0.250	0.298	1.69	2.32
15000		0.35	0.426	1.54	2.20		0.298	0.35	1.34	1.79
20000		0.395	0.475	1.30	1.82		0.334	0.388	1.12	1.47
25000		0.431	0.514	1.14	1.57		0.362	0.418	0.97	1.26
30000		0.461	0.545	1.01	1.38		0.385	0.442	0.86	1.11

E(MPa)	Σημείο ελέγχου	h ₁ =5, h ₂ =20, v=0.25				Σημείο ελέγχου	h ₁ =5, h ₂ =25,v=0.25			
		STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)			STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)	
		XX	YY	XX	YY		XX	YY	XX	YY
5000	1	0.323	0.433	4.75	7.50	1	0.255	0.339	3.75	5.85
10000		0.478	0.622	3.40	5.21		0.373	0.479	2.66	3.99
15000		0.581	0.746	2.73	4.10		0.450	0.567	2.12	3.11
20000		0.660	0.837	2.32	3.43		0.506	0.631	1.79	2.57
25000		0.723	0.910	2.03	2.96		0.552	0.682	1.56	2.21
30000		0.777	0.970	1.82	2.62		0.589	0.723	1.39	1.95
E(MPa)	Σημείο ελέγχου	h ₁ =5, h ₂ =20, v=0.25				Σημείο ελέγχου	h ₁ =5, h ₂ =25,v=0.25			
		STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)			STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)	
		XX	YY	XX	YY		XX	YY	XX	YY
5000	2	0.232	0.426	2.96	7.81	2	0.224	0.349	3.08	6.21
10000		0.383	0.622	2.46	5.44		0.344	0.495	2.34	4.23
15000		0.489	0.751	2.11	4.29		0.424	0.587	1.92	3.28
20000		0.571	0.846	1.86	3.59		0.483	0.654	1.65	2.71
25000		0.637	0.922	1.67	3.10		0.53	0.706	1.45	2.33
30000		0.693	0.985	1.53	2.74		0.569	0.749	1.30	2.05

Πίνακας 4.4: Τάσεις και παραμορφώσεις στα δύο κρίσιμα σημεία του σχήματος 4.1 σε σχέση με το μέτρο ελαστικότητας της ανακυκλωμένης στρώσης για διάφορες τιμές πάχους ασφαλτομίγματος και ανακυκλωμένης στρώσης και λόγου Poisson

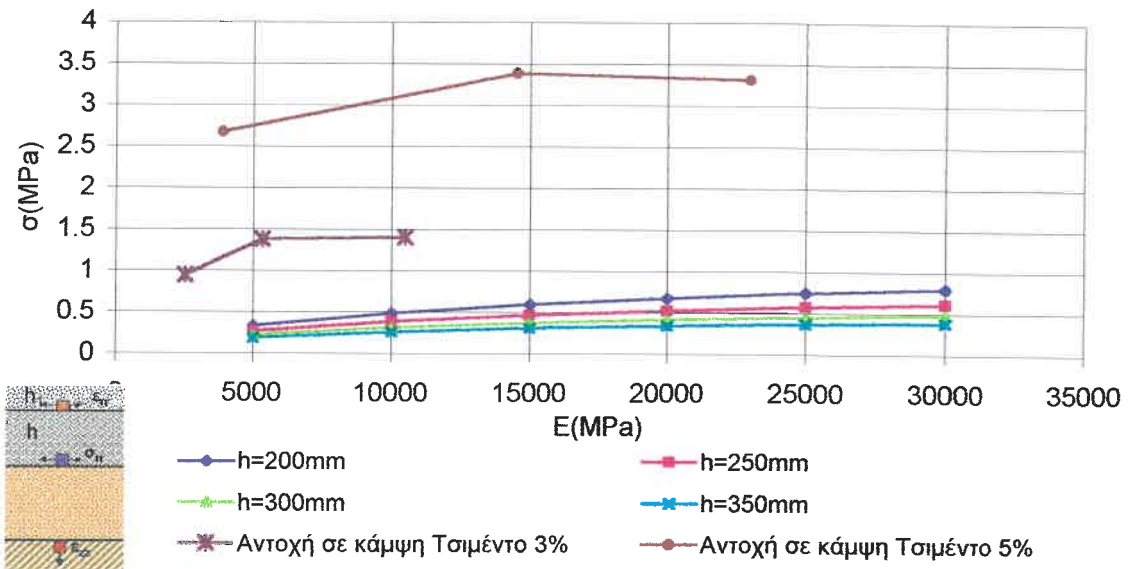
E(MPa)	Σημείο ελέγχου	h ₁ =5, h ₂ =30, ν=0.25				Σημείο ελέγχου	h ₁ =5, h ₂ =35, ν=0.25			
		STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)			STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)	
		XX	YY	XX	YY		XX	YY	XX	YY
5000	1	0.208	0.273	3.07	4.69	1	0.174	0.224	2.59	3.84
10000		0.300	0.380	2.16	3.15		0.248	0.309	1.79	2.55
15000		0.359	0.446	1.71	2.43		0.294	0.360	1.41	1.95
20000		0.402	0.493	1.43	2.00		0.327	0.396	1.17	1.60
25000		0.435	0.530	1.24	1.71		0.353	0.424	1.01	1.36
30000		0.463	0.559	1.10	1.50		0.374	0.446	0.89	1.19
E(MPa)	Σημείο ελέγχου	h ₁ =5, h ₂ =30, ν=0.25				Σημείο ελέγχου	h ₁ =5, h ₂ =35, ν=0.25			
		STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)			STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)	
		XX	YY	XX	YY		XX	YY	XX	YY
5000	2	0.205	0.288	2.94	5.02	2	0.183	0.24	2.69	4.12
10000		0.301	0.4	2.12	3.36		0.262	0.329	1.88	2.72
15000		0.363	0.469	1.69	2.58		0.31	0.382	1.48	2.08
20000		0.407	0.518	1.43	2.12		0.345	0.419	1.23	1.70
25000		0.442	0.556	1.24	1.81		0.372	0.448	1.06	1.44
30000		0.471	0.587	1.10	1.58		0.394	0.472	0.94	1.26

E(MPa)	Σημείο ελέγχου	h ₁ =15, h ₂ =20, ν=0.25				Σημείο ελέγχου	h ₁ =15, h ₂ =25, ν=0.25			
		STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)			STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)	
		XX	YY	XX	YY		XX	YY	XX	YY
5000	1	0.218	0.288	3.22	4.96	1	0.181	0.234	2.68	4.02
10000		0.331	0.425	2.36	3.55		0.271	0.341	1.95	2.83
15000		0.411	0.522	1.94	2.86		0.334	0.414	1.59	2.26
20000		0.476	0.598	1.68	2.44		0.383	0.470	1.36	1.91
25000		0.530	0.661	1.49	2.15		0.424	0.516	1.21	1.67
30000		0.577	0.714	1.36	1.93		0.458	0.555	1.09	1.49
E(MPa)	Σημείο ελέγχου	h ₁ =15, h ₂ =20, ν=0.25				Σημείο ελέγχου	h ₁ =15, h ₂ =25, ν=0.25			
		STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)			STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)	
		XX	YY	XX	YY		XX	YY	XX	YY
5000	2	0.209	0.303	2.96	5.31	2	0.187	0.25	2.74	4.31
10000		0.322	0.447	2.23	3.79		0.281	0.363	2.00	3.03
15000		0.406	0.548	1.87	3.05		0.348	0.44	1.64	2.41
20000		0.475	0.628	1.64	2.60		0.4	0.499	1.42	2.03
25000		0.532	0.695	1.47	2.28		0.444	0.547	1.26	1.77
30000		0.582	0.751	1.34	2.05		0.480	0.587	1.13	1.58

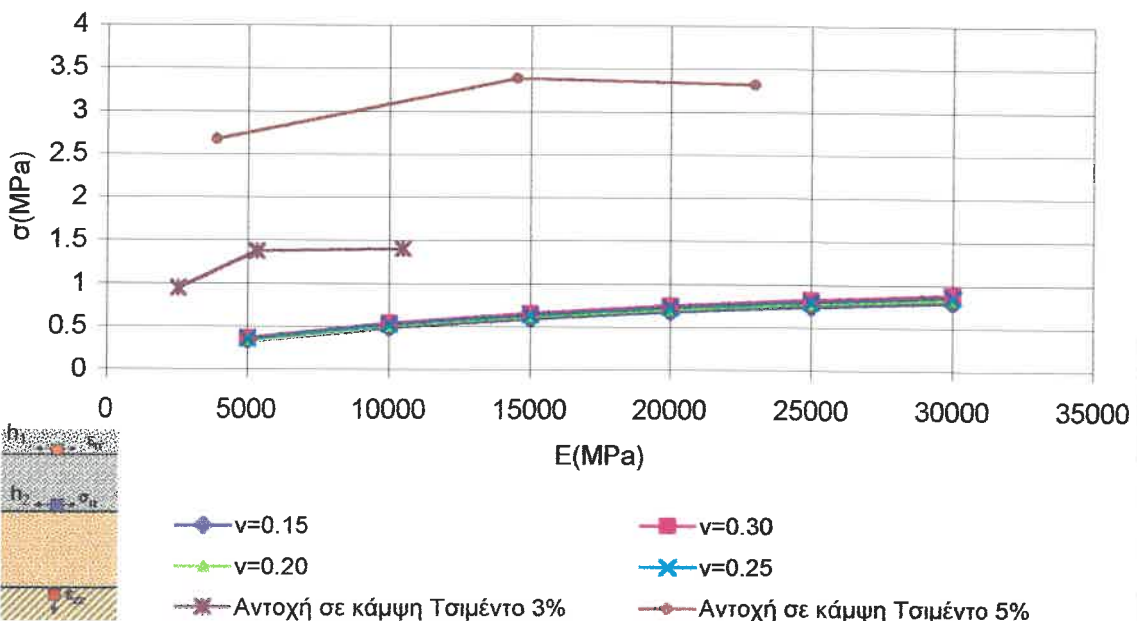
E(MPa)	Σημείο ελέγχου	h ₁ =15, h ₂ =35, ν=0.25				Σημείο ελέγχου	h ₁ =15, h ₂ =30, ν=0.25			
		STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)			STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)	
		XX	YY	XX	YY		XX	YY	XX	YY
5000	1	0.132	0.164	1.98	2.78	1	0.153	0.194	2.28	3.31
10000		0.193	0.233	1.41	1.91		0.226	0.280	1.64	2.31
15000		0.233	0.279	1.13	1.50		0.277	0.336	1.33	1.83
20000		0.264	0.312	0.95	1.25		0.315	0.379	1.13	1.53
25000		0.289	0.339	0.83	1.08		0.346	0.414	0.99	1.33
30000		0.309	0.361	0.74	0.96		0.373	0.442	0.89	1.18
E(MPa)	Σημείο ελέγχου	h ₁ =15, h ₂ =35, ν=0.25				Σημείο ελέγχου	h ₁ =15, h ₂ =30, ν=0.25			
		STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)			STRESS (MPa)		STRAIN (*10 ⁻⁵)	
		XX	YY	XX	YY		XX	YY	XX	YY
5000	2	0.146	0.177	2.21	2.98	2	0.166	0.209	2.47	3.56
10000		0.211	0.25	1.55	2.04		0.244	0.299	1.77	2.46
15000		0.254	0.298	1.24	1.60		0.297	0.359	1.43	1.94
20000		0.287	0.333	1.04	1.33		0.338	0.404	1.21	1.63
25000		0.313	0.36	0.91	1.15		0.371	0.44	1.07	1.41
30000		0.335	0.383	0.81	1.01		0.399	0.47	0.96	1.25

Πίνακας 4.5: Τάσεις και παραμορφώσεις στα δύο κρίσιμα σημεία του σχήματος 4.1 σε σχέση με το μέτρο ελαστικότητας της ανακυκλωμένης στρώσης για διάφορες τιμές πάχους ασφαλομίγματος και ανακυκλωμένης στρώσης και λόγου Poisson

Διάγραμμα 4.1. Μεταβολή των αναπτυσσόμενων τάσεων στον πυθμένα της ανακυκλωμένης στρώσης σε σχέση με το μέτρο ελαστικότητας της ανακυκλωμένης στρώσης για $\nu=0.15$ και $h_1=100\text{mm}$ για διάφορα πάχη της ανακυκλωμένης στρώσης.



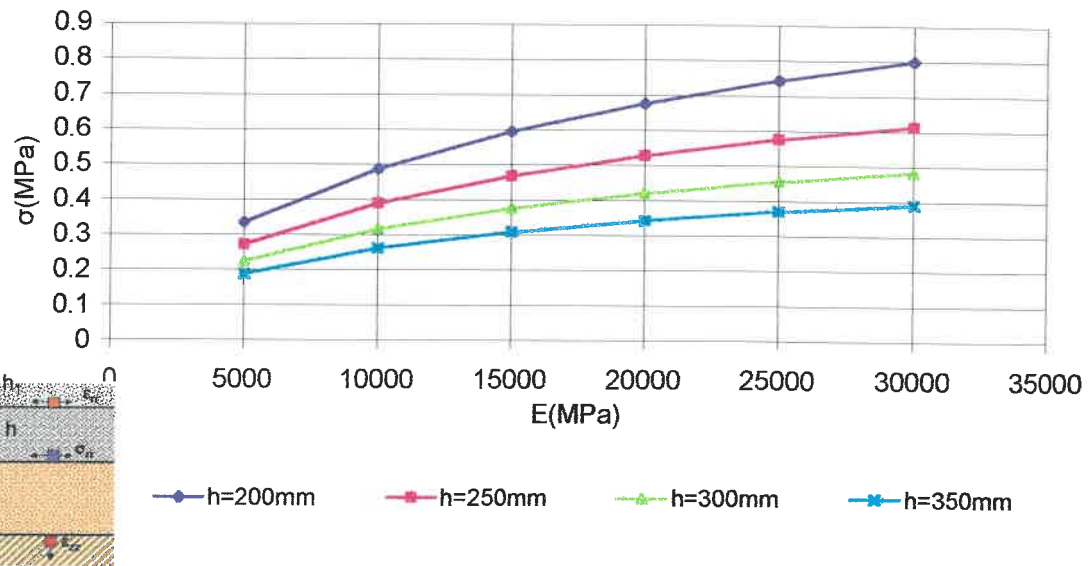
Διάγραμμα 4.2. Μεταβολή των αναπτυσσόμενων τάσεων στον πυθμένα της ανακυκλωμένης στρώσης σε σχέση με το μέτρο ελαστικότητας για $h_1=100\text{mm}$, $h_2=200\text{mm}$ για διαφορετικές τιμές του λόγου Poisson.



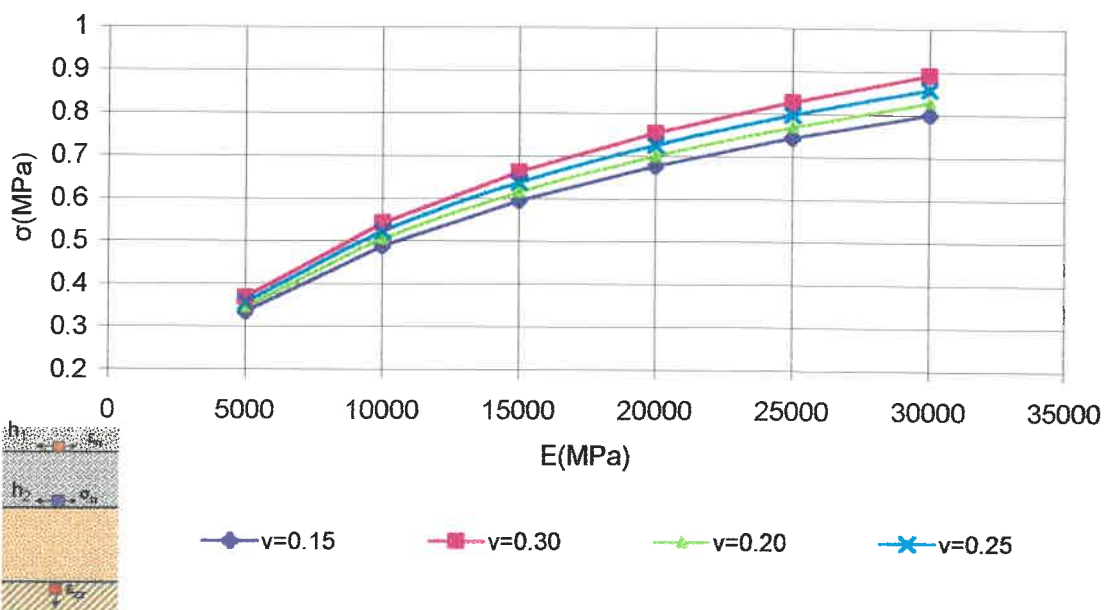
τσιμέντο 3% - ηλικία 60 ημερών	
Αντοχή σε κάμψη f^{BI} (MPa)	Μέτρο Ελαστικότητας E (MPa)
1.41	10475
1.38	5325
0.95	2550

τσιμέντο 5% - ηλικία 60 ημερών	
Αντοχή σε κάμψη f^{BI} (MPa)	Μέτρο Ελαστικότητας E (MPa)
3.32	23000
3.39	14500
2.68	3900

Διάγραμμα 4.1α. Μεταβολή των αναπτυσσόμενων τάσεων στον πυθμένα της ανακυκλωμένης στρώσης σε σχέση με το μέτρο ελαστικότητας της ανακυκλωμένης στρώσης για $\nu=0.15$ και $h_1=100\text{mm}$ για διάφορα πάχη ανακυκλωμένης στρώσης.

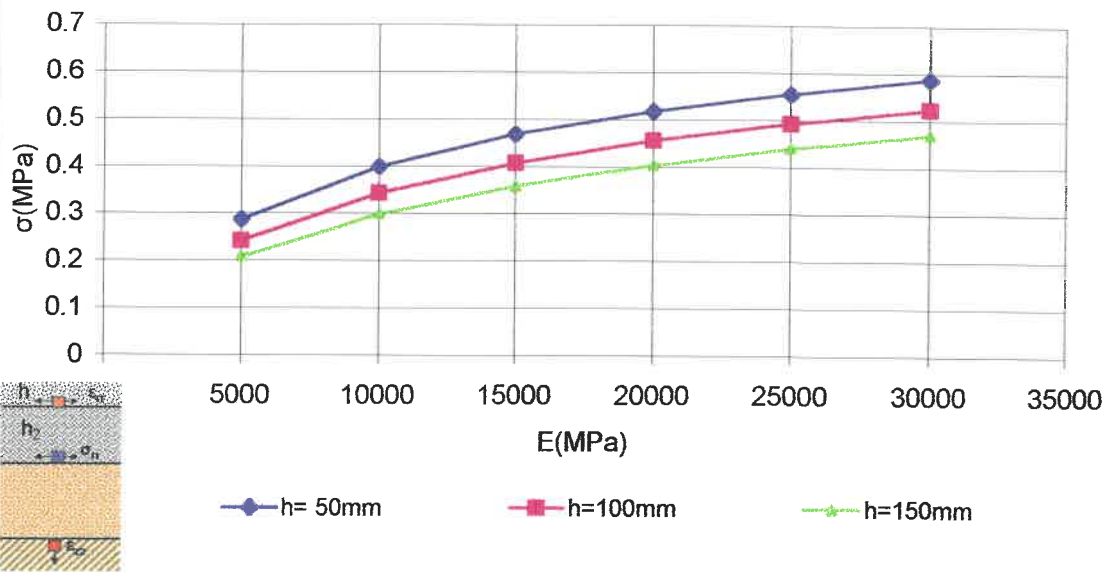


Διάγραμμα 4.2α. Μεταβολή των αναπτυσσόμενων τάσεων στον πυθμένα της ανακυκλωμένης στρώσης σε σχέση με το μέτρο ελαστικότητας για $h_1=100\text{mm}$, $h_2=200\text{mm}$ για διάφορες τιμές του λόγου Poisson.

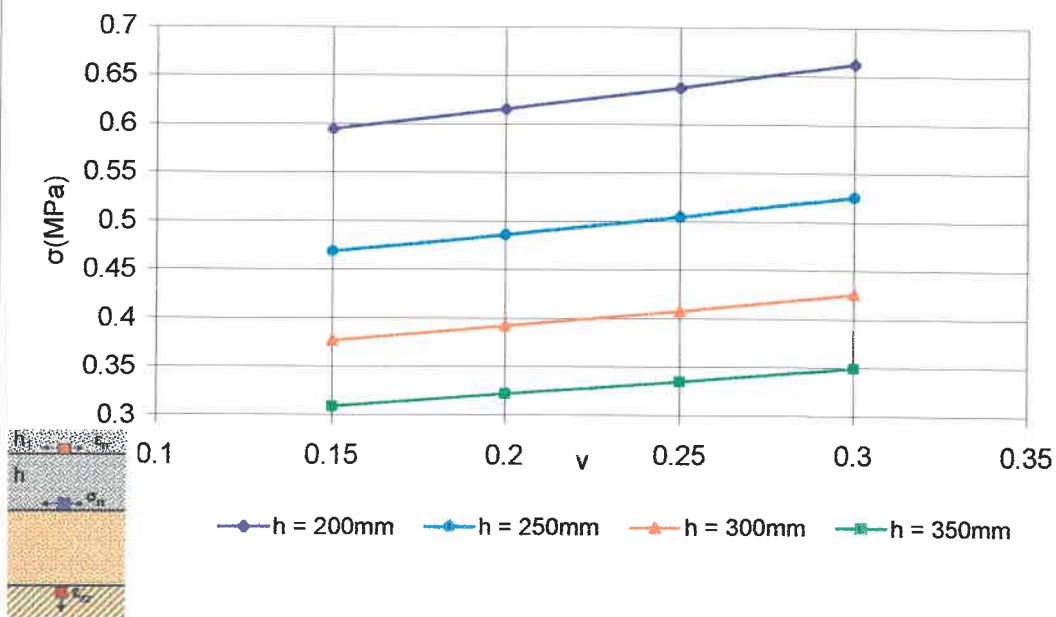


$h_2 = 200\text{mm}$	
ν	σ (MPa)
0.15	0.595
0.2	0.616
0.25	0.638
0.3	0.663

Διάγραμμα 4.3. Μεταβολή των αναπτυσσόμενων τάσεων στον πυθμένα της ανακυκλωμένης στρώσης στο κρίσιμότερο σημείο σε σχέση με το μέτρο ελαστικότητας για $h_2=300\text{mm}$, $\nu=0.25$ για διάφορα πάχη ασφαλτομίγματος.

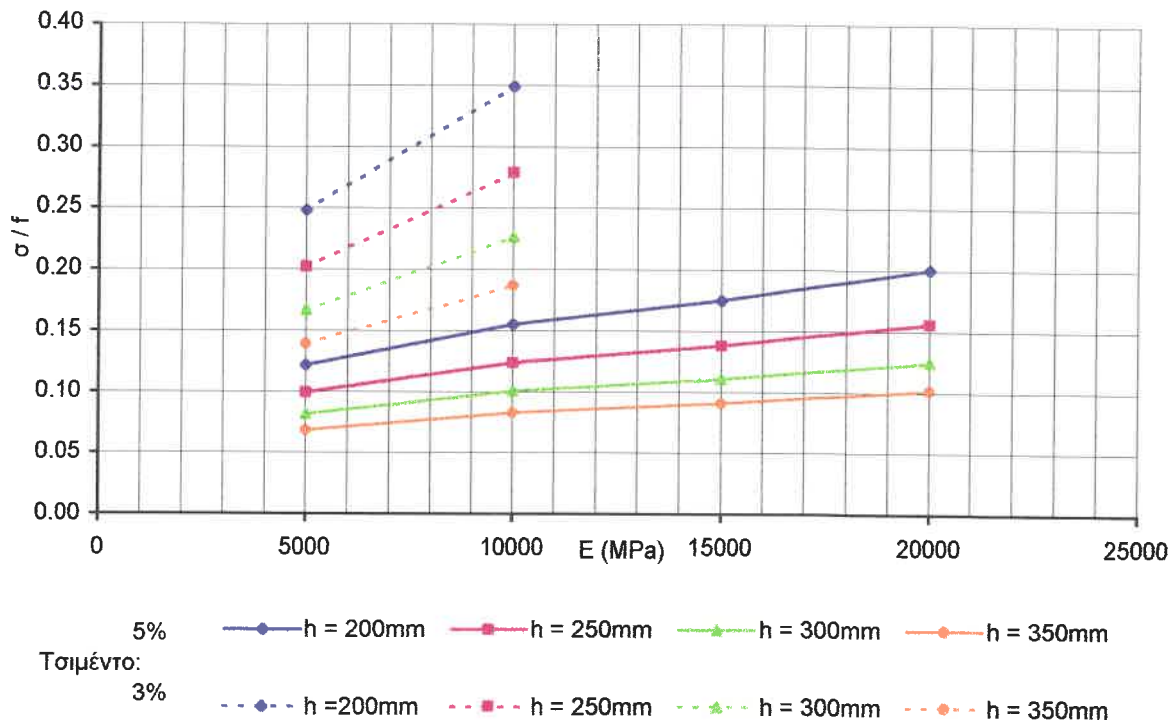


Διάγραμμα 4.4. Μεταβολή του λόγου Poisson σε συνάρτηση με την τάση που αναπτύσσεται στον πυθμένα της ανακυκλωμένης στρώσης, για $E_2=15000\text{MPa}$, $h_1=100\text{mm}$ για διάφορα πάχη ανακυκλωμένης στρώσης.



Λόγος Poisson ν	σ (MPa) για $h_1 = 100\text{mm}$			
	$h = 200\text{mm}$	$h = 250\text{mm}$	$h = 300\text{mm}$	$h = 350\text{mm}$
0.15	0.595	0.469	0.377	0.309
0.2	0.616	0.486	0.392	0.322
0.25	0.638	0.505	0.408	0.335
0.3	0.663	0.526	0.426	0.35

Διάγραμμα 4.5. Μεταβολή του λόγου της αναπτυσσόμενης τάσης στο πυθμένα της ανακυκλωμένης στρώσης προς την αντοχή του υλικού για διάφορα πάχη ανακυκλωμένης στρώσης και προσθήκη τσιμέντου 3% και 5%. Ισχύει $\sigma/f < 0.5$.



E (MPa)	σ / f				Περιεκτικότητα σε Τσιμέντο
	h=200mm	h=250mm	h=300mm	h=350mm	
5000	0.12	0.10	0.08	0.07	5%
10000	0.16	0.12	0.10	0.08	
15000	0.18	0.14	0.11	0.09	
20000	0.20	0.16	0.12	0.10	
5000	0.25	0.20	0.17	0.14	3%
10000	0.35	0.28	0.23	0.19	

4.2 ΑΛΛΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΛΙΚΩΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΩΝ ΜΕ

ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Εκτός από τα προαναφερθέντα μηχανικά χαρακτηριστικά, τα ανακυκλωμένα με τσιμέντο υλικά παρουσιάζουν κάποιες επιπλέον ιδιότητες, παρόμοιες με αυτές ενός σταθεροποιημένου με τσιμέντο θραυστού αμμοχάλικου. Μερικές από αυτές είναι^[1]:

- Χρονική περίοδος εργασιμότητας
- Άμεση σταθεροποίηση
- Εξάρτηση της μηχανικής αντοχής από την πυκνότητα
- Ρωγμές συστολής

4.2.1. ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΡΓΑΣΙΜΟΤΗΤΑΣ

Όπως σε κάθε μίγμα με τσιμέντο, η συμπίκνωση του ανακυκλωμένου υλικού με προσθήκη τσιμέντου θα πρέπει να ολοκληρωθεί μέσα σε ένα περιορισμένο χρονικό διάστημα γνωστή ως χρονική περίοδος εργασιμότητας. Από τη στιγμή που αρχίζει η ενυδάτωση του τσιμέντου, δημιουργούνται συνδέσεις μεταξύ των αδρανών, οι οποίες παρεμποδίζουν τη μεταξύ των κόκκων μετακίνηση κατά τη διάρκεια της συμπίκνωσης. Έτσι, εάν επιβληθεί ισχυρή συμπίκνωση, ώστε να εξασφαλιστεί ο επιθυμητός βαθμός συμπίκνωσης, οι σύνδεσμοι αθυτοί θα σπάσουν και θα παρουσιαστεί απώλεια αντοχής. Εάν η συμπίκνωση γίνει ασθενέστερη έτσι ώστε να μη σπάσουν οι σύνδεσμοι, δεν θα υπάρχει απώλεια αντοχής που να οφείλεται στη θραύση των συνδέσμων αλλά θα υπάρχει σημαντική απώλεια αντοχής λόγω μη επίτευξης του επιθυμητού βαθμού συμπίκνωσης. Για το λόγο αυτό επιβάλλεται να επιβραδυνθεί η χημική αντίδραση του τσιμέντου έτσι ώστε κατά τη διάρκεια της συμπίκνωσης να μην έχουν αναπτυχθεί σημαντικές συνδετικές δυνάμεις από το τσιμέντο. Η έννοια της περιόδου εργασιμότητας δε θα πρέπει να συγχυστεί με την έννοια του χρόνου ενυδάτωσης του σταθεροποιητικού υλικού, ο οποίος αποτελεί έναν από τους παράγοντες που επηρεάζουν την περίοδο της εργασιμότητας. Άλλοι παράγοντες είναι η φύση των αδρανών, η περιεκτικότητα του μίγματος σε νερό και οι συνθήκες που επικρατούν στο έργο.

4.2.2. ΑΜΕΣΗ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ

Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό των μιγμάτων αδρανών-τσιμέντου, όσων αφορά στη χρησιμοποίησή τους σε έργα αποκατάστασης υπό συνθήκες κυκλοφορίας, είναι η δυνατότητα της άμεσης επαναλειτουργίας της κυκλοφορίας. Αυτό οφείλεται στη σταθερότητα που παρέχεται στο δομικό σκελετό του συμπυκνωμένου οδοστρώματος. Οι παραμορφώσεις που προκαλούνται από τη κυκλοφορία δεν είναι αρκετές για να σπάσουν τους δεσμούς μεταξύ των αδρανών. Έτσι δε διακόπτεται η διαδικασία αύξησης της αντοχής του οδοστρώματος, λόγω της επιβολής της κυκλοφορίας.

4.2.3. ΕΞΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ

Μία μικρή μείωση της πυκνότητας του μίγματος (π.χ. της τάξης του 5%), μεταφράζεται σε μια μεγάλη μείωση της αντοχής, η οποία μπορεί να υπερβεί το 25% της αρχικής αντοχής. Θα πρέπει λοιπόν, στην ανακύκλωση οδοστρωμάτων με τσιμέντο να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη διαδικασία της συμπίκνωσης, κατά την οποία θα επιδιώκεται να επιτευχθεί τουλάχιστον η ελάχιστη απαιτούμενη πυκνότητα. Επιπλέον, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι σε έργα αυτού του τύπου, η συμπίκνωση των υλικών είναι πιο δύσκολη από ότι στην περίπτωση σταθεροποιημένου αμμοχάλικου με τσιμέντο ή σκυροδέματος δεδομένου ότι και τα πάχη επεξεργασίας μπορεί να είναι μεγαλύτερα των 25 ή 30cm (π.χ. συνθήκες βαριάς κυκλοφορίας).

4.2.4. ΡΩΓΜΕΣ ΣΥΣΤΟΛΗΣ

Λόγω του υψηλού μέτρου ελαστικότητας και του συντελεστή θερμικής διαστολής (περίπου $10^{-7}/^{\circ}\text{C}$), οι τάσεις που προκαλούνται από τις ημερήσιες και εποχιακές διακυμάνσεις θερμοκρασίας, σε συνδυασμό με τα φορτία της κυκλοφορίας μπορεί να υπερβούν τις εσωτερικές τάσεις που αναπτύσσονται μεταξύ των κόκκων. Η ρωγμάτωση αυτών των υλικών είναι ένα γεγονός δεδομένο, λόγω της φύσης τους και δεν πρέπει να αποδίδεται σε λάθη εκτέλεσης του έργου. Τα χαρακτηριστικά των ρωγματώσεων (η μεταξύ τους απόσταση, το άνοιγμά τους, η χρονική στιγμή εμφάνισής τους) εξαρτώνται από ένα πλήθος παραγόντων:

- τύπος τσιμέντου
- δοσολογία του τσιμέντου
- φύση και κοκκομετρία των φρεζαρισμένων υλικών
- κλιματολογικές συνθήκες κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του έργου
- συντήρηση του ανακυκλωμένου οδοστρώματος
- ανομοιογένεια υλικών

Η εμφάνιση και η αντιμετώπιση των αναπόφευκτων ρωγμών στο οδόστρωμα αποτελεί μείζον πρόβλημα και γι' αυτό θα αναφερθεί λεπτομερέστερα σε επόμενο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Για να αρχίσει το έργο της ανακύκλωσης ενός οδοστρώματος θα πρέπει να καθοριστεί αρχικά ο τρόπος εργασίας που θα ακολουθηθεί. Σε αυτόν θα προσδιορίζονται τα εξής στοιχεία^[7]:

1. **η κοκκομετρία του φρεζαρισμένου υλικού** - Σχεδιάζεται η κοκκομετρική καμπύλη του φρεζαρισμένου υλικού προκειμένου να διαπιστωθεί αν αυτή είναι αποδεκτή ή χρειάζεται κάποια διόρθωση. Η διόρθωση αυτή μπορεί να γίνει είτε με την προσθήκη απαιτούμενης ποσότητας καινούριου υλικού συγκεκριμένης κοκκομετρίας, που θα λειτουργήσει ως διορθωτικό είτε με την περαιτέρω αποσύνθεση των χονδρόκοκκων υλικών. Υπάρχουν ανακυκλωτήρες που έχουν τη δυνατότητα να «φιλτράρουν» το φρεζαρισμένο υλικό και να κατακρατούν τα χονδρόκοκκα υλικά για περαιτέρω διάσπαση. Πολλές φορές, βέβαια, λόγω της παρουσίας στοιχείων που έχουν σχηματισθεί από ένωση πολύ λεπτών και χοντρών υλικών συνδεδεμένα με άσφαλτο, η κοκκομετρική καμπύλη του φρεζαρισμένου υλικού παρουσιάζει πολλές διαφορές. Ένας άλλος πολύ σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την κοκκομετρία του φρεζαρισμένου υλικού είναι το βάθος στο οποίο θα γίνει η ανακύκλωση. Όσο μεγαλύτερο είναι το βάθος της ανακύκλωσης τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό των χονδρόκοκκων υλικών και μικρότερο των ασφαλικών στοιχείων. Δεδομένου ότι δεν είναι γνωστό εκ των προτέρων το βάθος της ανακύκλωσης που θα πραγματοποιηθεί, είναι σκόπιμο να σχεδιασθεί η κοκκομετρική καμπύλη έπειτα από αντίστοιχη κοκκομετρική ανάλυση του φρεζαρισμένου υλικού, που θα εξαχθεί από διάφορα βάθη ανακύκλωσης.
2. **η περιεκτικότητα του μίγματος σε νερό κατά την ανάμιξη**
3. **ο τύπος και το ποσοστό κατά βάρος (της συνολικής ξηρής μάζας των προς ανακύκλωση υλικών), των χημικών πρόσθετων (π.χ. επιβραδυντικά πήξης).** Συνιστάται η χρήση τσιμέντου αντοχής μεσαίας τάξης και με υψηλή περιεκτικότητα σε πρόσθετα έτσι ώστε να μην δημιουργούνται πολλές ραγμές συστολής και να παρατείνεται η περίοδος εργασιμότητας του υλικού.

4. **η απαιτούμενη αποκτούμενη πυκνότητα** – Κατ' αρχάς η μέση τιμή της δε θα πρέπει να είναι κατώτερη του 97% της μέγιστης πυκνότητας που αποκτάται στην τροποποιημένη δοκιμή Proctor.
5. **ο τύπος και η περιεκτικότητα του τσιμέντου** που θα χρησιμοποιηθεί. Για να προσδιορίσουμε την ιδανική δοσολογία τσιμέντου (η οποία θα πρέπει να είναι η ελάχιστη - που θα προσφέρει όμως τις απαιτούμενες αντοχές, όχι μόνο για οικονομικούς λόγους αλλά και για την αποφυγή ρηγματώσεων μεγάλου βαθμού), χρειάζεται να πραγματοποιηθούν δύο ή τρεις σειρές δοκιμών από υλικό που αναμένεται να αποκτηθεί μετά το φρεζάρισμα του οδοστρώματος αφού έχει προστεθεί το κατάλληλο υλικό για την ενίοτε διόρθωση της κοκκομετρικής καμπύλης του μίγματος και διαφορετικές δοσολογίες τσιμέντου. Τα δοκίμια συμπακνώνονται έτσι ώστε να αποκτήσουν την ελάχιστη απαιτούμενη πυκνότητα και να έχουν το ιδανικό ποσοστό υγρασίας σύμφωνα με τη τροποποιημένη δοκιμή Proctor. Στη συνέχεια, σε ηλικία επτά ημερών δοκιμάζονται σε θλίψη μέχρι σημείου θραύσης. Προσδιορίζεται λοιπόν, το ελάχιστο απαιτούμενο ποσοστό τσιμέντου που θα πρέπει να προστεθεί στο φρεζαρισμένο υλικό, ώστε να εξασφαλιστεί η απαιτούμενη αντοχή σε θλίψη με τις εκτιμώμενες αποκλίσεις στο έργο. Αν πρόκειται για ένα πολύ μεγάλο έργο συνιστάται η θραύση δοκιμών που έχουν μεγαλύτερη ηλικία (28 και 90 ημέρες), προκειμένου να γίνει γνωστή η εξέλιξη της αντοχής σε θλίψη και σε έμμεσο εφελκυσμό (διάρρηξη). Επιπλέον, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η γνώση του μέτρου ελαστικότητας των υπό εξέταση δοκιμών. Ο τύπος του τσιμέντου που θα προστεθεί δεν παίζει τόσο σημαντικό ρόλο όσο η δοσολογία του σταθεροποιητικού ή ο επιθυμητός βαθμός συμπύκνωσης^[2]. Είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν οι περισσότεροι τύποι τσιμέντου και έτσι, η επιλογή του τύπου του συνήθως εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα και την τιμή που επικρατεί στην αγορά. Γενικά, πρέπει να γίνεται χρήση μεσαίας ή χαμηλής αντοχής τσιμέντου, δηλαδή 32.5 ή 22.5, έτσι ώστε να διατίθεται μεγαλύτερη περίοδος εργασιμότητας, να ελέγχεται η θερμότητα που εκλύεται λόγω ενυδάτωσης του τσιμέντου και να περιορίζονται οι επιπτώσεις των ρωγματώσεων λόγω συστολής ξηράνσεως. Τσιμέντα μεγαλύτερης τάξης αντοχής, όπως το 42.5, πρέπει να χρησιμοποιούνται σε ειδικές περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα σε μια ανακύκλωση που γίνεται σε πολύ κρύο καιρό. Όταν γίνεται χρήση αυτού του

είδους τσιμέντου, το ποσοστό του σταθεροποιητικού είναι πολύ μικρό της τάξης του 2–2,5% κατά βάρος ξηρών αδρανών, με το οποίο μπορούν να επιτευχθούν οι προδιαγραφόμενες αντοχές. Σημαντικό μειονέκτημα στη χρήση του τσιμέντου αυτού είναι ότι λόγω της μικρής ποσότητας που αναμιγνύεται, δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί η ομοιόμορφη διασπορά του σταθεροποιητικού σε όλη τη μάζα του ανακυκλωμένου υλικού. Το πρόβλημα αυτό εξαλείφεται όταν προστίθεται τσιμέντο τύπου 32.5 ή 22.5. Αυξάνεται όμως το ποσοστό του σταθεροποιητικού σε 3–5%. Επιπλέον, όσο πιο υψηλής αντοχής είναι το τσιμέντο τόσο μικρότερη είναι η περίοδος εργασιμότητας αυτού. Η ταχύτητα των χημικών αντιδράσεων της ενυδάτωσής του αυξάνεται πολύ λόγω της λεπτότητάς του.

6. **η περίοδος εργασιμότητας** του ανακυκλωμένου υλικού σε συνάρτηση με τις κλιματολογικές συνθήκες έτσι ώστε να προσαρμοστεί ο χρόνος της εκτέλεσης της ανάμιξης και της συμπίκνωσης του μίγματος. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι για τον προσδιορισμό της περιόδου εργασιμότητας, η πιο απλή από τις οποίες είναι αυτή που βασίζεται στην παρατήρηση ότι όσο αυξάνεται το χρονικό διάστημα στο οποίο πραγματοποιείται η συμπίκνωση τόσο μειώνεται η αποκτούμενη πυκνότητα του υλικού αυτού. Θεωρείται ότι έχει επιτευχθεί η επιθυμητή χρονική περίοδος εργασιμότητας, όταν η πυκνότητα του υλικού είναι ίση με το 98% της πυκνότητας που έχουν δοκίμια που έχουν κατασκευαστεί αμέσως μετά από τη δημιουργία του μίγματος. Οι δοκιμές για τον καθορισμό της περιόδου εργασιμότητας πρέπει να πραγματοποιηθούν σε μια μέση θερμοκρασία που προβλέπεται να επικρατεί μεταξύ της δωδέκατης και της δέκατης πέμπτης ώρας της διάρκειας εκτέλεσης της ανακύκλωσης. Επιπλέον, είναι πολύ σημαντικό η συμπίκνωση μιας λωρίδας να ολοκληρώνεται πριν ακόμα έχει εξαντληθεί η περίοδος εργασιμότητας της γειτονικής λωρίδας που έχει ήδη συμπτυκνωθεί. Έτσι επιτυγχάνεται η ομαλή ενοποίηση των δύο λωρίδων και οι οδοστρωτήρες κατά τη συμπίκνωση, δε προκαλούν αποκολλήσεις του ανακυκλωμένου υλικού.

Ο τρόπος εργασίας δεν είναι δυνατό να αλλάζει συνεχώς σε ένα έργο και να προσαρμόζεται κάθε φορά ανάλογα με την κοκκομετρία του κάθε τμήματος του έργου. Είναι σωστό να επιλεγεί μια μέση σύνθεση μίγματος και να προσδιοριστούν στη μελέτη οι αποκλίσεις των μηχανικών χαρακτηριστικών

του πραγματικού μίγματος σε σχέση με αυτά του μίγματος μέσης σύνθεσης, όπως ακριβώς αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6
ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΝΟΣ ΥΠΑΡΧΟΝΤΟΣ
ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΕΝ ΨΥΧΡΩ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΜΕ
ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Η διαστασιολόγηση συνίσταται από τον καθορισμό του πάχους ανακύκλωσης και του συνολικού πάχους του ασφαλτομίγματος της επιφάνειας κύλησης, που γενικά πραγματοποιούνται εν θερμώ εκτός και αν ο δρόμος είναι ελαφριάς κυκλοφορίας, οπότε τότε χρησιμοποιούνται ασφαλτομίγματα που πραγματοποιούνται εν ψυχρώ και επεξεργάζεται δύο φορές η επιφάνεια του οδοστρώματος. Η τεχνική της ανακύκλωσης είναι πολύ χρήσιμη όταν το προς αποκατάσταση οδόστρωμα είναι πολύ καταπονημένο και εμφανίζει μεγάλες παραμορφώσεις.

Η διαστασιολόγηση ενός ανακυκλωμένου οδοστρώματος με τσιμέντο πρέπει να αντιμετωπίζεται όπως ακριβώς η διαστασιολόγηση ενός καινούριου οδοστρώματος^[1].

- Γίνεται ένας θεωρητικός υπολογισμός μέσω ενός συστήματος πολλαπλών στρώσεων, αφού έχει εκτιμηθεί το μέτρο ελαστικότητας και ο συντελεστής Poisson τόσο στην ανακυκλωμένη στρώση όσο και στη στρώση έδρασης και στις στρώσεις του υπάρχοντος οδοστρώματος που δε θα ανακυκλωθούν.
- Προσδιορίζεται ο συντελεστής ισοδυναμίας της ανακυκλωμένης στρώσης για να εφαρμοστεί στη συνέχεια κάποια μέθοδος υπολογισμού όπως η AASHTO. (Για παράδειγμα, στην Ιαπωνία προτείνεται ένας συντελεστής ίσος με 0.5 για υλικό ηλικίας 7 ημερών, με αντοχή σε θλίψη περίπου 2.5 MPa).
- Υπάρχουν κάποιοι κατάλογοι μέσω των οποίων διαστασιολογούνται τα οδοστρώματα σε σχέση με την κυκλοφοριακή καταπόνηση που τους επιβάλλεται. Οι κατάλογοι αυτοί βασίζονται σε οδοστρώματα που έχουν ήδη επεξεργαστεί και η χρήση αυτών για τη διαστασιολόγηση ενός ανακυκλωμένου οδοστρώματος δίνει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα. Παραδείγματα διαστασιολόγησης σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο μπορούμε να συναντήσουμε στην Ισπανία, στη Βόρεια Αφρική, στη Νέα Γουινέα και στην Αυστραλία.

Συνιστάται ένα βάθος επεξεργασίας μεταξύ εικοσιπέντε και τριανταπέντε εκατοστών, ανάλογα με την καταπόνηση του οδοστρώματος από βαριά οχήματα. Ελάχιστο βάθος επεξεργασίας είκοσι εκατοστών μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε δρόμους πολύ ελαφριάς κυκλοφορίας. Αν το βάθος επεξεργασίας είναι μικρότερο από 200mm τότε είναι πολύ πιθανό το ανακυκλωμένο οδοστρώμα να υποστεί ζημιές σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα.

Στον πίνακα που ακολουθεί (πίν.6.1), φαίνεται μια αντιστοιχία του προτεινόμενου πάχους ανακυκλωμένου υλικού με αντοχή σε θλίψη 2.5 MPa σε ηλικία 7 ημερών, με τη μέση ημερήσια κυκλοφορία σε βαριά οχήματα, που ισχύει στην Ισπανία^[1].

Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία Βαρέων Οχημάτων (*)	Πάχος Επιτόπου ανακυκλωμένης στρώσης με τσιμέντο (cm)	Πάχος Ασφαλτομίγματος
800 - 2000	35	15
400 - 800	35	12
200 - 400	30	12
100 - 200	25	12
50 - 100	25	10
25 - 50	22	8
12 - 25	20	5
< 12	20	Επιφανειακή επεξεργασία

(*) στη λωρίδα μελέτης και κατά τη διάρκεια του χρόνου που τίθεται το έργο σε λειτουργία

Πίνακας 6.1. Αντιστοιχία απαιτούμενου πάχους ανακυκλωμένης στρώσης και ασφαλιτότητα ανάλογα με την ημερήσια κυκλοφορία των βαρέων οχημάτων.

Αν τα χαρακτηριστικά του υπάρχοντος οδοστρώματος δεν επιτρέπουν την πραγματοποίηση μιας ανακύκλωσης αυτού σε όλο το απαιτούμενο πάχος, μπορούν να ληφθούν τα παρακάτω μέτρα^[2]:

- Προσθήκη νέων κοκκώδων υλικών μέχρι να συμπληρωθεί το απαιτούμενο πάχος της ανακυκλωμένης στρώσης (εικ.6.1)
- Αύξηση του πάχους της στρώσης του ασφαλτομίγματος
- Συνδυασμός των δύο παραπάνω



Εικόνα 6.1. Κοκκώδες υλικό που διαστρώνεται πάνω στην επιφάνεια του υπάρχοντος οδοστρώματος για τη συμπλήρωση του απαιτούμενου πάχους ανακύκλωσης. Άποψη γενική και λεπτομέρεια. .

Σε κάθε περίπτωση, για να πραγματοποιηθεί ένα έργο ανακύκλωσης με τσιμέντο πρέπει να εξασφαλιστεί βάθος επεξεργασίας ίσο ή μεγαλύτερο των 15cm, σε κάθε σημείο του οδοστρώματος.

Ο καθορισμός του τρόπου εργασίας και η διαστασιολόγηση του ανακυκλωμένου οδοστρώματος είναι δύο διαδικασίες οι οποίες θα πρέπει να πραγματοποιηθούν παράλληλα, έτσι ώστε στην πρώτη να λαμβάνεται υπόψη η συμμετοχή των υλικών των ποικίλων στρώσεων που επηρεάζονται από την εφαρμογή της ανακύκλωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΕΡΓΩΝ ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΕΝ ΨΥΧΡΩ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ

7.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η επιτόπου ανακύκλωση οδοστρωμάτων είναι μία τεχνική στην οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια ποικιλία μηχανικού εξοπλισμού. Σε κάθε στάδιο χρησιμοποιείται διαφορετικός τύπος μηχανής. Πολλές από αυτές είναι συνηθισμένες απλές μηχανές που χρησιμοποιούνται σε οδικά έργα. Μηχανές γεωργικού τύπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο σε περιπτώσεις που το έργο είναι πολύ μικρής σημασίας γιατί οι δυνατότητες τους είναι ελάχιστες, η ποιότητα ανάμιξης είναι πολύ χαμηλή και το πάχος επεξεργασίας του οδοστρώματος πολύ μικρό. Για την εκτέλεση του έργου της επιτόπου, εν ψυχρώ ανακύκλωσης με τσιμέντο γίνεται χρήση διαφόρων μηχανών, η κάθε μια από τις οποίες επηρεάζει την τελική ποιότητα του ανακυκλωμένου υλικού. Οι πιο σημαντικές μηχανές είναι^[2,3]:

- Διανεμητήρας του σταθεροποιητικού υλικού
- Ανακυκλωτήρας
- Μηχανικός εξοπλισμός για την πραγματοποίηση των αρμών όταν το ανακυκλωμένο υλικό είναι ακόμα φρέσκο
- Οδοστρωτήρας

7.2 ΔΙΑΝΕΜΗΤΗΡΕΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

Μόνο σε έργα πολύ μικρής σημασίας, η διανομή του σταθεροποιητικού υλικού επιτρέπεται να γίνει από τους εργάτες. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις η διανομή του σταθεροποιητικού υλικού πραγματοποιείται μηχανοποιημένη μέσω δύο τύπων μηχανών:

- αυτών που διανέμουν το σταθεροποιητικό σε μορφή σκόνης (εικ.7.1) - Συνήθως αποτελούνται από φορτηγά - σιλό που φέρουν στο πίσω μέρος τους μία ηλεκτρονικά ρυθμιζόμενη θύρα διανομής του τσιμέντου. Πρόκειται για ένα περιστροφικό σύστημα διανομής τσιμέντου του οποίου η γωνιακή ταχύτητα είναι άμεσα εξαρτώμενη από την ταχύτητα του οχήματος.

του συστήματος διανομής έτσι ώστε για κάθε τετραγωνικό μέτρο να διανέμεται σταθερή και συγκεκριμένη ποσότητα τσιμέντου. Οι μηχανισμοί δοσολογίας μπορεί να είναι σταθμιστικού ή ογκομετρικού τύπου (ο τελευταίος δεν συνίστανται λόγω μεγάλων ανακρίβειών). Γενικά πρέπει να προστατεύεται η θύρα, από την οποία ελευθερώνεται το τσιμέντο, με κάποιο κάλυμμα έτσι ώστε να αποφεύγεται η διάχυση της σκόνης στο περιβάλλον (εικ.7.2).

- αυτών που το διανέμουν σε μορφή γαλακτώματος (εικ.7.3) – Συνήθως αποτελούνται από ένα τμήμα αποθήκευσης του τσιμέντου, μια δεξαμενή νερού, έναν αναμικτήρα (Σχ. 7.1), μία αντλία που προωθεί το γαλάκτωμα μέχρι την μηχανή φρεζαρίσματος του ανακυκλωτήρα και τον κατάλληλο ηλεκτρονικό εξοπλισμό που βοηθά για τον καθορισμό της ακριβούς δοσολογίας του γαλακτώματος σε σχέση με το βάρος του επεξεργασμένου υλικού (πάντα σύμφωνα με την ταχύτητα του μπροστινού οχήματος, την πυκνότητα του υλικού, τη δοσολογία του τσιμέντου και το βάθος επεξεργασίας). Έχει προβλεφθεί επιπλέον ένας δεύτερος μηχανισμός παροχής νερού που βρίσκεται στον ανακυκλωτήρα, για να προστίθεται η απαιτούμενη ποσότητα νερού σε περίπτωση έλλειψης υγρασίας του υλικού. Προφανώς, χρησιμοποιώντας αυτό το τύπο της μηχανής αποφεύγονται οι απώλειες του σταθεροποιητικού υλικού λόγω του αέρα και αποτελεί μια λύση που σέβεται σε μεγάλο βαθμό το περιβάλλον. Επίσης, ο καθορισμός της δοσολογίας του τσιμέντου γίνεται με πολύ μεγάλη ακρίβεια και εξοικονομείται ο χρόνος που απαιτείται για τη διάστρωση του τσιμέντου. Θα πρέπει όμως, να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή όταν η υγρασία του προς ανακύκλωση υλικού είναι μεγαλύτερη από την ιδανική υγρασία συμύκνωσης, οπότε η προσθήκη γαλακτώματος μπορεί να βλάψει το υλικό. Σε αυτή την περίπτωση το υλικό θα πρέπει να αεριστεί έτσι ώστε με την εξάτμιση του νερού να μειωθεί η υγρασία του.

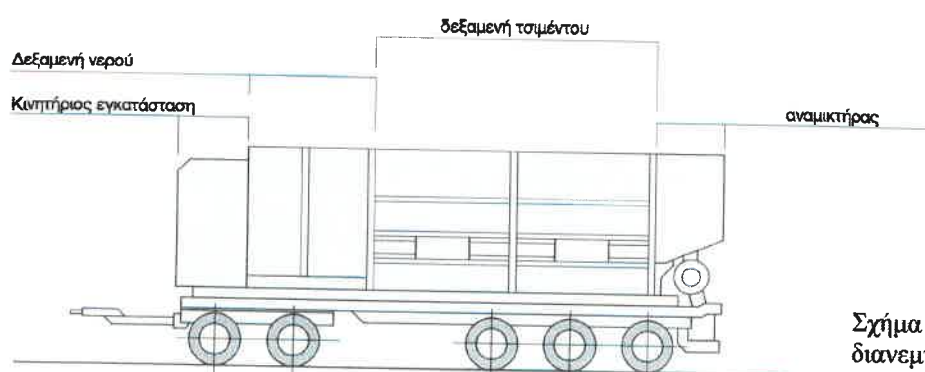


Εικόνα 7.1. Μηχανή
διανομής του τσιμέντου σε
μορφή σκόνης



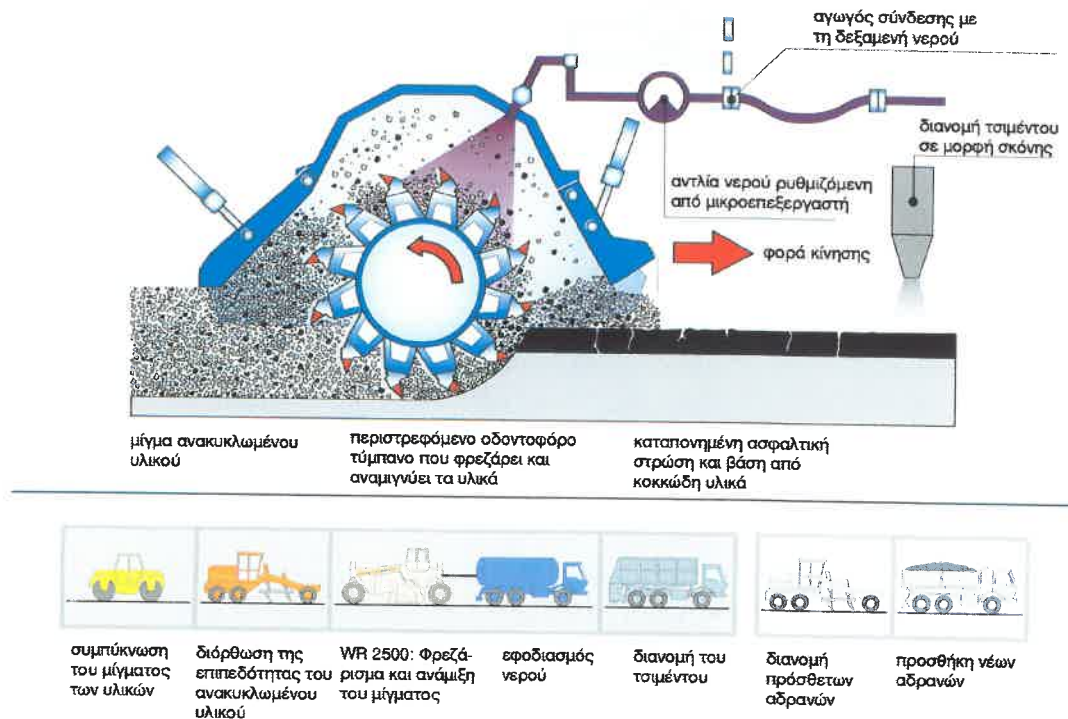
Εικόνα 7.2. Διάχυση της
σκόνης τσιμέντου στο
περιβάλλον.

Εικόνα 7.3. Μηχανή διανομής
του τσιμέντου σε μορφή
γαλακτώματος αποφεύγοντας
τη διάχυση σκόνης τσιμέντου
στο περιβάλλον

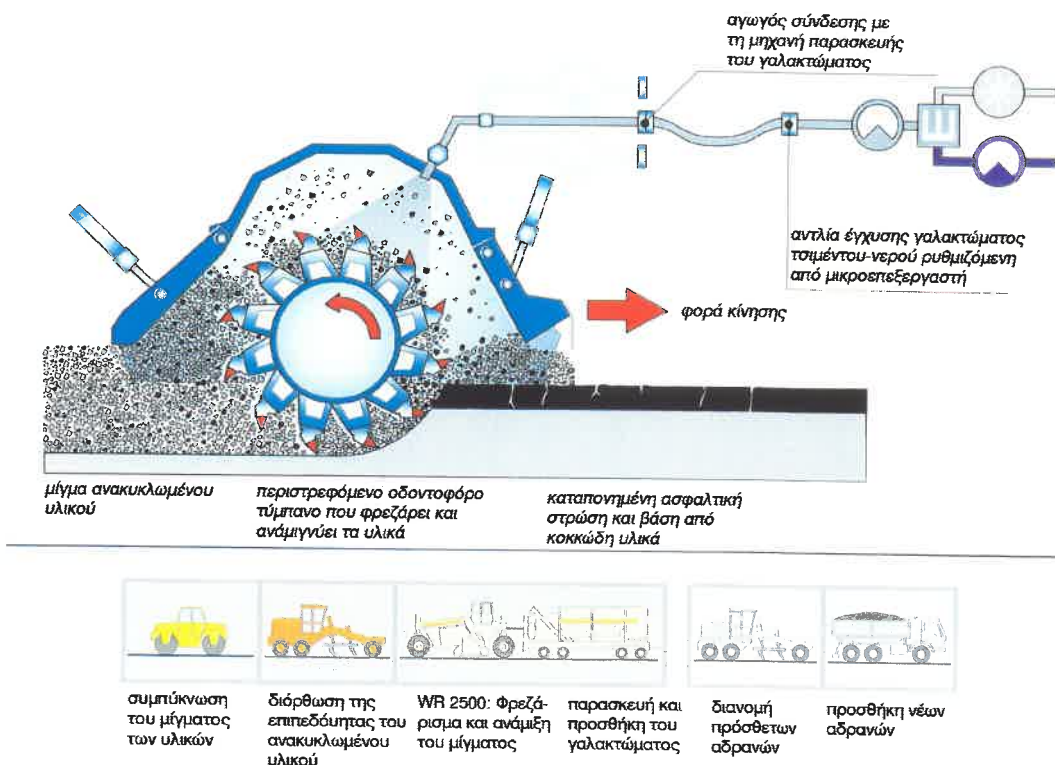


Σχήμα 7.1. Τμήματα του
διανεμητήρα του
σταθεροποιητικού υλικού

Περίπτωση 1: Διανομή του τσιμέντου σε μορφή σκόνης πάνω στο οδόστρωμα και προσθήκη της απαιτούμενης δόσης νερού



Περίπτωση 2: Παρασκευή και προσθήκη γαλακτώματος από τσιμέντο και νερό.



Σχήμα 7.2: Δύο περιπτώσεις διανομής του τσιμέντου κατά τη διαδικασία επιτόπου εν ψυχρώ ανακύκλωσης οδοστρωμάτων με τσιμέντο (με μορφή σκόνης και με μορφή γαλακτώματος).

7.3 ΑΝΑΚΥΚΛΩΤΗΡΕΣ

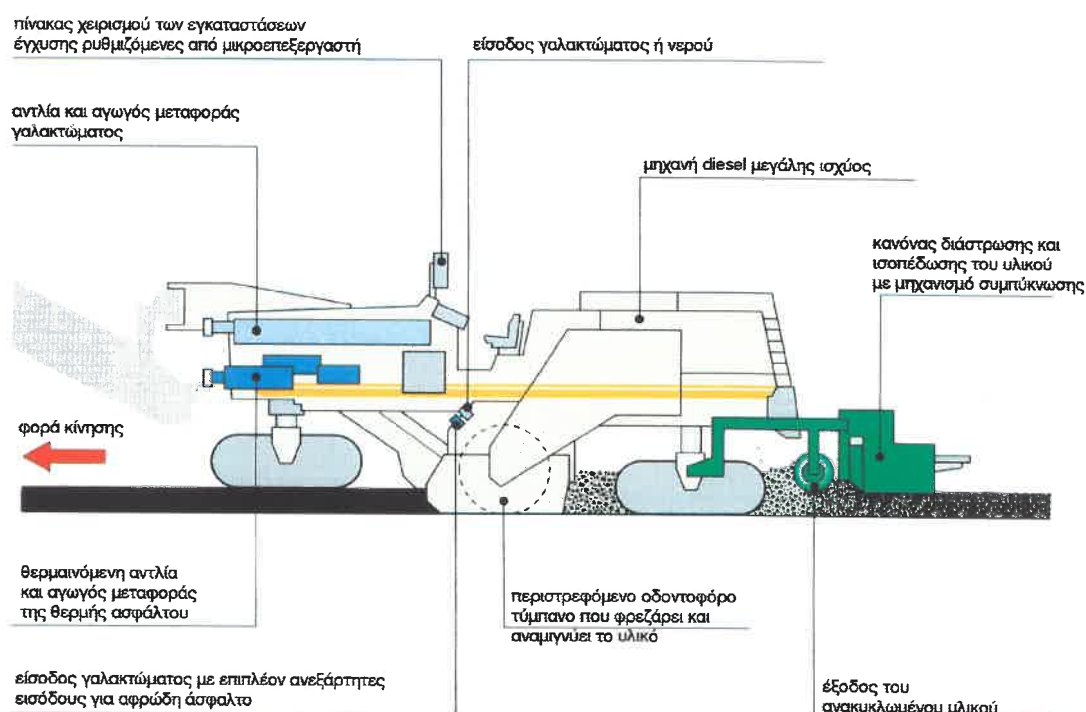
Εκτός από μικρής σημασίας έργα όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν μηχανές αγροτικού τύπου, σε κάθε άλλη περίπτωση και για οποιαδήποτε κυκλοφοριακή ένταση, ανεξαρτήτως των υλικών του προς ανακύκλωση οδοστρώματος η εκτέλεση του έργου μπορεί να γίνει με χρήση σύγχρονων μηχανημάτων. Το κυρίως εξάρτημα των σύγχρονων ανακυκλωτήρων αποτελεί ένα περιστρεφόμενο οδοντοφόρο τύμπανο, το οποίο αποσυνθέτει το οδόστρωμα και πραγματοποιεί την ανάμιξη των υλικών με το τσιμέντο και το νερό (εικ.5). Μερικοί από τους κυριότερους τύπους των σύγχρονων αυτών μηχανών είναι οι ακόλουθοι:

- Μηχανές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για τη σταθεροποίηση εδαφών όσο και για την ανακύκλωση οδοστρωμάτων, με κάποια τροποποίηση του τύμπανου. Το περιστρεφόμενο, οδοντοφόρο τύμπανο βρίσκεται κάτω από ένα προστατευτικό κάλυμμα τοποθετημένο συνήθως στο κεντρικό μέρος του ανακυκλωτήρα (εικ. 7.4). Στη θήκη αυτή προβλέπεται η ύπαρξη ενός διπλού συστήματος ακροφυσίων για την είσοδο υγρών (π.χ. νερό και γαλάκτωμα, σε περίπτωση που γίνεται μια ανακύκλωση μικτή με τσιμέντο και γαλάκτωμα). Τα δόντια εκσκαφής κατασκευάζονται σε μορφή πείρου, για να διευκολύνεται η διαδικασία της ανάμιξης. Η γκάμα των μηχανών αυτού του τύπου είναι πολύ μεγάλη, με δυνατότητες που φτάνουν από 300HP μέχρι 1200HP, πλάτος εργασίας από 2 έως 3,8m και βάθη ανακύκλωσης μέχρι και 40 cm.^[3]
- Ανακυκλωτήρες που προέρχονται από μηχανές φρεζαρίσματος οδοστρωμάτων, με τη διαφορά ότι εκτός από το φρεζάρισμα πραγματοποιούν και την ανάμιξη του φρεζαρισμένου υλικού με τσιμέντο και νερό (εικ.7.5). Το περιστρεφόμενο τύμπανο βρίσκεται σε ένα θάλαμο ανάμιξης τοποθετημένο στο κεντρικό τμήμα του μηχανήματος όπου έχει προβλεφθεί η ύπαρξη δύο εγχυτήρων, για την είσοδο των υγρών. Τα δόντια εκσκαφής κατασκευάζονται έτσι ώστε να ακολουθούν μια ελικοειδή τροχιά με σκοπό την όσο το δυνατόν καλύτερη ανάμιξη του μίγματος. Στο πίσω μέρος της μηχανής μια έξοδος, προσαρμοσμένη στο κατάλληλο ύψος, διανέμει το μίγμα μπροστά από έναν οριζόντιο κανόνα, που δονείται παρέχοντας μια προκαταρκτική συμπίκνωση στο υλικό. Για την ανακύκλωση με τσιμέντο διατίθενται μηχανές με ισχύ της τάξης των 600HP, πλάτους φρεζαρίσματος των 2 m και μέγιστα βάθη ανακύκλωσης των 40cm.

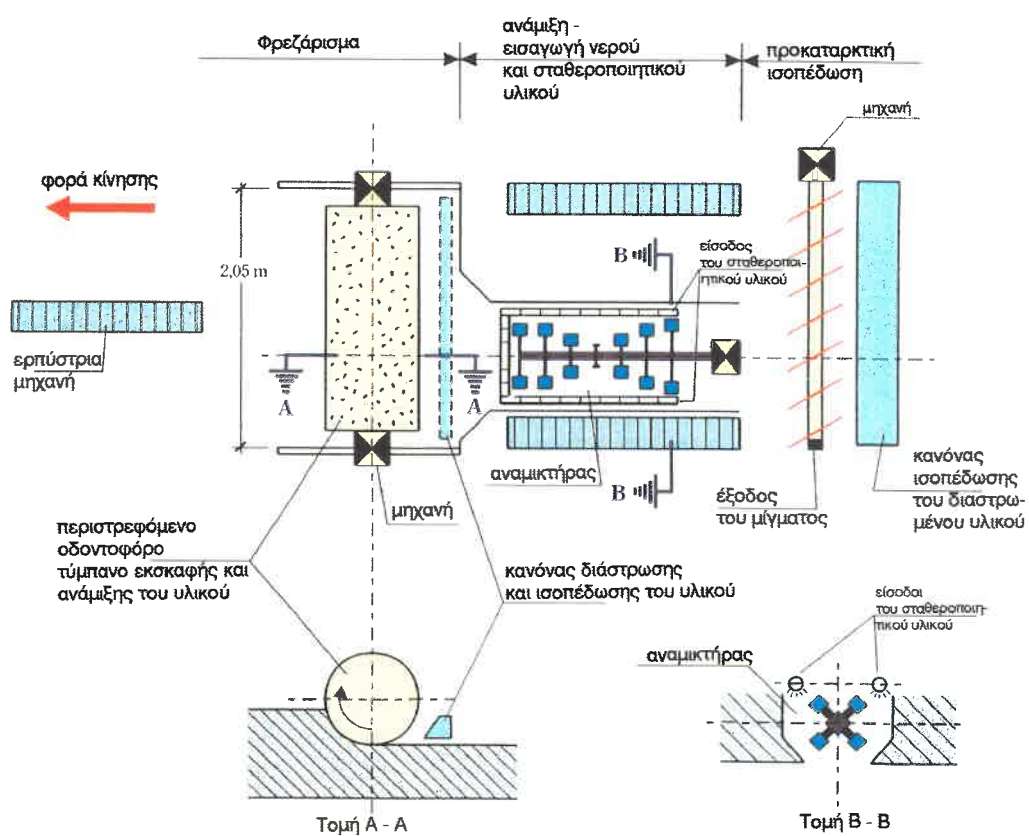


Εικόνα 7.4: Δύο τύποι ανακυκλωτήρων (Wirtgen, Caterpillar), προερχόμενοι από μηχανές σταθεροποίησης εδαφών και λεπτομέρειές τους.

- Στις προαναφερθείσες μηχανές, το περιστρεφόμενο, οδοντοφόρο τύμπανο πραγματοποιεί την αποσύνθεση και την ανάμιξη του υλικού. Αντιθέτως, ένα μηχάνημα που έχει κατασκευαστεί ειδικά για έργα ανακύκλωσης οδοστρωμάτων (το γαλλικό μηχάνημα ARC700 – Εικ. 7.6) πραγματοποιεί ξεχωριστά τη διαδικασία του φρεζαρίσματος του οδοστρώματος και την ανάμιξη του με το νερό και το τσιμέντο. Το φρεζάρισμα γίνεται μέσω ενός περιστρεφόμενου τύμπανου με δόντια εκσκαφής από ένα ειδικό κατεργασμένο μέταλλο μεγάλης αντοχής (widia), ενώ η ανάμιξη γίνεται μέσω ενός κατά μήκος άξονα με εξοχές μορφής μυστριού. Το τελικό υλικό διαστρώνεται από μία έξοδο που βρίσκεται στο πίσω μέρος της μηχανής. Το πλάτος εργασίας είναι της τάξης των 2 m, η ισχύς της μηχανής των 750 HP και μπορεί να επιτευχθεί ένα μέγιστο βάθος ανακύκλωσης 33 cm.
- Υπάρχουν επίσης ανακυκλωτήρες που εκτός από το περιστρεφόμενο, οδοντοφόρο τύμπανο, φέρουν ενσωματωμένα και μια μηχανή που θλίβει επιπλέον τα φρεζαρισμένα υλικά και τα κάνει να έχουν μέγιστο μέγεθος λιγότερο από 50mm.
- Για έργα στα οποία απαιτείται μεγάλη αποδοτικότητα των μηχανών, έχουν κατασκευαστεί άλλες μηχανές που αποτελούνται από ένα θάλαμο ανάμειξης του υλικού και μία μηχανή φρεζαρίσματος που μπορεί να ανεβοκατεβαίνει μέχρι το απαιτούμενο βάθος. Αυτές οι μηχανές, με ένα πλάτος εργασίας μεταξύ 3 και 4,75 m προβλέπεται να φέρουν και μία δεξαμενή νερού (ή γαλακτώματος σε περίπτωση που έχουμε μικτή ανακύκλωση). Μερικοί ανακυκλωτήρες έχουν και μηχανή θρυμματισμού των αδρανών στοιχείων έτσι ώστε να καθορίζεται το μέγεθος του μέγιστου αδρανούς του μίγματος. Από τη στιγμή που έχει ολοκληρωθεί η ανάμιξη το υλικό που προκύπτει διανέμεται μέσω μιας εξόδου που βρίσκεται στο πίσω μέρος του ανακυκλωτήρα και ακολουθεί στη συνέχεια συμπίκνωση μέσω ενός κανόνα. Υπάρχουν άλλες περιπτώσεις στις οποίες ξεφορτώνεται μία ταινία που τροφοδοτεί μια μηχανή διάστρησης ασφαλτομίγματος.



Εικόνα 7.5: Ανακυκλωτήρας Wirtgen 2200 CR



Εικόνα 7.6: Γαλλική μηχανή επιτόπου ανακύκλωσης οδοστρωμάτων ARC 700

Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις ανακυκλωτήρων τα δόντια εκσκαφής είναι εξαρτήματα που υπόκεινται μεγάλη φθορά και θεωρείται απαραίτητη η αντικατάστασή τους είτε όλων είτε ενός μεγάλου ποσοστού αυτών κατά τη διάρκεια μιας ημέρας εργασίας. Όπως είναι λογικό το πόσο εύκολα φθείρονται τα δόντια εκσκαφής εξαρτάται από τη δυσκολία φρεζαρίσματος του οδοστρώματος, δηλαδή από τη σκληρότητα και την κοκκομετρία του υλικού.

7.4 ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΑΡΜΩΝ ΣΕ ΝΩΠΟ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΟ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ

Όπως ακριβώς και στην περίπτωση ενός ημιάκαμπτου οδοστρώματος, έτσι και σε ένα ανακυκλωμένο οδόστρωμα θα πρέπει να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα έτσι ώστε να αποφευχθεί η εμφάνιση ρωγμών συστολής στην επιφάνεια κυκλοφορίας. Για αυτό, η πιο αποδοτική μέθοδος είναι η δημιουργία αρμών σε μικρές αποστάσεις μεταξύ τους (1,5 έως 3,5m), όταν το υλικό είναι ακόμα νωπό.

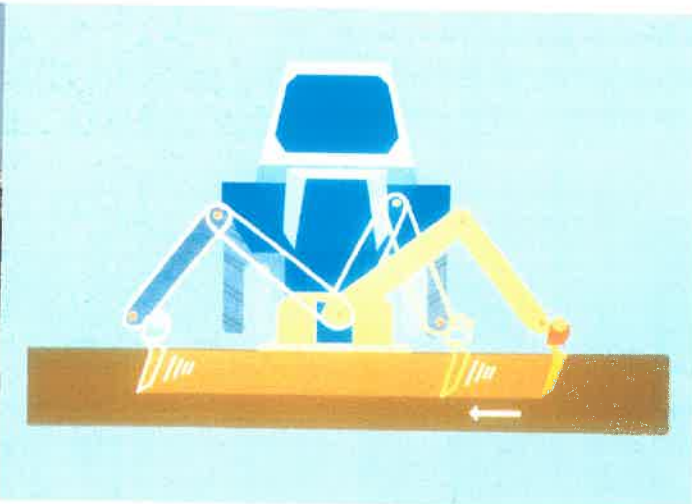
Υπάρχουν πολλές δυνατότητες για τη πραγματοποίηση των αρμών αυτών ανάλογα με το βάθος τους.

- της τάξης του ενός τρίτου του πάχους της ανακυκλωμένης στρώσης
 - δονούμενος δίσκος με μία τριγωνική εγκοπή κολλημένη στο εσωτερικό του μέρους
 - δονητικό οδοστρωτήρα με μια δακτυλιοειδή εγκοπή (ξυράφι).
- σε όλο το πάχος της ανακυκλωμένης στρώσης
 - με μία επάλειψη από γαλάκτωμα (CRAFT) (εικ.7.7)
 - με τοποθέτηση μίας πλαστικής ταινίας μέσα στον αρμό (μηχανή Olivia)
 - με τοποθέτηση μιας λωρίδας πλαστικού (ενεργοί αρμοί)

Στην πρώτη κατηγορία μηχανών η μετακίνηση γίνεται με ανθρώπινη παρέμβαση ενώ στη δεύτερη κατηγορία συνήθως γίνεται αυτόματα.

7.5 ΟΔΟΣΤΡΩΤΗΡΕΣ

Αν και οι οδοστρωτήρες είναι μηχανήματα που χρησιμοποιούνται στην πλειονοψηφία των έργων των οδοστρωμάτων, στην περίπτωση των ανακυκλωμένων οδοστρωμάτων



Εικόνα 7.7: Μηχανή χάραξης αρμών - CRAFT.



Εικόνα 7.8: Δύο τύποι οδοστρωτήρων.
Κάτω: Ελαστικοφόρος
Πάνω: Δονητικός με λείους τροχούς.

με τσιμέντο παίζουν πλέον σημαντικό ρόλο. Η απόκτηση της απαιτούμενης πυκνότητας του ανακυκλωμένου υλικού οφείλεται σε πολύ μεγάλο βαθμό σε αυτούς. Επιπλέον, προκειμένου να επιτευχθεί μια ικανοποιητική αντοχή σε κόπωση του ανακυκλωμένου οδοστρώματος επιβάλλεται να γίνει μια σωστή συμπίκνωση του υλικού. Για το λόγο αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα μηχανήματα συμπίκνωσης όπως ελαστικοφόροι οδοστρωτήρες, δονητικοί οδοστρωτήρες και άλλοι που αποτελούν συνδυασμό των δύο παραπάνω.

Οι επίπεδοι δονητικοί οδοστρωτήρες (εικ.7.8) είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται ευρέως λόγω της μεγάλης τους προσαρμοστικότητας και αποτελεσματικότητάς τους. Η δόνηση προέρχεται από την περιστροφή των μεταλλικών μαζών που φέρουν. Ανάλογα με το βάρος και την εκκεντρότητά του επιτυγχάνονται διάφορες συχνότητες (600 – 4500 στροφές ανά μέτρο). Όσο αυξάνεται η συχνότητα περιστροφής της μάζας τόσο πιο ισχυρή είναι η συμπίκνωση.

Μία πολύ σημαντική παράμετρος για την αποτελεσματικότητα της συμπίκνωσης είναι το στατικό βάρος ανά μονάδα μήκους του οδοστρωτήρα, το οποίο εξαρτάται από το πάχος της ανακυκλωμένης στρώσης. Σύμφωνα με αυτό μπορούν να διακριθούν τρεις τύποι επίπεδων δονητικών οδοστρωτήρων, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (πίν.7.1):

Τύπος δονητικού οδοστρωτήρα	Στατικό φορτίο ανά μονάδα μήκους (N/cm)	Καταλληλότερο πάχος στρώσης (cm)
Ελαφριοί	100 - 250	10 - 15
Μέσοι	250 - 350	15 - 25
Βαριοί	350 - 550	25 - 40

Πίνακας 7.1: Κατηγορίες οδοστρωτήρων

Όσο πιο καθαρό και χωρίς πλαστικά λεπτά υλικά είναι το ανακυκλωμένο υλικό τόσο πιο αποτελεσματική είναι η δόνηση και το πάχος της στρώσης μπορεί να λάβει τη μέγιστη τιμή από τις προαναφερθείσες. Γενικότερα, δεδομένου ότι η συμπίκνωση μιας ανακυκλωμένης στρώσης είναι πολύ δύσκολη, συνήθως χρησιμοποιούνται οδοστρωτήρες με στατικό φορτίο κατώτερο των 300N/cm.

Πολύ συχνά με τη χρήση επίπεδων δονητικών οδοστρωτήρων με λείους τροχούς προκαλείται μια αποκόλληση του ανώτερου μέρους της επιφάνειας, η οποία φαίνεται από τη δημιουργία λεπτών ρωγμών στην οριζόντια έννοια, που παίρνει τη μορφή φύλλων. Η πιο αποτελεσματική μέθοδος για τη διόρθωση αυτού είναι η χρήση ελαστικοφόρων οδοστρωτήρων οι οποίοι μπορεί να είναι είτε ρυμουλκούμενοι είτε αυτοπροωθούμενοι. Οι ρυμουλκούμενοι συνήθως είναι μεγάλου βάρους (30 – 100 t), με μία ή δύο σειρές ελαστικών και παρουσιάζουν δυσκολίες να πραγματοποιήσουν ελιγμούς. Αντιθέτως οι αυτοπροωθούμενοι μπορούν να ελιχθούν πολύ εύκολα και για αυτό χρησιμοποιούνται ευρέως σε κάθε τύπο οδικών έργων. Το βάρος τους κυμαίνεται μεταξύ 10 και 40 τόνων και τα ελαστικά διατάσσονται έτσι ώστε να καλύπτουν όλο το προς συμπίκνωση πλάτος.

Όσον αφορά στην κατά βάθος συμπίκνωση, ο πιο σημαντικός παράγοντας είναι το φορτίο που φέρει η κάθε ρόδα. Σε συνάρτηση με αυτό οι ελαστικοφόροι οδοστρωτήρες μπορεί να κατηγοριοποιηθούν, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (πίν.7.2):

Ελαστικοφόροι οδοστρωτήρες	Βάρος (t/τροχό)
Ελαφριοί	< 3
Μέσοι	3 - 6
Βαριοί	> 6

Πίνακας 7.2: Κατηγορίες ελαστικοφόρων οδοστρωτήρων

Ο τρόπος εργασίας των ελαστικοφόρων οδοστρωτήρων είναι η εφαρμογή κάθετης πίεσης μέσω των ελαστικών που προκαλεί την εισαγωγή των λεπτών αδρανών μέσα στα κενά. Στα έργα ανακύκλωσης οδοστρωμάτων μπορεί να χρησιμοποιούνται οδοστρωτήρες ελαστικοφόροι που φέρουν σε κάθε ρόδα φορτίο όχι μικρότερο των 3 t και πίεση ελαστικών όχι μικρότερη των 0,7 MPa.

Σε κάθε περίπτωση πρέπει να επαληθεύεται η επιλογή των μέσων συμπίκνωσης μέσω της κατασκευής ενός μικρού δοκιμαστικού τμήματος δρόμου, έτσι ώστε να καθοριστεί ο τρόπος συμπίκνωσης και ο αριθμός των περασμάτων που πρέπει να κάνουν τα μηχανήματα. Επιπλέον, μέσω της κατασκευής δοκιμαστικών τμημάτων μπορεί να φανερωθεί η περιεκτικότητα σε του υλικού σε νερό και να αναλυθεί αν χρειάζεται η προσθήκη κάποιου επιβραδυντικού στερεοποίησης του τσιμέντου, κ.α.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

8.1. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Η εκτέλεση του έργου^[2] μιας επιτόπου, εν ψυχρώ ανακύκλωσης οδοστρώματος με τσιμέντο πραγματοποιείται μέσω της ακόλουθης διαδικασίας:

- προετοιμασία της υπάρχουσας επιφάνειας (η επιφάνεια σκουπίζεται και καθαρίζεται έτσι ώστε να εξαλειφθούν οποιαδήποτε υλικά που μπορεί να βλάψουν τη διαδικασία ενυδάτωσης του τσιμέντου, όπως η άργιλος ή άλλες οργανικές ύλες).
- διόρθωση της κοκκομετρικής καμπύλης του υπάρχοντος υλικού του οδοστρώματος. Ανάλογα με την περίπτωση, είτε προστίθενται νέα αδρανή είτε γίνεται διαχωρισμός των χονδρών αδρανών και επιπλέον θραύση ή αφαίρεσή τους.
- Διάστρωση του σταθεροποιητικού υλικού
- Φρεζάρισμα του υπάρχοντος οδοστρώματος μέχρι το απαιτούμενο βάθος.
- Ύγρανση
- Ανάμιξη
- Εκτέλεση των αρμών (προκαταρκτική)
- Αρχική συμπίκνωση
- Διαμόρφωση κλίσεων και επικλίσεων
- Τελική συμπίκνωση
- Επάλειψη της τελικής ανακυκλωμένης επιφάνειας με ένα γαλάκτωμα συντήρησης ή προστατευτική επάλειψη των ανωτέρων στρώσεων του ασφαλτομίγματος.

Ανάλογα με τον διατιθέμενο μηχανικό εξοπλισμό του έργου, πολλές από τις παραπάνω ενέργειες μπορεί να γίνουν ταυτόχρονα ή να αλληλοεπικαλυφθούν.

Σε περίπτωση που εκτός από την ανακύκλωση του οδοστρώματος σχεδιάζεται και η διαπλάτυνσή του, πρέπει κατά μήκος της μίας ή και των δύο πλευρών του δρόμου (όπου επιθυμείται η διαπλάτυνση), αρχικά να γίνει εκσκαφή μέχρι το κατάλληλο βάθος, δημιουργώντας μία τάφρο. Στο σημείο όπου διαχωρίζεται το υπάρχον οδόστρωμα από τη διαπλάτυνση, η τομή της στρώσης κυκλοφορίας του

οδοστρώματος, πρέπει να γίνει κάθετα.. Επιπλέον, πρέπει να επιτευχθεί ο βέλτιστος σχηματισμός ζωνών (λωρίδων εργασίας) που θα διευκολύνει την πραγματοποίηση του έργου. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στην εξάλειψη βλαβερών στοιχείων από τις ζώνες εργασίας, όπως έχει προαναφερθεί, έτσι ώστε να αποφευχθεί η καθυστέρηση ή η διακοπή της ενυδάτωσης του τσιμέντου. Η παραπάνω τάφρος συμπυκνώνεται προσεκτικά και έπειτα, επανατοποθετούνται σε αυτή κοκκώδη υλικά με τέτοια χαρακτηριστικά, ώστε κατά μήκος μιας εγκάρσιας τομής, η στρώση που θα δημιουργηθεί μετά την ανακύκλωση να είναι όσο το δυνατό πιο ομοιογενής (με προσθήκη του ίδιου ποσοστού τσιμέντου σε όλες τις ζώνες, συμπεριλαμβανομένων και των ζωνών διαπλάτυνσης του οδοστρώματος). Σε περίπτωση που αυτό δεν είναι οικονομικά εφικτό θα πρέπει να εξεταστεί η περίπτωση να γίνουν οι διαπλάτυνσεις με εδαφικό υλικό επεξεργασμένο με τσιμέντο και παρασκευασμένο σε κεντρική εγκατάσταση.

Αν η υγρασία του προς ανακύκλωση υλικού είναι αυξημένη αρχικά, απαιτείται να γίνει ανακύκλωση με άσβεστο και έπειτα να πραγματοποιηθεί συμπύκνωση και ισοπέδωση του εδάφους. Με μια διαφορά φάσης διάρκειας μιας μέρας και έχοντας εξασφαλίσει ότι η υγρασία του υλικού είναι πια η κατάλληλη, συνεχίζεται η ανακύκλωση του δρόμου με τσιμέντο.

8.1.1. ΔΙΑΣΤΡΩΣΗ ΤΟΥ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

Ανάλογα με τον τρόπο που θα γίνει η εκτέλεση του έργου, το τσιμέντο θα προστεθεί είτε πριν είτε μετά το φρεζάρισμα του παλιού οδοστρώματος. Αν ο ανακυκλωτήρας πραγματοποιεί ταυτόχρονα την αναμόχλευση/θρυμματισμό και την ανάμιξη του υλικού, τότε το τσιμέντο θα πρέπει να διαστρωθεί εκ των προτέρων στο οδόστρωμα ή να προστεθεί σε μορφή γαλακτώματος στο φρεζαρισμένο υλικό. Πολύ συχνά χρησιμοποιούνται διανεμητήρες τσιμέντου. Η διάστρωσή του με τα χέρια είναι αποδεκτή μόνο σε έργα μικρής σημασίας, με χαμηλό κυκλοφοριακό φόρτο.

Σε περίπτωση που χρησιμοποιηθούν μηχανήματα δοσομέτρησης τσιμέντου σε μορφή σκόνης είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί μηχανικός εξοπλισμός σταθμιστικού τύπου, τέτοιος ώστε ανάλογα με την ταχύτητα του ανακυκλωτήρα, το τσιμέντο να εισέρχεται ελεγχόμενα στο φρεζαρισμένο υλικό. Προκειμένου να

αποφευχθούν δυσκολίες στην εκτέλεση του έργου λόγω ανέμου και να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες του τσιμέντου που προκαλούνται από αυτόν, οι διαδικασίες διάστρωσης του τσιμέντου και εκσκαφής του οδοστρώματος συγχρονίζονται. Το μήκος στο οποίο διαστρώνεται το τσιμέντο μπροστά από τον ανακυκλωτήρα είναι όσο το δυνατό μικρότερο. Για το λόγο αυτό, υπάρχουν μηχανές ανακύκλωσης που φέρουν στο μπροστινό τους μέρος ενσωματωμένο ένα δοχείο με σταθεροποιητικό υλικό το οποίο διαστρώνουν αμέσως πριν την εκσκαφή. Το πρόβλημα αυτό βέβαια, λύνεται με τη χρήση μηχανικού εξοπλισμού που προσθέτει το τσιμέντο σε μορφή γαλακτώματος στο φρεζαρισμένο υλικό. Οι μηχανές αυτές έχουν μεγάλη χωρητικότητα (Wirtgen WM 1000) και φτάνουν να παρέχουν δόσεις της τάξης των 1000 l/min, επιτυγχάνοντας υψηλή αποδοτικότητα σε έργα μεγάλου όγκου ή όπου το ποσοστό συμμετοχής του τσιμέντου είναι υψηλό. Επομένως, γίνεται εξοικονόμηση του ενεργού χρόνου ανακύκλωσης, εφόσον ο χρόνος εφοδιασμού του τσιμέντου μειώνεται αισθητά: η εκφόρτωση ενός σιλό τσιμέντου μπορεί να διαρκέσει περίπου μισή ώρα, το οποίο σημαίνει ότι μπορεί να χρειαστεί να διακοπεί η διαδικασία της ανακύκλωσης για δύο ή τρεις ώρες ημερησίως (6 βαρέλια τσιμέντου των 20 τόνων).

8.1.2. ΕΚΣΚΑΦΗ ΚΑΙ ΑΝΑΜΙΞΗ

Η μηχανή ανακύκλωσης που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να έχει την απαιτούμενη ισχύ για την όσο το δυνατό καλύτερη ομοιογενοποίηση του ανακυκλωμένου υλικού και την εξασφάλιση ενός ενιαίου βάθους ανακύκλωσης. Επίσης, τα μηχανήματα πρέπει να κινούνται με αρκετά αργή και σταθερή ταχύτητα, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η επιθυμητή ομοιογένεια του υλικού χωρίς να μειώνεται η αποδοτικότητα των μηχανών. Το πιο σύνηθες είναι η ανακύκλωση να πραγματοποιείται σε λωρίδες. Για να γίνει η σωστή ανάμιξη των υλικών στα άκρα τους πρέπει να αλληλοεπικαλύπτονται επαρκώς (σε πλάτος της τάξης των 20 cm).

Ένας παράγοντας που παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στα έργα ανακύκλωσης οδοστρωμάτων είναι η υγρασία. Αν το προς ανακύκλωση υλικό έχει μικρότερη υγρασία από την βέλτιστη υγρασία της τροποποιημένης δοκιμής Proctor, τότε προστίθεται το νερό που υπολείπεται. Αντιθέτως, εάν είναι μεγαλύτερη θα πρέπει να περάσει μία φορά ο ανακυκλωτήρας, κάνοντας εκσκαφή στο οδόστρωμα,

χωρίς όμως να προσθέσει σταθεροποιητικό υλικό, έτσι ώστε το υλικό να αεριοστεί η επιπλέον ποσότητα νερού που περιέχεται να εξατμιστεί με σκοπό να επιτευχθεί η επιθυμητή υγρασία.

Στις πιο συνήθεις, σύγχρονες μηχανές ανακύκλωσης η εκσκαφή και η ανάμιξη του παλιού υλικού με το τσιμέντο και το νερό γίνονται ταυτόχρονα. Όπως, όμως αναφέρθηκε υπάρχουν άλλες μηχανές στις οποίες η εκσκαφή και η ανάμιξη γίνονται σε διαφορετικούς θαλάμους και με τις όποιες μπορεί να διαστρωθεί ένα πλάτος δρόμου της τάξης των 5,75m. Χρησιμοποιώντας αυτές τις μηχανές ο κίνδυνος δημιουργίας ρωγμών ανάμεσα στους αρμούς μειώνεται σημαντικά.

8.1.3. ΧΑΡΑΞΗ ΤΩΝ ΕΓΚΑΡΣΙΩΝ ΑΡΜΩΝ

Τα ανακυκλωμένα οδοστρώματα με τσιμέντο συμπεριφέρονται με παρόμοιο τρόπο με τα ημιάκαμπα. Η προσθήκη τσιμέντου κατά την ανακύκλωση ενός οδοστρώματος γίνεται προκειμένου αυτό να αποκτήσει τουλάχιστον τα χαρακτηριστικά ενός σταθεροποιημένου εδαφικού υλικού με τσιμέντο. Αυτού του τύπου τα υλικά εμφανίζουν μια τυχαία λεπτή ρηγματώση σε κοντινές αποστάσεις μεταξύ τους. Είναι βέβαιο ότι οι ετερογένειες που υπάρχουν στο υπάρχον οδόστρωμα μπορεί να προκαλέσουν σημαντική διασπορά στην τιμή της αντοχής του ανακυκλωμένου οδοστρώματος. Το φαινόμενο αυτό σε συνδυασμό με τα μεγάλα βάθη στα οποία γίνεται η ανακύκλωση και το σχετικά μικρό πάχος του ασφαλτομίγματος, οδηγεί στην εμφάνιση ρωγμών συστολής σε σχετικά μεγάλες αποστάσεις (περίπου 6 m), οι οποίες μετά από ένα χρονικό διάστημα αναδύονται στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Αν και οι ρωγμές αυτές, σε δρόμους δευτερεύοντος δικτύου δεν είναι σημαντικές, σε δρόμους με υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο μπορεί να προκαλέσουν πολύ σημαντικά προβλήματα. Μερικά από αυτά είναι η επιταχυνόμενη κόπωση του οδοστρώματος λόγω ύπαρξης ασυνεχειών που προκαλούνται από τις ρηγματώσεις, καταστροφή των ρηγματώσεων λόγω επαναλαμβανόμενης καταπόνησης από τα διερχόμενα οχήματα και διείσδυση του νερού μέσω των ρωγμών στη στρώση έδρασης. Έτσι λοιπόν θα πρέπει να αποφευχθεί η εμφάνιση ρωγμών στην επιφάνεια κυκλοφορίας, όπως ακριβώς και σε ένα οποιοδήποτε ημιάκαμπα οδόστρωμα που καταπονείται από έντονο κυκλοφοριακό φόρτο.

Για να αντιμετωπιστεί η εμφάνιση ακανόνιστων ρωγμών στο οδόστρωμα, έχουν εξεταστεί διάφορες μέθοδοι. Η εμπειρία δείχνει ότι η πιο αποτελεσματική είναι αυτή κατά την οποία, μειώνονται στο ελάχιστο οι κινήσεις των ρηγματώσεων μέσω τη μείωσης των μεταξύ τους αποστάσεων. Στην πράξη γίνεται μια προρηγμάτωση- κατασκευή αρμών - σε συγκεκριμένες θέσεις και σε προκαθορισμένες αποστάσεις, πριν ακόμα γίνει η συμπύκνωση του ανακυκλωμένου υλικού.

Έχουν ήδη αναφερθεί ποικίλες μέθοδοι με τις οποίες μπορούμε να κατασκευάσουμε αρμούς σε ένα οδόστρωμα, όταν το υλικό είναι ακόμα νωπό. Η μέθοδος κατασκευής των αρμών του οδοστρώματος σε σκληρό υλικό, η οποία παρουσίαζε πολλά μειονεκτήματα εγκαταλείφθηκε. Εξάλλου, θα πρέπει να επισημανθεί ότι απαιτείται ένα χρονικό διάστημα αναμονής, πριν γίνει η χάραξη των αρμών μέχρι το ανακυκλωμένο με τσιμέντο οδόστρωμα να αποκτήσει την ελάχιστη απαιτούμενη αντοχή. Στην περίοδο αυτή, θα πραγματοποιηθεί η ενυδάτωση του τσιμέντου συνοδευόμενη με έκλυση θερμότητας και με αποτέλεσμα τη διαστολή των υλικών και την εμφάνιση ανεξέλεγκτων ρωγμών καταστρέφοντας και τα χείλη των αρμών. Επιπλέον, εξετάζεται το πρόβλημα από οικονομικής άποψης. Η πιο απλή, οικονομική και αποτελεσματική λύση είναι η κατασκευή αρμών κάθε 2,5 με 3 m.

Η λύση της προρηγμάτωσης του οδοστρώματος μέχρι ενός μέρους του πάχους αυτού, μέχρι στιγμής έχει δώσει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα σε στρώσεις κατεργασμένου αμμοχάλικου με τσιμέντο ή σε στρώσεις σκυροδέματος. Βέβαια, πάντα διατηρείται μια αμφιβολία αν τα δύο χείλη του αρμού θα ενωθούν με το πέρασμα του οδοστρωτήρα ή σε περίπτωση που θα ενωθούν αν η εξασθένιση που θα προκληθεί θα είναι αρκετή ώστε να οδηγήσει σε ρηγμάτωση. Για την αποφυγή αυτών των προβλημάτων έχουν αναπτυχθεί μηχανήματα, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να κόβουν όλο το πάχος της επεξεργασμένης στρώσης ενώ ταυτόχρονα να πραγματοποιούν μια ειδική επεξεργασία στον αρμό, έτσι ώστε τα χείλη του να είναι αδύνατο να ξανακολλήσουν (εισαγωγή γαλακτώματος στο άνοιγμα, τοποθέτηση ενός ελάσματος από εύκαμπτο πλαστικό υλικό ή σφήνωμα ενός κυματοειδούς φύλλου από άκαμπτο πλαστικό στο άνοιγμα του αρμού). Σε μία ανακυκλωμένη στρώση είναι πολύ δύσκολό να πραγματοποιηθεί η χάραξη των αρμών μέσω δονούμενων πλακών που κατευθύνονται με τα χέρια. Αντιθέτως,

με τον προαναφερθέντα μηχανικό εξοπλισμό αυτό είναι πολύ εύκολο λόγω των ευρέων δυνατοτήτων του.

Μία από τις κυριότερες μηχανές είναι η μηχανή CRAFT (Creación Automatica de Fisuras Transversales – Αυτόματη Δημιουργία Εγκάρσιων Αρμών) (εικ.8/κεφ.7). Αυτή έχει τη δυνατότητα καθώς χαράσσει τον αρμό να προσθέτει στα χείλη του μία επάλειψη από γαλακτώμα. Η δράση του γαλακτώματος είναι διπλή. Το νερό του γαλακτώματος καθυστερεί την πήξη του τσιμέντου, αυξάνει την αναλογία νερού/τσιμέντου και εξασθενεί τη συγκεκριμένη διατομή προκαλώντας την εμφάνιση ρωγμών στο σημείο αυτό. Επιπλέον, η ασφαλτος δημιουργεί μία ασυνέχεια στη στρώση που επιτρέπει την εμφάνιση ρωγμών, επίσης στο συγκεκριμένο σημείο. Ταυτόχρονα, δημιουργεί ένα είδος προστατευτικής ταινίας που μειώνει την ευαισθησία του οδοστρώματος στο νερό και τη διαβρωσιμότητα. Στη συνέχεια ακολουθεί η συμπύκνωση του οδοστρώματος η οποία αφήνει μία ενιαία τελική επιφάνεια.

Εκτός όμως από τους αρμούς που γίνονται για την αποφυγή των ρωγμών συστολής πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι αρμοί λόγω διακοπής εργασίας, που πρέπει να γίνονται κάθε φορά που η ανακύκλωση διακόπτεται για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο από την περίοδο εργασιμότητας (περίπου 3-4 ώρες). Αυτό συνήθως συμβαίνει στο τέλος κάθε εγκάρσιας διατομής αποτελούμενης από τρεις ή τέσσερις λωρίδες ή στο τέλος κάθε εργάσιμης ημέρας. Στις περιπτώσεις αυτές είναι σκόπιμο να αρχίσει εκ νέου η ανακύκλωση από το ήδη επεξεργασμένο υλικό σχεδόν ένα μέτρο πίσω από τον αρμό εργασίας.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στα σημεία αλληλοεπικάλυψης των λωρίδων ή επανάληψης της διαδικασίας της ανακύκλωσης ένα μέτρο πριν τον αρμό εργασίας. Τα σημεία αυτά θα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα εφόσον έχουν ανακυκλωθεί ουσιαστικά δύο φορές και η περιεκτικότητα του υλικού σε τσιμέντο θα είναι μεγαλύτερη από την απαιτούμενη. Στα σημεία αυτά θα πρέπει να μειωθεί η δόση του τσιμέντου έτσι ώστε ανακυκλώνοντας δύο φορές, στο τελικό ανακυκλωμένο υλικό να υπάρχει το ίδιο ποσοστό τσιμέντου με αυτό που ανακυκλώνεται μία φορά. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί κλείνοντας την είσοδο γαλακτώματος στους μισούς εγχυτήρες του ανακυκλωτήρα.

8.1.4. ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ

Για να αποκτήσει το ανακυκλωμένο υλικό την απαιτούμενη αντοχή και μία ικανοποιητική συμπεριφορά υπό την επίδραση του κυκλοφοριακού φόρτου, θα πρέπει να συμπτυκνωθεί όσο το δυνατό καλύτερα έτσι ώστε να αποκτήσει τη μέγιστη πυκνότητα. Προτείνεται ως επιθυμητή μέση τιμή πυκνότητας ίση με το 100% ή το λιγότερο το 97% της πυκνότητας που προκύπτει από την τροποποιημένη δοκιμή Proctor. Επιπλέον, λαμβανομένου υπόψη ότι το πάχος της ανακυκλωμένης στρώσης με τσιμέντο είναι αρκετά μεγάλο και τα υλικά είναι δύσκολο να συμπτυκνωθούν απαιτείται η χρήση οδοστρωτήρων υψηλών δυνατοτήτων. Γενικά, προτείνεται η συμπίκνωση ενός ανακυκλωμένου οδοστρώματος να γίνεται με συνδυασμό ενός δονητικού οδοστρωτήρα με λείους τροχούς και ενός ελαστικοφόρου οδοστρωτήρα ή εναλλακτικά, ενός συνδυασμού τους. Πολλές φορές βέβαια, σε έργα έχει γίνει χρήση δύο δονητικών οδοστρωτήρων με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Τόσο ο συνδυασμός του είδους των οδοστρωτήρων, που θα χρησιμοποιηθούν για τη συμπίκνωση του οδοστρώματος, όσο και ο αριθμός των περασμάτων που πρέπει να κάνει ο καθένας, θα πρέπει να καθοριστεί μέσω δοκιμών σε ένα δοκιμαστικό οδικό τμήμα.

Η συμπίκνωση του ανακυκλωμένου υλικού πρέπει να πραγματοποιηθεί με την ελάχιστη δυνατή καθυστέρηση μετά από το πέραςμα του ανακυκλωτήρα κυρίως για δύο λόγους:

- Για να μην αφεθούν εκτεθειμένα σε απρόβλεπτες καιρικές συνθήκες τα υλικά που βρίσκονται στην επιφάνεια του οδοστρώματος με αποτέλεσμα την απώλεια υγρασίας. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να υπάρχει στο χώρο εργασίας κάποια υδροφόρα η οποία να αναπληρώνει το νερό που εξατμίζεται στην επιφάνεια του οδοστρώματος.
- Γιατί η περίοδος εργασιμότητας των ανακυκλωμένων υλικών είναι σχετικά μικρή, της τάξης των δύο με τριών ωρών (ανάλογα με τον τύπο του τσιμέντου και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος), εκτός και αν χρησιμοποιούνται επιβραδυντικές ουσίες που καθυστερούν την ενυδάτωση του τσιμέντου. Η χρήση αυτών των ουσιών, όπως και τσιμέντου με πρόσθετα συνιστάται σε

μεγάλο βαθμό. Είναι πολύ σημαντικό δύο λωρίδες που ανακυκλώνονται να ενώνονται καλά μεταξύ τους. Έτσι, θα πρέπει να ολοκληρωθεί η συμπίκνωση δύο γειτονικών λωρίδων μέσα σε χρονικό διάστημα το πολύ ίσο με τη περίοδο εργασιμότητας του υλικού της πρώτης λωρίδας. Θα πρέπει δηλαδή να εξασφαλιστεί ότι το σταθεροποιητικό υλικό της πρώτης λωρίδας δεν έχει αρχίσει να στερεοποιείται πριν το τέλος της συμπίκνωσης και της αμέσως επόμενης λωρίδας.

8.1.5. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΛΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΛΙΣΕΩΝ

Μετά το πέραςμα του ανακυκλωτήρα, ο όγκος των επεξεργασμένων υλικών που αφήνει πίσω του είναι μεγαλύτερος από τον αρχικό. Αυτό οφείλεται τόσο στην προσθήκη του τσιμέντου και του νερού όσο και στην ανακατάταξη των υλικών τα οποία, λόγω της πολύχρονης κυκλοφοριακής κίνησης, ήταν αρχικά πολύ συμπτυκνωμένα. Σε περίπτωση όμως που δεν είναι επιθυμητή η αύξηση του υψομέτρου της ερυθράς, το επιπλέον υλικό μπορεί να αφαιρεθεί μέσω της διαδικασίας διαμόρφωσης κλίσεων και επικλίσεων.

Από πλευράς ομαλότητας, ο ανακυκλωτήρας αφήνει πίσω του μια επιφάνεια αποδεκτή. Θα πρέπει όμως, να λάβουμε υπόψη ότι οποιεσδήποτε επιφανειακές ατέλειες θα καλυφθούν από το ασφαλτόμιγμα που θα διαστρωθεί από πάνω – υλικό πολύ πιο ακριβό. Το πάχος της στρώσης του ασφαλτομίγματος αυξάνεται όσο αυξάνουν οι επιφανειακές ανωμαλίες. Απαιτείται πάντα να υπάρχει ένα ελάχιστο πάχος σε οποιοδήποτε σημείο της στρώσης όπως έχει προβλεφθεί από τη μελέτη. Για το λόγο αυτό είναι σκόπιμο να γίνει η εξομάλυνση του επιπέδου και διαμόρφωση των κλίσεων και επικλίσεων με τη χρήση ενός ισοπεδωτήρα. Αυτός θα περάσει μετά τον ανακυκλωτήρα και μια πρώτη συμπίκνωση από τους οδοστρωτήρες, οπότε το υλικό θα έχει αποκτήσει πυκνότητα ίση με 90 - 92% της πυκνότητας της τροποποιημένης δοκιμής Proctor (υπάρχει περιορισμένο χρονικό περιθώριο εφόσον πρέπει να λαμβάνεται πάντα υπόψη ο χρόνος μέσα στον οποίο το υλικό σταθεροποιείται). Η διαμόρφωση των κλίσεων και επικλίσεων θα πρέπει να γίνει κατά μήκος όλου του πλάτους του δρόμου και δεν πρέπει ποτέ, τα σημεία που έχουν έλλειψη υλικού να «μπαλώνονται» αποσπώντας υλικό από τα σημεία που έχουν περίσσια. Το περίσσειμα του υλικού μετά τη διαδικασία της

διαμόρφωσης των κλίσεων και της ισοπέδωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συμπληρωθεί το υλικό στα ερείσματα.

Από τη στιγμή που έχει τελειώσει η διαδικασία αυτή, γίνεται η συμπύκνωση του υλικού με τους οδοστρωτήρες μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή πυκνότητα. Η επιφάνεια όμως που έχει ήδη διορθωθεί, είναι πλέον πολύ ομαλή και οι παραμορφώσεις που προκαλούνται από το πέρασμα του οδοστρωτήρα είναι πολύ λιγότερες από αυτές που θα προκαλούνταν αν το υλικό δεν είχε υποστεί τη διαδικασία αυτή.

Το πάχος του υλικού που θα αφαιρεθεί στο στάδιο αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στη μελέτη. Για το λόγο αυτό προβλέπεται ότι θα υπάρχει μια αύξηση του πάχους της υπό ανακύκλωση στρώσης της τάξης του ενός με δύο εκατοστών.

8.1.6. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΗΣ ΣΤΡΩΣΗΣ

Μετά την ολοκλήρωση της συμπύκνωσης του ανακυκλωμένου οδοστρώματος, ακολουθεί η διαδικασία συντήρησης της ανακυκλωμένης στρώσης προκειμένου να προστατευθεί από πιθανή κακοκαιρία, από την εξάτμιση του νερού της επιφάνειας και από την κίνηση της κυκλοφορίας. Συνήθως, η επιφάνεια του ανακυκλωμένου οδοστρώματος ψεκάζεται με ένα ασφαλτικό γαλάκτωμα, το οποίο περιέχει το λιγότερο 600g/m^2 άσφαλτο. Αυτό με τη σειρά του προστατεύεται από μία στρώση από καθαρά και στεγνά χαλίκια (εκτιμάται δόση 6l/m^2), σε περίπτωση που θα επιτραπεί η κυκλοφορία. Αν ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι μεγάλος τότε η επιφάνεια μπορεί να υποστεί διπλή επεξεργασία.

Το άνοιγμα του ανακυκλωμένου δρόμου στην κυκλοφορία πρέπει να καθυστερήσει μέχρι να γίνει η διάσπαση του γαλακτώματος. Η ταχύτητα των οχημάτων πρέπει να είναι περιορισμένη έτσι ώστε να αποφευχθούν ατυχήματα λόγω ολισθηρότητας του δρόμου αλλά και χαλάρωση των επιφανειακών υλικών του οδοστρώματος ή άλλου είδους καταστροφές.

Οι ανώτερες στρώσεις ασφαλτομίγματος πρέπει να διαστρωθούν τουλάχιστον μετά από επτά ημέρες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Ο έλεγχος ποιότητας είναι υποχρεωτικό να γίνεται σε κάθε έργο γιατί μέσω αυτού παρέχεται εγγύηση ενός ικανοποιητικού αποτελέσματος. Πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Το πρώτο λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια των έργων και ελέγχεται αν γίνεται σωστά η εκτέλεσή του. Το δεύτερο στάδιο λαμβάνει χώρα μετά την ολοκλήρωση του έργου όπου και επαληθεύεται ότι το τελικό αποτέλεσμα πληροί όλες τις απαιτήσεις των προδιαγραφών. Σε μεγάλα και σημαντικά έργα πρέπει να κατασκευασθεί ένα δοκιμαστικό τμήμα στο οποίο θα πρέπει να προσαρμοστεί ο μηχανικός εξοπλισμός ανακύκλωσης με διάφορες λειτουργικές παραμέτρους. Θα πρέπει, δηλαδή, να βρεθεί κυρίως η ταχύτητα κίνησης του ανακυκλωτήρα και οι συνθήκες συμπίκνωσης (τύπος οδοστρώτηρα και αριθμός διελεύσεων), έτσι ώστε τα χαρακτηριστικά του ανακυκλωμένου οδοστρώματος να είναι ικανοποιητικά.

9.1. ΕΛΕΓΧΟΙ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ

Γίνεται έλεγχος προέλευσης των υλικών και έλεγχος παραγωγής. Τα σημεία που ελέγχονται είναι τα ακόλουθα:

- **τα υλικά που προστίθενται: αδρανή, τσιμέντο και νερό**

Πρέπει να γίνεται έλεγχος στην ποιότητα, ποσότητα και τοποθέτηση των υλικών που προστίθενται (αδρανή, τσιμέντο και νερό). Κάθε υλικό πρέπει να πληροί τις προδιαγραφές του, γιατί το παραμικρό λάθος μπορεί να προκαλέσει τη δημιουργία μιας ανακυκλωμένης στρώσης χωρίς την απαιτούμενη ποιότητα.

- **δοσολογία του σταθεροποιητικού υλικού**

Η δοσολογία του τσιμέντου ελέγχεται μέσω ενός δίσκου ή ενός караβόπανου με γνωστή επιφάνεια και βάρος. Πιο συγκεκριμένα, αυτό τοποθετείται πάνω στο οδόστρωμα και στη συνέχεια απλώνεται το τσιμέντο. Το караβόπανο ή ο δίσκος ζυγίζονται μαζί με το τσιμέντο που απλώθηκε πάνω τους και με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να γνωρίζουμε την ποσότητα του τσιμέντου που κατανέμεται ανά μονάδα επιφάνειας. Για να βρούμε την ποσότητα του τσιμέντου σε κυβικά μέτρα (m^3), πρέπει να είναι γνωστά το πάχος και η πυκνότητα της ανακυκλωμένης

συμπυκνωμένης στρώσης. Ο έλεγχος αυτός πρέπει να γίνεται με μεγαλύτερη συχνότητα τις μέρες που επικρατούν άνεμοι. Αν το τσιμέντο προστίθεται σε μορφή γαλακτώματος, πρέπει να ελέγχεται συχνά η καλή λειτουργία των εγχυτήρων και των πινάκων ενδείξεων. Καθημερινά γίνεται σύγκριση των ενδείξεων αυτών και της ποσότητας του τσιμέντου που καταναλώνεται. Αυτοί οι έλεγχοι πρέπει να γίνονται τουλάχιστον δύο φορές την ημέρα (μία το πρωί και μία το βράδυ). Η ομοιομορφία της επιφάνειας μετά την ανακύκλωση του οδοστρώματος μπορεί να εκτιμηθεί οπτικά.

- περιεκτικότητα σε νερό

Η υγρασία του προς ανακύκλωση υλικού είναι ένα χαρακτηριστικό που πρέπει να ελέγχεται με μεγάλη προσοχή, εφόσον από αυτή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό η σωστή συμπύκνωση και η αντοχή του υλικού. Η προσθήκη του νερού πρέπει να ελέγχεται με ένα μετρητή όγκου νερού, που βρίσκεται στον ανακυκλωτή και να προστίθεται τόσο νερό, έτσι ώστε κάθε κομμάτι να αποκτά την απαιτούμενη υγρασία. Ο έλεγχος θα πραγματοποιείται κάθε 200-500 m². Συνιστάται να γίνεται συχνά μία σύγκριση των αποτελεσμάτων των ελέγχων αυτών με τα αντίστοιχα αποτελέσματα που παίρνουμε από ελέγχους με χρήση ταχείων δοκιμών όπως: προσδιορισμός της πυκνότητας με πυρηνικό πυκνόμετρο, της υγρασίας με την επιταχυνόμενη μέθοδο ακετυλενίου (ασετιλίνη).

• η κοκκομετρική σύνθεση του ανακυκλωμένου υλικού

Μέσω της κοκκομετρικής καμπύλης του ανακυκλωμένου υλικού δίνεται η δυνατότητα να γνωρίζουμε την αποτελεσματικότητα της αποσύνθεσης του υλικού του παλιού οδοστρώματος και την ομοιογένεια της ανακυκλωμένης στρώσης. Επίσης επιβεβαιώνεται ότι η ταχύτητα κίνησης του ανακυκλωτή είναι η κατάλληλη. Πρέπει να γίνεται τουλάχιστον μία κοκκομετρική ανάλυση καθημερινά, ενώ στην αρχή του έργου οφείλει να γίνεται με μεγαλύτερη συχνότητα.

• η ομοιογένεια του μίγματος

Επαληθεύεται η ομοιογένεια του μίγματος τόσο οπτικά, όσο και μέσω τυχαίας λήψης δειγμάτων κατά μήκος και εγκάρσια του δρόμου. Εκτός από την κοκκομετρική σύνθεση του ανακυκλωμένου υλικού μπορεί να προσδιοριστεί η

μέγιστη ξηρή πυκνότητα, η αντοχή και το μέτρο ελαστικότητας του τελικού υλικού.

- **η συμπίκνωση του υλικού**

Ο έλεγχος της τελικής πυκνότητας του υλικού είναι αρκετά πολύπλοκος λόγω της μεγάλης ετερογένειας που χαρακτηρίζει τα ανακυκλωμένα υλικά. Είναι πολύ δύσκολο να προσδιοριστεί μια πυκνότητα αναφοράς ή μία τιμή διασποράς της, με την οποία να μπορεί να συγκριθεί η αποκτούμενη με τη μέση πυκνότητα. Για το λόγο αυτό είναι πιο εύκολο να συσχετίζονται οι μετρούμενες πυκνότητες με τα χαρακτηριστικά της διαδικασίας της συμπίκνωσης (αριθμός περασμάτων του οδοστρωτήρα, χρονικό διάστημα που παρεμβάλλεται ανάμεσα στην ανάμιξη και στο τελευταίο πέρασμα του οδοστρωτήρα). Θα πρέπει η μέση ξηρή πυκνότητα να είναι μεγαλύτερη από το ενενήντα επτά τοις εκατό (97%) της μέγιστης πυκνότητας της τροποποιημένης δοκιμής Proctor. Με την τροποποιημένη δοκιμή Proctor ή με τη δοκιμή συμπίκνωσης που γίνεται με δονητική σφύρα (NLT-310) είναι δυνατό να βρεθούν οι τιμές της μέγιστης ξηρής πυκνότητας αναφοράς και της ιδανικής υγρασίας που πρέπει να έχει το ανακυκλωμένο υλικό. Σε ένα έργο ελέγχονται τόσο η αποκτούμενη πυκνότητα όσο και η υγρασία του υλικού μέσω ενός ειδικού μηχανήματος που λέγεται πυρηνικό πυκνόμετρο. Σε κάθε λωρίδα και σε τυχαία σημεία θα πρέπει να γίνει έλεγχος της πυκνότητας του υλικού, με συχνότητα ελέγχου ενός σημείου τουλάχιστον κάθε 200m² επιφάνειας.

- **το βάθος επεξεργασίας**

Είναι επίσης πολύ σημαντικό να γίνει μια επαλήθευση του πάχους της επεξεργασμένης στρώσης. Αυτό εξαρτάται από το βάθος αναμόχλευσης, την ποσότητα των υλικών που προστίθενται, τον αριθμό των περασμάτων του οδοστρωτήρα και τη διαδικασία διαμόρφωσης κλίσεων. Το μετρούμενο πάχος δε θα πρέπει να είναι μικρότερο από το πάχος που έχει οριστεί στη μελέτη αλλά ούτε και πολύ μεγαλύτερο, γιατί τότε η ποσότητα του τσιμέντου που περιέχεται ανά εκατοστό ανακυκλωμένου υλικού μειώνεται και κατά συνέπεια μειώνονται και οι αντοχές του. Ο μόνος τρόπος να ελεγχθεί το πάχος του επεξεργασμένου υλικού είναι μέσω της εξαγωγής δοκιμών. Ο τρόπος αυτός όμως είναι καταστροφικός για το ανακυκλωμένο οδόστρωμα και για αυτό επιτρέπεται να εξαχθούν ένα ή το πολύ δύο δοκίμια ανά χιλιόμετρο. Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του έργου και

ειδικά στην αρχή, συνιστάται να ανοίγονται κάποια φρεάτια έτσι ώστε να επαληθευτεί η ποιότητα του ανακυκλωμένου υλικού πριν αυτό συμπυκνωθεί. Κάθε ημέρα εργασίας θα ανοιχτεί ένα φρεάτιο το πρωί και ένα δεύτερο το βράδυ.

- **η επιφάνεια και η γεωμετρία του οδοστρώματος**

Θα επαληθευθεί ότι η τελική επιφάνεια του οδοστρώματος πληροί τις απαιτούμενες γεωμετρικές προδιαγραφές και εμφανίζει ομοιομορφία. Το μίγμα δεν πρέπει να διαχωρίζεται και οι κλίσεις και οι διαστάσεις να είναι αυτές που απαιτούνται από τη μελέτη.

9.2. ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΤΗΝ ΤΕΛΙΚΗ ΣΤΡΩΣΗ

Ορίζεται μια έκταση γης όχι μεγαλύτερη από 3000m² ή λαμβάνεται η περιοχή που κατασκευάζεται στη διάρκεια μιας μέρας. Ελέγχεται με κάποια κριτήρια και ανάλογα γίνεται είτε αποδεκτή είτε απορρίπτεται. Ελέγχονται τα παρακάτω σημεία:

- **Πάχος του ανακυκλωμένου υλικού**

Η μέση τιμή του πάχους της ανακυκλωμένης στρώσης πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή τουλάχιστον ίση με τη προδιαγραφόμενη. Σε περίπτωση που αυτό δε συμβαίνει ορίζονται αντίστοιχες οικονομικές κυρώσεις, συμπληρώνεται το πάχος που υπολείπεται με ασφαλτόμιγμα και σε ακραίες περιπτώσεις αυτό καταστρέφεται και η επεξεργασμένη στρώση κατασκευάζεται εκ νέου.

- **Αντοχή του ανακυκλωμένου υλικού**

Η αντοχή του υλικού μπορεί να προσδιοριστεί έμμεσα ή άμεσα. Έμμεσα, κατασκευάζοντας δοκίμια στο εργαστήριο από ανακυκλωμένο υλικό που λαμβάνεται από το πίσω μέρος του ανακυκλωτή, συμπυκνώνοντας και σπάζοντάς τα. Άμεσα, με εξαγωγή κυλινδρικών πυρήνων από το ανακυκλωμένο οδόστρωμα και θραύσης τους στο εργαστήριο. Λόγω της αδυναμίας αποφυγής του χρονικού διαστήματος που παρεμβάλλεται από τη στιγμή που ολοκληρώνεται η διαδικασία της ανακύκλωσης μέχρι τη στιγμή που αποκόπτεται ο πυρήνας από το δρόμο, είναι προτιμότερος ο έμμεσος προσδιορισμός της αντοχής. Οι πυρήνες δεν μπορούν να αποκοπούν από νωπό υλικό, αφού αυτό δεν έχει αποκτήσει μια επαρκή αντοχή. Αντιθέτως τα δοκίμια που κατασκευάζονται στο εργαστήριο είναι

δυνατό να αποκτήσουν την αντοχή αυτή μέσα σε χρονικό διάστημα λίγων ημερών.

Ο αριθμός των δοκιμών που πρέπει να παρασκευαστούν εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες. Πρέπει να λαμβάνεται τουλάχιστον δύο φορές την ημέρα ανακυκλωμένο υλικό από το πίσω μέρος του ανακυκλωτή, μία το πρωί και μία το βράδυ, με σκοπό την παρασκευή τουλάχιστον δύο σειρών των τριών δοκιμών, για να δοκιμαστούν σε επτά ημέρες. Παρομοίως, κάθε δύο ή τρεις ημέρες συνιστάται η παρασκευή μιας σειράς τριών δοκιμών για να σπαστούν σε είκοσι οκτώ ημέρες. Αν η ανακύκλωση πραγματοποιείται με δύο ανακυκλωτές που δουλεύουν παράλληλα, θα παρασκευαστούν το λιγότερο δύο σειρές δοκιμών καθημερινά από το αντίστοιχο υλικό που αφήνει πίσω του ο καθένας. Τα κυλινδρικά δοκίμια θα έχουν διάμετρο 15 cm και ύψος 18 cm και θα παρασκευαστούν αφού έχει εξαλειφθεί το υλικό που συγκρατείται στο κόσκινο των 40 mm (40 UNE). Παρόλο που τα δοκίμια παρασκευάζονται με σκοπό την εκτίμηση της αντοχής σε θλίψη, συνιστάται η παρασκευή μιας σειράς δοκιμών για να δοκιμαστούν σε έμμεσο εφέλκυσμό και να προσδιοριστεί το μέτρο ελαστικότητας.

Όταν από το υλικό μιας περιοχής παρασκευάζονται δοκίμια που δίνουν πολύ υψηλές ή πολύ χαμηλές τιμές αντοχής, εξάγονται κυλινδρικοί πυρήνες επιτόπου από την περιοχή αυτή, έτσι ώστε να συγκεντρωθούν περισσότερες πληροφορίες. Τα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών των δοκιμών συγκρίνονται με τα αποτελέσματα αντίστοιχων δοκιμών κάποιων άλλων δοκιμών, που έχουν εξαχθεί από ένα άλλο τμήμα που έχει παρόμοια χαρακτηριστικά με τα προς ανακύκλωση υλικά και στα οποία η αποκτούμενη αντοχή δεν είναι μικρότερη από την προδιαγραφόμενη. Η σύγκριση αυτή επιτρέπει στον Ανάδοχο του έργου να λάβει τα κατάλληλα μέτρα έτσι ώστε με κάποιες οικονομικές κυρώσεις το έργο να γίνει αποδεκτό ή σε αντίθετη περίπτωση απορρίπτεται.

- **Επιπεδότητα**

Η τελική επιφάνεια δεν πρέπει να υπερβαίνει τη θεωρητική σε κανένα σημείο, αλλά ούτε να διαφέρει από αυτή περισσότερο από 15 mm.

- **Πλάτος ανακυκλωμένου οδοστρώματος**

Το πλάτος της ανακυκλωμένης στρώσης δε θα πρέπει σε καμία διατομή του δρόμου να είναι μικρότερο από αυτό που ορίζεται στη μελέτη. Επιπλέον, θα

πρέπει να επαληθευτεί ότι σε κανένα σημείο δεν ανακυκλώνεται το υλικό των ερεισμάτων.

- **Επιφανειακή ομαλότητα**

Η επιφάνεια της ανακυκλωμένης στρώσης πρέπει να έχει μία ομοιόμορφη υφή, χωρίς διαχωρισμούς και με τις απαιτούμενες κλίσεις. Σε κανένα σημείο δε θα πρέπει να συγκεντρώνεται νερό. Πρέπει να πετύχουμε τιμή Διεθνούς Δείκτη Ομαλότητας (Indice de Regularidad Internacional (IRI)) μικρότερη του 5 σε ολόκληρο το δρόμο και 4 τουλάχιστον στο 50% του μήκους του^[2].

- **Παραμορφώσεις**

Μέσω των τιμών των παραμορφώσεων μπορούμε να εκτιμήσουμε την αποκτούμενη αντοχή του οδοστρώματος. Τρεις έως επτά ημέρες μετά την πραγματοποίηση της ανακύκλωσης, ανάλογα με τις παραμορφώσεις που παρουσιάζονται επαληθεύεται η ομοιογένεια του επεξεργασμένου υλικού και εντοπίζονται οι αδύναμες ζώνες που χρειάζονται μία πρόσθετη στρώση ασφαλτομίγματος. Τα μέτρα αυτά είναι ακριβά και οπωσδήποτε προκαλούν την παράταση του προγραμματισμένου χρόνου ολοκλήρωσης του έργου.

- **Έλεγχος ρωγμών που αναδύονται στο οδόστρωμα**

Αυτός ο έλεγχος πρέπει να γίνεται οπτικά, συνεχώς κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του έργου για τη σωστή συντήρησή του. Ο αριθμός των αναδυόμενων ρωγμών πρέπει να είναι περιορισμένος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

ΠΡΟΤΑΣΗ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ ΓΕΝΙΚΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ

10.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Επιτόπου ανακυκλωμένη στρώση με τσιμέντο ορίζεται ένα κατάλληλα διαστρωμένο και συμπυκνωμένο μίγμα, που αποτελείται από

- i. τα υλικά που προέρχονται από την αναμόχλευση και τον θρυμματισμό ενός παλιού οδοστρώματος,
- ii. τσιμέντο,
- iii. προστιθέμενα ενδεχομένως αδρανή,
- iv. νερό,
- v. ορισμένα χημικά πρόσθετα, αν θεωρηθεί απαραίτητο.

Σκοπός της ανακύκλωσης είναι η επαναχρησιμοποίηση μία ή περισσότερων στρώσεων ενός φθαρμένου οδοστρώματος και η μετατροπή του μέσω κατάλληλης επεξεργασίας σε ένα νέο οδόστρωμα, με εκτιμώμενο μετά τη συμύκνωση πάχος, μεταξύ είκοσι (20) και τριανταπέντε (35) εκατοστών. Όλη η διαδικασία εκτέλεσης του έργου πραγματοποιείται στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Η εκτέλεση του έργου συμπεριλαμβάνει τις παρακάτω διαδικασίες:

- ♦ μελέτη και καθορισμός του τρόπου εργασίας για κάθε τμήμα με διαφορετικά χαρακτηριστικά.
- ♦ αναμόχλευση και θρυμματισμός του παλιού οδοστρώματος μέχρι ένα καθορισμένο βάθος, με μία μόνο διέλευση του ανακυκλωτήρα. Κατά τη διαδικασία αυτή, προστίθενται α) το τσιμέντο, β) το νερό, γ) τα επιπλέον θραυστά υλικά (αν θεωρηθεί σκόπιμο να γίνει διόρθωση της κοκκομετρικής σύνθεσης του μίγματος), και δ) τα κατάλληλα χημικά πρόσθετα που ενίοτε προστίθενται με σκοπό την παράταση της περιόδου εργασιμότητας του επεξεργασμένου υλικού. Τα συστατικά αυτά αναμιγνύονται και διαστρώνονται.

- ♦ Χάραξη αρμών όταν το υλικό είναι ακόμα φρέσκο (προ-ρηγμάτωση).
- ♦ Συμπύκνωση, διαμόρφωση κλίσεων και επικλίσεων και μόρφωση της τελικής επιφάνειας.
- ♦ Συντήρηση και προστασία της επιφάνειας.
- ♦ Επαλήθευση και έλεγχος της ποιότητας του τελικού προϊόντος.

10.2 ΥΛΙΚΑ

10.2.1. ΥΛΙΚΑ ΠΡΟΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Τα προς ανακύκλωση υλικά θα προέρχονται από την αναμόχλευση και τον θρυμματισμό μίας ή περισσότερων στρώσεων του υπάρχοντος οδοστρώματος. Θα αποτελούνται από υλικά είτε καθαρά είτε περιβλημένα από παλιό ασφαλικό υλικό ή τσιμέντο.

Η Διευθύνουσα Υπηρεσία του έργου αφού μελετήσει τα χαρακτηριστικά και την κατάσταση των στρώσεων του παλιού οδοστρώματος, θα αποφασίσει αν υπάρχουν ζώνες στις οποίες, το παλιό υλικό έχει μικρότερη από την ελάχιστη αντοχή και δεν είναι κατάλληλο για επαναχρησιμοποίηση. Στην περίπτωση αυτή, το συγκεκριμένο υλικό θα αφαιρεθεί, θα μεταφερθεί στον κοντινότερο αποθετήριο χώρο και θα αντικατασταθεί από υλικό εγκεκριμένο από τον «Κύριο» του έργου.

Επιπλέον, το προς ανακύκλωση υλικό δε θα περιέχει κόκκους με μέγεθος μεγαλύτερο των ογδόντα χιλιοστών (80mm). Σε αντίθετη περίπτωση, η Διευθύνουσα Υπηρεσία του Έργου θα λάβει τα κατάλληλα μέτρα για την εξάλειψή τους. Η περιεκτικότητα του μίγματος σε κόκκους που διέρχονται από το κόσκινο ανοίγματος πέντε χιλιοστών (5mm), δε θα είναι μικρότερη από το τριάντα τοις εκατό (30%) της συνολικής μάζας.

Το τεύχος των Ειδικών Τεχνικών Προδιαγραφών θα διασαφηνίζει αν είναι απαραίτητη η προσθήκη καινούριων αδρανών για τη διόρθωση της κοκκομετρικής σύνθεσης του θρυμματισμένου υλικού του παλιού οδοστρώματος.

Όσον αφορά την καθαρότητα, το προς ανακύκλωση υλικό δε θα πρέπει να περιέχει οργανικά υλικά και παράγωγα που μπορούν να βλάψουν τη διαδικασία ενυδάτωσης του τσιμέντου. Σύμφωνα με τον Κανονισμό NLT – 117, η περιεκτικότητα του μίγματος σε οργανικές ύλες δε θα υπερβαίνει το πέντε τοις χιλιοίς (0,5%) της μάζας. Αντίστοιχα, σύμφωνα με τον Κανονισμό NLT –120, η περιεκτικότητα του μίγματος σε θειικά στοιχεία, εκφρασμένα σε SO₃, δε θα είναι μεγαλύτερη του τέσσερα τοις χιλιοίς (0,4%) της μάζας του. Αν η ανακύκλωση γίνεται με χρήση τσιμέντου που είναι ανθεκτικό στη δράση των θεικών στοιχείων το παραπάνω επιτρεπόμενο ποσοστό μπορεί να φτάσει στο ένα κόμμα είκοσι τοις εκατό (1,20%).

Σύμφωνα με τον Κανονισμό NLT–105, ο δείκτης πλαστιμότητας θα πρέπει να είναι μικρότερος του τριανταπέντε (35) και αντίστοιχα, σύμφωνα με τον Κανονισμό NLT-106, το όριο υδαρότητας θα πρέπει να είναι ίσο ή μικρότερο του δεκαπέντε (15). Αν το υλικό δεν πληροί αυτές τις προδιαγραφές, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί μια προκαταρκτική επεξεργασία με άσβεστο. Η δοσολογία της ασβέστου θα πρέπει να καθοριστεί μέσω δοκιμών που θα γίνουν στο εργαστήριο και στη συνέχεια να εγκριθεί από τον Ανάδοχο του Έργου.

10.2.2. ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΘΡΑΥΣΤΑ ΥΛΙΚΑ

Αν είναι απαραίτητη η προσθήκη καινούριων αδρανών στο φρεζαρισμένο υλικό προκειμένου να διορθωθεί η κοκκομετρία του, τότε αυτά πρέπει να πληρούν τις προδιαγραφές του αντίστοιχου Άρθρου (Αρ.501) που αναφέρεται στα τεχνητά αδρανή. Η κοκκομετρική σύνθεση του θραυστού υλικού που θα προστεθεί θα προσδιοριστεί στο κεφάλαιο που επιλέγεται ο τρόπος εργασίας. Τα υλικά που θα προστεθούν δε θα πρέπει να είναι πλαστικά και το ισοδύναμο της άμμου που τα χαρακτηρίζει, σύμφωνα με τον Κανονισμό UNE 83131, πρέπει να είναι μεγαλύτερο του τριάντα (30).

Σύμφωνα με τον Κανονισμό UNE 83130, η περιεκτικότητα των θραυστών υλικών σε θειικά στοιχεία δε θα πρέπει να υπερβαίνει το δύο τοις εκατό (2%) κατά βάρος της συνολικής τους μάζας.

Σε περίπτωση που απαιτηθεί η χρήση νέων θραυστών υλικών για

α) τη διόρθωση των πρανών,

β) το συμπλήρωμα μιας στρώσης ανακυκλωμένου υλικού με πάχος μικρότερο από το επιθυμητό

γ) την πραγματοποίηση μιας διαπλάτυνσης του παλιού δρόμου,

τότε αυτά θα πρέπει να τηρούν τις απαιτούμενες προδιαγραφές του αντίστοιχου Άρθρου (Αρ.501) που αναφέρεται στα τεχνητά αδρανή ή του Άρθρου (Αρ.500) που αναφέρεται στα φυσικά αδρανή, του τεύχους των γενικών προδιαγραφών για συγκοινωνιακά έργα. Επιπλέον, σε περίπτωση που γίνεται διαπλάτυνση του δρόμου ταυτόχρονα με την ανακύκλωσή του, το θραυστό υλικό που θα τοποθετηθεί στις ζώνες των διαπλάτυνσεων, θα πρέπει να επιλεγεί με τέτοιο τρόπο ώστε η αντοχή που θα αποκτήσει το τελικό υλικό των ζωνών αυτών να είναι ίση ή το πολύ μέχρι είκοσι τοις εκατό (20%) μεγαλύτερη από την αντοχή των ανακυκλωμένων υλικών του παλιού οδοστρώματος.

10.2.3. ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Το τσιμέντο θα πληροί τις προδιαγραφές του Άρθρου (Αρ.202) (Ελλάδα: EN 197) που αναφέρεται στη σύνθεση και στην αποδοχή των τσιμέντων. Χρησιμοποιούνται τσιμέντα που ανήκουν στη μεσαία κατηγορία από πλευράς αντοχής. Η Διευθύνουσα Υπηρεσία του έργου μπορεί να ορίσει τη χρήση ενός τσιμέντου χαμηλής αντοχής και αντίστοιχα ενός τσιμέντου υψηλής αντοχής (π.χ. σε εποχές που ο καιρός είναι πολύ κρύος).

Αν η ποσότητα των θειικών στοιχείων που περιέχεται στο προς ανακύκλωση υλικό είναι μεγαλύτερη από τέσσερα τοις χιλιοίς (0,4%),

σύμφωνα με τον Κανονισμό NLT-120, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί τσιμέντο ανθεκτικό στη δράση του θείου.

Δεν επιτρέπεται η χρήση μιγμάτων τσιμέντου και χημικών προσμίξεων αν αυτά δεν έχουν παραχθεί σε εργοστάσιο τσιμέντου.

Σύμφωνα με τον Κανονισμό UNE-EN 196-3, η έναρξη της ενυδάτωσης του τσιμέντου δεν δύναται να πραγματοποιηθεί σε καμιά περίπτωση, πριν να περάσουν δύο ώρες. Ωστόσο, αν η διάστρωση του τσιμέντου γίνει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος μεγαλύτερη των τριάντα βαθμών Κελσίου (30°C), σύμφωνα με τον Κανονισμό UNE-EN 196-3, η έναρξη της ενυδάτωσης δε θα μπορεί να πραγματοποιηθεί πριν να περάσει μία ώρα - δεδομένου ότι τα δοκίμια κατασκευάζονται στη θερμοκρασία των σαράντα συν πλην δύο βαθμών Κελσίου ($40 \pm 2^\circ\text{C}$).

10.2.4. ΝΕΡΟ

Το νερό που πριστίθεται στο μίγμα του προς ανακύκλωση υλικού θα πληροί τις καθιερωμένες προδιαγραφές του αντίστοιχου Άρθρου (Αρ.280).

10.2.5. ΧΗΜΙΚΑ ΠΡΟΣΘΕΤΑ

Στο τεύχος των ειδικών τεχνικών προδιαγραφών θα γίνεται αναφορά στα χημικά πρόσθετα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, έτσι ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή περίοδος εργασιμότητας στο μίγμα ή/και να βελτιωθούν άλλες ιδιότητές του. Θα γίνεται εκτεταμένη αναφορά σε αυτά κατά την περιγραφή του τρόπου εργασίας του έργου και θα πρέπει να γίνουν αποδεκτά από τον Ανάδοχο του έργου. Ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες, τα χημικά πρόσθετα μπορούν να λειτουργήσουν ως επιβραδυντικά της πήξης του τσιμέντου, διευρύνοντας με αυτό το τρόπο την περίοδο εργασιμότητας του μίγματος. Η Διευθύνουσα Υπηρεσία του έργου θα πρέπει να εγγυηθεί τη σωστή ενσωμάτωση του πρόσθετου στο μίγμα, την τήρηση των προδιαγραφών και τις τυχόν αλλαγές που θα παρουσιάσουν οι ιδιότητες του μίγματος λόγω της παρουσίας τους.

10.3 ΤΥΠΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ

Ο τύπος και η σύνθεση του ανακυκλωμένου μίγματος θα καθοριστούν από το τεύχος των ειδικών τεχνικών προδιαγραφών, στο οποίο αναφέρονται οι περιορισμοί στην κοκκομετρία του επιπλέον, καινούριου θραυστού υλικού, οι οριακές τιμές της περιεκτικότητας του μίγματος σε τσιμέντο και οι ελάχιστη αντοχή του ανακυκλωμένου υλικού σε θλίψη.

Η ελάχιστη περιεκτικότητα του μίγματος σε τσιμέντο θα πρέπει να είναι ίση με τρία τοις εκατό (3%) κατά βάρος των ξηρών υλικών του μίγματος.

Η αντοχή σε θλίψη δοκιμίων ανακυκλωμένου υλικού επτά (7) ημερών θα είναι κατ' ελάχιστο 2,5MPa. Σε περίπτωση που χρησιμοποιηθεί τσιμέντο που περιέχει χημικά πρόσθετα πάνω από το τριάντα τοις εκατό (35%) της μάζας του, τότε το παραπάνω όριο αντοχής μπορεί να φτάσει στο 2,1MPa.

Τα δοκίμια που θα παρασκευαστούν για να προσδιοριστεί η αντοχή του υλικού, θα συμπυκνωθούν, σύμφωνα με τον Κανονισμό NLT-310, θα αποκτήσουν κάποιο ποσοστό της πυκνότητας της τροποποιημένης δοκιμής Proctor (NLT-108) και στη συνέχεια θα δοκιμαστούν σε απλή θλίψη σύμφωνα με τον Κανονισμό NLT-305.

Η χρονική περίοδος εργασιμότητας του μίγματος θα πρέπει να επιτρέπει την ολοκλήρωση της συμπύκνωσης μιας λωρίδας πριν να έχει λήξει η περίοδος εργασιμότητας της γειτονικής της ήδη ανακυκλωμένης λωρίδας. Με την παρασκευή των δοκιμίων στη μέση θερμοκρασία του περιβάλλοντος που επικρατεί ανάμεσα στις πρώτες δώδεκα έως δεκαπέντε ώρες μετά την εκτέλεση του έργου, θα καθοριστεί χρονική περίοδος εργασιμότητας σύμφωνα με τον Κανονισμό NLT-xxx (ή UNE yyy).

10.4 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ

10.4.1. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Θα χρησιμοποιηθεί ένας μεικτός, αυτοπροωθούμενος μηχανικός εξοπλισμός φρεζαρίσματος – ανάμιξης, ικανός να πραγματοποιήσει το έργο της ανακύκλωσης, στο καθορισμένο πλάτος και πάχος, με μία μόνο διέλευση.

Το ελάχιστο εύρος θα είναι δύο μέτρα (2m). Ο προαναφερθείς εξοπλισμός θα πρέπει να ικανοποιεί τουλάχιστον τις παρακάτω απαιτήσεις:

- ⇒ μηχανή φρεζαρίσματος με έλεγχο και ρύθμιση του βάθους της ανακύκλωσης.
- ⇒ σύστημα έγχυσης νερού ή γαλακτώματος με τσιμέντο και νερό.
- ⇒ χώρος ανάμιξης
- ⇒ ρυθμιζόμενος μηχανισμός για την εξάπλωση του ανακυκλωμένου υλικού.

Θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης σειρά διαδοχικών μηχανημάτων («τρένα») ανακύκλωσης στα οποία οι διαδικασίες φρεζαρίσματος και ανάμιξης με το σταθεροποιητικό υλικό θα γίνονται από διαφορετικά μέσα. Η μηχανή φρεζαρίσματος πρέπει πάντα να μπορεί να αποσυνθέτει το υπάρχον οδόστρωμα στο πάχος και το πλάτος που έχει καθοριστεί, με μία μόνο διέλευση και το πλάτος εργασίας να είναι κατ' ελάχιστο ίσο με δύο μέτρα (2m).

10.4.2. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΦΟΔΙΑΣΜΟ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Το τσιμέντο θα μπορεί να προστεθεί με μορφή σκόνης ή ως γαλάκτωμα. Στην πρώτη περίπτωση θα χρησιμοποιηθούν μηχανήματα με σταθμισμένη δοσολογία και διανεμητήρες που θα μπορούν να αποτελούνται από φορτηγά-σιλό ή βυτιοφόρα οχήματα τα οποία φέρουν στο πίσω μέρος τους ειδικό μηχανήμα διανομής που διανέμει σταθερή ποσότητα τσιμέντου ανά μονάδα επιφάνειας ανεξάρτητα από την ταχύτητα του οχήματος. Αν η εκφόρτωση του τσιμέντου πάνω στο προς ανακύκλωση οδόστρωμα πραγματοποιείται από ύψος μεγαλύτερο των δέκα εκατοστών (10cm), ο μηχανισμός εκφόρτωσης θα είναι προστατευμένος με «πετάσματα» των οποίων το κάτω μέρος δε θα πρέπει να απέχει περισσότερο από δέκα εκατοστά (10cm) από την επιφάνεια του οδοστρώματος.

Στην περίπτωση παροχής του τσιμέντου σε μορφή γαλακτώματος, ο εξοπλισμός τροφοδοσίας θα είναι ικανός να παρέχει το απαραίτητο ποσοστό του τσιμέντου, εγχέοντας απευθείας το γαλάκτωμα στον ανακυκλωτήρα. Η ταχύτητα του ανακυκλωτήρα θα είναι η ίδια με του οχήματος που προηγείται. Το σιλό του τσιμέντου θα είναι στεγανό και τέλεια απομονωμένο από υγρασία και πιθανές διαρροές.

10.4.3. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΟΧΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ.

Θα πρέπει να διατίθεται ένα φορτηγό υδατοστεγανό ή παρόμοιος εξοπλισμός ικανός να εισάγει στον ανακυκλωτήρα ή στο διανεμητήρα το νερό του μίγματος με την απαραίτητη αναλογία, ανάλογα με την ταχύτητα και το βάθος επεξεργασίας του μηχανήματος.

10.4.4. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΟΧΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ

Στην περίπτωση που θα χρησιμοποιηθούν χημικά πρόσθετα, καθώς επίσης και όταν ο ανακυκλωτήρας δεν έχει ειδικούς μηχανισμούς για την εισαγωγή των πρόσθετων με την επιθυμητή δόση, αυτά θα ανακατευτούν με το νερό που θα προστεθεί. Η ανάμιξή τους με αυτό θα γίνει στα αντίστοιχα οχήματα-δεξαμενές από τα οποία λαμβάνεται το προς χρησιμοποίηση νερό.

10.4.5. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ

Ο μηχανικός εξοπλισμός συμπίκνωσης θα πρέπει να έχει επαρκείς δυνατότητες για να επιτύχει την επιθυμητή πυκνότητα. Εκτός και αν εγκριθεί από τη Διευθύνουσα Υπηρεσία του έργου, θα χρησιμοποιηθεί τουλάχιστον ένας δονητικός αυτοπροωθούμενος οδοστρωτήρας - με λείους μεταλλικούς κυλίνδρους και με στατικό φορτίο στη γενέτειρα, όχι κατώτερο από 300 Nt/cm - και ένας οδοστρωτήρας ελαστικοφόρος - του οποίου το φορτίο ανά τροχό θα είναι τουλάχιστον 3t και η εσωτερική πίεση, δεν θα είναι κατώτερη από 0,8MPa. Ο τελευταίος, θα μπορεί να αντικατασταθεί, με την έγκριση της διευθύνουσας υπηρεσίας, από άλλο δονητικό οδοστρωτήρα με τα χαρακτηριστικά που προαναφέρθηκαν.

Οι οδοστρωτήρες με μεταλλικούς κυλίνδρους δεν θα πρέπει να παρουσιάζουν ίχνη από το πέρασμά τους ούτε ανωμαλίες. Οι δονητικοί οδοστρωτήρες θα είναι

προβλεπόμενοι να έχουν αυτόματους μηχανισμούς για να σταματούν την δόνηση κατά την αναστροφή της πορείας τους. Αυτοί που έχουν ελαστικά, θα πρέπει να έχουν λείους τροχούς, αριθμό, μέγεθος και διάταξη ελαστικών τέτοια, ώστε να επιτρέπουν την σωστή επικάλυψη των λωρίδων εργασίας.

Σε περιοχές που είναι αδύνατη η πρόσβαση μηχανικού εξοπλισμού κανονικής συμπίκνωσης θα χρησιμοποιηθούν άλλοι, με μέγεθος και σχέδιο κατάλληλο για την πραγματοποίηση των εργασιών.

10.4.6. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΑΡΜΩΝ ΣΕ ΝΩΠΟ ΥΛΙΚΟ

Για την εκτέλεση των αρμών όταν το ανακυκλωμένο οδόστρωμα είναι ακόμα νωπό, χρησιμοποιείται αυτόνομος μηχανικός εξοπλισμός ο οποίος πραγματοποιεί σε κάθε διέλευση ένα αυλάκι με βάθος τουλάχιστον μέχρι τα δύο τρίτα ($2/3$) του πάχους της ανακυκλωμένης στρώσης και ταυτόχρονα εισάγουν σε αυτό ένα ασφαλικό γαλάκτωμα ταχείας διάσπασης ή άλλο προϊόν κατάλληλο για την επανασυγκόλληση των παρειών του αρμού.

Η Διευθύνουσα Υπηρεσία του έργου θα μπορεί να εγκρίνει τη χρήση χειροκίνητου μηχανικού εξοπλισμού με ένα εργαλείο «κοψίματος» που έχει βάθος τουλάχιστον το ένα τρίτο ($1/3$) του πάχους της συμπτυκνωμένης στρώσης.

10.4.7. ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΟΡΦΩΣΗ ΤΗΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΛΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΛΙΣΕΩΝ

Σε περίπτωση που πρέπει να πραγματοποιηθεί προσθήκη λεπτού υλικού, αυτό θα γίνει με έναν ισομεδωτήρα (grader), του οποίου τα χαρακτηριστικά θα πρέπει να είναι εγκεκριμένα από τη Διευθύνουσα Υπηρεσία του έργου.

10.5 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

10.5.1. ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Θα πρέπει να πληρούνται οι προδιαγραφές του αντίστοιχου Άρθρου (Αρ.104).

10.5.1.1. ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Για κάθε τύπο τσιμέντου που προτείνεται να χρησιμοποιηθεί θα πραγματοποιηθούν οι κατάλληλες δοκιμές, που περιγράφονται στο τεύχος των ειδικών τεχνικών προδιαγραφών και επιπλέον οι ακόλουθες:

- Μηχανική αντοχή, σύμφωνα με τον Κανονισμό UNE 196-1 (Ελλάδα: ΕΛΟΤ 196-1), σε δοκίμια επτά (7) και εικοσιοκτώ (28) ημερών. Για τσιμέντα κατηγορίας 32,5, θα γίνουν δοκιμές και για δοκίμια ενενήντα (90) ημερών.
- Προσδιορισμός του ελεύθερου οξειδίου του ασβεστίου, σύμφωνα με τον Κανονισμό UNE 80243.
- Προσδιορισμός της ποζολανικότητας (για δοκίμια που έχουν παρασκευαστεί με ποζολανικά τσιμέντα) των δοκιμών εικοσιοκτώ (28) ημερών, σύμφωνα με τον Κανονισμό UNE-EN 96-5 (Ελλάδα: ΕΛΟΤ-196-5).

10.5.1.2. ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΘΕΤΟΥ ΘΡΑΥΣΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

Θα πρέπει να πληρούνται οι προδιαγραφές του αντίστοιχου Άρθρου (Αρ.501) και οι αντίστοιχες του τεύχους των ειδικών τεχνικών προδιαγραφών.

Η αναγκαιότητα της προσθήκης τους και η κοκκομετρική τους σύνθεση θα καθοριστούν από τον επιλεγθέντα τρόπο εργασίας του έργου.

10.5.1.3. ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΟ ΝΕΡΟ

Γενικά, μπορεί να γίνει χρήση όλων των αποδεκτών τύπων νερού. Σε περίπτωση που θα χρησιμοποιηθεί νερό αγνώστου τύπου, θα πρέπει να γίνει ανάλυση αυτού σύμφωνα με το αντίστοιχο Άρθρο (Αρ.280).

10.5.1.4. ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΙ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΤΟΥ ΣΩΣΤΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΖΩΝΩΝ

Θα πρέπει να επιθεωρηθεί η προς ανακύκλωση επιφάνεια και να γίνει επαλήθευση του σωστού διαχωρισμού ζωνών. Σε κάθε δείγμα που θα ληφθεί από κάθε επιλεγθείσα ζώνη, επομένως για κάθε κατηγορία φθαρμένου υλικού, θα πρέπει να προσδιοριστούν:

- κοκκομετρική ανάλυση σύμφωνα με τον Κανονισμό NLT-150.
- Όριο υδαρότητας και δείκτης πλαστιμότητας σύμφωνα με τον Κανονισμό NLT-105 και NLT-106 αντίστοιχα.
- Περιεκτικότητα σε θειικά στοιχεία, σύμφωνα με τον Κανονισμό NLT-120.
- Περιεκτικότητα σε οργανικές ύλες, σύμφωνα με τον Κανονισμό NLT-117.
- Τροποποιημένη δοκιμή Proctor, σύμφωνα με τον Κανονισμό NLT-108.

10.5.2. ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΣΤΕΑΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το πρόγραμμα εργασίας θα περιλαμβάνει:

- την κοκκομετρική ανάλυση του ανακυκλωμένου υλικού, τον προσδιορισμό της αντοχής του και ανάλογα με την περίπτωση τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του επιπλέον θραυστού υλικού.
- τον τύπο και το επι τοις εκατό ποσοστό συμμετοχής του τσιμέντου σε σχέση με τη μάζα του προς ανακύκλωση ξηρού υλικού καθώς και, αν χρειάζεται, προσθήκη χημικών πρόσθετων στο τσιμέντο, τον τύπο και τη δοσολογία αυτών.
- το ποσοστό επι τοις εκατό συμμετοχής του νερού σε σχέση με τη ξηρά μάζα του ανακυκλωμένου υλικού, τη χρονική στιγμή της ανάμιξης και τη βέλτιστη υγρασία συμπίκνωσης.

- η πυκνότητα που πρέπει να αποκτήσει το μίγμα. Η μέση τιμή της, στο μέσο του πάχους της ανακυκλωμένης στρώσης δε θα είναι μικρότερη του 97% της μέγιστης πυκνότητας της Τροποποιημένης δοκιμής Proctor, που καθορίζεται από τον Κανονισμό UNE 103501.
- τη χρονική περίοδο εργασιμότητας του δείγματος, στη μέση θερμοκρασία του περιβάλλοντος, που προβλέπεται να επικρατεί μεταξύ της δωδέκατης (12) και δέκατης πέμπτης (15) ώρας, μετά την έναρξη της εκτέλεσης του έργου.

Το απαιτούμενο ποσοστό του τσιμέντου στο ανακυκλωμένο μίγμα θα καθοριστεί μέσω δοκιμών σε απλή θλίψη που θα πραγματοποιηθούν σύμφωνα με τον κανονισμό NLT-305 σε επτά (7) μέρες, με τέτοιο τρόπο που να ικανοποιούνται οι περιορισμοί που αναφέρονται στο τεύχος των ειδικών τεχνικών προδιαγραφών. Τα δοκίμια θα συμπυκνωθούν σύμφωνα με τον Κανονισμό NLT-310, με την παροχή κατάλληλης ενέργειας έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η επιθυμητή πυκνότητα του ανακυκλωμένου υλικού.

Αρχικά, το ποσοστό του νερού που θα προστεθεί στο μίγμα των ξηρών υλικών θα είναι τέτοιο ώστε το μίγμα να αποκτήσει υγρασία ίση με αυτή που έχει καθοριστεί από την τροποποιημένη δοκιμή Proctor, σύμφωνα με τον Κανονισμό NLT-108. Η δοκιμή Proctor θα πραγματοποιηθεί σε δοκίμιο που έχει παρασκευαστεί από φρεζαρισμένο υλικό, καθαρό θραυστό υλικό και τρία τοις εκατό (3%) του βάρους του μίγματος τσιμέντο. Το ποσοστό του νερού θα καθορίζεται κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης του έργου της ανακύκλωσης σε ένα δοκιμαστικό τμήμα.

Αν το ποσοστό του φρεζαρισμένου υλικού που διέρχεται από το κόσκινο ανοίγματος οκτώ εκατοστών (8cm) είναι μεγαλύτερο του είκοσι τοις εκατό (20%) του μίγματος και ο δείκτης πλαστιμότητας του λεπτόκοκκου μέρους αυτού του μίγματος είναι μεγαλύτερος από δεκαπέντε ($IP > 15$), θα πρέπει να εκτιμηθεί το ποσοστό της ασβέστου που πρέπει να προστεθεί, έτσι ώστε να γίνει μια προκαταρκτική επεξεργασία με αυτό.

10.5.3. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Θα πρέπει να πληρούνται οι προδιαγραφές του Άρθρου 104.

Το τσιμέντο θα συγκεντρωθεί σε κλεισμένα σιλό με κατάλληλους μηχανικούς χειρισμούς του υλικού, που θα το προστατεύουν από την κακοκαιρία, ιδιαίτερα την υγρασία. Ο αριθμός των σιλό και η χωρητικότητά τους θα προσαρμόζεται ανάλογα με την ημερήσια κατανάλωση, την κανονικότητα του εφοδιασμού και το μέγεθος των οχημάτων μεταφοράς, των οποίων η χωρητικότητα θα πρέπει να είναι τουλάχιστον είκοσι τόνοι (20t). Υπάρχει βέβαια η περίπτωση να είναι περιττή η χρήση αυτών των οχημάτων, αν το τσιμέντο παρέχεται σε μορφή γαλακτώματος και ο θάλαμος του ανακυκλωτή έχει επαρκή αποθηκευτική ικανότητα. Την απόφαση αυτή θα την πάρει η Διευθύνουσα Υπηρεσία του έργου.

10.5.4. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΥΠΑΡΧΟΥΣΑΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ.

Η ανακύκλωση δεν θα αρχίσει αν δεν έχει επαληθευθεί και επιβεβαιωθεί ότι έχει πραγματοποιηθεί η κατάλληλη προετοιμασία στην προς ανακύκλωση επιφάνεια και έχουν γίνει οι ακόλουθες διαδικασίες:

- Η επιφάνεια να είναι καθαρή από φυτικές προσμίξεις, χώματα ή οποιαδήποτε αλλά αντικείμενα που έχουν πέσει σε όλο το πλάτος του οδοστρώματος, συμπεριλαμβανομένων και των λωρίδων του δρόμου που δεν πρόκειται να ανακυκλωθούν.
- Επεξεργασία ή εξάλειψη των πολύ μολυσμένων ζωνών, σύμφωνα με την κρίση του Κυρίου του έργου.
- Αφαίρεση των λιμνάζοντων νερών.
- Ισοπέδωση του καταστρώματος, προσθέτοντας, αν υπάρχει έλλειψη, επιπλέον καθαρά θραυστά αδρανή.

10.5.5. ΦΡΕΖΑΡΙΣΜΑ ΤΩΝ ΠΡΟΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΥΛΙΚΩΝ

Το φρεζάρισμα του παλιού οδοστρώματος θα πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια μηχανημάτων και μεθόδων εγκεκριμένων από τη Διευθύνουσα Υπηρεσία του έργου, μετά από την κατασκευή ενός δοκιμαστικού τμήματος δρόμου. Τόσο η ταχύτητα κίνησης του ανακυκλωτήρα όσο και του περιστρεφόμενου οδοντωτού τυμπάνου που φέρει, θα πρέπει να είναι σταθερή έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ότι παραμένει σταθερό το βάθος επεξεργασίας και ότι το ανακυκλωμένο υλικό αφήνεται ομοιογένης. Οι στάσεις του ανακυκλωτήρα θα πρέπει να αποφεύγονται και αν αυτές κριθούν απαραίτητες τότε θα πρέπει να σταματήσει άμεσα η παροχή νερού και τσιμέντου, για να αποφευχθεί η υπερβολική δόση τσιμέντου και ως επακόλουθο, η δημιουργία λιμνάζοντων νερών. Επιπλέον, θα πρέπει να επαληθευθεί ότι η κοκκομετρική σύνθεση του φρεζαρισμένου υλικού είναι σύμφωνη με αυτή του δοκιμαστικού τμήματος και με αυτή που ελήφθη υπόψη προκειμένου να επιλεγθεί ο τρόπος εργασίας που θα ακολουθηθεί.

Κάθε φορά που διαπιστώνεται ότι ξεπερνιούνται τα αποδεκτά όρια των αναμενόμενων αποκλίσεων, που περιγράφονται στην παράγραφο 10.7.1., θα πρέπει να σταματήσει η ανακύκλωση του οδοστρώματος μέχρι να βρεθούν οι λόγοι για τους οποίους υπάρχουν οι αποκλίσεις αυτές (φθορά των δοντιών εκσκαφής, μπούκωμα των εγχυτήρων του γαλακτώματος κ.α.).

Σε περίπτωση που η φυσική υγρασία του προς ανακύκλωση υλικού είναι μεγαλύτερη από τη βέλτιστη υγρασία της τροποποιημένης δοκιμής Proctor, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί ένα προκαταρκτικό φρεζάρισμα του οδοστρώματος για τον αερισμό του υλικού.

Σε περίπτωση που το πλάτος του οδοστρώματος είναι μεγαλύτερο από το πλάτος που έχει τη δυνατότητα να επεξεργαστεί ο ανακυκλωτής, θα γίνει η επεξεργασία του σε παράλληλες λωρίδες που θα αλληλοεπικαλύπτονται περίπου κατά δεκαπέντε έως τριάντα εκατοστά (15-30cm). Σε περίπτωση, που η επεξεργασία γίνει με δύο ανακυκλωτήρες που δουλεύουν παράλληλα όσον αφορά στην αλληλεπικάλυψη των λωρίδων ισχύει ότι ακριβώς και πριν δίνοντας μόνο ιδιαίτερη προσοχή στο να έχουν οι δύο μηχανές όσο το δυνατό μικρότερη

διαφορά φάσης έτσι ώστε η συμπίκνωση σε όλο το πλάτος του δρόμου να μη δημιουργεί κατά μήκος διαχωρισμό / ραφή στις λωρίδες.

Η εκτέλεση του έργου ανά λωρίδες θα πρέπει να προγραμματιστεί με τέτοιο τρόπο που να αφήνεται ελεύθερος χώρος για παράκαμψη της κυκλοφορίας.

Θα απομονωθούν πολύ προσεκτικά τα ερείσματα του παλιού δρόμου ή οι γειτονικές ζώνες του καταστρώματος της οδού, για να μην αναμιγνύονται τα υλικά τους με τα προς ανακύκλωση υλικά του παλιού οδοστρώματος.

Τέλος, σε περίπτωση που είναι αδύνατη η χρήση ανακυκλωτήρα για το φρεζάρισμα του παλιού οδοστρώματος, το παλιό υλικό θα θρυμματιστεί με τα χέρια ή με μηχανικά μέσα και τα υλικά που θα παραχθούν θα μεταφερθούν σε ένα αποθετήριο χώρο. Στις ζώνες αυτές θα τοποθετηθούν άλλα υλικά κατάλληλα για ανακύκλωση και εγκεκριμένα από τη Διευθύνουσα Υπηρεσία του έργου.

10.5.6. ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ, ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ.

ΑΝΑΜΙΞΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΡΩΣΗ

Η δοσολογία και η ανάμιξη θα πραγματοποιηθούν με τη βοήθεια μηχανημάτων και μεθόδων εγκεκριμένων από τη Διευθύνουσα Υπηρεσία του έργου, μετά από την κατασκευή ενός δοκιμαστικού τμήματος δρόμου.

Πριν ακόμα αρχίσει το έργο θα καθαριστούν και θα τεθούν σε λειτουργία (για έλεγχο της σωστής λειτουργίας τους) οι αντλίες του νερού και αντίστοιχα του γαλακτώματος, μακριά από τον χώρο εργασίας. Σε κάθε στάση του ανακυκλωτήρα οι εγχυτήρες θα καθαρίζονται (τουλάχιστον δύο φορές την ημέρα). Επιπλέον οι επιχειρήσεις τροφοδοσίας του ανακυκλωτήρα με τσιμέντο πρέπει να γίνουν κατά τρόπο που να αποφεύγονται οι κυκλοφοριακές ενοχλήσεις.

Το τσιμέντο, το νερό και τα χημικά πρόσθετα θα διανεμηθούν ομοιόμορφα με την δοσολογία που έχει αποφασισθεί για το καθένα στο στάδιο επιλογής του τρόπου εργασίας.

Το μίγμα δε θα μπορεί να παραμείνει ασυμπύκνωτο περισσότερο από μισή ώρα.

Θα πρέπει να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα έτσι ώστε να αποφευχθούν κατά τη διάρκεια του έργου μεγάλες συγκεντρώσεις νερού. Αν αυτό συμβεί, η διαδικασία της ανακύκλωσης θα πρέπει να σταματήσει άμεσα.

Η δοσολογία του τσιμέντου και του νερού θα πρέπει να βρίσκεται μέσα στα περιθώρια ανοχής που περιγράφονται στην παράγραφο 10.7.1 ή στο τεύχος ειδικών τεχνικών προδιαγραφών.

Αν εντοπιστούν πάνω στην ανακυκλωμένη επιφάνεια ασυνέχειες, υλικά που δεν έχουν αναμιχθεί ή διαφορετικές περιεκτικότητες σε τσιμέντο ή νερό, η διαδικασία της ανακύκλωσης θα πρέπει να σταματήσει και να διορθωθούν τα όποια ελαττώματα.

Σε ζώνες που δεν είναι προσβάσιμες στους ανακυκλωτήρες, η Διευθύνουσα Υπηρεσία του έργου μπορεί να δώσει άδεια για εξάπλωση του τσιμέντου με τα χέρια. Για το λόγο αυτό οι σάκκοι με το τσιμέντο θα τοποθετηθούν πάνω στο οδόστρωμα σχηματίζοντας ένα τετράγωνο με ίσες πλευρές, που να αντιστοιχούν στην επιθυμητή δοσολογία του. Από τη στιγμή που θα ανοίξουν οι σάκκοι το περιεχόμενό τους θα διασκορπιστεί και θα κατανεμηθεί γρήγορα και ομοιόμορφα με τη βοήθεια τσουγκράνων.

Ο διανεμητήρας του τσιμέντου δε θα πρέπει να απέχει από τον ανακυκλωτήρα περισσότερο από διακόσια μέτρα (200m). Όταν η Διευθύνουσα Υπηρεσία του έργου κρίνει ότι η ταχύτητα των επικρατούντων ανέμων είναι μεγάλη ή γενικά όταν αυτή είναι μεγαλύτερη από δέκα μέτρα ανά δευτερόλεπτο (10m/s), η διανομή του τσιμέντου δε θα μπορεί να πραγματοποιηθεί. Η περιοριστική αυτή τιμή της ταχύτητας του ανέμου θα μειωθεί σε πέντε μέτρα ανά δευτερόλεπτο (5m/s) αν το έργο λαμβάνει χώρα σε απόσταση μικρότερη από ένα χιλιόμετρο από κατοικημένη περιοχή.

Όλη η ποσότητα του τσιμέντου θα πρέπει να αναμιχθεί με τα προς ανακύκλωση υλικά σε λιγότερο από μία ώρα από τη στιγμή που αυτό έχει διαστρωθεί.

Το μίγμα θα πρέπει να είναι ομοιογενές. Αυτό φαίνεται από το ενιαίο χρώμα που έχει το ανακυκλωμένο υλικό και από την απουσία σβώλων τσιμέντου.

10.5.7. ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΚΑΘΑΡΟΥ ΘΡΑΥΣΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

Όταν κριθεί αναγκαία η προσθήκη επιπλέον αδρανών στο προς ανακύκλωση υλικό, τότε αυτό πρέπει να ενσωματωθεί στο μίγμα με έναν από τους παρακάτω τρόπους (θα έχουν χρησιμοποιηθεί στο δοκιμαστικό τμήμα):

- μέσω της διάστρωσής του σε μία ομοιογενή στρώση, πάνω στην υπάρχουσα επιφάνεια πριν φρεζαριστεί ο δρόμος.
- μέσω της προσθήκης του στο προς ανακύκλωση υλικό μετά το φρεζάρισμα του δρόμου. Για να πραγματοποιηθεί αυτό απαιτείται μια επιπλέον μηχανή, ανεξάρτητη με τον ανακυκλωτή, που θα παίρνει το φρεζαρισμένο υλικό και θα το αναμιγνύει, με την σωστή δοσολογία, με τα καθαρά θραυστά υλικά.

10.5.8. ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΧΑΡΑΞΗΣ ΤΩΝ ΑΡΜΩΝ

Πριν να αρχίσει η διαδικασία της συμπίκνωσης της ανακυκλωμένης στρώσης θα γίνει η χάραξη εγκάρσιων αρμών, σε αποστάσεις που κυμαίνονται μεταξύ 2,5m και 3,5m. Αυτή η διαδικασία θα πραγματοποιηθεί όταν το υλικό είναι ακόμα νωπό και θα πρέπει να εγκριθεί από τη Διευθύνουσα Υπηρεσία του έργου.

Στην αρχή κάθε εργάσιμης μέρας, όπως και μετά από κάθε στάση διάρκειας μεγαλύτερης της χρονικής περιόδου εργασιμότητας του μίγματος, η ανακύκλωση θα ξαναρχίσει τουλάχιστον ένα μέτρο πριν τον αρμό διακοπής εργασίας. Θα λαμβάνονται πάντα οι κατάλληλες προφυλάξεις για την αποφυγή υπερδοσολογίας του τσιμέντου.

10.5.9. ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΛΙΣΕΩΝ

Η συμπίκνωση θα πραγματοποιηθεί αμέσως μετά την ανάμιξη και την εκτέλεση των αρμών, έτσι ώστε να αποφευχθούν απώλειες υγρασίας και να επιτραπεί η ολοκλήρωση της χάραξης των αρμών μέσα στη χρονική περίοδο εργασιμότητας του υλικού.

Η αποκτούμενη ξηρή πυκνότητα θα πρέπει να είναι σε όλα τα σημεία μεγαλύτερη από το ενενήντα επτά τοις εκατό (97%) της μέγιστης

τροποποιημένης πυκνότητας Proctor του μίγματος σύμφωνα με τον Κανονισμό UNE 103501.

Η συμπίκνωση θα αρχίσει κατά μήκος από το χαμηλότερο άκρο της λωρίδας που έχει επεξεργαστεί και θα συνεχιστεί προς το υψηλότερο, υπερκαλύπτοντας τα ακραία τμήματα των ζωνών εργασίας με τις διαδοχικές διελεύσεις του ανακυκλωτήρα.

Η Διευθύνουσα Υπηρεσία του έργου έχει τη δυνατότητα να απαιτήσει την παρουσία μηχανικού εξοπλισμού που θα ψεκάζει νερό σε μορφή «λεπτής ομίχλης» πάνω από την ανακυκλωμένη επιφάνεια, κατά τη διάρκεια της συμπίκνωσης για να αποφευχθεί η επιφανειακή αποξήρανσή της. Επιπλέον, θα πρέπει να ελέγχεται η καθαρότητα των κυλινδρών των δονητικών οδοστρωτήρων.

Σε μια οποιαδήποτε εγκάρσια διατομή, η συμπίκνωση μιας λωρίδας θα πρέπει να έχει ολοκληρωθεί πριν να έχει περάσει η χρονική περίοδος εργασιμότητας της προηγούμενης γειτονικής, ήδη επεξεργασμένης λωρίδας.

Από τη στιγμή που έχει ολοκληρωθεί η συμπίκνωση μιας λωρίδας, δε θα επιτραπεί καμία επιπλέον αύξηση του επιπέδου επιφάνειας της λωρίδας. Οποσδήποτε, κάθε φορά που με τον ανακυκλωτήρα δεν επιτυγχάνεται μία ομαλή επιφάνεια (μέσα στα ενδεικνύόμενα όρια της παραγράφου 10.6.2.3.), θα πρέπει να πραγματοποιηθεί, μέσα στη χρονική περίοδο εργασιμότητας, κατάλληλη προσθήκη και διάστρωση λεπτού υλικού μέσω ενός ισοπεδωτήρα (grader) ή κάποιου άλλου μηχανικού εξοπλισμού. Στη συνέχεια το οδόστρωμα συμπτυκνώνεται μέχρι να επιτευχθεί η απαιτούμενη πυκνότητα.

Η διάστρωση λεπτού υλικού μέχρι την καθορισμένη άκρη του δρόμου θα πρέπει να γίνει σε όλο το πλάτος της λωρίδας ή των λωρίδων που χρειάζονται λεπτό υλικό. Ποτέ δε θα πρέπει να γίνεται συμπλήρωση υλικού που λείπει από σημεία με χαμηλότερο επίπεδο, με υλικό που προέρχεται

από αφαίρεσή του από σημεία με υψηλότερο επίπεδο. Το πλεόνασμα του λεπτού υλικού θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα ερείσματα.

10.5.10. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Από τη στιγμή που έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία της συμπίκνωσης και προσθήκης λεπτού υλικού και πάντοτε, πριν να έχουν περάσει τρεις (3) ώρες, θα επακολουθήσει η επάλειψη της τελικά μορφωμένης επιφάνειας με ένα υγρό συντήρησης. Συνήθως αυτό είναι ένα ανιονικό γαλάκτωμα ταχείας διάσπασης και με ελάχιστη δοσολογία σε ασφαλτο εξακοσίων γραμμαρίων ανά τετραγωνικό μέτρο (600g/m^2).

Η Διευθύνουσα Υπηρεσία του έργου θα μπορεί να εγκρίνει την αντικατάσταση του γαλακτώματος με άλλο κατιονικού τύπου.

Αμέσως μετά, για την προστασία του γαλακτώματος, θα διαστρωθούν αδρανή που θα έχουν μέγεθος μεταξύ τριών και έξι χιλιοστών ($3/6\text{ mm}$) με μία δοσολογία μεταξύ τεσσάρων και έξι λίτρων ανά τετραγωνικό μέτρο ($4-6\text{l/m}^2$).

Η κυκλοφορία οχημάτων πάνω από την ανακυκλωμένη επιφάνεια, όποτε είναι δυνατό, πρέπει να καθυστερεί. Σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να επιτραπεί η κυκλοφορία πάνω στην ανακυκλωμένη επιφάνεια αν δεν έχει προηγηθεί η διάσπαση του γαλακτώματος συντήρησης.

Αν είναι απαραίτητο, θα ληφθούν μέτρα, για παράδειγμα περιορισμός της ταχύτητας των οχημάτων, ή η εκτέλεση μιας επιφανειακής επεξεργασίας για να αποφευχθούν πιθανές επιφανειακές χαλαρώσεις της επεξεργασμένης στρώσης.

10.5.11. ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ

Στην έναρξη του έργου, θα είναι υποχρεωτική η κατασκευή ενός δοκιμαστικού τμήματος, το οποίο σε περίπτωση που αποδειχθεί ικανοποιητικό, σύμφωνα με την κρίση της Διευθύνουσας Υπηρεσίας του

έργου, θα μπορεί να παραμείνει ως ένα ενιαίο τμήμα με το συνολικό. Ο τρόπος εργασίας του δοκιμαστικού αυτού τμήματος και το πάχος του θα είναι τα ίδια με τα προβλεπόμενα του κύριου έργου και θα χρησιμοποιηθούν αργότερα από τον Κύριο για την εκτέλεση του κυρίως έργου.

Η Διευθύνουσα Υπηρεσία θα καθορίσει το μήκος του δοκιμαστικού τμήματος και σε καμία περίπτωση δε θα είναι μικρότερο των εκατό μέτρων (100m).

Κατά τη διάρκεια κατασκευής του δοκιμαστικού τμήματος θα επαληθευθούν η καταλληλότητα του επιλεγμένου τρόπου εργασίας και των μηχανημάτων που προτείνεται να χρησιμοποιηθούν, η σχέση μεταξύ του αριθμού διελεύσεων των συμπυκνωτικών μέσων και της αποκτώμενης πυκνότητας και η «συμφωνία» του ανακυκλωμένου υλικού με τις ιδανικές συνθήκες υγρασίας, το πάχος της στρώσης, την πυκνότητα, την κοκκομετρία, την περιεκτικότητα σε τσιμέντο, την αντοχή και τις υπόλοιπες απαιτήσεις.

Όταν η Διευθύνουσα Υπηρεσία των Έργων μελετήσει τα αποτελέσματα του δοκιμαστικού τμήματος, θα αποφασίσει αν ο τρόπος εργασίας και τα προτεινόμενα μηχανικά μέσα που επέλεξε ο Ανάδοχος είναι αποδεκτά. Σε περίπτωση που δεν είναι αποδεκτά, η Διευθύνουσα Υπηρεσία θα παρουσιάσει άλλη πρόταση και θα πραγματοποιηθεί καινούριο δοκιμαστικό τμήμα.

Τα αποτελέσματα του ισχύοντος δοκιμαστικού τμήματος θα χρησιμοποιηθούν στον καθορισμό του τελικού τρόπου εργασίας και των τιμών αναφοράς για τις ανοχές και τις ιδιαιτερότητες του ολοκληρωμένου έργου.

Πριν περάσουν είκοσι έξι (26) μέρες από την πραγματοποίηση του έργου θα αποκοπούν από το αποδεκτό δοκιμαστικό τμήμα έξι (6) πυρήνες, σύμφωνα με τον Κανονισμό UNE 83302. Τα δοκίμια αυτά θα ληφθούν

από τυχαία σημεία, που απέχουν μεταξύ τους κατ' ελάχιστο επτά μέτρα (7m) κατά μήκος και είναι απομακρυσμένα τουλάχιστον πενήντα εκατοστά (50cm) από οποιαδήποτε ρωγμή συστολής, εγκάρσιο αρμό ή άκρο. Τα δοκίμια αυτά θα δοκιμαστούν σε θλίψη, σύμφωνα με τον Κανονισμό UNE 83304, αφού θα έχουν διατηρηθεί σαράντα οκτώ (48) ώρες στον αέρα, στο περιβάλλον του εργαστηρίου, υπό τις συνθήκες που καθορίζει ο Κανονισμός UNE 83302.

Η μέση τιμή των αποτελεσμάτων των δειγμάτων αυτών θα χρησιμοποιηθεί ως βάση για τη σύγκρισή τους με τα αποκτώμενα δείγματα αναφοράς που αναφέρονται στην παράγραφο 9.5.3.2. του παρόντος τεύχους.

10.6 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΤΗΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

10.6.1. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΣΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι αποδεκτές ανοχές του τρόπου εργασίας, σε ποσοστό επί τοις εκατό της μάζας του ξηρού υλικού προς ανακύκλωση, θα είναι αυτές που παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (πίν.10.1):

Χαρακτηριστικά	Ποσοστό
Διερχόμενο % από το κόσκινο UNE >2,5mm	±6
Διερχόμενο % από το κόσκινο UNE μεταξύ 2,5mm και 0,080mm	±3
Διερχόμενο % από το κόσκινο UNE 0,080mm (συμπεριλαμβανομένου του σταθεροποιητή)	±3
Τσιμέντο	±0,3
Υγρασία συμπίκνωσης	-1,5/+0,5

Πίνακας 10.1. Περιορισμοί στον τρόπο εργασίας

10.6.2. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

10.6.2.1. ΤΗΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ

Η τελική επιφάνεια δε θα πρέπει να ξεπερνά τα θεωρητικά όρια σε κανένα σημείο, ούτε να διαφέρει από αυτά περισσότερο από είκοσι χιλιοστά (20mm). Αν το περιθώριο απόκλισης ξεπεραστεί και δεν υπάρχουν προβλήματα συγκέντρωσης νερού, τότε η στρώση θα μπορεί να γίνει αποδεκτή μόνο όταν η ανώτερη στρώση καλύπτει την απώλεια, χωρίς αύξηση του κόστους για τη Διευθύνουσα Υπηρεσία του Έργου.

Το πλάτος του ανακυκλωμένου οδοστρώματος δε θα μπορεί να είναι σε καμία περίπτωση μικρότερο από το συναγόμενο θεωρητικό πλάτος που αναφέρεται στη μελέτη.

Οι ανωμαλίες που ξεπερνούν τις ενδεικνυόμενες ανοχές θα πρέπει να διορθωθούν σύμφωνα με τις οδηγίες της Διευθύνουσας Υπηρεσίας των Έργων.

10.6.2.2. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΣΤΟ ΠΑΧΟΣ

Το πάχος της στρώσης δε θα είναι σε κανένα σημείο μικρότερο από το προβλεπόμενο που δίνεται στην αντίστοιχη ενότητα της μελέτης και ούτε θα υπερβαίνει περισσότερο από το δέκα τοις εκατό (10%) της προβλεπόμενης αυτής της τιμής.

10.6.2.3. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΣΤΗΝ ΟΜΑΛΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Ο Διεθνής Δείκτης Ομαλότητας (Índice de Regularidad Internacional - IRI) θα είναι μικρότερος από τρία κόμμα πέντε (3,5) στο πενήντα τοις εκατό (50%) του μήκους του τμήματος του δρόμου, από πέντε (5) στο ογδόντα τοις εκατό (80%) του μήκους του και από έξι κόμμα πέντε (6,5) στο σύνολό του.

Οι τιμές των ανωμαλιών του οδοστρώματος, μετρημένες με κανόνα των τριών μέτρων (3m), σύμφωνα με τον Κανονισμό NLT-334, δε θα είναι μεγαλύτερες από δέκα χιλιοστά (10mm).

Οι ανωμαλίες που υπερβαίνουν τις ενδεικνυόμενες ανοχές θα πρέπει να διορθωθούν μέσω φρεζαρίσματος με μηχανικό εξοπλισμό που φέρει πολλαπλούς δίσκους, ή σε περίπτωση έλλειψης αυτού, με αυτό που διαθέτει η Διευθύνουσα Υπηρεσία του έργου.

10.6.3. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΣΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Η επί τόπου ανακύκλωση με τσιμέντο δε θα πρέπει να εκτελεστεί όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, υπό σκιά, είναι μεγαλύτερη από τριανταπέντε βαθμούς Κελσίου (35°C), αν δεν έχουν ληφθεί τα κατάλληλα μέτρα όπως χρήση επιβραδυντικών πήξης ή μηχανικός εξοπλισμός που θα ποτίζει την επιφάνεια και θα αποφεύγει την αποξήρανσή της. Παρομοίως η ανακύκλωση θα διακοπεί όταν η θερμοκρασία είναι κατώτερη των πέντε βαθμών Κελσίου (5°C) και υπάρχει μεγάλος κίνδυνος παγετού. Στην τελευταία αυτή περίπτωση, αν η θερμοκρασία τείνει να αυξηθεί, μπορεί να αρχίσει η ανακύκλωση μετά τους δύο βαθμούς Κελσίου (2°C). Σε περίπτωση δυνατής βροχής θα πρέπει να διακοπούν οι εργασίες.

10.7 ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΕΡΓΑΣΙΜΟΤΗΤΑΣ

10.7.1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Το αντικείμενο αυτής της μεθόδου είναι η παρασκευή ενός δοκιμίου, το οποίο συμπυκνώνεται με διαφορετικό τρόπο, με σκοπό τον καθορισμό της χρονικής περιόδου εργασιμότητας του υλικού που προκύπτει από ανακύκλωση παλιού οδοστρώματος με τσιμέντο.

10.7.1.1. ΟΡΙΣΜΟΙ, ΣΥΜΒΟΛΑ, ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

Χρονική περίοδος εργασιμότητας ορίζεται ως ο χρόνος που παρέρχεται από τη στιγμή που ολοκληρώνεται η διαδικασία της ανάμιξης του φρεζαρισμένου υλικού με το νερό και το τσιμέντο μιας λωρίδας οδοστρώματος, μέχρι τη στιγμή που ολοκληρώνεται η συμύκνωση της γειτονικής της λωρίδας. Κατά τη διάρκεια της περιόδου εργασιμότητας, η ενυδάτωση του τσιμέντου δεν έχει αρχίσει ή πραγματοποιείται σε πολύ μικρό βαθμό. Επομένως, γίνεται η συμύκνωση του υλικού, χωρίς να έχει προηγηθεί καμιά φθορά στις μηχανικές του ιδιότητες.

Στη μέθοδο που περιγράφεται στη συνέχεια χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες συντομογραφίες:

MRC: Material Reciclado con Cemento

Θ: Θερμοκρασία περιβάλλοντος στο εργαστήριο σε °C, η οποία θα πρέπει να μετρείται σε απόσταση μικρότερη από 50cm από το υπό εξέταση δοκίμιο.

t: Ο χρόνος ζωής του δοκιμίου. Μετρείται από τη στιγμή που ολοκληρώνεται η ανάμιξη του υλικού και εκφράζεται σε ώρες και λεπτά.

$\rho(t)$: ξηρή φαινόμενη πυκνότητα του MRC που έχει συμυκνωθεί τη χρονική στιγμή t, εκφρασμένη σε χιλιόγραμμα ανά κυβικό μέτρο (kg/m^3).

T_m : χρονική περίοδος εργασιμότητας εκφρασμένη σε ώρες και λεπτά.

10.7.2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ

10.7.2.1. ΠΡΩΤΟ ΣΤΑΔΙΟ

Κατά τη δοκιμή αυτή παρασκευάζονται δοκίμια από MRC που έχει ληφθεί από την ίδια μάζα τα οποία συμυκνώνονται με διαφορετικό τρόπο. Περνά ένα χρονικό διάστημα t από την ολοκλήρωση της ανάμιξης και έπειτα γίνεται η συμύκνωση.

Η χρονική περίοδος εργασιμότητας T_m του MRC ταυτίζεται με το χρόνο t που αντιστοιχεί σε δοκίμιο με ξηρή φαινόμενη πυκνότητα δύο τοις εκατό (2%) μικρότερη από αυτή που έχει το δοκίμιο όταν η συμπύκνωσή του γίνεται αμέσως μετά την ολοκλήρωση της ανάμιξης, τη χρονική στιγμή $t=0$.

10.7.2.2. ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Χρησιμοποιείται ο ίδιος μηχανικός εξοπλισμός με αυτόν που χρησιμοποιείται στην Τροποποιημένη Δοκιμή Proctor, σύμφωνα με τον Κανονισμό UNE 103501 ή ένας δονητής, τα χαρακτηριστικά του οποίου οφείλουν να είναι σύμφωνα με τα ενδεικνύόμενα του Κανονισμού NLT-310.

10.7.2.3. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Θα παρασκευαστούν τα δοκίμια από υλικό που έχει προέλθει από το προς ανακύκλωση οδόστρωμα. Το μίγμα θα πρέπει να επεξεργαστεί έτσι ώστε η κοκκομετρική του σύνθεση να είναι όσο το δυνατό παρόμοια με αυτή που θα αποκτήσει το υλικό μετά την αναμόχλευση και το θρυμματισμό που θα υποστεί από τον ανακυκλωτήρα. Το βάρος του υλικού που θα προετοιμαστεί για την παρασκευή των δοκιμίων είναι της τάξης των ογδόντα κιλών (80kg).

Το επεξεργασμένο μίγμα θα αναμιχθεί με το προβλεπόμενο ποσοστό επί τοις εκατό του τσιμέντου, νερού και αν κριθεί απαραίτητο χημικών πρόσθετων και επιπλέον θραυστών υλικών. Η ανάμιξη θα διαρκέσει τόσο χρόνο ώστε τελικά το μίγμα να αποκτήσει ένα ενιαίο χρώμα.

Από το μίγμα αυτό αφαιρούνται όλα τα στοιχεία που έχουν μέγεθος μεγαλύτερο των είκοσι εκατοστών (20mm) και τέλος παρασκευάζονται πέντε (5) δοκίμια ακριβώς ίδια. Τα τέσσερα (4) από αυτά θα αποθηκευτούν σε κλειστές νάυλον σακούλες και θα διατηρηθούν σε θερμοκρασία Θ , με

ένα περιθώριο απόκλισης μικρότερο από έναν κόμμα πέντε βαθμούς Κελσίου ($\pm 1,5^{\circ}\text{C}$).

10.7.2.4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ

Το πρώτο δοκίμιο θα συμπυκνωθεί αμέσως μετά την ανάμιξη, σύμφωνα με την μέθοδο που περιγράφεται στον Κανονισμό UNE 103501 ή στον Κανονισμό NLT-311. Τα υπόλοιπα δοκίμια θα συμπυκνωθούν μετά από ολοένα αυξανόμενα χρονικά διαστήματα διάρκειας t εκτιμώντας την τιμή της χρονικής περιόδου εργασιμότητας T_m . Ενδεικτικά, μπορούν να ληφθούν οι τιμές που φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Εκτιμώμενη T_m	Χρόνος t (ώρες)				
	Δοκίμιο 1	Δοκίμιο 2	Δοκίμιο 3	Δοκίμιο 4	Δοκίμιο 5
μικρή (<5ώρες)	0	1	3	5	7
μέση (5-12ώρες)	0	2	4	7	16
μεγάλη (>12ώρες)	0	4	7	16	24

Για κάθε χρονική στιγμή t πραγματοποιούνται δύο (2) δοκιμές συμπίκνωσης. Αν η φαινόμενη πυκνότητα των δοκιμίων αυτών δε διαφέρει περισσότερο από ένα τοις εκατό (1%), σύμφωνα με τον Κανονισμό UNE 103501 ή NLT 311, λαμβάνεται ως τελική φαινόμενη πυκνότητα η μέση τιμή των δύο πυκνοτήτων. Αν η απόκλιση είναι μεγαλύτερη, πρέπει να πραγματοποιηθεί μια νέα δοκιμή παρασκευάζοντας δύο όμοια δοκίμια και συμπυκνώνοντάς τα μετά από το ίδιο χρονικό διάστημα t . Η τιμή που λαμβάνεται θα είναι η μέση τιμή των δύο κοντινότερων τιμών.

10.7.2.5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Με τη βοήθεια των αποτελεσμάτων της παραπάνω δοκιμής, σχεδιάζεται η καμπύλη της πυκνότητας σε σχέση με το χρόνο κατά τον οποίο πραγματοποιήθηκε η συμπύκνωση των δοκιμίων. Η τιμή $\rho(0)$ που αποκτά το δοκίμιο το οποίο συμπυκνώνεται αμέσως μετά την ανάμιξη του μίγματος θα ονομάζεται πυκνότητα αναφοράς.

Η χρονική περίοδος εργασιμότητας T_m του MRC είναι ο χρόνος t στον οποίο έγινε η συμπύκνωση του δοκιμίου του οποίου η ξηρή φαινόμενη πυκνότητα $\rho(t)$, είναι ίση με το ενενήντα οκτώ τοις εκατό (98%) της πυκνότητας αναφοράς $\rho(0)$.

10.7.2.6. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Σε κάθε δοκιμή θα πρέπει να παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα και να γίνεται αναφορά της δοκιμής που έχει πραγματοποιηθεί και της μεθόδου που ακολουθήθηκε. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων πρέπει να περιλαμβάνει:

- ⇒ Την αναγνώριση του υπό μελέτη MRC.
- ⇒ Την καμπύλη διασποράς της ξηρής πυκνότητας ως προς το χρόνο μετά τον οποίο πραγματοποιείται η συμπύκνωση.
- ⇒ Τη θερμοκρασία Θ στα γειτονικά δοκίμια (μέση τιμή και μέγιστες αποκλίσεις).
- ⇒ Την χρονική περίοδο εργασιμότητας εκφρασμένη σε ώρες και λεπτά.
- ⇒ Λεπτομέρειες της μεθόδου.
- ⇒ Φαινόμενα μικρής σημασίας που μπορεί όμως να επηρεάσουν τα αποτελέσματα (αν συμβούν).

10.8 ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

10.8.1. ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ

10.8.1.1. ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Η εταιρία εφοδιασμού του τσιμέντου θα πρέπει να παρέχει ένα πιστοποιητικό ποιότητας στο οποίο θα φαίνεται ο τύπος και η προέλευση του τσιμέντου. Θα πρέπει ως εγγύηση να φαίνεται ότι πληρούνται οι απαιτήσεις του αντίστοιχου Άρθρου (Αρ.202). Η Διευθύνουσα Υπηρεσία του έργου μπορεί να απαιτήσει ένα αντίγραφο των αποτελεσμάτων των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο για να επιβεβαιώσει την καλή ποιότητα του τσιμέντου.

10.8.1.2. ΑΔΡΑΝΗ

Από τα αδρανή που θα χρησιμοποιηθούν ως διορθωτικά της κοκκομετρίας του μίγματος, κάθε προέλευσης και οποιουδήποτε προβλεπόμενου όγκου παραγωγής τους, θα ληφθούν τέσσερα δείγματα σύμφωνα με τον Κανονισμό UNE 83109, και για κάθε ένα από αυτά θα προσδιοριστούν:

- η κοκκομετρική τους ανάλυση, σύμφωνα με τον Κανονισμό UNE 7139
- η περιεκτικότητά τους σε θειικά στοιχεία, σύμφωνα με τον Κανονισμό UNE 83130.

Στην περίπτωση διόρθωσης του επίπεδου του εδάφους, συμπλήρωσης του πάχους της ανακυκλωμένης στρώσης ή πραγματοποίησης μιας διεύρυνσης του οδοστρώματος, θα χρησιμοποιηθεί κάποιο φυσικό ή τεχνητό χαλίκι ως επιπλέον θραυστό υλικό, θα γίνουν έλεγχοι προέλευσης αυτών που ενδείκνυνται στα Άρθρα 500 και 501 του τεύχους των γενικών τεχνικών προδιαγραφών για συγκοινωνιακά έργα.

10.8.2. ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

10.8.2.1. ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Για κάθε φορτίο τσιμέντου που φθάνει στο έργο θα ληφθούν δείγματα και σε αυτά θα πραγματοποιηθούν οι υποχρεωτικές δοκιμές αποδοχής, σύμφωνα με το Άρθρο 202 για την αποδοχή των τσιμέντων. Το δέκα τοις εκατό (10%) των ληφθέντων δειγμάτων θα συντηρηθούν τουλάχιστον μέχρι το τέλος της περιόδου εγγύησης.

Τουλάχιστον μία (1) φορά το μήνα ή κάθε φορά που παρατηρούνται ανωμαλίες στον εφοδιασμό του τσιμέντου μέσω των αποτελεσμάτων των απαραίτητων δοκιμών, θα πραγματοποιηθούν επίσης οι προαιρετικές δοκιμές.

Αν η αναλογία οποιουδήποτε συστατικού του τσιμέντου διαφέρει περισσότερο από πέντε (5) ποσοστιαίες μονάδες από αυτή που ίσχυε κατά τη μελέτη του μίγματος, για την αποδοχή του τρόπου εργασίας, αυτή θα πρέπει να επανεξεταστεί.

10.8.2.2. ΑΔΡΑΝΗ

Κατά την εκφόρτωση των αδρανών ή στη μηχανή της διάστρωσης θα εξεταστεί μακροσκοπικά αν αυτά περιέχουν υπολείμματα φυτικής γης, οργανικά υλικά ή έχουν μέγεθος μεγαλύτερο από το μέγιστο επιτρεπόμενο και αν ναι αυτά θα αφαιρεθούν.

Από τα αδρανή που χρησιμοποιούνται ως διορθωτικά της κοκκομετρίας του μίγματος, για κάθε ποσότητα αδρανών που λαμβάνεται θα πραγματοποιηθούν τουλάχιστον δύο (2) φορές την ημέρα οι ακόλουθες δοκιμές:

- κοκκομετρική ανάλυση, σύμφωνα με τον Κανονισμό NLT-150.
- περιεκτικότητα θεικών στοιχείων του λεπτού υλικού των αδρανών, σύμφωνα με τον Κανονισμό NLT-113.

Τουλάχιστον μία φορά το μήνα ή κάθε φορά που αλλάζει ο τόπος προέλευσης του πρόσθετου θραυστού υλικού θα υπολογίζεται:

- Ο δείκτης αδρότητας των χονδρόκοκκων αδρανών (índice de lajas del árido grueso), σύμφωνα με τον Κανονισμό NLT-354.
- Το ποσοστό των στοιχείων των χονδρόκοκκων αδρανών με δύο ή περισσότερα μέτωπα θραύσης σύμφωνα με τον Κανονισμό NLT-358.
- Το ποσοστό των μη καθαρών χονδρόκοκκων αδρανών, σύμφωνα με τον Κανονισμό NLT-172.

Τουλάχιστον μία φορά το μήνα ή όταν αλλάζει ο τόπος προέλευσης των αδρανών και τουλάχιστον τρεις φορές κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του έργου θα υπολογίζεται:

- Η αντοχή σε φθορά και κρούση κατά Los Angeles, σύμφωνα με τον Κανονισμό NLT-149.
- Η σχετική πυκνότητα και η απορροφητικότητα σύμφωνα με τους Κανονισμούς NLT-153 και NLT-154.

10.8.3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ

10.8.3.1. ΔΙΑΣΤΡΩΣΗ ΤΟΥ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

Όταν το σταθεροποιητικό υλικό διατρώνεται πάνω στο προς ανακύκλωση οδόστρωμα, η δοσολογία του θα ελέγχεται μέσω ενός καραβόπανου ή ενός δοχείου/ταψιού γνωστής επιφάνειας και βάρους. Θα τοποθετηθεί πάνω σε αυτά πριν την διάστρωσή του και έπειτα θα ζυγιστεί ξανά. Αυτός ο έλεγχος θα γίνεται τουλάχιστον μία φορά το πρωί και άλλη μία το βράδυ, ενώ πρέπει να αυξάνεται η συχνότητά του τις ημέρες που έχει άνεμο.

Όταν το σταθεροποιητικό εισάγεται κατευθείαν στη μηχανή της ανακύκλωσης σε μορφή γαλακτώματος, θα ελέγχεται, τουλάχιστον μία φορά το πρωί και μία το βράδυ, η λειτουργία των ακροφυσίων της έγχυσης

του. Επίσης, θα συγκρίνεται καθημερινά η πραγματική κατανάλωση του τσιμέντου με την παρεχόμενη πληροφορία κατανάλωσης από τον μικροεπεξεργαστή του ανακυκλωτήρα, για τον έλεγχο του προστιθέμενου όγκου του γαλακτώματος.

10.8.3.2. ΑΝΑΜΟΧΛΕΥΣΗ/ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΜΙΞΗ

Τουλάχιστον μία φορά την ημέρα ή τουλάχιστον μία φορά σε κάθε τμήμα, σύμφωνα με την παράγραφο 9.4, θα λαμβάνεται ένα δείγμα υλικού κατά την έξοδό του από τον ανακυκλωτήρα για να καθοριστεί η κοκκομετρία του, σύμφωνα με τον Κανονισμό UNE 7139.

Τουλάχιστον δύο φορές την ημέρα, μία φορά το πρωί και άλλη μία το βράδυ, και τουλάχιστον μία φορά σε κάθε τμήμα, θα ληφθεί ένα δείγμα υλικού κατά την έξοδό του από τη μηχανή της ανακύκλωσης για να παρασκευαστούν δύο σειρές από τρία δοκίμια κάθε ένα από τα οποία θα είναι σύμφωνο με τον ενδεικνυόμενο Κανονισμό NLT-108 ή με τον Κανονισμό NLT-310.

Αν η ανακύκλωση πραγματοποιηθεί με δύο μηχανές εξοπλισμού που δουλεύουν παράλληλα, θα κατασκευαστούν για κάθε μια από αυτές τα ίδια ενδεικνυόμενα δοκίμια της προηγούμενης παραγράφου.

Τα αναφερόμενα δοκίμια θα συντηρηθούν στις προβλεπόμενες από τον Κανονισμό UNE 83301, συνθήκες και θα δοκιμαστούν σε θλίψη, στις συγκεκριμένες ηλικίες, σύμφωνα με τον Κανονισμό NLT-305.

Τόσο ο αριθμός των σειρών όσο και των δοκιμίων ανά σειρά θα μπορεί να αυξηθεί αν αυτό επιβάλλεται από το τεύχος των τεχνικών προδιαγραφών ή από τη Διευθύνουσα Υπηρεσία του Έργου.

10.8.3.3. ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΣΕ ΥΓΡΑΣΙΑ

Η προσθήκη νερού ή γαλακτώματος θα ελέγχεται από τον μετρητή νερού του ανακυκλωτήρα, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η προδιαγραφόμενη ίδια υγρασία σε κάθε κομμάτι οδοστρώματος.

Σε κάθε μία από τις λωρίδες ανακύκλωσης θα πραγματοποιηθεί καθορισμός της υγρασίας μέσω πυρηνικού πυκνόμετρου, σε τυχαία σημεία, με ελάχιστη συχνότητα μία φορά ανά διακόσια τετραγωνικά μέτρα (200m^2) επιφάνειας. Με την συχνότητα που θα υποδείξει η Διευθύνουσα Υπηρεσία του έργου θα συγκριθούν τα αποτελέσματα αυτά με τα ληφθέντα αποτελέσματα μέσω ξήρανσης σε φούρνο σύμφωνα με τον Κανονισμό NLT-102.

10.8.3.4. ΒΑΘΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Τουλάχιστον δύο φορές σε κάθε ημέρα εργασίας, μία το πρωί και μία το βράδυ, πριν ακόμα αρχίσει η συμύκνωση, θα ελέγχεται το βάθος της εκσκαφής μόλις έχει περάσει ο ανακυκλωτήρας, μέσω του ανοίγματος ενός φρεατίου.

10.8.3.5. ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ

Θα επαληθευθεί η σύνθεση και η απόδοση του μηχανικού εξοπλισμού της συμύκνωσης, εξακριβώνοντας:

- ποιος αριθμός και ποιος τύπος συμπτυκνωτικών μέσων είναι ο εγκεκριμένος
- το χειρισμό των μηχανισμών ύγρυνσης και καθαρότητας
- το συνολικό βάρος και το έρμα των μηχανών συμύκνωσης, όπως και η πίεση του αέρα των τροχών των ελαστικοφόρων οδοστρωτήρων.
- τη συχνότητα και το φάρδος των δονητικών οδοστρωτήρων.
- τον αριθμό των διελεύσεων κάθε μηχανής συμύκνωσης.

Σε κάθε μία από τις λωρίδες της ανακύκλωσης θα καθοριστεί η πυκνότητα μέσω του πυρηνικού πυκνομέτρου (sonda nuclear) σε τυχαία σημεία, με μία ελάχιστη συχνότητα αυτή της μίας φορές ανά πεντακόσια τετραγωνικά μέτρα (500m^2) της επιφάνειας.

Για τον καθορισμό της μέσης πυκνότητας, η ράβδος με τη ραδιενεργή πηγή θα πρέπει να εισαχθεί μέχρι τον πυθμένα της ανακυκλωμένης στρώσης, ή τουλάχιστον μέχρι τριάντα εκατοστά (30cm) του βάθους αν το επεξεργασμένο πάχος είναι μεγαλύτερο. Σε περίπτωση που οι αποκτώμενες πυκνότητες είναι μικρότερες από τις προδιαγεγραμμένες θα συνεχιστεί η διαδικασία της συμπίκνωσης μέχρι να επιτευχθούν οι επιθυμητές τιμές.

10.8.3.6. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Θα ελεγχθεί αν η επιφάνεια του ανακυκλωμένου υλικού παραμένει συνεχώς υγρή πριν την εξάπλωση του γαλακτώματος συντήρησης.

Θα πραγματοποιηθεί ως ελάχιστο ένας ημερήσιος έλεγχος δοσολογίας του ασφαλικού γαλακτώματος και επίσης του προστατευτικού αδρανούς που θα εξαπλωθεί στη συνέχεια, μέσω του ζυγίσματός του σε μεταλλικούς δίσκους ή άλλους παρόμοιους μηχανισμούς με γνωστά επιφάνεια και βάρος, τοποθετώντας τους πάνω από την ανακυκλωμένη στρώση κατά τη διάρκεια της εφαρμογής της θεραπευτικής επάλειψης.

10.8.4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ ΤΕΛΙΚΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ

Το έργο χωρίζεται σε επιμέρους τμήματα ελέγχου τα οποία ικανοποιούν το δυσμενέστερο από τα ακόλουθα κριτήρια:

- πεντακόσια μέτρα (500m) καταστρώματος οδού
- τρεις χιλιάδες πεντακόσια τετραγωνικά μέτρα (3500m^2) καταστρώματος οδού
- το κομμάτι που κατασκευάζεται κάθε μέρα

Θα αποκοπούν πυρήνες σε τυχαία σημεία, σε αριθμό όχι μικρότερο από τον καθορισμένο από το τεύχος των ειδικών τεχνικών προδιαγραφών, και σε περίπτωση ελαττώματος ο αριθμός θα καθοριστεί από τη Διευθύνουσα Υπηρεσία του έργου και μέσω αυτών των δοκιμών θα καθοριστεί το πάχος.

Ο ελάχιστος αριθμός δοκιμών σε κάθε τμήμα θα είναι δύο (2) και θα αυξηθεί μέχρι πέντε (5) αν το πάχος κάποιου από τα δύο πρώτα είναι μικρότερο από το προδιαγεγραμμένο. Οι οπές που θα δημιουργηθούν θα ξαναγεμιστούν με υλικό της ίδιας ποιότητας με αυτό που έχει χρησιμοποιηθεί στην υπόλοιπη στρώση το οποίο θα είναι σωστά συμπυκνωμένο και ισοπεδωμένο.

Η επιφανειακή ομαλότητα της επεξεργασμένης στρώσης θα επαληθευθεί τόσο παράλληλα όσο και κάθετα στον άξονα του δρόμου, με κανόνα των τριών μέτρων (3m), σύμφωνα με τον Κανονισμό NLT-334.

10.8.5. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΧΗ Ή ΤΗΝ ΑΠΟΡΡΙΨΗ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

10.8.5.1. ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΟΜΑΛΟΤΗΤΑ

Οι ανωμαλίες που ξεπερνούν τα όρια των ανοχών που προδιαγράφονται θα πρέπει να διορθωθούν μέσω φρεζαρίσματος με μηχανικό εξοπλισμό πολλαπλών δίσκων, ή σε περίπτωση έλλειψης αυτού, με τον ήδη υπάρχοντα μηχανικό εξοπλισμό μετά από σύμφωνη γνώμη της Διευθύνουσας Υπηρεσίας των Έργων.

10.8.5.2. ΠΑΧΟΣ

Το αποκτώμενο πάχος θα πρέπει να κυμαίνεται ανάμεσα στα όρια που ορίζονται στην αντίστοιχη προδιαγραφή.

Το τεύχος των ειδικών τεχνικών προδιαγραφών θα αναφέρεται στην εκτίμηση των οικονομικών κυρώσεων που θα δοθούν για μειωμένο πάχος

του ανακυκλωμένου οδοστρώματος. Οι οικονομικές αυτές κυρώσεις δε θα πρέπει να είναι λιγότερο σημαντικές από τις ακόλουθες:

- αν το μέτρο της διαφοράς του μετρημένου και του προδιαγεγραμμένου πάχους είναι θετικό και όχι περισσότερα από ένα (1) δοκίμιο παρουσιάζει κάποια έλλειψη (αρνητική διαφορά) μεγαλύτερη από πέντε τοις εκατό (>5%), θα εφαρμοστεί στην ενιαία τιμή του τμήματος μια ποινή μηδέν κόμμα πέντε τοις εκατό (0,5%) για κάθε χιλιοστό (mm) του αντίστοιχου ελλείμματος.

- αν η έλλειψη είναι μικρότερη ή ίση με το πέντε τοις εκατό (5%) του θεωρητικού πάχους, και όχι περισσότερα από ένα (1) δείγμα παρουσιάσει μία έλλειψη πάχους μεγαλύτερη από το δέκα τοις εκατό (>10%) του αναφερθέντος πάχους, θα εφαρμοστεί στην ενιαία τιμή του τμήματος μια ποινή ενός τοις εκατό (1%) για κάθε χιλιοστό (mm) του αντίστοιχου ελλείμματος.

- στις υπόλοιπες περιπτώσεις θα αποξηλωθεί και θα επανακατασκευαστεί το τμήμα εις βάρος του Ανάδοχου, αν και η Διευθύνουσα Υπηρεσία του Έργου μπορεί να αποδεχτεί να αποκαταστήσει την έλλειψη με ασφαλτόμιγμα χωρίς να κοστίσει στον Ανάδοχο.

10.8.5.3. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

10.8.5.3.1. ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

Η αντοχή ενός τμήματος μιας καθορισμένης ηλικίας θα υπολογιστεί ως ή μέση τιμή των αντοχών των δοκιμίων που παράχθηκαν όπως αναφέρεται στην παράγραφο 10. 3.

Αν η αντοχή του τμήματος είναι μικρότερη από την απαιτούμενη αλλά όχι μικρότερη από το ενενήντα τοις εκατό (90%) αυτής, η Διευθύνουσα Υπηρεσία μπορεί να διαλέξει μεταξύ της αποδοχής των προβλεπόμενων ποινών του τεύχους των τεχνικών προδιαγραφών ή απαίτησης πραγματοποίησης των «δοκιμών πληροφοριών».

Οι αναφερόμενες ποινές δε θα μπορούν να είναι μικρότερες από την εφαρμογή μιας κύρωσης ως προς τη συνολική αξία του τμήματος της οποίας η ποσότητα θα είναι ίση με δύο (2) φορές την έλλειψη της αντοχής, εκφρασμένες και οι δύο σε ποσοστό επί τοις εκατό(%). Αν είναι μικρότερη από το ενενήντα τοις εκατό (90%) της απαιτούμενης αντοχής θα πραγματοποιηθούν δοκιμές πληροφοριών.

10.8.5.4. ΔΟΚΙΜΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Πριν περάσουν είκοσι έξι (26) μέρες από την πραγματοποίηση του έργου θα εξαχθούν από το αποδεκτό δοκιμαστικό τμήμα έξι (6) κυλινδρικοί πυρήνες, σύμφωνα με τον Κανονισμό UNE 83302. Οι πυρήνες αυτοί θα αποκοπούν από τυχαία σημεία, που απέχουν μεταξύ τους κατ' ελάχιστο επτά μέτρα (7m) κατά μήκος και είναι απομακρυσμένα τουλάχιστον πενήντα εκατοστά (50cm) από οποιαδήποτε ρωγή συστολής, εγκάρσιο αρμό ή άκρο. Τα δοκίμια αυτά θα δοκιμαστούν σε θλίψη, σύμφωνα με τον Κανονισμό UNE 83304, αφού θα έχουν διατηρηθεί σαράντα οκτώ (48) ώρες στον αέρα, στο περιβάλλον του εργαστηρίου, υπό τις συνθήκες που καθορίζει ο Κανονισμός UNE 83302.

Η Διευθύνουσα Υπηρεσία των Έργων θα μπορεί να διαβεβαιώσει ότι τα αναφερόμενα δοκίμια αποκόπηκαν από ένα αποδεκτό τμήμα του οποίου η κατάσταση και η ιστορία του το καθιστούν συγκρίσιμο με εκείνο που θα υποβληθεί σε δοκιμές πληροφοριών.

Η μέση τιμή των αποτελεσμάτων αυτών των δοκιμών θα συγκριθεί με τη μέση τιμή των αποτελεσμάτων του τμήματος αναφοράς.

- αν δεν είναι κατώτερα, το τμήμα θα θεωρηθεί αποδεκτό,
- αν είναι κατώτερα από αυτό, αλλά όχι κατώτερο από το ενενήντα τοις εκατό ($\geq 90\%$), θα εφαρμοστούν στο τμήμα αυτό οι προβλεπόμενες από το τεύχος των ειδικών τεχνικών προδιαγραφών κυρώσεις. Αν είναι κατώτερα από το ενενήντα τοις εκατό ($< 90\%$), αλλά όχι κατώτερα από το εβδομήντα

τοις εκατό ($\geq 70\%$), η Διευθύνουσα Υπηρεσία του έργου θα μπορεί να εφαρμόσει τις προβλεπόμενες κυρώσεις του τεύχους των ειδικών τεχνικών προδιαγραφών και να δώσει διαταγή αύξησης του πάχους της ανώτερης στρώσης έτσι ώστε να αποκαταστήσει την έλλειψη των αντοχών, χωρίς να αυξήσει το κόστος για τη Διοίκηση. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις η Διευθύνουσα Υπηρεσία των Έργων θα διατάζει καταστροφή του τμήματος και επανακατασκευή αυτού εις βάρος του Ανάδοχου. Οι αναφερόμενες κυρώσεις δε θα μπορεί να είναι μικρότερες από την εφαρμογή μιας ποινής ως προς τη συνολική αξία του τμήματος, της οποίας η ποσότητα θα είναι ίση με δύο (2) φορές την έλλειψη της αντοχής, εκφρασμένων και των δύο σε ποσοστά επί τοις εκατό (%).

10.9 ΑΠΟΖΗΜΙΩΣΗ

Η ανακύκλωση με τσιμέντο θα πληρωθεί σε τετραγωνικά μέτρα (m^2) ανακυκλωμένης επιφάνειας, με πάχος ενδεικνυόμενο στα Σχέδια σε τύπο διατομής, το οποίο θα ληφθεί ως ελάχιστο σε οποιοδήποτε σημείο. Η προαναφερθείσα επιφάνεια θα προσδιοριστεί πολλαπλασιάζοντας τα πλάτη των διατομών των ενδεικνυόμενων τύπων διατομών των σχεδίων επί το μήκος στο οποίο έχει εκτελεστεί ο καθένας. Δε θα έχουν δικαίωμα για μία αύξηση της πληρωμής στις υπερκαλυπτόμενες ζώνες ή στις επιφάνειες που λόγω κάποιας έλλειψης έγινε απαραίτητη η ανακύκλωση περισσότερες από μία φορές.

Στην τιμή πληρωμής θα εμπεριέχονται όλες οι επεμβάσεις και τα απαραίτητα υλικά για τη σωστή ολοκλήρωση του έργου, εκτός από το τσιμέντο και αν χρειαστεί τα αδρανή συνεισφοράς.

Τόσο το τσιμέντο, όσο και τα αδρανή συνεισφοράς θα μετρηθούν σε τόνους (t) που πραγματικά χρησιμοποιήθηκαν στο έργο, και που μετρήθηκαν απευθείας με προκαθορισμένη ζυγαριά.

10.10 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ

NLT – 102 Υγρασία μέσω ξήρανσης σε φούρνο

NLT – 105 Όριο Υδαρότητας με τη μέθοδο της μηχανής Casagrande

NLT – 106 Όριο Πλαστικότητας

NLT – 108 Μέγιστη ξηρή πυκνότητα (Τροποποιημένη Μέθοδος Proctor)

NLT – 113 Ισοδύναμο άμμου

NLT – 117, 120 Χημική ανάλυση εδαφικών υλικών (προσδιορισμός οργανικών, οξειδίων και θειικών ιόντων)

NLT – 149 Αντοχή σε τριβή και κρούση (Los Angeles)

NLT – 150 Κοκκομετρική ανάλυση (χονδρών και λεπτών υλικών)

NLT – 153 Σχετική πυκνότητα και απορρόφηση ύδατος από χονδρά αδρανή

NLT – 154 Σχετική πυκνότητα και απορρόφηση ύδατος από λεπτόκοκκα αδρανή

NLT – 172 Αδρανή. Καθορισμός της επιφανειακής καθαρότητας.

NLT – 305 Αντοχή σε απλή θλίψη υλικών επεξεργασμένων με υδραυλικές κονίες

NLT – 310 Συμπύκνωση με δονητική σφύρα κοκκωδών, επεξεργασμένων υλικών

NLT – 334 Μέτρο επιφανειακής ανωμαλίας οδοστρώματος (με τρίμετρο κανόνα σταθερό ή κυλιόμενο)

UNE 80243 Μέθοδοι δοκιμών σε τσιμέντο. Χημική ανάλυση. Προσδιορισμός του ελεύθερου οξειδίου του ασβεστίου.

UNE 83302 Δοκιμές σε σκυρόδεμα. Λήψη και συντήρηση των πυρήνων που θα δοκιμαστούν

UNE-EN 196-1 Μέθοδοι δοκιμών σε τσιμέντο. Μέρος 1^ο: Προσδιορισμός της μηχανικής αντοχής

UNE-EN 196-3 Μέθοδοι δοκιμών σε τσιμέντο. Μέρος 3^ο: Προσδιορισμός της του χρόνου πήξης και τη σταθερότητα του όγκου του.

NLT-xxx ή NLT-yyy Χρονική περίοδος εργασιμότητας ενός υλικού ανακυκλωμένου με τσιμέντο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

ΕΠΙΣΚΕΨΗ ΣΕ ΕΡΓΟ ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΕΝ ΨΥΧΡΩ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΣΤΟ HERMISÉNTE ΤΗΣ ΙΣΠΑΝΙΑΣ

11.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μέρος της διπλωματικής εργασίας εκπονήθηκε στην Ισπανία. Κατά την παραμονή μου εκεί και με τη βοήθεια του σύμβουλου ισπανού καθηγητή μου, μου δόθηκε η ευκαιρία να επισκεφτώ δύο έργα επιτόπου εν ψυχρώ ανακύκλωσης οδοστρώματος με τσιμέντο. Το πρώτο βρισκόταν στο στάδιο εκτέλεσης του έργου και το δεύτερο είχε ολοκληρωθεί και βρισκόταν ήδη, εδώ και ένα χρόνο σε λειτουργία. Στη συνέχεια διατυπώνεται μια περίληψη των επισκέψεων αυτών.

11.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ

11.2.1. ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ ΚΑΙ ΛΟΓΟΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ

Το έργο της ανακύκλωσης έλαβε χώρα σε τμήμα επαρχιακού δρόμου του χωριού Hermisénτε της Ισπανίας, που βρίσκεται σε απόσταση περίπου διακοσίων χιλιομέτρων από την πόλη Ávila. Συγκεκριμένα, ο δρόμος είχε κατεύθυνση από την πόλη Sanabria προς το χωριό Hermisénτε. Το έργο πραγματοποιήθηκε σε μήκος εννέα συνεχών χιλιομέτρων του δρόμου και σε ένα τμήμα αυτού, απόστασης τριών χιλιομέτρων που καταλήγει στα σύνορα Ισπανίας - Πορτογαλίας. Ο προς ανακύκλωση δρόμος παρουσίαζε πολλές αστοχίες λόγω κόπωσης, είχε επιφάνεια με αλγαιατική, πυκνή ρωγμάτωση (Εικ.11.1,11.2) και επιπλέον χαρακτηριζόταν από πολλές επιφανειακές ανωμαλίες. Υπήρξε ένα ενδιάμεσο τμήμα για το οποίο δε θεωρήθηκε αναγκαία η ανακύκλωση του οδοστρώματος, δεδομένου ότι αυτό ένωνε μικρά χωριά και ο κυκλοφοριακός φόρτος ήταν πολύ χαμηλός. Έτσι, παρόλο που και το τμήμα αυτό παρουσίαζε πολλές αστοχίες λόγω κόπωσης (αλλά με λιγότερες ανωμαλίες από το προς ανακύκλωση οδόστρωμα), αποφασίστηκε ως πιο συμφέρουσα λύση η διάστρωση μιας στρώσης ασφαλομίγματος αντί της ανακύκλωσης. Έξάλλου, το γεγονός ότι οι δρόμοι της Πορτογαλίας βρίσκονται σε πολύ κακή κατάσταση (Εικόνα 11.3), συμβάλλει στον χαμηλό κυκλοφοριακό φόρτο των οδών αυτών. Όταν και οι

δρόμοι της Πορτογαλίας βελτιωθούν είναι πολύ πιθανό η κυκλοφορία να αυξηθεί και επομένως τότε, να χρειαστεί να γίνει ανακύκλωση και στο τμήμα αυτό. Τέλος, υπήρχαν τμήματα δρόμου με προβλήματα οριζοντιογραφίας. Αυτά κατασκευάστηκαν εκ νέου με τη τεχνική της ανακύκλωσης με αποτέλεσμα τόσο τη βελτίωση της οριζοντιογραφίας όσο και τη χάραξη της ερυθράς.

11.2.2. ΤΟ ΕΡΓΟ

Η ανακύκλωση του οδοστρώματος έγινε επιτόπου, εν ψυχρώ με τσιμέντο και νερό. Το βάθος επεξεργασίας ήταν είκοσι έξι εκατοστά (26cm). Ταυτόχρονα, πραγματοποιήθηκε διαπλάτυνση κατά δύο μέτρα (2m). Το αρχικό πλάτος του δρόμου ήταν τέσσερα μέτρα (4m). Το πλάτος του ανακυκλωτήρα που χρησιμοποιήθηκε ήταν δύο κόμμα πέντε μέτρα (2.5m) και επομένως η ανακύκλωση του δρόμου πραγματοποιήθηκε με διαχωρισμό αυτού σε τρεις (3) λωρίδες. Από την πρώτη και δεύτερη λωρίδα επικαλύφθηκαν περίπου μηδέν κόμμα εβδομήντα πέντε μέτρα (0.75m), κατά την ανακύκλωση της δεύτερης και τρίτης λωρίδας αντίστοιχα. Αναλυτικότερα, είναι 2.5m (πλάτος ανακυκλωτήρα) μείον 0.75m (επικάλυψη κατά την ανακύκλωση της γειτονικής λωρίδας) επί 2 (λωρίδες που επικαλύπτονται), συν 2,5m (το πλάτος της τελευταίας λωρίδας (που ισούται και με το πλάτος του ανακυκλωτή). Συνολικά, $(2.5-0.75)*2+2.5 = 6m$.

Αρχικά, τοποθετήθηκε το επιπλέον πρόσθετο θραυστό υλικό πάνω στην επιφάνεια των διαπλατύνσεων (Εικόνες 11.4, 11.5 και 11.6). Στην επιφάνεια του παλιού δρόμου δεν χρειάστηκε να γίνει προσθήκη επιπλέον θραυστού υλικού, εφόσον το παλιό υλικό περιείχε πολλά χονδρόκοκκα αδρανή. Ο παλιός δρόμος αποτελούταν από μια στρώση μακάνταμ και μία στρώση αργίλου που χαρακτηρίζοταν από έντονες διόγκωτικές τάσεις (Εικ.11.7). Αυτό σημαίνει ότι με τη μεταβολή της υγρασίας ο όγκος της αργίλου μεγάλωνε. Με μικρή λοιπόν, αύξηση της υγρασίας παρατηρούταν σημαντική μείωση της αντοχής σε θλίψη του υλικού. Έτσι, παρόλο που η τελική επιφάνεια φαινόταν πολύ ομαλή και λεία, κάθε κίνηση της αργίλου αναδύοταν στην επιφάνεια. Η επιφάνεια αυτή δεν παραμορφωνόταν αλλά «έσπαγε» δημιουργώντας ρωγμές ανοίγματος ενός ή δύο εκατοστών. Η επιλογή όμως, μιας άλλης λύσης αποκατάστασης του οδοστρώματος θα απαιτούσε πολύ μεγαλύτερο οικονομικό κόστος. Είναι γνωστό εκ των προτέρων ότι ο καινούριος ανακυκλωμένος δρόμος δε θα αντέξει παρά

μόνο για λίγα χρόνια. Η λύση όμως της ανακύκλωσης θεωρήθηκε η βέλτιστη δυνατή και ταυτόχρονα πιο οικονομική για την αντιμετώπιση της υπάρχουσας κατάστασης. Στη συνέχεια περιγράφονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την εκτέλεση του συγκεκριμένου έργου.

Ο ανακυκλωτήρας φρεζάρει το οδόστρωμα μέχρι βάθους είκοσι έξι εκατοστών (26cm), προστίθεται η απαιτούμενη ποσότητα τσιμέντου και νερού σε μορφή γαλακτώματος, το μίγμα ανακατεύεται και αφήνεται επεξεργασμένο στο πίσω μέρος του ανακυκλωτήρα (Εικ.11.8&11.9). Αμέσως μετά γίνεται μια προκαταρκτική συμπίκνωση από τον οδοστρωτήρα (Εικ.11.10&11.11). Ακολουθεί ο ισοπεδωτήρας που διαμορφώνει τις απαιτούμενες κλίσεις και επικλίσεις και μορφώνει την τελική επιφάνεια (Εικ.11.12). Τέλος το επεξεργασμένο μίγμα συμπυκνώνεται ξανά (Εικ.11.13) και συντηρείται με διάστρωση μιας απλής ή διπλής ασφαλικής επικάλυψης με γαλάκτωμα στην επιφάνειά του (Εικ.11.14).

Στο έργο αυτό παρουσιάστηκε πρόβλημα με τον εφοδιασμό του τσιμέντου. Συγκεκριμένα, έπρεπε να γίνεται ανεφοδιασμός 550 τόνων ημερησίως. Επειδή όμως η τσιμεντοβιομηχανία βρισκόταν πολύ μακριά από τον τόπο του έργου, η ανάδοχος εταιρία χρησιμοποίησε ένα δικό της φορτηγό-σιλό (Εικόνα 11.15), το οποίο προμήθευε τον διανεμητήρα με τσιμέντο κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του έργου (Εικόνα 11.16). Επιπλέον, ένα φορτηγό της τσιμεντοβιομηχανίας εφοδίαζε το προαναφερθέν φορτηγό-σιλό όποτε αυτό απαιτείτο. Γενικά, η συχνότητα εφοδιασμού τσιμέντου εξαρτάται από το πάχος της στρώσης που ανακυκλώνεται και την ποσότητα του τσιμέντου που κατανέμεται ανά τετραγωνικό μέτρο. Στο συγκεκριμένο έργο, κάθε δύο λεπτά καταναλώνεται ένας τόνος (1t) τσιμέντου. Ο διανεμητήρας είχε χωρητικότητα εικοσιπέντε τόνων (25t) και επομένως κάθε πενήντα λεπτά έπρεπε να γίνει επανεφοδιασμός. Το τσιμέντο μεταφέρεται από το φορτηγό-σιλό στο διανεμητήρα μέσω μιας αντλίας που παρέχει αέρα υπό την πίεση μίας ατμόσφαιρας (1Atm) (Εικόνα 11.16). Η μεταφορά ολοκληρώνεται σε είκοσι έως είκοσι πέντε λεπτά (20-25min).

Το τσιμέντο που χρησιμοποιείται στο έργο περιέχει λιγότερο κλίνκερ και περισσότερο ιπτάμενη τέφρα, έτσι ώστε η περίοδος εργασιμότητας να είναι όσο το δυνατό μεγαλύτερη. Επιπλέον, χρησιμοποιώντας τσιμέντα που περιέχουν

λιγότερο κλίνκερ, ο χρόνος ενυδάτωσής τους είναι μεγαλύτερος κι επομένως ο κίνδυνος ανάδυσης ρωγματώσεων μειώνεται. Οι πυρήνες επτά (7) ημερών που δοκιμάζονται σε θλίψη και περιέχουν τσιμέντο με μεγάλο χρόνο ενυδάτωσης, δεν δίνουν μια ακριβή ιδέα σχετικά με αυτό που πραγματικά συμβαίνει. Η αντοχή σε θλίψη του υλικού μπορεί να ελεγχθεί με τη λήψη πυρήνων σε καθημερινή βάση. Λαμβάνονται πυρήνες κάθε τρεις μέρες έτσι ώστε αν δεν επιτυγχάνεται η επιθυμητή αντοχή να υπάρχει δυνατότητα διόρθωσης. Αν η περιεκτικότητα των πυρήνων σε τσιμέντο είναι μικρή τότε μπορεί να γίνει μια γρήγορη διόρθωση. Συγκεκριμένα, στο έργο αυτό, η περίοδος ενυδάτωσης του τσιμέντου που χρησιμοποιήθηκε ήταν μεγάλη και τα αποτελέσματα των δοκιμών πυρήνων τριών ημερών να μην είναι ομοιόμορφα. Αυτό αποτέλεσε ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα.

Ο εφοδιασμός του νερού μπορεί να γίνεται ταυτόχρονα με την εκτέλεση του έργου της ανακύκλωσης. Το βυτιοφόρο κινείται ταυτόχρονα με την ίδια ταχύτητα με τον διανεμητήρα γαλακτώματος και τον ανακυκλωτήρα. Η διαδικασία, δηλαδή, εκτέλεσης του έργου δεν χρειάζεται να διακοπεί για να γίνει ο εφοδιασμός του νερού (εικ.11.17-11.19) (αντιθέτως με τον εφοδιασμό του τσιμέντου).

Ένα δεύτερο πρόβλημα σχετίζεται με την πυκνότητα του υλικού. Το προς ανακύκλωση υλικό είναι πολύ εύθραυστο με αποτέλεσμα όταν φρεζάρεται να θραύεται περισσότερο από το αναμενόμενο. Έτσι, τόσο η κοκκομετρική σύνθεση του υλικού όσο και η πυκνότητα μπροστά και πίσω από τον ανακυκλωτήρα διαφέρουν. Εξάλλου η πυκνότητα ποτέ δεν μπορεί να προκύψει η ίδια προσθέτοντας 3, 4 ή 5% τσιμέντο σε λεπτό υλικό. Επιπλέον, σε αυτό το έργο υπήρχαν παλιά και καινούρια τμήματα δρόμου, γεγονός που έκανε ακόμα πιο μεγάλη τη διασπορά που εμφάνιζε η τιμή της πυκνότητας σε διάφορα σημεία. Στο έργο αυτό θα έπρεπε αφού γίνει και η συμπύκνωση του υλικού, να γίνουν δοκιμές Proctor για την εύρεση της πυκνότητας και της υγρασίας. Το πρόβλημα, δηλαδή, βαδίζει με την ταχύτητα εκτέλεσης του έργου. Οι εργαζόμενοι στο εργαστήριο όμως, είναι αδύνατο να ακολουθήσουν τους ρυθμούς αυτούς έτσι ώστε να εξασφαλίζεται τόσο η πυκνότητα όσο και η υγρασία σε κάθε σημείο. Αυτό που συνήθως γίνεται είναι να παρασκευάζονται δοκίμια από υλικό που βρίσκεται μπροστά από τον ανακυκλωτήρα και κατάλληλο ποσοστό γαλακτώματος -

τσιμέντου, από τα οποία προκύπτει μια πυκνότητα αναφοράς. Επιδιώκεται να υπάρχει η ίδια πυκνότητα και πίσω από τον ανακυκλωτήρα μετά την αναμόχλευση, τον θρυμματισμό και τη συμπίκνωση του μίγματος.

Όσον αφορά στην συμπίκνωση του ανακυκλωμένου υλικού θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή. Αν υπάρχει πολύ υγρασία τότε ο οδοστρωτήρας θα μετακινείται δημιουργώντας υψώματα και κοιλότητες. Αν η υγρασία είναι λιγότερη από τη βέλτιστη που αναφέρεται στη μελέτη, τότε ο οδοστρωτήρας θα διαχωρίζει το μίγμα. Επομένως, η βέλτιστη υγρασία κάθε υλικού σε κάθε σημείο βρίσκεται και μέσω οπτικού ελέγχου. Στη συνέχεια γίνεται η συμπίκνωση.

Αυτό που συνήθως γίνεται είναι να βρίσκεται η πυκνότητα του υλικού όταν έχει πραγματοποιηθεί μία μόνο διέλευση του οδοστρωτήρα. Στη συνέχεια να προσδιορίζονται οι τιμές της πυκνότητας όταν ο οδοστρωτήρας διέλθει δεύτερη, τρίτη και τέταρτη φορά. Μετά από κάθε διέλευση προκύπτουν διαφορετικές τιμές πυκνότητας. Έτσι, με τις τιμές αυτές χαράσσεται μια καμπύλη και ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή παρατηρείται πώς αυξάνει η τιμή της πυκνότητας με την αύξηση του αριθμού των διελεύσεων του οδοστρωτήρα. Μετά από πολλές διελεύσεις, το υλικό τελικά διαχωρίζεται. Θα πρέπει να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή πυκνότητα χωρίς όμως να διαχωριστεί το μίγμα. Αυτό μπορεί να γίνει μόνο πρακτικά. Η ιδανική κοκκομετρική καμπύλη είναι θεωρητική. Σε ένα έργο ανακύκλωσης αυτό που μπορεί να γίνει είναι η όσο το δυνατόν καλύτερη εκμετάλλευση και βελτίωση του υπάρχοντος υλικού. Η κοκκομετρική σύνθεση του παλιού υλικού μπορεί να βελτιωθεί προσθέτοντας την απαιτούμενη ποσότητα καθαρού θραυστού. Πρέπει να προστεθεί τσιμέντο αλλά χωρίς να γίνει υπερδοσολογία αυτού. Το επεξεργασμένο υλικό πρέπει να συμπτυκνωθεί αλλά πάντα πρέπει να υπάρχει ένα όριο συμπίκνωσης (διελεύσεων του οδοστρωτήρα). Το παλιό υλικό που υπάρχει είναι αυτό που παίζει το σημαντικότερο ρόλο και με αυτό επιχειρείται να κατασκευαστεί ο καινούριος δρόμος. Όταν ανακυκλώνεται ο παλιός δρόμος, δεν είναι σπάνιο τα υλικά που εμφανίζονται να είναι πολύ διαφορετικά μεταξύ τους (ένα τμήμα σκυρωτό μακάνταμ, άλλο από χαλίκι, άλλο από συνδετικό υλικό - γιατί π.χ. στο προς ανακύκλωση τμήμα είχαν διαστρωθεί τρεις στρώσεις ασφαλτομίγματος). Επομένως, παρόλο που το ανακυκλωμένο υλικό δεν πρόκειται ποτέ να είναι το ίδιο κατά μήκος του δρόμου, η μελέτη της ανακύκλωσης θα πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε το τελικό υλικό να

παραμένει όσο το δυνατό πιο ομοιογενές. Η αντοχή του θα είναι διαφορετική σε κάθε σημείο αλλά αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα. Αυτό που πρέπει να επιτευχθεί είναι κάθε σημείο του νέου δρόμου να έχει τουλάχιστον την ελάχιστη αντοχή έτσι ώστε ο δρόμος να λειτουργεί σωστά. Η λογική ότι ο ανακυκλωμένος δρόμος θα πρέπει να είναι τέλειος, είναι λάθος. Απεναντίας, πρέπει να επικρατεί το σκεπτικό του πώς θα μετατραπεί το παλιό υλικό σε όσο το δυνατό καλύτερο, έτσι ώστε να μπορεί να ανταποκριθεί στις κυκλοφοριακές απαιτήσεις του καινούριου δρόμου. Το γεγονός ότι το υλικό θα είναι ετερογενές είναι απολύτως λογικό. Η ομοιογένεια παρέχεται τελικά από το τσιμέντο το οποίο ενώνει όλα τα υλικά μεταξύ τους.

11.2.3. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΟΣ – ΑΝΑΜΟΧΛΕΥΣΗ/ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΛΙΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

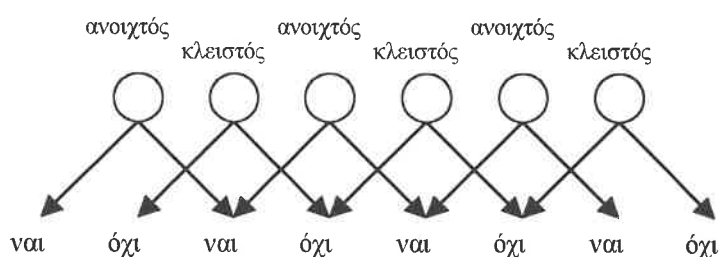
Το μηχάνημα παρασκευής και διανομής του τσιμέντου (διανεμητήρας) προπορεύεται του ανακυκλωτήρα (εικ.11.20). Η ποσότητα του νερού και του τσιμέντου που εισέρχεται στο μίγμα ρυθμίζεται από έναν υπολογιστή (εικ.11.21). Υπάρχει ένας ηλεκτρονικός πίνακας (εικ.11.22), στον οποίο φαίνονται:

- η ταχύτητα κίνησης του ανακυκλωτή (m/min)
- το πλάτος εργασίας (2,5m)
- η πυκνότητα του υλικού (Kg/m^3)
- το βάθος επεξεργασίας (260mm)
- η κατανάλωση του νερού τόσο σε ποσοστό επί τοις εκατό του βάρους των ξηρών υλικών όσο και σε λίτρα ανά λεπτό (l/min)
- η κατανάλωση του τσιμέντου σε ποσοστό επί τοις εκατό του βάρους των ξηρών υλικών και σε κιλά ανά λεπτό (kg/min)

Το ηλεκτρονικό σύστημα μπορεί να λειτουργεί είτε αυτόματα είτε με ανθρώπινο χειρισμό. Στην αυτόματη επιλογή, η ταχύτητα του ανακυκλωτήρα ρυθμίζεται αυτόματα να είναι πάντα ίση με την ταχύτητα του διανεμητήρα. Σε αυτό το σημείο πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή εφόσον, πολύ συχνά, παρόλο που φαίνεται η ταχύτητα των δύο μηχανών να είναι ίδια, αυτό δεν ισχύει στην

πραγματικότητα. Αν ο ανακυκλωτήρας συναντήσει κάποιο υλικό, που είναι πιο σκληρό, τότε αμέσως η ταχύτητά του μειώνεται από π.χ. 13m/min σε 10m/min, ενώ σε αντίθετη περίπτωση η ταχύτητα αυξάνεται. Στον διανεμητήρα υπάρχει ένας διάφανος σωλήνας στον οποίο φαίνεται η στάθμη του νερού που απομένει στο μηχάνημα (εικ.11.20). Τέλος, υπάρχουν δύο φώτα, ένα κόκκινο και ένα πράσινο, ενδεικτικά της ποσότητας του τσιμέντου που απομένει στο μηχάνημα (εικ.20). Όταν το πράσινο φως ανάψει είναι ένδειξη της μικρής ποσότητας τσιμέντου που απομένει στον διανεμητήρα και πρέπει να γίνει ανεφοδιασμός.

Στην καμπίνα του οδηγού του ανακυκλωτήρα (εικ.11.25&11.26) επίσης υπάρχει ένας πίνακας (εικ.11.27), παρόμοιος με αυτόν που περιγράφηκε παραπάνω. Υπάρχουν κουμπιά που ρυθμίζουν το ποσοστό του νερού και του τσιμέντου που θα ελευθερωθούν από τους εγχυτήρες. Αυτοί είναι σωλήνες από τους οποίους εγχέεται το τσιμέντο με τη μορφή γαλακτώματος στο φρεζαρισμένο υλικό. Είναι δυνατό να κλείσει η έξοδος μερικών εγχυτήρων έτσι ώστε αν χρειαστεί, να προστίθεται μικρότερη ποσότητα γαλακτώματος στο μίγμα. Για παράδειγμα, κατά την ανακύκλωση του ακραίου τμήματος της λωρίδας εργασίας (0,75m) όπου ο ανακυκλωτήρας διέρχεται δύο φορές - προκειμένου να μη δημιουργηθεί διαχωριστική γραμμή μεταξύ των γειτονικών λωρίδων - μπορεί να κλείσει η έξοδος των μισών εγχυτήρων (ανά δύο κλείνουν όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα), για την αποφυγή υπερδοσολογίας του τσιμέντου.



Σχήμα 11.1. Επιλογή του τρόπου λειτουργίας των εγχυτήρων του γαλακτώματος.

Υπάρχουν επίσης κουμπιά που δίνουν εντολές εκτάκτου ανάγκης όπως για παράδειγμα η άμεση διακοπή της εργασίας (εικ.11.23). Ένα ηχητικό όργανο αποτελεί απαραίτητο εξάρτημα τόσο του ανακυκλωτήρα όσο και του διανεμητήρα του τσιμέντου. Και στα δύο μηχανήματα υπάρχουν ηλεκτρονικές ενδείξεις για την αποδοτικότητα, τη θερμοκρασία και την πίεση του λαδιού της μηχανής (εικ.11.24 και 11.27). Οι μηχανές είναι κατασκευασμένες έτσι ώστε να

μπορούν να δεχτούν τέσσερα διαφορετικά υγρά. Στο συγκεκριμένο έργο ο ανακυκλωτήρας είναι προετοιμασμένος για να παρέχει ένα μόνο υγρό. Επιπλέον, υπάρχουν διακόπτες που ρυθμίζουν το άνοιγμα (εικ.11.29) και κλείσιμο του θαλάμου μέσα στον οποίο βρίσκεται το περιστρεφόμενο οδοντωτό τύμπανο εκσκαφής (εικ.11.30). Ο ανακυκλωτήρας μπορεί να κινείται προς τα μπροστά και προς τα πίσω. Έξω και πίσω από την καμπίνα του οδηγού του ανακυκλωτήρα υπάρχει ένας κανόνας στον οποίο ο οδηγός μπορεί να βλέπει το βάθος επεξεργασίας του οδοστρώματος (εικ.11.28). Τέλος, κάθε φορά που ο ανακυκλωτήρας σταματάει αφήνει πίσω του ένα χαντάκι (εικ.11.31). Όταν συνεχίσει, θα πρέπει να αρχίσει τουλάχιστον ενάμισυ μέτρο πίσω από αυτό. Κάθε φορά που ο ανακυκλωτήρας σταματά γίνεται έλεγχος της κατάστασης των δοντιών εκσκαφής του τυμπάνου και αντικαθίστανται όσα από αυτά έχουν σπάσει (Εικ.11.32).

11.2.4. ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ

Ο οδοστρωτήρας που χρησιμοποιείται στο έργο είναι δονητικός με λείους τροχούς (εικ.11.11 και 11.13) με ένα κύλινδρο, βάρους τριακοσίων πενήντα τόνων (350t) και ακολουθεί πάντα τον ανακυκλωτήρα, έτσι ώστε το ανακυκλωμένο υλικό να συμπυκνώνεται το συντομότερο μετά την ανάμιξη του μίγματος. Η εργασία που κάνει ο οδοστρωτήρας έχει πολύ μεγάλη σημασία για το τελικό αποτέλεσμα, αφού από αυτόν καθορίζεται η τελική υφή της επιφάνειας. Στο σημείο αυτό, είναι αξιοσημείωτο να αναφερθεί ότι κατά την επίσκεψη, ο υπεργολάβος του έργου που με συνόδευε έκανε έντονες παρατηρήσεις στον οδηγό του οδοστρωτήρα για να μειώσει την ταχύτητα οδήγησής του. Λόγω της μεγάλης ταχύτητας του οδοστρωτήρα, το υλικό παρουσίαζε πολλές επιφανειακές ρωγμές και σε πολλά σημεία υπήρχε μεγάλος κίνδυνος αποκόλλησης μεγάλων κομματιών υλικού. Επιπλέον, όποτε χρειαζόταν ο οδοστρωτήρας σταμάταγε, προκειμένου να καθαριστεί ο κύλινδρος του από κομμάτια υλικού ή γαλακτώματος συντήρησης των οποίων η προσκόλληση επάνω στο τύμπανο, εμπόδιζαν τη σωστή συμπύκνωση του οδοστρώματος (εικ.11.34). Μάλιστα, ο υπεργολάβος πίστευε ότι το υλικό ήταν πολύ λεπτό και δεν συμπυκνωνόταν καλά με το συγκεκριμένο οδοστρωτήρα. Σύμφωνα με την κρίση του μηχανικού, η

επιλογή του τύπου του οδοστρωτήρα ήταν κακή και η χρήση ενός ελαστικοφόρου οδοστρωτήρα θα έδινε πολύ καλύτερα αποτελέσματα.

11.2.5. ΙΣΟΠΕΔΩΣΗ

Ο ισοπεδωτήρας διαμορφώνει τις απαιτούμενες κλίσεις και επικλίσεις και ταυτόχρονα μορφώνει την επιφάνεια του οδοστρώματος. Στους παλιούς δρόμους, όπου υπάρχει μία προκαθορισμένη ερυθρά με τις αντίστοιχες κλίσεις και επικλίσεις, πρέπει να γίνει εκμετάλλευση των δεδομένων αυτών. Αντίθετα, σε νέα τμήματα δρόμου πρέπει να χαραχθεί η ερυθρά και να βρεθούν οι επικλίσεις του δρόμου σε κάθε σημείο.

Σε καινούριους δρόμους έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται ο ισοπεδωτήρας με τη χρήση του συστήματος 3D. Αναλυτικότερα, τοποθετείται ένα ταχύμετρο ή ένας αυτόματος θεοδόλιχος πάνω στο δρόμο, σε σημείο με γνωστό υψόμετρο, με τέτοιο τρόπο ώστε να «κοιτά» τον ισοπεδωτήρα. Ο ισοπεδωτήρας φέρει έναν αισθητήρα και έναν υπολογιστή. Ο θεοδόλιχος στέλνει στον ισοπεδωτήρα δεδομένα για τη θέση στην οποία βρίσκεται και ο ισοπεδωτήρας με τη σειρά του μετακινεί τη λεπίδα του, έτσι ώστε να έχει την επιθυμητή κατά μήκος κλίση και εγκάρσια επίκλιση σε κάθε σημείο, με ακρίβεια της τάξης περίπου των επτά χιλιοστών (7mm). Στην Ισπανία υπάρχουν περίπου εννέα ισοπεδωτήρες αυτού του τύπου.

Ένα άλλο σύστημα είναι ο καθορισμός των κλίσεων και επικλίσεων με τη βοήθεια τοπογράφων μηχανικών. Αυτοί τοποθετούν σταδίες και δίνουν το ακριβές υψόμετρο κάθε σημείου. Οι σταδίες πρέπει να τοποθετούνται πάντα πίσω από τον ανακυκλωτήρα γιατί σε αντίθετη περίπτωση θα τις παρασύρει. Μέσω της τοπογραφικής μελέτης που γίνεται ο ισοπεδωτήρας ρυθμίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να πετυχαίνει σε κάθε σημείο το επιθυμητό υψόμετρο του εδάφους.

Με χρήση του συστήματος 3D το σύνολο της εργασίας γίνεται με πολύ γρήγορους ρυθμούς και με μεγαλύτερη ακρίβεια. Ο ισοπεδωτήρας από οικονομικής άποψης κοστίζει το ίδιο και για τα δύο συστήματα. Το μόνο που ουσιαστικά κοστίζει στο σύστημα 3D είναι ο τοπογραφικός μηχανικός εξοπλισμός. Όμως, εξοικονομούνται ένας τοπογράφος και τρεις εργάτες (για το κράτημα των σταδίων). Η ενοικίαση του αυτόματου τοπογραφικού μηχανικού

εξοπλισμού είναι σαφώς πιο φθηνή λύση από την πρόσληψη τριων εργατών. Επομένως το αυτόματο σύστημα είναι οικονομικά πιο συμφέρον και κυρίως, γρηγορότερο και ακριβέστερο. Επιπλέον, σε μία συνηθισμένη ημέρα, σε ένα τμήμα δρόμου όπου επικρατούν κανονικές συνθήκες εργασίας, ανακυκλώνονται περίπου χίλια τετραγωνικά μέτρα ($1000\text{m}^2/\text{ημέρα}$) (π.χ. σε ένα δρόμο πλάτους δέκα μέτρα ανακυκλώνεται μήκος ενός χιλιομέτρου). Για να πραγματοποιηθεί το παραπάνω έργο απαιτούνται όχι μία αλλά δύο ομάδες τοπογράφων (δύο τοπογράφοι και έξι εργάτες), που είναι αμφίβολο αν θα βρεθούν την ώρα που χρειάζονται.

Στο συγκεκριμένο έργο, δεν έγινε καμία τοπογραφική μελέτη ούτε στα τμήματα όπου προϋπήρχε δρόμος αλλά ούτε και σε τμήματα όπου κατασκευαζόταν δρόμος εξ αρχής (εικ.11.33). Οι εργάτες μετρούσαν πρόχειρα το πλάτος του δρόμου και ανά πέντε περίπου μέτρα τοποθετούσαν ένα σημάδι βάφοντας με χρώμα ή τοποθετώντας σημάδια (εικ.11.4 και 11.33), ενδεικτικά για την πορεία που πρέπει να ακολουθήσει ο ισοπεδωτής. Σύμφωνα με τα λεγόμενα του Υπεργολάβου του έργου, θα έπρεπε να ακολουθηθεί ένα από τα παραπάνω συστήματα και να σημειωθεί κάθε σημείο από το οποίο πρέπει να περάσει ο ανακυκλωτής. Ο συγκεκριμένος, όμως, δρόμος είναι ασήμαντος από κυκλοφοριακής άποψης και επομένως παρακάμφθηκε η διαδικασία αυτή για οικονομικούς λόγους.

11.2.6. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Μετά τη μόρφωση της τελικής επιφάνειας του ανακυκλωμένου οδοστρώματος ακολουθεί η διαδικασία συντήρησης. Διαστρώθηκε μία λεπτή στρώση γαλακτώματος που είχε προστατευτικό ρόλο (εικ.11.35-11.37). Συγκεκριμένα μέσω αυτής, εμποδίζεται η έξοδος του νερού από το επεξεργασμένο μίγμα και διευκολύνεται η σωστή ενυδάτωση του τσιμέντου, μέχρι να τοποθετηθεί η επιφανειακή στρώση ασφαλομίγματος. Στα τμήματα που έχει ήδη διαστρωθεί η προστατευτική στρώση γαλακτώματος και ο δρόμος έχει δοθεί στην κυκλοφορία, τα οχήματα που περνάνε φέρουν στις ρόδες τους, κομμάτια από το γαλάκτωμα και τα αφήνουν μερικά μέτρα πιο μακριά. Από τα σημεία από τα οποία ξεκολλάν κομμάτια της στρώσης γαλακτώματος δημιουργούνται οπές (εικ.11.38). Ένας υπεύθυνος πρέπει να περάσει να ελέγξει τις οπές αυτές και αν θεωρηθούν μεγάλου εύρους να επικαλυφθούν ξανά με γαλάκτωμα. Το σωστότερο βέβαια,

που θα έπρεπε να γίνει είναι να τοποθετηθεί μια στρώση γαρμπιλιού πάνω από το γαλάκτωμα έτσι ώστε αυτό να παραμένει ανέπαφο από τα οχήματα που διέρχονται. Τα λόγια όμως του υπεργολάβου ήταν επακριβώς: «Κάθε φορά που πρέπει να προστεθεί κάποιο υλικό παραπάνω κοστίζει χρήματα», και λόγω του ότι ο δρόμος ήταν μικρής σημασίας επιλέχθηκε να μην προστεθεί αυτή η στρώση.

11.2.7. ΧΑΡΑΞΗ ΑΡΜΩΝ

Στο έργο αυτό δεν έγινε χάραξη αρμών. Κανονικά θα έπρεπε να υπάρχει μηχανή που μετά τον ανακυκλωτήρα να χαράσσει του αρμούς. Ο τύπος του τσιμέντου που χρησιμοποιείται περιέχει 30% ιπτάμενη τέφρα. Η σύνθεση αυτή συμβάλλει στην παράταση της περιόδου εργασιμότητας του υλικού και στον περιορισμό των ρωγμών που αναδύονται στη στρώση κύλισης του ανακυκλωμένου οδοστρώματος.

11.2.8. ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Το έργο ελέγχεται καθημερινά από δύο εργαστηριακούς. Ένας έχει προσληφθεί από τη διεύθυνση του έργου και ο δεύτερος από την κατασκευαστική εταιρία. Σε περίπτωση που υπάρξει οποιοδήποτε πρόβλημα, ο κατασκευαστής έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει τα αποτελέσματα των δειγμάτων που έχει εξασφαλίσει ο υπάλληλός του. Σύμφωνα με τον υπεργολάβο λαμβάνονται μόνο δύο πυρήνες καθημερινά, δείγμα πάρα πολύ μικρό. Η ιδανική υγρασία του έργου είναι 10,3%, η πυκνότητα $1,8t/m^3$, η αντοχή σε τρεις μέρες είναι 6.2 MPa και σε επτά 12.5MPa. Κάποιες δοκιμές όμως, έδειξαν ότι η αντοχή των πυρήνων που εξάχθηκαν ήταν η ίδια τόσο μετά από τρεις όσο και μετά από επτά ημέρες. Αυτό αποτελούσε ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα που απασχόλησε πολύ τους υπεύθυνους του έργου οι οποίοι καταλήξανε στις ακόλουθες πιθανές αιτίες:

- Δεν γίνεται καλή συμύκνωση του υλικού και για το λόγο αυτό υπάρχει αυτή η διαφορά.
- Το επιπλέον θραυστό υλικό που προστίθεται είναι σχιστόλιθος, ο οποίος θρυμματίζεται πολύ εύκολα. Η προμήθεια του σχιστολίθου γίνεται από βουνά κοντινών στο έργο περιοχών (εικ.11.39), αφού πρώτα υποστούν την κατάλληλη κατεργασία σε εργοστάσια εγκατεστημένα επίσης κοντά στην

περιοχή (εικ.11.40). Έτσι, όταν ο ανακυκλωτήρας φρεζάρει το οδόστρωμα, ρηγματώνει εύκολα τους κόκκους του, με αποτέλεσμα το μίγμα να χάνει την αναμενόμενη αντοχή του.

- Είναι τυχαία γεγονότα και για το λόγο αυτό θα έπρεπε να ληφθούν περισσότερα δείγματα. Αν δοκιμές περισσότερων πυρήνων καταλήξουν στο ίδιο αποτέλεσμα θα πραγματοποιηθεί δοκιμαστική φόρτιση με πλάκα προκειμένου να βρεθούν οι παραμορφώσεις σε όλο το βάθος επεξεργασίας.

11.2.9. ΣΧΟΛΙΑ

1. Επικρατεί ευρέως η σκέψη της προσθήκης χημικών πρόσθετων στο μίγμα με σκοπό να καθυστερήσει η ενυδάτωση του τσιμέντου κι επομένως, να αυξηθεί η περίοδος εργασιμότητας του ανακυκλωμένου υλικού. Με τις κλιματολογικές και καιρικές συνθήκες που επικρατούν κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του έργου και με το τύπο τσιμέντου που χρησιμοποιείται (30% ιπτάμενη τέφρα), αυτό δε χρειάζεται να γίνει. Σε περίπτωση που επιλεγεί να γίνει προσθήκη χημικών πρόσθετων, θα πρέπει να προστεθεί ποσοστό ίσο με ένα έως τρία τοις εκατό (1 - 3%) του βάρους του τσιμέντου. Δηλαδή, για εκατόν πενήντα τόνους (150t) τσιμέντου, απαιτούνται τρία έως έξι κιλά (3 - 6kg) χημικού πρόσθετου καθημερινά και αυτό συνεπάγεται πολύ μεγαλύτερο κόστος. Με τη χρήση τσιμέντου με ιπτάμενη τέφρα η μέση περίοδος εργασιμότητας αυξάνεται από τρεις (3) σε πέντε (5) ώρες. Αυτό που γίνεται στην πραγματικότητα είναι να διαμορφώνεται η τελική επιφάνεια της ανακυκλωμένης στρώσης μέσα στο χρονικό διάστημα των τριών ωρών. Επιπλέον, θα πρέπει να παρατηρηθεί ότι με τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες η ενυδάτωση του τσιμέντου δεν γίνεται με γρήγορους ρυθμούς.
2. Το υλικό που υπήρχε ήταν αργιλικό, δηλαδή είχε αυξημένη περιεκτικότητα σε πολύ λεπτό υλικό και κατά συνέπεια απαιτείτο μεγαλύτερη ποσότητα τσιμέντου.
3. Κάθε μονάδα πυκνότητας που υπολείπεται έχει ως συνέπεια δέκα μονάδες απώλειας αντοχής.

4. Κατά τη διάρκεια του έργου η κυκλοφορία των οχημάτων από τα τμήματα του δρόμου που ανακυκλώνονταν δε σταμάτησε. Κάθε φορά που ανακυκλώνονταν μια λωρίδα (πλάτους 2.5 μέτρων), η κίνηση της κυκλοφορίας διοχετεύονταν στις γειτονικές λωρίδες (εικ.11.41-11.43).

11.3 ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΟΥ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Πραγματοποιήθηκε η επίσκεψη ενός αυτοκινητόδρομου ο οποίος είχε ανακυκλωθεί επιτόπου με τσιμέντο πριν από ένα χρόνο. Παρατηρήθηκαν μερικές αστοχίες οι οποίες μπορεί να οφείλονταν σε διαφορετικές αιτίες η καθεμία. Ήταν αστοχίες κυρίως δύο τύπων. Ελάχιστες αστοχίες, που πιθανόν να προκλήθηκαν από έλλειψη τσιμέντου, από κάποια απότομη διακοπή εργασίας ή στάση του ανακυκλωτήρα. Ο δεύτερος τύπος αστοχίας δεν είχε να κάνει με την εκτέλεση του έργου αλλά με την κατολίσθηση του εδάφους στα πρηνή των βουνών. Για την αποφυγή των αστοχιών αυτών θα έπρεπε να γίνουν έργα αντιστήριξης, που έχουν πολύ μεγάλο κόστος. Ο κυκλοφοριακός φόρτος αυτού του επαρχιακού δρόμου είναι μικρός, τόσο που δεν δικαιολογεί μεγάλα έξοδα για την κατασκευή του. Επομένως, αρκεί η αποκατάστασή του μέσω της λύσης της τεχνικής της ανακύκλωσης. Είναι γνωστό ότι η λύση αυτή θα διαρκέσει μόλις δύο ή τρία χρόνια αλλά η επιδιόρθωση του παλιού δρόμου γίνεται με το πιο φθηνό και εξίσου αποτελεσματικό τρόπο. Παρά όμως τις αστοχίες λόγω κατολισθήσεων, το ανακυκλωμένο οδόστρωμα παρουσιάζει μια πολύ ικανοποιητική συμπεριφορά.

11.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατά την εκτέλεση ενός έργου ανακύκλωσης οδοστρώματος για την ενίσχυση ή την επισκευή παλιού ασφαλτικού οδοστρώματος μπορεί να αναδυθούν πολλά προβλήματα. Ο οικονομικός παράγοντας παίζει καθοριστικό ρόλο στην εκτέλεση του έργου. Ο μηχανικός έχει στόχο να πετύχει την ανακύκλωση του οδοστρώματος εξασφαλίζοντας τουλάχιστον την ελάχιστη επιτρεπόμενη αντοχή με τον οικονομικότερο τρόπο. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά του ανακυκλωμένου με τσιμέντου ασφαλτικού οδοστρώματος παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον και η συμπεριφορά του υλικού είναι πολύ ικανοποιητική. Άλλωστε τα πλεονεκτήματα της ανακύκλωσης ασφαλτικών οδοστρωμάτων με τσιμέντο, όπως αναφέρθηκαν και στο πρώτο κεφάλαιο, είναι πολλά. Τόσο από τεχνικοοικονομικής όσο και από

περιβαλλοντικής άποψης η τεχνική της ανακύκλωσης οδοστρωμάτων θα προσέφερε πολλά στην ελληνική οδική υποδομή η οποία προσφέρεται για ανακύκλωση εφόσον οι περισσότεροι παλιοί δρόμοι αποτελούνται από μεγάλο ποσοστό απόσκυρωτό και θραυστό υλικό. Η επιπόνηση όμως των οδοστρωμάτων αυτών είναι σήμερα πολύ μεγάλη και απαιτείται αναβάθμιση της φέρουσας ικανότητάς τους, η οποία δεν μπορεί να επιτευχθεί οικονομικά με τους κλασσικούς τρόπους ενίσχυσης. Έτσι, η εφαρμογή της τεχνικής της ανακύκλωσης προτείνεται αναμφισβήτητα και στην Ελλάδα.



Εικόνα 11.1 και 11.2: Επιφάνεια με αλιγατορική, πυκνή ρωγμάτωση του προς ανακύκλωση δρόμου και λεπτομέρεια των αστοχιών λόγω κόπωσης



Εικόνα 11.3: Σύνορα Ισπανίας – Πορτογαλίας. Στο βάθος φαίνονται οι χωματόδρομοι της Πορτογαλίας σε αντίθεση με το ανακυκλωμένο οδόστρωμα της Ισπανίας



Εικόνες 11.4 και 11.5:
Διάστρωση θραυστού
υλικού κατά μήκος
της διαπλάτυνσης της
παλιάς οδού



Εικόνα 11.6:
Λεπτομέρεια της
διάστρωσης επιπλέον
αδρανών στη λωρίδα
διαπλάτυνσης της
παλιάς οδού



Εικόνα 11.7: Διατομή του παλιού, προς ανακύκλωση οδοστρώματος. Στρώση σκυρωτή, αργίλου και ασφαλτομίγματος (από κάτω προς τα πάνω)



Εικ. 11.8



Εικ. 11.9



Εικ. 11.10



Εικ. 11.11



Εικ. 11.12



Εικ. 11.13



Εικ. 11.14

Εικόνες:

11.8: Ανακυκλωτήρας

11.9: Ανακυκλωμένο υλικό αμέσως μετά το φρεζάρισμα και την ανάμιξη των υλικών.

11.10 και 11.11: Δονητικός οδοστρωτήρας με λείους τροχούς – ακολουθεί τον ανακυκλωτήρα

11.12: Ισοπεδωτήρας – ακολουθεί τον οδοστρωτήρα

11.13: Τελική συμπίκνωση του ανακυκλωμένου υλικού

11.14: Συντήρηση του ανακυκλωμένου οδοστρώματος με επάλειψη της επιφάνειας με γαλάκτωμα



Εικόνα 11.15: Φορητό – σιλό για τον εφοδιασμό τσιμέντου



Εικόνα 11.16: Εφοδιασμός τσιμέντου (σε σκόνη), με τη βοήθεια αντλίας αέρα υπό πίεση 1Atm



Εικόνα 11.17: Βυτιοφόρο
για τον εφοδιασμό του νερού



Εικόνα 11.18:
Εφοδιασμός νερού
(χωρίς διακοπή της
εκτέλεσης του έργου)



Εικόνα 11.19:
Λεπτομέρεια της
διαδικασίας
εφοδιασμού νερού



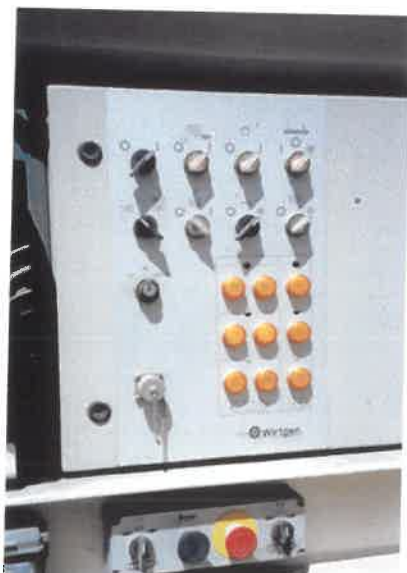
Εικόνα 11.20: Διανεμητήρας τσιμέντου σε μορφή γαλακτώματος. Φαίνεται το πράσινο και κόκκινο φως στο πάνω, δεξί, πίσω μέρος του, ενδεικτικό της ποσότητας του τσιμέντου που έχει απομείνει στο μηχανήμα. Δίπλα: Σωλήνας ένδειξης της στάθμης του νερού που απομένει στο μηχανήμα



Εικόνα 11.21: Ηλεκτρονικός υπολογιστής που βρίσκεται στο πίσω και πλαϊνό μέρος του μηχανήματος. Φαίνεται ο αναμικτήρας τσιμέντου και νερού (στο πίσω τμήμα του μηχανήματος)



Εικόνα 11.22: Μικροϋπολογιστής για την επιλογή των δόσεων τσιμέντου και νερού



Εικόνα 11.23: Πίνακας με διακόπτες λειτουργίας και ενδεικτικά λαμπάκια για την ποσότητα των υλικών που έχουν απομείνει στον διανεμητήρα. Στο κάτω μέρος φαίνεται το χειριστήριοφοράς κίνησης του μηχανήματος



Εικόνα 11.24: Πίνακας ενδείξεων της μηχανής



Εικόνα 11.25: Ανακυκλωτήρας



Εικόνα 11.26: Καμπίνα του οδηγού του ανακυκλωτήρα



Εικόνα 11.27: Πίνακας ρυθμίσεων, αντίστοιχος με αυτόν που υπάρχει στο διανεμητήρα



Εικόνα 11.28: Κανόνας ένδειξης του βάθους ανακύκλωσης του οδοστρώματος



Εικόνα 11.29: Ανοιχτός θάλαμος του οδοντοφόρου τυμπάνου εκσκαφής/ανάμιξης



Εικόνα 11.30: Περιστρεφόμενο οδοντοφόρο τύμπανο εκσκαφής και ανάμιξης του υλικού.



Εικόνα 11.31: Στάση του ανακυκλωτήρα με αποτέλεσμα τη δημιουργία λακκούβας στο σημείο αυτό



Εικόνα 11.32: Αντικατάσταση των δοντιών εκσαφής του τυμπάνου του ανακυκλωτήρα



Εικόνα 11.33: Βελτίωση της οριζοντιογραφίας. Κατασκευή νέου δρόμου μέσω της τεχνικής της ανακύκλωσης. Έχει διαστρωθεί επιπλέον θραυστό υλικό στην επιφάνεια, προκειμένου να διορθωθεί η κοκκομετρική σύνθεση του προς ανακύκλωση υλικού. Οι κόκκινοι πάσσαλοι που φαίνονται στις άκρες του δρόμου ορίζουν τα σημεία από τα οποία θα πρέπει να περάσει ο ισοπεδωτήρας.



Εικόνα 11.34: Καθαρισμός του κυλίνδρου του δονητικού οδοστρωτήρα από κομμάτια γαλακτώματος που έχουν προσκολληθεί σε αυτό.



Εικόνα 11.35: Βυτιοφόρο
γαλακτώματος συντήρησης



Εικόνα 11.36: Επάλειψη του
ανακυκλωμένου οδοστρώματος
με γαλάκτωμα συντήρησης



Εικόνα 11.37: Τελική όψη του ανακυκλωμένου
οδοστρώματος



Εικόνα 11.38: Τροχιές των κινούμενων οχημάτων –
μεταφορά κομματιών της στρώσης του γαλακτώματος
συντήρησης σε μακρύτερα σημεία του δρόμου.



Εικόνα 11.39: Σχιστόλιθος



Εικόνα 11.40: Εργοστάσιο κατεργασίας σχιστολίθου



Εικ.11.41



Εικ.11.42



Εικ.11.43

Εικόνες 11.41 – 11.43:
Διατήρηση της κίνησης της
κυκλοφορίας με διοχέτευσή
της στις γειτονικές λωρίδες τη
λωρίδας που ανακυκλώνεται
κάθε φορά



Εικόνα 11.44: Ανακυκλωμένο με τσιμέντο οδόστρωμα (ενός χρόνου)



Εικόνα 11.45: Διαφορά μεταξύ παλιού και νέου (ενός έτους) ανακυκλωμένου οδοστρώματος



Εικόνα 11.46: Αστοχία του ανακυκλωμένου οδοστρώματος, ενδεχομένως λόγω έλλειψης τσιμέντου στο συγκεκριμένο σημείο (πιθανή στάση του ανακυκλωτήρα)



Εικόνα 11.47: Αστοχία λόγω κατολίσθησης των πρανών



Εικόνα 11.48: Λεπτομέρεια της αστοχίας της εικόνας 11.47 - Ρωγμές μεγάλου εύρους

12.1 ΣΚΟΠΟΣ

Όπως συμπεράναμε στο κεφάλαιο 4, όπου έγινε αναφορά και μελέτη των μηχανικών χαρακτηριστικών ανακυκλωμένου οδοστρώματος με τσιμέντο, τόσο το μέτρο ελαστικότητας όσο και ο λόγος του Poisson αποτελούν ιδιότητες του ανακυκλωμένου υλικού, που επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό τη συμπεριφορά του οδοστρώματος. Οι αναπτυσσόμενες τάσεις και παραμορφώσεις στις διάφορες στρώσεις του οδοστρώματος και επομένως ο αριθμός των διελεύσεων των φορτίων που αντέχει το ανακυκλωμένο οδόστρωμα εξαρτάται από τα μεγέθη αυτά. Το μέτρο ελαστικότητας μπορεί να προσδιορισθεί είτε σε μονοαξονική θλίψη (ομοιόμορφη ορθογωνική κατανομή τάσεων) είτε σε εφελκυσμό (ομοιόμορφη ορθογωνική κατανομή τάσεων) είτε σε κάμψη (τριγωνική κατανομή τάσεων). Η συμπεριφορά ενός υλικού ενδέχεται να είναι διαφορετική όταν αυτό δοκιμάζεται σε κάμψη, σε εφελκυσμό ή σε θλίψη. Η δοκιμή της θλίψης αποτελεί την πρότυπη δοκιμή μέσω της οποίας προσδιορίζεται συνήθως το μέτρο ελαστικότητας. Η επιπόνηση όμως του οδοστρώματος από τα φορτία είναι σε κάμψη. Ο προσδιορισμός όμως της αντοχής σε κάμψη και του αντίστοιχου μέτρου ελαστικότητας στηρίζεται στη θεώρηση ότι η συμπεριφορά του υλικού είναι ελαστική. Θεώρηση η οποία μόνο στο αρχικό τμήμα της φόρτισης είναι αληθής. Επομένως η αντοχή σε κάμψη είναι ένα «θεωρητικό» μέγεθος που πλησιάζει την πραγματικότητα όσο το υλικό συμπεριφέρεται ελαστικά. Αντίθετα, η δοκιμή σε καθαρό εφελκυσμό δίνει ως αποτέλεσμα αντοχής ένα πραγματικό μέγεθος μη εξαρτούμενο από υποθέσεις ελαστικής συμπεριφοράς. Όμως, και αυτή η δοκιμή δεν είναι «τέλεια» γιατί στην πράξη είναι πολύ δύσκολο να πραγματοποιηθεί δοκιμή σε μονοαξονικό εφελκυσμό, λόγω δυσκολίας εφαρμογής του μονοαξονικού φορτίου και της αναπόφευκτης εκκεντρότητας που παρουσιάζεται κατά τη διάρκεια της δοκιμής από έκκεντρη ρηγμάτωση. Βασισμένοι στις παραπάνω σκέψεις θεωρήθηκε σκόπιμο να γίνει ο έλεγχος αν το μέτρο ελαστικότητας που προσδιορίζεται μέσω δοκιμών κάμψης ή εφελκυσμού είναι το ίδιο με αυτό που προσδιορίζεται μέσω της δοκιμής σε θλίψη.

12.2 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΠΡΙΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας, παρασκευάστηκαν δεκαοκτώ πρισματικά δοκίμια διαφορετικής σύνθεσης. Συγκεκριμένα, παρασκευάστηκαν τρεις σειρές έξι δοκιμίων, τρία με διαστάσεις 100mmx100mmx400 και τρία με διαστάσεις 100mmx100mmx500mm σε κάθε σειρά, από διαφορετική αναλογία καθαρού θραυστού υλικού και φρεζαρισμένου ασφαλτομίγματος – 100/0, 50/50 και 25/75 με προσθήκη **5% κ.β. τσιμέντο** και **5,2% κ.β. νερό** (του βάρους των ξηρών υλικών). [Υποσημείωση: Τα δοκίμια 25/75 έγιναν από λάθος με αυτή την αναλογία. Έπρεπε να γίνουν με αναλογία καθαρού / φρεζαρισμένου υλικού 75/25 αλλά εφόσον από λάθος παρασκευάστηκαν, δοκιμάστηκαν αυτά].

Αρχικά επιλέχθηκε η κοκκομετρική σύνθεση των συστατικών υλικών – θραυστών και φρεζαρισμένων. Όλα τα υλικά ζυγίστηκαν και εν συνεχεία κοσκινίστηκαν ξεχωριστά έτσι ώστε να γίνει γνωστή η κοκκομετρία τους (εικ.12.1). Στη συνέχεια αποφασίστηκε η κοκκομετρική σύνθεση αυτών έτσι ώστε η κοκκομετρική καμπύλη (σχ.12.1-12.3) που δημιουργείται για κάθε μίγμα να συμφωνεί με τις αντίστοιχες κοκκομετρικές καμπύλες του ερευνητικού προγράμματος του εργαστηρίου οδοποιίας του ΕΜΠ^[8,12,13]. Τόσο η κοκκομετρική σύνθεση του κάθε συστατικού όσο και η τελική σύνθεση του μίγματος από το οποίο παρασκευάστηκαν τα δοκίμια, παρουσιάζονται στους πίνακες που επισυνάπτονται (πίν.12.1 – 12.3).

Συγκεκριμένα, τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την παρασκευή των δοκιμίων είναι τα εξής:

- 1) Ζύγισμα των υλικών. Το νερό και το τσιμέντο ζυγίζονται τελευταία προκειμένου να μη χαθεί βάρος λόγω εξάτμισης του πρώτου και λεπτότητας του δεύτερου.
- 2) Τοποθετούνται όλα τα ξηρά υλικά στον αναμικτήρα (εικ.12.2) και προστίθενται τα δύο τρίτα περίπου του βάρους του νερού. Αναμιγνύονται (εικ.12.3) και το μίγμα αφήνεται είκοσι λεπτά σκεπασμένο με σκοπό την απορρόφηση του νερού από τα αδρανή και την ισοκατανομή της υγρασίας στο μίγμα (εικ.12.4).

- 3) Μετά το τέλος του παραπάνω εικοσαλέπτου προστίθεται το υπόλοιπο νερό και το τσιμέντο (εικ.12.5) και το μίγμα αναμιγνύεται ξανά. Ελέγχεται ότι το μίγμα είναι ομοιόμορφο και διακόπτεται η λειτουργία του αναμικτήρα.
- 4) Λαδώνονται οι μήτρες.
- 5) Τοποθετείται το υλικό στις μήτρες (εικ.12.6).
- 6) Το υλικό συμπυκνώνεται με δονητική σφύρα. Η συμπύκνωση των δοκιμίων γίνεται σε δύο στρώσεις των 5 cm.
- 7) Αναμοχλεύεται η επιφάνεια του συμπυκνωμένου υλικού έτσι ώστε να γίνει πλήρης ένωση της πρώτης και της δεύτερης στρώσης υλικού.
- 8) Γίνεται συμπύκνωση και της δεύτερης στρώσης με τοποθέτηση μιας επέκτασης καθ' ύψος, πάνω στη μήτρα του δοκιμίου, έτσι ώστε το επιπλέον υλικό να συγκρατείται κατά τη διάρκεια της συμπύκνωσης. Ως τέτοια επέκταση χρησιμοποιήθηκε η παράπλευρη επιφάνεια μιας ίδιας μήτρας (χωρίς πυθμένα) (εικ.12.7).
- 9) Αφαιρείται το υλικό που βρίσκεται εκτός των ορίων της μήτρας (εικ.12.8).
- 10) Η ελεύθερη επιφάνεια του δοκιμίου ισοπεδώνεται με τη βοήθεια μιας μεταλλικής πλάκας που τοποθετείται πάνω σε αυτή, η οποία δονείται μέσω της δονητικής σφύρας (εικ.12.9).
- 11) Τα δοκίμια (εικ.12.10) καλύπτονται με νάilon και με μια νωπή λινάτσα και τοποθετούνται στον ειδικό θάλαμο συντήρησης όπου επικρατούν συνθήκες υγρασίας μεγαλύτερες από 97%, προκειμένου να μη χάσουν την υγρασία τους.
- 12) Το ξεκαλούπωμα των δοκιμίων γίνεται την επόμενη ημέρα (εικ.12.11).
- 13) Τα δοκίμια μετά το ξεκαλούπωμα παρέμειναν στο θάλαμο συντήρησης ($20\pm 2^{\circ}\text{C}$, $\text{RH}>97\%$).

12.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

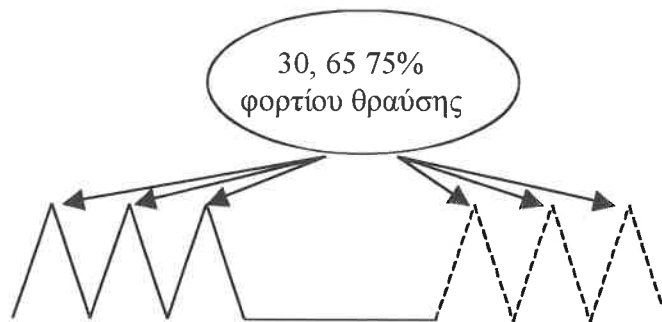
Όλες οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο της Οδοποιίας σε οερβοϋδραυλική μηχανή MTS (Material Test System). Μετρήθηκαν οι παραμορφώσεις των δοκιμίων σε κάμψη, εφελκυσμό και θλίψη και μέσω αυτών των μετρήσεων βρέθηκε στη συνέχεια το μέτρο ελαστικότητας. Συγκεκριμένα οι μετρήσεις αυτές έγιναν με δύο τρόπους:

- ⇒ Με ηλεκτρομηκυνσιόμετρα αντιστάσεως (Strain Gages)
- ⇒ Με ηλεκτρομηκυνσιόμετρα επαγωγικού τύπου (LVDT)

12.3.1. ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

Κατά τη δοκιμή σε κάμψη μέσω της μηχανής MTS (εικ.12.12) επιβλήθηκε συγκεντρωμένη φόρτιση στα τρίτα του θεωρητικού μήκους των πρισματικών δοκιμίων. Η στήριξη των LVDT έγινε με τη βοήθεια δύο διατάξεων: α) με αρθρωτή στήριξη επιτρέπущα περιστροφές και οριζόντια μετακίνηση (εικ.12.14) και β) με αρθρωτή στήριξη μη επιτρέπущα καμία μετακίνηση (εικ.12.15). Παρατηρήθηκε όμως ότι η δεύτερη διάταξη λόγω ακριβώς αυτών των περιορισμών των μετακινήσεων, δεν έδινε καλά αποτελέσματα και το μέτρο ελαστικότητας που προσδιοριζόταν προέκυπτε πολύ μεγάλο. Για το λόγο αυτό η εφαρμογή της διάταξης αυτής εγκαταλείφθηκε. Δοκιμάστηκαν δύο «δίδυμα» δοκίμια διαστάσεων 100mm x 100mm x 400mm, που αποτελούνταν από το ίδιο ακριβώς υλικό, ενώ αρχικά ένα τρίτο δοκίμιο - επίσης του ίδιου υλικού - υπέστη κατευθείαν θραύση προκειμένου να βρεθεί η αντοχή αυτού. Στον πίνακα 12.12 φαίνονται συγκεντρωτικά οι αντοχές των δοκιμίων στην αντίστοιχη δοκιμή. Επιπλέον, τοποθετήθηκαν ηλεκτρομηκυνσιόμετρα αντιστάσεως στην εφελκυσόμενη και στη θλιβόμενη πλευρά του δοκιμίου (εικ.12.13). Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε τόσο στο κόλλημα των ηλεκτρομηκυνσιομέτρων αντιστάσεως όσο και στο να εξασφαλιστεί ότι αυτά δεν έρχονται σε επαφή μεταξύ τους (περίπτωση βραχυκυκλώματος) αλλά ούτε και με το πλαίσιο στήριξης των επαγωγικών ηλεκτρομηκυνσιομέτρων. Οι δοκιμές που ακολούθησαν έγιναν αρχικά μέχρι το 30% του φορτίου θραύσης και στη συνέχεια μέχρι το 65 και 75% αυτού. Η διαδικασία που ακολούθηθηκε ολοκληρώθηκε σε δύο ή τρεις φάσεις. Στην πρώτη φάση έγιναν τρεις κύκλοι φορτίσεων, στη δεύτερη υπήρξε κάποιος

χρόνος αναμονής, κατά τη διάρκεια του οποίου το δοκίμιο δεν υφίστατο κανένα φορτίο. Τέλος, σε ορισμένα δοκίμια πραγματοποιήθηκαν τρεις επιπλέον κύκλοι φόρτισης (σχ.12.2). Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε κυρίως, με βάση τις μετρήσεις του πρώτου κύκλου φόρτισης και γι' αυτό τα διαγράμματα τάσεων – ανηγμένων παραμορφώσεων που επισυνάπτονται αφορούν τον κύκλο αυτό. Η σύγκριση των δύο μεθόδων φαίνεται στα διαγράμματα αυτά.



Σκίτσο 1.

12.3.2. ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

Η πλειονότητα των δοκιμών σε καθαρό εφελκυσμό έγιναν με χρήση μόνον επαγωγικών ηλεκτρομηκυνσιομέτρων LVDT που κολλήθηκαν σε δύο απέναντι πλευρές δοκιμών (εικ.12.16) με διαστάσεις 100mm x 100mm x 500mm. Η στήριξή τους έγινε με πλαστική θερμοκολλητική κόλλα και γι' αυτό, όπως θα φανεί παρακάτω, παρουσιάζουν την μικρότερη αξιοπιστία. Σε μερικά δοκίμια τοποθετήθηκαν και ηλεκτρομηκυνσιόμετρα αντιστάσεως στις άλλες δύο πλευρές έτσι ώστε να γίνει έλεγχος των μετρήσεων. Τα δοκίμια τοποθετήθηκαν στις «αρπάγες» της ειδικής συσκευής μονοαξονικού εφελκυσμού του εργαστηρίου Οδοποιίας (εικ.12.17) και δοκιμάστηκαν σε εφελκυσμό με την ίδια διαδικασία φόρτισης που ακολουθήθηκε και στις δοκιμές κάμψης (μέχρι το 30, 65 και 75% του φορτίου της αντοχής του). Χρησιμοποιήθηκαν τρία όμοια δοκίμια από κάθε μίγμα από τα οποία το πρώτο υπέστη κατευθείαν θραύση προκειμένου να βρεθεί η αντοχή του υλικού και να γίνουν σωστά οι δοκιμές στα υπόλοιπα δύο δοκίμια. Όλα τα δοκίμια μετά τις δοκιμές επαναλαμβανόμενης φόρτισης υπέστησαν θραύση.

Επειδή όμως οι μετρήσεις των πρώτων δοκιμών σε εφελκυσμό δεν ήταν πολύ καλές, λόγω της αστάθειας των στηρίξεων των επαγωγικών ηλεκτρομηκυνσιομέτρων, δοκιμάστηκαν σε εφελκυσμό και μικρότερα σε διαστάσεις δοκίμια (100mm x 100mm x 400mm) τοποθετώντας κατάλληλα τις «αρπάγες». Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός ότι στις δοκιμές του υλικού 100/0 παρουσιάστηκαν πολλές αποκολλήσεις των στηριγμάτων των LVDT πριν από την έναρξη της δοκιμής. Είναι επομένως φυσικό να θεωρηθεί ότι ορισμένα στηρίγματα δεν είχαν την απαιτούμενη σταθερότητα κατά την διάρκεια της δοκιμής γεγονός το οποίο συνετέλεσε στην καταγραφή μικρότερων παραμορφώσεων λόγω της ταυτόχρονης επενέργειας του ελατηρίου του LVDT. Έτσι τα δοκίμια 10 και 11 (100/0) καθώς και τα 5 και 6 (50/50) δοκιμάστηκαν τόσο σε κάμψη όσο και σε εφελκυσμό.

12.3.3. ΔΟΚΙΜΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ

Τα δύο τμήματα των δοκιμών που τελικά έσπασαν στη δοκιμή του εφελκυσμού ή της κάμψης δοκιμάστηκαν σε θλίψη αφού πρώτα, η επιφάνεια που προέκυψε από τη θραύση (σε εφελκυσμό ή κάμψη) ισοπεδώθηκε με κοπή σε ειδικό τροχό κοπής δοκιμών. Κατά τη κοπή δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή έτσι ώστε οι τετραγωνικές επιφάνειες (βάσεις του δοκιμίου) να προκύψουν όσο το δυνατό πιο επίπεδες. Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν είχαν διαστάσεις 100mm x 100mm x 200mm. Στις τετραγωνικές επιφάνειες των δοκιμών τοποθετήθηκε σιδηρόστοκος και έπειτα ακούμπησαν οι πλάκες φόρτισης, έτσι ώστε οι προαναφερθείσες επιφάνειες να είναι παράλληλες με τις μεταλλικές πλάκες φόρτισης της μηχανής και η φόρτιση να γίνεται το δυνατότερο κεντρικά (εικ.12.19). Τοποθετήθηκαν τέσσερα ηλεκτρομηκυνσιόμετρα αντιστάσεως, δύο σε κάθε πλευρά, ένα εγκάρσια και ένα κατά μήκος του δοκιμίου (εικ.12.20). Η φόρτιση έγινε μέχρι το 1/3 του δεκαπλάσιου του φορτίου θραύσης που είχε βρεθεί στη δοκιμή του εφελκυσμού, δοκιμών του αντίστοιχου κάθε φορά υλικού. Εμπειρικά, είναι γνωστό ότι το φορτίο θραύσης ενός υλικού σε θλίψη αντιστοιχεί στο δεκαπλάσιο του φορτίου θραύσης του σε εφελκυσμό.

Από τις δοκιμές εφελκυσμού και κάμψης προέκυψε ικανός αριθμός τμημάτων δοκιμών, τα μικρότερα από τα όποια (με ύψος μικρότερο των 200mm) δοκιμάστηκαν σε θλίψη με τη μέθοδο του ισοδύναμου κύβου.

Στους πίνακες 13 έως 15 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά κάθε δοκιμής. Το μέτρο ελαστικότητας βρέθηκε υπολογιστικά και γραφικά τη χρονική στιγμή που η τάση βρίσκεται στο $1/3$ της αντοχής του υλικού. Επειδή, όμως πολλές φορές η τιμή που βρίσκεται υπολογιστικά προσδιορίζεται σε τυχαία σημεία στα οποία οι μετρήσεις δεν είναι πάντα αξιόπιστες, για τη δημιουργία των διαγραμμάτων που επισυνάπτονται και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές του μέτρου ελαστικότητας που βρίσκονται γραφικά. Υπήρξαν περιπτώσεις όπου χρειάστηκε να απορριφθούν κάποιες μετρήσεις που θεωρήθηκαν λανθασμένες λόγω μεγάλης απόκλισης από τις μετρήσεις των άλλων ηλεκτρομηκυνσιομέτρων, όπως για παράδειγμα στις δοκιμές σε κάμψη των δοκιμών 10(100/0) και 5(50/50) στα σχήματα 11 και 12 αντίστοιχα έχουν απορριφθεί οι μετρήσεις του LVDT 2. Οι διορθωμένοι πίνακες επισυνάπτονται (πίν.12.6 και 12.9).

Σημειώνεται ότι καμιά μεταλλική πλάκα της μηχανής δεν είχε δυνατότητα περιστροφής.

12.4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

12.4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Παρόλο που οι δοκιμές προσδιορισμού του μέτρου ελαστικότητας σε θλίψη ήταν χρονικά οι τελευταίες που εκτελέστηκαν, παρουσιάζονται και σχολιάζονται πρώτες διότι παρουσιάζουν, όπως θα φανεί παρακάτω, τη μεγαλύτερη αξιοπιστία και γι' αυτό θα χρησιμοποιηθούν ως δοκιμές "αναφοράς". Με τις τιμές αυτές θα συγκρίνονται τα αποτελέσματα των άλλων δοκιμών. Η αξιοπιστία αυτή αποδίδεται στην σταθερότητα στήριξης των επαγωγικών ηλεκτρομηκυνσιομέτρων LVDT κατά τη διάρκεια των δοκιμών σε θλίψη. Η στήριξη αυτή έγινε με σιδηρόστοκο σε αντίθεση με την πλειονότητα των δοκιμών σε εφελκυσμό στις οποίες η στήριξη έγινε με θερμοκολλητική πλαστική κόλλα, όπως προαναφέρθηκε, η οποία παρουσίαζε μεν το πρακτικό πλεονέκτημα της μεγάλης ταχύτητας πήξης, εντούτοις όμως, αποδείχτηκε στη συνέχεια ότι, λόγω πιθανώς της μεγάλης παραμορφωσιμότητας του υλικού, η στήριξη δεν ήταν επαρκώς άκαμπτη και επέτρεπε ορισμένες φορές μετακινήσεις των επαγωγικών ηλεκτρομηκυνσιομέτρων, γεγονός το οποίο αλλοίωσε σημαντικά τις μετρήσεις.

Επίσης θα πρέπει να αναφερθεί ότι η λειτουργία του ειδικού μεταλλικού πλαισίου που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση των βελών κάμψεως δεν ήταν πάντοτε ικανοποιητική, γεγονός το οποίο αποδίδεται στην μη σταθερότητα των οριζόντιων βραχιόνων του πλαισίου. Η μη ικανοποιητική λειτουργία προκύπτει από τις κυματοειδούς μορφής μετρήσεις που ενίοτε παρατηρήθηκαν.

Η τιμή του μέτρου ελαστικότητας τόσο υπολογιστικά όσο και γραφικά βρέθηκε σε όλες τις δοκιμές στο σημείο που η επιβαλλόμενη τάση βρισκόταν στο $1/3$ της αντίστοιχης αντοχής του, για κάθε μίγμα. Το $1/3$ του φορτίου θραύσης είναι συνήθως το φορτίο που επιβάλλεται για τον προσδιορισμό του μέτρου ελαστικότητας στα περισσότερα δομικά υλικά.

12.4.2. ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΕ ΘΛΙΨΗ

Στα σχήματα 12.1, 12.2 και 12.3 παρουσιάζονται τα διαγράμματα τάσεων - παραμορφώσεων «σ-ε» σε θλίψη. Είναι φανερό ότι οι μετρήσεις των επαγωγικών μηχανοσυμμετρητών (LVDT) πρακτικά συμπίπτουν με εκείνες των ηλεκρομηχανοσυμμετρητών αντιστάσεως (SG) (βλ. δοκίμιο 12,15a και 3 στα σχ12.1, 12.2 και 12.3 αντίστοιχα). Αλλά και στις περιπτώσεις εκείνες στις οποίες δεν υπήρξε τέτοια σύμπτωση (βλ. δοκίμια 13 και 3 στα σχήματα 12.2 και 12.3 αντίστοιχα), ο μέσος όρος των ηλεκρομηχανοσυμμετρητών αντιστάσεως (SG) συμπίπτει με τον μέσο όρο των επαγωγικών μηχανοσυμμετρητών (LVDT). Οι μεμονωμένες μετρήσεις ανά πλευρά δοκιμίου, μπορεί να αλλοιωθούν λόγω κάποιας τοπικής ανωμαλίας στο δοκίμιο αλλά αν οι μέσοι όροι των παραμορφώσεων των απέναντι πλευρών συμπίπτουν πρακτικά με τους μέσους όρους των παραμορφώσεων των δύο άλλων απέναντι πλευρών που μετρήθηκαν με διαφορετικό τύπο μηχανοσυμμετρητή (SG, LVDT), τότε οι μετρήσεις αυτές πρέπει να θεωρηθούν αξιόπιστες.

Το γεγονός αυτό αποδεικνύει την ορθότητα των μετρήσεων – και την σταθερότητα της στήριξης - αφού με δύο διαφορετικά μηχανοσυμμετρητές οι ανηγμένες παραμορφώσεις προκύπτουν οι ίδιες. Παρατηρείται ότι το διάγραμμα τάσεων – ανηγμένων παραμορφώσεων είναι πρακτικά ευθύγραμμο για τάση μικρότερη από το $1/3$ της αντοχής. Επομένως η συμπεριφορά του υλικού υπό τις συνθήκες φόρτισης των δοκιμών είναι ελαστική.

Το μέτρο ελαστικότητας βρέθηκε από τη σχέση: $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$, όπου σ : η επιβαλλόμενη τάση σε MPa και ε : η διαμήκης ανηγμένη παραμόρφωση του δοκιμίου. Στη συνέχεια προσδιορίστηκε και ο λόγος του Poisson μέσω του τύπου: $\nu = \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_z}$,

όπου ε_x και ε_z αντίστοιχα η εγκάρσια και διαμήκης ανηγμένη παραμόρφωση του δοκιμίου.

Εξάλλου τα μέτρα ελαστικότητας που προσδιορίστηκαν στην εργασία αυτή συγκρίθηκαν με τα μέτρα που προσδιορίστηκαν σε Ερευνητικό Πρόγραμμα του Εργαστηρίου Οδοποιίας^[8,12,13] και βρέθηκαν σε πολύ ικανοποιητική συμφωνία. Το γεγονός αυτό προσδίδει αυξημένη εμπιστοσύνη στις συγκεκριμένες δοκιμές και τις καθιστά δοκιμές "αναφοράς".

Στα σχήματα 12.4, 12.10 και 12.14 παρουσιάζονται τα διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων «σ-ε» από δοκιμές θλίψης. Το φορτίο αυξάνεται μέχρι το 1/3 του φορτίου θραύσης. Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται το ποσοστό του φρεζαρισμένου υλικού τόσο μειώνεται η κλίση της ευθείας που εφάπτεται στην καμπύλη του διαγράμματος τάσης – παραμόρφωσης και η οποία εκφράζει το μέτρο ελαστικότητας.

Στο σχήμα 12.5, παρουσιάζονται διαγράμματα λόγου Poisson – τάσης για δοκίμια με διαφορετική αναλογία καθαρού – φρεζαρισμένου υλικού. Υπάρχει μια ένδειξη ότι όσο αυξάνει το ποσοστό του φρεζαρισμένου υλικού αυξάνει και ο λόγος του Poisson. Υπάρχουν όμως, κάποιες τιμές του λόγου Poisson που επηρεάζουν το μέσο όρο με αποτέλεσμα να προκύπτει στα δοκίμια 50/50 λόγος του Poisson μικρότερος από αυτόν των δοκιμών 100/0 (πίν.12.11). Αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι ο λόγος του Poisson προέκυψε από το πηλίκο των τιμών της εγκάρσιας προς τη διαμήκη ανηγμένη παραμόρφωση που μετρήθηκε με τα ηλεκτρομηκυνσιόμετρα αντιστάσεως (Strain Gages). Επειδή πρόκειται για μεγέθη πολύ μικρά η πιθανότητα ανακρίβειας των μετρήσεων είναι αρκετά μεγάλη και επομένως κατά τη διαίρεσή τους η πιθανότητα σφάλματος πολλαπλασιάζεται. Χρειάζεται να πραγματοποιηθούν περισσότερες δοκιμές έτσι ώστε να καταλήξουμε σε πιο αξιόπιστα συμπεράσματα.

12.4.3. ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

Η πλειονότητα των δοκιμών σε καθαρό εφελκυσμό έγιναν με χρήση μόνον επαγωγικών μηχανοσυστημάτων LVDT με στήριξη με πλαστική θερμοκολλητική κόλλα. Εντούτοις με κριτική θεώρηση των επιμέρους μετρήσεων και συνεχή σύγκριση με τις αντίστοιχες δοκιμές σε θλίψη έγινε δυνατόν να απορριφθούν οι "ύποπτες" μετρήσεις έτσι ώστε τα διαγράμματα σ-ε και οι αντίστοιχοι υπολογισμοί του μέτρου ελαστικότητας να είναι τελικά αξιόπιστα

Το μέτρο ελαστικότητας προσδιορίστηκε με τη βοήθεια του τύπου $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$, όπου σ η επιβαλλόμενη τάση σε (MPa) και ε η ανηγμένη παραμόρφωση. Οι διορθωμένες τιμές των μέτρων ελαστικότητας παρουσιάζονται στον πίνακα 6.

Στα σχήματα 12.6, 12.7 και 12.8 παρουσιάζονται "τυπικά" διαγράμματα σ-ε σε μονοαξονικό εφελκυσμό για τα μίγματα 100/0 50/50 25/75 αντίστοιχα. Τα δοκίμια 8(100/0) και 5(50/50) στα σχήματα 6 και 7 αντίστοιχα αποτελούν παραδείγματα μετρήσεων μειωμένης αξιοπιστίας.

Στα δοκίμια 15 και 8 του σχήματος 12.9 (θραύση), παρατηρείται ότι κατά τη διάρκεια της δοκιμής σε εφελκυσμό δημιουργήθηκε ρωγμή στη μία πλευρά του δοκιμίου. Σε αυτό αποδίδεται η αύξηση της παραμόρφωσης που μετρά το ένα επαγωγικό ηλεκτρομηκυσιομέτρο (LVDT) σε σχέση με αυτές που μετρά το άλλο. Η απόκλιση των δύο επαγωγικών ηλεκτρομηκυσιομέτρων ενδεχομένως να οφείλεται στην κατακρήνηση του χονδρόκοκκου υλικού κατά την παρασκευή των δοκιμών. Το υλικό που αναμιχθηκε στον αναμκτήρα ήταν πολύ και ίσως η ανάμιξή του να μην έγινε καλά. Το χονδρό υλικό τείνει να παραμείνει στην επιφάνεια του μίγματος με αποτέλεσμα να τοποθετούνται περισσότερα χονδρόκοκκα αδρανή στην πρώτη στρώση των δοκιμών. Συγκεκριμένα στο δοκίμιο 15 η παραμόρφωση που μετρά το δεύτερο LVDT είναι σχεδόν μηδενική μέχρι που η τάση φτάνει τα 0.6 MPa. Επιβεβαιώνεται, δηλαδή το άνοιγμα ρωγμής από την μεριά που μετρά το άλλο LVDT. Αντίθετα στο δοκίμιο 3 ο εφελκυσμός είναι καθαρός και τα μηχανοσυστήματα LVDT ακολουθούν την ίδια πορεία μέχρι τη θραύση.

12.4.4. ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

Οι δοκιμές σε κάμψη παρουσιάζουν το πλεονέκτημα ότι είναι δυνατόν να μελετηθεί η απόκριση του δοκιμίου στην επιπόνηση από φορτία και από αυτήν να μελετηθεί η συμπεριφορά του υλικού με δύο διαφορετικές μετρήσεις. Οι μετρήσεις αυτές είναι:

1. μέτρηση του βέλους κάμψης
2. μέτρηση κατευθείαν των ανηγμένων παραμορφώσεων στη θλιβόμενη και εφελκυσμένη ίνα με χρήση ηλεκτρομηκυνσιομέτρων αντιστάσεως.

Από τη μέτρηση του βέλους κάμψης, το μέτρο ελαστικότητας προσδιορίζεται με βάση τη σχέση:

$$E = \frac{23Pl^3}{108bh^3\delta}$$

όπου P: το επιβαλλόμενο φορτίο σε N, l: το θεωρητικό μήκος του δοκιμίου σε mm, b: το πλάτος του δοκιμίου σε mm, h: το ύψος του δοκιμίου σε mm, και δ: το βέλος κάμψης σε mm.

Επιπλέον με βάση τη σχέση: $\epsilon_{t,c} = \frac{108h\delta}{23l^2} \xrightarrow{l=3h} \epsilon_{t,c} = \frac{12\delta}{23h}$, το βέλος ανάγεται

σε ανηγμένη παραμόρφωση της εξωτερικής θλιβόμενης και εφελκυσμένης ίνας και το μέτρο ελαστικότητας υπολογίζεται από τον τύπο $E = \frac{3P}{\epsilon_t h^2}$ ή $E = \frac{3P}{\epsilon_c h^2}$,

όπου ϵ_t και ϵ_c είναι αντίστοιχα η ανηγμένη παραμόρφωση της εφελκυσμένης και θλιβόμενης ίνας του δοκιμίου.

Από τις μετρήσεις των πραγματικών ανηγμένων παραμορφώσεων το μέτρο

ελαστικότητας υπολογίζεται από τον τύπο $E = \frac{2Pl}{h^3(\epsilon_c + \epsilon_t)}$.

Στα σχήματα 12.11, 12.12 και 12.13 παρουσιάζονται τα διαγράμματα τάσεων – ανηγμένων παραμορφώσεων «σ-ε», για τα τρία μίγματα.

Στο σχήμα 12.14, παρουσιάζονται αναλυτικά οι μετρήσεις που έγιναν από το θλιβόμενο και εφελκυσμένο Strain Gage σε δοκιμές κάμψης στον πρώτο κύκλο φόρτισης. Οι τιμές των μέτρων ελαστικότητας που προκύπτουν από τα δύο Strain

Gages έχουν μικρή διασπορά με αποτέλεσμα οι μερήσεις να θεωρούνται ικανοποιητικά αξιόπιστες. Το μέτρο ελαστικότητας που προσδιορίζεται από το θλιβόμενο και εφελκυσμένο Strain Gage, όπως φαίνεται στο σχήμα 12.14, δεν είναι πάντα το ίδιο. Έτσι ενώ στο δοκίμιο 10 παρατηρείται η ίδια σχεδόν κλίση της ευθείας του διαγράμματος τάσεων – παραμορφώσεων (ίδιο μέτρο ελαστικότητας και από τα δύο strain gages), στα δοκίμια 16 και 5 παρατηρείται μια μικρή διαφορά της κλίσης για τα δύο Strain Gages. Το φαινόμενο αυτό έχει παρατηρηθεί και για το σκυρόδεμα^[9]. Παρατηρείται πάλι (βλ σχ. 12.10, 12.14, 12.15) ότι όσο αυξάνεται το ποσοστό του καθαρού υλικού τόσο αυξάνει και η κλίση της ευθείας του διαγράμματος τάσεων – παραμορφώσεων που εκφράζει το μέτρο ελαστικότητας, όπως είναι αναμενόμενο.

Στο σχήμα 12.16, η ανηγμένη παραμόρφωση που μετράνε τα εφελκυσμένα Strain Gages διαφοροποιούνται από το μέσο όρο της ανηγμένης παραμόρφωσης που προκύπτει θεωρητικά από το βέλος κάμψης που μετρήθηκε από τα LVDT. Αντίθετα, το θλιβόμενο Strain Gage ταυτίζεται με αυτόν. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να αποδοθεί στην πιθανότητα δημιουργίας μια μικρής ρωγμής στην εφελκυσόμενη πλευρά του δοκιμίου λόγω θραύσης του τσιμεντοπολτού που αποτελεί το φλοιό των δοκιμίων. Υπάρχει η υποψία ότι η λεπτή «επιδερμική» στρώση των δοκιμίων αποτελείται από πολύ λεπτό υλικό που δεν μπορεί να είναι παρά μόνο τσιμεντοπολτός, δεδομένου ότι κανένα ασφαλικό υλικό δεν αποτελείται από τόσο λεπτούς κόκκους. Οι λεπτοί κόκκοι ασφάλτου συνήθως ενώνονται δημιουργώντας συσσωματώματα. Από τη στιγμή που δημιουργείται η μικρή αυτή ρωγή, το εφελκυσμένο Strain Gage δεν μετρά πια παραμόρφωση του δοκιμίου αλλά το άνοιγμα της ρωγμής, σε αντίθεση με την ανηγμένη παραμόρφωση που υπολογίζεται θεωρητικά από το βέλος κάμψης και δεν λαμβάνει υπόψη τη δημιουργία τυχόν ρωγμής. Η παραπάνω εξήγηση βέβαια δεν αποτελεί παρά μόνο μία υποψία. Απαιτούνται περισσότερα δείγματα για να γίνει περαιτέρω έλεγχος αυτού.

Στο σχήμα 12.17 φαίνεται η συνάρτηση του λόγου της τάσης που αναπτύσσεται στον πυθμένα της ανακυκλωμένης στρώσης προς την αντίστοιχη αντοχή σε κάμψη του υλικού για διαφορετικά πάχη ανακυκλωμένης στρώσης. Οι τιμές της αναπτυσσόμενης τάσης προσδιορίστηκαν με τη βοήθεια του πίνακα 4.2 – 4.4 για προσεγγιστικές τιμές του λόγου Poisson ίσο με 0.20, 0.25 και 0.30 για τα μίγματα

100/0, 50/50 και 25/75 αντίστοιχα. Τα μέτρα ελαστικότητας προσδιορίστηκαν από το μέσω όρο των μετρήσεων όλων των ηλεκτρομηκυνσιομέτρων (LVDT και Strain Gages). Παρατηρείται ότι ο λόγος σ/f είναι μικρότερος του 0.5 και επομένως το υλικό αντέχει σε κόπωση.

Τέλος, στο σχήμα 12.18 γίνεται η σύγκριση των μέτρων ελαστικότητας που προσδιορίστηκαν από δοκιμές κάμψης, εφελκυσμού και θλίψης. Το μέτρο ελαστικότητας που προσδιορίζεται από τη δοκιμή σε κάμψη είναι κατά πλειοψηφία μεγαλύτερο από αυτό που προσδιορίζεται από τη δοκιμή σε θλίψη και σε εφελκυσμό, αλλά η διαφορά δεν είναι σημαντική και βρίσκεται μέσα στο εύρος του πειραματικού σφάλματος. Αντιθέτως, στη σύγκριση των μέτρων ελαστικότητας σε θλίψη και εφελκυσμό φαίνεται να υπάρχει σχεδόν ίδιος αριθμός δοκιμών εκατέρωθεν της ευθείας ισότητας αλλά οι διαφορές μεταξύ των τιμών είναι ελαφρώς μεγαλύτερες. Γενικά η ένδειξη από το Σχ.12.12 είναι ότι τα μέτρα ελαστικότητας σε εφελκυσμό, θλίψη και κάμψη είναι ίσα αλλά απαιτείται μεγαλύτερος αριθμός δοκιμών για να προκύψει συμπέρασμα με μεγαλύτερη βεβαιότητα.

Θραυστή Άμμος				
αριθμός κοσκίνου	Συγκρατούμενο		Διερχόμενο	
	(gr)	%	(gr)	%
no 4	0.0	0.00	3000.0	100.00
no 8	496.9	16.56	2503.1	83.44
no 16	644.8	38.06	1858.3	61.94
no 30	541.9	56.12	1316.4	43.88
no 50	276.0	65.32	1040.4	34.68
no 100	228.7	72.94	811.7	27.06
no 200	208.7	79.90	603.0	20.10
παιπάλη	603.0	100.00	0.0	0.00
	3000.0			

Θραυστό Χαλίκι 1				
αριθμός κοσκίνου	Συγκρατούμενο		Διερχόμενο	
	(gr)	%	(gr)	%
3/4	109.8	3.66	2890.2	96.34
5/8	1897.3	66.90	992.9	33.10
1/2	911.7	97.29	81.2	2.71
3/8	74.6	99.78	6.6	0.22
1/4	2.0	99.85	4.6	0.15
no 4	0.0	99.85	4.6	0.15
no 8	0.0	99.85	4.6	0.15
παιπάλη	4.6	100.00	0.0	0.00
	3000.0			

Θραυστο Χαλίκι 2				
αριθμός κοσκίνου	Συγκρατούμενο		Διερχόμενο	
	(gr)	%	(gr)	%
5/8	0.0	0.00	3000.0	100.00
1/2	350.0	11.67	2650.0	88.33
3/8	2164.3	83.81	485.7	16.19
1/4	441.8	98.54	43.9	1.46
no 4	16.0	99.07	27.9	0.93
no 8	7.4	99.32	20.5	0.68
παιπάλη	20.5	100.00	0.0	0.00
	3000.0			

Θραυστή Ψηφίδα				
αριθμός κοσκίνου	Συγκρατούμενο		Διερχόμενο	
	(gr)	%	(gr)	%
1/2	0.0	0.00	3000.0	100.00
3/8	248.6	8.29	2751.4	91.71
1/4	1595.8	61.48	1155.6	38.52
no 4	713.1	85.25	442.5	14.75
no 8	378.7	97.87	63.8	2.13
παιπάλη	63.8	100.00	0.0	0.00
	3000.0			

Πίνακας 12.1. Κοκκομετρική ανάλυση θραυστών υλικών

Φρεζαρισμένη Άμμος				
αριθμός κοσκίνου	Συγκρατούμενο		Διερχόμενο	
	(gr)	%	(gr)	%
no 4	150.4	5.01	2849.6	94.99
no 8	1350.2	50.02	1499.4	49.98
no 16	704.2	73.49	795.2	26.51
no 30	446.6	88.38	348.6	11.62
no 50	164.7	93.87	183.9	6.13
no 100	84.4	96.68	99.5	3.32
no 200	49.1	98.32	50.4	1.68
παιπάλη	50.4	100.00	0.0	0.00
	3000.0			

Φρεζαρισμένο Γαρμπίλι				
αριθμός κοσκίνου	Συγκρατούμενο		Διερχόμενο	
	(gr)	%	(gr)	%
3/8	296.0	9.87	2704.0	90.13
1/4	1589.8	62.86	1114.2	37.14
no 4	899.4	92.84	214.8	7.16
no 8	193.7	99.30	21.1	0.70
παιπάλη	21.1	100.00	0.0	0.00
	3000.0			

Φρεζαρισμένο Χαλίκι				
αριθμός κοσκίνου	Συγκρατούμενο		Διερχόμενο	
	(gr)	%	(gr)	%
3/4	34.1	1.14	2965.9	98.86
5/8	294.0	10.94	2671.9	89.06
1/2	1310.0	54.60	1361.9	45.40
3/8	1135.3	92.45	226.6	7.55
1/4	156.2	97.65	70.4	2.35
no 4	25.0	98.49	45.4	1.51
no 8	13.3	98.93	32.1	1.07
παιπάλη	32.1	100.00	0.0	0.00
	3000.0			

Πίνακας 12.2. Κοκκομετρική ανάλυση φρεζαρισμένων υλικών

ημερομηνία: 10/12/01

Μίγμα 100/0					
Σύνθεση τελική	τελικά διερχόμενα ποσοστά %	15%	20%	10%	55%
		θραυστό χαλίκι 1	θραυστό χαλίκι 2	ψηφίδα	άμμος
3/4	99.45	14.45	20.00	10.00	55.00
5/8	89.96	4.96	20.00	10.00	55.00
1/2	83.07	0.41	17.67	10.00	55.00
3/8	67.44	0.03	3.24	9.17	55.00
1/4	59.17	0.02	0.29	3.85	55.00
no 4	56.68	0.02	0.19	1.48	55.00
no 8	46.26	0.02	0.14	0.21	45.89
no 16	34.07	0.00	0.00	0.00	34.07
no 30	24.13				24.13
no 50	19.07				19.07
no 100	14.88				14.88
no200	11.06				11.06

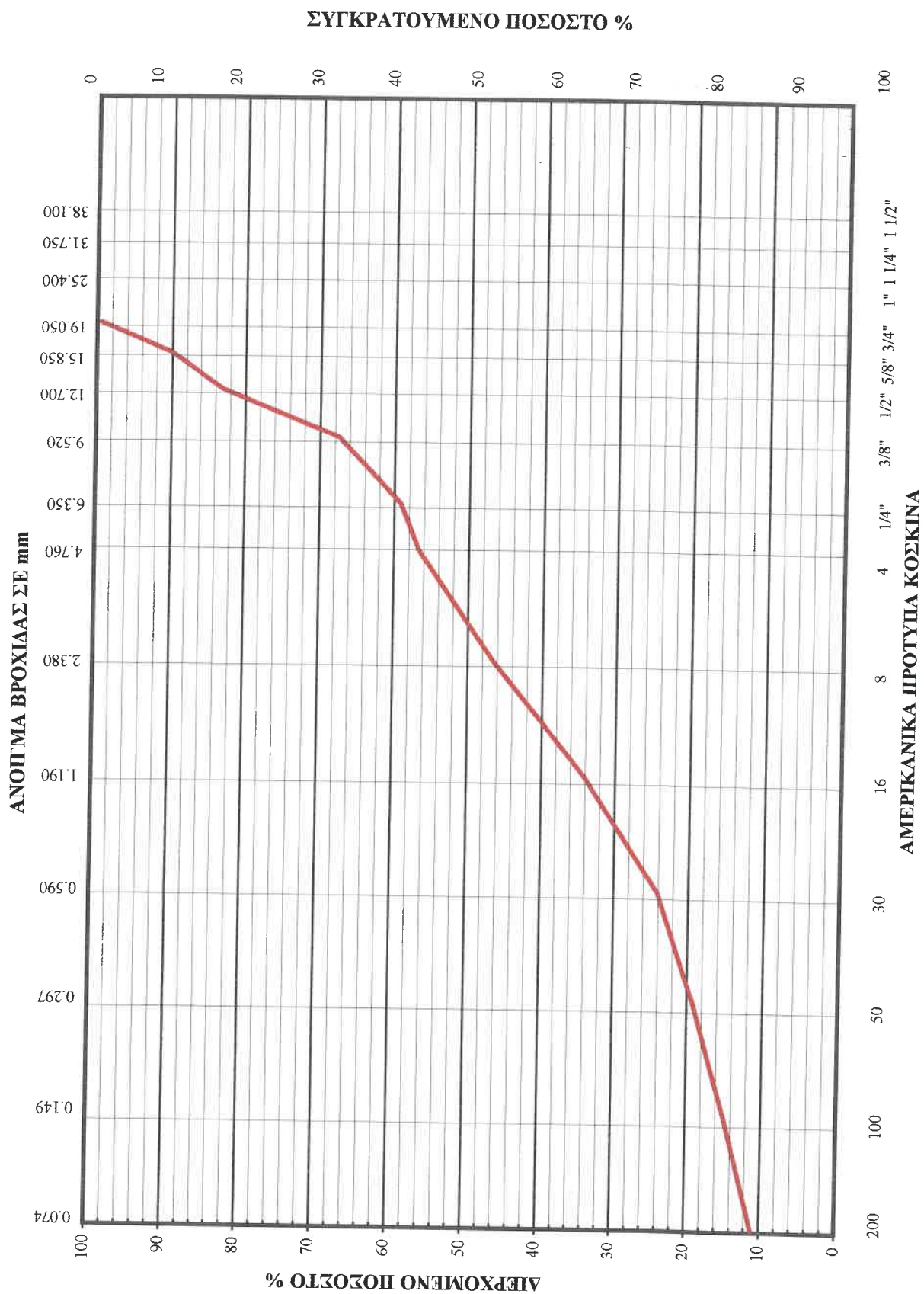
ημερομηνία: 10/12/01

Μίγμα 50/50								
Σύνθεση τελική	τελικά διερχόμενα ποσοστά %	Θραυστά				Φρεζαρισμένα		
		θραυστό χαλίκι 1	θραυστό χαλίκι 2	ψηφίδα	άμμος	χαλίκι	γαρμπίλι	άμμος
		7,5%	10%	5%	27.5%	15%	7,5%	27,5%
3/4	99.56	7.23	10.00	5.00	27.50	14.83	7.5	27.5
5/8	93.34	2.48	10.00	5.00	27.50	13.36	7.5	27.5
1/2	83.35	0.20	8.83	5.00	27.50	6.81	7.5	27.5
3/8	69.11	0.02	1.62	4.59	27.50	1.13	6.76	27.5
1/4	60.22	0.01	0.15	1.93	27.50	0.35	2.79	27.5
no 4	55.23	0.01	0.09	0.74	27.50	0.23	0.54	26.12
no 8	37.09	0.01	0.07	0.11	22.95	0.16	0.05	13.74
no 16	24.32	0.00	0.00	0.00	17.03	0.00	0.00	7.29
no 30	15.26				12.07			3.20
no 50	11.22				9.54			1.69
no 100	8.35				7.44			0.91
no200	5.99				5.53			0.46

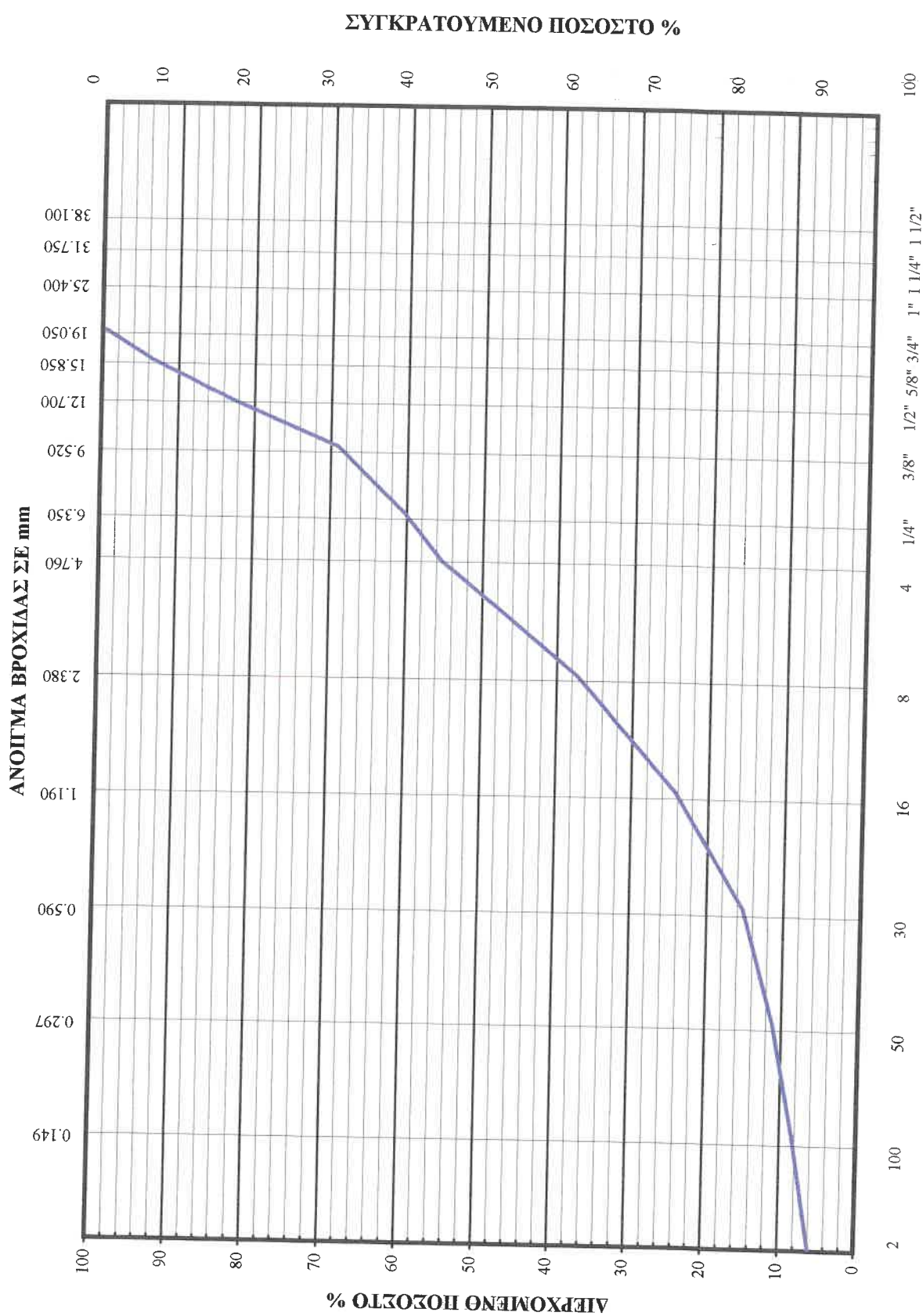
ημερομηνία: 11/12/01

Μίγμα 25/75								
Σύνθεση τελική	τελικά διερχόμενα ποσοστά %	Θραυστά				Φρεζαρισμένα		
		θραυστό χαλίκι 1	θραυστό χαλίκι 2	ψηφίδα	άμμος	χαλίκι	γαρμπίλι	άμμος
		3,75%	5%	2,5%	13,75%	22,5%	11,25%	41,25%
3/4	99.61	3.61	5.00	2.50	13,75	22.24	11.25	41.25
5/8	95.03	1.24	5.00	2.50	13.75	20.04	11.25	41.25
1/2	83.48	0.10	4.42	2.50	13.75	10.21	11.25	41.25
3/8	69.95	0.01	0.81	2.29	13.75	1.70	10.14	41.25
1/4	60.75	0.01	0.07	0.96	13.75	0.53	4.18	41.25
no 4	54.50	0.01	0.05	0.37	13.75	0.34	0.81	39.18
no 8	32.50	0.01	0.03	0.05	11.47	0.24	0.08	20.62
no 16	19.45	0.00	0.00	0.00	8.52	0.00	0.00	10.93
no 30	10.83				6.03			4.79
no 50	7.30				4.77			2.53
no 100	5.09				3.72			1.37
no200	3.46				2.76			0.69

Πίνακας 12.3. Κοκκομετρικές συνθέσεις των μιγμάτων με αναλογία θραυστού - φρεζαρισμένου υλικού 100/0, 50/50 και 25/75

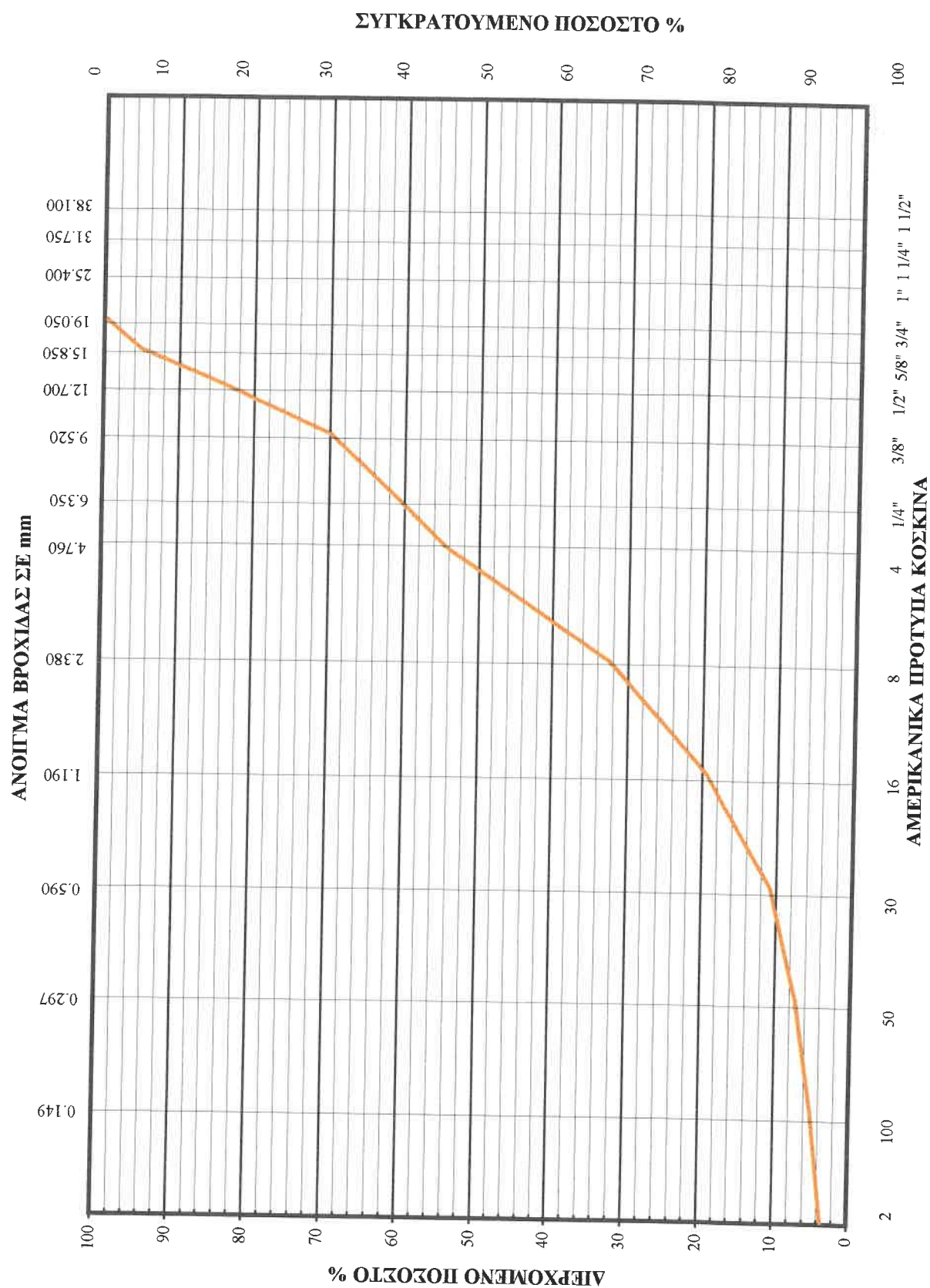


Καμπύλη 12.1: Διάγραμμα κοκκομετρικής ανάλυσης μίγματος θραυστών αδρανών - Μίγμα 100/0



ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΟΣΚΙΝΑ

Καμπύλη 12.2: Διόγραμμα κοκκομετρικής ανάλυσης μίγματος 50/50.



Καμπύλη 12.3: Διάγραμμα κοκκομετρικής ανάλυσης με αναλογίες θραυστού - φρεζαρισμένου υλικού 25/75.

αριθμός δοκιμής	ανάλυση καθαρού/φρεζαρισμένου υλικού	αριθμός δοκιμίου	ποσοστό% του φορτίου θραύσης που επιβάλλεται	Μέτρο ελαστικότητας Ε σε MPa														από θραύση	
				από βέλος με LVDT						από ανηγμένη παραμόρφωση με strain Gages									
				Κύκλος Φόρτισης						Κύκλος Φόρτισης								από LVDT	από Strain Gages
				1ος	2ος	3ος	4ος	5ος	6ος	1ος	2ος	3ος	4ος	5ος	6ος				
1	50/50	4	30	Έστωσε στα 8.46KN															
2		5	30	19410	19890	19540				21540	21650	20330							
3		6	30	19530	19300	19350				19620	19660	18690							
4	100/0	10	30	23400	23680	23660				35950	34570	39230							
5		11	30	22160	22000	22060				42700	50900	42470							
6		12	30	32060	29310	29890													
7		16	30	9820	9430	9100				12310	11510	11050				-			
8	25/75	17	30	10830	10240	9940				16540	15370	14920							
10		18	30	9350	8830	8700				13050	12250	11860			11060	14590			
11		5*	30	28590	27570	27090				21200	20870	20480							
12	50/50	5*	65	30560	21970	20140	30160	24410	23100	20000	14210	13940	15540	14070	12700	14830			
13		5*	75	26520	19840	17760	25530	19860	17540	18010	13910	11900	15980	13420	11730				
15		6	30	19230	18820	18960				18990	20290	21260							
16		6	65	18880	15460	14570	19420	17280	16430	18180	14400	15230	14210	13010	12700	11580			
17		6	75	18930	15570	14350	17960	15130	14030	14850	11280	9720	9920	8480	7750				
19	100/0	10	30	45220	46320	46770				36190	41140	37230							
20		10	65	43120	34810	33710	33930	32110	31490	37300	39850	35770	31000	30510	33010	33670			
21		10	75	35950	2300	30580	30690	28630	27730	48860	47450	37210	33180	32160	32370				
23		11	30	33640	33730	33250				39720	39790	40980							
24		11*	65	48060	38880	35100	34890	33260	31660	51240	35310	34910							
25		11*	75	50550	39600	36600	36220	33110	31910	50870	43030	40440	36920	33090	31230	34730			
26		11*	30	49810	47830	45180				56940	59030	55470							
27	25/75	11	30	36050	36370	37070				39930	39720	40450							
29		16	30	13880	13340	13180				11790	11430	11070							
30		16	65	13040	10370	9720	10610	9530	9150	11630	9200	8490	9520	8450	7900	10360			
31		16	75	14080	11400	10500	11770	10000	9340	10630	8810	8330	9390	7990	8440				
33		18	30	12950	12560	12140				13230	13030	12180							
34		18	65	13030	10500	9760	9870	9030	8590	11910	9290	8140	8390	7310	6920	9190			
35		18	75	12780	10850	10050	10990	9530	8900	10850	8250	7460	8220	6830	6310				

* = αρθρωτή στήριξη των LVDT μη επιτρέποντα καμία μετακίνηση

Πίνακας 12.4.: Προσδιορισμός του μέτρου ελαστικότητας από δοκιμή σε κάμψη με υπολογιστική μέθοδο. Μήγματα με διαφορετικές αναλογίες καθαρού/φρεζαρισμένου υλικού

Μέτρο ελαστικότητας E σε MPa																	
αριθμός δοκιμής	αναλογία καθαρού/φρεζαρισμένου υλικού	αριθμός δοκιμίου	ποσοστό % του φορτίου θραύσης που επιβάλλεται	από βέλος με LVDT						από αλληγμένη παραμόρφωση με Strain Gages						από θραύση	
				από βέλος με LVDT						από αλληγμένη παραμόρφωση με Strain Gages							
				1ος	2ος	3ος	4ος	5ος	6ος	1ος	2ος	3ος	4ος	5ος	6ος	από LVDT	από Strain Gages
Έστωσε στα 8.46KN																	
1	50/50	4	30	19170	17970	18280					18970	18930	18210				
2		5	30	17200	19170	17200					15040	16310	16490				
3		6	30														
4	100/0	10	30	23960	27380	24570					31370	29150	38690				
5		11	30	26440	22700	25560					35900	38400	31370				
6		12	30	32790	35310	36260											
7	25/75	16	30	8350	10650	10480					11140	11860	11180				
8		17	30	11120	11710	12460					12770	13460	13330				
10		18	30	8830	10480	10820					11670	14020	13460			10890	
11	50/50	5*	30	24400	25960	25820					20150	19500	19210				
12		5*	65	21300	21910	21910	21300	21140	21300	17140	15680	15000	15920	15920	14610	11690	
13		5*	75	19170	20180	20180	19170	20180	18250	15230	13470	12810	11550	12140	11720		
15		6	30	17650	19170	19730					18250	18230	17330				
16		6	65	17040	17040	20040	20040	16510	16820	14610	14260	13830	15280	15900	16000	10570	
17		6	75	15330	15330	14740	14570	14010	14200	13330	12440	12040	13040	11570	10830		
19		10	30	39120	39520	39930					38080	39330	36670				
20	100/0	10	65	38640	34780	36300	35230	35230	35230	39220	30330	32560	33250	34120	31750	28440	
21		10	75	35230	33280	34720	31520	34230	35230	48860	47450	37210	31400	31400	33330		
23		11	30	34230	34230	33250					41960	38520	39600				
24		11*	65	47920	47920	46070	47920	47920	46070	37260	32420	37260					
25		11*	75	45100	45890	46070	42780	43400	44370	37730	39210	37200	35160	35710	33220	35070	
26		11*	30	44230	47920	46620					37240	43810	42330				
27		11	30	35490	36860	38330					38690	40060	43560				
29	25/75	16	30	12500	12780	14900					10800	12000	12000				
30		16	65	11980	12780	11900	10950	11800	12270	12270	10140	9930	9710	10150	11110	8660	
31		16	75	10730	11360	11360	10460	10580	10580	10800	10150	10360	9710	9540	9380		
33		18	30	12270	11180	9580					12390	13360	12200				
34		18	65	11880	12270	11800	11360	12270	11880	10850	10710	10150	9330	9190	9710	8000	
35		18	75	11060	11360	11360	10950	11360	12230	9040	9790	8890	8460	8900	8460		

* = αρθρωτή στήριξη των LVDT μη επιτρέπουν καμία μετακίνηση

Πίνακας 12.5: Προσδιορισμός του μέτρου ελαστικότητας γραφικά, από δοκιμές σε κάμψη. Μήγματα με διαφορετικές αναλογίες καθαρού / φρεζαρισμένου υλικού.

αριθμός δοκιμής	αναλογία καθαρού - φρεζαρισμένου υλικού	αριθμός δοκιμίου	ποσοστό επί % του φορτίου θραύσης που επιβάλλεται	Μέτρο Ελαστικότητας σε MPa	
				από βέλος με LVDT	από ανηγμένη παραμόρφωση με Strain Gages
				1ος κύκλος φόρτισης	
2	50/50	5	30	19170	18970
3		6	30	17200	15040
4	100/0	10	30	23960	31370
5		11	30	26440	35900
6		12	30	32790	
7	25/75	16	30	8350	11140
8		17	30	11120	12770
10		18	30	8830	11670
11	50/50	5*	30	21220	20150
15		6	30	17650	18250
19		10	30	32300	33740
23	100/0	11	30	32350	34600
26		11*	30	44230	37240
27		11	30	35490	38690
29	25/75	16	30	12500	10800
30		16	65	11980	12270
31		16	75	10730	10800
33		18	30	12270	12390
34		18	65	11880	10850
35		18	75	11060	9040

* = ορθρωτή στήριξη των LVDT μη επιτρέπуща καμία μετακίνηση

Πίνακας 12.6.: Προσδιορισμός του μέτρου ελαστικότητας γραφικά, από δοκιμές σε κάμψη απορρίπτοντας κάποιες λάθος μετρήσεις.

Μίγμα	Μέτρο ελαστικότητας E (MPa)		
	από βέλος με LVDT	από Strain Gages	μέσος όρος
25/75	10970	11300	11140
50/50	23995	18100	18460
100/0	32510	35260	33890

Πίνακας 12.6α: Προσδιορισμός του μέσου όρου των μέτρων ελαστικότητας του πίνακα 12.6.

Αριθμός δοκιμής	αναλογία καθαρού/φρεζαρισμένου υλικού	αριθμός δοκιμίου	Μέτρο ελαστικότητας E σε MPa						
			από βέλος με LVDT			από ανηγμένη παραμόρφωση με Strain Gages			από θραύση
			1ος	2ος	3ος	1ος	2ος	3ος	
37	50/50	1	Έσπασε στα 11.82KN						15902
38		2a	19080	18040	18990				
39		2b	17160	16730	15570			11950	
41		3	24000	23040	22150			16570	
43	100/0	7	Έσπασε στα 17.24KN						35050
45		8	48030	28810	22150			20620	
47		9	43140	45340	43550			37320	
49	25/75	15	Έσπασε στα 7.28KN						13330
50		13	11790	10930	10120			12190	
52		14	14040	13400	13640			11930	
54	50/50	5	17150	15780	15400	15360	13010	12990	
55		6	13960	12240	11300	15020	13520	14230	
56	100/0	10	37900	38900	39010	35390	33770	35770	
57		11	36920	36600	35640	45990	37700	48340	

Πίνακας 12.7: Προσδιορισμός μέτρου ελαστικότητας με υπολογιστική μέθοδο, από δοκιμές σε εφελκυσμό. Μίγματα με διαφορετικές αναλογίες καθαρού/φρεζαρισμένου υλικού.

Αριθμός δοκιμής	αναλογία καθαρού/φρεζαρισμένου υλικού	αριθμός δοκιμίου	Μέτρο ελαστικότητας E σε MPa						από θραύση
			από βέλος με LVDT			από ανηγμένη παραμόρφωση με Strain Gages			
			1ος	2ος	3ος	1ος	2ος	3ος	
37	50/50	1	Έσπασε στα 11.82KN						15560
38		2a	17500	17860	15910				12380
39		2b	20000	16670	16000				
41		3	22730	23030	22440				13000
43	100/0	7	Έσπασε στα 17.24KN						32260
45		8	40000	40000	40000				22500
47		9	37500	37500	40000				27270
49	25/75	15	Έσπασε στα 7.28KN						7780
50		13	15000	16670	18750				10460
52		14	14710	15630	17860				9170
54	50/50	5	16670	16670	16670	15390	15390	15390	
55		6	14290	14290	14290	14290	14290	14290	
56	100/0	10	40000	40000	40000	31580	31580	31580	
57		11	40000	40000	40000	46150	46150	46150	

Πίνακας 12.8: Προσδιορισμός του μέτρου ελαστικότητας γραφικά, από δοκιμές σε εφελκυσμό. Μίγματα με διαφορετικές αναλογίες καθαρού/φρεζαρισμένου υλικού.

αριθμός δοκιμής	αναλογία καθαρού/φρεζαρισμένου υλικού	αριθμός δοκιμίου	Μέτρο ελαστικότητας E σε MPa									
			από βέλος με LVDT					από ανηγμένη παραμόρφωση με Strain Gages				
			κύκλος φόρτισης					κύκλος φόρτισης				
			1ος	2ος	3ος	1ος	2ος	3ος				
37	50/50	1	Έσπασε στα 11,82KN									
38		2a	17450	16735	16860	16695	16630	16665				
39		2b	16020		16530		16700					
41			16050	15650	15870	15725	15760	15885				
			15250		15580		16010					
43	100/0	3	18630	18645	18780	18340	18680	18505				
			18660		17900		18330					
7		Έσπασε στα 17,24KN										
45		8	47310	34485	45630	33990	55020	38310				
47			21660	21660	22350	22350	21600	21600	21600			
		33670	29465	51200	39350	57390	42555					
49	25/75	9	25260	25260	27500	27500	27720	27720	27720			
		15	Έσπασε στα 7,28KN									
50		13	12550	11170	19230	15485	20030	16070				
52			9790		11740	11740	12110	12110	12110			
		14	11215	11565	11350	13280	17100	14205				
54	50/50	5	11915		15210	11350	11310	11310				
			21360	16825	23780	18115	24320	18330	11570	12485	13400	15950
55			12290		12450		12340	12340	11570	12485	13790	
56		6	10300	11860	14420	12610	14540	12820	11410	11910	12930	12680
			13420		10800		11100		12410	12340	12635	12700
57	100/0	10i	38220	34720	34170	35190	35300	35135	31580	31580	31580	
			31220		36210		34970					
		11i	31840	32635	31280	33960	30270	33285	39640	33405	37410	31655
			33430		36640	31280	36300	30270	27170	25900	25900	27830

αναλογία καθαρού/ φρεζαρισμένου υλικού	Μέτρο ελαστικότητας E (MPa)		
	από LVDT	από Strain Gages	μέσος όρος
2.5/7.5	11370		11370
5.0/5.0	15940	12200	14070
100/0	32830	29380	31110

Πίνακας 12.9.: Προσδιορισμός του μέτρου ελαστικότητας γραφικά από δοκιμές σε εφελκυσμό, μετά από απορρίψεις κάποιων τιμών. Τοπωμένες με κόκκινο χρώμα είναι οι τιμές του μέτρου ελαστικότητας οι οποίες έχουν προκύψει από το ένα εκ των δύο ηλεκτρομηκυνισομέτρων. Οι μετρήσεις του δεύτερου ηλεκτρομηκυνισομέτρου απορρίπτονται βασισμένοι στο σκεπτικό ότι το μέτρο ελαστικότητας που προκύπτει από αυτό, διαφέρει πολύ τόσο από το μέτρο ελαστικότητας που προκύπτει από τη θλίψη όσο και από αυτό που προκύπτει από τις μετρήσεις του άλλου ηλεκτρομηκυνισομέτρου, *ώλλα* και από τις μετρήσεις των Strain Gages (αν έχουν τοποθετηθεί). Το μέτρο ελαστικότητας που προκύπτει από τον μέσο όρο των δύο ηλεκτρομηκυνισομέτρων αναγράφεται ακριβώς από πάνω και η τιμή αυτού χρησιμοποιείται στα διαγράμματα που ακολουθούν.

Πίνακας 12.9a: Μέσοι όροι των μέτρων ελαστικότητας των δύο LVDT, των δύο Strain Gages και συνολικά

αριθμός δοκιμής	αναλογία καθ./φρεζ. υλικού	αριθμός δοκιμίου	Μέτρο ελαστικότητας E σε MPa	
			από LVDT	από Strain Gages
58	100/0	9	24500	26630
59		12	27500	28750
60	50/50	1	11830	12840
61		2	13040	13390
62		3	12460	13440
63	25/75	13a	9980	10840
64		13b	9790	9150
65		15a	10130	8990

Πίνακας 12.10: Προσδιορισμός του μέτρου ελαστικότητας με υπολογιστική μέθοδο από δοκιμές σε θλίψη.

αριθμός δοκιμής	αναλογία καθ./φρεζ. υλικού	αριθμός δοκιμίου	Μέτρο ελαστικότητας E σε MPa			Λόγος Poisson ν από ανηγμένες παραμορφώσεις
			από LVDT	από Strain Gages	μέσος όρος για κάθε μήγμα	
58	100/0	9	29630	29230	30173	0.27
59		12	30230	31600		0.25
60	50/50	1	13710	14000	14693	0.18
61		2	14330	15250		0.26
62		3	14830	16040		0.20
63	25/75	13a	9860	10500	10427	0.22
64		13b	10870	10930		0.27
65		15a	10220	10180		0.30

Πίνακας 12.11: Προσδιορισμός του μέτρου ελαστικότητας γραφικά από δοκιμές σε θλίψη.

Δοκιμή σε θλίψη με τη μέθοδο του ισοδύναμου κύβου					
αριθμός δοκιμής	αναλογία καθαρού/φρεζαρισμένου υλικού	αριθμός δοκιμίου	φορτίο θραύσης (KN)	Αντοχή σε θλίψη f (MPa)	μέσος όρος αντοχής σε θλίψη (MPa)
67	100/0	11	225.6	22.56	22.74
68		10	241.1	24.11	
69		8	224.2	22.42	
70		7a	220.7	22.07	
71		7b	219.7	21.97	
72	50/50	12	232.8	23.28	12.73
73		5	135.5	13.55	
74		6	126.2	12.62	
75	25/75	2	120.2	12.02	10.92
76		16	116.0	11.60	
77		17	104.4	10.44	
78		18	107.1	10.71	

α)

αριθμός δοκιμής	αναλογία καθαρού/φρεζαρισμένου υλικού	αριθμός δοκιμίου	φορτίο θραύσης (KN)	αντοχή σε εφελκυσμό f (MPa)	μέσος όρος αντοχής σε εφελκυσμό (MPa)
7	100/0	7	17.2	1.72	1.69
8		8	17.0	1.70	
9		9	16.6	1.66	
37	50/50	1	11.8	1.18	1.22
40		2	12.7	1.27	
42		3	12.0	1.20	
15	25/75	15	7.2	0.72	0.98
13		13	10.6	1.06	
14		14	11.6	1.16	

β)

αριθμός δοκιμής	αναλογία καθαρού/φρεζαρισμένου υλικού	αριθμός δοκιμίου (KN)	μέγιστο φορτίο (KN)	αντοχή σε κάμψη f (MPa)	μέσος όρος αντοχής σε κάμψη (MPa)
6	100/0	12	10.5	3.15	2.87
22		10	9.8	2.94	
28		11	9.3	2.79	
1	50/50	4	8.5	2.55	2.41
14		5	7.3	2.19	
18		6	8.3	2.49	
9	25/75	17	7.6	2.28	2.41
32		16	8.0	2.40	
36		18	8.5	2.55	

γ)

Πίνακας 12.12: α) Προσδιορισμός της αντοχής σε θλίψη (με τη μέθοδο του ισοδύναμου κύβου), β) σε εφελκυσμό και γ) σε κάμψη.

αριθμός δοκιμής	αναλογία καθαρού/φρεζαρισμένου υλικού	αριθμός δοκιμίου	ποσοστό επί % του φορτίου θραύσης που επιβάλλεται	συντελεστής βαθμονόμησης των ηλεκτρομηχανοσυμπρέμων				Χαρακτηριστικά δοκιμών σε κάμψη								αριθμός μετρήσεων /sec	
				ανηγμένη παραμόρφωση ε*(10 ⁻⁶)		δύναμη (ΚΝ)	αριθμός επαναλαμβανόμενων φορτίσεων	Χρόνος αναμονής (min)	αριθμός επαναλαμβανόμενων φορτίσεων	μέγιστο φορτίο (ΚΝ)	περίοδος φορτίσεως (sec)	συχνότητα (Hz)	ταχύτητα φόρτισης (ΚΝ/sec)	Συνολική διάρκεια δοκιμής (sec)	ημερομηνία		
				Κανάλι 7	Κανάλι 8												Κανάλι 14
1	50/50	4	30	-	-	-	-	Θραύση	3	8.5	-	-	0.2	42	15-Ιαν	-	
2		5	30	0.585	0.577	0.00625	0.00625	3	5	0	2.0	20	0.05	0.2	360	16-Ιαν	4
3		6	30	0.588	0.574	0.00625	0.00625	3	5	0	2.0	20	0.05	0.2	360	16-Ιαν	4
4	100/0	10	30	0.579	0.571	0.00625	0.00625	3	5	0	3.0	30	0.03	0.2	390	17-Ιαν	4
5		11	30	0.577	0.579	0.00625	0.00625	3	5	0	3.0	30	0.03	0.2	390	17-Ιαν	4
6		12	30	-	-	-	-	Θραύση	3	10.5	-	-	0.2	52	17-Ιαν	4	
7	25/75	16	30	0.595	0.579	0.00625	0.00625	3	5	0	2.0	20	0.05	0.2	360	18-Ιαν	4
8		17	30	0.597	0.568	0.00625	0.00625	3	5	0	2.0	20	0.05	0.2	360	18-Ιαν	4
9		17	30	0.597	0.568	-	-	Θραύση	3	7.6	-	-	0.2	38	18-Ιαν	5	
10	50/50	18	30	0.57	0.581	0.00625	0.00625	3	5	0	2.0	20	0.05	0.2	360	18-Ιαν	4
11		5*	30	0.58	0.579	0.00625	0.00625	3	0	0	2.0	20	0.05	0.2	60	1-Φεβ	5
12		5*	65	0.58	0.579	0.00625	0.00625	3	10	3	5.0	50	0.02	0.2	900	1-Φεβ	5
13		5*	75	0.58	0.579	0.00625	0.00625	3	10	3	5.8	58	0.017	0.2	948	1-Φεβ	5
14		5	100	-	-	-	-	Θραύση	3	7.3	-	-	0.2	36.5	23-Ιαν	5	
15		6	30	0.582	0.597	0.00625	0.00625	3	10	3	2.0	20	0.05	0.2	60	23-Ιαν	5
16		6	65	0.582	0.597	0.00625	0.00625	3	10	3	5.0	50	0.02	0.2	900	23-Ιαν	5
17		6	75	0.582	0.597	0.00625	0.00625	3	10	3	5.8	58	0.017	0.2	948	23-Ιαν	5
18	100/0	6	100	-	-	-	-	Θραύση	3	8.3	-	-	0.2	42	23-Ιαν	5	
19		10	30	0.579	0.571	0.00625	0.00625	3	10	3	3.0	30	0.033	0.2	90	25-Ιαν	5
20		10	65	0.579	0.571	0.00625	0.00625	3	10	3	6.8	68	0.0147	0.2	1008	25-Ιαν	5
21		10	75	0.579	0.571	0.00625	0.00625	3	10	3	7.8	78	0.01282	0.2	1068	25-Ιαν	5
22		10	100	0.579	0.571	0.00625	0.00625	3	10	3	9.8	98	0.01282	0.2	1068	25-Ιαν	5
23		11	30	0.577	0.592	0.00625	0.00625	3	10	3	3.0	30	0.033	0.2	90	24-Ιαν	5
24		11	65	0.577	0.592	0.00625	0.00625	3	10	3	6.8	68	0.0147	0.2	1008	24-Ιαν	5
25		11	75	0.577	0.592	0.00625	0.00625	3	10	3	7.8	78	0.01282	0.2	1068	24-Ιαν	5
26	25/75	11*	30	0.577	0.592	0.00625	0.00625	3	10	3	3.0	30	0.033	0.2	780	24-Ιαν	5
27		11	30	0.577	0.592	0.00625	0.00625	3	10	3	3.0	30	0.033	0.2	780	24-Ιαν	5
28		11	100	0.577	0.592	0.00625	0.00625	3	10	3	9.3	93	0.033	0.2	47	24-Ιαν	5
29		16	30	0.595	0.579	0.00625	0.00625	3	10	3	2.0	20	0.05	0.2	720	4-Φεβ	5
30		16	65	0.595	0.579	0.00625	0.00625	3	10	3	4.5	45	0.022	0.2	870	4-Φεβ	5
31		16	75	0.595	0.579	0.00625	0.00625	3	10	3	5.0	50	0.02	0.2	900	4-Φεβ	5
32		16	100	0.595	0.579	0.00625	0.00625	3	10	3	8.0	80	0.02	0.2	40	4-Φεβ	5
33		18	30	0.57	0.581	0.00625	0.00625	3	10	3	2.0	20	0.05	0.2	720	4-Φεβ	5
34	25/75	18	65	0.57	0.581	0.00625	0.00625	3	10	3	4.5	45	0.022	0.2	870	4-Φεβ	5
35		18	75	0.57	0.581	0.00625	0.00625	3	10	3	5.0	50	0.02	0.2	900	4-Φεβ	5
36		18	100	0.57	0.581	0.00625	0.00625	3	10	3	8.5	85	0.02	0.2	43	4-Φεβ	5

* = αρθροτή στήριξη των LVDT μη επιτρέπεται καμία μετακίνηση

Πίνακας 12.13.: Χαρακτηριστικά δοκιμών σε κάμψη

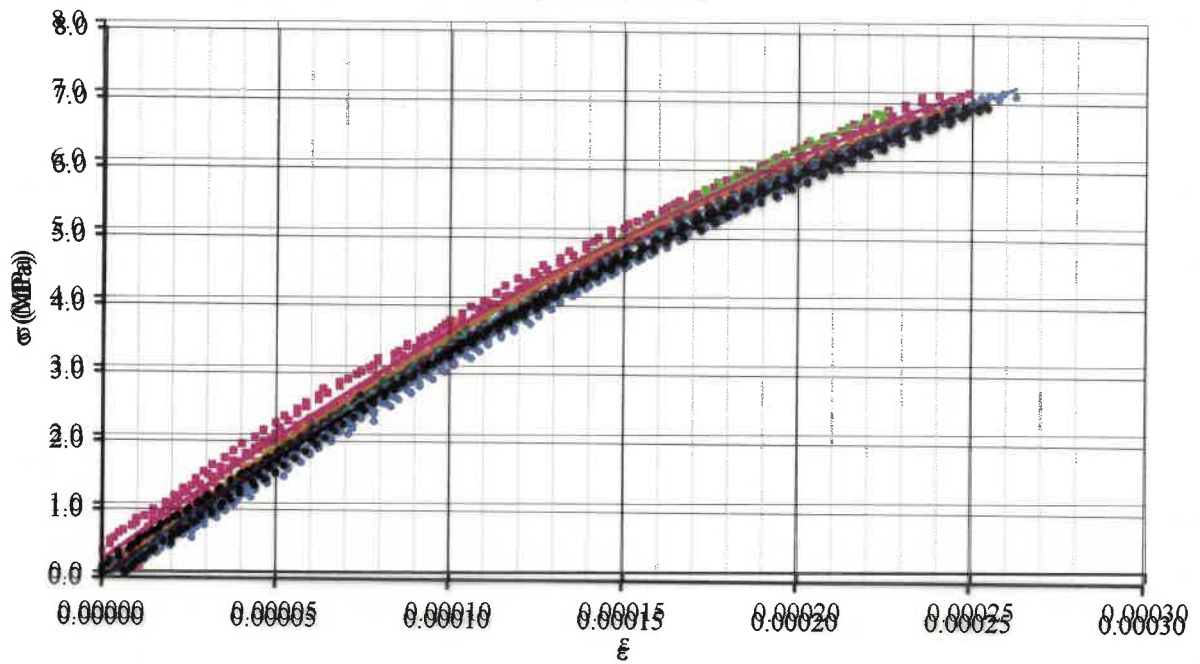
αριθμός δοκιμής	αναλογία καθαρού/φρεζαρισμένου υλικού	αριθμός δοκιμίου	Χαρακτηριστικά Δοκιμών Εφελκυσμού						Συνολική διάρκεια δοκιμής (sec)	ταχύτητα φόρτισης (KN/sec)	περίοδος φορτίσας (sec)	συχνότητα (Hz)	αριθμός επαναλαμβανόμενων φορτίσεων	Χρόνος αναμονής (min)	αριθμός βανομένων φορτίσεων	μέγιστο φορτίο (KN)	περίοδος φορτίσας (sec)	αριθμός μετρήσεων /sec
			συντελεστής βαθμινόμησης των ηλεκτρομηχανισμομένων			αριθμός επαναλαμβανόμενων φορτίσεων	αριθμός βανομένων φορτίσεων	μέγιστο φορτίο (KN)										
			ανηγμένη παραμόρφωση ϵ (*10 ⁻⁵)		δύναμη (KN)													
			Κανάλι 7	Κανάλι 8														
37		1	-	-	-	-	Θραύση	11.8	0.35	34	16-Ιαν	-						
38	50/50	2a	-	-	-	-	5	0	3.5	20	0.050	0.35	360	16-Ιαν	-			
39		2b	-	-	-	-	5	0	3.5	70	0.014	0.10	510	16-Ιαν	-			
40		2	-	-	-	-	Θραύση	12.7				0.10	127	16-Ιαν	-			
41		3	-	-	-	-	5	0	3.5	20	0.050	0.35	240	16-Ιαν	-			
42		3	-	-	-	-	Θραύση	12.0	0.20	60	16-Ιαν	-						
43	100/0	7	-	-	-	-	5	0	5.0	50	0.020	0.20	450	17-Ιαν	-			
44		7	-	-	-	-	Θραύση	17.2	0.20	85	17-Ιαν	-						
45		8	-	-	-	-	5	0	3.5	35	0.030	0.20	405	17-Ιαν	-			
46		8	-	-	-	-	Θραύση	17.0	0.20	85	17-Ιαν	-						
47		9	-	-	-	-	5	0	5.0	50	0.020	0.20	450	18-Ιαν	-			
48		9	-	-	-	-	Θραύση	16.6	0.20	83	18-Ιαν	-						
49	25/75	15	-	-	-	-	Θραύση	7.2	0.20	36	18-Ιαν	-						
50		13	-	-	-	-	5	0	2.0	20	0.050	0.20	360	18-Ιαν	-			
51		13	-	-	-	-	Θραύση	10.6	0.20	53	18-Ιαν	-						
52		14	-	-	-	-	5	0	2.0	20	0.050	0.20	360	18-Ιαν	-			
53		14	-	-	-	-	Θραύση	11.6	0.20	58	18-Ιαν	-						
54	50/50	5	0.580	0.577	0.0025	0.0025	3	0	3.5	35	0.029	0.20	105	23-Ιαν	5			
55		6	0.582	0.574	0.0025	0.0025	3	0	3.5	35	0.029	0.20	105	23-Ιαν	5			
56	100/0	10	0.580	0.579	0.0025	0.0025	3	0	5.0	50	0.020	0.20	150	23-Ιαν	5			
57		11	0.577	0.579	0.0025	0.0025	3	0	5.0	50	0.020	0.20	150	23-Ιαν	5			

Πίνακας 12.14: Χαρακτηριστικά των δοκιμών εφελκυσμού

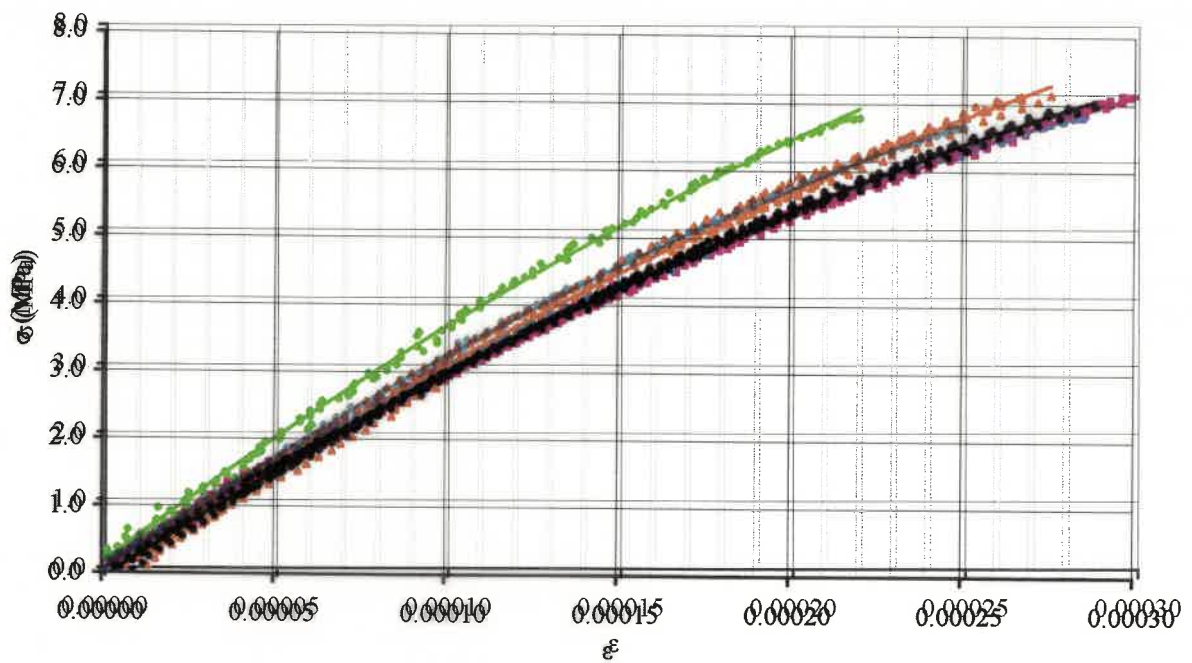
αριθμός δοκιμής	αναλογία καθαρού/φρεζαρισμένου υλικού	αριθμός δοκιμίου	Χαρακτηριστικά Δοκιμών Εφελκυσμού										αριθμός μετρήσεων /sec
			συντελεστής βαθμινόμησης των ηλεκτρομηχανισμομέτρων										
			ανηγμένη παραμόρφωση ϵ (*10 ⁻⁶)					μέγιστο φορτίο (KN)		ταχύτητα φόρτισης (KN/sec)	Συνολική διάρκεια δοκιμής (sec)	ημερομηνία	
			Κανάλι 7	Κανάλι 8	Κανάλι 9	Κανάλι 10	Κανάλι 14						
58	100/0	9	0.589	0.573	0.589	0.575	0.0025	69.8	0.20	349	6-Φεβ	4	
59		12	0.571	0.574	0.578	0.577	0.0025	69.8	0.20	349	5-Φεβ	4	
60		1	0.576	0.568	0.588	0.573	0.0025	39.8	0.20	199	7-Φεβ	4	
61		2	0.577	0.573	0.59	0.567	0.0025	39.8	0.20	199	7-Φεβ	4	
62	25/75	3	0.579	0.585	0.574	0.57	0.0025	39.8	0.20	199	7-Φεβ	4	
63		13a	0.583	0.575	0.587	0.574	0.0025	23.6	0.20	118	6-Φεβ	4	
64		13b	0.589	0.573	0.589	0.575	0.0025	23.6	0.20	118	6-Φεβ	4	
65		15a	0.582	0.576	0.596	0.574	0.0025	23.6	0.20	118	6-Φεβ	4	

Πίνακας 12.15: Χαρακτηριστικά δοκιμών σε θλίψη

Δοκίμιο 12 (100/0)

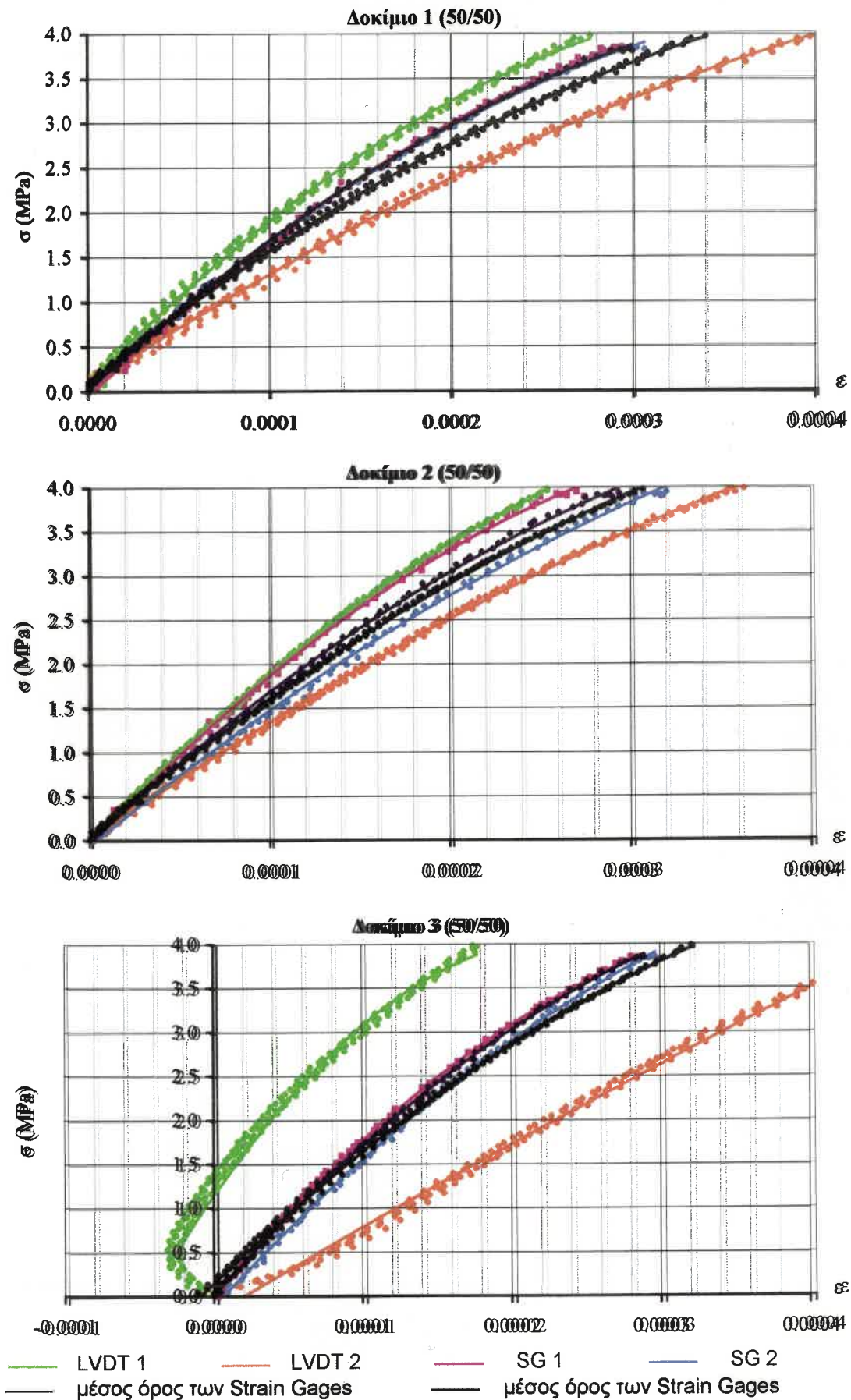


Δοκίμιο 9 (100/0)

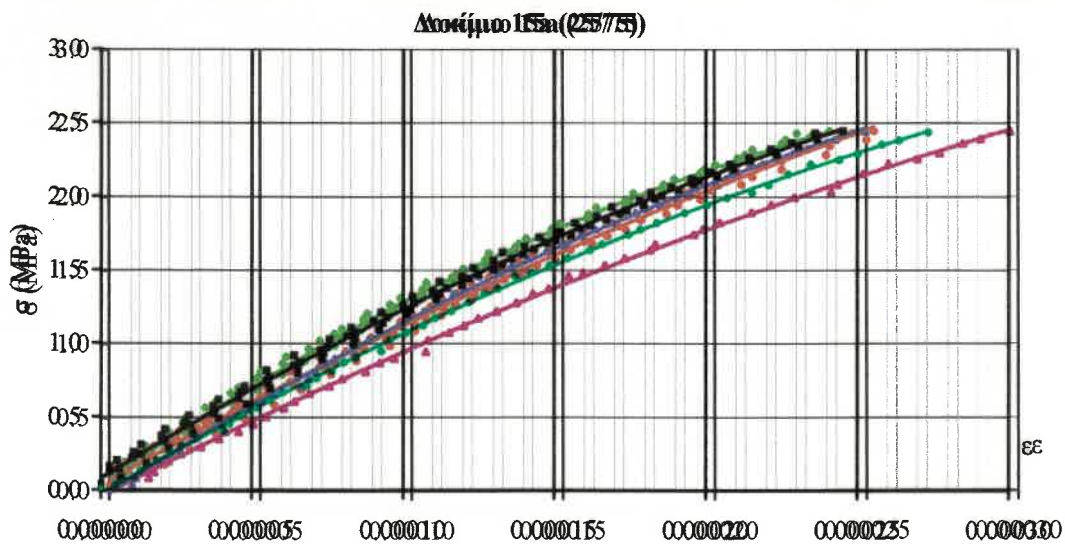
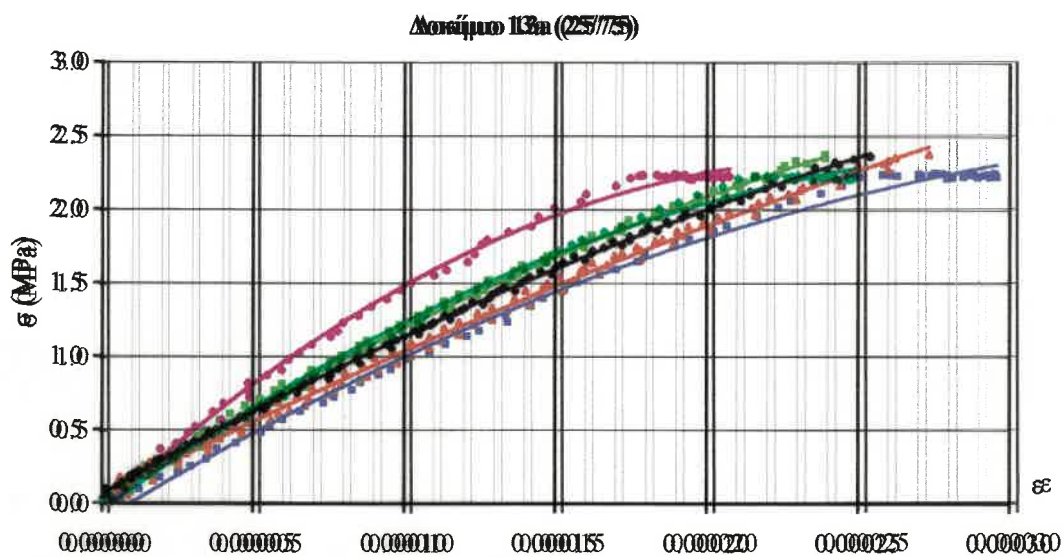
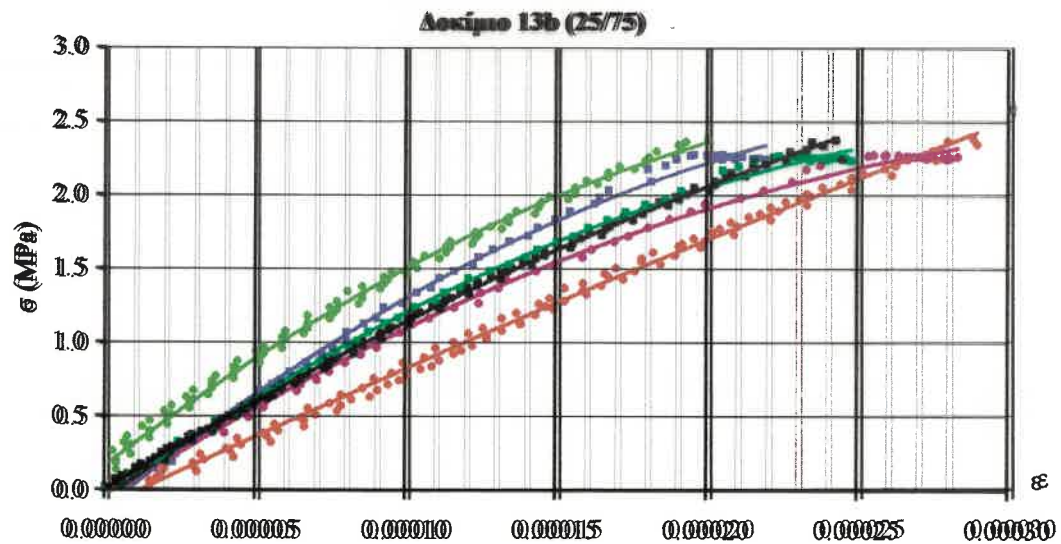


— SG 1 — SG 2 — LVDT 1 — LVDT 2
 — μέσος όρος των Strain Gages — μέσος όρος των LVDT

Σχήμα 12.1 . Διαγράμματα τάσεων - ανηγμένων παραμορφώσεων από δοκιμή θλίψης για κάθε LVDT και Strain Gage ξεχωριστά. Φόρτιση μέχρι το 1/3 του φορτίου θραύσης. Μίγματα με αναλογία καθαρού/φρεζαρισμένου υλικού 100/0. (Δοκιμές 59 και 58 αντίστοιχα).

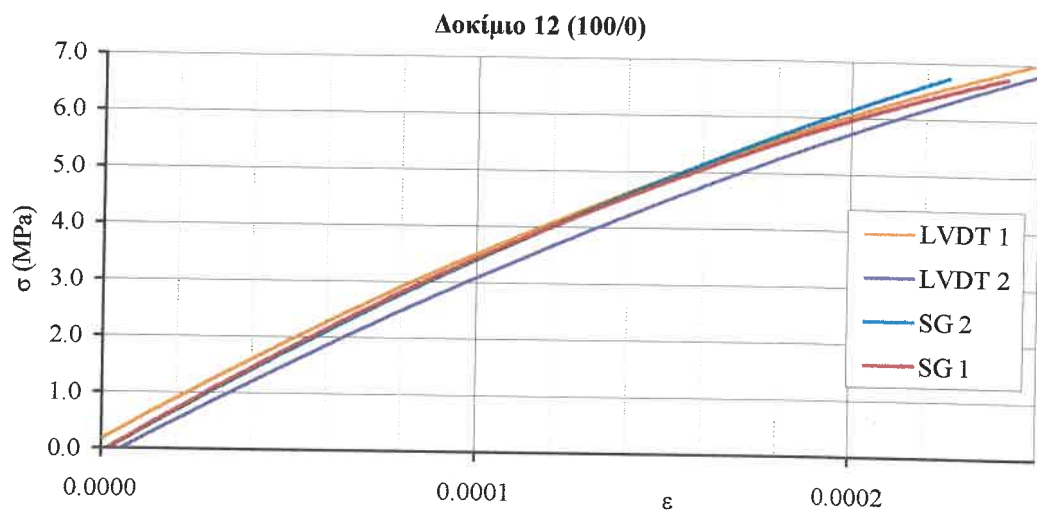
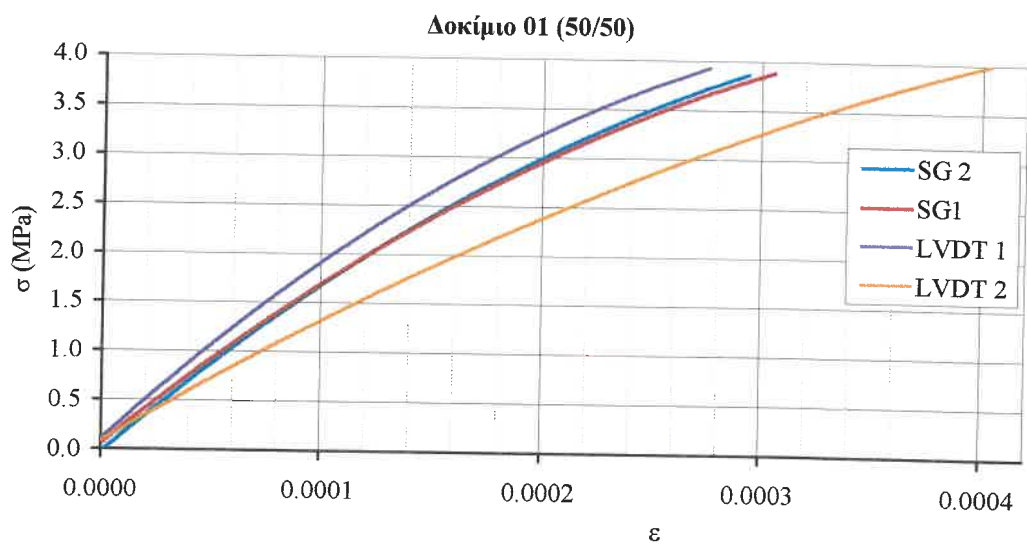
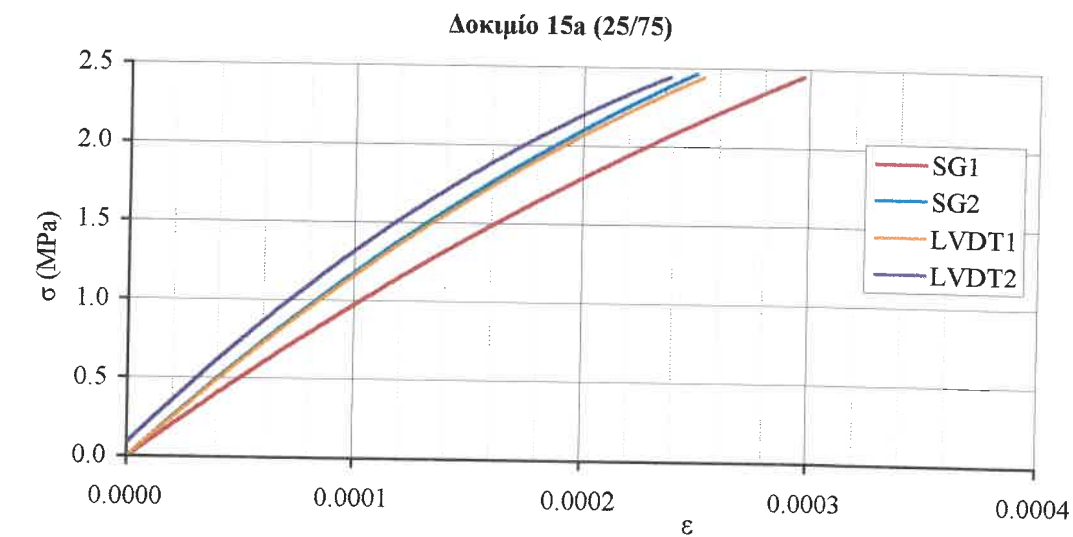


Σχήμα 12.2. Διάγραμμα τάσεων - ανηγμένων παραμορφώσεων από δοκιμή σε θλίψη για κάθε Strain Gage και LVDT ξεχωριστά. Μίγματα με αναλογία καθαρού / φρεζαρισμένου υλικού 50/50.

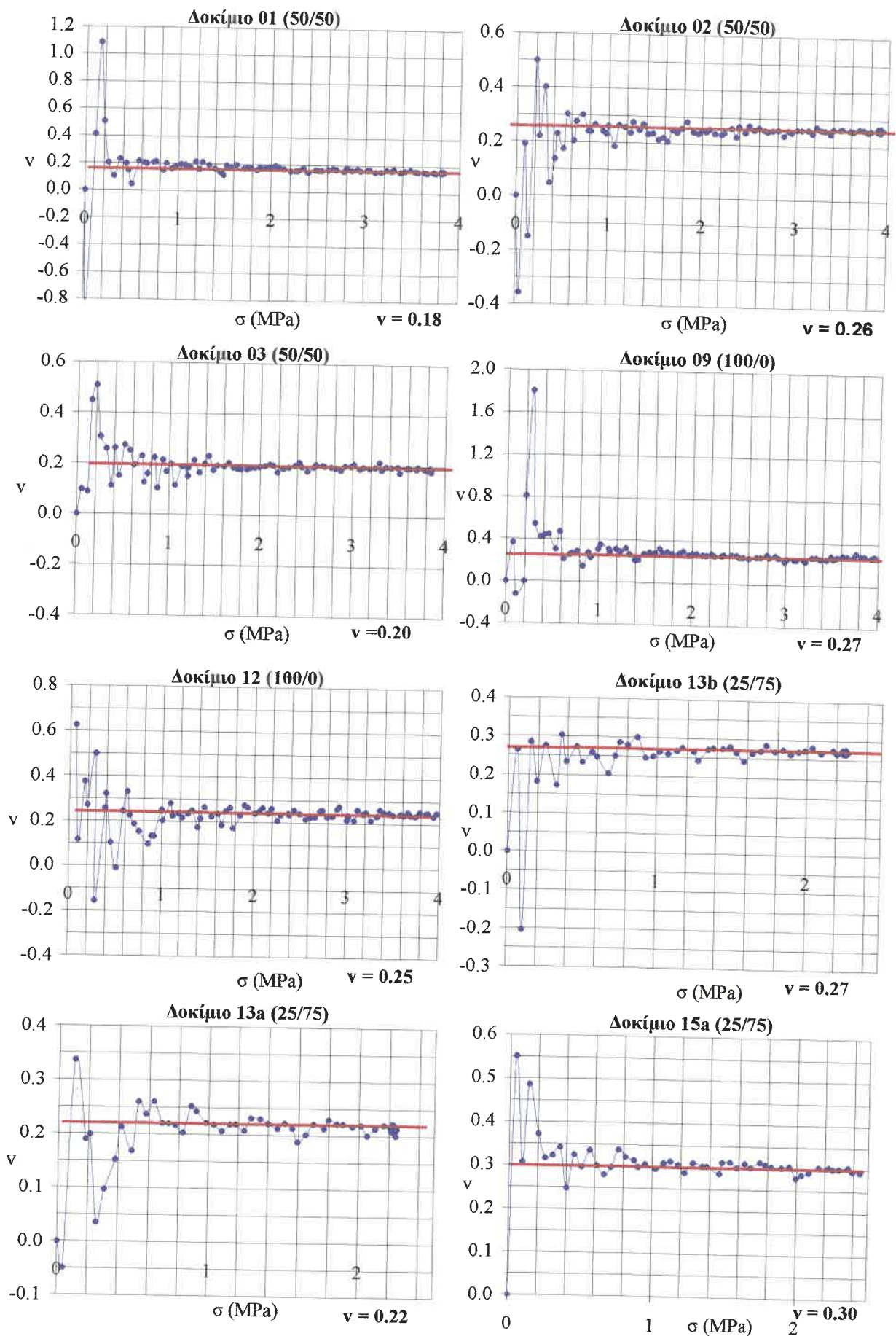


— LVDT 1 — LVDT 2 — SG 1 — SG 2
 — μέσος όρος των LVDT — μέσος όρος των Strain Gages

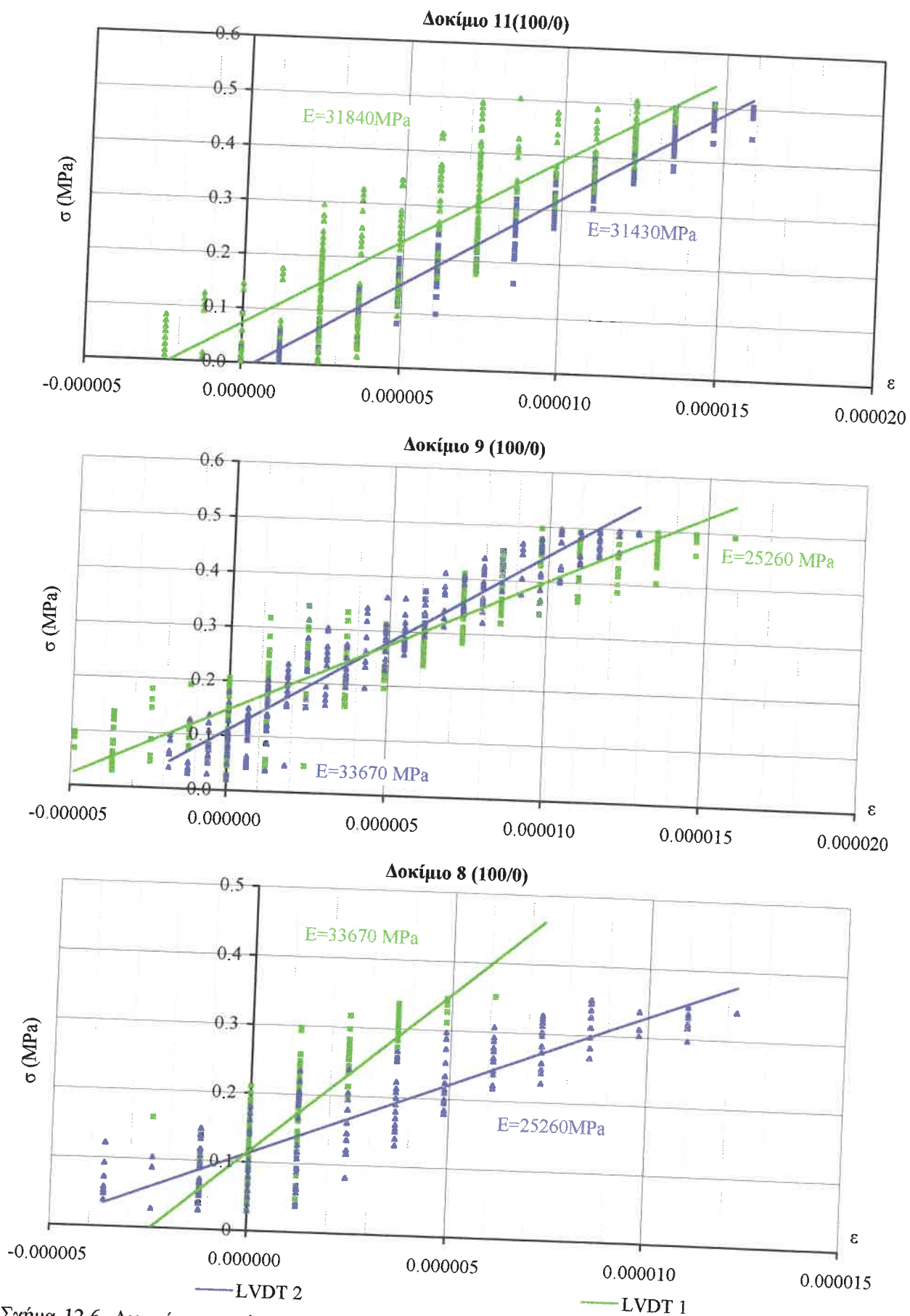
Σχήμα 12.3. Διάγραμμα τάσεων - ανηγμένων παραμορφώσεων από δοκιμή σε θλίψη για κάθε Strain Gage και LVDT ξεχωριστά. Μίγματα με αναλογία καθαρού/φρεζαρισμένου υλικού 25/75. (Δοκιμές 63,64 και 65 αντίστοιχα)



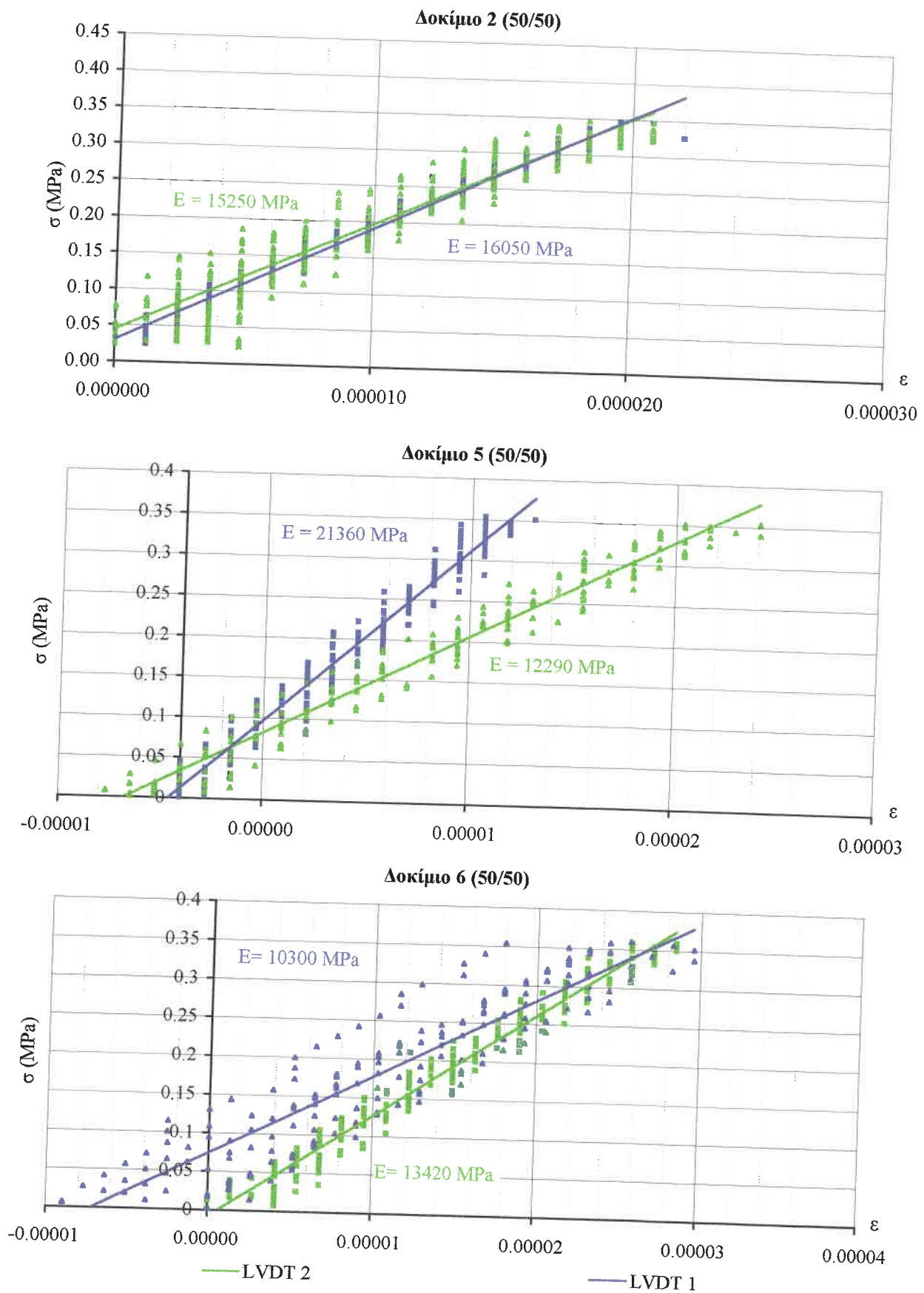
Σχήμα 12.4. Διαγράμματα τάσεων - ανηγμένων παραμορφώσεων από δοκιμή σε θλίψη μέχρι το 1/3 του φορτίου θράνσης, για κάθε LVDT και Strain Gage ξεχωριστά. Μίγματα με διαφορετική αναλογία καθαρού/φρεζαρισμένου υλικού. (Δοκιμές 65, 60 και 59 αντίστοιχα).



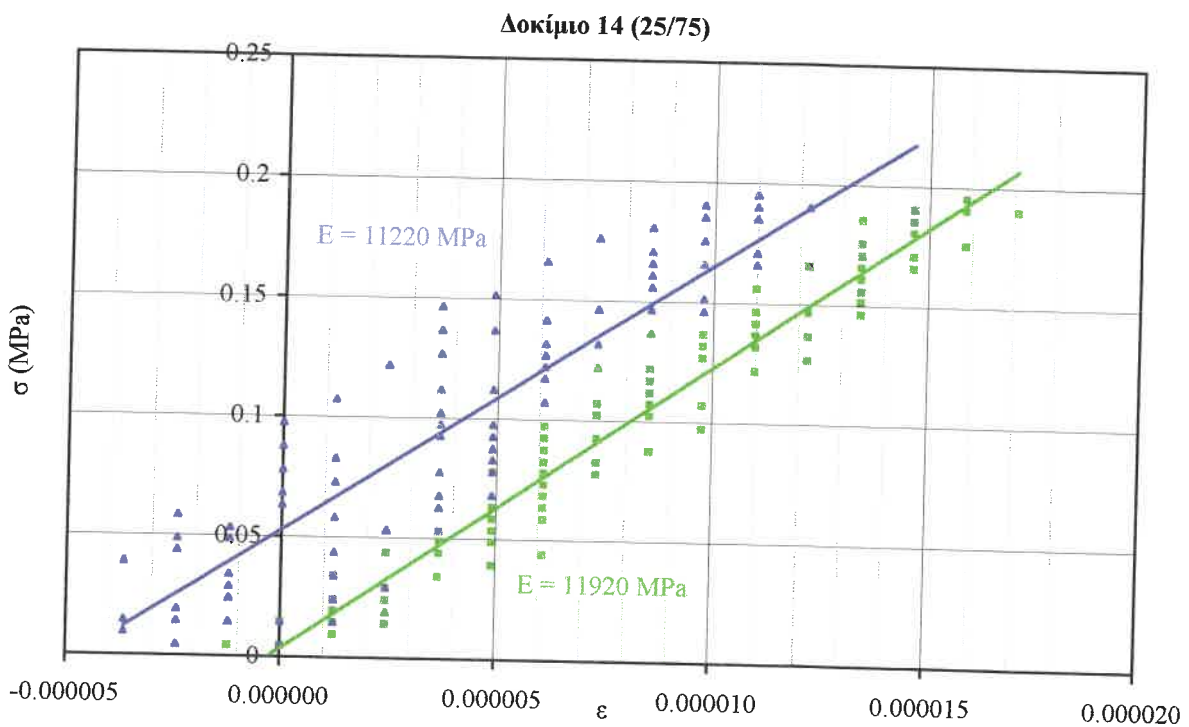
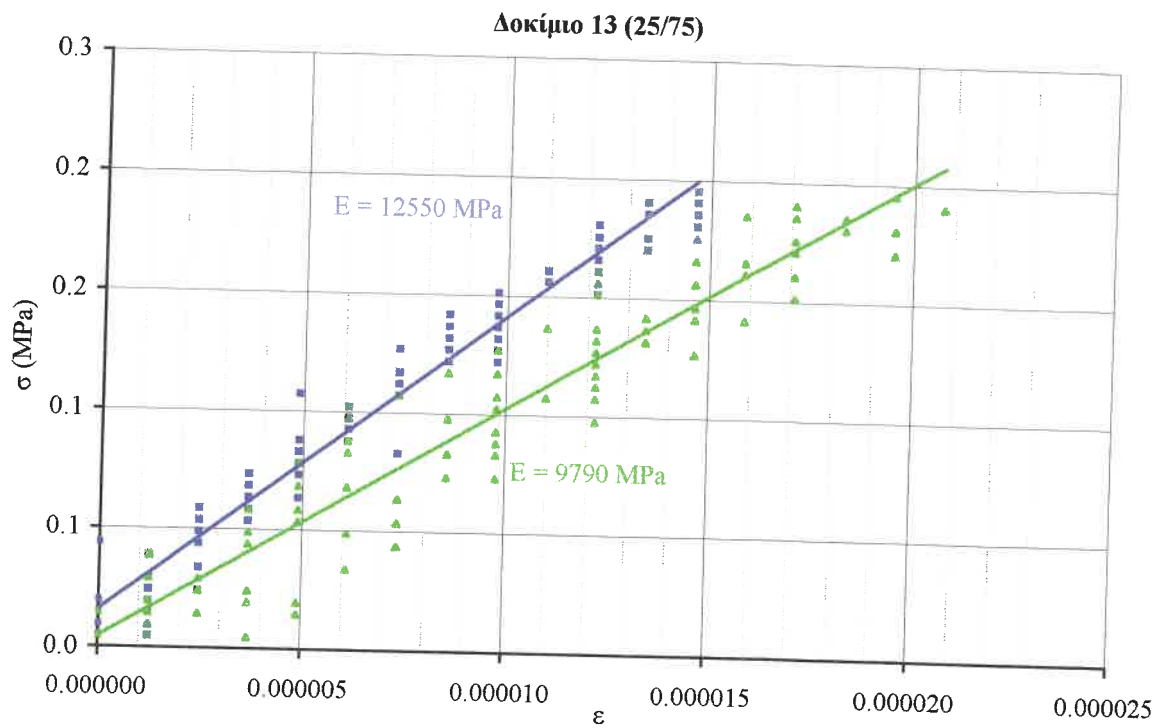
Σχήμα 12.5: Διαγράμματα λόγου Poisson ν - τάσης σ (MPa) από δοκιμή σε θλίψη. Μίγματα με διαφορετική αναλογία καθαρού / φρεζαρισμένου υλικού. (Δοκιμές 58 έως 65).



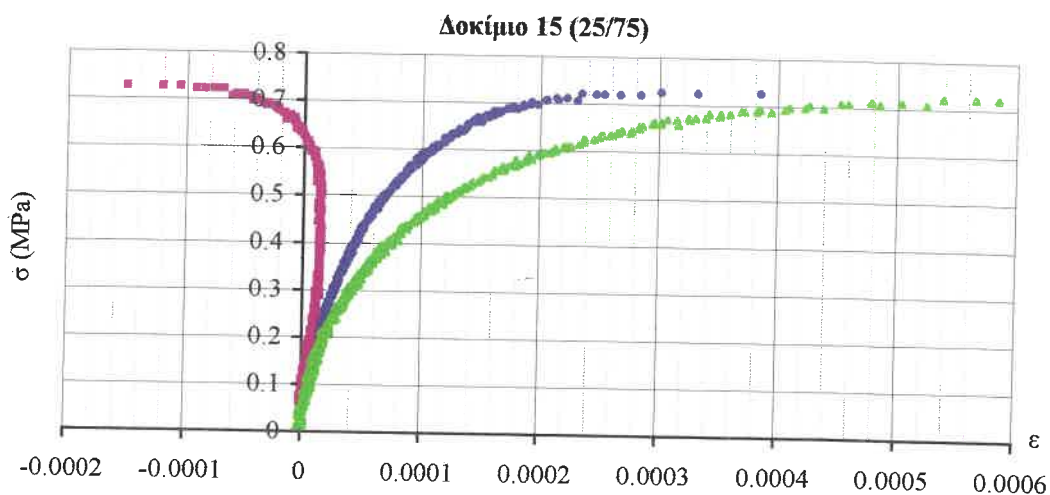
Σχήμα 12.6. Διαγράμματα τάσεων - ανηγμένων παραμορφώσεων από δοκιμή εφελκυσμού για κάθε LVDT ξεχωριστά. Μίγματα με αναλογία καθαρού/φρεζαρισμένου υλικού 100/0. (Δοκιμές 57, 47 και 45 αντίστοιχα).



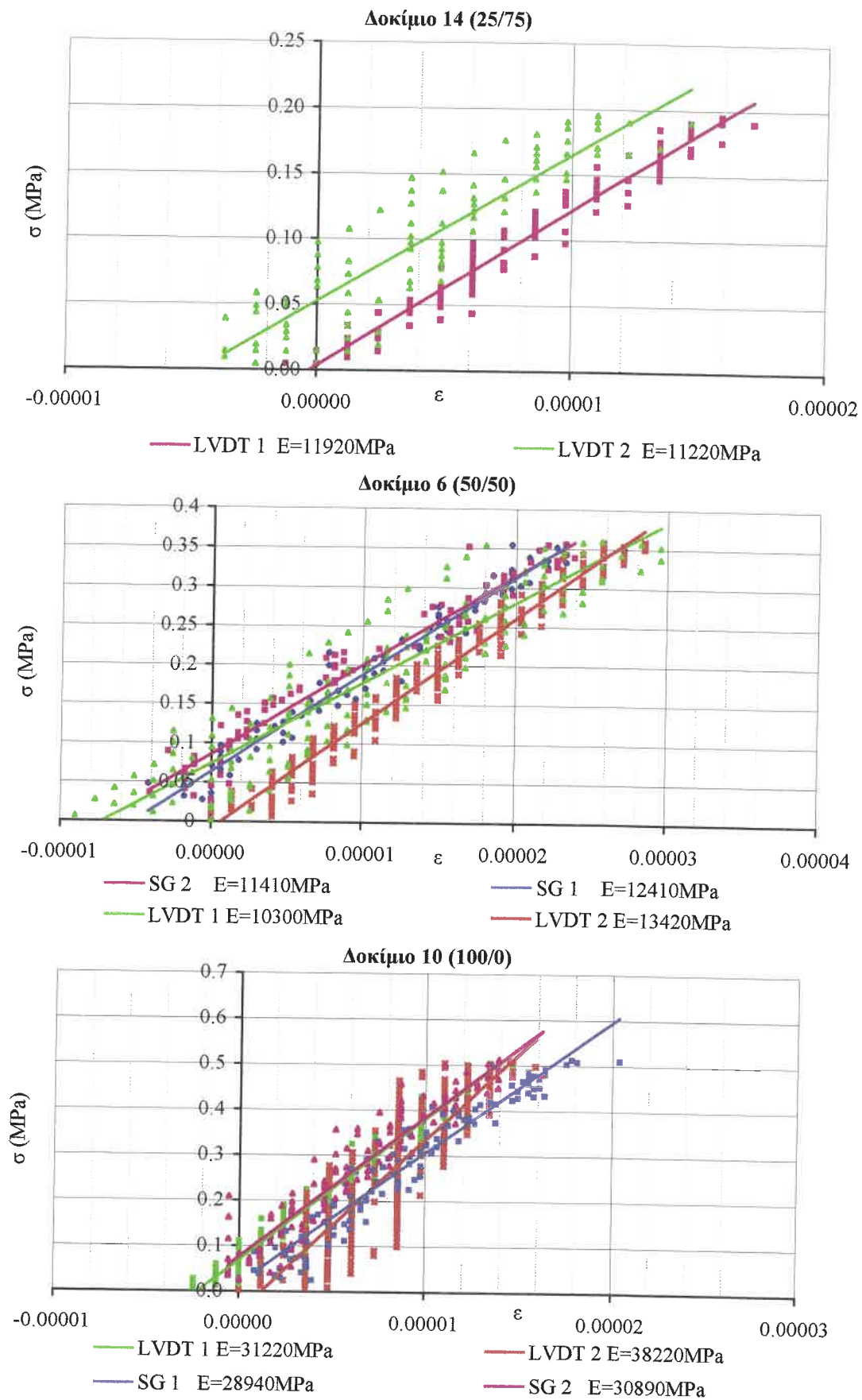
Σχήμα 12.7. Διαγράμματα τάσεων - ανηγμένων παραμορφώσεων από δοκιμή εφελκυσμού για κάθε LVDT ξεχωριστά. Μίγματα με αναλογία καθαρού/φρεζαρισμένου υλικού 50/50. (Δοκιμές 39, 54 και 55 αντίστοιχα).



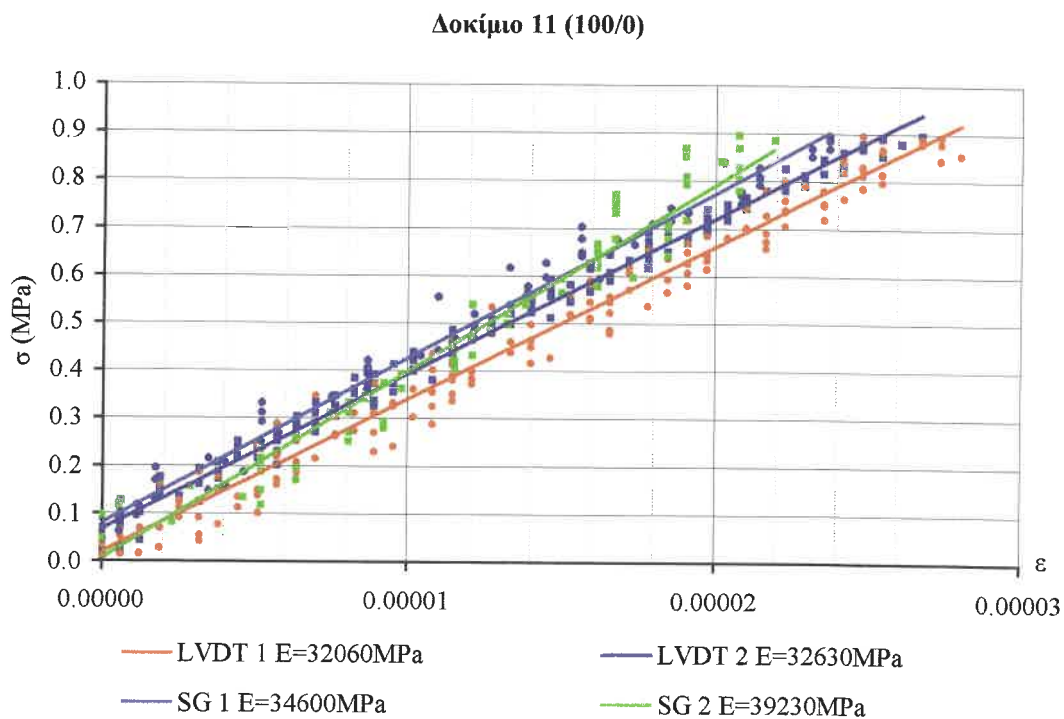
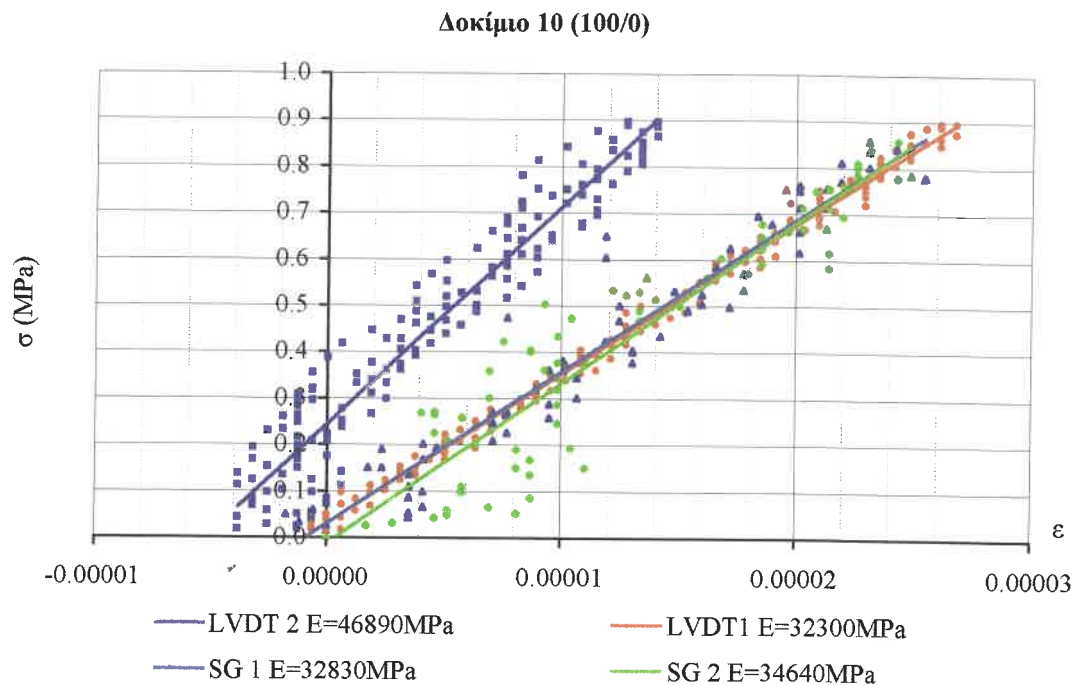
Σχήμα 12.8. Διαγράμματα τάσεων - ανηγμένων παραμορφώσεων από δοκιμή εφελκυσμού για κάθε LVDT ξεχωριστά. Μίγματα με αναλογία καθαρού/φρεζαρισμένου υλικού 25/75. (Δοκιμές 50 και 52 αντίστοιχα).



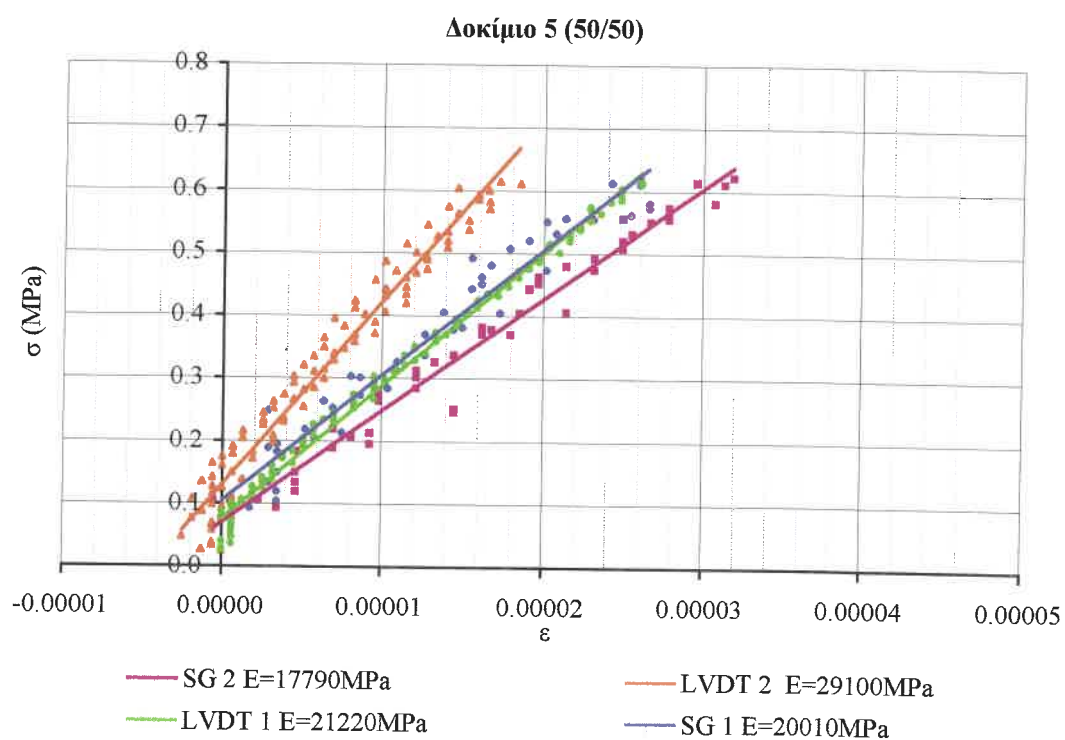
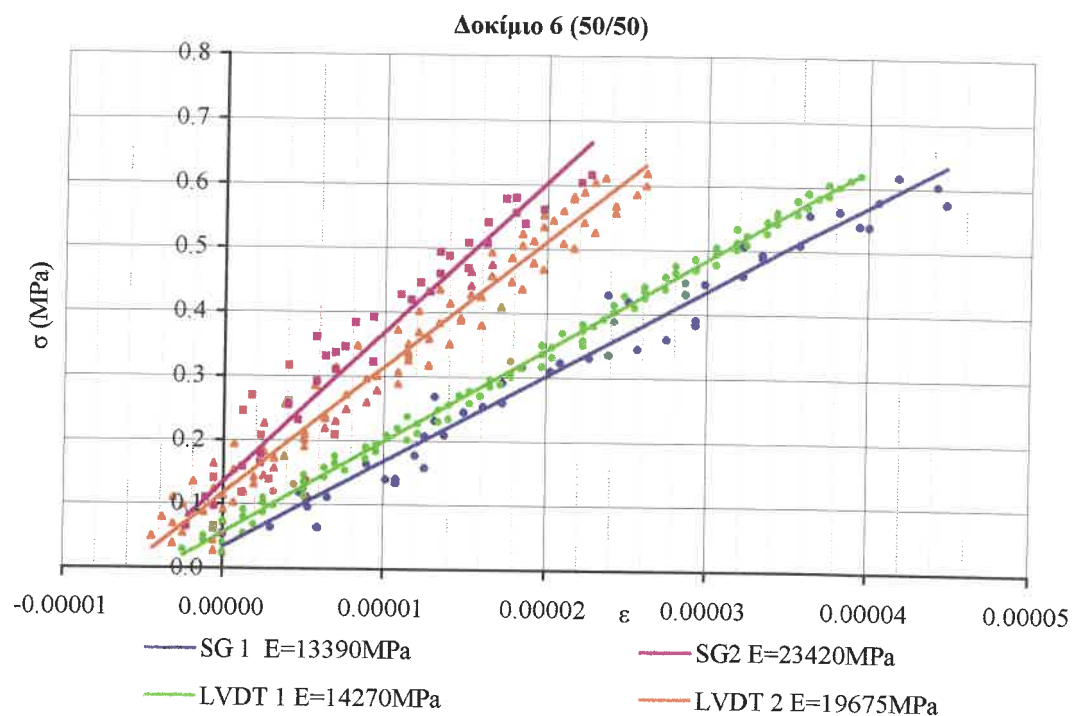
Σχήμα 12.9. Διαγράμματα τάσεων - ανηγμένων παραμορφώσεων από δοκιμή εφελκυσμού μέχρι σημείου θραύσης, για κάθε LVDT και μέσο όρο των τους. Μίγματα με διαφορετική αναλογία καθαρού φρεζαρισμένου υλικού. (Δοκιμές 49, 42 και 46 αντίστοιχα).



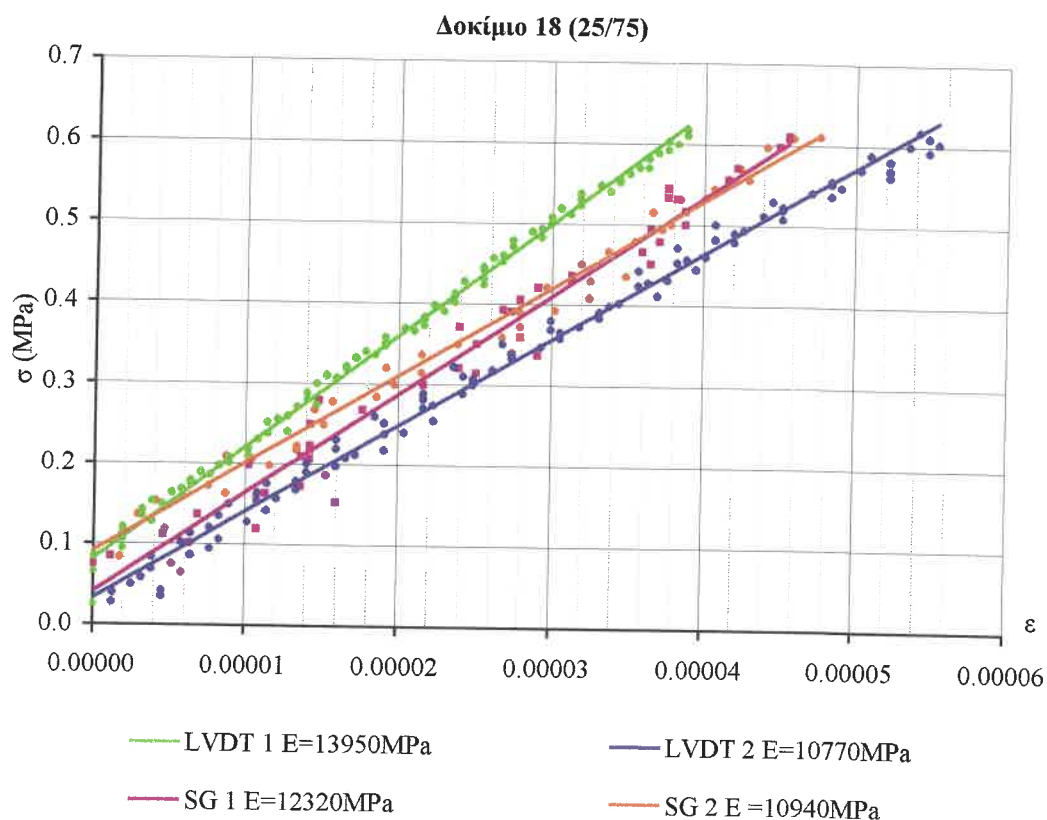
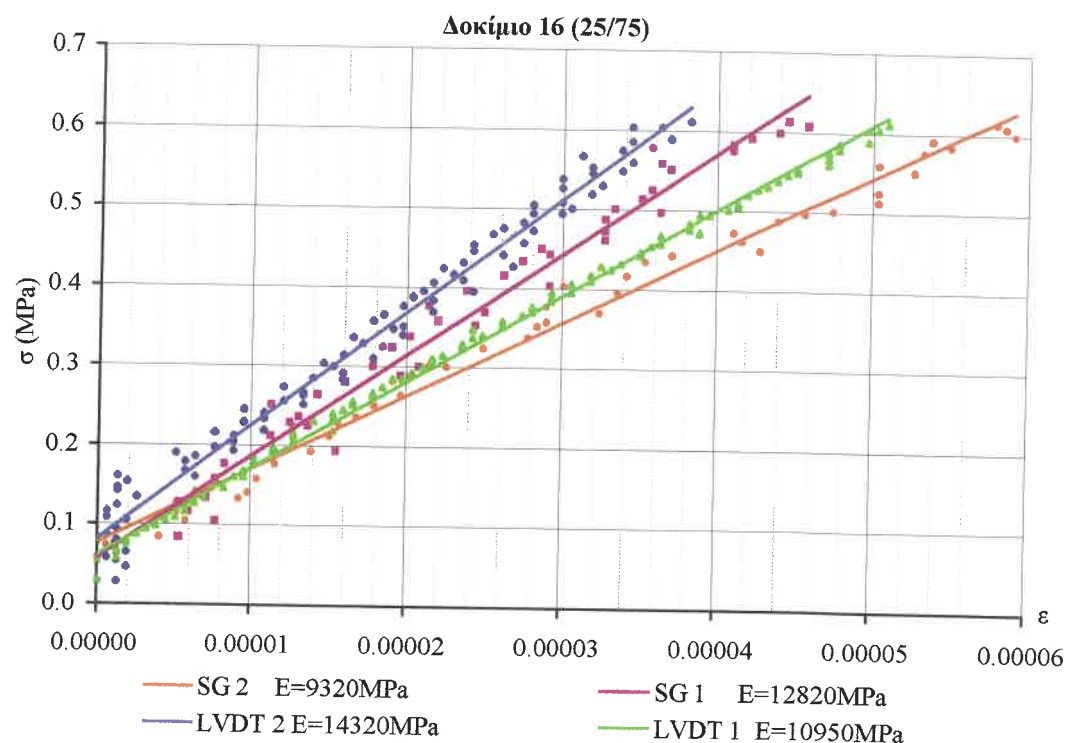
Σχήμα 12.10. Διαγράμματα τάσεων - ανηγμένων παραμορφώσεων για τον πρώτο κύκλο φόρτισης, από δοκιμή σε εφελκυσμό, για κάθε LVDT και Strain Gage ξεχωριστά. Μίγματα με διαφορετική αναλογία καθαρού - φρεζαρισμένου υλικού. (Δοκιμές 52, 55 και 56 αντίστοιχα).



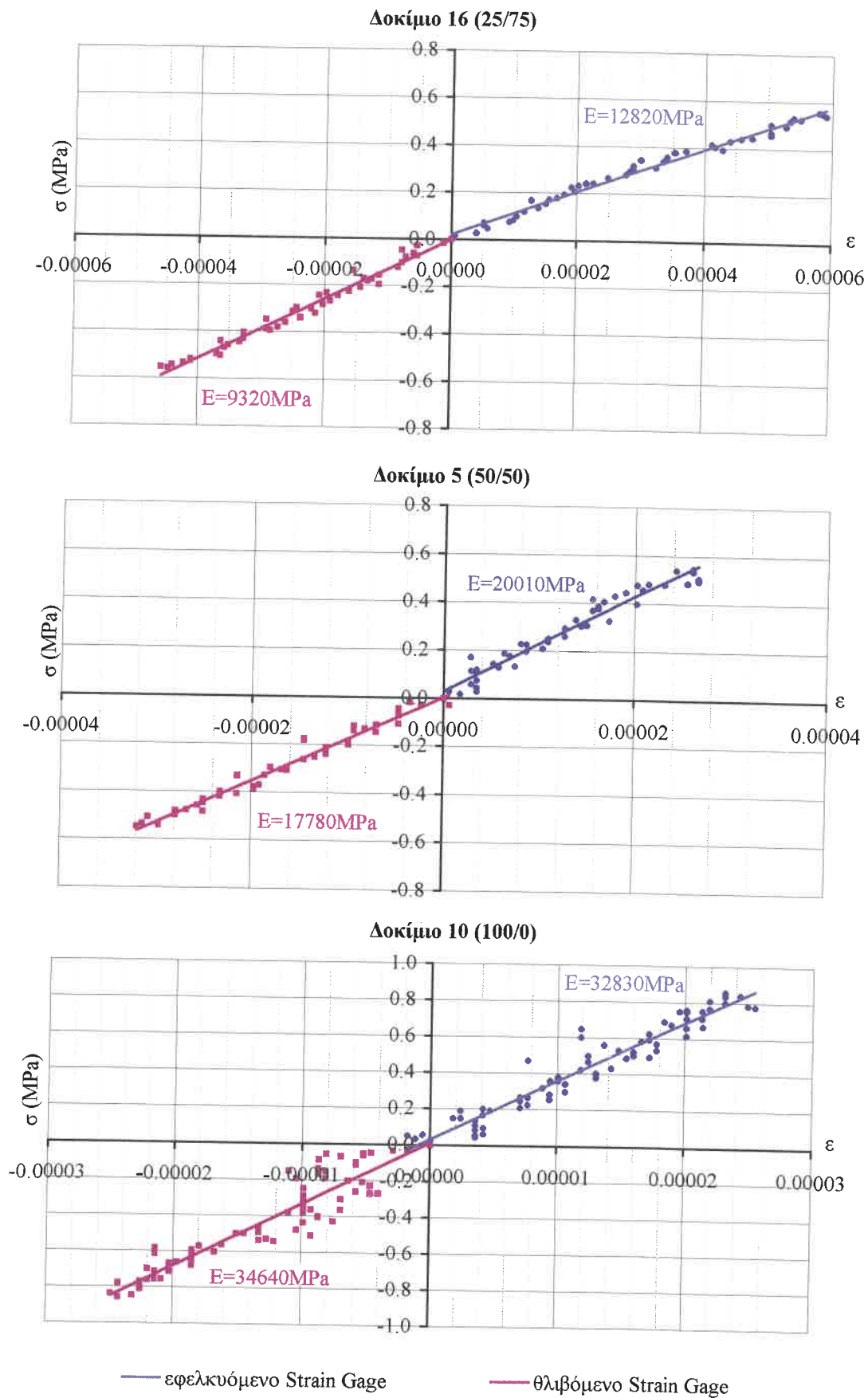
Σχήμα 12.11. Διαγράμματα τάσεων - παραμορφώσεων από δοκιμή σε κάμψη δοκιμίων με αναλογία καθαρού - φρεζαρισμένου υλικού 100/0. Φόρτιση μέχρι το 30% του φορτίου θραύσης. Απορρίπτονται οι μετρήσεις του LVDT 2 του δοκιμίου 2 και του Strain Gage 2 του δοκιμίου 11 εφόσον θεωρούνται πολύ μεγάλες σε σχέση με τις άλλες τρεις. (Δοκιμές 19 και 23 αντίστοιχα).



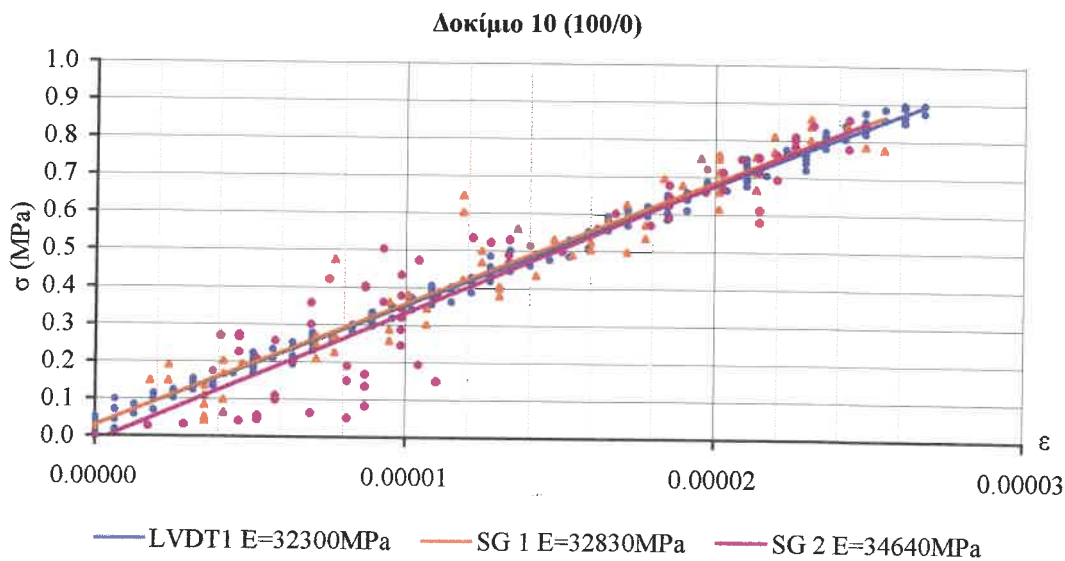
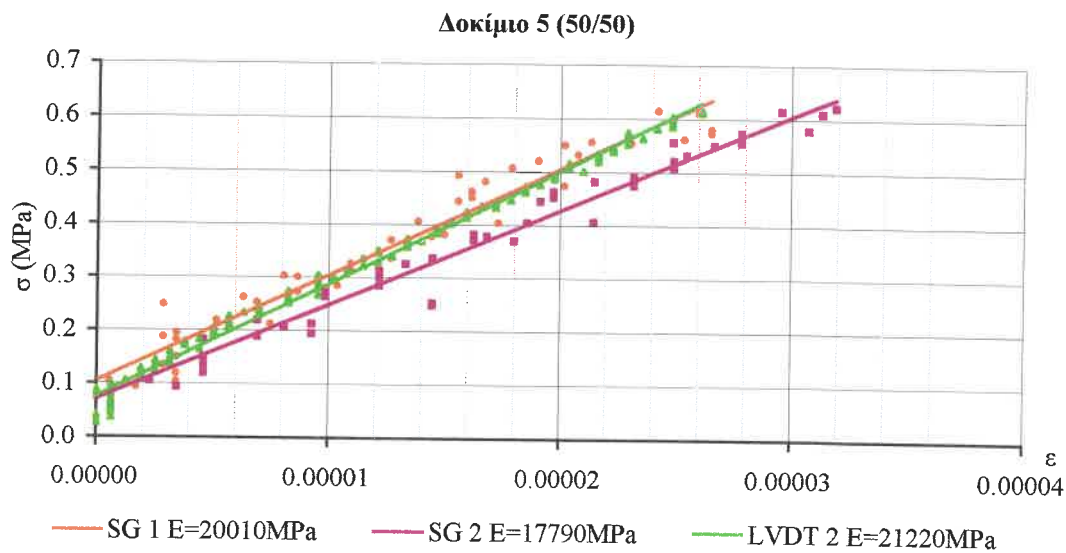
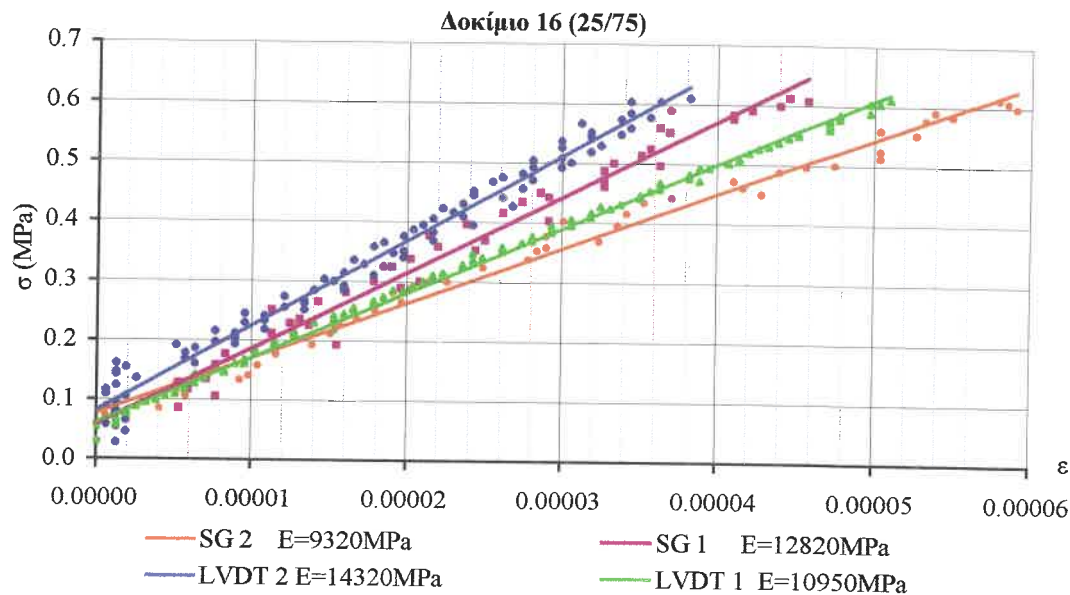
Σχήμα 12.12. Διαγράμματα τάσεων - παραμορφώσεων από δοκιμή σε κάμψη, δοκιμίων με αναλογία καθαρού - φρεζαρισμένου υλικού 50/50. Φόρτιση μέχρι το 30% του φορτίου θραύσης. Απορρίπτεται η μέτρηση του LVDT 2 του δοκιμίου 5 εφόσον θεωρείται ότι αποκλίνει πολύ από τις υπόλοιπες τρεις. (Δοκιμές 15 και 11 αντίστοιχα).



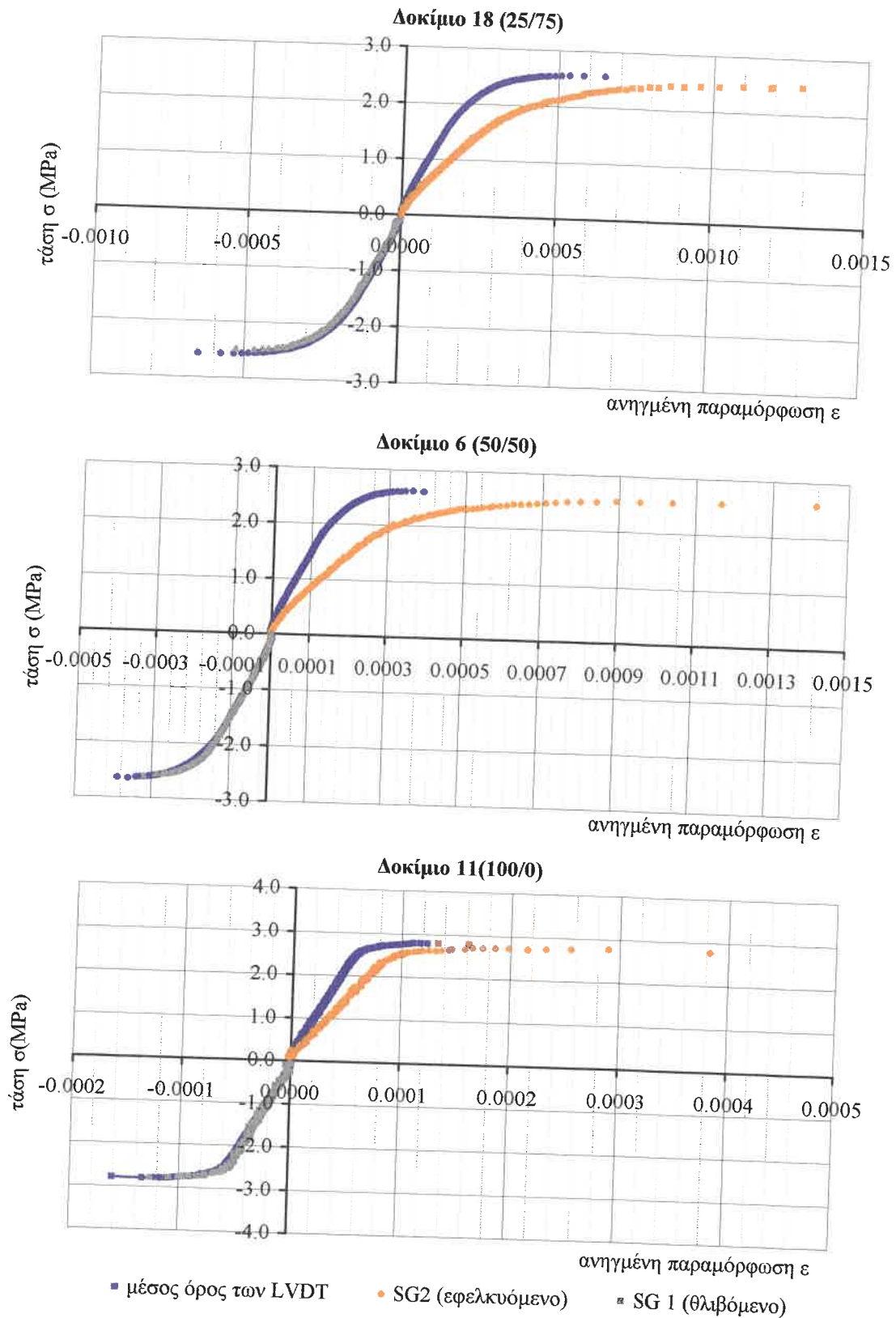
Σχήμα 12.13. Διαγράμματα τάσεων - ανηγμένων παραμορφώσεων από δοκιμή σε κάμψη, δοκιμών με αναλογία καθαρού - φρεζαρισμένου υλικού 25/75. Φόρτιση μέχρι το 30% του φορτίου θραύσης. (Δοκιμές 29 και 33 αντίστοιχα).



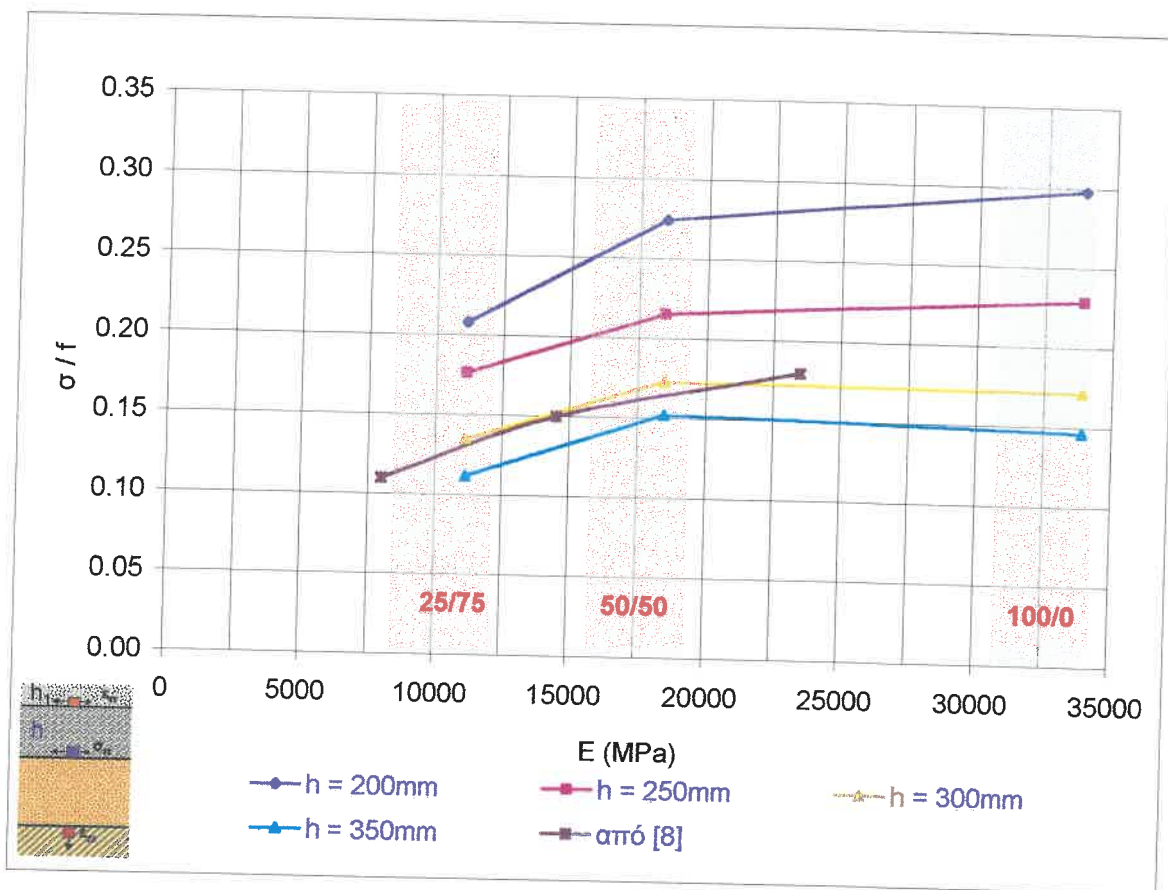
Σχήμα 12.14. Διαγράμματα τάσεων - ανηγμένων παραμορφώσεων από δοκιμή σε κάμψη για το θλιβόμενο και εφελκόμενο Strain Gage ξεχωριστά. Μίγματα με διαφορετική αναλογία καθαρού/φρεζαρισμένου υλικού. (Δοκιμές 29, 11 και 19 αντιστοίχα).



Σχήμα 12.15. Διαγράμματα τάσεων - ανηγμένων παραμορφώσεων από δοκιμή σε κάμψη για κάθε LVDT και Strain Gage ξεχωριστά, έχοντας απορρίψει κάποιες μετρήσεις ηλεκτρομηκυνσιομέτρων. Μίγματα με διαφορετική αναλογία καθαρού φρεζαρισμένου υλικού. (Δοκιμές 29,11 και 19 αντίστοιχα).



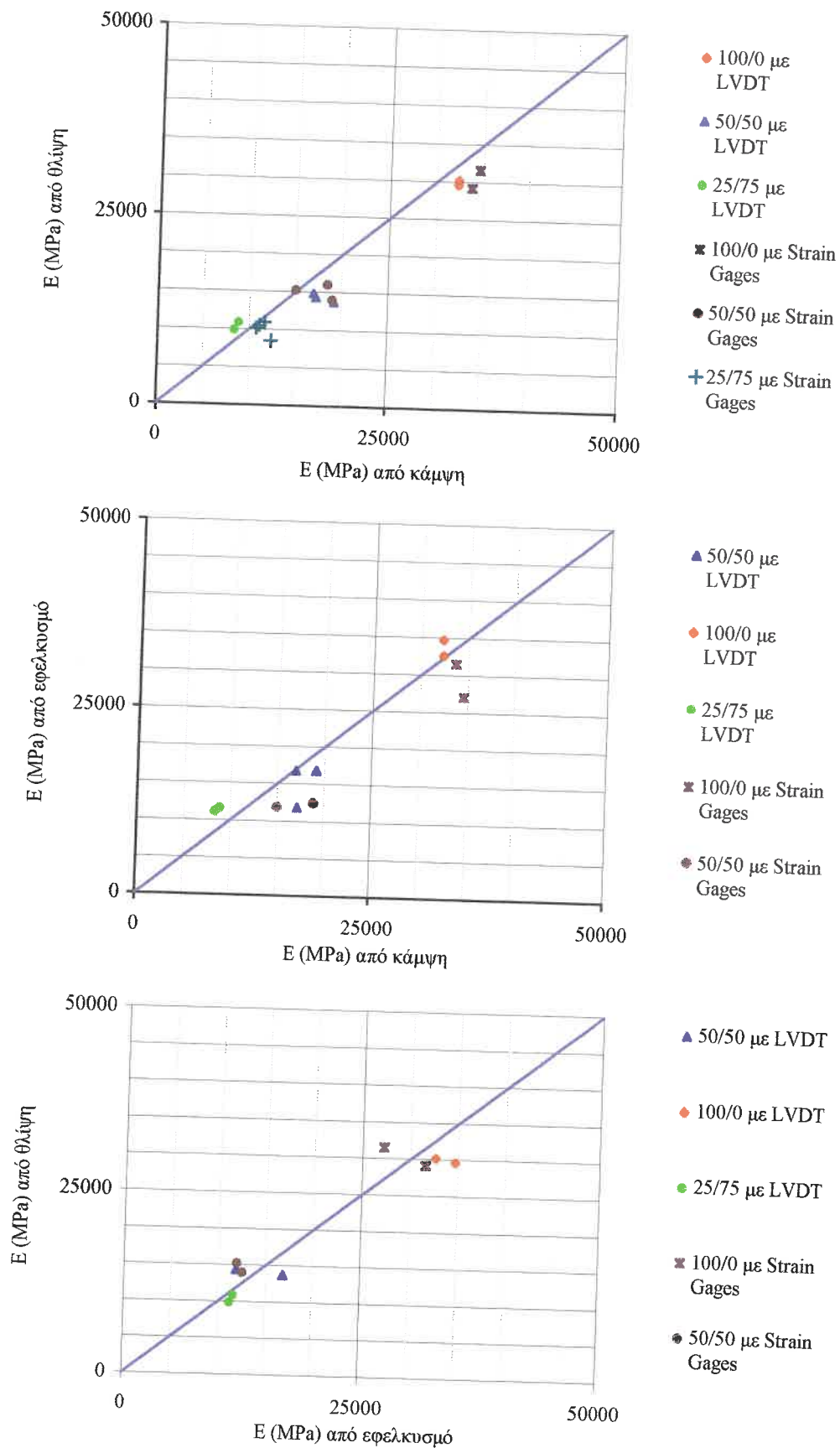
Σχήμα 12.16. Διαγράμματα τάσεων - ανηγμένων παραμορφώσεων από δοκιμή σε κάμψη μέχρι σημείου θραύσης, για ανηγμένη παραμόρφωση από κάθε Strain Gage (θλιβόμενο και εφελκόμενο) και μέσο όρο του βέλους των δύο LVDT αναγόμενου σε ανηγμένη παραμόρφωση. Μίγματα με διαφορετική αναλογία καθαρού / φρεζαρισμένου υλικού. (Δοκιμές 36, 18 και 28 αντίστοιχα).



	h (mm)				Μέτρο Ελαστ. E(MPa)	Λόγος Poisson
	200	250	300	350		
σ (MPa)	0.530	0.450	0.344	0.285	11140	0.20
	0.699	0.549	0.441	0.388	18460	0.25
	0.938	0.721	0.541	0.461	33890	0.30

τσιμέντο 5% - ηλικία 60 ημερών		σ/f			
Αντοχή σε κάμψη f ^[8] (MPa)	Μέτρο Ελαστικότητας E (MPa)	h (mm)			
		200	250	300	350
2.55	11140	0.21	0.18	0.13	0.11
2.55	18460	0.27	0.22	0.17	0.15
3.15	33890	0.30	0.23	0.17	0.15

Σχήμα 12.17. Μεταβολή του λόγου της αναπτυσσόμενης τάσης στον πυθμένα της ανακυκλωμένης στρώσης προς την αντοχή του υλικού για διάφορα πάχη ανακυκλωμένης στρώσης και προσθήκη τσιμέντου 5%.



Σχήμα 12.18. Σύγκριση μέτρου ελαστικότητας που προσδιορίστηκε από δοκιμές κάμψης, εφέλκυσμού και θλίψης. Μίγματα με διαφορετική αναλογία καθαρού - φρεζαρισμένου υλικού



12.1



12.2



12.3



12.4



12.5

Εικόνες 12.1 – 12.5

12.1: Κοσκίνισμα των υλικών, 12.2: τοποθέτηση των ξηρών υλικών στον αναμικτήρα, 12.3: Ανάμιξη των ξηρών υλικών με τα 2/3 περίπου της ποσότητας του νερού, 12.4: κάλυψη του αναμικτήρα με νάυλον για την ισοκατανομή της υγρασίας του μίγματος και αναμονή είκοσι λεπτών, 12.5: προσθήκη τσιμέντου στο μίγμα.



12.6



12.7



12.8



12.9



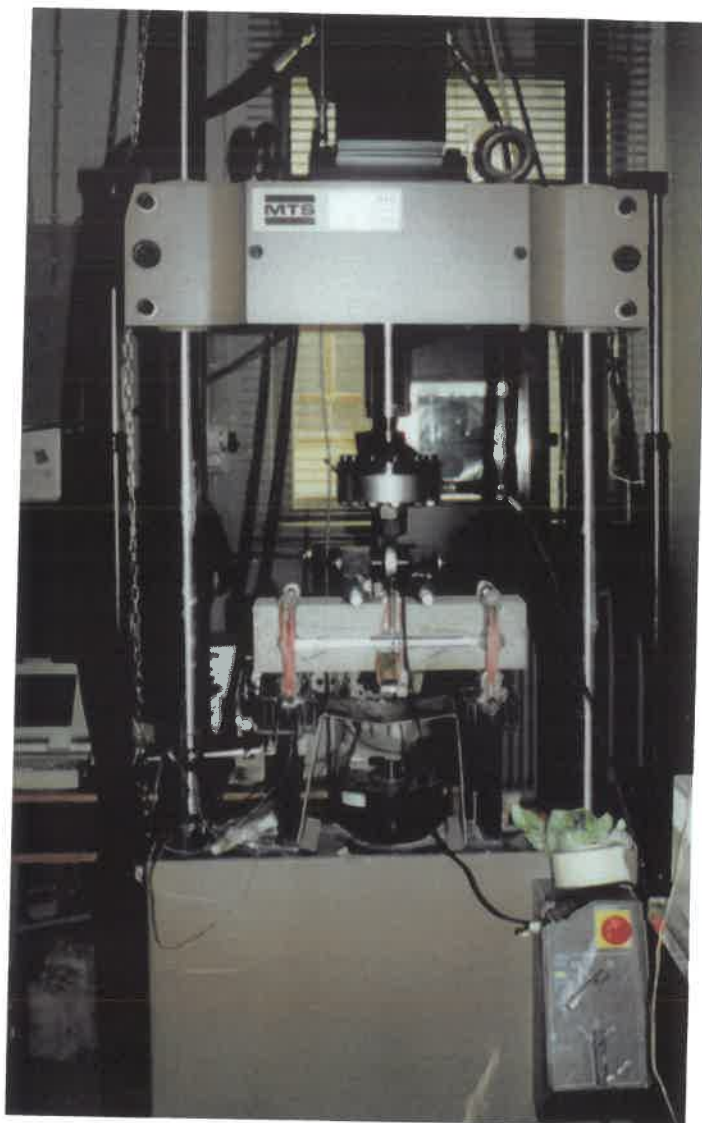
12.10



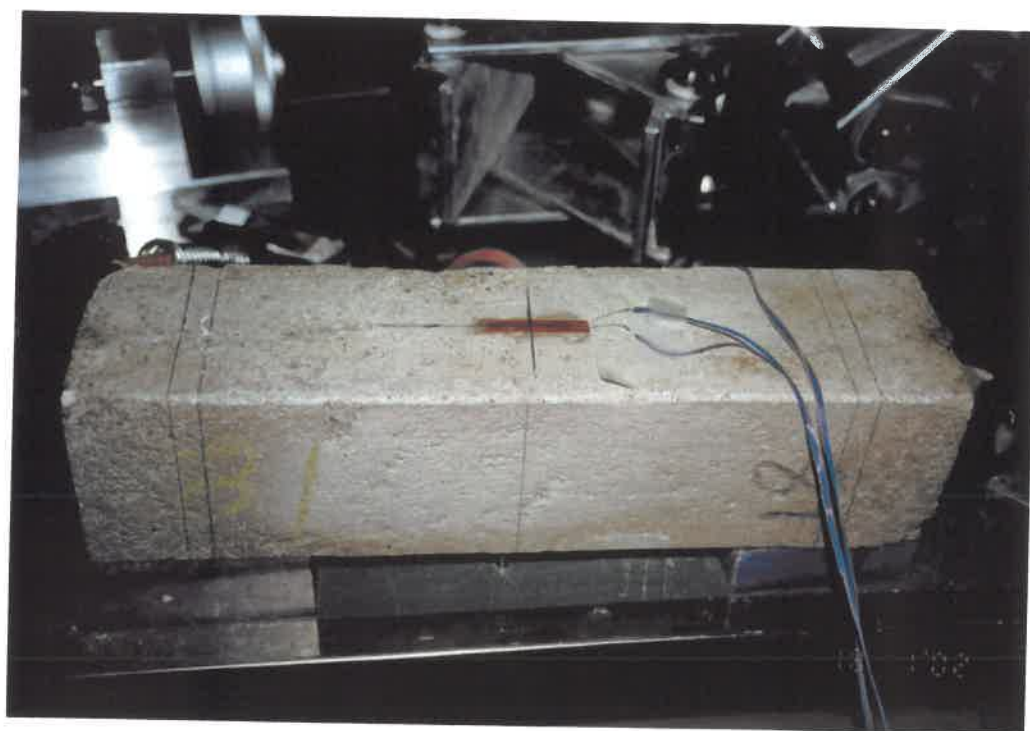
12.11

Εικόνες 12.5 – 12.12

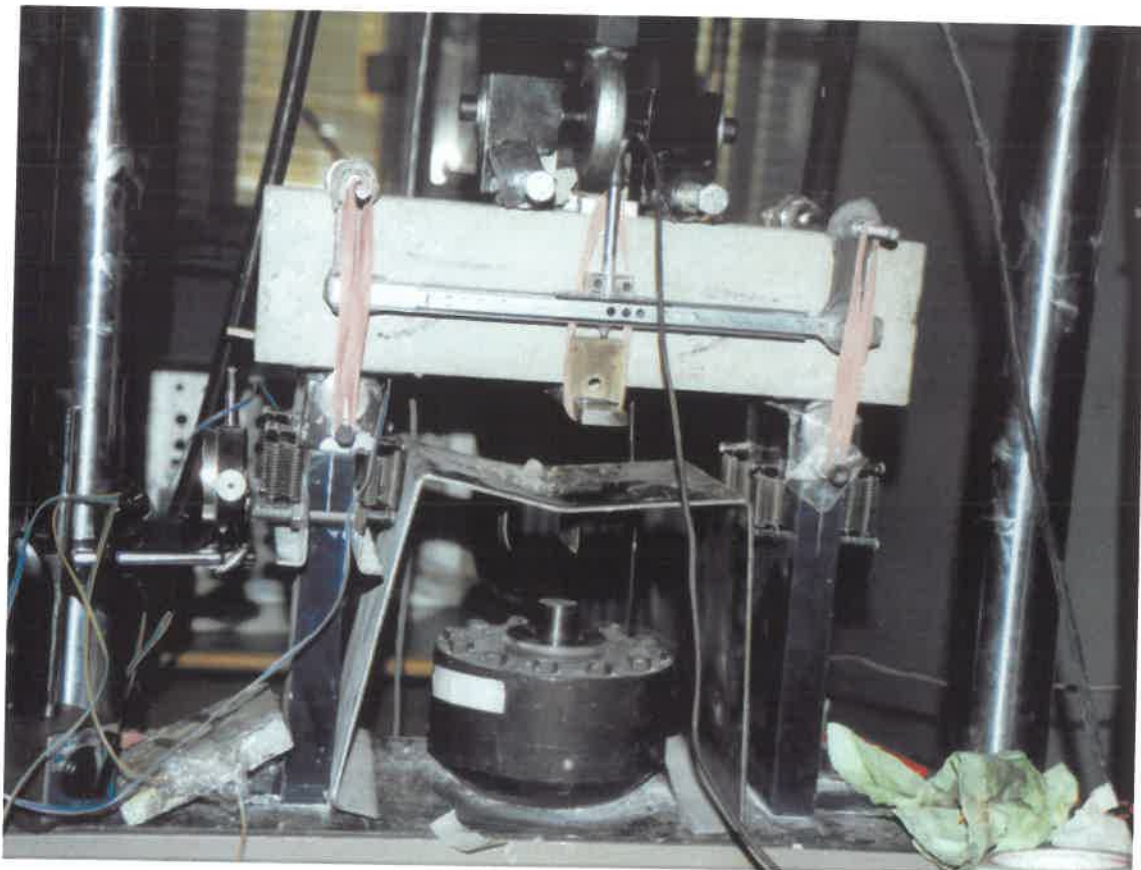
12.6: τοποθέτηση του υλικού στις μήτρες, 12.7: συμπίκνωση της δεύτερης στρώσης του υλικού με τη βοήθεια μιας επέκτασης καθ' ύψος, 12.8: αφαίρεση του επιπλέον υλικού, 12.9: ισοπέδωση της ελεύθερης επιφάνειας, 12.10: μεταφορά των δοκιμίων στον υγρό θάλαμο, 12.11: ξεκαλούπωμα των δοκιμίων.



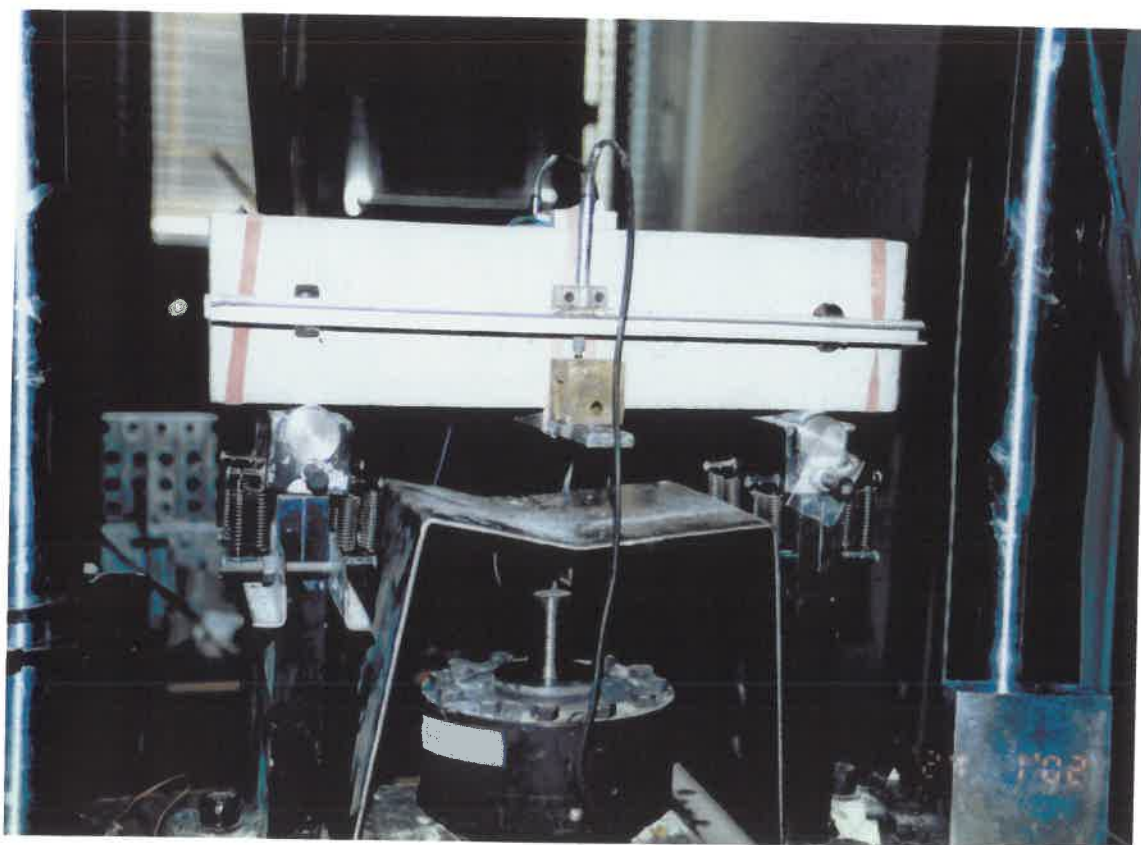
Εικόνα 12.12: Μηχανή MTS (Material Testing System) – δοκιμή σε κάμψη



Εικόνα 12.13: Τοποθέτηση του ηλεκτρομηκυνσιομέτρου αντιστάσεως (Strain Gage) – Δοκιμή σε κάμψη



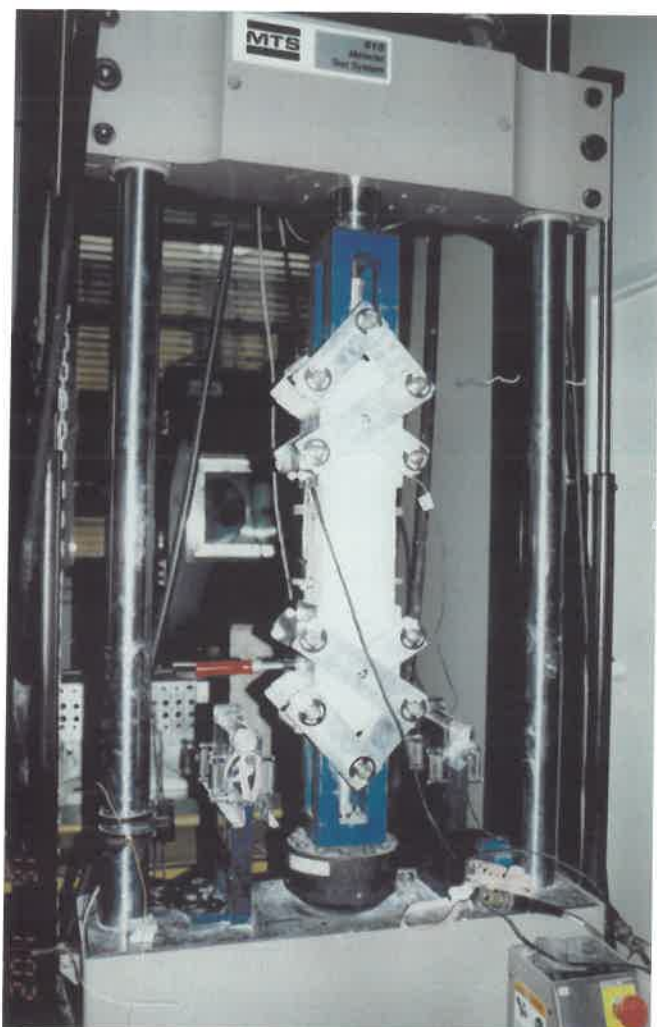
12.14



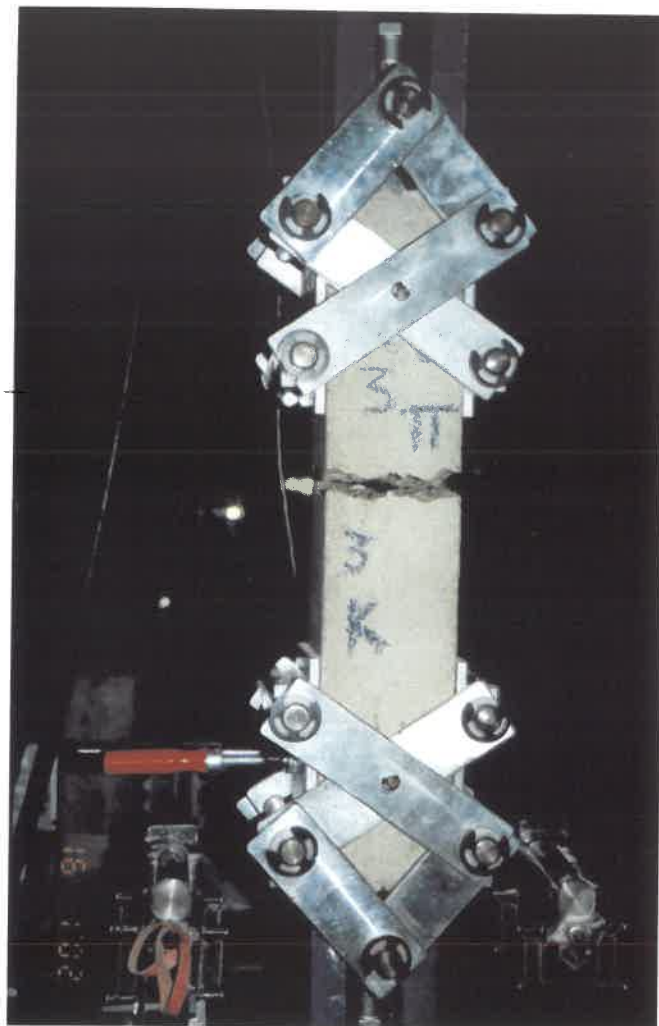
12.15

Εικόνα 12.14 – 12.15

12.14: αρθρωτή στήριξη των LVDT επιτρέπουν περιστροφές και οριζόντιες μετακινήσεις
12.15: αρθρωτή στήριξη μη επιτρέπουν καμία μετακίνηση



12.16



12.17



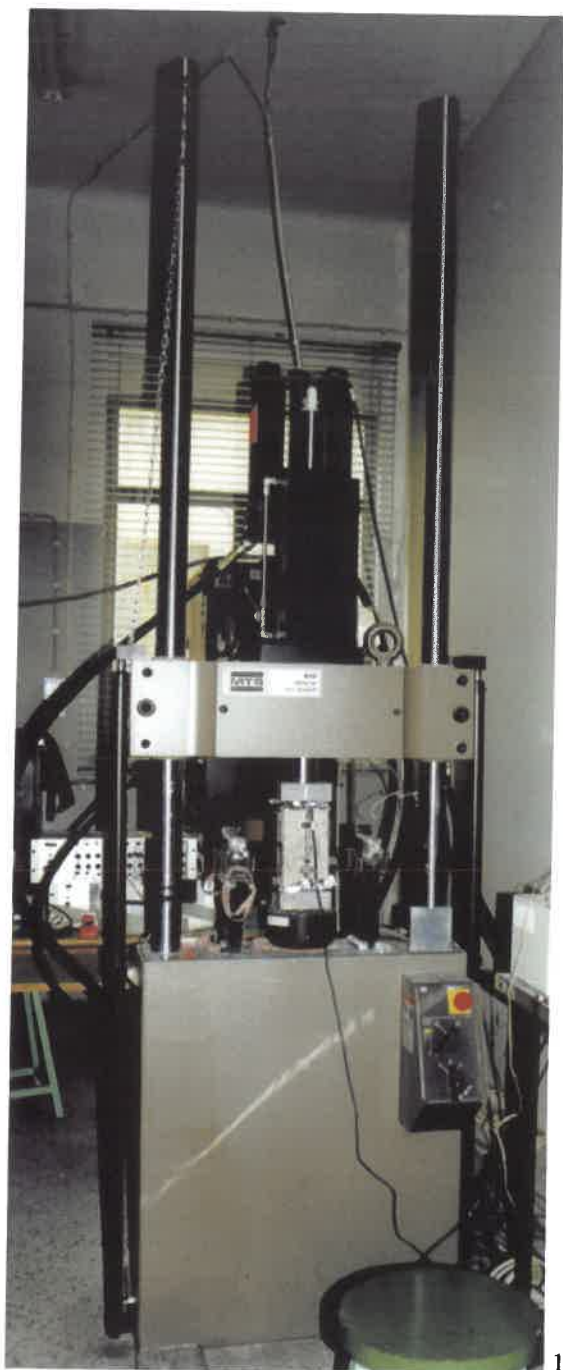
12.18

Εικόνες 12.16 – 12.18

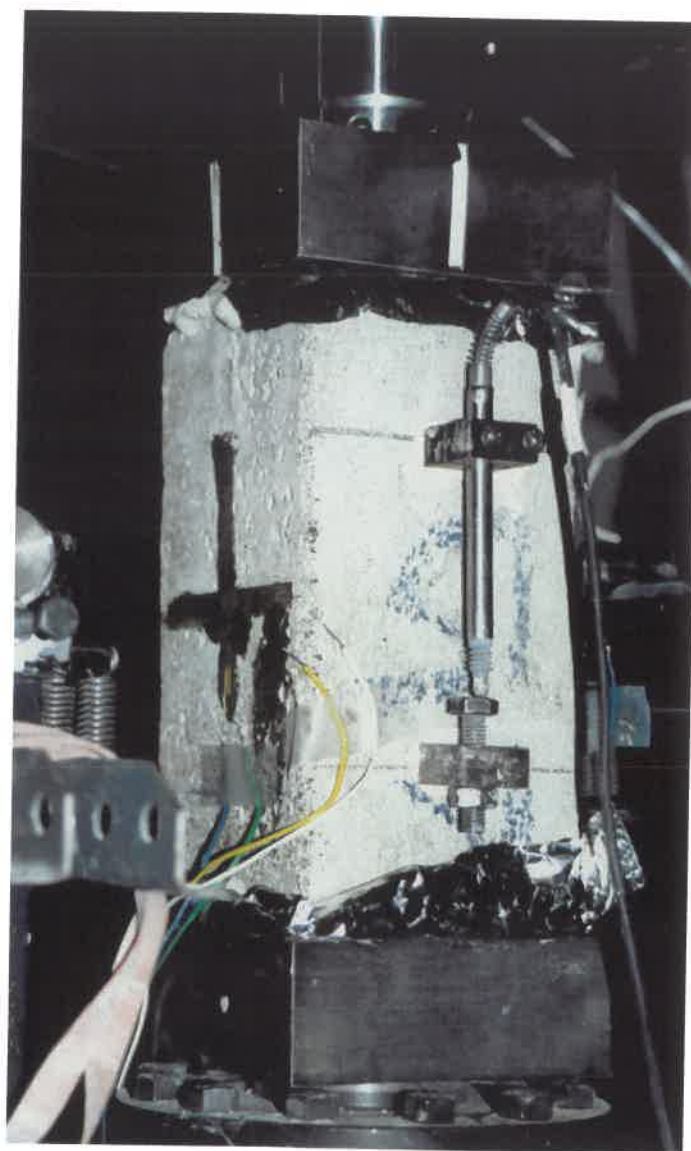
12.16: μηχανή MTS - δοκιμή σε εφελκυσμό

12.17: θραύση δοκιμίου μίγματος 50/50 από δοκιμή σε εφελκυσμό

12.18: τμήμα δοκιμίου μίγματος 25/75 που προέκυψε από θραύση σε δοκιμή εφελκυσμού. Στη διατομή είναι εμφανή τα συσσωματώματα της ασφάλτου που έχουν σπάσει.



12.19



12.20

Εικόνες 12.19,12.20

12.19: μηχανή MTS – δοκιμή σε θλίψη

12.20: λεπτομέρεια του τρόπου τοποθέτησης των ηλεκτρομηκυνσιομέτρων κατά τη δοκιμή σε θλίψη

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] C. Jofré, “La técnica del reciclado de firmes con cemento”, 1^{er} Simposio internacional sobre estabilización de explanadas y reciclado in situ de firmes con cemento, Octubre 2001, Salamanca.
- [2] C. Jofré (IECA), C. Kraemer (UPV), Jesús Díaz Minguela (IECA), “Manual de firmes reciclados in situ con cemento”, 1999
- [3] Wirtgen GMBH, Wirtgen Cold Recycling Manual, November 1998.
- [4] Vicente Romero Cárdenas, “ El reciclado como alternativa de rehabilitación de firmes. Ventajas y desventajas. Debate general”, Congreso nacional IV, Junio 1998, Segovia.
- [5] German Bastida Colomina, “Implicaciones ambientales del reciclado”, Congreso nacional IV, Junio 1998, Segovia.
- [6] A. Ruiz, “Reciclado de Firmes, balance de los actuaciones y prospectivas. Aspectos técnicos y económicos”, Congreso nacional IV, Junio 1998, Segovia.
- [7] C. Bartolomé Marin, M Gomez Alvarez, “Reciclado in situ con cemento, futuras prescripciones técnicas de la dirección general de Carreteras del Ministerio de Fomento de España”, 1^{er} Simposio internacional sobre estabilización de explanadas y reciclado in situ de firmes con cemento, Octubre 2001, Salamanca.
- [8] Σ. Κόλιας, Μ. Κατσάκου, Ερευνητικό πρόγραμμα Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου σχετικό με την κατεργασία θραυστού αμμοχάλικου με τσιμέντο, Αθήνα 2001.
- [9] C. Abraham, I.Facaoaru, O. Mirsu, I. Filimon, I. Terteu, “Concrete Strength and Strains”, 1981 Elsevier.
- [10] C.Jofré, “Ideas para la redacción de un pliego de prescripciones técnicas particulares para obras de reciclado “in situ” con cemento”, Congreso nacional IV, Junio 1998, Segovia

[11] Σχέδιο προδιαγραφής για περεταίρω επεξεργασία. Ministerio del Fomento de España, “Borrador de un Artículo de Pliego de prescripciones Técnicas generales para obras de Carreteras y Puentes” (Artículo 582), Junio 2001.

[12] Kolias S., “Mechanical Properties of cement – treated mixtures of milled bituminous concrete and crushed aggregates”, Materials and Structures, Vol.29, November 1996, pp.543-551

[13] Kolias S., “The influence of the type of loading and temperature of the modulus of elasticity of cement-bound mixes of milled bituminous concrete and crushed aggregates”, Materials and Structures, Vol. 29, November 1996, pp.543-551