



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Επιβλέπων Αναπληρωτής Καθηγητής Σ. Κόλλιας

« ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΩΝ
ΜΕ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΤΗ ΔΙΕΡΕΥ-
ΝΗΣΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΥΣ ΧΑΡΑΚΤΗ-
ΡΙΣΤΙΚΩΝ »

Διπλωματική Εργασία

ΑΡΙΓΥΡΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΓΚΟΡΟΓΙΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

Αθήνα Οκτώβριος 1997

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

- 1.1 Η έννοια του οδοστρώματος
- 1.2 Συντήρηση οδοστρώματος
- 1.3 Αξιολόγηση οδοστρώματος

2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

- 2.1 Δύσκαμπτα οδοστρώματα
- 2.2 Εύκαμπτα οδοστρώματα
 - 2.2.1 Στρώση έδρασης
 - 2.2.2 Εξυγιαντική στρώση
 - 2.2.3 Χρήση γεωυφασμάτων και γεωπλεγμάτων
 - 2.2.4 Υπόβραση
 - 2.2.5 Βάση
 - 2.2.6 Ασφαλτική βάση
 - 2.2.7 Επιφανειακές στρώσεις
 - α) Τάπητας κυκλοφορίας
 - β) Συνδετική στρώση
- 2.3 Ημιάκαμπτα οδοστρώματα

3. ΑΣΦΑΛΤΟΣ

- 3.1 Φυσικές ασφαλτοί
- 3.2 Πίσσα
- 3.3 Πετρελαϊκή ασφαλτος
- 3.4 Τύποι ασφάλτων και ταξινόμηση αυτών

4. ΑΣΦΑΛΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

- 4.1 Ασφαλτικά διαλύματα
- 4.2 Ανθυδρόφιλα υλικά
- 4.3 Τροποποιημένα ασφαλτος
- 4.4 Ασφαλτικά γαλακτώματα
 - 4.4.1 Γενικά
 - 4.4.2 Ταξινόμηση και τύποι γαλακτωμάτων
 - 4.4.3 Χρήσεις γαλακτωμάτων
 - 4.4.4 Γαλακτωματοποιητές
 - 4.4.5 Διάσπαση γαλακτώματος
 - 4.4.6 Παραγωγή ασφαλτικών γαλακτωμάτων
 - 4.4.7 Ιδιότητες ασφαλτικού γαλακτώματος
 - α) Αποθηκευτική ευστάθεια γαλακτώματος
 - β) Ιξώδες γαλακτώματος
 - γ) Συγκολλητικότητα γαλακτώματος / ασφάλτου
 - δ) Ρυθμός διάσπασης γαλακτώματος

5. ΕΛΕΓΧΟΙ ΑΣΦΑΛΤΟΥ ΚΑΙ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ

- 5.1 Γενικά
- 5.2 Δοκιμές ασφάλτου
 - 5.2.1 Δοκιμή διεσδυτικότητας
 - 5.2.2 Δοκιμή μάλωσης
 - 5.2.3 Δοκιμή ολκιμότητας
 - 5.2.4 Δοκιμή απώλειας βάρους μετά από θέρμανση
 - 5.2.5 Δοκιμή ανάφλεξης
 - 5.2.6 Δοκιμή διαλυτότητας σε διθειάνθρακα και τετραχλωράνθρακα
 - 5.2.7 Δοκιμή τέφρας

5.3 Δοκιμές επί των ασφαλτικών γαλακτώματων

- 5.3.1 Δοκιμή καθορισμού περιεκτικότητας γαλακτώματος σε νερό
- 5.3.2 Δοκιμή ανάκτησης υπολειμματος δια αποστάξεως
- 5.3.3 Δοκιμή ανάκτησης υπολειμματος δια εξαгонισμώς
- 5.3.4 Δοκιμή ιξώδους
- 5.3.5 Δοκιμή καθίζησης
- 5.3.6 Δοκιμή απογλυκτωματισποίησης
- 5.3.7 Δοκιμή δυνατότητας επικάλυψης (περιβολής) και αντίστασης σε νερό
- 5.3.8 Δοκιμή ελέγχου ηλεκτροστατικού φορτίου σωματιδίων
- 5.3.9 Δοκιμή κδοκνόν
- 5.3.10 Δοκιμή διάσπασης γαλακτώματος σε μίγμα με τσιμέντο

6. ΘΕΡΜΑ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΑ

6.1 Γενικά

6.2 Χαρακτηριστικοί τύποι θερμών ασφαλτομιγμάτων

- 6.2.1 Ασφαλικό σκυρόδεμα
Ασφαλικό σκυρόδεμα των Ελληνικών προδιαγραφών
- 6.2.2 Ασφαλτομίγματα Macadam
 - α) Ασφαλτομίγματα Macadam πυκνής κοκκομετρικής διαβάθμισης
 - β) Ασφαλτομίγματα Macadam ανοικτής και μέσης διαβάθμισης
- 6.2.3 Ασφαλτομίγματα ανοικτού τύπου κατά ASTM D 3515
- 6.2.4 Ασφαλτομίγμα Gussasphalt (Γκράσασφαλτ - χυτάσφαλτος)
- 6.2.5 Mastic asphalt (Μαστιχική άσφαλτος)
- 6.2.6 Ασφαλτομίγματα για πορώδεις τάπητες
Πορώδεις τάπητες στην Ελλάδα
- 6.2.7 Θερμό Κυλινδρούμενο Ασφαλτομίγμα (HRA)
- 6.2.8 Άλλα θερμά ασφαλτομίγματα που χρησιμοποιούνται στην Ευρωπαϊκή Ένωση
 - α) Split Mastic Asphalt ή Mastic Asphalt (SMA)
 - β) Ασφαλτομίγματα υψηλού μέτρου δυναμικής για συνδετικές στρώσεις και ασφατικές βάσεις
 - γ) Θερμά ασφαλτομίγματα για λεπτιοτάπητες κυκλοφορίας

6.3 Σύνθεση θερμών ασφαλτομιγμάτων

7. ΨΥΧΡΑ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΑ

7.1 Γενικά

7.2 Τύποι ψυχρών ασφαλτομιγμάτων

7.2.1 Κλειστού τύπου ψυχρά ασφαλτομίγματα

- A) Υλικά παραγωγής
 - Συνδετικό υλικό
 - Αδρανή υλικά
 - Παιτόλη ή φίλλερ
 - Μίγμα αδρανών υλικών
 - Πρόσθηκη ύδατος
 - Χημικά πρόσθετα
- B) Τύποι ψυχρών ασφαλτομιγμάτων κλειστού τύπου
 - Τύποι ασφαλτομιγμάτων Κατηγορίας I έως V
 - Τύποι ασφαλτομιγμάτων Κατηγορίας VI έως VIII
 - Τύπος IX. Ψυχρή Αμμόσφαλτος
- Γ) Σύνθεση ψυχρών ασφαλτομιγμάτων κλειστού τύπου
Τροποποιημένη μέθοδος Marshall για τη σύνθεση ψυχρών ασφαλτομιγμάτων κλειστού τύπου
 - α) Έλεγχος συμβατότητας ασφαλικού γαλακτώματος και καθορισμός ποσοστού ύδατος για τη διαβροχή των αδρανών
 - β) Καθορισμός ιδιοτήτων μίγματος για βέλτιστη συμπεριφορά
 - γ) Δοκιμή ερπυσμού

7.2.2 Ανοικτού τύπου ψυχρά ασφαλτομίγματα

- A) Υλικά παραγωγής
 - Αδρανή

- Ασφαλτικά γαλάκτωμα
 - Προσθηκη ύδατος
 - Άλλα πρόσθετα
- β) Σύνθεση ψυχρών ασφαλτομιγμάτων ανοιχτού τύπου
- α) Καθορισμός του ποσοστού ύδατος για τη διαβροχή των αδρανών
 - β) Καθορισμός ποσότητας ασφάλτου στο μίγμα
- 7.3 Παραγωγή ψυχρών ασφαλτομιγμάτων**
- 7.3.1 Παραγωγή σε μόνιμο συγκρότημα
 - 7.3.2 Παραγωγή σε ειδικό αυτοκινούμενο μηχάνημα
 - Τροφοδοσία από σειράδιο
 - 7.3.3 Παραγωγή επί του έργου με ανάμιξη επί της οδού
- 7.4 Διάστρωση και συμπίκνωση**
- 7.4.1 Διάστρωση
 - 7.4.2 Συμπύκνωση
- 7.5 Ποιοτικός έλεγχος**
- 7.6 Ψυχρά μίγματα Slurry seal**
- Α) Υλικά παραγωγής
 - Β) Σύνθεση μίγματος Slurry Seal
 - Γ) Κατωσκευή λεπιοτότητα
 - Δ) Ποιοτικός έλεγχος
- 7.7 Μικρο - επιφανειακή στρώση (Micro-surfacing)**

8. ΕΛΕΓΧΟΙ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΩΝ

- 8.1 Γενικά**
- 8.2 Καθορισμός Ευστάθειας και Υποχώρησης κατά Marshall**
- 8.3 Καθορισμός μέτρου δυσκαμψίας ασφαλτομίγματος**
- 8.3.1 Δοκιμή έμμεσης δόκιμησης με επαναλαμβανόμενο φορτίο
 - Δοκιμή επαναλαμβανόμενης αντιδιαμετρικής θλίψης -
 - Δοκιμή μέτρησης του Μέτρου δυσκαμψίας του ασφαλτομίγματος
 - 8.3.2 Τμωξονική δοκιμή με επαναλαμβανόμενο φορτίο
 - 8.3.3 Μονοαξονική δοκιμή με επαναλαμβανόμενο φορτίο
 - 8.3.4 Μονοαξονική δοκιμή με αρμονική φόρτιση
 - 8.3.5 Δοκιμή κάμψης δοκού με επαναλαμβανόμενο φορτίο
 - 8.3.6 Δοκιμή κάμψης τραπεζοειδούς προβόλου
 - 8.3.7 Δοκιμή στρέψης με δυναμική φόρτιση
- 8.4 Εκτίμηση μέτρου δυσκαμψίας ασφαλτομίγματος**
- 8.5 Καθορισμός στατικού μέτρου δυσκαμψίας**
- 8.6 Κόπωση ασφαλτομιγμάτων**
- 8.6.1 Γενικά
 - 8.6.2 Μέτρηση χαρακτηριστικών κόπωσης ασφαλτομιγμάτων από εργαστηριακές δοκιμές
 - 8.6.3 Εκτίμηση συμπεριφοράς ασφαλτομίγματος σε κόπωση

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Α) ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΙΚΑΛΥΠΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

1. Γενικά
2. Μεθοδολογία
 - 2.1 Έλεγχος επικαλυπτικότητας για ΚΤΨΑ IV με συνδετικό υλικό κατιονικού τύπου γαλάκτωμα
 - 2.2 Έλεγχος επικαλυπτικότητας για ΚΤΨΑ V με συνδετικό υλικό ανιονικού τύπου γαλάκτωμα

Β) ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΥΔΑΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ

1. Γενικά
2. Μεθοδολογία
 - 2.1 Καθορισμός βέλτιστης περιεκτικότητας ύδατος κατά τη συμπίκνωση για ΚΤΨΑ IV με συνδετικό υλικό κατιονικού τύπου γαλάκτωμα
 - 2.2 Καθορισμός βέλτιστης περιεκτικότητας ύδατος κατά τη συμπίκνωση για ΚΤΨΑ V με συνδετικό υλικό ανιονικού (ελαστομερές) τύπου γαλάκτωμα
 - 2.3 Καθορισμός βέλτιστης περιεκτικότητας ύδατος κατά τη συμπίκνωση για ΚΤΨΑ V με συνδετικό υλικό ανιονικού (μη ελαστομερές) τύπου γαλάκτωμα

Γ) ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

1. Γενικά
2. Μεθοδολογία
 - 2.1 Παραγωγή και έλεγχος δοκιμίων για ΚΤΨΑ IV με συνδετικό υλικό κατιονικού τύπου γαλάκτωμα
 - 2.2 Παραγωγή και έλεγχος δοκιμίων για ΚΤΨΑ V με συνδετικό υλικό ανιονικού τύπου γαλάκτωμα

Δ) ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ

Ε) ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ

ΣΤ) ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Γενικά
2. Σχολιασμοί
 - 2.1 Διορθωμένη Ξηρή Ευστάθεια - Ποσοστό ασφάλτου
 - 2.2 Διορθωμένη Διαβρεγμένη Ευστάθεια - Ποσοστό ασφάλτου
 - 2.3 Διατηρηθείσα Ευστάθεια - Ποσοστό ασφάλτου
 - 2.4 Απορροφηθείσα υγρασία - Ποσοστό ασφάλτου
 - 2.5 Φαινόμενο και Ξηρό Εδικό Βάρος - Ποσοστό ασφάλτου
 - 2.6 Ποσοστό κενών - Ποσοστό ασφάλτου
 - 2.7 Ποσοστό VMA - Ποσοστό ασφάλτου
 - 2.8 "Ξηρή" και "Διαβρεγμένη" Υπόχώρηση - Ποσοστό ασφάλτου
 - 2.9 "Ξηρό" και "Διαβρεγμένο" Μέτρο Δυσκαμψίας - Ποσοστό ασφάλτου
 - 2.10 Μόνιμη παραμόρφωση
3. Συμπεράσματα
 - α) Κατιονικό γαλάκτωμα
 - β) Ανιονικό γαλάκτωμα
 - γ) Γενικά

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη σύνθεσης ψυχρών ασφαλτομιγμάτων κλειστού τύπου. Δεν υπάρχει μία διεθνώς αποδεκτή μέθοδος μελέτης σύνθεσης αλλά έχουν αναπτυχθεί διάφορες μεθοδολογίες από οργανισμούς ή εργαστήρια. Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μία νέα μέθοδος η οποία είναι βασισμένη στη μεθοδολογία του ILLINOIS και του κ. Νικολαΐδη με την προσθήκη όμως ενός νέου κριτηρίου (κριτήριο μέγιστης δυσκαμψίας).

Η προτεινόμενη μέθοδος σύνθεσης του ILLINOIS και του κ. Νικολαΐδη ονομάζεται «τροποποιημένη μέθοδος Marshall για τη σύνθεση ψυχρών ασφαλτομιγμάτων κλειστού τύπου» και σκοπό έχει τον καθορισμό των βέλτιστων αναλογιών του μίγματος, για βέλτιστη και μακράς διάρκειας καλή συμπεριφορά του ασφαλτομίγματος, σύμφωνα με το κριτήριο της ευστάθειας. Οι παράμετροι που χρησιμοποιεί η μέθοδος αυτή είναι :

- Ξηρή Ευστάθεια
- Διαβρεγμένη Ευστάθεια
- Υποχώρηση
- Διατηρηθείσα Ευστάθεια
- Απορροφηθείσα Υγρασία
- Ποσοστό κενών

Το κριτήριο μέγιστης δυσκαμψίας χρησιμοποιεί δύο παραμέτρους

- Μέτρο δυσκαμψίας
- Μόνιμη παραμόρφωση

με σκοπό να συνδεθούν οι μηχανικές ιδιότητες και η μηχανική συμπεριφορά του ασφαλτομίγματος με τον καθορισμό της βέλτιστης σύνθεσης δηλαδή του βέλτιστου ποσοστού ασφάλτου.

Η εισαγωγή των δύο νέων παραμέτρων έγινε γιατί οι μέχρι σήμερα υπάρχουσες μεθοδολογίες σύνθεσης βασίζονται σε εμπειρικά σχεδιαστικά κριτήρια (υπολογισμός ευστάθειας και υποχώρησης κατά Marshall) και όχι σε θεμελιώδη μηχανικά κριτήρια (μέτρο δυσκαμψίας). Παράλληλα γίνεται μία προσπάθεια από την Ευρωπαϊκή Ένωση να αναπτυχθεί μία ενιαία Ευρωπαϊκή μεθοδολογία σύνθεσης ασφαλτομιγμάτων που να βασίζεται κατά κύριο λόγο στις θεμελιώδεις μηχανικές ιδιότητες και τη συμπεριφορά του ασφαλτομίγματος στο έργο. Προς τη κατεύθυνση αυτή κινήθηκε και η εργασία που αναπτύσσεται παρακάτω.

Η εργασία αποτελείται από δύο μέρη : α) Το θεωρητικό μέρος όπου παραθέτονται στοιχεία από τη βιβλιογραφία χωρισμένα σε επιμέρους κεφάλαια (οδοστρώματα, ασφάλτος, γαλακτώματα, θερμά και ψυχρά ασφαλτομίγματα, έλεγχοι) και β) Το εργαστηριακό μέρος όπου παραθέτονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν στο εργαστήριο και τα οποία είναι :

- Έλεγχος επικαλυπτικότητας
- Καθορισμός βέλτιστης περιεκτικότητας ύδατος κατά τη συμπύκνωση
- Παραγωγή και έλεγχος δοκιμίων
- Διαγράμματα για τον καθορισμό της βέλτιστης περιεκτικότητας ασφάλτου
- Έλεγχος παραμορφωσιμότητας
- Σχολιασμός και συμπεράσματα

Τα παραπάνω βήματα ακολουθήθηκαν για τρεις διαφορετικούς τύπους γαλακτώματος (κατιονικό, ανιονικό ελαστομερές και ανιονικό μη ελαστομερές) με σκοπό τον προσδιορισμό της βέλτιστης περιεκτικότητας ασφάλτου στο μύγμα.

Πραέκυψαν κάποια βέλτιστα ποσοστά ασφάλτου από το κριτήριο της ενστάθειας και κάποια άλλα από το κριτήριο της μέγιστης δυσκαμψίας. Παρατηρήθηκε για τα κατιονικά και τα ανιονικά ελαστομερή γαλακτώματα ότι τα βέλτιστα αυτά ποσοστά είναι περίπου ίδια ενώ για τα ανιονικά μη ελαστομερή υπήρξαν σημαντικές διαφορές.

Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι σε μια μελέτη σύνθεσης είναι απαραίτητος ο συνδυασμός και των δύο κριτηρίων, αλλά είναι ακόμη πρόωρο να γίνεται η επιλογή με μόνο κριτήριο τη δυσκαμψία.

1. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

1.1 Η έννοια του οδοστρώματος

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

Ο αντικειμενικός σκοπός του οδοστρώματος είναι να παραλάβει το φορτίο της κυκλοφορίας και να το κατανείμει στο υπέδαφος. Βασική επιδίωξη είναι οι μεταβιβαζόμενες στα υπέδαφος τάσεις να μειώνονται σε τέτοιο βαθμό έτσι ώστε να μην επιφέρουν ουσιαστικές παραμορφώσεις ή μετατοπίσεις στην εδαφική στρώση του υπεδάφους. Επιπροσθέτως, η δομή του οδοστρώματος θα πρέπει να είναι σχεδόν αδιαπέρατη από το νερό έτσι ώστε να προστατεύεται το έδαφος έδρασης αλλά και οι στρώσεις από ασύνδετα αδρανή (μη σταθεροποιημένες στρώσεις). Το οδοστρώμα επίσης πρέπει να προστατεύει τις υποκείμενες στρώσεις φυσικού εδάφους από τη διείσδυση του ψύχους και της συνεπαγόμενης παγοπληξίας και διαγκύσεως. Τέλος, η επιφάνεια του οδοστρώματος θα πρέπει να είναι αντολισθηρή και ανθεκτική στη λειαντική δράση των ελαστικών. Έτσι, κάθε στρώση ή ομάδα στρώσεων έχει να επιτελέσει ένα ξεχωριστό ρόλο [1].

1.2 Συντήρηση οδοστρώματος

Κάθε νέο οδοστρώμα, από τη στιγμή που δίνεται στην κυκλοφορία αρχίζει να υπόκειται στη καταστροφική επίδραση διαφόρων εξωτερικών παραγόντων όπως των οχημάτων, των καιρικών συνθηκών, της ηλιακής ακτινοβολίας, κλπ. Παράλληλα, αρχίζει και μια σταδιακή επιδείνωση της ποιότητας του οδοστρώματος η οποία οφείλεται κυρίως στη γήρανση και κόπωση των υλικών που το συνθέτουν. Οι παραπάνω παράγοντες σε συνδυασμό με την ορθότητα / αξιοπιστία της μελέτης, την καταλληλότητα των υλικών και την ποιότητα της κατασκευής είναι οι αιτίες για την εμφάνιση αργά ή γρήγορα, των επιφανειακών φθορών, της κόπωσης και τέλος της αποσύνθεσης του οδοστρώματος.

Η κατασκευή ενός νέου οδοστρώματος θα πρέπει να λαμβάνεται πάντοτε σαν μια επένδυση του κοινωνικού συνόλου. Ο διαχειριστής του κεφαλαίου που επενδύθηκε για την κατασκευή του οδοστρώματος, δηλαδή το κράτος, έχει την ευθύνη αλλά και την υποχρέωση όχι μόνο να το διατηρήσει αλλά και να το διαχειριστεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αποδώσει κέρδος (όφελος). Το κέρδος στην προκειμένη περίπτωση είναι άμεσο (μείωση του χρόνου και του κόστους μετακίνησης, μείωση των ατυχημάτων, μείωση του κόστους συντήρησης των οχημάτων κλπ.) και έμμεσο (κοινωνικό όφελος όπως άνετη και ασφαλής μετακίνηση του κοινωνικού συνόλου για τις κοινωνικές και εμπορικές του δραστηριότητες).

Για τη διατήρηση του κεφαλαίου και την απόδοση οφέλους, το οδοστρώμα θα πρέπει να συντηρείται έτσι ώστε να διατηρείται η κατάσταση του σε ένα ανεκτό επίπεδο εξυπηρέτησης, καθ'όλη την προβλεπόμενη

διάρκεια ζωής του. Το όφελος τέλος μπορεί να βελτιστοποιηθεί με τη διατήρηση του οδοστρώματος σε όσο το δυνατόν υψηλότερο επίπεδο εξυπηρέτησης.

Συνεπώς, καθίσταται σαφές ότι η συντήρηση των οδοστρωμάτων είναι επιτακτική ανάγκη [2].

1.3 Αξιολόγηση οδοστρώματος

Η αξιολόγηση της κατάστασης ενός οδοστρώματος είναι θεμελιώδης παράμετρος για τον καθορισμό της κατάλληλης στιγμής επέμβασης, που συνίσταται στη συντήρηση, ή την αποκατάσταση ή / και την ενίσχυση, ή την ανακατασκευή αυτού. Κατά την αξιολόγηση, καθορίζεται η λειτουργική και η δομική κατάσταση του οδοστρώματος.

Αξιολόγηση λειτουργικής κατάστασης ορίζεται το σύνολο των εργασιών για την αποτίμηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του οδοστρώματος όπως ομαλότητα, ολισθηρότητα, αυλάκωση, ρηγμάτωση και οποιαδήποτε άλλη επιφανειακή φθορά που συμβάλλει στην καλή ή μη καλή λειτουργία του οδοστρώματος.

Αξιολόγηση δομικής κατάστασης του οδοστρώματος ορίζεται το σύνολο των εργασιών για την αποτίμηση των μηχανικών ιδιοτήτων και της αντοχής του οδοστρώματος, καθώς και για την εκτίμηση της εναπομένουσας ζωής αυτού.

Με την αξιολόγηση της λειτουργικής κατάστασης του οδοστρώματος αποφασίζεται εάν το οδόστρωμα θα πρέπει να συντηρηθεί ή να αποκατασταθεί ή να ανακατασκευασθεί, δηλαδή καθορίζεται η αναγκαιότητα και ο τρόπος δράσης. Με την δομική αξιολόγηση ουσιαστικά αποφασίζεται εάν απαιτείται ενίσχυση του οδοστρώματος, σε σχέση με την εναπομένουσα ζωή του, ή επιλέγεται η ανακατασκευή του οδοστρώματος.

Τα δυο στάδια αξιολόγησης δεν είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Αντιθέτως είναι συμπληρωματικά το ένα του άλλου και θα πρέπει πάντοτε να συνυπάρχουν για τον πλήρη και ακριβή καθορισμό του τρόπου δράσης τόσο χρονικά όσο και ποσοτικά.

Η αξιολόγηση της λειτουργικής κατάστασης των οδοστρωμάτων γίνεται με μεθόδους που βασίζονται σε : α) οπτική επισκόπηση της επιφάνειας του οδοστρώματος, β) μετρήσεις επιφανειακών χαρακτηριστικών με ειδικά μηχανήματα και γ) φωτογραφική αποτύπωση της κατάστασης της επιφάνειας.

Αντιθέτως, η αξιολόγηση της δομικής κατάστασης των οδοστρωμάτων γίνεται σήμερα με ειδικά μηχανήματα (μη καταστροφικές μέθοδοι) και με δειγματοληπτικούς ελέγχους επί των οδοστρωμάτων (καταστροφικές μέθοδοι) [2].

περιπτώσεις, όπως δάπεδα στάθμευσης αεροσκαφών, χώροι στάθμευσης φορτηγών, εμπορευματοκιβωτίων, περιβάλλοντες χώροι σταθμών ανεφοδιασμού, οδοστρώματα εκατέρωθεν σταθμών διαδίων και μικροί δρόμοι σε ανωφέρειες όπου δεν είναι δυνατόν να διαστρωθεί το θερμό ασφαλτόμιγμα ή ακριτικές περιοχές όπου δεν υπάρχουν συγκροτήματα παραγωγής ασφαλτομιγμάτων [1], [3].

2.2 Εύκαμπτα οδοστρώματα

Η δομή του εύκαμπτου οδοστρώματος αποτελείται από δύο χαρακτηριστικές ομάδες στρώσεων με διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες και συμπεριφορά. Την ομάδα των στρώσεων από ασύνδετα ή / και σταθεροποιημένα αδρανή, που εδράζεται πάνω στη στρώση έδρασης, και την ομάδα των στρώσεων από ασφαλτόμιγματα, που εδράζεται πάνω στην προηγούμενη ομάδα. Ο παραπάνω διαχωρισμός της δομής του εύκαμπτου οδοστρώματος, βασίζεται στην διαφορετική μηχανική συμπεριφορά των στρώσεων και χρησιμοποιείται σήμερα ως βάση για την ανάπτυξη όλων των μεθοδολογιών διαστασιολόγησης των εύκαμπτων οδοστρωμάτων. Κατασκευαστικά το εύκαμπτο οδοστρώμα διακρίνεται σε τρεις ομάδες στρώσεων: την επιφανειακή στρώση (ή στρώσεις), τη βάση και την υπόβαση. Ορισμένες φορές, λόγω ύπαρξης πολύ ασθενούς στρώσης έδρασης, κατασκευάζεται και εξυγιαντική στρώση μεταξύ υποβάσεως και στρώσης έδρασης [1] [3].

2.2.1 Στρώση έδρασης

Στρώση έδρασης είναι το διαμορφωμένο και συμπυκνωμένο έδαφος επί του οποίου κατασκευάζεται το οδοστρώμα, εκτεινόμενο μέχρι βάθους τόσο όσο θα επηρεάσει τη διαστασιολόγηση του οδοστρώματος. Το βάθος αυτό συνήθως είναι 600 ή 1000mm δεδομένου ότι οι περισσότερες προδιαγραφές απαιτούν επαρκή συμπύκνωση μέχρι το βάθος αυτό. Ελάχιστες φορές, όταν δε χρειάζεται καμία διαμόρφωση ή προπαρασκευή του εδάφους, η επιφάνεια της στρώσης έδρασης ταυτίζεται με την επιφάνεια του φυσικού εδάφους. Στις περιπτώσεις που είναι αναγκαία η κατασκευή επιχώματος η επιφάνεια της στρώσης έδρασης είναι η τελική επιφάνεια του επιχώματος που προκύπτει. Η επιφάνεια της στρώσης έδρασης τέλος, ορίζει ένα επίπεδο επί του οποίου θα εδρασθεί το οδοστρώμα. Το επίπεδο αυτό είναι γνωστό ως πλατφόρμα ή «σκάφη» έδρασης. Θα πρέπει να διευκρινισθεί ότι στην περίπτωση που χρησιμοποιείται εξυγιαντική στρώση ή σταθεροποίηση της στρώσης έδρασης το επίπεδο της σκάφης είναι η ανώτατη επιφάνεια της εξυγιαντικής στρώσης ή της σταθεροποιημένης στρώσης έδρασης.

Η αντοχή ή η φέρουσα ικανότητα της στρώσης έδρασης είναι καθοριστικής σημασίας στη διαστασιολόγηση ενός οδοστρώματος, δεδομένου ότι από αυτήν εξαρτώνται άμεσα τα πάχη των υπερκείμενων στρώσεων. Η φέρουσα ικανότητα της στρώσης έδρασης είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων αλλά κυρίως του μεγέθους των κόκκων και της συνεκτικότητας της φυσικής υγρασίας και του βαθμού συμπύκνωσης του εδάφους ή του εδαφικού υλικού που χρησιμοποιήθηκε. Η έκφραση της φέρουσας ικανότητας

της στρώσης έδρασης για έργα οδοποιίας γίνεται συναρτήσεως μιας εκ των παραμέτρων . Καλιφορνιακός δείκτης (CBR), μέτρο αντίδρασης (K), τιμή αντίστασης ή ευστάθειας (R) και μέτρο ελαστικής παραμόρφωσης (E) [1], [3]

2.2.2 Εξυγιαντική στρώση

Η εξυγιαντική στρώση είναι η στρώση που κατασκευάζεται μεταξύ υπόβαςσης και της στρώσης έδρασης, όταν αυτό είναι πολύ ασθενές με σκοπό να εξυγιάνει και να βελτιώσει τη φέρουσα ικανότητα της στρώσης έδρασης και να προετοιμάσει μια ανεκτή επιφάνεια πάνω στην οποία θα κατασκευασθεί το οδόστρωμα. Εξυγιαντική στρώση συνήθως χρησιμοποιείται όταν το CBR της στρώσης έδρασης είναι μικρότερο του 5%, είναι απολύτως απαραίτητη όταν το CBR είναι μικρότερο του 2,5% και η χρήση της προϋπάρχει και τη χρήση υπόβαςσης. Η εξυγιαντική στρώση συνήθως είναι μια επιπλέον στρώση από κοκκώδη εδαφικά υλικά, άνευ απομάκρυνσης του ασθενούς εδαφικού υλικού. Απομάκρυνση του πολύ ασθενούς εδαφικού υλικού και αντικατάστασή αυτού με καλύτερης ποιότητας υλικό συνιστάται μόνο όταν το CBR αυτού είναι κατά πολύ μικρότερο του 2%. Στις περιπτώσεις αυτές το πάχος της στρώσης που απομακρύνεται είναι συνήθως μεταξύ 500 και 1000 mm. Εξυγίανση της στρώσης έδρασης επιτυγχάνεται και με τη σταθεροποίηση αυτού με τσιμέντο ή ασβέστη. Σταθεροποίηση του εδάφους συνιστάται όταν αυτό είναι πολύ ασθενές (CBR<2%).

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η εξυγιαντική στρώση, που συνήθως κατασκευάζεται πάνω της στρώσης έδρασης δεν αποτελεί μέρος του οδοστρώματος. Το επίπεδο λοιπόν της «σκάφης» είναι εκεί που τελειώνει η εξυγιαντική στρώση. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της εξυγιαντικής στρώσης είναι συνήθως επιλεγμένα κοκκώδη εδαφικά υλικά ή άλλα κοκκώδη εδαφικά υλικά από οποιοδήποτε πέτρωμα, πλην κιμωλίας, καθώς και απορριπτά υλικά ανθρακωρυχείων. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται θα μπορούσε να επτωθεί ότι είναι παρόμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή υποβάσεων [1].

2.2.3 Χρήση γεωυφασμάτων και γεωπλεγμάτων

Η χρήση των γεωυφασμάτων συνιστάται όταν η στρώση έδρασης είναι πολύ ασθενής (CBR<2%) και μπορεί να αντικαταστήσει ένα μέρος της εξυγιαντικής στρώσης, ή όταν το CBR είναι 2%-5%, οπότε αντικαθιστά πλήρως την εξυγιαντική στρώση και πιθανότατα ένα μέρος της υπόβαςσης. Με τη χρήση γεωυφάσματος αυξάνει η αποτελεσματικότητα της εξυγιαντικής στρώσης ή της υπόβαςσης και δεν χάνεται κανένα ποσοστό χονδρόκοκκων αδρανών που σε άλλη περίπτωση ήταν πιθανόν να εμβυθισθούν μέσα στην ασθενή στρώση έδρασης κατά τη συμπίκνωση. Η χρήση γεωυφασμάτων συνιστάται και όταν η στρώση έδρασης έχει υψηλό ποσοστό αργίλικού υλικού και η υπερκείμενη στρώση της υπόβαςσης χρησιμοποιείται ως αποστραγγιστική στρώση. Στην περίπτωση αυτή η υπερκείμενη αποστραγγιστική στρώση εάν δεν προστατευθεί, προσβάλλεται από το λεπτόκοκκο αυτό υλικό το οποίο κλείνει τους πόρους και έτσι λειτουργεί αναποτελεσματικά για ένα μεγάλο μέρος του προβλεπόμενου χρονικού διαστήματος λειτουργίας. Σε ορισμένες περιπτώσεις η εισροή των πολύ

λεπτόκοκκων υλικών στην υπερκείμενη στρώση μπορεί να μειώσει και τη διατηρητική αντοχή της στρώσης με δυσάρεστα αποτελέσματα στην όλη συμπεριφορά του οδοστρώματος. Συμπερασματικά, η χρήση γεωυφασμάτων γίνεται κυρίως για το διαχωρισμό και προστασία των υπερκείμενων της στρώσης έδρασης στρώσεων, παρόλο που η αρκετά μεγάλη εφελκυστική αντοχή του γεωυφάσματος συμβάλλει στη μείωση των τάσεων που αναπτύσσονται στη στρώση έδρασης και έτσι έμμεσα στη αύξηση της φέρουσας ικανότητας της.

Η αποτελεσματικότερη αύξηση της φέρουσας ικανότητας της στρώσης έδρασης ή άλλης στρώσης, όπως υπόβαση ή βάση, επιτυγχάνεται με τη χρήση γεωπλεγμάτων, που λειτουργούν ως ένα είδος σπλισμού της στρώσης. Το γεωπλέγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε μόνο του είτε σε συνδυασμό με γεωύφασμα. Τα γεωπλέγματα είναι συνήθως πολυεστερικά υλικά ή από πλέξη ινών καλυμμένων με PVC και θα πρέπει να έχουν υψηλή εφελκυστική αντοχή έτσι ώστε να μπορούν να παραλάβουν υψηλές εφελκυστικές τάσεις [1].

2.2.4 Υπόβαση

Η υπόβαση είναι η πρώτη στρώση που κατασκευάζεται, εάν κριθεί αναγκαίο πάνω στη στρώση έδρασης ή την εξυγιαντική στρώση και επιτελεί τις εξής βασικές λειτουργίες :

- α) μεταβιβάζει τα φορτία στη στρώση έδρασης
- β) εξασφαλίζει την άνετη λειτουργία των εργοταξιακών οχημάτων
- γ) προστατεύει τα υλικά της βάσης από «μόλυνση» αυτών με εδαφικό υλικό (άργιλος, ιλύς, οργανικά υλικά κλπ.)
- δ) δρα ως αντιπαγετική προστατευτική στρώση σε περιπτώσεις δυσμενών κλιματολογικών συνθηκών και εδαφικών υλικών που μπορεί να υποστούν παγοπληξία.
- ε) μπορεί να λειτουργήσει και ως στρώση αποστράγγισης των υδάτων που πιθανόν να διαπεράσουν τις υπερκείμενες στρώσεις προστατεύοντας τη στρώση έδρασης. Αυτό είναι πολύ πιθανόν να συμβεί σε περιπτώσεις που οι υπερκείμενες ασφαλικές στρώσεις είναι μικρού πάχους ή / και τα χρησιμοποιηθέντα ασφαλτομίγματα όχι τόσο κλειστής υφής.

Στην περίπτωση κατά την οποία η υπόβαση λειτουργεί ως στραγγιστική στρώση είναι απαραίτητη η χρήση υδρομονωτικής μεμβράνης στην διεπιφάνεια με τη στρώση έδρασης

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της υπόβασης είναι συνήθως επιλεγμένα κοκκώδη εδαφικά υλικά (αμμοχάλικα) των οποίων τα χαρακτηριστικά και η μέθοδος κατασκευής προδιαγράφονται στην ΠΤΠ 0150. Ορισμένες φορές χρησιμοποιούνται εδαφικά υλικά σταθεροποιημένα με συνδετικό υλικό το τσιμέντο (κυρίως) ή τον ασβέστη [1], [4].

2.2.5 Βάση

Η βάση στο σύνολο της είναι η βασικότερη δομική στρώση ενός εύκαμπτου οδοστρώματος και κατασκευάζεται μεταξύ της υπόβασης ή της στρώσης έδρασης και των επιφανειακών ασφαλικών στρώσεων. Αναλυτικότερα επιτελεί τις εξής βασικές λειτουργίες .

- α) παρέχει τη βασική δομική στρώση η οποία παραλαμβάνει και κατανέμει τα φορτία της κυκλοφορίας στις υποκείμενες στρώσεις
- β) μειώνει τις κάθετες θλιπτικές τάσεις που εξασκούνται στη στρώση έδρασης (και διαμέσου της υπόβασης, εάν υπάρχει) σε τέτοιο βαθμό ώστε να μπορούν να παραληφθούν από τη φέρουσα ικανότητα της στρώσης έδρασης και να μην προκαλούν ανεπιθύτητα μεγάλες παραμορφώσεις
- γ) παρέχει στο οδόστρωμα τη δυσκαμψία και την αντοχή αυτού στην κάτωση
- δ) παρέχει μια καλή επιφάνεια έτοιμη να δεχθεί τις επικανεισκές ασφαλικές στρώσεις
- ε) οι στρώσεις της βάσης από ασύνδετα αδρανή ή σταθεροποιημένα αδρανή συμβάλουν στην αποτελεσματικότερη συμπίκνωση των υπερκείμενων ασφαλικών στρώσεων.

Η βάση του οδοστρώματος αποτελείται από έναν αριθμό στρώσεων των οποίων τα υλικά μπορεί να είναι από αδρανή δίχως συνδετικό υλικό (ασύνδετα αδρανή) ή από αδρανή με συνδετικό υλικό την άσφαλτο (ασφαλτόμιγμα) ή από αδρανή με συνδετικό υλικό το τσιμέντο των οποίων τα χαρακτηριστικά και η μέθοδος κατασκευής προδιαγράφονται στην ΠΤΠ 0155.

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

Ένας άλλος συνδυασμός μπορεί να είναι : μέρος της βάσης (κάτω στρώση) από σκυρόδεμα και η υπόλοιπη βάση από ασφαλτόμιγμα. Το οδόστρωμα στη περίπτωση αυτή χαρακτηρίζεται ως μικτό εύκαμπτο οδόστρωμα. Τέλος, η βάση μπορεί να είναι εξ'ολοκλήρου από ασφαλτόμιγμα [1], [5].

2.2.6 Ασφαλική βάση

Η ασφαλική βάση είναι η ανώτατη και κυριότερη στρώση της βάσης του οδοστρώματος. Είναι η στρώση που ουσιαστικά παραλαμβάνει και κατανέμει τα φορτία της κυκλοφορίας στις υποκείμενες στρώσεις και προσδίδει στο οδόστρωμα δυσκαμψία και αντοχή σε κόπωση. Συνεπώς τα ασφαλτομίγματα που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να είναι αρίστης ποιότητας έτσι ώστε η στρώση :

- α) να έχει μεγάλη δυσκαμψία
- β) να έχει υψηλή αντοχή σε κόπωση
- γ) να μην παραμορφώνεται εύκολα
- δ) να έχει μικρή διαπερατότητα προστατεύοντας έτσι τις υποκείμενες στρώσεις. Το τελευταίο είναι απαραίτητη προϋπόθεση όταν ο τύπος της κυκλοφορίας είναι ανοικτού τύπου (πορώδης) και δεν υπάρχει συνδετική στρώση
- ε) να μην επηρεάζεται από την καταστρεπτική επίδραση του νερού.

Τα χαρακτηριστικά και η μέθοδος κατασκευής της ασφαλικής βάσης προδιαγράφονται στην ΠΤΠ Α260 [1], [6].

2.2.7 Επιφανειακές στρώσεις

Οι επιφανειακές στρώσεις συνίστανται από τον τάπητα κυκλοφορίας ή την επιφανειακή στρώση και την συνδετική στρώση. Στην Ελλάδα οι επιφανειακές στρώσεις κατασκευάζονται κυρίως από ασφαλτικό σκυρόδεμα, του οποίου τα χαρακτηριστικά και η μέθοδος κατασκευής προδιαγράφονται στην ΠΤΠ Α265 [1], [7].

α) Τάπητας κυκλοφορίας

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

- α) να είναι ανθεκτική στη καταστρεπτική δράση της κυκλοφορίας και των καιρικών συνθηκών
- β) να μην παραμορφώνεται από την κυκλοφορία
- γ) να ανθίσταται στη ρηγμάτωση που επέρχεται από τις θερμοκρασιακές συστολοδιαστολές και τις αναπτυσσόμενες εφελκυστικές τάσεις
- δ) να παρέχει καλή αντιολισθηρή επιφάνεια κύλισης είτε από μόνη της είτε με την προσθήκη προεπιλεγμένων αδρανών ή αντιολισθηρού λεπτοτάπητα Slurry Seal ή ασφαλτικών επαλείψεων ή άλλης επιφανειακής επεξεργασίας
- ε) να παρέχει καλή επιπέδότητα για υψηλής παρότητας και ασφάλειας αδήγηση
- στ) να παρέχει επιφάνεια κύλισης με χαμηλό επίπεδο θορύβου
- ζ) να συνεισφέρει στην αντοχή του οδοστρώματος
- η) να είναι σχεδόν αδιαπέραστη από νερό έτσι ώστε να μην επιτρέπεται η διείσδυση του ύδατος στις υποκείμενες στρώσεις. Εξαίρεση αποτελεί η χρήση πορώδους τάπητα.

Ο τάπητας κυκλοφορίας ή η επιφανειακή στρώση σε ορισμένες χώρες ονομάζεται φθειρόμενη στρώση (wearing course) λόγω της άμεσης φθοράς που υφίσταται από την κυκλοφορία.

β) Συνδετική στρώση

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

Η συνδετική στρώση σήμερα, σε πολλές χώρες, παραλείπεται δεδομένου ότι η καλή επιφάνεια για την περαιτέρω διάστρωση του τάπητα κυκλοφορίας επιτυγχάνεται με την κατασκευή της ασφαλτικής βάσης. Συνδετική στρώση απαιτείται μόνο εάν ο τάπητας κυκλοφορίας είναι πορώδης και η ασφαλτική βάση μέσης ή ανοιχτής υφής. Ακόμη και στην περίπτωση αυτή η συνδετική στρώση θα μπορούσε να ονομαστεί ασφαλτική βάση, δεδομένου ότι το ασφαλτόμιγμα δεν διαφέρει σε τίποτα από αυτά για ασφαλικές βάσεις κλειστής υφής.

2.3 Ημιάκαμπτα οδοστρώματα

Τα ημιάκαμπτα οδοστρώματα, δηλαδή τα οδοστρώματα εκείνα τα οποία περιλαμβάνουν βάση ή / και υπόβαση από κατεργασμένα με υδραυλικές κονίες αμμοχάλικα, διαφέρουν από τις άλλες κατηγορίες οδοστρωμάτων ως προς την δομική απόκριση στις επιπονήσεις. Οι κατεργασμένες στρώσεις, ή στρώση λόγω της μεγάλης ακαμψίας που έχουν σε σχέση με την ακαμψία των ασφαλτικών στρώσεων και των στρώσεων από μη κατεργασμένα αμμοχάλικα ή εδαφικά υλικά, μεταβάλλουν την κατανομή των επιπονήσεων στα διάφορα σημεία του οδοστρώματος, μεταθέτουν σε άλλες στρώσεις τα "κρίσιμα σημεία" και προσδίδουν στο οδόστρωμα διαφορετική συμπεριφορά.

Επίσης η χρησιμοποίηση κατεργασμένων στρώσεων με τη μείωση του απαιτούμενου πάχους ασφαλτικών στρώσεων που επιφέρουν, ελαττώνουν τον κίνδυνο δημιουργίας τροχαυλακώσεων στο οδόστρωμα και παρέχουν τη δυνατότητα μείωσης του κόστους κατασκευής.

Η εμπειρία από τις κατασκευές που έχουν γίνει σε τμήματα των εθνικών οδών και σε τμήματα του επαρχιακού δικτύου είναι ιδιαίτερα θετική [3].

3. ΑΣΦΑΛΤΟΣ

3.1 Φυσικές ασφάλτοι

Η φυσική ασφάλτος προέρχεται από φυσική μεταλλαγή του αργού πετρελαίου. Αυτή επιτεύχθηκε πριν από εκατομμύρια χρόνια κάτω από την επίδραση βακτηριδίων. Η βακτηριδιακή αυτή αποσύνθεση του αργού πετρελαίου είχε ως αποτέλεσμα να μειωθεί η περιεκτικότητα του αργού πετρελαίου σε κεκορεσμένους υδρογονάνθρακες (κυρίως n-αλκυλένια) και σε ελαφρά έλαια και να γίνει έτσι το αργό πετρέλαιο περισσότερο βαρύ και παχύρρευστο παίρνοντας τη μορφή της ασφάλτου.

Η ασφάλτος που χρησιμοποιήθηκε μέχρι και τις αρχές του εικοστού αιώνα ήταν φυσική ασφάλτος. Μερικές από τις πιο διαδεδομένες φυσικές ασφάλτους αναφέρονται στη συνέχεια :

α) Ασφάλτος νήσου Trinidad

β) Ασφάλτος Βενεζουέλας και Γιούτας

γ) Άλλες φυσικές ασφάλτοι υπό μορφή πετρώματος, δηλαδή πετρώματα κυρίως ασβεστολιθικά ή ψαμμιτικά εμπλουτισμένα με ασφάλτο. Τέτοια πετρώματα βρέθηκαν στην Αλμπέρτα του Καναδά, στη Μαλαγάση, στη Καλιφόρνια, στο Νέο Μεξικό, στο Κεντάκυ των ΗΠΑ, στη νήσο Μπούτον της Ινδονησίας, στην Αλβανία, στην Ρουμανία κτλ. [1].

3.2 Πίσσα

Η πίσσα είναι παράγωγο κλασματικής απόσταξης πρωτογενούς πίσσας η οποία παράγεται από την ενανθράκωση φυσικών οργανικών ουσιών όπως γαιάνθρακας ή ξύλο. Όταν η πρωτογενής πίσσα προέρχεται από γαιάνθρακα τότε το προϊόν ονομάζεται λιθανθρακόπισσα (pitch tar), ενώ όταν προέρχεται από ενανθράκωση ξύλου το προϊόν ονομάζεται ξυλόπισσα (wood tar). Η λιθανθρακόπισσα αναμειγνύεται περαιτέρω με αποσταγμάτα ελαίων και έτσι παράγεται η επεξεργασμένη πίσσα ή πίσσα-ασφάλτος ή κοινώς πίσσα.

Η πίσσα χρησιμοποιήθηκε ευρέως, για αρκετά χρόνια, τόσο στην οδοποιία όσο και στην παραγωγή μονωτικών υλικών. Τα τελευταία χρόνια όμως, η χρήση της σε έργα οδοποιίας έχει ελαχιστοποιηθεί (έως και απαγορευθεί) για λόγους περιβαλλοντικούς και υγιεινής. Σήμερα, η πίσσα χρησιμοποιείται αποκλειστικά και μόνον για την παραγωγή συγκεκριμένων ασφαλομιγμάτων που δεν προσβάλλονται από βενζίνη ή λάδια (αντί-κηροζινικές στρώσεις), ή για την παραγωγή μίγματος πίσσας και ασφάλτου (μόνο στην Αγγλία) για ασφαλικές επαλείψεις. Με μίγμα πίσσας και ασφάλτου επέρχεται καλύτερη επικάλυψη των αδρανών και καλύτερη πρόσφυση της ασφάλτου στο αδρανές. Εκτός των δυο παραπάνω πλεονεκτημάτων η πίσσα ή μίγμα αυτής είναι περισσότερο ευαίσθητη σε θερμοκρασιακές μεταβολές με αποτέλεσμα να μαλακώνει ευκολότερα και να θρυμματίζεται γρηγορότερα από αντίστοιχου ιξώδους ασφάλτο [1].

3.3 Πετρελαϊκή ασφάλτος

Η πετρελαϊκή ασφάλτος είναι παράγωγο κλασματικής απόσταξης αργού πετρελαίου. Το αργό πετρέλαιο προέρχεται από οργανική ύλη (φυσική

και θαλάσσιους οργανισμούς) η οποία πριν από εκατομμύρια χρόνια εναποτέθηκε σε πολύ μεγάλα πάχη, μαζί με λάσπη και κομμάτια βράχων, στο πυθμένα των ωκεανών. Υπό την επίδραση του υπερκείμενου βάρους σχηματίσθηκαν υδατογενή πετρώματα. Το αλατούχο-λιμνώδες περιβάλλον αποσάθρωσε την οργανική ύλη, η οποία κάτω από την επίδραση των υψηλών πιέσεων, θερμοκρασιών, βακτηριδιακής δράσης και πιθανότατα ακτινοβολίας μετατράπηκε σε υδραγονάνθρακες της μορφής του αργού πετρελαίου. Περαιτέρω εναποθέσεις σε νεότερους χρόνους σχημάτισαν νέα στρώματα πετρωμάτων τα οποία πίεσαν το αργό πετρέλαιο να ανέλθει δια μέσου πορώδων πετρωμάτων στην επιφάνεια της γης. Στο σημείο που τα πορώδη πετρώματα ήταν υπερκαλυμμένα από μη-πορώδη πετρώματα, το αργό πετρέλαιο μαζί με αέρια σχημάτιζε τεράστιες υπόγειες δεξαμενές. Εκεί παρέμεινε και παραμένει μέχρι τελικής εξορύξεως.

Αναλόγως της αρχικής σύστασης της οργανικής ύλης και των συνθηκών που επικράτησαν, το αργό πετρέλαιο απέκτησε τις δικές του φυσικές και χημικές ιδιότητες. Έτσι, κάθε πετρελαιοπαραγωγική περιοχή παράγει το δικό της τύπο αργού πετρελαίου. Η μορφή του αργού πετρελαίου διαφέρει από μαύρο παχύρρευστο έως καστανόξανθο λεπτόρρευστο υγρό. Οι κυριότερες πετρελαιοπαραγωγικές περιοχές είναι η Μέση Ανατολή, οι ΗΠΑ, οι χώρες γύρω από την Καραϊβική θάλασσα, οι χώρες της πρώην Σοβιετικής Ένωσης, η Βόρειος Θάλασσα και η Ινδονησία. Σήμερα παγκοσμίως υπάρχουν πλέον των 1500 τύπων αργού πετρελαίου. Παραγωγή πετρελαϊκής ασφάλτου κατάλληλης για την οδοποιία γίνεται μόνο από το αργό πετρέλαιο ορισμένων περιοχών.

Η πετρελαϊκή ασφάλτος, που από εδώ και στο εξής θα αναφέρεται απλώς ως ασφάλτος, παράγεται από το υπόλειμμα της απόσταξης του αργού πετρελαίου κατόπιν περαιτέρω αποστάξεως (με υπό-πίεση). Από τη δεύτερη απόσταξη παράγονται διάφοροι τύποι ασφάλτων που θα χρησιμοποιηθούν σε έργα οδοποιίας και έργα αεροδρομίων (ασφάλτος οδοστρώσεως). Ο τύπος της ασφάλτου που θα παραχθεί καθορίζεται τόσο από την προέλευση του αργού πετρελαίου όσο και από τις συνθήκες υπό-πίεσης (10-100mm Hg) και θερμοκρασίας (350-400°C) που επικρατούν στη στήλη απόσταξης.

Η ασφάλτος μπορεί να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία, όπως να οξειδωθεί, να γαλακτωματοποιηθεί ή να διαλυθεί με διαλύτες. Στην πρώτη περίπτωση παράγεται η οξειδωμένη ασφάλτος, στη δεύτερη το ασφαλικό γαλάκτωμα και στην τρίτη το ασφαλικό διάλυμα. Τέλος, στην ασφαλτο οδοστρώσεως μπορεί να προστεθούν διάφορα χημικά πρόσθετα (βελτιωτικά) και να παραχθεί η τροποποιημένη ασφάλτος [1], [8].

3.4 Τύποι ασφάλτων και ταξινόμηση αυτών

Οι διάφοροι τύποι ασφάλτων που υπάρχουν στο εμπόριο μπορούν να χωρισθούν σε δύο γενικότερες κατηγορίες αναλόγως της χρήσεως αυτών : στις ασφαλτούς οδοστρώσεις και στις ασφαλτούς για βιομηχανική χρήση (στέγες, δάπεδα, επικαλύψεις σωληνώσεων, χρώματα, μαστίχες). Οι ασφαλτο οδοστρώσεις είναι οι ασφαλτοί όπως παράγονται από την απόσταξη του υπολείμματος του αργού πετρελαίου, ενώ οι ασφαλτοί για βιομηχανική χρήση υφίστανται περαιτέρω οξείδωση.

Οι ασφαλτοί οδοστρωσίας ταξινομούνται συναρτήσει του βαθμού διεισδυτικότητας αυτών, όπου η μονάδα μέτρησης είναι το pen. Όσο μεγαλώνει ο βαθμός διεισδυτικότητας, τόσο μαλακότερη είναι η ασφαλτος. Ο κάθε τύπος ασφάλτου, εκτός του βαθμού διεισδυτικότητας, παρουσιάζει και άλλες χαρακτηριστικές ιδιότητες, όπως σημείο μάλθωσης, ολκιμότητα, σημείο ανάφλεξης κλπ. Το εύρος των τιμών των διαφόρων ιδιοτήτων, καθορίζονται από την ΠΤΠ Α200 [1],[8].

4. ΑΣΦΑΛΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

4.1 Ασφαλτικά Διαλύματα

Τα ασφαλτικά διαλύματα είναι προϊόντα ανάμιξης ασφάλτου και διαλυτών. Λόγω της ύπαρξης διαλυτών, όπως βενζίνη, φωτιστικό πετρέλαιο, νάφθα, ή άλλων λιγότερο πτητικών διαλυτών (έλαια), τα ασφαλτικά διαλύματα έχουν μικρότερο ιξώδες από αυτό της ασφάλτου και στη φυσική τους κατάσταση και υπό κανονικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος είναι ρευστά υλικά, σε αντίθεση με την ασφαλτο που θεωρείται «στερεό» υλικό. Για το λόγο αυτό τα ασφαλτικά διαλύματα δεν απαιτούν τόσο υψηλές θερμοκρασίες, όπως οι ασφαλτοί οδοστρώσις, κατά την εφαρμογή τους. Η παρουσία λοιπόν των διαλυτών αντικαθιστά ένα μέρος της θερμότητας που απαιτείται για να γίνει η ασφαλτος «εργάσιμη». Μετά την ανάμειξή τους με αδρανή ή ψεκασμό αυτών επί επιφανειών, οι διαλύτες αρχίζουν να εξατμίζονται αφήνοντας μόνη την ασφαλτο να λειτουργήσει ως συνδετικό υλικό. Τα ασφαλτικά διαλύματα χρησιμοποιήθηκαν στο παρελθόν για την παραγωγή ασφαλτομιγμάτων ανοικτού κυρίως τύπου και σε περιοχές με χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, καθώς και σε εργασίες προεπάλειψης, συγκολλητικής και ασφαλτικής επάλειψης.

Αναλόγως του χρόνου εξάτμισης του διαλύτη, που εξαρτάται από το είδος αυτού (περισσότερο ή λιγότερο πτητικό), τα διαλύματα διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες : σε διαλύματα βραδείας (ΒΕ), μέσης (ΜΕ), ή ταχείας (ΤΕ) εξάτμισης. Τα διαλύματα μέσης εξάτμισης είναι αυτά που συνήθως χρησιμοποιούνται στην οδοποιία. Για την παραγωγή των ασφαλτικών διαλυμάτων μέσης εξάτμισης, χρησιμοποιείται ασφαλτος τύπου 80/100 pen ή 180/200 pen και φωτιστικό πετρέλαιο σε διάφορες αναλογίες έτσι ώστε να επιτευχθεί διάλυμα συγκεκριμένου ιξώδους. Τα ασφαλτικά διαλύματα ανεξαρτήτως ρυθμού εξάτμισης ταξινομούνται συναρτήσει του ιξώδους αυτών.

Στις Αμερικανικές προδιαγραφές υπάρχουν πέντε διαφορετικοί τύποι ασφαλτικών διαλυμάτων μέσης εξάτμισης όπως : ME-30, ME-70, ME-250, ME-800 και ME-3000 (οι αριθμοί δηλώνουν το ελάχιστο κινηματικό ιξώδες). Αντίστοιχα, στις Βρετανικές προδιαγραφές υπάρχουν τρεις μόνο τύποι ασφαλτικών διαλυμάτων ME όπως : 50secs, 100secs και 200secs (οι αριθμοί δηλώνουν το ιξώδες αυτών μετρούμενο σε δευτερόλεπτα με το τυπικό ιξωδόμετρο για πίεσες).

Στην Ελλάδα τα ασφαλτικά διαλύματα ME κατατάσσονται σε 6 κατηγορίες, αναλόγως του πεδίου εφαρμογής τους, που προδιαγράφονται από την ΠΤΠ Α201 και είναι :

- Τύπος ME-0 για προεπάλειψη πυκνής υφής λεπτόκοκκων επιφανειών
- Τύπος ME-1 για προεπάλειψη χονδρόκοκκων παρωδών επιφανειών
- Τύπος ME-2 για ασφαλτομίγματα πυκνής ή ανοικτής συνθέσεως για ανάμειξη στην οδό σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος
- Τύπος ME-3 για ασφαλτομίγματα πυκνής ή ανοικτής συνθέσεως για ανάμειξη στην οδό σε σχετικά υψηλές ή χαμηλές αντίστοιχα θερμοκρασίες περιβάλλοντος
- Τύπος ME-4 για ασφαλτομίγματα ανοικτής συνθέσεως για ανάμειξη στην οδό σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος και για την

παρασκευή πυκνού τύπου ασφαλτομιγμάτων, υπό θέρμανση, σε μηχανήματα αναμίξεως και διάστρωση εν ψυχρώ

- Τύπος ME-5 για ασφαλτομίγματα ανοικτής συνθέσεως για ανάμιξη στην οδό σε υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος κατά τη θερινή περίοδο και για την παρασκευή, υπό θέρμανση, σε μηχανήματα αναμίξεως και διάστρωση εν θερμώ.

Θα πρέπει να τονισθεί ιδιαίτερα ότι τα ασφαλτικά διαλύματα είναι ενεργειακά ασύμφορα και περιβαλλοντικά επιβλαβή. Κατά την παραγωγή τους χρησιμοποιείται διαλύτης ο οποίος εξατμίζεται στο περιβάλλον μετά την ανάμιξη του διαλύματος με αδρανή ή τον ψεκασμό αυτού στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Με την εξαέρωση του διαλύτη σπαταλάται ενέργεια και επιδεινώνεται η ατμοσφαιρική ρύπανση. Έχει υπολογιστεί ότι για να παραχθεί ένα γαλόνι ασφαλτικού διαλύματος ME απαιτείται περίπου 12 έως 28 φορές παραπάνω ενέργεια, αναλόγως του τύπου του διαλύματος, από αυτήν που απαιτείται για την παραγωγή ενός γαλονιού ασφάλτου. Η ενέργεια αυτή εξατμίζεται ενώ θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικότερα.

Με βάση τα παραπάνω, τα τελευταία 15 περίπου χρόνια η χρήση των ασφαλτικών διαλυμάτων σε πολλές χώρες του εξωτερικού άρχισε να περιορίζεται ή ακόμη και να απαγορεύεται. Στην Ελλάδα, μετά από μια σειρά εγγράφων και εγκυκλίων, συνιστάται η πλήρης αντικατάσταση των διαλυμάτων με ασφαλτικά γαλακτώματα στις εργασίες προεπαλειψής, συγκολλητικής και ασφαλτικής επάλειψης. Σήμερα, τα ασφαλτικά διαλύματα χρησιμοποιούνται από λίγες μόνο χώρες, κυρίως χώρες με χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, ή επιλεκτικά σε περιορισμένη κλίμακα, για την παραγωγή ασφαλτομιγμάτων πλήρωσης λάκκων ή τύπου Macadam ή για ασφαλτικές επαλειψεις [1], [9].

4.2 Αντιυδρόφιλα υλικά

Τα αντιυδρόφιλα υλικά είναι κυρίως οργανικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουν την πρόσφυση της ασφάλτου στην επιφάνεια των αδρανών, μειώνοντας έτσι ή εξαλείφοντας τον κίνδυνο "αποφλοιώσης" (stripping) της ασφάλτου από την επιφάνεια των αδρανών. Η χρήση των αντιυδρόφιλων υλικών βρίσκει σήμερα εφαρμογή τόσο στις ασφαλτικές επαλειψεις (surface dressing), όπου υπάρχει απαίτηση για άριστη και διαρκή πρόσφυση, όσο και στα θερμά ασφαλτομίγματα, όπου υπάρχει απαίτηση διατήρησης της ευστάθειας του ασφαλτομίγματος. Και στις δύο περιπτώσεις βελτιώνεται η πρόσφυση ασφάλτου-αδρανών και αυξάνεται η αντίσταση του μίγματος στην καταστρεπτική επίδραση του ύδατος, στην περίπτωση που είχαν χρησιμοποιηθεί υδρόφιλα αδρανή. Κατά συνέπεια, διατηρείται ή βελτιώνεται η συνοχή και η ευστάθεια αυτού στην περίπτωση που εμφανιστεί νερό στο σύστημα ασφάλτος / αδρανή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μεταξύ των κατά κανόνα υδρόφιλων αδρανών και της ελασκόφιλης ασφάλτου παρεμβάλλεται το αντιυδρόφιλο υλικό που αναπτύσσει ένα ισχυρό δεσμό μεταξύ της ασφάλτου και της επιφάνειας των αδρανών. Για κάθε κατηγορία αδρανών, αβεστολιθικά, πυριτικά ή αβεστοπυριτικά, υπάρχει και ο κατάλληλος τύπος αντιυδρόφιλου υλικού που πρέπει να χρησιμοποιηθεί.

Οι ιδιότητες τους προδιαγράφονται από την ΠΤΠ Α205 [1], [10].

4.3 Τροποποιημένη ασφάλτος

Τροποποιημένη ασφάλτος είναι η ασφάλτος της οποίας οι χαρακτηριστικές ιδιότητες έχουν τροποποιηθεί προς το "βέλτιστο" με την προσθήκη χημικών ή φυσικών ουσιών. Με τη βελτίωση που επέρχεται στις ιδιότητες της ασφάλτου βελτιώνεται και η αντίσταξη συμπεριφορά του μίγματος ασφάλτου-αδρανές και κατ' επέκταση η ποιότητα της κατασκευής.

Η αναγκαιότητα της χρήσης των τροποποιημένων ασφάλτων, αρχικά, διαφάνηκε την δεκαετία του 1970 όταν, λόγω των πολλών πηγών προέλευσης και παραγωγής αργού πετρελαίου, διαπιστώθηκε στην παγκόσμια αγορά μια μεταβλητότητα στις ιδιότητες της ασφάλτου με παράλληλη αισθητή αύξηση της τιμής της λόγω της ενεργειακής κρίσης. Το πρώτο είχε ως αποτέλεσμα να παρατηρηθούν αρκετές αστοχίες στην κατασκευή των οδοστρωμάτων ενώ το δεύτερο να αυξηθεί το συνολικό κόστος της κατασκευής. Αργότερα παρατηρήθηκαν πρόωρες κακώσεις των οδοστρωμάτων που οφειλόταν στην πρόωρη κόπωση ή την έντονη παραμόρφωσιμότητα του ασφαλτομίγματος. Δημιουργήθηκε, συνεπώς, η ανάγκη βελτίωσης της ποιότητας της ασφάλτου με σκοπό τη διασφάλιση της ποιοτικής σταθερότητας και της βελτίωσης της ποιότητας της κατασκευής.

Τα τελευταία δέκα χρόνια η ραγδαία αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου και του μεγέθους των αξονικών φορτίων, οι υψηλότερες απαιτήσεις του χρήστη για καλύτερη και διαρκή άνεση οδήγησης καθώς και το σημαντικό κοινωνικό κόστος που προκαλείται από την αναστάτωση της κυκλοφορίας κατά την διάρκεια των εργασιών συντήρησης των οδοστρωμάτων έκαναν ακόμη πιο επιβεβλημένη την ανάγκη βελτίωσης της ασφάλτου και κατ' επέκταση της κατασκευής.

Η βελτίωση που επιζητείται στα σύνολό της, είναι η μείωση της ευπάθειας της ασφάλτου στις θερμοκρασιακές μεταβολές και παράλληλα η αύξηση του μέτρου δυσκαμψίας της και η ταυτόχρονη βελτίωση της ελαστικότητας και της συγκολλητικής της ικανότητας. Με άλλα λόγια η ασφάλτος θα έπρεπε να μη μαλακώνει τόσο πολύ στις υψηλές θερμοκρασίες, να μη "ρηγματώνεται" ή θραύεται στις χαμηλές υπό το μηδέν θερμοκρασίες και να προσφύεται καλύτερα στα αδρανή. Η χημική βιομηχανία ανταποκρίθηκε στα παραπάνω αιτήματα και παρουσίασε ένα μεγάλο αριθμό χημικών προσθέτων (τροποποιητών) που το καθένα ικανοποιεί περισσότερο ή λιγότερο ορισμένες ή όλες τις παραπάνω απαιτήσεις.

Η τροποποιημένη ασφάλτος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλο το φάσμα των ασφαλικών εργασιών, δηλαδή για την παραγωγή ασφαλτομιγμάτων (θερμών ή ψυχρών), για ασφαλικές επαλείψεις, για στεγάνωση και υγρομόνωση επιφανειών κλπ.

Ο ρόλος της τροποποιημένης ασφάλτου στην οδοποιία σήμερα είναι τετραπλός. Πρώτον, να αυξήσει την αντοχή του ασφαλτομίγματος στην παρσμένομα παραμόρφωση σε υψηλές θερμοκρασίες, δεύτερον να βελτιώσει την ελαστική συμπεριφορά του ασφαλτομίγματος, τρίτον να αυξήσει το μέτρο δυσκαμψίας του και τέταρτον να αυξήσει την πρόσφυση μεταξύ ασφάλτου και αδρανών, σε όλο το φάσμα των θερμοκρασιών κατασκευής και λειτουργίας του έργου χωρίς να επηρεάσει αλλά ανθετέως να βελτιώσει, εάν είναι δυνατόν, και τις άλλες δυνατότητες αυτού όπως εργασιμότητα, μείωση

της οξειδωσης κλπ. Ρόλος πολύπλοκος και δύσκολος, με αποτέλεσμα ορισμένοι μόνο τροποποιητές να είναι σε θέση να τον εκπληρώσουν πλήρως.

Η αύξηση της αντοχής του ασφαλτομίγματος σε παραμένουσα παραμόρφωση επιλύει το πρόβλημα της πρόωρης παραμορφωσιμότητας των ασφαλικών τσιπών που παρατηρείται σε περιοχές με υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο και υψηλές θερμοκρασίες.

Η βελτίωση της ελαστικής συμπεριφοράς του ασφαλτομίγματος επηρεάζει άμεσα και θετικά τη συμπεριφορά του ασφαλτομίγματος σε παραμένουσα παραμόρφωση καθώς και την εφελκυστική αντοχή αυτού με αποτέλεσμα να μπορεί να παραλάβει μεγαλύτερες (εφελκυστικές) παραμορφώσεις με συνέπεια να αποφεύγεται η πρόωρη ρηγμάτωση των ασφαλικών στρώσεων. Το φαινόμενο της ρηγμάτωσης παρατηρείται κυρίως σε περιοχές με υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο και χαμηλές θερμοκρασίες ή σε περιπτώσεις υποδιαστασιολόγησης των στρώσεων του οδοστρώματος.

Η αύξηση του μέτρου δυσκαμψίας του ασφαλτομίγματος βελτιώνει την κανότητα της στρώσης για κατανομή και μεταβίβαση του φορτίου στις υποκείμενες στρώσεις και στο έδαφος με αποτέλεσμα να αυξάνει η κατασκευαστική αντοχή του οδοστρώματος και κατ' επέκταση η διάρκεια ζωής του οδοστρώματος. Εναλλακτικά, το προηγούμενο θα μπορούσε να εκληφθεί και ως δυνατότητα μείωσης του πάχους του οδοστρώματος για την ίδια διάρκεια ζωής του οδοστρώματος.

Τέλος, η βελτίωση της πρόσφυσης ασφάλτου και αδρανών σε συνδυασμό με τις άλλες μεταβολές επηρεάζει άμεσα τις εργασίες όπου η συγκόλληση μεταξύ των αδρανών και με την επιφάνεια του οδοστρώματος είναι βασικότατος παράγοντας. Τέτοιες εργασίες είναι οι ασφαλικές επαλείψεις ασφαλικών στρώσεων, οι τσιππες κυκλοφορίας αναικτού τύπου (πορώδεις τσιππες) και οι αντιολισθηροί λεπτοτσιππες. Στις περιπτώσεις αυτές με τη χρήση τροποποιημένης ασφάλτου μειώνεται ή εξαλείφεται το φαινόμενο αποκόλλησης αδρανών από την επιφάνεια του οδοστρώματος με αποτέλεσμα οι εργασίες αυτές να είναι λειτουργικές για μεγάλο χρονικό διάστημα με τα αναμενόμενα αποτελέσματα.

Οι τροποποιημένες ασφαλτοι χαρακτηρίζονται από το σχετικά υψηλό κόστος παραγωγής και διάθεσης. Αυτό δε θα πρέπει να είναι απωθητικός παράγοντας διότι δε θα πρέπει να συγκρίνεται αποσπασματικά το κόστος αυτών με την ασφαλτο αλλά το συνολικό κόστος του οδοστρώματος (κόστος κατασκευής και κόστος μελλοντικών συντηρήσεων) ανηγμένο σε ετήσιο κόστος κατασκευής λαμβάνοντας υπόψη τη συνολική διάρκεια ζωής του οδοστρώματος. Η τροποποιημένη ασφαλτο μπορεί να χρησιμοποιηθεί, όπως προαναφέρθηκε, σε όλα τα ασφαλιστικά ή ασφαλικές εργασίες. Πλην όμως, για τη βελτιστοποίηση του κόστους/αφέλους είναι καλύτερα να χρησιμοποιείται σε περιοχές όπου απαιτείται υψηλή αντοχή του ασφαλτομίγματος σε κόπωση και παραμόρφωση (αυτοκινητόδρομοι, αεροδρόμια, καταστρώματα γεφυρών κλπ) ή με μίγματα που συντίθενται από υψηλής ποιότητας σκληρά αδρανή (πορώδεις τσιππες, αντιολισθηροί λεπτοτσιππες) ή ασφαλικές επαλείψεις με υψηλής ποιότητας σκληρά αδρανή [1].

4.4 Ασφαλτικά γαλακτώματα

4.4.1 Γενικά

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

Η αιώρηση των σωματιδίων της ασφάλτου επιτυγχάνεται με την ομοιόμορφη φόρτιση αυτών κατά το στάδιο της γαλακτωματοποίησης με την προσθήκη χημικού προσθέτου που ονομάζεται «γαλακτωματοποιητής». Η τυπική αναλογία ασφάλτου και νερού είναι 60%-40%, κατά βάρος, αντίστοιχα. Ανάλογα με την επιφανειακή φόρτιση των σωματιδίων, τα ασφαλτικά γαλακτώματα χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: τα κατιονικά (ή όξινα), όπου τα σωματίδια είναι φορτισμένα θετικά και τα ανιονικά (ή αλκαλικά), όπου τα σωματίδια της ασφάλτου είναι φορτισμένα αρνητικά. Η ονομασία κατιονικά προέρχεται από το γεγονός ότι τα φορτισμένα με θετικό επιφανειακό φορτίο σωματίδια της ασφάλτου, όταν διέλθει ηλεκτρικό ρεύμα, οδεύουν και επικάθονται στην κάθοδο. Αντίστοιχη είναι η ονομασία των ανιονικών όπου τα αρνητικά φορτισμένα σωματίδια της ασφάλτου οδεύουν και επικάθονται στην άνοδο. Η εναλλακτική ονομασία όξινα ή αλκαλικά προέρχεται από το γεγονός ότι τα σωματίδια της ασφάλτου βρίσκονται σε αιώρηση σε όξινο ή αλκαλικό υδατικό περιβάλλον. Βεβαίως υπάρχουν και τα μη-ιονικά ασφαλτικά γαλακτώματα, όπου τα σωματίδια της ασφάλτου βρίσκονται σε αιώρηση σε ουδέτερο υδατικό περιβάλλον (ΡΗ περίπου 7). Τα γαλακτώματα αυτά δεν χρησιμοποιούνται στην οδοποιία, πλην όμως η χρήση τους μπορεί να είναι πιο ευρεία καθώς βελτιώνεται η τεχνολογία των γαλακτωμάτων.

Τα ασφαλτικά γαλακτώματα, ανιονικού τύπου, πρωτοχρησιμοποιήθηκαν σε έργα οδοποιίας στις αρχές του εικοστού αιώνα. Στην Ελλάδα πρωτοχρησιμοποιήθηκαν το 1954. Τα αποτελέσματα ήταν θετικά, εφ' όσον εφαρμόζονταν πιστά οι οδηγίες χρήσης τους. Το κυριότερο πρόβλημα που παρουσιάστηκε, όπως και στον υπόλοιπο κόσμο, ήταν το «ξέπλυμα των αδρανών» από άσφαλτο στην περίπτωση που έβρεχε σε σύντομο χρονικό διάστημα μετά την εφαρμογή τους (διάστρωση ψυχρού μίγματος ή ψεκασμού αυτών πάνω στην επιφάνεια του οδοστρώματος). Το γεγονός αυτό οφειλόταν στην «επαναγαλακτωματοποίηση» του συνδετικού υλικού λόγω μη πλήρους διάσπασης του γαλακτώματος. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να μη συνεχιστεί η χρήση αυτών, στην Ελλάδα, μέχρι περίπου το τέλος της δεκαετίας του '70, και αντί αυτών να χρησιμοποιούνται τα ασφαλτικά διαλύματα. Η εμφάνιση όμως των κατιονικών γαλακτωμάτων στις αρχές της δεκαετίας του '60 εξάλειψε το παραπάνω πρόβλημα και έτσι από τις αρχές της δεκαετίας του '80 άρχισαν να κερδίζουν και πάλι την εμπιστοσύνη των χρηστών.

Σήμερα, τόσο διεθνώς όσο και στην Ελλάδα, τα ασφαλτικά γαλακτώματα χρησιμοποιούνται σε όλα τα φάσμα των έργων οδοποιίας, όπως: παραγωγή ψυχρών ασφαλτικών μιγμάτων παντός τύπου σε μόνιμη ή αυτοκινούμενη μονάδα παραγωγής, ασφαλτικές επαλείψεις, συγκολλητικές επαλείψεις, προεπιτάλειψη, εμποτισμό σκυρωτών, ψυχρά ασφαλτομίγματα με

δυνατότητα αποθήκευσης για πλήρωση λόκκων, πλήρωση επιφανειακών ρωγμών οδοστρωμάτων, σταθεροποίηση πρανών κλπ.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί ότι η χρήση των ασφαλικών γαλακτωμάτων στην Ελλάδα σε σύγκριση με άλλες χώρες του εξωτερικού, λαμβανομένων υπόψη των πλεονεκτημάτων που έχουν ιδιαίτερα σε ορισμένες εφαρμογές υπολείπεται κατά πολύ σε αναλογία χρήσης της ασφάλτου σε έργα οδοποιίας. Στην Γαλλία, παραδείγματος χάριν, το 1993 στα έργα οδοποιίας χρησιμοποιήθηκαν 12 εκατομμύρια τόνοι ασφαλικών γαλακτωμάτων έναντι 2.2 εκατομμυρίων τόνων ασφάλτου (ποσοστό 54.5%). Στην Ελλάδα το 1994 η αντίστοιχη ποσότητα ήταν 6.000 τόνοι ασφαλικών γαλακτωμάτων και 300 000 τόνοι ασφάλτου (ποσοστό 0.02%).

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

- Είναι από άποψη δαπάνης ενέργειας ή εξοικονόμησης αυτής συμφερότερα
- Συμβάλλουν στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης
- Καθιστούν τις ασφατικές εργασίες ασφαλέστερες
- Έχουν την δυνατότητα να επικαλύπτουν, επιτυχώς, με ασφαλτο υγρά αδρανή ή υγρές επιφάνειες
- Επιταχύνουν την πρόοδο των εργασιών και βελτώνουν την παραγωγικότητα του συνεργείου κατασκευής
- Αποτρέπουν ορισμένες κατασκευαστικές αστοχίες όπως ολίσθηση ταπήτων, ανάδυση ασφάλτου και περαιτέρω οξείδωση της ασφάλτου από παρατεταμένη θέρμανση αυτής, και
- Επιφέρουν καλύτερα αποτελέσματα στις εργασίες συγκολλητικής και προεπάλειψης.

Τα παραπάνω πλεονεκτήματα απορρέουν από το γεγονός ότι λόγω του πολύ χαμηλού ιξώδους σε σύγκριση με την ασφαλτο αλλά και τα ασφατικά διαλύματα, η χρήση των γαλακτωμάτων δεν προϋποθέτει τη χρήση θερμότητας σε κανένα στάδιο εφαρμογής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι ασφατικές εργασίες να είναι ασφαλέστερες αλλά και να συνεχίζονται και με χαμηλότερες περιβαλλοντικές θερμοκρασίες από αυτές που απαιτούνται για τα θερμά ασφαλτομίγματα. Επίσης, το χαμηλό ιξώδες επιτυγχάνεται με την προσθήκη νερού και όχι διαλύτη. Έτσι εξατμίζεται νερό και όχι υλικό υψηλής θερμικής ενέργειας και συναλλαγματικής αξίας. Επίσης, η εξατμισμό ύδατος δεν επιβαρύνει την ατμοσφαιρική ρύπανση, σε αντίθεση με τους διαλύτες. Τέλος, οι γαλακτωματοποιητές για την παραγωγή κατιονικών γαλακτωμάτων έχουν από τη φύση τους συγκολλητικές ιδιότητες οι οποίες προστιθέμενες σε αυτήν της ασφάλτου αυξάνουν περαιτέρω τη συγκολλητική ικανότητα αυτής [1].

4.4.2 Ταξινόμηση και τύποι γαλακτωμάτων

Τα ασφατικά γαλακτώματα, εκτός της βασικής ταξινόμησης με βάση το είδος της επιφανειακής φόρτισης των σωματιδίων της ασφάλτου (ανιονικά ή κατιονικά), διακρίνονται και σε τρεις άλλες κατηγορίες αναλόγως του ρυθμού διάσπασης. Οι τρεις κατηγορίες είναι : τα βραδείας, μέσης και ταχείας διάσπασης γαλακτώματα. Οι Βρετανικές προδιαγραφές έχουν και μια τέταρτη κατηγορία της πολύ βραδείας διάσπασης, αλλά μόνο για ανιονικά

γαλακτώματα, η οποία σήμερα πρακτικά δεν χρησιμοποιείται. Τα γαλακτώματα αυτά είναι κατάλληλα για μίγματα αδρανών με μεγάλη επιφάνεια αντίδρασης (μεγάλο ποσοστό λεπτόκοκκων) όπως τα μίγματα Slurry Seal, τύπου I.

Επίσης τα γαλακτώματα χαρακτηρίζονται από το ποσοστό ασφάλτου που περιέχουν, από το ιξώδες αυτών και από τη σκληρότητα της ασφάλτου. Το ποσοστό της ασφάλτου που περιέχεται είναι συνήθως από 55 έως 65% κατά βάρος, πλην του κατιονικού γαλακτώματος K1-70 που περιέχει 70% άσφαλτο και του K1-40 που περιέχει 40% άσφαλτο και προδιαγράφονται μόνο από τις Βρετανικές προδιαγραφές.

Για την ευκολότερη διάκριση των γαλακτωμάτων χρησιμοποιείται συνδυασμός γραμμάτων και αριθμών. Η Βρετανική ταξινόμηση χρησιμοποιεί το K και A για κατιονικά και ανιονικά και τους αριθμούς 1 έως 3 ή και 4 για την ταχύτητα διάσπασης. Ο αριθμός 1 αντιστοιχεί στο γαλάκτωμα ταχείας διάσπασης, ο αριθμός 2 στο μέσης διάσπασης κλπ. Ο αριθμός μετά τα 1 έως 4 αντιστοιχεί στο ενδεικνυόμενο ποσοστό ασφάλτου στο γαλάκτωμα. Έτσι, ο συμβολισμός K1-60 σημαίνει κατιονικό γαλάκτωμα ταχείας διάσπαση με 60% περιεκτικότητα σε άσφαλτο.

Ομοίως, οι Αμερικανικές προδιαγραφές χρησιμοποιούν το γράμμα C για κατιονικά και κανένα γράμμα για τα ανιονικά, για δε την ταχύτητα διάσπασης τους συμβολισμούς RS για ταχείας, MS για μέσης και SS για βραδείας διάσπασης. Ο αριθμός μετά τα γράμματα χαρακτηρίζει την ελάχιστη περιεκτικότητα της ασφάλτου στο γαλάκτωμα. Ο αριθμός 1 δηλώνει ότι το ελάχιστο ποσοστό θα πρέπει να είναι 55% έως 60%, ενώ ο αριθμός 2 δηλώνει ότι το ελάχιστο ποσοστό ασφάλτου θα πρέπει να είναι 63 ή 65% για ανιονικά ή κατιονικά γαλακτώματα αντίστοιχα. Μετά από αυτόν τον αριθμό μπορεί να υπάρχει το γράμμα «h» που δηλώνει ότι η άσφαλτος που χρησιμοποιήθηκε είναι σκληρότερη από τη συνήθη που είναι ο τύπος 80/100 pen. Έτσι, ο συμβολισμός SS-1h σημαίνει ανιονικό γαλάκτωμα βραδείας διάσπασης με ελάχιστο ποσοστό ασφάλτου 57% και σκληρότερη άσφαλτο αυτής του 80/100 pen. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι στις Αμερικανικές προδιαγραφές υπάρχουν γαλακτώματα που χαρακτηρίζονται με τα αρχικά γράμματα HF. Είναι ειδικά ανιονικά γαλακτώματα που υποβοηθούν τη δημιουργία μεγαλύτερου πάχους ασφατικού υμένα και συμβάλουν στην αποφυγή περίπτωσης «αποστράγγισης» του γαλακτώματος από τα αδρανή και η χρήση τους είναι πολύ περιορισμένη.

Στην Ελλάδα τα ασφαλτικά γαλακτώματα προδιαγράφονται από την ΠΤΠ Α202, για ανιονικού τύπου, και από την ΠΤΠ Α203 για κατιονικού τύπου. Η ταξινόμηση τους γίνεται με τα γράμματα ΑΕ για ανιονικά και ΚΕ για κατιονικά γαλακτώματα αντίστοιχα. Ο αριθμός που ακολουθεί δηλώνει τόσο το βαθμό διάσπασης αυτών όσο και τις περιοχές εφαρμογής και την περιεκτικότητα σε άσφαλτο. Οι αριθμοί είναι από 1 έως 5, με το 1 να δηλώνει γαλάκτωμα ταχείας διάσπασης και το 5 γαλάκτωμα βραδείας διάσπασης [1], [11], [12].

4.4.3 Χρήσεις γαλακτωμάτων

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

Αναλυτικότερα, στην Ελλάδα οι εφαρμογές των ανιονικών ασφαλικών γαλακτωμάτων (ΠΤΠ Α202) είναι :

- Τύπος ΑΕ-1 για συγκολλητικές επαλείψεις, επιφανειακές επεξεργασίες και εμποτισμούς σκυρωτών
- Τύπος ΑΕ-2 για επιφανειακές επεξεργασίες, εμποτισμούς σκυρωτών και σε περιπτώσεις όπου απαιτείται μικρή ρευστότητα γαλακτώματος
- Τύπος ΑΕ-3 για την παρασκευή ασφαλτομιγμάτων χονδρόκοκκων αδρανών συγκρατούμενων ουσιαστικά εξ'ολοκλήρου στο κόσκινο τετραγωνικής οπής πλευράς 3,17mm (1/8") και ελεύθερου υλικού διερχόμενου από το κόσκινο τετραγωνικής οπής πλευράς 0,074mm (No.200). Επίσης εφαρμόζεται και σε εργασίες που εκτελούνται από τα γαλακτώματα των τύπων ΑΕ-1 και ΑΕ-2 όταν η σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας είναι χαμηλή ή τα αδρανή είναι πορώδη
- Τύπος ΑΕ-4 για την παρασκευή ασφαλτομιγμάτων χονδρόκοκκων αδρανών συγκρατούμενων ουσιαστικά εξ'ολοκλήρου στο κόσκινο τετραγωνικής οπής πλευράς 3,17mm (1/8") και ελεύθερου υλικού διερχόμενου από το κόσκινο τετραγωνικής οπής πλευράς 0,074mm (No.200)
- Τύπος ΑΕ-5 για την παρασκευή ασφαλτομιγμάτων διαβαθμισμένου και λεπτόκοκκου αδρανούς, σημαντική ποσότητα του οποίου διέρχεται από το κόσκινο τετραγωνικής οπής πλευράς 3,17mm (1/8") και κάποιο μικρό ποσοστό υλικού διέρχεται από το κόσκινο τετραγωνικής οπής πλευράς 0,074mm (No.200). Επίσης χρησιμοποιείται για την παρασκευή πολτού για σφραγιστικές επεξεργασίες (Slurry Seal).

Επίσης, οι εφαρμογές των κατιονικών ασφαλικών γαλακτωμάτων (ΠΤΠ Α203) είναι :

- Τύπος ΚΕ-1 για συγκολλητικές επαλείψεις, επιφανειακές επεξεργασίες και εμποτισμούς σκυρωτών
- Τύπος ΚΕ-2 για σφραγιστικές επαλείψεις, επιφανειακές επεξεργασίες και για εμποτισμούς όπου απαιτείται μικρή ρευστότητα γαλακτώματος

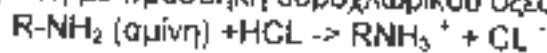
- Τύπος ΚΕ-3 για την παρασκευή ασφαλομιγμάτων ανοικτής διαβαθμίσεως απαλλαγμένων πρακτικώς από παιπάλη. Το ασφαλομίγμα δεν μπορεί να αποθηκευτεί αλλά πρέπει να διαστρωθεί αμέσως.
- Τύπος ΚΕ-4 για την παρασκευή ασφαλομιγμάτων ανοικτής διαβαθμίσεως απαλλαγμένων πρακτικώς από παιπάλη. Το ασφαλομίγμα αυτό μπορεί να αποθηκευτεί.
- Τύπος ΚΕ-5 για προεπαλείψεις βάσεων και προαναμιξές αδρανών υλικών που προορίζονται για επιφανειακές επεξεργασίες [1], [11], [12].

4.4.4 Γαλακτωματοποιητές

Οι γαλακτωματοποιητές για τα ανιονικά γαλακτώματα είναι λιπαρά οξέα που σαπωνοποιούνται αντιδρώντας με το υδροξείδιο του νατρίου ή καλίου. Παραδείγματος χάριν :



Για τα κατιονικά γαλακτώματα οι γαλακτωματοποιητές είναι συνήθως μονοαμίνες, διαμίνες, αμιδοαμίνες, πολυαμίνες ή ιμιδαζολίνες που διαλύονται με οξέα, υδροχλωρικό συνήθως, ή οξικό πριν τη γαλακτωματοποίηση. Η χημική αντίδραση με προσθήκη υδροχλωρικού οξέος είναι της μορφής :



Επίσης χρησιμοποιούνται και ενώσεις τεταρτοταγούς αμμωνίου, που είναι υδατοδιαλυτές και δεν απαιτούν την προσθήκη οξέος ή οξύ-αιθυλεμίνης.

Κάθε μόριο γαλακτωματοποιητή έχει δύο ομάδες. Την υδρόφοβα ή ελαιοφιλική που είναι μη-πολική και διαλύεται στην άσφαλτο (R) και την υδροφιλική που είναι πολική και η οποία διαλύεται στο νερό (COO^- ή NH_3^+). Κατά την γαλακτωματοποίηση τα μόρια του γαλακτωματοποιητή επικάθονται στα μικροσκοπικά σφαιρίδια (μικύλια) της ασφάλτου με αποτέλεσμα η επιφάνεια αυτών, λόγω της πολικότητας του υδρόφιλου μέρους, να φορτίζεται ομοιόμορφα. Ως επακόλουθο, αναπτύσσονται ωστικές δυνάμεις μεταξύ των σφαιριδίων με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η συγκόλληση αυτών και να διατηρείται η μόνιμη αιώρηση αυτών μέσα στη συνεχή υδατινή φάση και έτσι να δημιουργείται το ασφατικό γαλακτωμα. Αναλόγως της πολικότητας του υδροφιλικού μέρους τα γαλακτώματα χαρακτηρίζονται ως κατιονικά ή ανιονικά [1].

4.4.5 Διάσπαση γαλακτώματος

Τόσο τα κατιονικά όσο και τα ανιονικά γαλακτώματα, όταν έρθουν σε επαφή με το μίγμα των αδρανών ή με την επιφάνεια του οδοστρώματος αρχίζουν να διασπώνται. Δηλαδή τα σωματίδια της ασφάλτου λόγω διατάραξης της ισορροπίας του συστήματος, δεν μπορούν να είναι πλέον σε αιώρηση, διαταράσσεται η ισορροπία του συστήματος και τα σωματίδια της ασφάλτου (μικύλια) αρχίζουν να επικάθονται πάνω στην επιφάνεια των αδρανών. Διατάραξη της ισορροπίας του συστήματος μπορεί να επέλθει κυρίως από την απώλεια ύδατος από το σύστημα (αφυδάτωση γαλακτώματος). Επίσης, η μείωση της περιεκτικότητας του γαλακτώματος κάτω από ένα κρίσιμο επίπεδο μπορεί επίσης να διαταράξει την ισορροπία

του συστήματος. Η διάσπαση του γαλακτώματος υποδεικνύεται από την αλλαγή χρώματος του γαλακτώματος από καφέ σε μαύρο.

Ο μηχανισμός διάσπασης των ανιονικών γαλακτωμάτων διαφέρει από αυτόν των κατιονικών. Στα αλκαλικά γαλακτώματα η διάσπαση οφείλεται κυρίως στην αφυδάτωση του γαλακτώματος (απώλεια ποσότητας νερού αρχικά λόγω της απορρόφησης ύδατος από τα αδρανή και κατόπιν λόγω εξάτμισης αυτού) και όχι τόσο λόγω χημικής αντίδρασης. Με την απώλεια ύδατος επέρχεται συσσωμάτωση, φυσική εναπόθεση και τέλος συγκόλληση και πρόσφυση των μικυλίων επί της επιφάνειας των αδρανών και διάσπαση του γαλακτώματος. Με την έναρξη της διάσπασης του γαλακτώματος η επιφάνεια των αδρανών αρχίζει να καλύπτεται από ασφαλτό. Πλήρης διάσπαση των ανιονικών ασφατικών γαλακτωμάτων επέρχεται μόνο μετά την ολική, ή τη μερική αλλά κατά ένα πολύ μεγάλο ποσοστό, απομάκρυνση του νερού από το σύστημα (μίγμα). Αλλιώς το σύστημα, ανιανικό γαλάκτωμα και αδρανή, μπορεί να "επαναγαλακτωματοποιηθεί" με την παρουσία ύδατος (από βροχή).

Στα κατιονικά ασφατικά γαλακτώματα η διάσπαση του γαλακτώματος οφείλεται αρχικά σε χημική αντίδραση και κατόπιν στην αφυδάτωση του γαλακτώματος. Η διάσπαση του κατιονικού γαλακτώματος λαμβάνει χώρα σε τρεις φάσεις. Στην πρώτη φάση, επέρχεται προσρόφηση των πλεοναζάντων μορίων του γαλακτωματοποιητή και των φορτισμένων σωματιδίων της ασφάλτου επί της επιφάνειας των αδρανών, λόγω ηλεκτροστατικής έλξης. Στη δεύτερη φάση, λαμβάνει χώρα βίαιη συσσωμάτωση και φυσική εναπόθεση των σωματιδίων λόγω διατάραξης της ισορροπίας του συστήματος και στην τρίτη φάση αφυδάτωση του γαλακτώματος, που υπερσχύει όλων των άλλων παραγόντων και η οποία επιφέρει περαιτέρω σύμπτυξη και τελική διάσπαση του γαλακτώματος. Οι τρεις φάσεις διάσπασης λαμβάνουν χώρα σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, μερικών λεπτών, με αποτέλεσμα να εκμηδενίζεται ο κίνδυνος επαναγαλακτωματοποίησης του συστήματος. Το γεγονός αυτό είναι και το κυριότερο πλεονέκτημα των κατιονικών γαλακτωμάτων έναντι των ανιονικών γαλακτωμάτων.

Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται κατιονικό γαλάκτωμα με ασβεστολιθικά αδρανή ο μηχανισμός διάσπασης του γαλακτώματος είναι και πάλι ο ίδιος γιατί τα ασβεστολιθικά πετρώματα που χρησιμοποιούνται για ασφατομίγματα δεν είναι απολύτως φορτισμένα με θετικό φορτίο. Η συνολική επιφανειακή φόρτιση αυτών των ασβεστολιθικών αδρανών είναι ένα μίγμα ηλεκτροθετικών και ηλεκτραρνητικών φορτίων και συνεπώς η πρώτη φάση διάσπασης του γαλακτώματος που οφείλεται στην ηλεκτροστατική έλξη πάλι υφίσταται. Έτσι, τα κατιονικά γαλακτώματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν με όλα τα αδρανή και, λόγω του γεγονότος ότι διασπώνται πλήρως πολύ γρηγορότερα από τα ανιονικά, χρησιμοποιούνται σήμερα σχεδόν αποκλειστικά [1].

4.4.6 Παραγωγή ασφατικών γαλακτωμάτων

Τα ασφατικά γαλακτώματα παράγονται σε ειδική βιομηχανική μονάδα παραγωγής γαλακτωμάτων η οποία συνίσταται από αποθηκευτικούς χώρους (δεξαμενές) πρώτων υλών, αντλίες παροχής και δίκτυο σωληνώσεως, σύστημα γαλακτωματοποίησης (κολλοειδή μύλο ή υψηλόστροφο αναμικτή)

και δεξαμενές, με δυνατότητα ανάδευσης, για την αποθήκευση του τελικού προϊόντος.

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

Η ασφαλτός θερμαίνεται σε κατάλληλη θερμοκρασία ($110-140^{\circ}\text{C}$) έτσι ώστε να αποκτήσει χαμηλό ιξώδες και διοχετεύεται στον κολλοειδή μύλο. Στο νερό αφού θερμανθεί, προστίθεται ο γαλακτωματοποιητής αφού προηγουμένως αναμειχθεί με χημικό για την επίτευξη της υδατοδιαλυτότητας αυτού, που στην περίπτωση των κατιονικών γαλακτωμάτων είναι ένα οξύ (συνήθως το υδροχλωρικό), καθώς και όλα τα άλλα χημικά πρόσθετα. Το θερμό υδατικό διάλυμα διοχετεύεται και αυτό, ταυτόχρονα με την θερμή ασφαλτό, στον κολλοειδή μύλο. Ο μύλος είναι υψηλόστροφος (έως και 6000 στροφές ανά λεπτό) και αποτελείται από έναν κωνικό ρότορα και αντίστοιχο στάτορα. Το διάκενο μεταξύ ρότορα και στάτορα, ρυθμίζεται ανάλογα. Για την παραγωγή των ασφαλικών γαλακτωμάτων, το διάκενο είναι της τάξεως των 0.25-0.50mm. Οποιαδήποτε αυξομείωση του διακένου επηρεάζει τις διαστάσεις των σφαιριδίων της ασφάλτου. Η ασφαλτός και το υδατικό διάλυμα του γαλακτωματοποιητή εισέρχονται στον κολλοειδή μύλο και υπόκεινται σε υψηλές διατμητικές τάσεις οι οποίες διαχωρίζουν την ασφαλτό σε μικροσκοπικά σωματίδια (διαμέτρου 0.5 έως 15μm). Τα σωματίδια αυτά λόγω της παρουσίας του γαλακτωματοποιητή φορτίζονται ομοιόμορφα με το αυτό ηλεκτρικό φορτίο. Το ασφαλικό γαλάκτωμα που παράχθηκε και έχει θερμοκρασίες περίπου $80-90^{\circ}\text{C}$ αντλείται στις δεξαμενές αποθήκευσης για να κρυώσει.

Πλην των μονάδων παραγωγής συνεχούς ροής υπάρχουν και οι μονάδες παραγωγής ανά παρτίδα. Η διάταξή τους είναι παρόμοια με μόνη τη διαφορά ότι οι ποσότητες του νερού, του γαλακτωματοποιητή και όλων των άλλων χημικών είναι συγκεκριμένες για κάθε παρτίδα παραγωγής και αναμειγνύονται σε ξεχωριστή δεξαμενή πριν τη διοχέτευση του υδατικού διαλύματος στον κολλοειδή μύλο ή υψηλόστροφο αναμικτή. Κατά κανόνα η ωριαία παραγωγή του συστήματος αυτού είναι χαμηλότερη του συστήματος παραγωγής συνεχούς ροής [1], [11], [12].

4.4.7 Ιδιότητες ασφαλικού γαλακτώματος

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

α) Αποθηκευτική ευστάθεια γαλακτώματος

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

Το μέγεθος των σφαιριδίων, που κανονικά θα πρέπει να είναι της τάξεως 0,5 έως 15μm για το 85% τουλάχιστον του αριθμού αυτών, επηρεάζεται κυρίως από την απόσταση του διάκενου μεταξύ του ρότορα και του στάτορα. Εάν για κάποιο λόγο το διάκενο μεγαλώσει, το παραγόμενο γαλάκτωμα θα είναι περισσότερο "χονδρόκοκκο". Το μέγεθος των σφαιριδίων μπορεί επίσης να επηρεασθεί από τη χαμηλή θερμοκρασία της ασφάλτου και του υδατινού διαλύματος κατά την γαλακτωματοποίηση.

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

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

Η διαπίστωση της αποθηκευτικής ευστάθειας του γαλακτώματος ελέγχεται γρήγορα με την εκτέλεση της απλούστατης δοκιμής καθίζησης των

24-ωρών. Το μέγεθος των ασφαλικών σφαιριδίων καθώς και η κατανομή του μεγέθους αυτών μπορεί να καθοριστεί χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικά μικροσκοπία ή καλύτερα μηχανήματα κοκκομετρικής ανάλυσης. Για τις ανάγκες του έργου και για μια γρήγορη και μη δαπανηρή εκτίμηση των διαστάσεων των σφαιριδίων χρησιμοποιείται η δοκιμή του κόσκινου.

Κατά την αποθήκευση ή μεταφορά των γαλακτωμάτων δεν θα πρέπει να παραβλέπεται η καθαρότητα των δεξαμενών ή βαρελιών. Σε περίπτωση ύπαρξης κατάλοιπων ή ξένων στερεών σωματιδίων είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα επηρεάσουν την ευστάθεια και τη γενικότερη συμπεριφορά αυτού. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημωθεί ότι ανεξάρτητα της καθαρότητας του αποθηκευτικού χώρου, το γαλάκτωμα δε θα πρέπει να εκτίθεται για μεγάλο χρονικό διάστημα στον αέρα του περιβάλλοντος. Και αυτό διότι λόγω της μερικής εξάτμισης του υδάτος στην επιφάνεια αλλά και της επαφής με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας επέρχεται επιφανειακή διάσπαση αυτού. Η επιφανειακή διάσπαση εμφανίζεται με τη δημιουργία "κρούστας" ασφάλτου. Για το λόγο αυτό τα βαρέλια ή δεξαμενές θα πρέπει να είναι ερμητικά κλεισμένα και αν είναι δυνατό πλήρως γεμισμένα. Η τοποθέτηση επίσης των βαρελιών ή των δεξαμενών είναι προτιμότερο να είναι κατά την κάθετη διεύθυνση.

Τονίζεται ιδιαίτερα ότι, δε θα πρέπει να αναμιγνύεται ανιονικό και κατιονικό γαλάκτωμα, διότι λόγω της αντίθετης ηλεκτροστατικής τους φόρτισης επέρχεται στιγμιαία διάσπαση αυτών. Σε περίπτωση που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν δεξαμενές ή βαρέλια που στο παρελθόν είχαν χρησιμοποιηθεί για τον αντίθετο τύπο γαλακτώματος θα πρέπει να καθαρίζονται σχολαστικότερα με άφθονο νερό ή και διαλύτη έτσι ώστε να μην υπάρχει ίχνος γαλακτώματος αντίθετου τύπου. Δεξαμενές που χρησιμοποιήθηκαν στο παρελθόν για την αποθήκευση ασφάλτου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση γαλακτωμάτων αφού εξετασθούν ως προς τη μη ύπαρξη ξένων σωμάτων ή αποκολλημένων κομματιών παλαιάς ασφάλτου [1], [11], [12].

β) Ιξώδες γαλακτώματος

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

Το ιξώδες του γαλακτώματος μεταβάλλεται κυρίως με την αυξομείωση της περιεκτικότητας αυτού σε ασφαλτο. Καθώς αυξάνει η περιεκτικότητα της ασφάλτου στο γαλάκτωμα, αυξάνει και το ιξώδες αυτού. Εμφανέστερη είναι η επίδραση της αύξησης όταν η περιεκτικότητα ασφάλτου ξεπεράσει το ποσοστό του 65%. Επίσης, πτώση της θερμοκρασίας αυξάνει το ιξώδες του γαλακτώματος. Η αύξηση αυτή είναι περισσότερο αισθητή στα γαλακτώματα με περιεκτικότητα ασφάλτου πάνω από 65%. Το ιξώδες του γαλακτώματος επηρεάζεται επίσης από τα ιξώδες της ασφάλτου κατά τη γαλακτωματοποίηση, την οξύτητα του υδατικού διαλύματος και την περιεκτικότητα σε γαλακτωματοποιητή. Όταν μειωθεί το ιξώδες της ασφάλτου

που εκέρχεται στον καλλοειδή μύλο η μέση διάμετρος των σωματιδίων μειώνεται και το ιξώδες του γαλακτώματος ελαφρώς αυξάνεται. Επίσης σχετική αύξηση του ιξώδους παρατηρείται όταν μειώνεται η οξύτητα του υδατικού διαλύματος και αυξάνεται η περιεκτικότητα του γαλακτωματοποιητή.

Ο τύπος (σκληρότητα) της ασφάλτου που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του γαλακτώματος επηρεάζει επίσης το ιξώδες αυτού αλλά σε μικρότερο βαθμό. Ο βαθμός επηρεασμού εξαρτάται από τον τύπο του γαλακτωματοποιητή. Ο τύπος του γαλακτωματοποιητή επίσης επηρεάζει τη Νευτωνική ή μη συμπεριφορά του γαλακτώματος. Οι Lyttleton και Traxler εξέτασαν ένα μεγάλο αριθμό ανιονικών γαλακτωμάτων και βρήκαν ότι σχεδόν όλα είχαν μη-νευτωνική συμπεριφορά, με την πλειοψηφία αυτών να είναι θixοτροπικά. Κατιονικά γαλακτώματα που εξετάσθηκαν από άλλους ερευνητές είχαν την ίδια συμπεριφορά αλλά στο σύνολό τους το ιξώδες αυτών ήταν χαμηλότερο από αυτό των ανιονικών για την ίδια περιεκτικότητα ασφάλτου. Καθαρά μη-νευτωνική συμπεριφορά βρέθηκε σε κατιονικά γαλακτώματα όταν η περιεκτικότητα ασφάλτου στο μίγμα υπερβεί το 60% [1], [11], [12].

γ) Συγκολλητικότητα γαλακτώματος/ασφάλτου

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

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη συγκολλητικότητα του γαλακτώματος και κατ'επέκτασή της ασφάλτου με τα αδρανή είναι: ο τύπος και η ποσότητα του γαλακτωματοποιητή, η ποιότητα και ο τύπος της ασφάλτου, το ΡΗ του υδατικού διαλύματος του γαλακτωματοποιητή και ο τύπος των αδρανών. Επαρκής ποσότητα του επιλεγέντος γαλακτωματοποιητή πρέπει να εμπεριέχεται στο γαλακτώμα έτσι ώστε να υπάρχει ο απαιτούμενος και επαρκής αριθμός ελεύθερων μαρίων γαλακτωματοποιητή. Το ΡΗ του υδατικού διαλύματος του γαλακτωματοποιητή θα πρέπει να αυξομειώνεται συναρτήσει κυρίως της χημικής σύστασης της ασφάλτου και του τύπου των αδρανών. Όσον αφορά την επίδραση της ποιότητας των αδρανών στη συγκολλητικότητα του γαλακτώματος/ασφάλτου, θα πρέπει να ειπωθεί ότι τα κατιονικά γαλακτώματα προσφύονται άριστα με όλα τα αδρανή κατάλληλα για ασφατομίγματα σε αντίθεση με τα ανιονικά γαλακτώματα τα οποία, ανεξαρτήτως της σχετικής βραδύτητας ανάπτυξης του δεσμού, προσφύονται ικανοποιητικότερα σε ασβεστολιθικά αδρανή μόνο [1], [11], [12].

δ) Ρυθμός διάσπασης γαλακτώματος

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

Ο ρυθμός διάσπασης του γαλακτώματος εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

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

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

Ο ρυθμός εξάτμισης του ύδατος επιδρά άμεσα στο ρυθμό διάσπασης του γαλακτώματος. Επειδή ο ρυθμός εξάτμισης συνδυάζεται με τις κλιματολογικές συνθήκες, ο ρυθμός διάσπασης του γαλακτώματος αυξάνεται όταν : η θερμοκρασία περιβάλλοντος αυξάνεται, όταν αυξάνεται η ένταση του ανέμου ή όταν μειώνεται η σχετική υγρασία του περιβάλλοντος. Έτσι, θα πρέπει το γαλάκτωμα που χρησιμοποιείται να είναι όσο το δυνατόν λιγότερο ευαίσθητο στους παραπάνω παράγοντες. Τα κατιονικά γαλακτώματα φαίνεται να είναι περισσότερα ευαίσθητα στις παραπάνω μεταβολές.

Η απορροφητικότητα των αδρανών συσχετίζεται με την απώλεια ύδατος από το γαλάκτωμα. Έτσι, για το ίδιο γαλάκτωμα, όταν

χρησιμοποιούνται πορώδη αδρανή ο ρυθμός διάσπασης του γαλακτώματος αναμένεται να είναι ταχύτερος. Η αύξηση του ρυθμού διάσπασης στην περίπτωση χρήσης πορώδων αδρανών μπορεί να ελαχιστοποιηθεί, αν είναι επιθυμητό, με την προ-ύγρανση αυτών με νερό (3-5% νερό κατά βάρος αδρανών). Καλό είναι, εξαιρετικά πορώδη αδρανή (μεγαλύτερη του 3% απορρόφηση σε νερό) να αποφεύγονται.

Τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των αδρανών που επηρεάζουν το ρυθμό διάσπασης είναι: η κοκκομετρική διαβάθμιση και ο μέγιστος κόκκος του μίγματος των αδρανών, το ποσοστό και είδος του φίλλερ, η σχετική υγρασία, η υφή της επιφάνειας και το είδος του μητρικού πετρώματος. Όταν αυξηθεί η ειδική επιφάνεια των αδρανών, υπάρξει περισσότερων λεπτόκοκκων αδρανών υλικών στο μίγμα, ο ρυθμός διάσπασης του γαλακτώματος αυξάνει. Επίσης, αύξηση του ρυθμού διάσπασης παρατηρείται όταν το ποσοστό του φίλλερ αυξηθεί. Διαφορετικός είναι ο ρυθμός διάσπασης εάν το φίλλερ είναι τσιμέντο, ή ασβεστόλιθος, ή από ασβέστη και ανάλογος του γαλακτώματος που χρησιμοποιείται. Εδώ, θα πρέπει να τονισθεί ότι μεγαλύτερη είναι η επίδραση της αυξομείωσης του ποσοστού του φίλλερ από αυτήν της αλλαγής του είδους του φίλλερ.

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

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

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι ο ρυθμός διάσπασης του γαλακτώματος μπορεί να τροποποιηθεί και από επιπρόσθετες χημικές ουσίες. Στην περίπτωση των ασφαλικών επαλείψεων ο ρυθμός διάσπασης του γαλακτώματος επιταχύνεται με τον ψεκασμό, επί της ήδη ψεκασθείσας επιφάνειας με γαλάκτωμα και λίγο πριν τη διασπορά των αδρανών, ειδικής χημικής ουσίας. Οι ουσίες αυτές έχουν συνήθως διπλό ρόλο. Να επιταχύνουν τη διάσπαση του γαλακτώματος και να βελτιώσουν περαιτέρω την πρόσφυση ασφάλτου και αδρανών.

Πρόσφατα ανακοινώθηκε η παρασκευή προσθετικού στο γαλάκτωμα που ελέγχει πλήρως το ρυθμό διάσπασης αναλόγως της εφαρμογής. Το προσθετικό είναι υδατικό διάλυμα (εξουδετερωτής) σε έλαιο (αντίστροφο γαλάκτωμα) και προστίθεται στο γαλάκτωμα λίγο πριν τη χρήση του γαλακτώματος. Μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, που καθορίζεται από το χρόνο διάχυσης του εξουδετερωτή μέσα στην ελαϊκή φάση, το οξύ στο

κατιονικό γαλάκτωμα εξουδετερώνεται με επακόλουθο τη διάσπαση του γαλακτώματος. Το πρασθετικό αυτό έδωσε άριστα αποτελέσματα τόσο σε ασφατικές επαλείψεις όσο και σε ψυχρά ασφαλτομίγματα παντός τύπου με κοινή ή τροποποιημένη ασφαλτο [1], [11] [12].

5. ΕΛΕΓΧΟΙ ΑΣΦΑΛΤΟΥ ΚΑΙ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ

5.1 Γενικά

Οι εργαστηριακές δοκιμές που εκτελούνται στην ασφάλτο σκοπό έχουν να καθορίσουν τις χαρακτηριστικές ιδιότητες αυτής για να διαπιστωθεί η καταλληλότητά της και να προβλεφθεί η συμπεριφορά αυτής, καθώς και του ασφαλτομίγματος, κατά τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος. Στη συνέχεια γίνεται περιγραφή των εργαστηριακών δοκιμών που εκτελούνται στην ασφάλτο, σύμφωνα με την ΠΤΠ Α200. Παράλληλα περιγράφονται και οι εργαστηριακές δοκιμές που εκτελούνται στα ασφαλτικά γαλακτώματα κατά AASHTO T-59 [8], [13].

5.2 Δοκιμές ασφάλτου

5.2.1 Δοκιμή διεισδυτικότητας κατά AASHTO T-49

Η δοκιμή της διεισδυτικότητας είναι η πλέον γνωστή δοκιμή που καθιερώθηκε το 19^ο αιώνα και χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα από όλα σχεδόν τα εργαστήρια για την ταξινόμηση και το καθορισμό του τύπου της ασφάλτου. Με την εκτέλεση της δοκιμής μετράται έμμεσα η συνοχή και κατ'επέκταση η σκληρότητα της ασφάλτου. Η δοκιμή συνίσταται στον καθορισμό του βάθους διείσδυσης πρότυπης βελόνης μέσα σε δοκίμιο ασφάλτου κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας, φορτίου και χρόνου διείσδυσης.

5.2.2 Δοκιμή μάλθωσης κατά AASHTO T-53

Η συνοχή της ασφάλτου μπορεί να καθορισθεί εμπειρικά και από τη δοκιμή μάλθωσης ή δοκιμή «δακτυλίου και σφαίρας». Μαζί με τη δοκιμή της διεισδυτικότητας, η δοκιμή μάλθωσης χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση και τον καθορισμό του τύπου των οξειδωμένων ασφάλτων. Με τη δοκιμή αυτή καθορίζεται το σημείο μάλθωσης της ασφάλτου. Ως σημείο μάλθωσης ορίζεται η θερμοκρασία στην οποία συγκεκριμένη ποσότητα ασφάλτου κάτω από ειδικές συνθήκες φόρτισης διανύει απόσταση 25,4mm. Έτσι, εμπειρικά, καθορίζεται η θερμοκρασία σταδιακής μεταβολής της ασφάλτου από ατερεή σε ρευστή κατάσταση.

5.2.3 Δοκιμή ολκιμότητας κατά AASHTO T-51

Η δοκιμή ολκιμότητας έμμεσα εξετάζει την αντοχή της ασφάλτου σε εφελκυσμό. Κατά την δοκιμή αυτή εξετάζεται κατά πόσο μία ασφαλτος δύναται να επιμηκυνθεί. Δοκίμια ασφάλτου επιμηκύνεται σε ειδική συσκευή κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες ταχύτητας και θερμοκρασίας μέχρι να σπάσει. Το μήκος της επιμηκύνσης μόλις επέλθει η θραύση, μετρούμενο σε εκατοστόμετρα, ορίζεται ως ολκιμότητα της ασφάλτου.

5.2.4 Δοκιμή απώλειας βάρους μετά από θέρμανση κατά AASHTO T-47

Η δοκιμή απώλειας βάρους μετά από θέρμανση γίνεται για να καθορισθεί η επίδραση της θερμοκρασίας και του αέρα επί της ασφάλτου. Η επίδραση εκτιμάται με την απώλεια βάρους, λόγω εξάτμισης των πτητικών συστατικών καθώς και με την επανεξέταση των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων της ασφάλτου, όπως διεισδυτικότητα, μάλθωση και ιξώδες, μετά από την θέρμανση αυτής. Με την θέρμανση και έκθεση της ασφάλτου στον αέρα η ασφαλτος σκληραίνει. Έτσι η δοκιμή αυτή προσομοιάζει με την σκλήρυνση που επέρχεται στη ασφαλτο κατά το στάδιο της ανάμειξης, διάσπρωσης και συμπίκνωσης.

5.2.5 Δοκιμή ανάφλεξης κατά AASHTO T-48

Η δοκιμή ανάφλεξης καθορίζει τη θερμοκρασία εκείνη κατά την οποία οι ατμοί, που παράγονται κατά την θέρμανση, αναφλέγονται για πολύ σύντομο χρονικό διάστημα παρουσία γυμνής φλόγας δίνοντας μία σύντομη μπλε φλόγα. Η δοκιμή ανάφλεξης είναι κυρίως δοκιμή ασφαλείας για την αποφυγή ατυχημάτων κατά την περίπτωση υπερθέρμανσης της ασφάλτου. Είναι καθοριστικής σημασίας για την ασφαλή μεταφορά ασφαλτικών υλικών.

5.2.6 Δοκιμή διαλυτότητας σε διθειάναθρακα και τετραχλωράνθρακα κατά AASHTO T-44 και AASHTO T-45 αντίστοιχα

Η δοκιμή διαλυτότητας εκτελείται για να διαπιστωθεί η καθαρότητα της ασφάλτου. Τα συστατικά που είναι διαλυτά στο διαλύτη που χρησιμοποιείται είναι αυτά που προσδίδουν στην ασφαλτο τις συγκολλητικές της ιδιότητες. Αδιάλυτα συστατικά είναι όλες οι μη οργανικές προσμίξεις, τα άλατα, ο ελεύθερος άνθρακας κλπ.

5.2.7 Δοκιμή τέφρας κατά AASHTO T-111

Η δοκιμή αυτή εκτελείται για τον καθορισμό του ποσοστού ανόργανων υπολειμμάτων που προκύπτουν μετά την καύση της ασφάλτου. Κατά τη δοκιμή αυτή μικρή ποσότητα ασφάλτου ή πίσσας καίγεται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες μέχρι η στάχτη να είναι ελεύθερη από άνθρακα. Η εναπομένουσα ποσότητα ανόργανων προσμίξεων ζυγίζεται και η ποσότητα εκφράζεται επί τοις εκατό συναρτήσει του αρχικού βάρους του δείγματος. Η δοκιμή αυτή, επειδή η παρουσία ανόργανων προσμίξεων δεν είναι αναγκαστικά επιβλαβή στην ασφαλτο, δεν εκτελείται συστηματικά από πολλά εργαστήρια.

5.3 Δοκιμές επί των ασφαλικών γαλακτωμάτων κατά AASHTO T-59

5.3.1 Δοκιμή καθορισμού περιεκτικότητας γαλακτώματος σε νερό

Η δοκιμή αυτή γίνεται δια αποστάξεως κάνοντας χρήση διαλύτη (ξυλένιο).

5.3.2 Δοκιμή ανάκτησης υπολείμματος δια αποστάξεως

Με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζεται ταυτόχρονα το ποσοστό της ασφάλτου στο γαλάκτωμα καθώς και το ποσοστό ελαίων στο γαλάκτωμα. Το ποσοστό ασφάλτου προσδιορίζεται από το βάρος της εναπομένουσας ποσότητας στο δοχείο απόσταξης ενώ το ποσοστό των ελαίων από τον όγκο αυτών μέσα στο συλλογέα του αποστάγματος.

5.3.3 Δοκιμή ανάκτησης υπολείμματος δια εξατμίσεως

Η δοκιμή αυτή δεν απαιτεί ιδιαίτερη συσκευή και χρησιμοποιείται από πολλά εργαστήρια για το γρήγορο καθορισμό του ποσοστού της ασφάλτου στο γαλάκτωμα.

5.3.4 Δοκιμή ιξώδους

Η δοκιμή αυτή γίνεται συνήθως με τη συσκευή Saybolt Furoi ή οποιαδήποτε άλλη συσκευή μέτρησης ιξώδους.

5.3.5 Δοκιμή καθίζησης

Η δοκιμή αυτή εκτελείται για τον καθορισμό της σταθερότητας του γαλακτώματος κατά τη μακρόχρονη αποθήκευσή του, δηλαδή να μην επέρχεται καθίζηση της ασφάλτου και διάσπαση αυτού.

5.3.6 Δοκιμή απογαλακτωματοποίησης

Η δοκιμή αυτή γίνεται με την προσθήκη κατάλληλου χημικού διαλύματος στο γαλάκτωμα στους 25°C με σκοπό τον προσδιορισμό του ποσοστού απογαλακτωματοποίησης. Επίσης είναι ένας έλεγχος της σταθερότητας των γαλακτωμάτων.

5.3.7 Δοκιμή δυνατότητας επικάλυψης (περιβολής) και αντίστασης σε νερό

Η δοκιμή αυτή εκτελείται κυρίως επί χονδρόκοκκων ασβεστολιθικών αδρανών για να εξακριβωθεί η δυνατότητα καλής κάλυψης των αδρανών με γαλάκτωμα και η αντίσταση που παρουσιάζει το φρέσκο μίγμα (δεν έχει επέλθει πλήρης διάσπαση) στην εμφάνιση ύδατος.

5.3.8 Δοκιμή ελέγχου ηλεκτροστατικού φορτίου σωματιδίων

Η δοκιμή αυτή εκτελείται για να διαπιστωθεί εάν το γαλακτώμα είναι κατιονικό ή ανιονικό.

5.3.9 Δοκιμή κόσκινου

Με τον έλεγχο αυτό διαπιστώνεται η ύπαρξη χανδρόκοκκων σωματιδίων ασφάλτου αλλά και ξένων σωμάτων που θα επηρέαζαν την ομαλή λειτουργία των ακροφυσίων του διανομέα γαλακτώματος. Έμμεσα χαρακτηρίζεται ως έλεγχος σταθερότητας του γαλακτώματος.

5.3.10 Δοκιμή διάσπασης γαλακτώματος σε μίγμα με τσιμέντο

Η δοκιμή αυτή εκτελείται κυρίως στα κατιονικά γαλακτώματα για να χαρακτηρισθούν βραδείας διάσπασης.

6. ΘΕΡΜΑ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΑ

6.1 Γενικά

Στην κατασκευή των ευκάμπτων οδοστρωμάτων χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι ασφαλτομιγμάτων, ανάλογα με τις απαιτήσεις του έργου. Έτσι διασφαλίζεται η βέλτιστη αξιοποίηση του υλικού. Η δυνατότητα χρησιμοποίησης πλέον του ενός ασφαλτομιγματος προϋποθέτει την ύπαρξη : κατάλληλης ποσότητας και διαβάθμισης αδρανών, κατάλληλου τύπου ασφάλτου, κατάλληλου μηχανολογικού και μηχανικού εξοπλισμού, τεχνογνωσίας των εμπλεκόμενων (μελετητών και κατασκευαστών) και σαφών και άρτιων προδιαγραφών. Βεβαίως από όλους τους τύπους των ασφαλτομιγμάτων που υπάρχουν κάθε χώρα χρησιμοποιεί αυτούς που νομίζει ότι εξυπηρετούν καλύτερα τις ανάγκες της σε συνδυασμό με τις κλιματολογικές της συνθήκες.

Στην Ελλάδα από τη δεκαετία του 60, με την εμφάνιση των συγκροτημάτων παραγωγής θερμών ασφαλτομιγμάτων, χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα αποκλειστικά και μόνο ένας τύπος θερμού ασφαλτομιγματος, αυτός του ασφαλικού σκυροδέματος. Η ιδιαιτερότητα αυτή οφείλεται στη μη έγκαιρη αναθεώρηση των προδιαγραφών σε συνδυασμό με την ελλιπή ενημέρωση των αρμοδίων στις εξελίξεις που λαμβάνουν χώρα στο εξωτερικό στον τομέα αυτό.

Θερμό ασφαλτόμιγμα ορίζεται το μίγμα ασφάλτου και μίγματος αδρανών που παράγεται « εν θερμώ » σε μόνιμη εγκατάσταση. Αναλόγως της κοκκομετρικής καμπύλης των αδρανών καθώς και του μέγιστου κόκκου αυτών, χρησιμοποιείται σε διάφορων τύπων ασφατικά έργα.

Τα ασφαλτομίγματα γενικά, τόσο τα θερμά όσο και τα ψυχρά, έχουν να εκπληρώσουν ένα μεγάλο εύρος απαιτήσεων για τις σημερινές διαμορφωθείσες συνθήκες κυκλοφορίας και οδήγησης. Ειδικότερα, τα ασφαλτομίγματα θα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα :

- να ανθίστανται στην παραμένουσα παραμόρφωση
 - να ανθίστανται στη ρηγμάτωση από κόπωση
 - να συνεισφέρουν στη φέρουσα ικανότητα του οδοστρώματος
 - να είναι αδιαπέρατα από νερό για να προστατεύουν τις υποκείμενες στρώσεις
 - να παρουσιάζουν καλή εργασιμότητα κατά τη διάστρωση και να συμπυκνώνονται με τα διαθέσιμα μηχανήματα
 - να συντηρούνται εύκολα και
 - να είναι μικρού κατά το δυνατόν κόστους.
- Επιπροσθέτως, τα ασφαλτομίγματα για τάπητες κυκλοφορίας θα πρέπει .
- να ανθίστανται στη λειαντική δράση των ελαστικών και στην καταστροφική επίδραση των καιρικών συνθηκών του περιβάλλοντος, παρέχοντας καλή και μακράς διάρκειας ζωής αντολισθηρή επιφάνεια,
 - να παρέχουν ομαλή επιφάνεια για άνετη οδήγηση,
 - να παρέχουν επιφάνεια ώστε ο δημιουργούμενος θόρυβος από τους τροχούς των οχημάτων να είναι ανεκτός,

- να παρέχουν επιφάνεια που να απαιτεί όσο το δυνατόν λιγότερη συντήρηση [1], [13]

6.2 Χαρακτηριστικοί τύποι θερμών ασφαλτομιγμάτων

Οι τύποι των ασφαλτομιγμάτων χαρακτηρίζονται από την κοκκομετρική διαβάθμιση του μίγματος των αδρανών. Θεωρητικά μπορούν να υπάρξουν άπειροι τύποι ασφαλτομιγμάτων, από ασφαλτομίγματα που αποτελούνται από χονδρόκοκκα αδρανή μόνο ενός μεγέθους (μονόκοκκα) έως μίγματα που αποτελούνται μόνο από λεπτόκοκκο αδρανή (άμμο). Μεταξύ αυτών των δυο ακραίων περιπτώσεων κυμαίνονται όλοι οι τύποι των ασφαλτομιγμάτων που χρησιμοποιούνται στις διάφορες χώρες του κόσμου.

Ορισμένες χώρες όπως οι ΗΠΑ, η Αγγλία, η Γερμανία και η Γαλλία, πρωτοπόρες στη σύλληψη και παραγωγή ασφαλτομιγμάτων, ανέπτυξαν εδώ και πάρα πολλά χρόνια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ασφαλτομίγματα τα οποία χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα. Τα χαρακτηριστικά αυτά μίγματα είναι το ασφαλτικό σκυρόδεμα (Asphaltic concrete), τα μίγματα Μακάνταμ (Macadam), το Κυλινδρούμενο θερμό ασφαλτόμιγμα (Hot Rolled Asphalt - HRA), η Μαστίχη ασφάλτου (Mastic asphalt) και το Γκούσσασφαλι (Gussasphalt).

Το βασικό χαρακτηριστικό όλων των παραπάνω ασφαλτομιγμάτων, πλην του HRA, είναι ότι η κοκκομετρική καμπύλη του μίγματος των αδρανών είναι συνεχής, δηλαδή υπάρχουν όλα τα κλάσματα των αδρανών σε μικρή ή μεγάλη αναλογία. Αναλόγως της ποσότητας κάθε κλάσματος των αδρανών, τα μίγματα χαρακτηρίζονται ως ανοικτής, μέσης, πυκνής ή πολύ πυκνής διαβάθμισης ασφαλτομίγματα. Έτσι διαθέτουν από πολλά έως πολύ λίγα κενά αέρος και συνεπώς είναι περισσότερο διαπερατά ή σχεδόν αδιαπέρατα από αέρα (ή νερό) αντίστοιχα. Το μίγμα με τα περισσότερα κενά αέρος είναι το ανοικτής διαβάθμισης (ανοικτού τύπου) Macadam, ενώ το μίγμα με τα λιγότερα κενά αέρος είναι η ασφάλτινη μαστίχη. Τα υπόλοιπα μίγματα κατά φθίνουσα σειρά κενών αέρα είναι: το πυκνής διαβάθμισης (κλειστού τύπου) Macadam, το ασφαλτικό σκυρόδεμα, το HRA, και το Γκούσσασφαλι.

Το κυλινδρούμενο θερμό ασφαλτόμιγμα (HRA) παρουσιάζει μια χαρακτηριστική διαφορά από όλα τα άλλα ασφαλτομίγματα. Στο μίγμα αυτό η κοκκομετρική καμπύλη του μίγματος των αδρανών παρουσιάζει μια αλλαγή θέσης καμπυλότητας ή μία ασυνέχεια, με την ευρύτερη έννοια, στην περιοχή των αδρανών μεσαίου μεγέθους (2 έως 5mm). Δηλαδή, το μίγμα των αδρανών παρουσιάζει έλλειψη ή περιέχει πολύ μικρή ποσότητα αδρανών μεσαίου μεγέθους. Λόγω αυτής της χαρακτηριστικής ιδιότητας τα μίγματα αυτά είναι επίσης γνωστά και ως μίγματα «μη συνεχούς» κοκκομετρικής διαβάθμισης.

Μια άλλη χαρακτηριστική διαφορά μεταξύ όλων των προαναφερθέντων ασφαλτομιγμάτων είναι ο τρόπος που αναπτύσσουν την αντοχή τους ή γενικότερα ο μηχανισμός μεταφοράς των τάσεων δια μέσου του μίγματος. Αυτή η διαφορά θα αναπτυχθεί αναλυτικά σε κάθε περίπτωση παρακάτω. Πλην όμως, στο σημείο αυτό θα πρέπει να

ειπωθεί ότι τα ασφαλτομίγματα οφείλουν την αντοχή τους σε δυο βασικούς παράγοντες: στη δυσκαμψία του ασφαλτοκονιάματος (άσφαλτος / άμμος / παιπάλη) και στην τριβή και σύμπλεξη των αδρανών μεταξύ τους [1].

6.2.1 Ασφαλτικό σκυρόδεμα

Το ασφαλτικό σκυρόδεμα αρχικά αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ για να καλύψει την ανάγκη ύπαρξης ενός ασφαλτομίγματος «σκληραύ» και ανθεκτικού στα βαριά φορτία των οχημάτων και των αεροσκαφών. Ο τύπος αυτός είναι ο περισσότερο γνωστός τύπος ασφαλτομίγματος και χρησιμοποιείται σχεδόν σε όλες τις χώρες του κόσμου.

Το ασφαλτικό σκυρόδεμα αποτελείται από καλώς διαβαθμισμένα χονδρόκοκκα, λεπτόκοκκα αδρανή και φύλλερ σε τέτοια αναλογία που να λαμβάνεται μίγμα πυκνής και συνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης. Η αντοχή και η ευστάθεια του μίγματος αυτού απορρέει κατά κύριο λόγο από τη σύμπλεξη των αδρανών και λιγότερο από τη δυσκαμψία του ασφαλτοκονιάματος.

Τα ασφαλτικά σκυροδέματα χρησιμοποιούνται σε όλες τις ασφαλτικές εργασίες, δηλαδή για τάπητα κυκλοφορίας, συνδετική στρώση, ισόπεδωτική στρώση και ασφαλτική βάση.

Οι κοκκομετρικές διαβαθμίσεις χαρακτηρίζονται από τη μέγιστη διάσταση των αδρανών του μίγματος.

Η άσφαλτος που χρησιμοποιείται είναι συνήθως 40 / 50 έως και 180 / 200 ρητ, αναλόγως των κλιματολογικών συνθηκών και του κυκλοφοριακού φόρτου. Στην Ελλάδα, λόγω των κλιματολογικών συνθηκών, συνιστάται όπως χρησιμοποιείται άσφαλτος τύπων 40 / 50 ή 60 / 70 ή 80 / 100 ρητ. Η άσφαλτος μπορεί να είναι κοινή πετρελαική άσφαλτος ή τροποποιημένη άσφαλτος.

Η περιεκτικότητα της ασφάλτου στο ασφαλτικό σκυρόδεμα κυμαίνεται συνήθως από 4.5% έως 7% κατά βάρος του μίγματος, αναλόγως της κοκκομετρικής καμπύλης του χρησιμοποιούμενου αδρανούς. Η βέλτιστη περιεκτικότητα της ασφάλτου καθορίζεται από τη μεθοδολογία σύνθεσης κατά Marshall.

Η σύνθεση των ασφαλικών σκυροδεμάτων είναι τέτοια ώστε μετά τη συμπύκνωση το ποσοστό των κενών αέρος, για τα μίγματα με ονομαστικό μέγιστο μέγεθος αδρανών από 25mm έως 9.5mm, να κυμαίνεται από 3.0% έως 5.0% περίπου και να έχουν μικρή αερική διαπερατότητα.

Μειονέκτημα του κλειστού τύπου ασφαλικού σκυροδέματος είναι ότι δεν επιτυγχάνεται επαρκής μακροϋφή, απαραίτητη προϋπόθεση για την επίτευξη καλού συντελεστή αντολίσθησης. Έτσι, για την επίτευξη καλής αντολίσθησης επιφάνειας, ιδιαίτερα σε δρόμους υψηλών ταχυτήτων, απαιτείται επιπλέον επεξεργασία της επιφάνειας του τάπητα κυκλοφορίας [1], [7].

Ασφαλτικό σκυρόδεμα των Ελληνικών προδιαγραφών

Το ασφαλτικό σκυρόδεμα κλειστού τύπου είναι ο μόνος τύπος ασφαλτομίγματος που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα για την κατασκευή

ταπήτων κυκλοφορίας ή συνδυετικών στρώσεων ή ισοπεδωτικών στρώσεων. Το ασφατικό σκυρόδεμα προδιαγράφεται από τις Πρότυπες Τεχνικές Προδιαγραφές (ΠΤΠ) Α - 265. Οι προδιαγραφές αυτές βασίζονται στις παλιές Αμερικανικές προδιαγραφές της δεκαετίας του '60 οι οποίες έκτοτε, στην Ελλάδα, δεν έχουν αναθεωρηθεί.

Για τις ασφατικές βάσεις, οι Ελληνικές προδιαγραφές προτείνουν τη χρήση άλλων κοκκομετρικών καμπυλών, οι οποίες προδιαγράφονται από τις ΠΤΠ Α - 260 [6], [7].

6.2.2 Ασφαλομίγματα Macadam

Τα ασφαλομίγματα Macadam είναι από τους παλαιότερους τύπους ασφαλομιγμάτων που αναπτύχθηκαν και πρωτοχρησιμοποιήθηκαν στην Αγγλία, στις αρχές του 19ου αιώνα. Πήραν το όνομά τους από το Σκοτσέζο μηχανικό McAdam, ο οποίος διέγνωνε ότι για να βελτιστοποιηθεί η δυσκαμψία στρώσης με θραυστούς κυβόλιθους ή πολύ χονδρόκοκκα, σχεδόν μονόκοκκα αδρανή, θα έπρεπε να χρησιμοποιηθεί μίγμα αδρανών με διαφορετικά μεγέθη (διαβαθμισμένα αδρανή). Πάνω σε αυτήν τη βασική αρχή στηρίχθηκε και η ανάπτυξη όλων των άλλων ασφαλομιγμάτων μεταγενέστερα. Το συνδυετικό υλικό που αρχικά χρησιμοποιήθηκε ήταν η πίσσα, η οποία σήμερα αντικαταστάθηκε πλήρως με την ασφάλτο.

Τα ασφαλομίγματα Macadam χρησιμοποιούνται σε πολλές χώρες, ιδιαίτερα δε στην Αγγλία και σε χώρες της Βρετανικής Κοινοπολιτείας. Στην Αγγλία ειδικότερα, είναι ένα από τα βασικότερα ασφαλομίγματα και μαζί με το μίγμα HRA χρησιμοποιούνται σε όλα τα ασφατικά έργα. Τα μίγματα Macadam χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες : τα μίγματα πυκνής κοκκομετρικής διαβάθμισης και τα μίγματα ανοικτής και μέσης διαβάθμισης [1].

α) Ασφαλομίγματα Macadam πυκνής κοκκομετρικής διαβάθμισης

Τα ασφαλομίγματα αυτά είναι παρόμοια των ασφατικών σκυροδεμάτων κλειστού τύπου. Αποτελούνται από σχετικά μεγάλη ποσότητα χονδρόκοκκων διαβαθμισμένων αδρανών (μεγαλύτερη από το ασφατικό σκυρόδεμα), λεπτόκοκκα αδρανή και παιπάλη (περίπου στις ίδιες αναλογίες με το ασφατικό σκυρόδεμα) και ασφάλτο μέσου έως χαμηλού ιξώδους (80 / 100 έως 180 / 200pen). Η αντοχή και η ευστάθεια απορρέει κυρίως από τη σύμπλεξη και τριβή των αδρανών και κατά δεύτερο λόγο από τη δυσκαμψία του ασφαλτοκονιάματος.

Τα μίγματα Macadam κλειστού τύπου χαρακτηρίζονται από το σχετικά μεγάλο ποσοστό κενών (5% - 10%) και μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για τάπητες κυκλοφορίας όσο και για ασφατικές βάσεις. Η βέλτιστη περιεκτικότητα ασφάλτου του μίγματος καθορίζεται συνήθως από τυποποιημένη σύνθεση, « συνταγή », και είναι ανάλογη της κοκκομετρικής διαβάθμισης και του είδους των αδρανών (φυσικά αδρανή, θραυστά αδρανή ή σκυρίες). Η ποσότητα της ασφάλτου στο μίγμα είναι κατά κανόνα μικρότερη αυτής του ασφατικού σκυροδέματος και κυμαίνεται συνήθως από 4.0 έως 5.5% κατά βάρος αδρανών.

Όταν τα μίγματα πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για ασφαλικές βάσεις σε περιοχές με πολύ υψηλό κυκλοφοριακό φορτίο, συνιστάται όπως χρησιμοποιείται ασφάλτος 40 / 50ρη και με ποσοστό φίλλερ μεγαλύτερο του 8%. Τα μίγματα αυτά είναι γνωστά και ως μίγματα Macadam βαρείας χρήσης.

Τα πλεονεκτήματα των μιγμάτων Macadam έναντι των αντίστοιχων του ασφαλικού σκυροδέματος είναι ότι: α) απαιτούν λιγότερη ασφάλτο, β) συμπυκνώνονται ευκολότερα και σε ελαφρώς χαμηλότερες θερμοκρασίες, γ) παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντίσταση στην παραμένουσα παραμόρφωση, δ) είναι περισσότερο εύκαμπτα και ανθίστανται στη ρηγμάτωση που επέρχεται από τις επαναλαμβανόμενες φορτίσεις και ε) παρέχουν επιφάνεια με μεγαλύτερη μακροϋφή και συνεπώς με καλύτερο συντελεστή αντιολίσθησης.

Λόγω του ότι έχουν περισσότερα κενά αέρα, τα μίγματα Macadam έχουν μεγαλύτερη αερική διαπερατότητα από αυτήν των ασφαλικών σκυροδεμάτων κλειστού τύπου. Το γεγονός αυτό επιφέρει ταχύτερη οξείδωση και γήρανση της ασφάλτου που επηρεάζει την ανθεκτικότητα του οδοστρώματος στο χρόνο. Αυτό είναι και το μόνο μειονέκτημα των μιγμάτων αυτών που είναι εξάλλου και το χαρακτηριστικό μειονέκτημα όλων των μιγμάτων με σχετικά μεγάλο ή πολύ μεγάλο ποσοστό κενών [1].

β) Ασφαλτομίγματα Macadam ανοικτής και μέσης διαβάθμισης

Αποτελούνται από σχεδόν μονόκοκκα χονδρόκοκκα αδρανή. Η ασφάλτος που χρησιμοποιείται είναι συνήθως χαμηλού ιξώδους (180 / 200ρη ή 300ρη). Η επιλογή του τύπου της ασφάλτου εξαρτάται από τον κυκλοφοριακό φόρτο και την περίοδο της κατασκευής του έργου (200ρη το καλοκαίρι και 300ρη το χειμώνα). Η μηχανική αντοχή των μιγμάτων απορρέει σχεδόν αποκλειστικά και μόνο από την τριβή και σύμπλεξη των αδρανών. Η ασφάλτος ουσιαστικά δρα μόνο ως συνδετικό υλικό.

Η περιεκτικότητα της ασφάλτου στο μίγμα είναι χαμηλή και καθορίζεται από « συνταγή » ανάλογα με την κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών, προδιαγραφή BS4987. Το ποσοστό της ασφάλτου κυμαίνεται συνήθως από 3.0% έως 5.0% κατά βάρος αδρανών.

Τα μίγματα αυτά χρησιμοποιούνται για τάπητες κυκλοφορίας και συνδετικές στρώσεις.

Τα μίγματα αυτά χαρακτηρίζονται από το μεγάλο ποσοστό κενών (15% - 25%) και κατά συνέπεια τη μεγάλη αερική και υδατική διαπερατότητά τους. Συμπυκνώνονται εύκολα και γρήγορα, παρουσιάζουν μεγάλη αντίσταση στην παραμένουσα παραμόρφωση, ενώ η χρήση ασφάλτου με χαμηλό ιξώδες τους δίνει τη δυνατότητα να διαστρώνονται και να συμπυκνώνονται σε αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες (65° C - 80° C).

Η χαρακτηριστικότερη ιδιότητα των μιγμάτων Macadam ανοικτής διαβάθμισης είναι ότι παρέχουν επιφάνεια με πολύ καλή αντιολισθηρή επιφάνεια και ικανή να απορροφήσει ποσότητα ύδατος εκμηδενίζοντας έτσι την πιθανότητα εμφάνισης υδrolίσθησης. Παράλληλα με τη χρήση αυτών των μιγμάτων μειώνονται στο ελάχιστο τα σταγονίδια νερού που

εκτοξεύονται από τα ελαστικά των οχημάτων. Τα μίγματα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή πορωδών ταπήςτων, ουσιαστικά ανήκουν στην κατηγορία μιγμάτων Macadam ανοικτής διαβάθμισης.

Το μειονέκτημα των μιγμάτων αυτών είναι η έντονη οξείδωση της ασφάλτου που πολλές φορές οδηγεί σε πρόωρη αποκόλληση των αδρανών από την επιφάνεια. Το μειονέκτημα αυτό ελαχιστοποιείται και εκμηδενίζεται μόνο με τη χρήση τροποποιημένων ασφάλτων [1].

6.2.3 Ασφαλομίγματα ανοικτού τύπου κατά ASTM D 3515

Τα ασφαλομίγματα αυτά είναι μια ενδιάμεση κατάσταση μεταξύ μιγμάτων Macadam ανοικτής και πυκνής διαβάθμισης και συμπληρώνουν το φάσμα των Αμερικανικών προδιαγραφών ASTM D3515 για ασφαλομίγματα οδοστρωσίας. Χρησιμοποιούνται κυρίως για ασφατικές και συνδετικές στρώσεις. Τα κενά αέρας είναι λιγότερα από αυτά των ανοικτού τύπου Macadam και κυμαίνονται από 8% - 15% περίπου.

Η άσφαλτος που χρησιμοποιείται είναι κατά κανόνα η ίδια με αυτήν του ασφατικού σκυροδέματος κλειστού τύπου [1].

6.2.4 Ασφαλόμιγμα Gussasphalt (Γκούσσασφαλτ - χυτάσφαλτος)

Ο τύπος αυτός αναπτύχθηκε στη Γερμανία και χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά στη χώρα αυτή καθώς και σε ορισμένες γειτονικές χώρες. Το μίγμα είναι ειδικά σχεδιασμένο για δρόμους με υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο και χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά και μόνο για ταπήςτες κυκλοφορίας. Το μίγμα Gussasphalt είναι μία παραλλαγή του μίγματος Mastic, αποτελείται από σκληρή άσφαλο (25 - 40 ϕ en), λεπτόκοκκα αδρανή (μη ασβεστολιθικά), υψηλό ποσοστό παιπάλης (>10%) και από διαβαθμισμένα χονδρόκοκκα σκληρά αδρανή (σε μικρή σχετικά ποσότητα). Το ποσοστό της ασφάλτου λόγω της ύπαρξης μεγάλου ποσοστού λεπτόκοκκων αδρανών και παιπάλης είναι αρκετά υψηλό 8% - 12% περίπου. Το ασφαλόμιγμα αυτό είναι κλειστού τύπου και σχεδόν αδιαπέρατο από αέρα ή νερό (κενά αέρος 1 - 2%).

Το ασφαλόμιγμα αυτό χαρακτηρίζεται από το υψηλό ποσοστό ασφάλτου (συνήθως 8% - 12%), τη σχεδόν μηδενική αερική διαπερατότητα, το υψηλό μέτρο δυσκαμψίας, την καλή αντιστοιχία στην επιφάνεια, την καλή αντίσταση σε παραμένονσα παραμόρφωση, την καλή διάρκεια ζωής και το σχετικά υψηλό κόστος παραγωγής [1].

6.2.5 Mastic asphalt (Μαστιχική άσφαλτος)

Το μίγμα αυτό είναι ένα από τα παλαιότερα μίγματα και αναπτύχθηκε σχεδόν ταυτόχρονα στη Γαλλία και την Αγγλία στο τέλος του προηγούμενου αιώνα. Αποτελείται από άσφαλο, λεπτόκοκκα ασβεστολιθικά αδρανή, υψηλό ποσοστό παιπάλης και μικρό ποσοστό χονδρόκοκκων αδρανών. Η άσφαλτος που χρησιμοποιείται είναι πολύ σκληρή (15 ϕ en ή 25 ϕ en).

Τα χαρακτηριστικά του μίγματος αυτού είναι η μεγάλη περιεκτικότητα σε φίλλερ, το υψηλό ποσοστό ασφάλτου (περίπου 12%).

η χρήση πολύ σκληρής ασφάλτου, η μηδενική σχεδόν διαπερατότητα, η υψηλή αντοχή σε παραμόρφωση και το μεγάλο κόστος κατασκευής.

Η μαστιχική ασφάλτος, λόγω των παραπάνω χαρακτηριστικών, δεν έχει ευρεία εφαρμογή σε έργα οδοποιίας, πλην ειδικών περιπτώσεων, όπως στεγάνωση καταστροφικών γεφυρών, σε ορισμένες περιπτώσεις για τη στεγάνωση φθαρμένων οδοστρώματων, κατασκευή πεζοδρομίων, κατασκευή δαπέδων parking, σιδηροδρομικών σταθμών, βιομηχανικών δαπέδων κλπ.

Λόγω του υψηλού ποσοστού λεπτόκοκκων και παμπάλης η επιφάνεια που λαμβάνεται είναι λεία. Για να επιτευχθεί καλή αντιολισθηρή επιφάνεια επί της διαστρωθείσας επιφάνειας διασπείρονται ελαφρώς πρσπελαιμμένες ψηφίδες ή άμμος. Οι πρώτες χρησιμοποιούνται σε δρόμους ενώ η άμμος σε όλες τις περιπτώσεις [1].

6.2.6 Ασφαλομίγματα για πορώδεις τάπητες

Τα ασφαλομίγματα για πορώδεις τάπητες, είναι ανοικτού τύπου ασφαλομίγματα, παρόμοια των ασφαλομιγμάτων Macadam ανοικτού τύπου. Αναπτύχθηκαν την τελευταία εικοσπενταετία στην Αγγλία, αρχικά για τάπητες κυκλοφορίας αεροδρομίων με σκοπό να απομακρύνουν γρήγορα το νερό της βροχής από το οδόστρωμα προς αποφυγή ανάπτυξης του φαινομένου της υδρολίσθησης. Η επιτυχής εφαρμογή αυτών επεκτάθηκε και στα οδοστρώματα οδών και αυτοκινητοδρόμων δεδομένου ότι και εκεί υπήρχε παρόμοια ανάγκη και γενικότερα επιτακτική μείωση των ατυχημάτων σε βρεγμένα οδόστρωμα.

Η χαρακτηριστική ιδιότητα των ασφαλομιγμάτων αυτών, γνωστών και ως διαπερατών Μακάνταμ για αντιολισθηρούς τάπητες, είναι το μεγάλο ποσοστό κενών αέρας (> 20%) που επιτρέπει τη γρήγορη αποστράγγιση των επιφανειακών βρόχινων υδάτων και επιφέρει μείωση του θορύβου επαφής ελαστικού / οδοστρώματος. Η επιφάνεια των οδοστρώματων έχει πολύ καλή μακρό - υφή και καλό συντελεστή αντιολίσθησης ακόμη και όταν η επιφάνεια είναι υγρή. Επίσης, λόγω της επιφανειακής τους υφής, μειώνουν το θάμπωμα από την ανάκλαση της δέσμης φωτός των οχημάτων επί της επιφάνειας του οδοστρώματος.

Όσον αφορά το θόρυβο που προέρχεται από κινούμενα οχήματα επί πορώδων τάπητων, βρέθηκε ότι αυτός μειώνεται σε σύγκριση με άλλες επιφάνειες με την ίδια μακρό - υφή και συντελεστή αντιολίσθησης.

Οι αδυναμίες ή μειονεκτήματα των μιγμάτων αυτών είναι η μεγαλύτερη οξείδωση της ασφάλτου, η μικρή ανοχή του μίγματος στις αυξομειώσεις της περιεκτικότητας της ασφάλτου, η κατά κανόνα μικρότερη διάρκεια ζωής σε σχέση με τα μίγματα κλειστού τύπου, η μείωση της αποτελεσματικότητας και λειτουργικότητας αυτών λόγω πλήρωσης των κενών με σκόνες και άμμο, η απαίτηση για ύπαρξη καλής υποκείμενης στεγανής επιφάνειας με ικανοποιητική εγκάρσια κλίση, η μείωση της φέρουσας ικανότητας της στρώσης σε σύγκριση με τα μίγματα κλειστού τύπου και τέλος η απαίτηση μεγαλύτερης ποσότητας άλατος κατά τη χειμερινή συντήρηση προς αποφυγή δημιουργίας πάγου.

Τα πρώτα τρία μειονεκτήματα επιλύονται, κατά ένα μεγάλο βαθμό, με τη χρήση τροποποιημένης ασφάλτου ενώ τα υπόλοιπα δε

θεωρούνται τόσο σοβαρά ώστε να μειώσουν την αποτελεσματικότητα και τη χρησιμότητα των μινμάτων αυτών

Η ασφαλτός που χρησιμοποιείται είναι συνήθως τροποποιημένη ασφαλτός (ελαστομερής ή πολυμερής) ή 60/70pen και σε ορισμένες περιπτώσεις 80/100pen. Η συνήθης περιεκτικότητα ασφάλτου κυμαίνεται από 3,5% έως 5% κατά βάρος μίγματος.

Πορώδεις τάπητες στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα η χρήση των πορωδών ταπήτων είναι πολύ περιορισμένη [1].

6.2.7 Θερμό Κυλινδρούμενο Ασφαλτόμιγμα (HRA)

Το θερμό κυλινδρούμενο ασφαλτόμιγμα, (Hot Rolled Asphalt - HRA), αναπτύχθηκε στην Αγγλία στις αρχές του αιώνα, με αρχικό σκοπό να παραχθεί ένα οικονομικότερο και περισσότερο εργάσιμο ασφαλτόμιγμα από αυτό της *Mastic asphalt* που χρησιμοποιούνταν ευρέως τότε. Η ενσωμάτωση των χονδρόκοκκων αδρανών στο μίγμα αύξησε ελαφρώς τη δυσκαμψία του μίγματος, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει ανάγκη χρήσης τόσο σκληρής ασφάλτου όπως στη *Mastic asphalt*. Επίσης, με την προσθήκη αδρανών αυξήθηκε ο όγκος του μίγματος και παράλληλα βελτιώθηκε η εργασιμότητά του.

Το βασικό χαρακτηριστικό του μίγματος αυτού είναι ότι η κακκομετρική διαβάθμιση των αδρανών παρουσιάζει μια «ασυνέχεια» στην περιοχή των 2,36 - 5mm, λόγω έλλειψης ή πολύ μικρής σχετικά ποσότητας αδρανών μέσου μεγέθους. Για το λόγο αυτό είναι γνωστό και σαν μίγμα μη συνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης (*gap graded*).

Γενικότερα το μίγμα αποτελείται από λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα αδρανή με την παραπάνω ιδιαιτερότητα, παιτάλη και σκληρή ασφαλτό.

Η μηχανική αντοχή των μινμάτων αυτών, σε αντίθεση με τα μίγματα συνεχούς κακκομετρικής διαβάθμισης, οφείλεται κυρίως στη δυσκαμψία του κονιάματος άμμου / παιτάλης / ασφάλτου και λιγότερο στη μηχανική σύμπληξη των αδρανών. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται κατά κανόνα σκληρή ασφαλτός.

Τα κυλινδρούμενα θερμά ασφαλτόμιγματα (HRA) προδιαγράφονται από τις Βρετανικές προδιαγραφές BS 594 και χρησιμοποιούνται ευρέως στη Βρετανία και σε χώρες του Ηνωμένου Βασιλείου σε όλες τις ασφαλτικές εργασίες.

Θα μπορούσε να ειπωθεί ότι όλοι σχεδόν οι τάπητες κυκλοφορίας των αυτοκινητοδρόμων καθώς και των οδών υψηλής ταχύτητας είναι κατασκευασμένοι με αυτά τα μίγματα λόγω της άριστης και μεγάλης διάρκειας ζωής της αντιολισθηρής επιφάνειας που επιτυγχάνεται.

Το κυλινδρούμενο θερμό ασφαλτόμιγμα HRA είναι ελάχιστα διαπερατό από τον αέρα ή το νερό (κενά αέρος συνήθως 2% - 3%), διαθέτει υψηλή αντοχή στην παραμόρφωση και δε ρηγματώνεται εύκολα (υψηλή αντοχή στην κόπωση). Λόγω του γεγονότος ότι εμπεριέχει σχετικά υψηλό ποσοστό ασφάλτου, η ασφαλτός δεν οξειδώνεται

γρήγορα με συνέπεια οι αντίστοιχοι τάπητες να έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Η βέλτιστη περιεκτικότητα της ασφάλτου στο μίγμα καθορίζεται με τη μέθοδο Marshall, ελαφρώς τροποποιημένη από αυτήν που προδιαγράφεται από το Asphalt Institute [1], [14].

6.2.8 Άλλα θερμά ασφαλτομίγματα που χρησιμοποιούνται στην Ευρωπαϊκή Ένωση

α) Splitt Mastix Asphalt ή Mastic Asphalt (SMA)

Τα μίγματα SMA αναπτύχθηκαν στη Γερμανία και στις Σκανδιναβικές χώρες στο μέσο της δεκαετίας του '60. Η κύρια αιτία ανάπτυξης των μιγμάτων αυτών ήταν η απαίτηση κατασκευής τάπητα κυκλοφορίας που να αντέχει στην καταστροφική δράση των ελαστικών με κορφιά, να μην παραμορφώνεται εύκολα κάτω από την επίδραση υψηλών θερμοκρασιών και υψηλού κυκλοφοριακού φόρτου, να έχει καλή αντιολισθηρή συμπεριφορά και να έχει μεγάλη διάρκεια ζωής.

Η ιδιαιτερότητα των SMA είναι ότι ο σκελετός του μίγματος αποτελείται από χονδρόκοκκα αδρανή, όπως και στα μίγματα για πορώδεις τάπητες, του οποίου τα κενά γέμισαν με κονίαμα άμμου, παιτάλης και ασφάλτου. Το τελικό μίγμα είναι κλειστού τύπου ασφαλτόμικμα και, με την ευρεία έννοια, μη συνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό των μιγμάτων αυτών είναι και τα υψηλότερα ποσοστά ασφάλτου που χρησιμοποιείται έναντι των ασφαλικών σκυροδεμάτων.

Συμπερασματικό, τα μίγματα Stone Mastic Asphalt, χρησιμοποιούνται ως τάπητες κυκλοφορίας. Είναι ανθεκτικά στην παραμόρφωση, δε ρηγματώνονται εύκολα, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής (μεγαλύτερη των ασφαλικών σκυροδεμάτων) και η επιφάνεια που δημιουργείται έχει καλό συντελεστή αντιολίσθησης. Είναι κατάλληλα για οδοστρώματα με μεγάλο κυκλοφοριακό φόρτο. Δεν έχουν τις ιδιαιτερότητες του μίγματος Gussasfalt και είναι οικονομικότερα των μιγμάτων Gussasfalt αλλά ακριβότερα των ασφαλικών σκυροδεμάτων [1].

β) Ασφαλτομίγματα υψηλού μέτρου δυσκαμψίας για συνδετικές στρώσεις και ασφαλικές βάσεις

Τα υψηλού μέτρου δυσκαμψίας ασφαλτομίγματα χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά στη Γαλλία. Χρησιμοποιούνται μόνο ως συνδετικές στρώσεις ή / και ως ασφαλικές βάσεις. Αναπτύχθηκαν για να αντιμετωπίσουν το έντονο πρόβλημα της παραμορφωσιμότητας των ασφαλικών σκυροδεμάτων που χρησιμοποιούνται στη Γαλλία ιδιαίτερα σε αυτοκινητόδρομους και δρόμους με υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο.

Η ασφαλτος που χρησιμοποιείται είναι πολύ σκληρή, συνήθως τροποποιημένη, με δεισδυτικότητα 5 - 35ρηη και σημείο μάλθωσης

τουλάχιστον 65°C. Στο γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως το υψηλό μέτρο δυσκαμψίας του μίγματος.

Τα ασφαλτομίγματα υψηλού μέτρου δυσκαμψίας αναπτύχθηκαν από ιδιωτικές εταιρίες με αποτέλεσμα αυτές να έχουν και την αποκλειστική διάθεση αυτών [1].

γ) Θερμά ασφαλτομίγματα για λεπτοτάπητες κυκλοφορίας

Τα θερμά ασφαλτομίγματα για λεπτοτάπητες κυκλοφορίας αναπτύχθηκαν από διάφορες εταιρίες του εξωτερικού για να παρέχουν καλή αντιολισθηρή επιφάνεια κύλισης. Τα μίγματα αυτά είναι ουσιαστικά μονόκοκκα μίγματα τύπου Macadam με μέγιστη διάσταση αδρανών 5 έως 10mm. Τα αδρανή είναι από σκληρά πετρώματα που πληρούν τις προδιαγραφές για αντιολισθηρές κατασκευές. Η άσφαλτος είναι συνήθως κοινή άσφαλτος οδοστρωσίας. Οι λεπτοτάπητες διαστρώνονται σε πάχος 15 - 25mm.

Ο λεπτότερος τάπητας 15mm διαστρώνεται με το μίγμα ή σύστημα που φέρει την εμπορική ονομασία Saferane.

Η χρήση λεπτοταπήτων, γενικότερα, έχει το βασικό πλεονέκτημα ότι δεν απαιτείται φρεζάρισμα της υποκείμενης στρώσης εάν η αύξηση της υψομετρικής στάθμης του οδοστρώματος, τοποθετώντας μία συμβακή στρώση τάπητα κυκλοφορίας 40 - 50mm, είναι απαγορευτική.

Όλα τα θερμά ασφαλτομίγματα για λεπτοτάπητες έχουν κατοχυρωθεί ως πατέντες και συνεπώς οι εταιρίες έχουν την αποκλειστική ευθύνη και διάθεση αυτών [1].

6.3 Σύνθεση θερμών ασφαλτομίγμάτων

Η σύνθεση του ασφαλτομίγματος συνίσταται στον καθορισμό των αναλογιών των χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων αδρανών και φίλλερ καθώς και στον καθορισμό της βέλτιστης περιεκτικότητας της ασφάλτου με σκοπό τη βελτιστοποίηση των μηχανικών ιδιοτήτων του ασφαλτομίγματος σε σχέση με την επιθυμητή συμπεριφορά αυτού στο έργο. Τα δύο αυτά στάδια μαζί με την επιλογή του κατάλληλου αδρανούς (έλεγχος μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων) συνθέτουν την πλήρη μελέτη σύνθεσης του ασφαλτομίγματος.

Ο αντικειμενικός σκοπός της πλήρους μελέτης σύνθεσης είναι να παραχθεί ένα κοστολογικά ωφέλιμο ασφαλτόμιγμα κάνοντας χρήση των διαθέσιμων υλικών και πηγών αδρανών υλικών.

Ο καθορισμός των αναλογιών των αδρανών γίνεται χρησιμοποιώντας μία από τις μεθόδους σύνθεσης αδρανών και σκοπό έχει να καθορισθεί η βέλτιστη αναλογία των κλασμάτων των αδρανών έτσι ώστε το τελικό μίγμα των αδρανών να είναι εντός των προδιαγραφόμενων ορίων.

Ο καθορισμός της βέλτιστης περιεκτικότητας της ασφάλτου συνίσταται στην εξεύρεση της κατάλληλης περιεκτικότητας ασφάλτου στο ασφαλτόμιγμα έτσι ώστε το μίγμα που θα παραχθεί να είναι εύκαμπτο, μεγάλης διάρκειας ζωής, οικονομικό και εργάσιμο δίχως να θυσιάζεται η αντίστασή του στην παραμόρφωση. Ο καθορισμός της βέλτιστης περιεκτικότητας γίνεται με διάφορες εργαστηριακές μεθόδους, η γνωστότερη και πλέον διαδεδομένη των οποίων είναι η μέθοδος Marshall. Άλλη γνωστή μέθοδος, η οποία χρησιμοποιείται σήμερα μόνο από ορισμένα εργαστήρια κυρίως των ΗΠΑ είναι η μέθοδος Hveem.

Η βέλτιστη περιεκτικότητα ενός ασφαλτομίγματος μπορεί να καθορισθεί και από τυποποιημένη σύνθεση, «συνταγή», δηλαδή από πίνακα συναρτήσεως της κοκκομετρικής διαβάθμισης του μίγματος. Οι περιεκτικότητες αυτές καθορίσθηκαν από την εμπειρία που αποκτήθηκε στην πράξη. Συνήθως, με τον τρόπο αυτό καθορίζεται η βέλτιστη περιεκτικότητα ασφαλτομιγμάτων ανοικτής διαβάθμισης.

Η μέθοδος Marshall, εάν δε χρησιμοποιείται αυτούσια, αποτελεί τη βάση των εναλλακτικών μεθόδων που αναπτύχθηκαν. Στην Ελλάδα, όπως και σε πολλές άλλες χώρες, ο καθορισμός της βέλτιστης περιεκτικότητας ασφάλτου σε θερμά μίγματα πυκνής διαβάθμισης γίνεται με τη μέθοδο Marshall [1], [13].

7. ΨΥΧΡΑ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΑ

7.1 Γενικά

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

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

Η χρήση του ασφαλτικού γαλακτώματος, ως συνδετικού υλικού, προσδίδει και άλλα πλεονεκτήματα έναντι των θερμών ασφαλτομιγμάτων. Τα πλεονεκτήματα αυτά συνοψίζονται: α) στην εξοικονόμηση ενέργειας, β) στην προστασία του περιβάλλοντος (μηδενική ατμοσφαιρική ρύπανση) και γ) στην βελτίωση των συνθηκών εργασίας και ασφάλειας των εργαζομένων. Η παραγωγή των ψυχρών ασφαλτομιγμάτων γίνεται «επί του έργου» ή σε μόνιμη εγκατάσταση παραγωγής. Στην περίπτωση που παράγονται σε μόνιμη εγκατάσταση, το συγκρότημα είναι λιγότερο πολύπλοκο και μικρότερου μεγέθους σε σχέση με αυτό των θερμών ασφαλτομιγμάτων. Η παραγωγή επί του έργου έχει ως επιπλέον πλεονέκτημα τη μείωση ή την εκμηδένιση του κόστους μεταφοράς του μίγματος [1].

7.2 Τύποι ψυχρών ασφαλτομιγμάτων

Τα ψυχρά ασφαλτομίγματα διαιρούνται σε δύο βασικές κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν αυτά που χρησιμοποιούνται για τάπητες κυκλοφορίας, ισοπεδωτικές στρώσεις, ασφαλτικές βάσεις ή την πλήρωση λακκουβών. Οι κοκκομετρικές διαβαθμίσεις των αδρανών είναι παρόμοιες με αυτές των θερμών μιγμάτων και μπορεί να είναι κλειστού τύπου με συνεχή ή μη- συνεχή κοκκομετρική διαβάθμιση, ή ανοιχτού τύπου. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν αυτά που χρησιμοποιούνται για αντιολισθηρές και σφραγιστικές στρώσεις (λεπτοτάπητες). Τα μίγματα αυτά είναι κλειστού τύπου με συνεχή κοκκομετρική διαβάθμιση, περιέχουν λεπτότερα αδρανή, έχουν μεγαλύτερη εργασιμότητα, περιέχουν αρκετά μεγάλη περιεκτικότητα νερού συγκριτικά με τα πρώτα και ονομάζονται Slurry seal. Τα ψυχρά ασφαλτομίγματα άρχισαν να χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα από το 1984. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν τα μίγματα Slurry seal ως αντιολισθηροί λεπτοτάπητες και το 1993 τα ψυχρά ασφαλτομίγματα κλειστού τύπου ως τάπητες κυκλοφορίας. Η επιτυχής εφαρμογή των ψυχρών μιγμάτων είχε ως αποτέλεσμα την έκδοση σχετικών εγκυκλίων από το ΥΠΕΧΩΔΕ (τόσο για τα μίγματα slurry όσο και για τα ψυχρά ασφαλτομίγματα κλειστού ή ανοιχτού τύπου), οι οποίες διευκολύνουν το έργο των Υπηρεσιών για τη μελέτη και δημοπράτηση έργων με ψυχρά ασφαλτομίγματα [1].

7.2.1 Κλειστού τύπου ψυχρά ασφαλτομίγματα

Τα Κλειστού Τύπου Ψυχρά Ασφαλτομίγματα (ΚΤΨΑ) είναι μίγματα ασφαλικού γαλακτώματος και αδρανών με κοκκομετρική διαβάθμιση τέτοια που να παράγεται ασφαλτόμιγμα πυκνής υφής. Οι κοκκομετρικές διαβαθμίσεις μπορεί να είναι συνεχούς ή μη συνεχούς καμπύλης. Τα στάδια ανάμιξης, διάστρωσης και συμπύκνωσης, όπως σε όλα τα ψυχρά ασφαλτομίγματα, δεν απαιτούν θέρμανση και όλα εκτελούνται σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Σε ειδικές μόνο περιπτώσεις, αναλόγως του γαλακτώματος που χρησιμοποιείται, είναι πιθανό να θερμαίνεται ελαφρώς το γαλάκτωμα, μόνο, σε θερμοκρασία το πολύ 60°C. Τα ΚΤΨΑ μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλες τις στρώσεις οδοστρώας, όπως βάση, συνδετική στρώση, τάπητα κυκλοφορίας καθώς και στην κατασκευή επιστρώσεων για την αποκατάσταση / ενίσχυση των οδοστρωμάτων. Τα βασικά πλεονεκτήματα έναντι των αντιστοίχων ανοιχτού τύπου ασφαλτομιγμάτων είναι ότι έχουν μεγαλύτερη ευστάθεια και είναι κατά πολύ λιγότερο διαπερατά από το νερό [1].

Α) Υλικά παραγωγής

• Συνδετικό υλικό

Ως συνδετικό υλικό στα ΚΤΨΑ χρησιμοποιείται αποκλειστικά και μόνο το ασφαλικό γαλάκτωμα, κατά προτίμηση κατιονικού τύπου, με ενδεικτική περιεκτικότητα ασφάλτου στο γαλάκτωμα 60-65% κατά βάρος. Το γαλάκτωμα μπορεί να είναι με κοινή ασφαλτο ή με τροποποιημένη ασφαλτο. Οι ιδιότητες του ασφαλικού γαλακτώματος -κατά κανόνα βραδείας διάσπασης- θα πρέπει να είναι σύμφωνες με τις ισχύουσες προδιαγραφές.

• Αδρανή υλικά

Τα αδρανή υλικά, όπως και στα θερμά ασφαλτομίγματα, είναι κατά προτίμηση θραυστά υλικά από οποιοδήποτε κατάλληλο πέτρωμα ή φυσικές αποθέσεις, με μηχανικές και φυσικές ιδιότητες όμοιες αυτών που απαιτούνται για την παραγωγή των θερμών ασφαλτομιγμάτων. Θραυστα αμμοχάλικα ή χαλίκια μπορούν να χρησιμοποιηθούν, εφόσον ικανοποιείται η κοκκομετρική διαβάθμιση του μίγματος, αλλά καλό είναι να αποφεύγονται, ιδιαίτερα σε δρόμους με μέση ή υψηλή κυκλοφορία. Όταν τα κλειστού τύπου ψυχρά ασφαλτομίγματα πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για τάπητες κυκλοφορίας, τα αδρανή θα πρέπει να είναι σκληρά και να ικανοποιούν τις ισχύουσες απαιτήσεις για ανθεκτικότητα αυτών (PSV, AAV κλπ). Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται στην καθαρότητα των αδρανών. Όλα τα αδρανή θα πρέπει να είναι καθαρά και απαλλαγμένα από αποσθρωμένα υλικά, άργιλο και άλλα υλικά που επηρεάζουν την καλή κάλυψη των αδρανών με ασφαλτο και κατέπλητση την ευστάθεια και αντοχή των ασφαλτομιγμάτων. Το τελικό μίγμα των αδρανών για τάπητες κυκλοφορίας συνιστάται να έχει απορροφητικότητα σε νερό όχι μεγαλύτερη του 1,7%. Μίγματα αδρανών με μεγαλύτερη απορροφητικότητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο ως βάσεις αν όλες οι άλλες ιδιότητες ικανοποιούνται. Σε όλες τις περιπτώσεις και ιδιαίτερα όταν η απορροφητικότητα είναι πάνω από 0,75% θα πρέπει να συνυπολογίζεται η απορροφητικότητα των αδρανών σε ασφαλτο και να προστίθεται επιπλέον ποσότητα στο μίγμα. Ασφαλτομίγματα από αδρανή με

υψηλή απορροφητικότητα αναμένεται να παρουσιάσουν μεγαλύτερη ευασκησία στην κόπωση, εάν δεν ληφθεί υπόψη η απορροφητικότητα αυτών. Σε περίπτωση που ο καθορισμός της απορροφητικότητας των αδρανών σε άσφαλτο δεν είναι εφικτός, μπορεί κατ' εκτίμηση να ληφθεί το 40% της απορροφητικότητας σε νερό.

- **Παιπάλη ή ψίλλερ**

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

- **Μίγμα αδρανών υλικών**

Το μίγμα των αδρανών υλικών που συνίσταται από κατάλληλα αδρανή (χονδρόκοκκα, λεπτόκοκκα) και παιπάλη θα πρέπει να είναι καλώς διαβαθμισμένο έτσι ώστε η κοκκομετρική του καμπύλη να βρίσκεται εντός των προδιαγραφόμενων ορίων. Οι κοκκομετρικές καμπύλες και τα όρια των κοκκομετρικών καμπυλών είναι όμοιες με αυτές των θερμών ασφαλτομιγμάτων συνεχούς και μη-συνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης. Στην Ελλάδα με εγκύκλιο προτείνεται να χρησιμοποιούνται οι κοκκομετρικές καμπύλες των ασφαλτικών σκυραδεμάτων που προτείνονται από τις προδιαγραφές ASTM για θερμά και ψυχρά ασφαλτοσκυροδέματα (ASTM D 3515).

Το προβλεπόμενο κλάσμα του μίγματος των αδρανών θα πρέπει να έχει ισοδύναμο άμμου μεγαλύτερο του 45% και δείκτη πλαστικότητας NP (μη πλαστικό). Αντίστοιχα, η φθορά κατά Los Angeles δεν θα πρέπει να υπερβαίνει σε καμία περίπτωση την πηή του 35%.

- **Προσθήκη ύδατος**

Στα πυκνά ασφαλτομίγματα, κυρίως όταν τα αδρανή είναι στεγνά, απαιτείται πάντοτε η προσθήκη ύδατος για την βελτίωση του ποσοστού κάλυψης, των αδρανών με άσφαλτο. Το νερό που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να είναι καθαρό και πόσιμο. Το απαιτούμενο ποσοστό ύδατος, που κυμαίνεται από 1.5% έως 4% καθορίζεται κατά τη διαδικασία σύνθεσης του μίγματος, η οποία περιγράφεται παρακάτω.

- **Χημικό πρόσθετο**

Ορισμένες φορές, για να τροποποιηθεί ο χρόνος διάσπασης του γαλακτώματος, απαιτείται η προσθήκη χημικού επιβραδυντή και, σε σπάνιες περιπτώσεις, επιταχυντή της διάσπασης του γαλακτώματος. Στην περίπτωση αυτή η χημική ουσία διαλύεται στο νερό, το δε είδος και η συγκέντρωση (περιεκτικότητα) αυτού καθορίζεται από τον προμηθευτή του γαλακτώματος, σε συνδυασμό με τη διαδικασία σύνθεσης του ασφαλτομίγματος.

B) Τύποι ψυχρών ασφαλτομιγμάτων κλειστού τύπου

Τα ΚΤΨΑ περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα κοκκομετρικών καμπυλών με συνέπεια να γίνεται καλύτερη αξιοποίηση των διαθέσιμων κλασμάτων αδρανών που προέρχονται από τη θραύση των πετρωμάτων. Τα κλειστού τύπου ψυχρά ασφαλτομίγματα είναι μικρής αερικής διαπερατότητας και παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντίσταση στην καταστρεπτική επίδραση του ύδατος έναντι των ψυχρών ασφαλτομιγμάτων ανοιχτού τύπου. Σε γενικές γραμμές, οι λόγοι προτίμησής τους έναντι των ψυχρών μιγμάτων ανοιχτού τύπου είναι οι ίδιοι όπως και στα αντίστοιχα θερμά μίγματα [1].

• Τύποι ασφαλτομιγμάτων Κατηγορίας I έως V

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

• Τύποι ασφαλτομιγμάτων Κατηγορίας VI έως VIII

Τα ψυχρά ασφαλτομίγματα των κατηγοριών VI έως VIII είναι μίγματα μη - συνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης. Διακρίνονται για τη χαμηλή αερική τους διαπερατότητα (μικρότερη των μιγμάτων I έως V και μεγαλύτερη του τύπου VI), την υψηλότερη περιεκτικότητα λεπτόκοκκων αδρανών και συνεπώς τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα ασφάλτου έναντι των μιγμάτων κατηγορίας I έως V. Το τελευταίο έχει σαν αποτέλεσμα τα μίγματα αυτά να παρουσιάζουν καλύτερη συμπεριφορά όσον αφορά τη γήρανση της ασφάλτου. Τα γαλακτώματα που χρησιμοποιούνται στα μίγματα αυτά είναι πάντοτε αργής διάσπασης. Ο τύπος μίγματος VI είναι ο πλέον χονδρόκοκκος των μιγμάτων μη-συνεχούς διαβάθμισης και χρησιμοποιείται κυρίως σε στρώσεις βάσεων. Ο τύπος VIII είναι ο πλέον λεπτόκοκκος της σειράς και χρησιμοποιείται για στρώσεις κυκλοφορίας. Ο ενδιάμεσος τύπος VII χρησιμοποιείται τόσο για στρώσεις κυκλοφορίας όσο και για στρώσεις βάσης.

• Τύπος IX, Ψυχρή Αμμόσφαλος

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

Γ) Σύνθεση ψυχρών ασφαλομιγμάτων κλειστού τύπου

Η σύνθεση των ψυχρών ασφαλομιγμάτων κλειστού τύπου γίνεται με μεθοδολογίες που αναπτύχθηκαν από οργανισμούς ή εργαστήρια του δημοσίου ή ιδιωτικού φορέα του εξωτερικού και μέχρι σήμερα δεν υπάρχει μία διεθνώς αποδεκτή μέθοδος μελέτης σύνθεσης. Στο παρόν κεφάλαιο θα αναπτυχθεί η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε από τον κ.Νικολαΐδη και παρουσιάζει ομοιότητες με την μέθοδο ILLINOIS. Η μεθοδολογία αυτή έχει παρουσιαστεί σε διεθνές συνέδριο αλλά και στην Ελλάδα και έχει γίνει αποδεκτή και χρησιμοποιείται στο εξωτερικό [1], [15].

Τροποποιημένη μέθοδος Marshall για τη σύνθεση ψυχρών ασφαλομιγμάτων κλειστού τύπου

Η προτεινόμενη μέθοδος σύνθεσης σκοπό έχει τον καθορισμό των βέλτιστων αναλογιών του μίγματος για βέλτιστη και μακράς διάρκειας καλή συμπεριφορά του ασφαλομιγματος. Στην προτεινόμενη μέθοδο σύνθεσης χρησιμοποιούνται κατά βάση οι γνωστές, από τη σύνθεση των θερμών ασφαλομιγμάτων, συσκευές Marshall και για το λόγο αυτό η προτεινόμενη μεθοδολογία ονομάζεται «τροποποιημένη» μέθοδος Marshall για ψυχρά ασφαλομιγματα. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η μεθοδολογία σύνθεσης που προτείνεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιοδήποτε μίγμα κλειστού τύπου. Τα σχεδιαστικά κριτήρια που χρησιμοποιούνται είναι:

- Διαβρεγμένη ευστάθεια Marshall
- Διατηρηθείσα ευστάθεια
- Απορρόφηση υγρασίας
- Συνολικό ποσοστό κενών
- Πάχος υμένα ασφάλτου
- Βαθμός επικάλυψης των αδρανών
- Συντελεστής ερπυσμού

Δεδομένης της καταλληλότητας των υλικών, η μεθοδολογία σύνθεσης συνίσταται από δύο βασικά στάδια: α) το στάδιο ελέγχου της συμβατότητας του ασφαλικού γαλακτώματος και καθορισμού του ποσοστού διαβροχής των αδρανών πριν την ανάμιξη και β) το στάδιο του καθορισμού των ιδιοτήτων του μίγματος για βέλτιστη συμπεριφορά.

α) Έλεγχος συμβατότητας ασφαλικού γαλακτώματος και καθορισμός ποσοστού ύδατος για τη διαβροχή των αδρανών

Το στάδιο ελέγχου συμβατότητας του ασφαλικού γαλακτώματος είναι αναγκαίο δεδομένου ότι από την πλειάδα των πηγών των πετρωμάτων και των κοκκομετρικών διαβαθμίσεων είναι δύσκολο ένα και μόνο ένα γαλακτωμα να παράγει μίγμα με βέλτιστες ιδιότητες. Οι ιδιότητες του ψυχρού ασφαλομιγματος είναι άμεσα συνδεδεμένες με την ικανότητα του γαλακτώματος να καλύψει, αν είναι δυνατόν, όλη την επιφάνεια των αδρανών με άσφαλτο. Η ικανότητα αυτή ελέγχεται με τον έλεγχο της επικαλυπτικότητας. Κατά τον έλεγχο της επικαλυπτικότητας καθορίζεται και το απαιτούμενο

ποσοστό διαβροχής των αδρανών υλικών πριν την ανάμιξη. Το ποσοστό αυτό κυμαίνεται από 1.0% έως 4% κατά βάρος ξηρού μίγματος των αδρανών.

β) Καθορισμός ιδιοτήτων μίγματος για βέλτιστη συμπεριφορά

Το στάδιο καθαρισμού των ιδιοτήτων του ψυχρού ασφαλτομίγματος για βέλτιστη συμπεριφορά συνίσταται στον καθορισμό της περιεκτικότητας της ασφάλτου στο ασφαλτόμιγμα έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι υπάρχουσες απαιτήσεις, οι οποίες εξάγονται από δοκίμια που παρασκευάζονται και ελέγχονται σύμφωνα με την προτεινόμενη τροποποιημένη μεθοδολογία Marshall. Τα δοκίμια Marshall, διαστάσεων $\Phi 100 \times 62.5$ mm περίπου σε ύψος, ωριμάζουν και θλίβονται κατά Marshall σε θερμοκρασίες δωματίου $21 \pm 1^\circ\text{C}$, αφού προηγουμένως ορισμένα από αυτά εμβαπτίζονται σε υδρολούτρο για 48h. Από τα διαβρεγμένα δοκίμια καθορίζεται η διαβρεγμένη ευστάθεια και από τη σύγκριση αυτής με την ξηρή ευστάθεια καθορίζεται η διατηρηθείσα ευστάθεια. Σε όλα τα δοκίμια, αμέσως μετά την ωρίμαση, υπολογίζεται το συνολικό ποσοστό κενών. Λεπτομερής περιγραφή της παραγωγής και του ελέγχου των δοκιμών, καθώς και της διαδικασίας εμβάπτισης των δοκιμών, κατά την οποία επέρχεται τριχοειδής απορρόφηση ύδατος, θα δοθεί στο εργαστηριακό μέρος της εργασίας, όπου δίνονται και όλες οι σχέσεις για τον υπολογισμό των παραμέτρων και μεγεθών που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της βέλτιστης περιεκτικότητας ασφάλτου στο μίγμα. Η προτεινόμενη μεθοδολογία σύνθεσης, πλην των παραπάνω κριτηρίων και του συνολικού ποσοστού των κενών στο μίγμα, ορίζει και το ελάχιστο πάχος υμένα ασφάλτου καθώς και τη μέγιστη απορροφητικότητα ασφαλτομίγματος σε νερό. Τα δύο αυτά κριτήρια διασφαλίζουν το μίγμα από την πρόωρη γήρανση της ασφάλτου. Στα κριτήρια αυτά θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη σπουδαιότητα όταν τα ψυχρά ασφαλτομίγματα χρησιμοποιούνται ως στρώσεις κυκλοφορίας, οι οποίες ως γνωστό, εκτίθενται άμεσα στο αεζυγόνο και την ηλιακή ακτινοβολία του περιβάλλοντος. Τα αποτελέσματα που εξάγονται από τη μεθοδολογία σύνθεσης των ΚΤΨΑ θα απεικονισθούν γραφικά σε διαγράμματα και θα σχολιασθούν στο εργαστηριακό μέρος της εργασίας. Το βέλτιστο ποσοστό ασφάλτου στο μίγμα εξάγεται από αυτά τα διαγράμματα και είναι εκείνο για το οποίο πληρούνται κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο όλες οι υπάρχουσες απαιτήσεις. Στη συνέχεια, η μεθοδολογία απαιτεί την εκτέλεση της δοκιμής ερπυσμού κάτω από στατικό αξονικό φορτίο. Η δοκιμή αυτή σκοπό έχει να ελέγξει τη συμπεριφορά του τελικού μίγματος σε παραμένουσα παραμόρφωση.

γ) Δοκιμή ερπυσμού

Κατά τη δοκιμή, η οποία περιγράφεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο Β, δύο τουλάχιστον δοκίμια ανά περιεκτικότητα ασφάλτου ελέγχονται σε θερμοκρασία $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$, αφού προηγουμένως ωριμάσουν όπως στην τροποποιημένη μέθοδο Marshall. Από τα αποτελέσματα που λαμβάνονται εξάγεται η αντιπροσωπευτική ευθεία ερπυσμού, για κάθε μίγμα. Η κλίση της ευθείας ερπυσμού ορίζεται ως συντελεστής ερπυσμού. Οι συντελεστές ερπυσμού συσχετίζονται με τις αντίστοιχες περιεκτικότητες ασφάλτου και έτσι λαμβάνεται μία καμπύλη που θα δοθεί και σχολιασθεί στο εργαστηριακό

μέρος. Ο παραπάνω έλεγχος, δηλαδή της συμπεριφοράς του ψυχρού ασφαλτομίγματος σε παραμένουσα παραμόρφωση, είναι ουσιαστικής σημασίας κυρίως σε περιπτώσεις που το μίγμα πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ως επιφανειακή στρώση.

7.2.2 Ανοιχτού τύπου ψυχρά ασφαλτομίγματα

Τα ανοιχτού τύπου ψυχρά ασφαλτομίγματα (ΑΤΨΑ) ήταν τα πρώτα ψυχρά ασφαλτομίγματα που χρησιμοποιήθηκαν με επιτυχία ως βάσεις και επιφανειακές στρώσεις. Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκαν πριν από τα ΚΤΨΑ ήταν η δυνατότητα ευκολίας ανάμιξης αυτών με τα πρώτα ασφαλικά γαλακτώματα που παρουσιάστηκαν. Το βασικό χαρακτηριστικό των μιγμάτων αυτών είναι ότι, λόγω του υψηλού ποσοστού κενών που διαθέτουν, παρουσιάζουν υψηλή αντίσταση στην κόπωση και στην ανακλώμενη ρηγμάτωση. Επίσης, λόγω της μεγάλης τους διαπερατότητας, όταν χρησιμοποιούνται, θα πρέπει η υποκείμενη στρώση να είναι από κλειστού τύπου ασφαλτόμιγμα ή να προστατεύεται η βάση ή η υπόβαση με στεγανωτική στρώση (στεγανωτική μεμβράνη, ή μίγμα αμμοσφάλτου). Στην περίπτωση που τα ανοιχτού τύπου ψυχρά ασφαλτομίγματα χρησιμοποιούνται για την κατασκευή επιφανειακής στρώσης, η τελική επιφάνεια, συνήθως, καλύπτεται με μονή ασφαλική επάλειψη [1].

Α) Υλικά παραγωγής

- **Αδρανή**

Τα αδρανή υλικά (μηχανικές και φυσικές ιδιότητες) που χρησιμοποιούνται είναι όμοια με αυτά του κλειστού τύπου με μόνη διαφορά την κοκκομετρική τους διαβάθμιση. Οι κοκκομετρικές διαβαθμίσεις των μιγμάτων των αδρανών είναι όμοιες με αυτές των θερμών μιγμάτων ανοιχτού τύπου. Στην Ελλάδα έχουν προσαφώς υιοθετηθεί οι κοκκομετρικές καμπύλες των ASTM D 3515 που προτείνονται για θερμά και ψυχρά ασφαλτομίγματα ανοιχτού τύπου.

- **Ασφαλικό γαλάκτωμα**

Το ασφαλικό γαλάκτωμα μπορεί να είναι, όπως και στα ΚΤΨΑ, κατιονικού ή ανιονικού τύπου με κοινή ή τροποποιημένη άσφαλτο που να πληρεί τις απαιτήσεις των αντίστοιχων προδιαγραφών. Η μόνη διαφορά με τα γαλακτώματα που χρησιμοποιούνται στα ΚΤΨΑ είναι ότι τα γαλακτώματα για ΑΤΨΑ είναι μέσης ή ταχείας διάσπασης, λόγω της μικρής σχετικής επιφάνειας του μίγματος των αδρανών.

- **Προσθήκη ύδατος**

Στα ανοιχτού τύπου ψυχρά μίγματα η προσθήκη νερού στα αδρανή, πριν την ανάμιξη, για τη διαβροχή αυτών δεν είναι πάντοτε αναγκαία. Σε περίπτωση που απαιτηθεί κάποια μικρή ποσότητα, το νερό θα πρέπει να είναι καθαρό και πόσιμο. Η ποσότητα, που κυμαίνεται από 0.5% έως 2.0%, καθορίζεται κατ'όμοιο τρόπο όπως στα κλειστού τύπου μίγματα.

- **Άλλα πρόσθετα**

Στα ανοιχτού τύπου μίγματα δεν απαιτείται η προσθήκη χημικών προσθέτων ή φίλλερ στο μίγμα.

Β) Σύνθεση ψυχρών ασφαλτομιγμάτων ανοιχτού τύπου

Η σύνθεση ψυχρών μιγμάτων ανοιχτού τύπου είναι απλούστερη αυτής των μιγμάτων κλειστού τύπου. Συνίσταται κυρίως στον καθορισμό της ποσότητας της ασφάλτου στο μίγμα, όσο το δυνατόν περισσότερης, δίχως αυτή να απορρέει από το μίγμα. Βέβαια και στην περίπτωση αυτή επιζητείται η καλή επικάλυψη των αδρανών με άσφαλτο που είναι συνάρτηση της καταλληλότητας του ασφατικού γαλακτώματος. Πλην όμως, στην περίπτωση των ανοιχτού τύπου ασφαλτομιγμάτων η καταλληλότητα του ασφατικού γαλακτώματος, εφ' όσον αυτό είναι μέσης ή ταχείας διάσπασης, είναι δεδομένη. Αυτό οφείλεται στη μικρή σχετική επιφάνεια που έχουν τα αδρανή του μίγματος, η οποία δεν επηρεάζει ουσιαστικά το χρόνο διάσπασης του γαλακτώματος. Οι ιδιότητες που επιζητούνται κατά τη σύνθεση των κλειστού τύπου ασφαλτομιγμάτων (ευστάθεια κλπ) δεν βρίσκουν εφαρμογή στα ανοιχτού τύπου μίγματα. Αυτό οφείλεται στα γεγονότα ότι τα ανοιχτού τύπου μίγματα έχουν μικρή συνοχή και ευστάθεια. Η ευστάθεια τους στο έργο οφείλεται κατά κύριο λόγο στην εσωτερική τριβή που αναπτύσσεται μεταξύ των κόκκων καθώς και στην περιβάλλουσα πίεση που αναπτύσσεται λόγω εγκιβωτισμού του οδοστρώματος [1],[14]

α) Καθορισμός του ποσοστού ύδατος για τη διαβροχή των αδρανών

Ο καθορισμός της ποσότητας του ύδατος για τη διαβροχή των αδρανών πριν την ανάμιξη γίνεται κατά το στάδιο εκτέλεσης του ελέγχου της επικαλυπτικότητας. Συνίσταται να χρησιμοποιούνται βήματα του 0.5% ξεκινώντας από μίγματα άνευ προσθήκης νερού. Επίσης, ως ονομαστική περιεκτικότητα ασφάλτου στο μίγμα μπορεί να ληφθεί το 3%, 3.5% και 4%. Το ελάχιστο ποσοστό επικάλυψης που θα πρέπει να επιζητείται και στην περίπτωση αυτών των μιγμάτων είναι 85%.

β) Καθορισμός ποσότητας ασφάλτου στο μίγμα

Η βέλτιστη ποσότητα ασφάλτου στο μίγμα καθορίζεται με διάφορους τρόπους, ένας από τους οποίους είναι εκτελώντας τη δοκιμή απορραής. Ο τρόπος αυτός συνιστάται από το Asphalt Institute , για αυτού του είδους ψυχρά ασφαλτομίγματα.

Κατά τη δοκιμή απορραής, σε ποσότητα μίγματος αδρανών (500gr περίπου), τα οποία έχουν διαβραχεί ή όχι, αναλόγως του αποτελέσματος που λαμβάνεται από τον έλεγχο της επικαλυπτικότητας, προστίθεται ποσότητα γαλακτώματος. Ως αρχική ποσότητα γαλακτώματος προτείνεται να χρησιμοποιείται η ποσότητα που προκύπτει από την ονομαστική περιεκτικότητα ασφάλτου που προαναφέρθηκε, αναλόγως του μίγματος που χρησιμοποιείται. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι, ακόμη και εάν χρησιμοποιηθούν

άλλες κοκκομετρικές καμπύλες για ανοιχτού τύπου ασφαλτομίγματα, οι προτεινόμενες ονομαστικές περιεκτικότητες ισχύουν. Τα αδρανή και το γαλακτώμα αναμιγνύονται για 30 δευτερόλεπτα και αμέσως τοποθετούνται σε συρμάτινο χωνί ή κόσκινο το οποίο είναι τοποθετημένο πάνω σε δοχείο συλλογής. Το συρμάτινο πλέγμα αποτελείται από τετραγωνικές οπές διαστάσεων 0.85 mm. Το μίγμα αφήνεται μέσα στο χωνί ή το κόσκινο για 30 λεπτά. Μετά το πέρας του χρόνου αυτού, το δοχείο μαζί με την ποσότητα του ασφατικού γαλακτώματος που απέρρευσε από το μίγμα τοποθετείται σε φούρνο θερμοκρασίας $110 \pm 5^\circ\text{C}$ και αφήνεται μέχρι να εξατμισθεί πλήρως το νερό. Η ποσότητα της ασφάλτου που απέρρευσε διαιρούμενη με το βάρος του ξηρού μίγματος των αδρανών επί τοις εκατό καθορίζει το ποσοστό απορροής. Η δοκιμή απορροής επαναλαμβάνεται αυξομειώνοντας την ποσότητα της ασφάλτου (γαλακτώματος) στο μίγμα μέχρι να επιτευχθεί ποσοστό απορροής μικρότερο του 0.5% αλλά χωρίς να μειωθεί το ποσοστό επικάλυψης των αδρανών με ασφαλτό. Το ποσοστό της ασφάλτου στο μίγμα που δίνει αυτό το αποτέλεσμα θεωρείται ως το βέλτιστο του ασφαλτομίγματος.

7.3 Παραγωγή ψυχρών ασφαλτομιγμάτων

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

7.3.1 Παραγωγή σε μόνιμο συγκρότημα

Το συγκρότημα παραγωγής σε μόνιμη εγκατάσταση είναι απλούστερο του αντιστοίχου για θερμά ασφαλτομίγματα διότι δεν απαιτείται να διαθέτει σύστημα ξήρανσης των αδρανών υλικών και θέρμανσης του συνδετικού υλικού. Ένα τυπικό συγκρότημα παραγωγής αποτελείται από: σιλό αποθήκευσης των κλασμάτων των αδρανών, σύστημα τροφοδοσίας αναλογιών / ποσοτήτων των αδρανών (συνήθως με θυρίδες), μεταφορική ταινία για την τροφοδοσία των αδρανών στον αναμκτήρα, δεξαμενή (-ες) αποθήκευσης γαλακτώματος, αντλία παροχής και μέτρησης της ποσότητας του γαλακτώματος, δεξαμενή ύδατος και χημικών προσθέτων μετά αντλίας παροχής και μέτρησης της ποσότητας και τέλος, αναμκτήρα με δύο οριζόντιους πτερυγιοφόρους άξονες. Η τροφοδοσία των αδρανών, με τη βοήθεια μεταφορικής ταινίας, γίνεται απευθείας από τα σιλό στον αναμκτήρα για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα έως ότου συγκεντρωθεί η απαιτούμενη ανά παρτίδα ποσότητα αδρανών στον αναμκτήρα. Εναλλακτικά, υπάρχουν και συγκροτήματα όπου η παροχή των αδρανών είναι συνεχούς ροής. Το παραγόμενο ασφαλτόμγμα εκφορτώνεται απευθείας επί αμάξης και κατόπιν μεταφέρεται στο έργο, ή σε ελάχιστες περιπτώσεις συγκεντρώνεται σε σωρό. Τα ψυχρά ασφαλτομίγματα έχουν την δυνατότητα, για ορισμένες ώρες, να διατηρηθούν σε σωρό και κατόπιν να μεταφερθούν στο έργο. Η περίπτωση αυτή καλό είναι να αποφεύγεται. Στην περίπτωση κατά την οποία τα αδρανή περιέχουν υγρασία περισσότερη από όση απαιτείται, θα πρέπει, πριν την ανάμιξη, να αερίζονται με τη βοήθεια φορτωτή έτσι ώστε να εξατμίζεται η

πλεονάζουσα περιεκτικότητα υγρασίας. Η ανάμιξη των αδρανών με περισσότερη από την απαιτούμενη υγρασία όπως καθορίστηκε στο στάδιο σύνθεσης, είναι απαγορευτική διότι στην περίπτωση αυτή εμφανίζεται το φαινόμενο της απορροής του γαλακτώματος από το μίγμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ποσότητας της ασφάλτου στο μίγμα [1].

7.3.2 Παραγωγή σε ειδικό αυτοκινούμενο μηχάνημα

Τα ψυχρά ασφαλομίγματα μπορούν να παραχθούν και επί του έργου με τη βοήθεια ειδικού αυτοκινούμενου μηχανήματος. Το μηχάνημα αυτό, που έχει τη δυνατότητα τόσο της παραγωγής όσο και της διάστρωσης, είναι εξοπλισμένο με : χοάνη υποδοχής αδρανών, δεξαμενή γαλακτώματος, δεξαμενή ύδατος, κατάλληλο σύστημα μεταφορικών ταινιών για την τροφοδοσία των αδρανών στον αναμικτήρα, αντλία τροφοδοσίας και μέτρησης παροχής γαλακτώματος, αντλία και σύστημα διαβροχής των αδρανών, οριζόντιο αναμικτήρα και υδραυλικό διαστρωτήρα με κοχλίες. Η τροφοδοσία των αδρανών υλικών για την παραγωγή του μίγματος είναι συνεχής και γίνεται από ανατρεπόμενα φορτηγά που προσαρμόζονται στη χοάνη υποδοχής. Το σύστημα μέτρησης των αναλογιών του μίγματος, που αποτελείται από αδρανή, γαλάκτωμα και νερό (αν απαιτείται) είναι ανεξάρτητο της ταχύτητας κίνησης του μηχανήματος. Η μεν ποσότητα αδρανών καθορίζεται από το άνοιγμα θυρίδας, οι δε ποσότητες γαλακτώματος και νερού από ειδικές αντλίες με στρόψόμετρα. Το βασικό πλεονέκτημα των μηχανημάτων παραγωγής εν κινήσει σε σύγκριση με τα μηχανήματα παραγωγής σε μόνιμη εγκατάσταση είναι η ευελιξία μεταφοράς των από έργο σε έργο και η μείωση του κόστους μεταφοράς του μίγματος. Το πρώτο έχει ως αποτέλεσμα να παρέχει τη δυνατότητα διάστρωσης ασφαλικών ταπήτων ακόμη και στο πιο απομακρυσμένα σημεία του οδικού δικτύου. Για τη διασφάλιση της καλής ποιότητας παραγωγής μιγμάτων και με τις δύο μεθόδους παραγωγής, απαιτείται περιοδική και επιμελής βαθμονόμηση των συστημάτων τροφοδοσίας και καθαρισμού των ποσοτήτων των υλικών, περιοδική συντήρηση και γενικότερα διατήρηση του όλου συγκροτήματος ή μηχανήματος σε καλή κατάσταση λειτουργίας.

Τροφοδοσία από σειράδιο

Μία παραλλαγή του αυτοκινούμενου μηχανήματος παραγωγής είναι αυτό στο οποίο η τροφοδοσία των αδρανών γίνεται από σειράδιο αδρανών σταθερής διατομής. Το μηχάνημα αυτό είναι κατά πολύ απλούστερο του προαναφερθέντος. Δε διαθέτει δικές του δεξαμενές, το γαλάκτωμα ψεκάζεται στον αναμικτήρα από βυτίο γαλακτώματος που προπορεύεται και το παραγόμενο μίγμα βγαίνει και πάλι υπό μορφή σειραδίου. Εάν απαιτηθεί διαβροχή του μίγματος με νερό, αυτό γίνεται με βυτίο νερού στο στάδιο διαμόρφωσης των σειραδίων. Η διάστρωση του τελικού μίγματος στο επιθυμητό πάχος γίνεται με μηχανικό διαμορφωτήρα (garder). Με βάση τα παραπάνω είναι φανερό ότι στην περίπτωση αυτή δεν είναι δυνατόν να υπάρξει μεγάλη ακρίβεια και σταθερότητα στις αναλογίες του μίγματος αλλά ούτε και σταθερότητα και ομοιομορφία του πάχους της διαστρωθείσας στρώσης. Για τους λόγους αυτούς, ο παραπάνω τρόπος ανάμιξης και

διάστρωσης δεν χρησιμοποιείται πλέον, εκτός ελαχίστων περιπτώσεων, για την κατασκευή βάσεων ή και υποβάσεων σε οδούς μικρής κυκλοφορίας [1].

7.3.3 Παραγωγή επί του έργου με ανάμιξη επί της οδού

Η παραγωγή επί του έργου με ανάμιξη επί της οδού επιτυγχάνεται με τη χρήση διαμορφωτήρα (grader) και διανομέα ασφάλτου ή γαλακτώματος (feeder). Κατά την ανάμιξη επί της οδού, τα αδρανή διαστρώνονται σε σειράδια και επί αυτών ψεκάζεται αρχικά μέρος της απαιτούμενης ποσότητας του ασφαλτικού γαλακτώματος. Κατόπιν, ακολουθεί η ανάμιξη με το grader δι' αναμοχλεύσεως και δημιουργίας νέων σειράδιων επί των οποίων ψεκάζεται διαδοχικά η υπόλοιπη ποσότητα του συνδετικού υλικού. Ο αριθμός των αναμοχλεύσεων είναι τόσος όσος χρειάζεται για να κατανεμηθεί το γαλάκτωμα / ασφαλτός όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφα στο μίγμα. Ένα επιπλέον μειονέκτημα αυτής της μεθόδου έναντι της προηγούμενης είναι ότι δεν συνιστάται για την ανάμιξη μιγμάτων κλειστού τύπου. Έτσι, σήμερα και αυτή χρησιμοποιείται αποκλειστικά και μόνο για την κατασκευή στρώσεων βάσεων ή και υποβάσεων σε οδούς μικρής κυκλοφορίας [1].

7.4 Διάστρωση και συμπίκνωση

7.4.1 Διάστρωση

Η διάστρωση των ψυχρών ασφαλτομιγμάτων γίνεται σήμερα συνήθως με διαστρωτήρα (finisher) όμοιο με των θερμών ασφαλτομιγμάτων και όχι με grader. Στην περίπτωση που το μίγμα παράγεται σε μόνιμη εγκατάσταση, χρησιμοποιείται το ίδιο μηχάνημα διάστρωσης που χρησιμοποιείται για τα θερμά ασφαλτομίγματα. Τις περισσότερες φορές, πλην ελαχίστων περιπτώσεων, δεν απαιτείται η χρήση του συστήματος θέρμανσης των πλακών του διαστρωτήρα. Η δόνηση των πλακών διάστρωσης καλό είναι να αποφεύγεται, ιδιαίτερα όταν διαστρώνονται κλειστού τύπου ψυχρά ασφαλτομίγματα. Στην περίπτωση που η παραγωγή του μίγματος γίνεται από αυτοκινούμενο μηχάνημα παραγωγής, το ίδιο μηχάνημα φέρει και διαστρωτήρα όμοιο με αυτό των θερμών ασφαλτομιγμάτων. Πριν τη διάστρωση του ψυχρού ασφαλτομιγματος απαιτείται προεπάλειψη ή συγκολλητική με ασφαλικό γαλάκτωμα μη ελαστομερές του ίδιου τύπου με αυτό του μίγματος (κατιονικό ή ανιονικό), αναλόγως της περιπτώσεως. Οι ποσότητες που απαιτούνται είναι όπως και στα θερμά ασφαλτομίγματα (συνήθως 1.0-1.2 l/m² για συγκολλητικές) [1].

7.4.2 Συμπύκνωση

Η συμπίκνωση των ψυχρών ασφαλτομιγμάτων γίνεται όπως και στα θερμά ασφαλτομίγματα, δηλαδή συνδυασμός οδοστρωτήρα λέων κυλίνδρων και λαστιχοφόρου οδοστρωτήρα (8-12 τόνων). Η αρχική κυλίνδρωση γίνεται σχεδόν πάντοτε με κοινό οδοστρωτήρα (δίχως δόνηση), ενώ η ενδιάμεση και τελική κυλίνδρωση συνήθως με λαστιχοφόρο (μετά ή άνευ δόνησης). Η συμπίκνωση με δόνηση κρίνεται απολύτως αναγκαία στις ενώσεις(ραφές) μεταξύ των στρώσεων. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η χρήση λαστιχοφόρου

οδοστρωτήρα είναι περισσότερο επιτακτική από ότι στα θερμά ασφαλτομίγματα.

Η συμπίκνωση των ψυχρών ασφαλτομιγμάτων αρχίζει μόνο όταν το γαλάκτωμα έχει εν μέρει διασπαστεί. Αυτό γίνεται ανηληπτό από την αλλαγή χρώματος του μίγματος από καφέ σε μαύρο. Επίσης, η συμπίκνωση σταματά όταν παρατηρείται πλευρική μετατόπιση ή συσώρευση μπροστά στους κυλίνδρους του ασφαλτομίγματος. Ο αριθμός διελεύσεων των οδοστρωτήρων καθορίζεται πάντοτε από πειραματικά τμήματα που κατασκευάζονται πλήσιον του έργου με το ίδιο ασφαλτόμιγμα που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Κατά την συμπίκνωση επιζητείται να επιτυγχάνεται, κατά μέσο όρο, τουλάχιστον το 95% της εργαστηριακής ξηρής πυκνότητας και καμία τιμή κάτω από το 92%. Για την επίτευξη του απαιτούμενου ποσοστού συμπίκνωσης το ποσοστό υγρασίας του μίγματος θα πρέπει να είναι περίπου ίδια με αυτό που καθορίστηκε στην μελέτη σύνθεσης για βέλτιστη πυκνότητα.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, για να αποφευχθεί η επικόλληση του ασφαλτομίγματος στους μεταλλικούς κυλίνδρους ή τους τροχούς του οδοστρωτήρα, διαχέεται μικρή ποσότητα λεπτόκοκκης άμμου επί της προ συμπίκνωση επιφάνειας. Εάν επιλεγεί η διαβροχή των κυλίνδρων ή των ελαστικών με νερό, συνιστάται όπως αυτή γίνεται εκτός της επιφάνειας που πρόκειται να συμπτυκνωθεί και όχι εν κινήσει κατά τη σύμπυκνωση [1].

7.5 Ποιοτικός έλεγχος

Ο ποιοτικός έλεγχος συνίσταται τόσο σε έλεγχο του ασφαλτομίγματος όσο και σε έλεγχο της κατασκευής. Για τον ποιοτικό έλεγχο των ασφαλτομιγμάτων λαμβάνονται αντιπροσωπευτικά δείγματα μίγματος είτε από το φορτηγό μεταφοράς, όταν η παραγωγή γίνεται σε μόνιμη εγκατάσταση, είτε από τον διαστρωτήρα, όταν το μίγμα παράγεται σε αυτοκινούμενο συγκρότημα, ο έλεγχος συνίσταται στον καθορισμό της περιεκτικότητας ασφάλτου στα μίγμα και στον έλεγχο της κοκκομετρικής διαβάθμισης των αδρανών, για την εξακρίβωση της εφαρμογής της μελέτης σύνθεσης. Ο έλεγχος της περιεκτικότητας ασφάλτου και της κοκκομετρικής διαβάθμισης γίνεται σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές για θερμά ασφαλτομίγματα, με μόνη διαφορά ότι πριν την έναρξη των δοκιμών θα πρέπει να εξετασθεί πλήρως η υγρασία που περιέχει το μίγμα.

Ο ποιοτικός έλεγχος της κατασκευής συνίσταται στον έλεγχο της συμπίκνωσης, του πάχους των στρώσεων και της επιπεδότητας της επιφάνειας. Ο έλεγχος πυκνότητας γίνεται, κατά προτίμηση, με τη βοήθεια του ηλεκτρονικού μετρητή με ραδιοϊσότοπα ή με τη μέθοδο άμμου και κώνου καθώς και με τη μέθοδο της ελαστικής μεμβράνης. Ο καθορισμός της πυκνότητας από καρότα δε συνιστάται, εκτός εάν η δειγματοληψία γίνει μετά από ένα χρονικό διάστημα πλέον του ενός ή δύο μηνών, αναλόγως των καιρικών συνθηκών.

Ο έλεγχος του πάχους της στρώσης καθώς και της επιπεδότητας της επιφάνειας γίνεται όπως και στους τάπητες με θερμά ασφαλτομίγματα [1].

7.6 Ψυχρά μίγματα Slurry seal

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

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

Τα μίγματα slurry έχουν τα εξής πλεονεκτήματα και ιδιότητες:

- α) διαστρώνονται γρήγορα,
- β) παρέχουν άριστη αντιολισθηρή επιφάνεια με σφραγιστική ικανότητα,
- γ) δεν ανεβάζουν τη στάθμη του οδοστρώματος (συνεπώς δεν απαιτείται και ρύθμιση των καλυμμάτων των φρεατίων της οδού),
- δ) επιδιορθώνουν μικρές ανωμαλίες της επιφάνειας
- ε) παρέχουν ασφαλέστερες συνθήκες εργασίας,
- στ) δεν προκαλούν ατμοσφαιρική ρύπανση και
- ζ) υπό κανονικές συνθήκες αγοράς παρέχουν την οικονομικότερη λύση παροχής αντιολισθηρής επιφάνειας σε υφιστάμενο οδόστρωμα.

Τα μίγματα Slurry seal προδιαγράφονται από διεθνείς προδιαγραφές και Ελληνικές Τεχνικές Οδηγίες [1], [16].

A) Υλικά παραγωγής

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

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

Τα αδρανή θα πρέπει να είναι από σκληρά πετρώματα, κατάλληλα για επιφανειακές επιστρώσεις ή τάπητες κυκλοφορίας. Σε πολύ λίγες περιπτώσεις θα πρέπει να επιτρέπεται η χρήση σβεστολιθικών πετρωμάτων (μόνο σε περιοχές με πολύ μικρό κυκλοφοριακό φόρτο). Τα αδρανή θα πρέπει να είναι κατάλληλα διαβαθμισμένα έτσι ώστε να είναι σύμφωνα με τις προτεινόμενες διαβαθμίσεις των προδιαγραφών. Επίσης θα πρέπει να είναι καθαρά, απαλλαγμένα από άργιλο ή αργιλικά κατάλοιπα, με τιμή ισοδυνάμου άμμου μεγαλύτερη του 45 και απορροφητικότητας αδρανούς μικρότερη του 1.25% για το 50% τουλάχιστον των αδρανών του μίγματος.

Ο Τύπος 1 είναι κατάλληλος για τη σφράγιση τριχοειδών ρωγμών και επιδιορθωση φθαρμένων επιφανειών.

Ο Τύπος 2 είναι κατάλληλος για την επιδιόρθωση σοβαρότερα φθαρμένων επιφανειών και τη δημιουργία αντιολισθηρής επιφάνειας κύλισης. Ο τύπος αυτός χρησιμοποιείται τόσο στα αεροδρόμια όσο και στην οδοποιία.

Ο Τύπος 3 είναι περισσότερο χονδρόκοκκος των άλλων και χρησιμοποιείται μόνο στην οδοποιία για την επιδιόρθωση σοβαρών επιφανειακών φθορών και τη δημιουργία κατάλληλης αντιολισθηρής επιφάνειας σε περιοχές όπου συνυπάρχουν μεγάλες ταχύτητες και υψηλός κυκλοφοριακός φόρτος.

Ο Τύπος 4 είναι ο πλέον χονδρόκοκκος των μιγμάτων, χρησιμοποιείται όπου και ο 3 και σε περιπτώσεις όπου επιζητείται μεγαλύτερη μακρο-υφή της επιφάνειας. Με τον τύπο αυτό το τελικό πάχος του λεπτοτάπητα είναι 10-12mm.

Το χημικό πρόσθετο αλλά και το φίλλερ πολλές φορές χρησιμοποιούνται για να αυξομειώσουν την ταχύτητα διάσπασης του ασφαλτομίγματος έτσι ώστε να επιτυγχάνεται το βέλτιστο της κατασκευής [1], [16].

Β) Σύνθεση μίγματος Slurry Seal

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

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

Πριν τη διάστρωση του ψυχρού μίγματος εξετάζεται εάν χρειάζεται συγκολλητική στρώση γαλακτώματος έτσι ώστε να επιτευχθεί άριστη πρόσφυση μεταξύ του παλαιού οδοστρώματος και του νέου λεπτοτάπητα. Περιπτώσεις στις οποίες χρειάζεται απαραίτητα συγκολλητική (0.25-0.4 περίπου lit/m^2) είναι όταν πρόκειται να διαστρωθεί πάνω από πολύ λείες επιφάνειες ή επιφάνειες με σχετικά μεγάλη κλίση [1], [16].

Γ) Κατασκευή Λεπτοτάπητα

Πριν από τη διάστρωση του λεπτοτάπητα απαιτείται σχολαστικός καθαρισμός της επιφάνειας του οδοστρώματος από σκόνες, λάδια, φυτικές ύλες κλπ., καθώς και επιδιόρθωση των μικροφθορών του οδοστρώματος. Σε ορισμένες περιπτώσεις για την επιδιόρθωση των μικροφθορών μπορεί να

χρησιμοποιηθεί τοπικά και το ίδιο το Slurry seal. Συγκολλητική στρώση συνήθως δεν χρειάζεται, εκτός και αν η παλαιά επιφάνεια είναι λεία ή η κατασκευή γίνεται σε ανωφέρεια / κατωφέρεια. Η υπάρχουσα διαγράμμιση του οδοστρώματος θα πρέπει οπωσδήποτε να ψεκάζεται με ασφαλικό γαλάκτωμα όμοιο με αυτό που χρησιμοποιείται για συγκολλητική. Οι ποσότητες του ασφαλικού γαλακτώματος - ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας - για τον ψεκασμό των διαγραμμίσεων ή της πιθανής συγκολλητικής είναι περίπου 250-400 ml/m², αφού προηγουμένως αρακωθεί με νερό έτσι ώστε το γαλάκτωμα να περιέχει ασφαλτό 30-35%.

Η ανάμιξη και διάστρωση του αντιολισθηρού και σφραγιστικού μίγματος γίνεται απακλειστικά και μόνο με ειδικό μηχάνημα για αυτού του είδους τα μίγματα. Το μηχάνημα αυτό φέρει κάδο αδρανών, δεξαμενές γαλακτώματος, νερού και χημικών προσθέτων, αντλία με μετρητή για την παροχή γαλακτώματος, αναμικτήρα με μονό ή διπλό πτερυγιοφόρο άξονα, αντλία με ροόμετρο για την παροχή νερού και διαστρωτήρα μεταβλητού πλάτους.

Τα πλέον σύγχρονα μηχανήματα διαθέτουν και ηλεκτρικό σύστημα ελέγχου παραχής του γαλακτώματος καθώς και σύστημα ψεκασμού των ελαστικών των τροχών και ανεξάρτητη παροχή νερού υπό πίεση.

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

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

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

Τέλος, κατά την κατασκευή του λεπτοτάπητα, όπως και σε κάθε ασφαλική εργασία, θα πρέπει να λαμβάνονται όλα τα κατάλληλα μέτρα ρύθμισης της κυκλοφορίας έτσι ώστε να αποφεύγονται καθυστερήσεις και ατυχήματα [1], [16].

Δ) Ποιοτικός έλεγχος

Δεδομένης της καταλληλότητας των υλικών, ο ποιοτικός έλεγχος του παραγόμενου μίγματος συνίσταται στον έλεγχο κοκκομετρικής διαβάθμισης των αδρανών και της ποσότητας του συνδετικού ασφαλικού υλικού, τα οποία θα πρέπει να είναι σύμφωνα με τη μελέτη σύνθεσης. Η δειγματοληψία του μίγματος γίνεται από τον διαστρωθέντα τάπητα. Αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση, πριν τη διάστρωση, αδιάβραχτης αυτοκόλλητης ταινίας πάχους 15-30cm σε όλο το πλάτος διάστρωσης ή λεπτής επίπεδης λαμαρίνας 1m^2 περίπου στο κέντρο της λωρίδας διάστρωσης και σε απόσταση τουλάχιστον 20m από το σημείο έναρξης της διάστρωσης. Το ακριβές εμβαδόν της αυτοκόλλητης ταινίας ή της λαμαρίνας θα πρέπει να είναι γνωστό, διότι από αυτό θα προκύψει με αναγωγή το βάρος των διαστρωθέντων αδρανών ανά τετραγωνικό μέτρο.

Πριν την εκτέλεση της δοκιμής εκχύλισης, το δείγμα του μίγματος τοποθετείται σε κλίβανο 110°C , μέχρι να αποκτήσει σταθερό βάρος (πλήρης εξάτμιση ύδατος). Εναλλακτικά, για τον καθορισμό του ποσοστού ασφάλτου στο μίγμα, μπορεί να εκτελεστεί η δοκιμή που περιγράφεται από τις προδιαγραφές ASTM 1461, κατά την οποία υπολογίζεται ταυτόχρονα και η περιεκτικότητα του μίγματος σε νερό.

Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται ελαστομερές γαλάκτωμα, θα πρέπει να ελέγχεται και η ελαστική επαναφορά της ασφάλτου που ανακτάται από το γαλάκτωμα. Ο έλεγχος της ελαστικής επαναφοράς σύμφωνα με τις τεχνικές οδηγίες εκτελείται στους 7°C . Η μετρηθείσα ελαστική επαναφορά θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση από 43%.

Ο ποιοτικός έλεγχος επί του διαστρωθέντος λεπτοτάπητα συνίσταται στον έλεγχο της ποσότητας των αδρανών ανά μονάδα επιφάνειας και, εφ' όσον κατασκευάσθηκε για τη βελτίωση της αντολισθηρής ικανότητας, στον έλεγχο του συντελεστή αντίστασης σε ολίσθηση και του βάθους της μακρο-υφής.

Η ποσότητα των αδρανών που διαστρώθηκαν ανά μονάδα επιφάνειας καθορίζεται από το ξηρό βάρος του μίγματος που εξήχθη από τη δειγματοληψία, όπως περιγράφηκε παραπάνω, και αφού συνυπολογιστεί και αφαιρεθεί το βάρος της ασφάλτου στο μίγμα.

Ο συντελεστής αντίστασης σε ολίσθηση μπορεί να υπολογιστεί με μία από τις γνωστές συσκευές / μηχανήματα μέτρησης ολίσθηρότητας. Οι τιμές που λαμβάνονται θα πρέπει να είναι σύμφωνες με τις τιμές που απαιτούνται

από τα τεύχη δημοπράτησης του έργου, στα οποία θα πρέπει να ορίζεται και η συσκευή μέτρησης. Το ίδιο ισχύει και για τις μετρήσεις του βάθους υφής. Περισσότερες πληροφορίες για την εκτέλεση των δοκιμών ποιοτικού ελέγχου δίνονται στις ενημερωτικές τεχνικές οδηγίες [1], [16].

7.7 Μικρο - επιφανειακή στρώση (Micro-surfacing)

Τα τελευταία χρόνια σε ορισμένες χώρες άρχισε να χρησιμοποιείται ο όρος micro-surfacing σε αντιδιαστολή του όρου slurry sealing. Πρόκειται περί μίγματος slurry Τύπου II, ή III ή IV με μόνη τη διαφορά ότι το γαλάκτωμα είναι ελαστομερές, δηλαδή έχει τροποποιηθεί με ελαστομερή πρόσθετα συνήθως με φυσικό καουτσούκ (latex). Τα μίγματα αυτά, είναι καλύτερης ποιότητας και δίνονται σε κυκλοφορία σε συντομότερα χρονικά διαστήματα έναντι των μιγμάτων με κοινό ασφαλτικό γαλάκτωμα. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι στην Ελλάδα τα μίγματα αυτά χρησιμοποιούνται από το 1985. Η σύνθεση και κατασκευή των μιγμάτων αυτών γίνεται κατά τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως τα μίγματα slurry [1].

8. ΕΛΕΓΧΟΙ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΩΝ

8.1 Γενικά

Στην αναλυτική διαστασιολόγηση των οδοστρωμάτων, και όσον αναφορά τα ασφαλτομίγματα, τρεις είναι οι βασικές ιδιότητες που πρέπει να καθορισθούν : η σχέση τάσης-παραμόρφωσης του ασφαλτομίγματος υπό την επίδραση φορτίου, η αντοχή σε κόπωση (ή η αντοχή σε ρηγμάτωση) και η αντίσταση σε παραμένουσα παραμόρφωση. Το πρώτο εκφράζεται με το μέτρο δυσκαμψίας του ασφαλτομίγματος, το δεύτερο με τη μέγιστη ανηγμένη εφελκυστική παραμόρφωση για ρηγμάτωση (εξίσωση κόπωσης) και το τρίτο με το στατικό (ιξώδες) μέτρο δυσκαμψίας του ασφαλτομίγματος.

Όλες οι παραπάνω παράμετροι καθορίζονται στο εργαστήριο από θεμελιώδεις ελέγχους προσομοιάζοντας όσο είναι δυνατόν τις πραγματικές συνθήκες επί του έργου δηλαδή, θερμοκρασία, χρόνο φόρτισης, εντατικές καταστάσεις, συμπίκνωση ασφαλτομίγματος κλπ. Ειδικότερα για την εκτίμηση της αντοχής του ασφαλτομίγματος σε παραμένουσα παραμόρφωση εκτελείται επιπροσθέτως και ένας έλεγχος ο οποίος όμως θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως έλεγχος απομίμησης της πραγματικής κατάστασης, γνωστός ως έλεγχος τροχοαυλάκωσης.

Η εκτέλεση των δοκιμών για τον καθορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων και της συμπεριφοράς του ασφαλτομίγματος προϋποθέτει την ύπαρξη παλύτλακων και ακριβών συσκευών. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί σχετικά νομογραφήματα από τα οποία είναι δυνατόν να εκτιμηθούν τα αντίστοιχα μεγέθη έτσι ώστε να είναι δυνατή η εφαρμογή αναλυτικής μεθοδολογίας διαστασιολόγησης οδοστρωμάτων ακόμη και ελλείψει αυτών των συσκευών. Βεβαίως για την καλύτερη ποιότητα των αποτελεσμάτων της διαστασιολόγησης προτιμητέα είναι η χρήση εργαστηριακών αποτελεσμάτων.

Οι μηχανικές ιδιότητες καθώς και η μηχανική συμπεριφορά των ασφαλτομιγμάτων σε παραμόρφωση και κόπωση δεν χρησιμοποιούνται μόνο για την αναλυτική διαστασιολόγηση των εύκαμπτων οδοστρωμάτων. Αρκετά εργαστήρια άρχισαν να χρησιμοποιούν τα παραπάνω μεγέθη και για το σχεδιασμό του βέλτιστου ασφαλτομίγματος. Οι μέχρι σήμερα υπάρχουσες μεθοδολογίες σύνθεσης των ασφαλτομιγμάτων βασίζονται σε εμπειρικά σχεδιαστικά κριτήρια (υπολογισμός ευστάθειας και υποχώρησης κατά Marshall) και όχι σε θεμελιώδη μηχανικά κριτήρια (π.χ. μέτρο δυσκαμψίας). Ο καθορισμός της βέλτιστης σύνθεσης, ουσιαστικά της βέλτιστης ποσότητας ασφάλτου, έτσι όπως γίνεται σήμερα δεν συνδέεται άμεσα με την άρτια μηχανική συμπεριφορά ή απόδοση του ασφαλτομίγματος. Οι συνθήκες καταπόνησης του οδοστρώματος έχουν αλλάξει ριζικά σε πολλές περιπτώσεις και ο εμπειρικός καθορισμός του βέλτιστου μίγματος έχει, πολλές φορές, ως αποτέλεσμα την πρόωρη εμφάνιση σποταχίων με συνακόλουθη σπατάλη χρήματος.

Προς την κατεύθυνση αυτή κινείται και η Ευρωπαϊκή Ένωση, δηλαδή να αναπτυχθεί μια ενιαία ευρωπαϊκή μεθοδολογία σύνθεσης ασφαλτομιγμάτων που να βασίζεται κατά κύριο λόγο στις θεμελιώδεις μηχανικές ιδιότητες και τη συμπεριφορά του ασφαλτομίγματος στο έργο. Μόνο έτσι θα είναι δυνατόν να σχεδιάζονται ασφαλτομίγματα που θα δύνανται να ικανοποιούν με επιτυχία τις εκάστοτε ανάγκες αλλά και θα μπορούν να

χρησιμοποιούνται επιτυχώς νέα βελτιωμένα υλικά ή ακόμα και αυτά που σήμερα θεωρούνται σκατάλληλα ή οριακά για την οδοποιία [1], [2].

8.2 Καθορισμός Ευστάθειας και Υποχώρησης κατά Marshall

Η δοκιμή αυτή πραγματοποιείται για τον προσδιορισμό της βέλτιστης σύνθεσης του ασφαλτομίγματος και περιγράφεται από τις προδιαγραφές ASTM D1559, DIN 1996.

Σύμφωνα με αυτές, το δοκίμιο μετά τη συντήρηση τοποθετείται στη συσκευή Marshall η οποία επιβάλλει στο δοκίμιο (διαμετρικά) φορτίο με σταθερή ταχύτητα 51mm/min περίπου. Μετά τη θραύση του δοκιμίου λαμβάνεται η ένδειξη του φορτίου, η οποία διορθώνεται με συντελεστές (που εξαρτώνται από το ύψος του δοκιμίου) και αποτελεί την Ευστάθεια (μετρούμενη σε N ή Lbs) και η Υποχώρηση (μετρούμενη σε 0.01" ή mm) κατά Marshall) [2].

8.3 Καθορισμός μέτρου δυσκαμψίας ασφαλτομίγματος

Ο καθορισμός του μέτρου δυσκαμψίας του ασφαλτομίγματος γίνεται εργαστηριακά με συσκευές που δύνανται να επιβάλλουν δυναμικό φορτίο σε δοκίμιο συμπυκνωμένου ασφαλτομίγματος. Οι εργαστηριακές δοκιμές που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι :

- α) Δοκιμή έμμεσης διάτμησης με επαναλαμβανόμενο φορτίο
- β) Τριαξονική δοκιμή με επαναλαμβανόμενο φορτίο
- γ) Μονοαξονική δοκιμή με επαναλαμβανόμενο φορτίο
- δ) Μονοαξονική δοκιμή με αρμονική φόρτιση
- ε) Δοκιμή κάμψης δοκού 3-σημείων με επαναλαμβανόμενο φορτίο
- στ) Δοκιμή κάμψης τραπέζοειδούς προβάλου
- ζ) Δοκιμή στρέψης σε δυναμική φόρτιση

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι δοκιμές (δ) έως (ζ) χρησιμοποιούνται και για τον προσδιορισμό της αντοχής του ασφαλτομίγματος σε κόπωση [1], [2].

8.3.1 Δοκιμή έμμεσης διάτμησης με επαναλαμβανόμενο φορτίο

Η δοκιμή έμμεσης διάτμησης αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ από τη δοκιμή έμμεσης διάτμησης η οποία εκτελείται εδώ και πολλά χρόνια στο σκυρόδεμα, με τη διαφορά ότι η επιβολή του φορτίου είναι παλμική και όχι αυξανόμενη με σταθερή ταχύτητα. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε μόνο για ερευνητικούς σκοπούς αλλά σύντομα καθιερώθηκε ως αναγνωρισμένη μέθοδος καθορισμού του μέτρου δυσκαμψίας των ασφαλτομιγμάτων. Η δοκιμή προδιαγράφεται από την προδιαγραφή ASTM D 4123. Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται χρησιμοποιούνται τόσο στη διαστασιολόγηση των οδοστρωμάτων όσο και στο σχεδιασμό των ασφαλτομιγμάτων.

Μια από τις συσκευές μέτρησης μέτρου δυσκαμψίας ασφαλτομιγμάτων που στηρίζεται στη δοκιμή έμμεσης διάτμησης είναι αυτή που κατασκευάστηκε μετά από μακρόχρονη ερευνητική εργασία στο πανεπιστήμιο του Νότινγχαμ Αγγλίας. Η συσκευή είναι γνωστή ως NAT και μπορεί να εκτελέσει 4 τύπους δοκιμών :

- Δοκιμή επαναλαμβανόμενης αντιδιαμετρικής θλίψης, με την οποία εκτιμάται το μέτρο δυσκαμψίας του ασφαλτομίγματος
- Δοκιμή ερπυσμού, με την οποία καταγράφονται οι μόνιμες παραμορφώσεις που αναπτύσσονται
- Δοκιμή επαναλαμβανόμενης θλίψης, με την οποία καταγράφονται επίσης οι μόνιμες παραμορφώσεις που αναπτύσσονται
- Δοκιμή επαναλαμβανόμενης αντιδιαμετρικής θλίψης, που ισοδυναμεί με τη δοκιμή κόπωσης υπό συνθήκες ελεγχόμενης τάσης και κατά την οποία καταγράφονται οι επαναλήψεις φορτίσεων μέχρι την αστοχία του δοκιμίου.

Δοκιμή επαναλαμβανόμενης αντιδιαμετρικής θλίψης - Δοκιμή μέτρησης του μέτρου δυσκαμψίας ασφαλτομίγματος

Κατά τη δοκιμή εφαρμόζεται θλιπτικό φορτίο κατά τις δύο αντιδιαμετρικές γενέτειρες κυλινδρικού δοκιμίου, με αποτέλεσμα την έμμεση ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων - παραμορφώσεων εγκάρσια στη διεύθυνση επιβολής του φορτίου. Το μέτρο δυσκαμψίας του δοκιμίου υπολογίζεται αυτόματα από τη μηχανή με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού, σύμφωνα με τη σχέση :

$$S_m = P(v + 0.27) / (\Delta H_v \cdot t)$$

όπου :

- S_m : μέτρο δυσκαμψίας του δοκιμίου (Mpa)
- P : κατακόρυφο θλιπτικό φορτίο (N)
- ΔH_v : αναπτυσσόμενη οριζόντια παραμόρφωση (mm)
- t : μέσο πάχος δοκιμίου (mm)
- v : λόγος Poisson του ασφαλτομίγματος (για τη θερμοκρασία της δοκιμής)

Για την εκτέλεση της δοκιμής ακολουθείται η διαδικασία όπως ορίζεται από το πρότυπο ASTM D4123-82 και BS DD213.1993 [2], [17]

8.3.2 Τριαξονική δοκιμή με επαναλαμβανόμενο φορτίο

Η τριαξονική δοκιμή με επαναλαμβανόμενο φορτίο χρησιμοποιείται τόσο για τον καθορισμό του μέτρου δυσκαμψίας όσο και για τον καθορισμό της παραμένουσας παραμόρφωσης των ασφαλτομιγμάτων. Η δοκιμή αυτή αναπτύχθηκε κατ'αντιστοιχία της τριαξονικής δοκιμής που εκτελείται από πολλά εργαστήρια για τον καθορισμό θεμελιωδών ιδιοτήτων εδαφών. Η συσκευή που χρησιμοποιείται είναι η ίδια με τη συσκευή της τριαξονικής φόρτισης αλλά με παλμικό φορτίο και αφού γίνουν οι απαραίτητες αλλαγές των επιβαλλομένων τάσεων.

Τα αισθητήρια καταγραφής της οριζοντίου και καθέτου ανηγμένης παραμόρφωσης που επέρχεται από την φόρτιση βρίσκονται πάνω στο δοκίμιο. Το μέτρο δυσκαμψίας υπολογίζεται από το πηλίκο της παλμικής εκτροπικής τάσης ($\sigma_1 - \sigma_3$) και της ανακτώμενης κάθετης θλιπτικής παραμόρφωσης.

Η δοκιμή αυτή παρέχει το πλεονέκτημα επιβολής τάσεων αντιστοίχων με αυτές που αναπτύσσονται στο οδόστρωμα κατά τη διάρκεια φόρτισης

αυτού από κινούμενο τροχή. Παρόλο που η δοκιμή προσομοιάζει καλύτερα την υπάρχουσα κατάσταση, η πολυπλοκότητά της την κάνει να χρησιμοποιείται σήμερα μόνο για ερευνητικούς σκοπούς [1].

8.3.3 Μονοαξονική δοκιμή με επαναλαμβανόμενο φορτίο

Η μονοαξονική δοκιμή με επαναλαμβανόμενο φορτίο χρησιμοποιείται και αυτή, από ορισμένους ερευνητές, για τον καθορισμό του μέτρου δυσκαμψίας των ασφαλτομιγμάτων. Κατά την δοκιμή, το δοκίμιο του ασφαλτομίγματος υπόκειται σε μονοαξονική ανεμπόδιστη θλίψη υπό την επίδραση παλμικού φορτίου. Η συσκευή είναι παρόμοια με τη συσκευή έμμεσης διάτμησης με μόνη τη διαφορά ότι το κάθετο παλμικό φορτίο επιβάλλεται στο οριζόντιο επίπεδο του κυλινδρικού δοκίμιου. Η κάθετος παραμόρφωση καταγράφεται συνεχώς και η ελαστική δυσκαμψία του ασφαλτομίγματος υπολογίζεται από τα λόγος : εφαρμοζόμενη τάση προς ανακατωμένη θλιπτική ανηγμένη παραμόρφωση. Όπως και στη δοκιμή έμμεσης διάτμησης μπορεί να υπολογιστεί τόσο το στιγμιαίο όσο και το τελικό μέτρο δυσκαμψίας [1].

8.3.4 Μονοαξονική δοκιμή με αρμονική φόρτιση

Η μονοαξονική δοκιμή με αρμονική φόρτιση είναι παρόμοια με την παραπάνω δοκιμή με τη χαρακτηριστική διαφορά ότι στη δοκιμή αυτή το φορτίο είναι ημιτονοειδούς μορφής. Η δοκιμή αυτή είναι από τις πρώτες που χρησιμοποιήθηκαν από ερευνητές αρχικά για τον καθορισμό του μέτρου δυσκαμψίας και αργότερα για τον καθορισμό της κόπωσης των ασφαλτομιγμάτων.

Η παραπάνω δοκιμή έχει αναγνωρισθεί ως πρότυπη δοκιμή για τον καθορισμό του μέτρου ελαστικότητας των ασφαλτομιγμάτων και περιγράφεται αναλυτικά από τις Αμερικανικές προδιαγραφές ASTM D 3497 [1].

8.3.5 Δοκιμή κάμψης δοκού με επαναλαμβανόμενο φορτίο

Η δοκιμή κάμψης δοκού με επαναλαμβανόμενο φορτίο χρησιμοποιείται και αυτή για τον καθορισμό του μέτρου δυσκαμψίας καθώς και για τον καθορισμό της αντοχής των ασφαλτομιγμάτων σε κόπωση, από αρκετούς ερευνητές. Η δοκιμή αυτή θεωρείται απλούστερη της μονοαξονικής με αρμονικό φορτίο, αλλά δεν έχει ακόμη καθιερωθεί ως πρότυπη δοκιμή μέτρησης μηχανικών ιδιοτήτων ασφαλτομιγμάτων [1].

8.3.6 Δοκιμή κάμψης τραπεζοειδούς προβόλου

Η δοκιμή κάμψης τραπεζοειδούς προβόλου με επαναλαμβανόμενο φορτίο αναπτύχθηκε αρχικά στα εργαστήρια της Shell Ολλανδίας και γρήγορα υιοθετήθηκε από το LCPC Γαλλίας για τον καθορισμό του μέτρου δυσκαμψίας και της συμπεριφοράς του ασφαλτομίγματος σε κόπωση. Ο καθορισμός του μέτρου από την δοκιμή αυτή που επίσης ονομάζεται σύνθετο μέτρο, χρησιμοποιείται σήμερα στη Γαλλία ως μέρος της μεθοδολογίας σύνθεσης των ασφαλτομιγμάτων.

Τραπεζοειδούς μορφής δοκίμια αφού κοπούν από τη στρώση ασφαλτομίγματος που συμπτυκνύθηκε στο εργαστήριο, τοποθετούνται σε ειδική συσκευή με τη μεγάλη βάση του δοκιμίου πακτωμένη σε μεταλλική βάση. Η συσκευή επιβάλλει επαναλαμβανόμενο φορτίο κατά την οριζόντια διεύθυνση. Η τραπεζοειδής μορφή επιτρέπει την ανάπτυξη ομοιόμορφης τάσης καθ'όλο το ύψος του δοκιμίου [1].

8.3.7 Δοκιμή στρέψης με δυναμική φόρτιση

Η δοκιμή στρέψης με δυναμική φόρτιση είναι και αυτή μια άλλη δοκιμή που χρησιμοποιήθηκε από ορισμένους ερευνητές για τον καθορισμό του μέτρου δυσκαμψίας αλλά και για τον έλεγχο της συμπεριφοράς του ασφαλτομίγματος σε κόπωση. Η μη κανονική μορφή του δοκιμίου, κυλινδρικό με μειωμένη διάμετρο στη μέση απόσταση, καθώς και ο σχετικά πολύπλοκος τρόπος επιβολής της δυναμικής φόρτισης είχε ως αποτέλεσμα η δοκιμή αυτή, σήμερα να μην χρησιμοποιείται ευρέως [1].

8.4 Εκτίμηση μέτρου δυσκαμψίας ασφαλτομίγματος

Εάν η μέτρηση του μέτρου δυσκαμψίας των ασφαλτομιγμάτων δεν είναι εφικτή τότε αυτό είναι δυνατόν να εκτιμηθεί για οποιαδήποτε θερμοκρασία και χρόνο φόρτισης, γνωρίζοντας μόνο το μέτρο δυσκαμψίας της ασφάλτου και τις ογκομετρικές ποσοστιαίες αναλογίες των συστατικών του μίγματος (άσφαλτος και αδρανή). Η εκτίμηση του μέτρου δυσκαμψίας γίνεται με τη βοήθεια νομογραφήματος που αναπτύχθηκε από τους Bohnaure και άλλους και βασίζεται στη θεμελιώδη έρευνα του Van der Poel και άλλων ερευνητών. Το νομογράφημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο όταν το μέτρο δυσκαμψίας της ασφάλτου είναι μεγαλύτερο των $5 \cdot 10^8 \text{ Pa}$. Ο περιορισμός οφείλεται στο γεγονός ότι μόνο πάνω από αυτήν την τιμή δυσκαμψίας της ασφάλτου υπάρχει δυναμική συμπεριφορά του μίγματος και το μέτρο δυσκαμψίας του ασφαλτομίγματος εξαρτάται μόνο από τη δυσκαμψία της ασφάλτου και τις ογκομετρικές αναλογίες των συστατικών του μίγματος. Κάτω από αυτή την τιμή, υπεισέρχονται και άλλες παράμετροι, η επίδραση της ασφάλτου μειώνεται και γενικότερα ο καθορισμός του μέτρου δυσκαμψίας του ασφαλτομίγματος είναι ουσιαστικά αδύνατος.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι επειδή η άσφαλτος οξειδώνεται από τα πρώτα ακόμη στάδια της εφαρμογής της (αποθήκευση, ανάμειξη και διάστρωση) ο καθορισμός του μέτρου δυσκαμψίας του ασφαλτομίγματος από τις ιδιότητες της αρχικής ασφάλτου πριν τη παραγωγή του ασφαλτομίγματος θα δώσει μη πραγματικά αποτελέσματα. Για τον λόγο αυτό συνιστάται όπως ο καθορισμός του μέτρου δυσκαμψίας του ασφαλτομίγματος γίνεται με βάση τις ιδιότητες (δυσκαμψικότητα και σημείο μάλθωσης) που προκύπτουν από την άσφαλτο που έχει ανακτηθεί από το παραχθέν ασφαλτομίγμα [1].

8.5 Καθορισμός στατικού μέτρου δυσκαμψίας

Ο καθορισμός του στατικού ή ιξώδους μέτρου δυσκαμψίας γίνεται εργαστηριακά με συσκευές που επιβάλλουν μονοαξονικό στατικό ή επαναλαμβανόμενο φορτίο. Η δοκιμή είναι γνωστή ως δοκιμή ερπυσμού με στατικό ή επαναλαμβανόμενο φορτίο αντίστοιχα. Με τη δοκιμή αυτή καθορίζεται η συμπεριφορά του ασφαλτομίγματος σε παραμένουσα παραμόρφωση ενώ η γνώση του στατικού μέτρου δυσκαμψίας του ασφαλτομίγματος παρέχει τη δυνατότητα πρόβλεψης της παραμένουσας παραμόρφωσης του οδοστρώματος.

Μία άλλη δοκιμή που αναπτύχθηκε με σκοπό την αξιολόγηση της συμπεριφοράς των ασφαλτομιγμάτων σε παραμένουσα παραμόρφωση κάτω από συνθήκες περισσότερο κοντά στις συνθήκες που αναπτύσσονται στο έργο είναι η δοκιμή τροχοσυλάκωσης [1].

8.6 Κόπωση ασφαλτομιγμάτων

8.6.1 Γενικά

Κόπωση γενικότερα, μπορεί να οριστεί το φαινόμενο της θραύσης κάτω από επαναλαμβανόμενη ή αρμονική τάση η οποία έχει μέγεθος πάντοτε μικρότερο της εφελκυστικής τάσης που απαιτείται για θραύση του δοκιμίου μετά από μια μόνο φόρτιση (εφελκυστική αντοχή του υλικού). Η ρηγμάτωση του οδοστρώματος, λόγω της κόπωσης των ασφαλικών στρώσεων, είναι μία από τις κύριες μορφές αστοχίας του οδοστρώματος. Η αντοχή του ασφαλτομίγματος σε κόπωση εξαρτάται από τη σύνθεση και τις ιδιότητες αυτού. Έτσι κάθε ασφαλτόμιγμα έχει τη δική του συμπεριφορά σε κόπωση, η οποία θα πρέπει να καθορίζεται για να είναι δυνατόν να σχεδιαστεί το οδόστρωμα κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μην ρηγματώνεται πρόωρα [1].

8.6.2 Μέτρηση χαρακτηρισικών κόπωσης ασφαλτομιγμάτων από εργαστηριακές δοκιμές

Η κόπωση ή καλύτερα η συμπεριφορά των ασφαλτομιγμάτων σε κόπωση μπορεί να καθορισθεί στο εργαστήριο κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες. Οι δοκιμές και οι συσκευές που χρησιμοποιούνται είναι όμοιες με αυτές που προαναφέρθηκαν για τον καθορισμό του ελαστικού μέτρου δυσκαμψίας, πλην της μονοαξονικής με επαναλαμβανόμενο φορτίο. Όλες οι μέθοδοι και συσκευές έχουν τη δυνατότητα να επιβάλλουν και εφελκυστική τάση η οποία θα προκαλέσει, μετά από Ν - αριθμό επαναλαμβανόμενων φορτίσεων, ρηγμάτωση και θραύση του δοκιμίου. Έτσι, η μόνη αυστηρή διαφορά μεταξύ της μεθοδολογίας μέτρησης του μέτρου δυσκαμψίας και του καθορισμού της συμπεριφοράς του ασφαλτομίγματος σε κόπωση είναι η ολική κάρκεια φόρτισης.

Σκοπός όλων των μεθόδων που χρησιμοποιούνται στο εργαστήριο είναι να καθορίσουν την αντιπροσωπευτική καμπύλη κόπωσης του υπό εξέταση ασφαλτομίγματος (ή ασφαλτομιγμάτων). Αυτό έχει ως συνέπεια όχι μόνο να αξιολογηθούν τα ασφαλτομίγματα ως προς την αντοχή τους σε

κόπωση αλλά κυρίως να καθορισθεί η επιτρεπόμενη μέγιστη εφελκυστική ανηγμένη παραμόρφωση συναρτήσει του αριθμού των επαναλαμβανόμενων φορτίσεων. Το τελευταίο είναι χρησιμότερη και αναγκαία παράμετρος για να καθορισθεί από αναλυτικές μεθοδολογίες διαστασιολόγησης οδοστρωμάτων η διάρκεια ζωής του οδοστρώματος λίγο πριν ρηγματωθεί.

Μέχρι σήμερα δεν έχει γίνει διεθνώς αποδεκτή μια μοναδική συσκευή και μεθοδολογία μέτρησης κόπωσης των ασφατομιγμάτων. Τα διάφορα εργαστήρια που είναι σε θέση να μετρήσουν κόπωση χρησιμοποιούν μια από τις προαναφερθείσες συσκευές, ανάλογα με τις δυνατότητες που έχουν. Στο πνεύμα του καθορισμού ενιαίας μεθοδολογίας κινείται η αρμόδια ομάδα καθορισμού ευρωπαϊκών προδιαγραφών. Μέχρι σήμερα έχουν προταθεί προς εξέταση όλες οι υπάρχουσες συσκευές δυναμικής φόρτισης και έχει προταθεί η αξιολόγηση αυτών με βάση την αξιοπιστία και την επαναληπτικότητα των αποτελεσμάτων. Μια από τις συσκευές που φαίνεται να κερδίζει έδαφος είναι η συσκευή NAT του Πανεπιστημίου του Νότινγχαμ. Ήδη η ερευνητική ομάδα του Πανεπιστημίου έχει υποβάλλει προς έγκριση σχέδιο μεθοδολογίας για τον καθορισμό των χαρακτηριστικών κόπωσης των ασφατομιγμάτων χρησιμοποιώντας τη δοκιμή έμμεσης διάτμησης [1].

Το Εργαστήριο Οδοποιίας του Ε.Μ.Π. έχει προσδιορίσει με τη συσκευή αυτή [17] τα χαρακτηριστικά κόπωσης σε διάφορους τύπους ασφατομιγμάτων της ΠΤΠ Α260 και Α265. Σύγκριση που έγινε των καμπυλών κόπωσης που προέκυψαν από τη συσκευή NAT με καμπύλες κόπωσης από κάμψη με ανάλογους τύπους ασφατομιγμάτων [18] έδειξε ότι δεν φαίνεται να υπάρχουν ουσκώδεις διαφορές.

8.6.3 Εκτίμηση συμπεριφοράς ασφατομίγματος σε κόπωση

Ο εργαστηριακός καθορισμός της εξίσωσης κόπωσης για κάθε ασφατομίγμα προϋποθέτει την ύπαρξη κατάλληλης συσκευής καθώς και τη δαπάνη αρκετών εργασιών. Δεδομένου ότι τόσο ο αριθμός δοκιμών όσο και ο αριθμός ωρών για τον έλεγχο ενός μόνο δοκιμίου είναι αρκετά μεγάλος. Ήταν λοιπόν σαφές ότι υπήρχε ανάγκη ύπαρξης μεθοδολογίας με την οποία να μπορούσε να εκτιμηθεί η συμπεριφορά του ασφατομίγματος σε κόπωση εύκολα και γρήγορα αλλά και με καλή αξιοπιστία.

Στην αναγκαιότητα αυτή αρκετά εργαστήρια και οργανισμοί ανέπτυξαν διάφορα συστήματα (εξισώσεις ή νομογραφήματα) που είχαν σαν βάση τις ιδιότητες των ασφατομιγμάτων και της ασφάλτου. Η πολυπλοκότητα των συστημάτων καθώς και η πιστότητα του αποτελέσματος είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων όπως, πόσοι παράμετροι υπεσέρχονταν, αριθμός μιγμάτων που εξετάσθηκαν, συνθήκες ελέγχου που καθορίσθηκαν κλπ. [1].

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το εργαστηριακό μέρος της εργασίας περιλαμβάνει τον έλεγχο σε ευστάθεια και παραμόρφωση κατά Marshall και μέτρηση του μέτρου δυσκαμψίας και της μόνιμης παραμόρφωσης με τη συσκευή NAT δοκιμών που παρασκευάσθηκαν με την τροποποιημένη μέθοδο Marshall.

Επιλέχθηκε η σύνθεση κλειστού τύπου ψυχρών ασφαλτομιγμάτων (ΚΤΨΑ) και ειδικότερα οι τύποι IV (χρησιμοποιείται ως υπόβαση, βάση ή τάπητας κυκλοφορίας) και V (χρησιμοποιείται ως τάπητας κυκλοφορίας). Τα όρια των κοκκομετρικών διαβαθμίσεων των παραπάνω τύπων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 1). Ως συνδετικό υλικό χρησιμοποιήθηκε ασφαλτικό γαλάκτωμα και συγκεκριμένα τρεις διαφορετικοί τύποι :

- α) γαλάκτωμα κατιονικού τύπου ελαστομερές
- β) γαλάκτωμα ανιονικού τύπου ελαστομερές
- γ) γαλάκτωμα ανιονικού τύπου μη ελαστομερές

Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε γαλάκτωμα - ΚΕ - 1L με 55% κατά βάρος περιεκτικότητα ασφάλτου (τροποποιημένη) για την πρώτη περίπτωση, γαλάκτωμα - ΑΕ - 5L με 62% κατά βάρος περιεκτικότητα ασφάλτου (τροποποιημένη) για την δεύτερη και γαλάκτωμα - ΑΕ - 5L με 62% κατά βάρος περιεκτικότητα ασφάλτου (κοινή, τύπου 80/100) για την Τρίτη (*).

Τα αδρανή που χρησιμοποιήθηκαν ήταν θραυστά υλικά από ασβεστολιθικό πέτρωμα, τα οποία κοσκινίσθηκαν με ηλεκτρική κοσκινίστρα ώστε να ληφθεί κατάλληλη ποσότητα η οποία αντιστοιχεί στη μέση κοκκομετρική καμπύλη (διαγράμματα 1.2).

ΚΟΣΚΙΝΑ	Τύποι ψυχρών ασφαλτομιγμάτων κλειστού τύπου	
	Διερχόμενο ποσοστό (% κατά βάρος)	
	IV	V
1"	-	-
3/4"	100	-
1/2"	90-100	100
3/8"	-	90-100
No.4	45-70	60-90
No.8	25-55	35-65
No.50	5-20	5-25
No.200	3-6	3-11

Πίνακας 1 : Όρια διαβαθμίσεων IV,V [1]

Μετά την συλλογή των κατάλληλων υλικών (αδρανή, γαλάκτωμα) αρχίζει η παρασκευή των δοκιμών σύμφωνα με την τροποποιημένη μέθοδο Marshall, ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα :

(*) Οι τύποι αυτοί των γαλακτωμάτων μας χορηγήθηκαν από την εταιρεία ΕΣΧΑ και είχαν τα εμπορικά ονόματα ΕΣΧΑΛΙΤ-ΚΕ-1L , ΕΣΧΑΛΙΤ-ΑΕ-5L και ΕΣΧΑΛΙΤ-ΑΕ-5L αντίστοιχα.

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ
ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΔΗΜ. ΕΡΓΩΝ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ - Διαγράμμο 2

ΕΡΓΟ

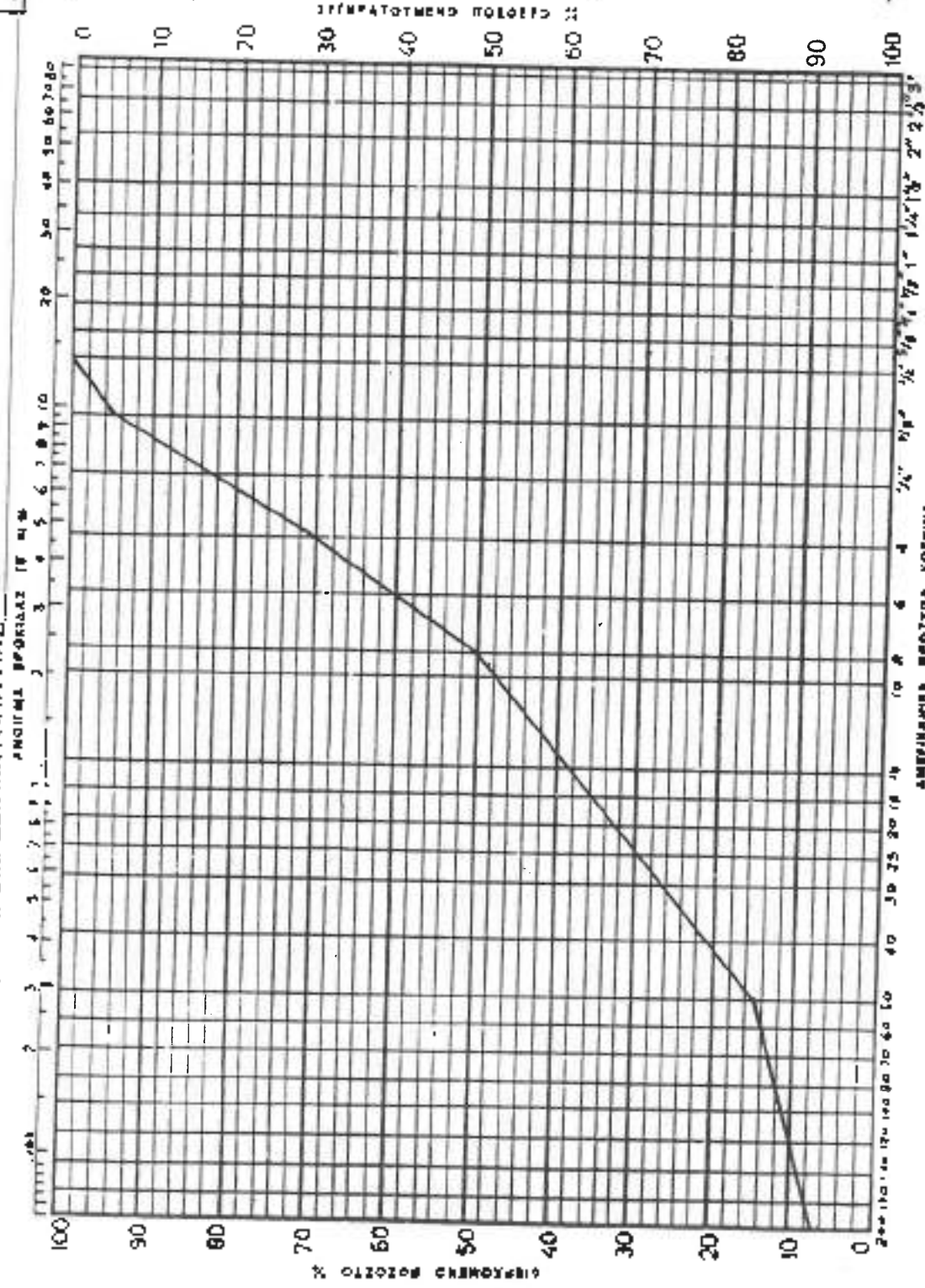
ΘΕΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΛΕΥΣΗ ΥΛΙΚΟΥ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ / ΠΛΗΡΟΦ. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ Π.Τ.Π. :

ΚΤΡΑ Ν



19.

Ο ΕΚΤΕΛΕΣΑΣ
ΤΗ ΔΟΚΙΜΗ

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ
ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΔΗΜ. ΕΡΓΩΝ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ Διορύγγο 1

ΚΤΥΑ IV

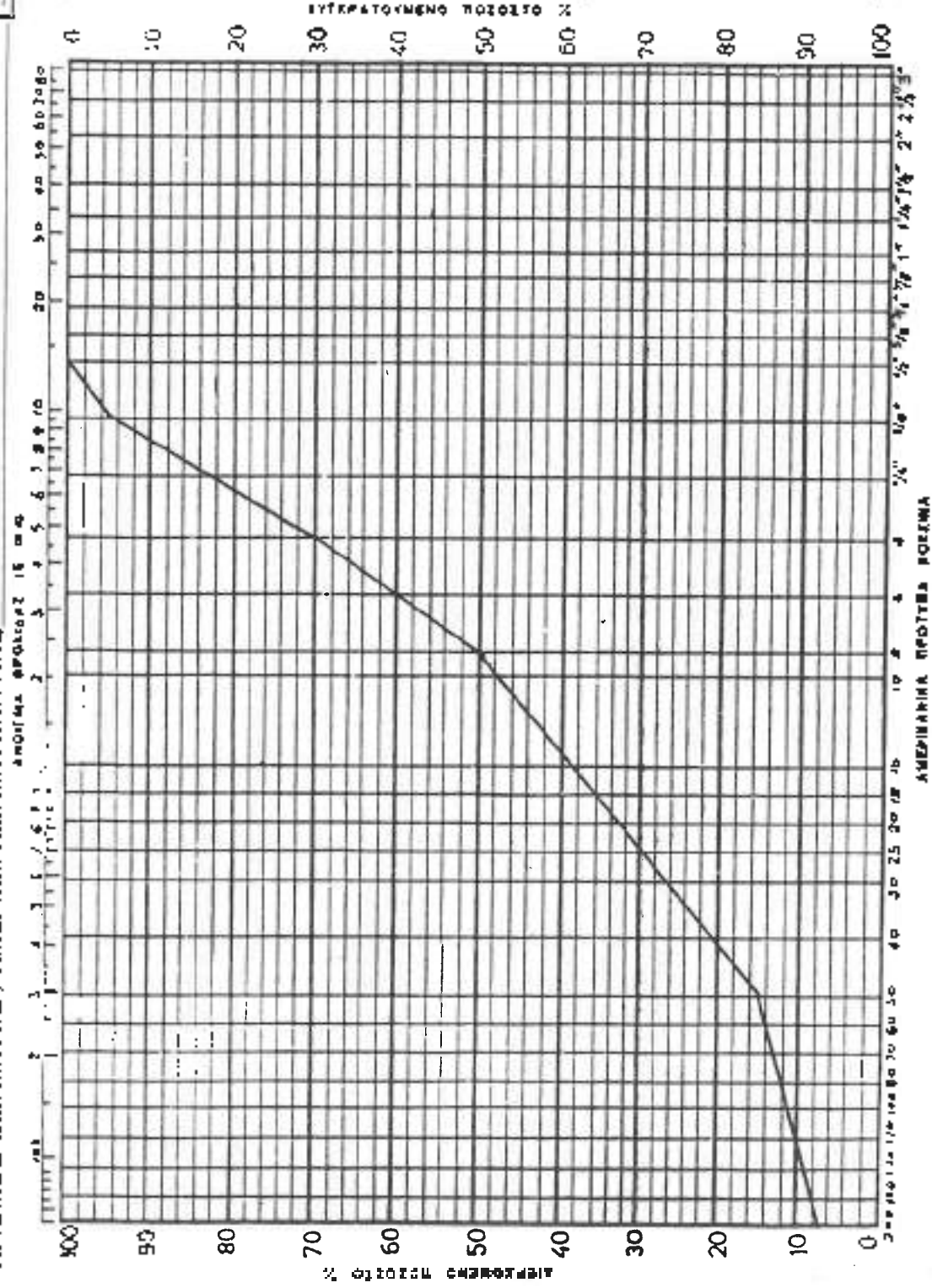
ΕΡΓΟ

ΘΕΣΗ ΔΕΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΥΛΙΚΟΥ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΓΜΑΤΟΣ / ΗΜΕΡΟΜ. ΔΕΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ Π.Τ.Π. :



Α) ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΙΚΑΛΥΠΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

1. Γενικά

Η δοκιμή αυτή καλύπτει τη διαδικασία ελέγχου για τον καθαρισμό της καταλληλότητας ενός ασφαλικού γαλακτώματος και της αντίστοιχης περιεκτικότητας σε υγρασία του μίγματος των αδρανών, με σκοπό την καλή επικάλυψη των αδρανών με ασφάλτο για την παραγωγή ψυχρών ασφαλτομικμάτων. Η καταλληλότητα του ασφαλικού γαλακτώματος κρίνεται από την ικανότητα αυτού να επικαλύψει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη επιφάνεια αδρανών. Ο έλεγχος γίνεται με οπτική εξέταση του μίγματος. Ο βαθμός επικάλυψης εκτιμάται και εκφράζεται σαν το ποσοστό της επικαλυμμένης επιφάνειας επί της συνολικής επιφάνειας των αδρανών. Η ικανότητα επικάλυψης ενός γαλακτώματος εξαρτάται άμεσα από την περιεκτικότητα του μίγματος των αδρανών σε νερό πριν τη ανάμιξη. Για το λόγο αυτό ο έλεγχος εκτελείται μεταβάλλοντας τη περιεκτικότητα του νερού στο μίγμα. Ο έλεγχος γίνεται σε θερμοκρασία δωματίου.

Η μεθοδολογία του ελέγχου επικαλυπτικότητας που θα αναπτυχθεί, βασίζεται στην τροποποιημένη μέθοδο Marshall (παράρτημα επικαλυπτικότητας) που έχει προκύψει ύστερα από ερευνητική προσπάθεια του κ. Νικολαΐδη [1]. Η ίδια μεθοδολογία για τον έλεγχο επικαλυπτικότητας έχει αναπτυχθεί και από το Πανεπιστήμιο του ILLINOIS (μέθοδος ILLINOIS) [15]. Η μόνη ουσιαστική διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων είναι ότι στην πρώτη απαιτείται ποσοστό επικαλυπτικότητας 75% ενώ στη δεύτερη 50% (βλ. μεθοδολογία ζ).

2. Μεθοδολογία

α) Σε φούρνο 110°C ξηραίνεται επαρκής ποσότητα μίγματος αδρανών (λίγο παραπάνω από 500gr).

β) Λαμβάνεται ποσότητα 500gr ξηρού μίγματος αδρανών, καταγράφεται το ξηρό βάρος ως W_d και τοποθετείται στο δοχείο ανάμιξης.

γ) Προστίθεται συγκεκριμένη ποσότητα καθαρού νερού και ανακατεύεται καλά, για 20-40sec.

δ) Αμέσως μετά την ανάμιξη των αδρανών με το νερό, προστίθεται η απαιτούμενη ποσότητα του ασφαλικού γαλακτώματος (Γ), η οποία καθορίζεται από τον τύπο :

ποσοστό γαλακτώματος κατά βάρος μίγματος ξηρών αδρανών
 $\Gamma (\%) = (A / X) \cdot 100$

ή

βάρος γαλακτώματος που πρέπει να προστεθεί $\Gamma (gr) = (A / X) \cdot W_d$

όπου :

(A) η αναμεσική περιεκτικότητα ασφάλτου στο μίγμα,

(X) τα ακριβές ποσοστό ασφάλτου στο γαλακτώμα.

ε) Αναμειγνύεται το μίγμα για περίπου 30sec και αφήνεται να ξηρανθεί (μόνο του ή με τη βοήθεια ηλεκτρικού ανεμιστήρα) με σκοπό την απομάκρυνση της μεγαλύτερης ποσότητας νερού από το μίγμα έτσι ώστε να διευκολυνθεί η εκτίμηση για το ποσοστό επικάλυψης της επιφάνειας των αδρανών

στ) Για κάθε μίγμα υπολογίζεται η συνολική περιεκτικότητα νερού στο μίγμα (νερό που προστέθηκε συν νερό από το γαλακτώμα) κατά την ανάμιξη και μετά την ξήρανση και εκτιμάται ο βαθμός επικαλυπτικότητα.

ζ) Επαναλαμβάνονται τα βήματα β) ως στ) προσθέτοντας περισσότερο νερό στο ξηραμένο μίγμα αδρανών ώσπου να επιτευχθεί ποσοστό επικάλυψης μεγαλύτερο από 75%.

η) Αν δεν μπορεί να επιτευχθεί ποσοστό επικάλυψης μεγαλύτερα από 75% με την παραπάνω ποσότητα ασφατικού γαλακτώματος και τις αυξήσεις του νερού, αυξάνεται η ποσότητα του γαλακτώματος και επαναλαμβάνονται τα βήματα β) ως ζ).

θ) Αν παρασκευασθεί επιτυχημένο μίγμα με το νέο ποσοστό γαλακτώματος, χρησιμοποιείται αυτή η ποσότητα σαν βάση (νέα ονομαστική τιμή) για όλες τις επόμενες εργαστηριακές δοκιμές διαφορετικά χρησιμοποιείται άλλος τύπος γαλακτώματος.

2.1 Έλεγχος επικαλυπτικότητα για ΚΤΨΔ IV με συνδετικό υλικό κατιονικού τύπου γαλάκτωμα

Προετοιμάσθηκε ποσότητα 500gr ξηρού μίγματος αδρανών και προσθέτοντας διαδοχικά 1%, 2%, 3%, 4% και 5% νερό κ.β. ξηρού μίγματος προέκυψαν τα αναμίγματα 1-5 αντίστοιχα. Σε όλα τα παραπάνω αναμίγματα προστέθηκε 10% γαλάκτωμα κ.β. ξηρών αδρανών, όπως προέκυψε από τον τύπο στο 2(δ) για ονομαστική περιεκτικότητα ασφάλτου στο μίγμα 5,5% και ποσοστό ασφάλτου στο γαλάκτωμα 55%.

Δηλαδή, $\Gamma(\%) = (5,5/55) \cdot 100 = 10\%$ ή $\Gamma(\text{gr}) = (5,5/55) \cdot 500 = 50\text{gr}$

Μετά την ανάμιξη, αφέθηκε το μίγμα να ξηρανθεί με τη χρήση ηλεκτρικού ανεμιστήρα και καταγράφηκαν τα αποτελέσματα στον Πίνακα 2, ο οποίος φαίνεται στην επόμενη σελίδα.

Παρατηρήθηκε ότι ενώ η επικαλυπτικότητα για 4% και 5% νερό ήταν μεγαλύτερη από 75% της συνολικής επιφάνειας των αδρανών (λεπτόκοκκοι και χονδρόκοκοι μαζί), οι μεν λεπτόκοκκοι ήταν επικαλυμμένοι με ασφαλτο ενώ οι χονδρόκοκοι ήταν τελείως σκάλυπτοι. Γι' αυτό αποφασίσθηκε να αυξηθεί το ποσοστό του γαλακτώματος από 10% σε 11% και έτσι προέκυψαν τα αναμίγματα 1', 2', 3' με ποσοστά νερού 2%, 3%, 4% αντίστοιχα.

Μετά την ανάμιξη, αφέθηκε το μίγμα να ξηρανθεί με τη χρήση ηλεκτρικού ανεμιστήρα και καταγράφηκαν τα αποτελέσματα στον Πίνακα 3, ο οποίος φαίνεται στην επόμενη σελίδα.

Τελικώς, επιλέχθηκε το ανάμικτο 2', με ποσοστό γαλακτώματος 11% κ.β. ξηρών αδρανών και ποσοστό νερού 3% κ.β. ξηρών αδρανών, ως το ανάμικτο με την καλύτερη επικάλυψη και χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων αδρανών. Αυτά τα ποσοστά χρησιμοποιήθηκαν ως βάση για την επόμενη εργαστηριακή δοκιμή.

Αριθμός ανάμικτ.	Βάρος ξηρών αδρανών (ξ.α) (gr)	Βάρος νερού %κ.β.ξ.α.	Βάρος νερού (gr)	Βάρος γαλακτ. (gr)	Συνολικό βάρος νερού (gr)	Σύνολο μίγματος (gr)	Συνολικό βάρος μετά από			Επικαλυπτικότητα % συνολικής επιφάνειας
							20 min (gr)	60 min (gr)	120 min (gr)	
1	500	1	5	50	27.5	555	531.7	529.4	527.3	<75%
2	500	2	10	50	32.5	560	542.9	540.7	538.6	<75%
3	500	3	15	50	37.5	565	542.5	540.6	538.3	<75%
4	500	4	20	50	42.5	570	556.7	554.8	552.9	>75%
5	500	5	25	50	47.5	575	555.9	553.3	548.9	>75%

Πίνακας 2 : Έλεγχος επικαλυπτικότητας για ΚΤΨΑ IV με συνδεδετικό υλικό κατιονικό γαλάκτωμα (ποσοστό γαλακτώματος 10% κ.β. ξηρών αδρανών)

Αριθμός ανάμικτ.	Βάρος ξηρών αδρανών (ξ.α) (gr)	Βάρος νερού %κ.β.ξ.α.	Βάρος νερού (gr)	Βάρος γαλακτ. (gr)	Συνολικό βάρος νερού (gr)	Σύνολο μίγματος (gr)	Συνολικό βάρος μετά από			Επικαλυπτικότητα % συνολικής επιφάνειας
							20 min (gr)	60 min (gr)	120 min (gr)	
1'	500	2	10	55	34.75	565	540.5	538.9	535	<75%
2'	500	3	15	55	39.75	570	565.8	562.6	557.9	>75%
3'	500	4	20	55	44.75	575	566	560.6	557.9	>75%

Πίνακας 3 : Έλεγχος επικαλυπτικότητας για ΚΤΨΑ IV με συνδεδετικό υλικό κατιονικό γαλάκτωμα (ποσοστό γαλακτώματος 11% κ.β. ξηρών αδρανών)

Παρατήρηση

α) Η στήλη Συνολικό βάρος νερού αναφέρεται στο νερό που προστέθηκε στον ανάμικτο συν το νερό που περιέχει το γαλάκτωμα

2.2 Έλεγχος επικαλυπτικότητας για ΚΤΨΑ V με συνδετικό υλικό ανιονικού τύπου γαλάκτωμα

Προετοιμάσθηκε ποσότητα 500gr ξηρού μίγματος αδρανών και προσθέτοντας 0% νερό κ.β ξηρού μίγματος προέκυψαν δυο αναμίγματα (ένα για κάθε τύπο ανιονικού γαλακτώματος). Στα δυο παραπάνω αναμίγματα προστέθηκε 9,68% γαλάκτωμα κ.β ξηρών αδρανών, όπως προέκυψε από τον τύπο στο 2(δ) για ονομαστική περιεκτικότητα ασφάλτου στο μίγμα 6% και ποσοστό ασφάλτου στο γαλάκτωμα 62%.

Δηλαδή, $\Gamma(\%) = (6/62) \cdot 100 = 9,68\%$ ή $\Gamma(\text{gr}) = (6/62) \cdot 500 = 48,4\text{gr}$

Μετά την ανάμιξη, σφέθηκε το μίγμα να ξηρανθεί με τη χρήση ηλεκτρικού ανεμιστήρα και παρατηρήθηκε επικαλυπτικότητα 100% και για τους δυο τύπους ανιονικού γαλακτώματος (ελαστομερές και μη ελαστομερές). Αυτά τα ποσοστά χρησιμοποιήθηκαν ως βάση για την επόμενη εργαστηριακή δοκιμή.

Β) ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΥΔΑΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ

1. Γενικά

Η βέλτιστη περιεκτικότητα ύδατος κατά την συμπύκνωση αποτελεί το δεύτερο στάδιο της τροποποιημένης μεθόδου Marshall [1] για το σχεδιασμό κλειστού τύπου ψυχρών ασφαλτομιγμάτων. Η συμπύκνωση λαμβάνει χώρα σε θερμοκρασίες δωματίου και το έργο συμπύκνωσης είναι το ίδιο για όλα τα μίγματα, ανεξαρτήτως του κυκλοφοριακού φόρτου και της θέσης που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν, 50 χτυπήματα ανά επιφάνεια με τη συσκευή συμπύκνωσης Marshall. Ο προσδιορισμός της βέλτιστης υγρασίας για συμπύκνωση γίνεται με βάση το υπολογιζόμενο Φαινόμενο Ειδικό Βάρος (Φ.Ε.Β.) και το Ξηρό Ειδικό Βάρος (Ξ.Ε.Β.) [1].

Στη μέθοδο ILLINOIS παρατηρείται η ίδια διαδικασία παραγωγής και συντήρησης των δοκιμών και η διαφορά εντοπίζεται στο έργο συμπύκνωσης όπου απαιτούνται 75 χτυπήματα ανά επιφάνεια και στον τρόπο προσδιορισμού της βέλτιστης υγρασίας για συμπύκνωση όπου γίνεται με βάση την ευστάθεια που αναπτύσσουν τα δοκίμια κατά Marshall [15].

2. Μεθοδολογία

α) Προετοιμάζεται επαρκής ποσότητα μίγματος ξηρών αδρανών για την παραγωγή δοκιμών Marshall (περίπου 1,2kgf ανά δοκίμιο). Τα δοκίμια θα συμπυκνωθούν ανά ομάδες των δύο ή το καθένα μόνο του, για διαφορετικές περιεκτικότητες ύδατος.

β) Τοποθετείται το μίγμα στον κάδο ανάμιξης και προστίθεται η αντίστοιχη ποσότητα νερού που αναλογεί στη περιεκτικότητα που καθορίσθηκε από τον έλεγχο επικαλυπτικότητας συν 1%.

γ) Αναμιγνύεται πολύ καλά έως ότου το νερό να κατανεμηθεί ομοιόμορφα στο μίγμα των αδρανών.

δ) Προστίθεται η απαιτούμενη ποσότητα ασφαλικού γαλακτώματος που ορίσθηκε από την δοκιμή επικαλυπτικότητας και ανακατεύεται πολύ καλά σε θερμοκρασία δωματίου για 45sec.

ε) Μετά την ανάμιξη αδειάζεται το μίγμα σε ταψιά τοποθετώντας ίση ποσότητα μίγματος σε κάθε ταψί. Ζυγίζεται αμέσως το κάθε ταψί με το μίγμα και καταγράφεται το βάρος (βάρος Α). Αφήνεται το μίγμα για τόσα λεπτά όσα απαιτούνται για να αλλάξει το χρώμα της επιφάνειας του μίγματος από καφέ σε μαύρο, συνήθως 20-45min αναλόγως του τύπου του μίγματος.

στ) Στο στάδιο αυτό ζυγίζεται ένα από τα ταψιά (βάρος Β) για να καθορισθεί η απώλεια βάρους μετά από την πάροδο αυτού του χρονικού διαστήματος και συμπυκνώνονται διαδοχικά δύο δοκίμια. Από τις παραπάνω ζυγίσεις καθορίζεται το ποσοστό υγρασίας του μίγματος (κατά βάρος ξηρών αδρανών)

κατά την συμπύκνωση. Το αρχικό ποσοστό υγρασίας υπολογίζεται από το βάρος του νερού που προστέθηκε συν την πασότητα του νερού που περιέχεται στο γαλάκτωμα. Η συμπύκνωση γίνεται με τον κόπανο Marshall εφαρμόζοντας 50 κτύπους ανά επιφάνεια σε θερμοκρασία δωματίου.

ζ) Μετά την συμπύκνωση αφήνονται τα δοκίμια μέσα στις μήτρες για μια ημέρα, εάν χρησιμοποιείται κατιονικό γαλάκτωμα, ή για δυο ημέρες, εάν χρησιμοποιείται ανιονικό γαλάκτωμα. Κατόπιν αφαιρούνται τα δοκίμια από τις μήτρες με τη βοήθεια εξολκέα, ζυγίζονται και μετρώνται οι γεωμετρικές διαστάσεις τους (ύψος και διάμετρος) και υπολογίζεται ο όγκος του δοκιμίου καθώς και το φαινόμενο ειδικό βάρος (πυκνότητα) του μίγματος.

η) Στη συνέχεια, σπάζονται τα δοκίμια σε κομμάτια, με τη βοήθεια σφυριού, και τοποθετούνται δυο δείγματα ανά δοκίμιο σε κατάλληλα μεταλλικά δοχεία. Ζυγίζεται το περιεχόμενο με το δοχείο και τοποθετούνται σε φούρνο 110°C. Το καθαρό βάρος των δειγμάτων θα πρέπει να είναι περίπου 250gr το καθένα. Τα δείγματα παραμένουν στο φούρνο για τόσο χρονικό διάστημα έως ότου να εξατμισθεί πλήρως το νερό. Μετά το πέρας του χρονικού αυτού διαστήματος, αφήνεται το μίγμα να κρυώσει και ξαναζυγίζεται. Από τη παραπάνω διαδικασία υπολογίζεται η περιεκτικότητα του μίγματος σε νερό και από αυτή μπορεί να υπολογισθεί το ξηρό ειδικό βάρος (πυκνότητα) του μίγματος.

θ) Επανάλαμβάνονται τα βήματα (στ) έως (η) αλλά σε διαφορετική περιεκτικότητα υγρασίας του μίγματος κατά τη συμπύκνωση. Αυτό επιτυγχάνεται αφήνοντας το δεύτερο, τρίτο κλπ ταψί με το μίγμα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα εκτεθειμένο στο περιβάλλον του εργαστηρίου (μπορεί να γίνει και χρήση ηλεκτρικού ανεμιστήρα). Τα διαφορετικά ποσοστά υγρασίας κατά την συμπύκνωση θα πρέπει να έχουν μια διαφορά μεταξύ τους της τάξεως από 0,5% έως 1%. Για την επίτευξη αυτών των ποσοστών θα πρέπει να γίνονται διαδοχικές ζυγίσεις. Συνιστάται όπως γίνουν οι κατάλληλοι υπολογισμοί για τον καθορισμό του επιθυμητού βάρους του μίγματος και κατ'επέκταση του ποσοστού νερού στο μίγμα.

ι) Από τα ζεύγη ημών, το ποσοστό υγρασίας κατά την συμπύκνωση και το φαινόμενο ή ξηρό ειδικό βάρος σχεδιάζεται η αντίστοιχη καμπύλη. Από αυτήν καθορίζεται το ποσοστό υγρασίας για μέγιστη συμπύκνωση. Σε αυτό το ποσοστό θα συμπυκνωθούν τα επόμενα δοκίμια που θα παρασκευασθούν για τον καθορισμό των παραμέτρων που απαιτούνται για τη σύνθεση του μίγματος.

2.1 Καθορισμός βέλτιστης περιεκτικότητας ύδατος κατά την συμπίκνωση για ΚΤΨΑ IV με συνδετικό υλικό κατιονικού τύπου γαλακτώμα.

Προετοιμάσθηκε κατάλληλη ποσότητα μίγματος ξηρών αδρανών για την παραγωγή 10 δοκιμίων Marshall (περίπου 1,2kg ανά δοκίμιο). Από τον έλεγχο επικαλυπτικότητας είχε επιλεγεί ως κατάλληλη περιεκτικότητα νερού το ποσοστό 3% κ.β. ξηρών αδρανών. Παρασκευάσθηκαν τα πρώτα δοκίμια προσθέτοντας ακόμα 1% νερό (3+1=4% κ.β.ξ.α.) και προκειμένου να επιτευχθούν διαφορετικά ποσοστά υγρασίας κατά την συμπίκνωση, για τα επόμενα δοκίμια επιλέχθηκαν μεγαλύτερα ή μικρότερα ποσοστά νερού. Προστέθηκε σε όλα τα δοκίμια η ποσότητα γαλακτώματος που καθορίσθηκε στον έλεγχο επικαλυπτικότητας (11% κ.β.ξ.α.) και έγινε αναμίξη σε θερμοκρασία δωματίου 25°C. Τα πρώτα 6 δοκίμια παρασκευάσθηκαν με το ίδιο ποσοστό νερού ανά δυο και ελέγχοντας την επαναληψιμότητα, παρατηρήθηκε ότι επιτεύχθηκαν αξιόπιστα αποτελέσματα, γι'αυτό και στη συνέχεια αποφασίσθηκε η παρασκευή ενός μόνο δοκιμίου για κάθε ποσοστό νερού. Μετά την ανάμιξη τοποθετήθηκε το μίγμα σε ταψιά και καταγράφηκε το καθαρό βάρος (Α). Αφέθηκε το κάθε μίγμα για 30-60πίν για να αλλάξει το χρώμα της επιφάνειας του μίγματος από καφέ σε μαύρο. Μετά την πάροδο αυτού του χρονικού διαστήματος ζυγίστηκε το μίγμα σε κάθε ταψί καταγράφοντας το βάρος (Β), καθορίζοντας έτσι την απώλεια βάρους και κατά συνέπεια το ποσοστό υγρασίας λίγο πριν τη συμπίκνωση. Ακολούθησε η συμπίκνωση των δοκιμίων με τον κόπανο Marshall εφαρμόζοντας 50 κτύπους ανά επιφάνεια. Αφέθηκαν τα δοκίμια μέσα στις μήτρες για μία ημέρα και κατόπιν με τη βοήθεια εξολκέα αφαιρέθηκαν τα δοκίμια από τις μήτρες, ζυγίστηκαν και μετρήθηκαν οι διαστάσεις τους (ύψος και διάμετρος). Από τις παραπάνω μετρήσεις υπολογίσθηκε ο όγκος του δοκιμίου και από αυτόν το φαινόμενο ειδικό βάρος του μίγματος. Στη συνέχεια, σπάζοντας το κάθε δοκίμιο σε δύο κομμάτια λήφθηκαν δύο δείγματα 250gr περίπου το καθένα και τοποθετήθηκαν σε φούρνο 110°C για 24h έως ότου εξατμιστεί πλήρως το νερό. Αφέθηκαν τα δείγματα να κρυώσουν και ξαναζυγίστηκαν για να προσδιορισθεί η περιεκτικότητα του ξηρού μίγματος σε νερό και από αυτήν να υπολογισθεί το ξηρό ειδικό βάρος του μίγματος.

Όλοι οι παραπάνω υπολογισμοί φαίνονται στους πίνακες 4,5,6 που ακολουθούν. Στη συνέχεια φτιάχθηκαν και τα διαγράμματα 3,4,5,6 απ'όπου εκτιμάται η βέλτιστη περιεκτικότητα ύδατος κατά τη συμπίκνωση ίση περίπου με 3,65% νερό κ.β.ξ.α. ή 8,60% συνολικό νερό κ.β.ξ.α.

Αριθμός αναμίγμ. δοκιμίου	Αριθμός	Βάρος (Α)	Αδρανή		Γαλάκτωμα		Νερό		Βάρος (Β)	Εξάτμιση	Νερό κ.β.ξ.α (%)	Συνολικά νερό κ.β.ξ.α (%)
		(gr)	% αναμ.	(gr)	% ξ.α.	(gr)	% ξ.α.	(gr)				
1	1,2	2584.30	86.96	2247.3	11.00	247.20	4.00	89.89	2576.40	7.90	3.65	8.60
2	3,4	2617.50	86.96	2276.2	11.00	250.38	4.00	91.05	2604.40	13.10	3.42	8.37
3	5,6	2723.40	86.96	2368.3	11.00	260.51	4.00	94.73	2681.80	41.60	2.24	7.19
4	7	1339.80	85.84	1150.1	11.00	126.51	5.50	63.25	1334.05	5.75	5.00	9.95
5	8	1368.20	85.84	1174.5	11.00	129.19	5.50	64.60	1356.50	11.70	4.50	9.45
6	9	1267.40	85.84	1087.9	11.00	119.67	5.50	59.84	1251.10	16.30	4.00	8.95
7	10	1329.90	86.96	1156.5	11.00	127.21	4.00	46.26	1312.55	17.35	2.50	7.45

Πίνακας 4 : Προσδιορισμός του ποσοστού υγρασίας κατά την συμπύκνωση

Παρατήρηση

- α) Η στήλη Νερό κ.β.ξ.α. αναφέρεται στο καθαρό ποσοστό νερού που προστέθηκε στο ανάμιγμα.
 β) Η στήλη Συνολικά νερό κ.β.ξ.α. αναφέρεται στα ποσοστά νερού που προστέθηκε στο ανάμιγμα συν το νερό που περιέχει το γαλάκτωμα.

Δοκίμιο	Βάρος δείγματος (όταν σπάμε) (gr)	Βάρος δείγματος (αφού κρυώσαν) (gr)	Αδρανή (gr)	Γαλακτωμα (gr)	Νερό (gr)	Εξάτμιση (gr)	Νερό κ.β.ξ.α. %	Συνολικό νερό κ.β.ξ.α. %
1α	240.00	238.20	208.70	22.96	8.35	1.80	3.14	7.32
1β	245.40	243.20	213.40	23.47	8.54	2.20	2.97	7.15
2α	256.80	254.00	223.31	24.56	8.93	2.80	2.75	6.93
2β	256.70	254.20	223.23	24.55	8.93	2.50	2.88	7.06
M.O							2.93	7.11
3α	237.50	235.60	206.53	22.72	8.26	1.90	3.08	7.26
3β	245.10	243.20	213.14	23.45	8.53	1.90	3.11	7.29
4α	261.20	259.50	227.14	24.98	9.09	1.70	3.25	7.43
4β	258.40	256.50	224.70	24.72	8.99	1.90	3.15	7.33
M.O							3.15	7.33
5α	259.50	257.50	225.68	24.82	9.03	2.00	3.11	7.29
5β	245.00	243.30	213.05	23.44	8.52	1.70	3.20	7.38
6α	252.50	250.80	219.57	24.15	8.78	1.70	3.23	7.41
6β	250.00	248.20	217.40	23.91	8.70	1.80	3.17	7.35
M.O							3.18	7.36
7α	256.80	254.50	220.44	24.25	12.12	2.30	4.46	8.64
7β	257.90	255.30	221.38	24.35	12.18	2.60	4.33	8.51
M.O							4.39	7.96
8α	247.80	245.30	212.71	23.40	11.70	2.50	4.32	8.50
8β	247.10	244.60	212.11	23.33	11.67	2.50	4.32	8.50
M.O							4.32	8.37
9α	238.90	236.40	205.07	22.56	11.28	2.50	4.28	8.46
9β	238.60	235.70	204.81	22.53	11.26	2.90	4.08	8.26
M.O							4.18	8.40
10α	265.40	263.10	230.79	25.39	9.23	2.30	3.00	7.18
10β	252.60	250.30	219.66	24.16	8.79	2.30	2.95	7.13
M.O							3.56	7.74

Πίνακας 5 : Προσδιορισμός του ποσοστού υγρασίας του ξηρού μίγματος

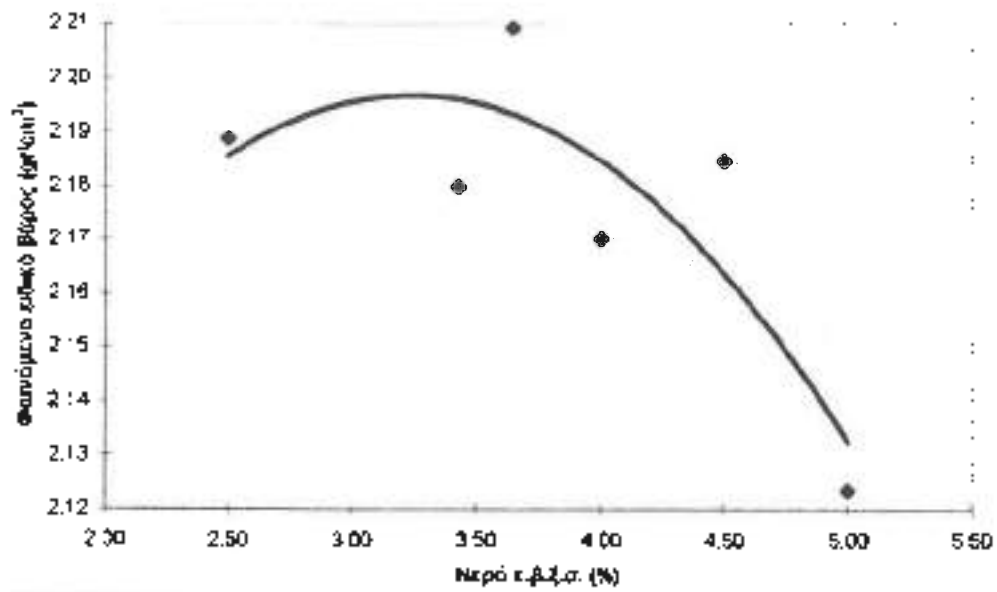
Δοκίμιο	Νερό (%) κ.β.ξ.α.	Συνολ. νερό (%) κ.β.ξ.α.	Βάρος (gr)	Ύψος (mm)	Όγκος (D=100mm) (cm ³)	Φ.Ε.Β. (gr/cm ³)	Νερό (%) κ.β.ξ.α.	Ξ Ε.Β. (gr/cm ³)
A	A'	B	Γ	Δ	E (B/Δ)	Z (ή ζ=Z/100)	H ((B-(ζ*B))/Δ)	
1	3.65	8.60	961.90	55.50	435.81	2.21	3.05	2.14
2	3.65	8.60	1094.00	63.00	494.71	2.21	2.81	2.15
M.O.	3.65	8.80				2.21	2.93	2.14
3	3.43	8.37	1072.10	62.50	490.78	2.18	3.09	2.12
4	3.43	8.37	1033.50	60.50	475.08	2.18	3.20	2.11
M.O.	3.43	8.37				2.18	3.15	2.11
5	2.24	7.19	1031.30	59.00	463.30	2.23	3.16	2.16
6	2.24	7.19	1085.60	61.50	482.93	2.25	3.20	2.18
M.O.	2.24	7.19				2.24	3.18	2.17
7	5.00	9.95	1033.80	62.00	486.86	2.12	4.39	2.03
8	4.50	9.46	1063.70	62.00	486.86	2.18	4.32	2.09
9	4.00	8.95	1014.00	59.50	467.22	2.17	4.18	2.08
10	2.50	7.45	1014.10	59.00	463.30	2.19	3.66	2.11

Πίνακας 6 : Προσδιορισμός φαινόμενης και ξηρής πυκνότητας

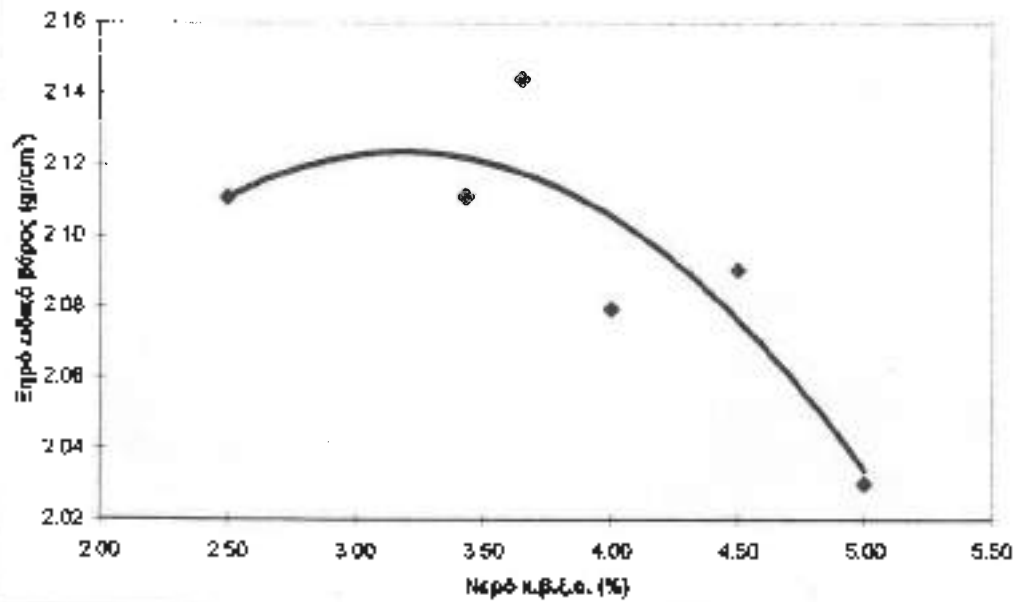
Παρατήρηση

- α) Οι στήλες Α και Α' αναφέρονται στο νερό κατά την συμπίκνωση, ενώ η στήλη Ζ αναφέρεται στο νερό μετά την ξήρανση του μίγματος.
- β) Το σημείο Μ.Ο. των δοκιμών 5,6 του πίνακα αγνοείται στη σχεδίαση των διαγραμμάτων λόγω μεγάλης απόκλισης των τιμών του Φ.Ε.Β. και του Ξ.Ε.Β. από τις τιμές των υπολοίπων σημείων. Προφανώς υπήρξε κάποιο λάθος στη διαδικασία παρασκευής και ελέγχου των αντίστοιχων δοκιμών.

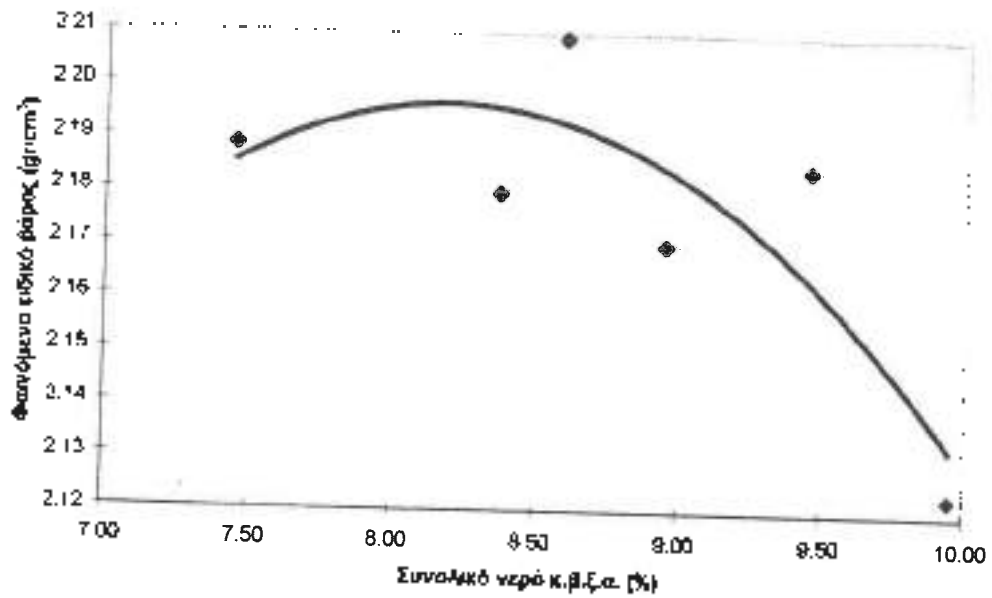
Διάγραμμα 3



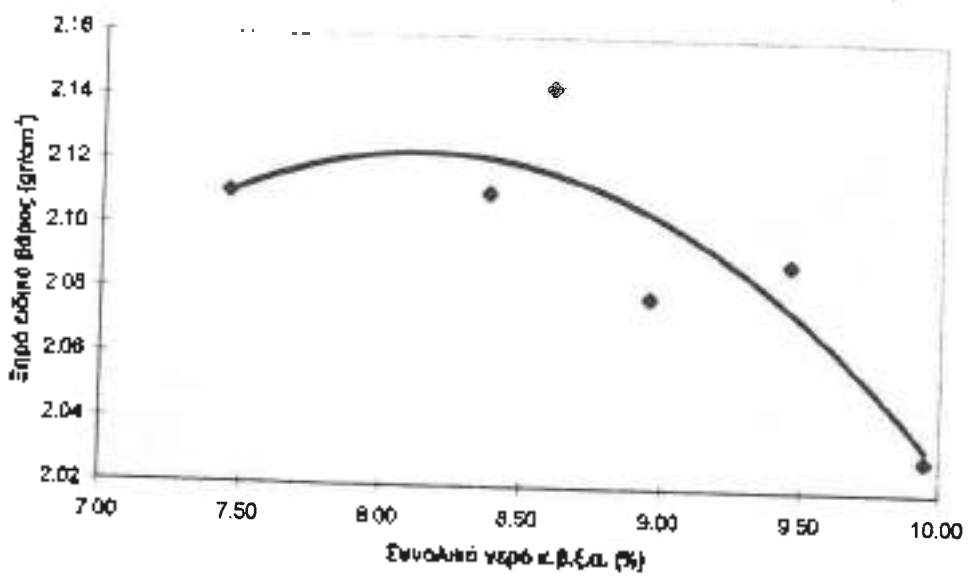
Διάγραμμα 4



Διάγραμμα 5



Διάγραμμα 6



2.2 Καθορισμός βέλτιστης περιεκτικότητας ύδατος κατά την συμπύκνωση για ΚΤΨΑ V με συνδετικό υλικό ανιονικού (ελαστομερές) τύπου γαλάκτωμα.

Προετοιμάσθηκε κατάλληλη ποσότητα μίγματος ξηρών αδρανών για την παραγωγή 5 δοκιμίων Marshall (περίπου 1,2kg ανά δοκίμιο). Από τον έλεγχο επικαλυπτικότητας είχε επιλεγεί ως κατάλληλη περιεκτικότητα νερού το ποσοστό 0% κ.β. ξηρών αδρανών. Παρασκευάσθηκε το πρώτο δοκίμιο προσθέτοντας ακόμα 1.5% νερό ($0+1.5=1.5\%$ κ.β.ξ.α.) και προκειμένου να επιτευχθούν διαφορετικά ποσοστά υγρασίας κατά την συμπύκνωση, για τα επόμενα δοκίμια επιλέχθηκαν μεγαλύτερα κατά 1% ποσοστά νερού. Προστέθηκε σε όλα τα δοκίμια η ποσότητα γαλακτώματος που καθορίστηκε στον έλεγχο επικαλυπτικότητας (9.68% κ.β.ξ.α.) και έγινε ανάμιξη σε θερμοκρασία δωματίου 28°C. Μετά την ανάμιξη τοποθετήθηκε το μίγμα σε ταψιά καταγράφοντας το καθαρό βάρος (Α). Αφέθηκε το κάθε μίγμα για 30-60min για να αλλάξει το χρώμα της επιφάνειας του μίγματος από καφέ σε μαύρο. Μετά την πάροδο αυτού του χρονικού διαστήματος ζυγίστηκε το μίγμα σε κάθε ταψί καταγράφοντας το βάρος (Β), καθορίζοντας έτσι την απώλεια βάρους και κατά συνέπεια το ποσοστό υγρασίας λίγο πριν τη συμπύκνωση. Ακολούθησε η συμπύκνωση των δοκιμίων με τον κόπανο Marshall εφαρμόζοντας 50 κτύπους ανά επιφάνεια. Αφέθηκαν τα δοκίμια μέσα στις μήτρες για μία ημέρα και κατόπιν με τη βοήθεια εξολκέα αφαιρέθηκαν τα δοκίμια από τις μήτρες, ζυγίστηκαν και μετρήθηκαν οι διαστάσεις τους (ύψος και διάμετρος). Από τις παραπάνω μετρήσεις υπολογίστηκε ο όγκος του δοκιμίου και από αυτόν το φαινόμενο ειδικό βάρος του μίγματος. Στη συνέχεια απάζοντας το κάθε δοκίμιο σε δύο κομμάτια λήφθηκαν δύο δείγματα 250gr περίπου το καθένα και τοποθετήθηκαν σε φούρνο 110°C για 24h έως ότου εξατμιστεί πλήρως το νερό. Αφέθηκαν τα δείγματα να κρυώσουν και ξαναζυγίστηκαν για να προσδιορισθεί η περιεκτικότητα του ξηρού μίγματος σε νερό και από αυτήν να υπολογισθεί το ξηρό ειδικό βάρος του μίγματος.

Όλοι οι παραπάνω υπολογισμοί φαίνονται στους πίνακες 7,8,9 που ακολουθούν. Στη συνέχεια φτιάχτηκαν και τα διαγράμματα 7,8,9,10 απ'όπου εκτιμάται η βέλτιστη περιεκτικότητα ύδατος κατά τη συμπύκνωση ίση περίπου με 1% νερό κ.β.ξ.α. ή 4.68% συνολικό νερό κ.β.ξ.α.

2.3 Καθορισμός βέλτιστης περιεκτικότητας ύδατος κατά την συμπύκνωση για ΚΤΨΑ V με συνδετικό υλικό ανιονικού (μη ελαστομερές) τύπου γαλάκτωμα.

Για να είναι άμεσα συγκρίσιμα τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από τους δύο τύπους ανιονικού γαλακτώματος (ελαστομερές και μη ελαστομερές), αποφασίσθηκε να ληφθεί η βέλτιστη περιεκτικότητα ύδατος κατά τη συμπύκνωση ίση με 1% νερό κ.β.ξ.α. ή 4.68% συνολικό νερό κ.β.ξ.α., όπως και στο ελαστομερές.

Αριθμός αναλύμ. δοκιμίου	Αριθμός Βάρος (Α)	Αδρανή		Γαλάκτωμα		Νερό		Βάρος (Β)	Εξάτμιση	Νερό κ β.ξ.α. (%)	Συνολικό νερό κ β.ξ.α. (%)
		% αναμ.	(gr)	% ξ.α.	(gr)	% ξ.α.	(gr)				
1	1	89.94	1200	9.68	116.16	1.50	18.04	1328.16	6.04	1.00	4.68
2	2	89.14	1200	9.68	116.16	2.50	30.04	1340.16	6.04	2.00	5.68
3	3	88.35	1200	9.68	116.16	3.50	42.04	1352.16	6.04	3.00	6.68
4	4	87.58	1200	9.68	116.16	4.50	54.04	1364.16	6.04	4.00	7.68
5	5	86.82	1200	9.68	116.16	5.50	66.04	1376.16	6.04	5.00	8.68

Πίνακας 7 : Προσδιορισμός του ποσοστού υγρασίας κατά την συμπύκνωση

Παρατήρηση

- α) Η στήλη Νερό κ.β.ξ.α. αναφέρεται στο καθαρό ποσοστό νερού που προστέθηκε στο ανάμικτο
 β) Η στήλη Συνολικό Νερό κ.β.ξ.α. αναφέρεται στο ποσοστό νερού που προστέθηκε στο ανάμικτο συν το Νερό που περιέχει το γαλάκτωμα.

Δοκίμιο	Βάρος δείγματος (όταν σπάμε)	Βάρος δείγματος (αφού κρύωσαν)	Αδρανή	Γαλάκτωμα	Νερό	Εξάτμιση	Νερό	Συνολ νερό
	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	κ.β.ξ.α. (%)	κ.β.ξ.α. (%)
1α	260.70	252.00	234.47	22.70	3.52	8.70	-2.21	1.47
1β	253.80	244.00	228.27	22.10	3.42	9.80	-2.79	0.89
M.O							-2.50	1.18
2α	255.50	245.20	227.75	22.05	5.69	10.30	-2.02	1.66
2β	261.40	250.70	233.01	22.56	5.83	10.70	-2.09	1.59
M.O							-2.08	1.62
3α	261.50	248.30	231.04	22.36	8.09	13.20	-2.21	1.46
3β	252.90	242.00	223.44	21.63	7.82	10.90	-1.38	2.30
M.O							-1.80	1.88
4α	259.30	245.60	227.09	21.98	10.22	13.70	-1.53	2.15
4β	257.40	245.10	225.43	21.82	10.14	12.30	-0.96	2.72
M.O							-1.42	2.43
5α	256.80	244.40	222.95	21.58	12.26	12.40	-0.06	3.62
5β	262.60	247.10	227.99	22.07	12.54	15.50	-1.30	2.38
M.O							-0.93	3.00

Πίνακας 8 : Προσδιορισμός του ποσοστού υγρασίας του ξηρού μίγματος

Παρατήρηση

α) Στη στήλη Νερό κ.β.ξ.α. , το αρνητικό πρόσημο έχει την έννοια ότι εξατμίσθηκε πλήρως το νερό που προστέθηκε κατά την συμπύκνωση και επιπλέον εξατμίσθηκε και μια ποσότητα από το νερό που περιείχε το γαλάκτωμα

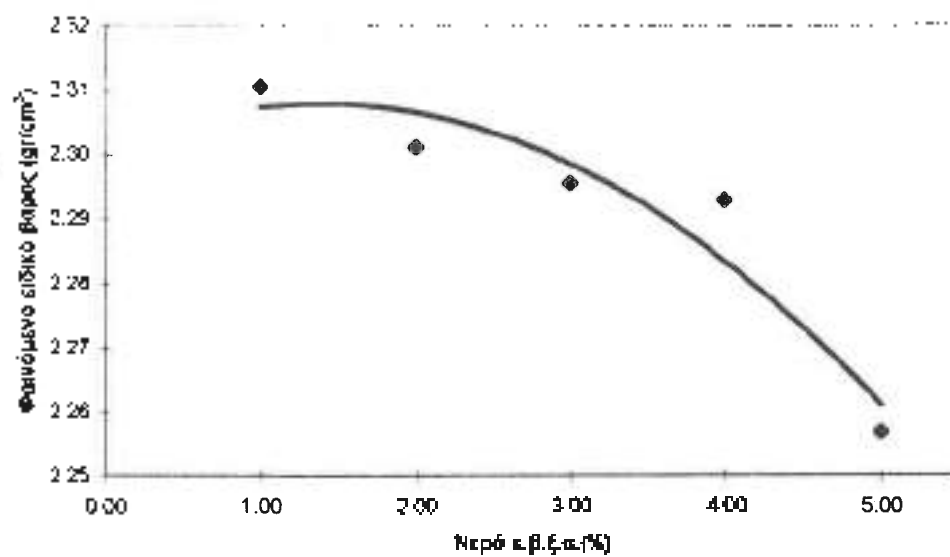
Δοκίμιο	Νερό (%) κ.β.ξ.α	Συνολ. νερό (%) κ.β.ξ.α.	Βάρος (gr)	Ύψος (mm)	Όγκος (D=100mm) (cm ³)	Φ.Ε.Β. (gr/cm ³)	Συνολ.Νερό (%) κ.β.ξ.α.	Ξ.Ε.Β (gr/cm ³)
A	A'		B	Γ	Δ	E (B/Δ)	Z' (ή ζ=Z'/100)	H { [B-(ζ*B)]/Δ }
1	1.00	4.68	1204.80	66.40	521.41	2.31	1.18	2.28
2	2.00	5.68	1198.10	66.30	520.62	2.30	1.62	2.26
3	3.00	6.68	1207.80	67.00	526.12	2.30	1.88	2.25
4	4.00	7.68	1219.00	67.70	531.61	2.29	2.43	2.24
5	5.00	8.68	1213.90	68.50	537.90	2.26	3.00	2.19

Πίνακας θ : Προσδιορισμός φαινόμενης και ξηρής πυκνότητας

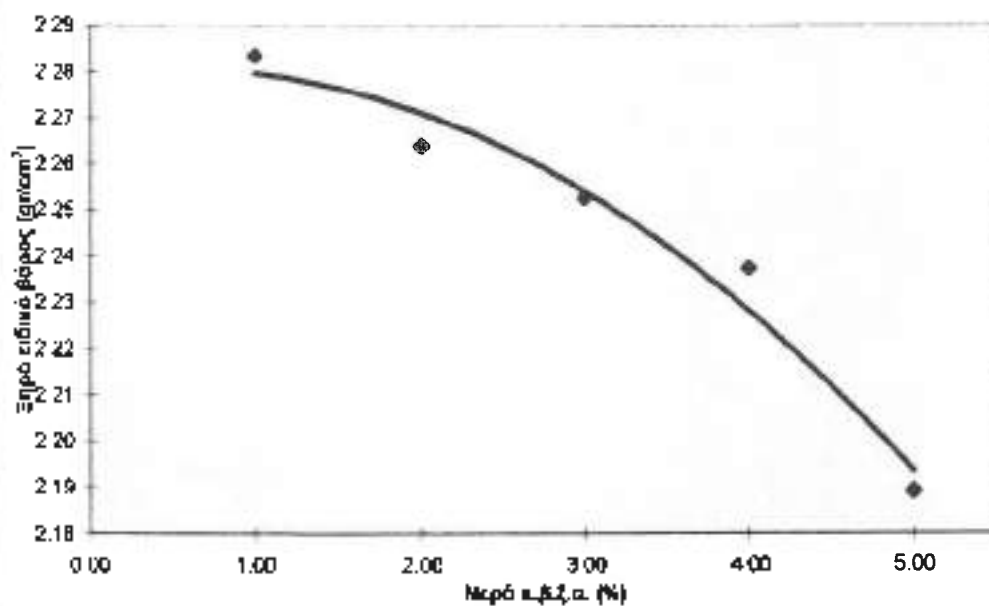
Παρατήρηση

α) Οι στήλες Α και Α' αναφέρονται στο νερό κατά την συμπίκνωση. ενώ η στήλη Ζ' αναφέρεται στο νερό μετά την ξήρανση του μίγματος.

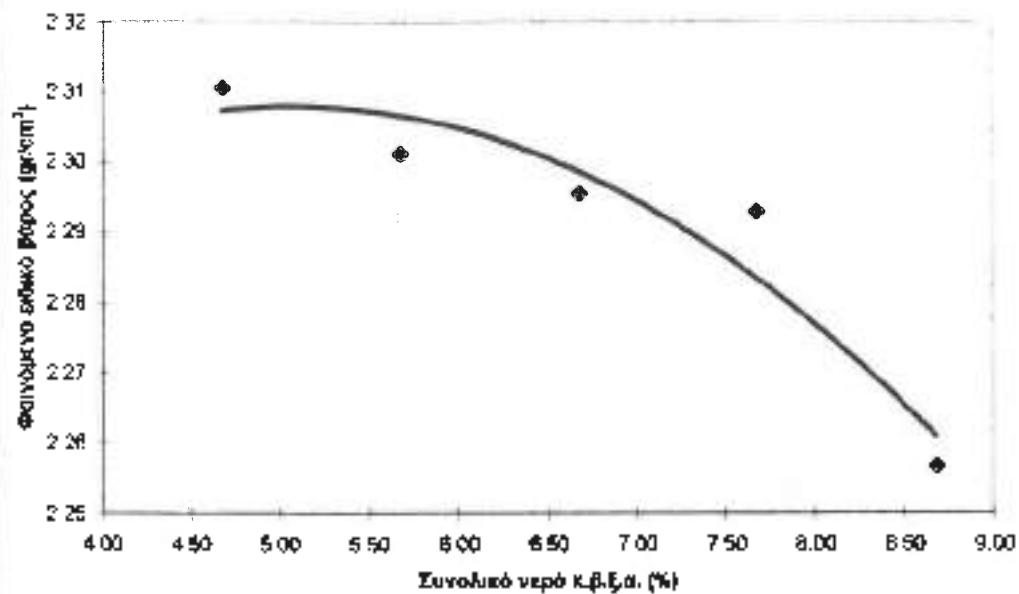
Διάγραμμα 7



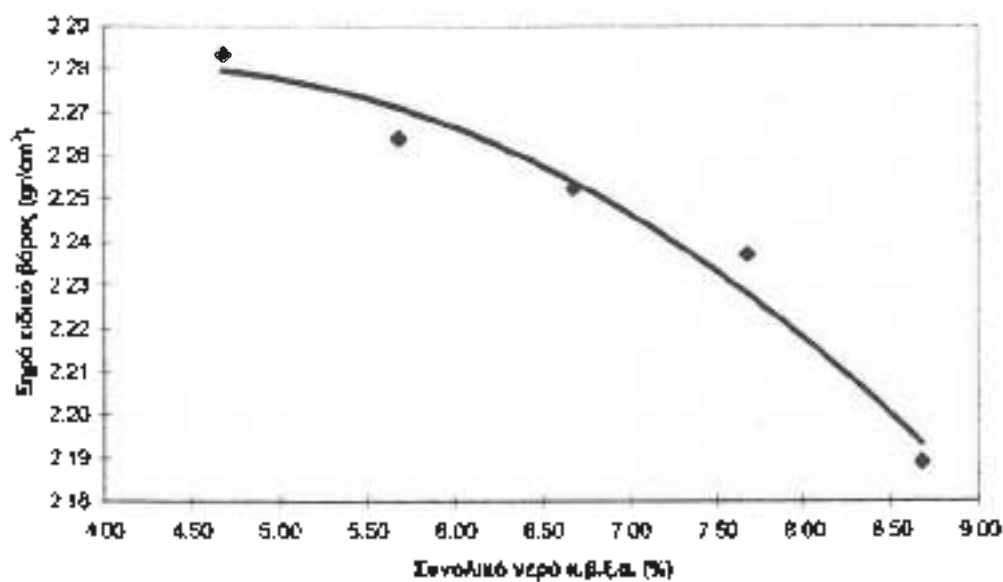
Διάγραμμα 8



Διάγραμμα 9



Διάγραμμα 10



Γ) ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

1. Γενικά

Μετά τον καθορισμό της βέλτιστης περιεκτικότητας ύδατος για την συμπίκνωση των δοκιμίων, ακολουθεί η διαδικασία προσδιορισμού των παραμέτρων που απαιτούνται για τον καθορισμό της βέλτιστης περιεκτικότητας ασφάλτου. Παρασκευάζονται δοκίμια για διάφορα ποσοστά ασφάλτου και ακολουθεί έλεγχος των δοκιμίων εκτελώντας τις δοκιμές Marshall (ξηρή και διαβρεγμένη ευστάθεια, υποχώρηση), τη δοκιμή προσδιορισμού του μέτρου δυσκαμψίας και της μόνιμης παραμόρφωσης με τη συσκευή NAT.

Δηλαδή, ακολουθήθηκε κατά βάση η τροποποιημένη μέθοδος Marshall του κ.Νικολαΐδη [1] και η μέθοδος ILLINOIS [15], με τη διαφορά ότι προστέθηκαν οι παράμετροι του μέτρου δυσκαμψίας και της μόνιμης παραμόρφωσης. Στην προσθήκη αυτών των δύο παραμέτρων έγκειται και η καιναιότητα αυτής της εργασίας σε σχέση με τις ήδη υπάρχουσες στο συγκεκριμένο θέμα.

Οι προδιαγραφές που περιγράφουν τον Έλεγχο σε Ευστάθεια και Υποχώρηση κατά Marshall είναι οι ASTM D 1559 και DIN 1996, ενώ οι προδιαγραφές των δοκιμών με τη συσκευή NAT είναι οι BS DD 213: 1993 και ASTM D 4123-82.

2. Μεθοδολογία

α) Προετοιμάζεται κατάλληλη ποσότητα ξηρών αδρανών για την παρασκευή έξι δοκιμίων ανά ποσοστό ασφάλτου. Προστίθεται η ποσότητα νερού που καθορίστηκε για βέλτιστη συμπίκνωση και η απαιτούμενη ποσότητα γαλακτώματος που καθορίστηκε στον έλεγχο επικαλυπτικότητα. Αναμιγνύονται σε θερμοκρασία δωματίου και ακολουθεί η διαδικασία της συμπίκνωσης.

β) Κατά το χρονικό διάστημα μέχρι να συμπτυκνωθούν τα πρώτα έξι δοκίμια, αναμιγνύεται νέο μίγμα με διαφορετική ποσότητα ασφάλτου (χρησιμοποιείται βήμα 1%) και επαναλαμβάνεται η διαδικασία της συμπίκνωσης, για όσα διαφορετικά ποσοστά ασφάλτου επιθυμούμε.

γ) Μετά την συμπίκνωση αφήνονται τα δοκίμια μέσα στις μήτρες για μία ημέρα και κατόπιν αφαιρούνται με τη βοήθεια κατάλληλου εξοπλέα. Αριθμούνται και τοποθετούνται σε φούρνο 35°C για 24ώρες. Μετά την εξαγωγή τους από το φούρνο μετράται το ύψος και ζυγίζονται, για τον προσδιορισμό της φαινόμενης πυκνότητας.

δ) Από κάθε εξάδα δοκιμίων που αντιστοιχεί σε κάθε ποσοστό ασφάλτου, τα δύο πρώτα τα αφήνουμε σε θερμοκρασία δωματίου για άλλες 5 ημέρες και έτσι μετά την πάροδο 7 συνολικά ημερών από την παρασκευή τους υποβάλλονται σε δοκιμή προσδιορισμού του μέτρου δυσκαμψίας (συσκευή NAT) και σε δοκιμή προσδιορισμού της ευστάθειας (συσκευή Marshall).

Τα επόμενα δύο δοκίμια 5 ημέρες μετά την παραγωγή τους τοποθετούνται σε υδατόλουτρο για 48ώρες, έτσι ώστε να ληφθεί υπόψη η επίδραση του νερού. Στη συνέχεια υποβάλλονται σε δοκιμή προσδιορισμού του μέτρου δυσκαμψίας (συσκευή NAT) και σε δοκιμή προσδιορισμού της ευστάθειας (συσκευή Marshall).

Το τελευταία δύο δοκίμια μετά την πάροδο 15 ημερών από την παρασκευή τους υποβάλλονται σε δοκιμή προσδιορισμού του μέτρου δυσκαμψίας και μόνιμης παραμόρφωσης (συσκευή NAT)

ε) Από τον έλεγχο των δύο πρώτων δοκιμών καταγράφεται το μέτρο δυσκαμψίας, η ευστάθεια και η υποχώρηση Marshall, τα οποία ορίζονται ως Μέτρο Δυσκαμψίας 7 ημερών, Ξηρή Ευστάθεια Marshall (Ξ.Ε.) και Ξηρή Υποχώρηση (Ξ.Υ.). Για την διόρθωση των τιμών της ξηρής ευστάθειας λόγω διαφορετικού ύψους των δοκιμών χρησιμοποιούνται οι ίδιοι διορθωτικοί συντελεστές Marshall που χρησιμοποιούνται στα θερμά ασφαλτομίγματα και έτσι προκύπτει η Διορθωμένη Ξηρή Ευστάθεια (Δ.Ξ.Ε.)

Για τον προσδιορισμό της ξηρής πυκνότητας των δοκιμών , πραγματοποιούνται καθημερινές ζυγίσεις για να ελεγχθεί αν όντως σταθεροποιείται το βάρος τους στη χρονική διάρκεια των 7 ημερών

στ) Από τον έλεγχο των δύο επόμενων δοκιμών (μετά την έξοδο τους από το υδατόλουτρο), καταγράφεται το μέτρο δυσκαμψίας, η ευστάθεια και η υποχώρηση Marshall, τα οποία ορίζονται ως Μέτρο Δυσκαμψίας 7 ημερών, Διαβρεγμένη Ευστάθεια Marshall (Δ.Ε.) και Διαβρεγμένη Υποχώρηση (Δ.Υ.). Για την διόρθωση των τιμών της διαβρεγμένης ευστάθειας λόγω διαφορετικού ύψους των δοκιμών χρησιμοποιούνται οι ίδιοι διορθωτικοί συντελεστές Marshall που χρησιμοποιούνται στα θερμά ασφαλτομίγματα και έτσι προκύπτει η Διορθωμένη Διαβρεγμένη Ευστάθεια (Δ.Δ.Ε.).

Επιπλέον, υπολογίζεται το ποσοστό της απορροφηθείσας υγρασίας (Π.Α.Υ.), από την σχέση :

$$(Π.Α.Υ.) = (B-A) / A * 100$$

όπου A = βάρος δοκιμίου πριν την εμβάπτιση
 B = βάρος δοκιμίου μετά από 48 ώρες σε υδατόλουτρο

Επίσης υπολογίζεται το ποσοστό της Διατηρηθείσας Ευστάθειας (Διατ.Ε.) από την σχέση :

$$(Διατ.Ε.) = (Δ.Δ.Ε.) / (Δ.Ξ.Ε.) * 100$$

ζ) Από τον έλεγχο των δύο τελευταίων δοκιμών καταγράφεται το μέτρο δυσκαμψίας, ως Μέτρο Δυσκαμψίας 15 ημερών. Επίσης, καταγράφονται τα αποτελέσματα της δοκιμής μόνιμης παραμόρφωσης

η) Επιπλέον υπολογίζεται το ποσοστό κενών καθώς και το ποσοστό κενών στα συμπτυκνωμένα αδρανή (VMA).

2.1 Παραγωγή και έλεγχος δοκιμών για ΚΤΨΑ IV με συνδετικό υλικό κατιονικού τύπου γαλάκτωμα

Προετοιμάσθηκε ποσότητα περίπου 30kgg ξηρών αδρανών (1,2kgg για κάθε δοκίμιο) για την παρασκευή 24 δοκιμών με 4 διαφορετικά ποσοστά ασφάλτου. Συγκεκριμένα επιλέχθηκαν ποσοστά ασφάλτου 6,05%, 7%, 8%, 9% κ.β.ξ.α. και για να επιτευχθεί αυτό προστέθηκε ποσότητα γαλακτώματος 11%, 12,73%, 14,55%, 16,36% κ.β.ξ.α. και ποσότητα νερού 3,65%, 2,87%, 2,05%, 1,24% αντίστοιχα. Έτσι τα δοκίμια έχοντας και την επιθυμητή υγρασία συμπυκνώθηκαν, αφέθηκαν μέσα στις μήτρες για μία ημέρα, αφαιρέθηκαν και τοποθετήθηκαν σε φούρνο. Στη συνέχεια ζυγίστηκαν, μετρήθηκε το ύψος τους και υποβλήθηκαν στους προαναφερθέντες ελέγχους. Να σημειωθεί ότι μετά από 5 ημέρες από την παραγωγή των δοκιμών, το βάρος τους είχε σταθεροποιηθεί. Τα αποτελέσματα των ελέγχων αυτών καθώς και όλοι οι υπολογισμοί για τον προσδιορισμό των ζητούμενων παραμέτρων, φαίνονται στον πίνακα 11 που ακολουθεί (Πίνακες 11.1, 11.2, 11.3.1, 11.3.2, 11.4, 11.5, 11.6).

2.2 Παραγωγή και έλεγχος δοκιμών για ΚΤΨΑ V με συνδετικό υλικό ανιονικού τύπου γαλάκτωμα

Για τους δύο τύπους ανιονικού γαλακτώματος (ελαστομερές και μη ελαστομερές) ακολουθείται η ίδια ακριβώς διαδικασία, ώστε να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα.

Προετοιμάσθηκε ποσότητα περίπου 30kgg ξηρών αδρανών (1,2kgg για κάθε δοκίμιο) για την παρασκευή 24 δοκιμών με 4 διαφορετικά ποσοστά ασφάλτου. Συγκεκριμένα επιλέχθηκαν ποσοστά ασφάλτου 6%, 5%, 4%, 3% κ.β.ξ.α. και για να επιτευχθεί αυτό προστέθηκε ποσότητα γαλακτώματος 9,68%, 8,06%, 6,45%, 4,84% κ.β.ξ.α. και ποσότητα νερού 1%, 1,62%, 2,23%, 2,84% αντίστοιχα. Έτσι τα δοκίμια έχοντας και την επιθυμητή υγρασία συμπυκνώθηκαν, αφέθηκαν μέσα στις μήτρες για μία ημέρα, αφαιρέθηκαν και τοποθετήθηκαν σε φούρνο. Στη συνέχεια ζυγίστηκαν, μετρήθηκε το ύψος τους και υποβλήθηκαν στους προαναφερθέντες ελέγχους. Να σημειωθεί ότι μετά από 5 ημέρες από την παραγωγή των δοκιμών, το βάρος τους είχε σταθεροποιηθεί. Τα αποτελέσματα των ελέγχων αυτών καθώς και όλοι οι υπολογισμοί για τον προσδιορισμό των ζητούμενων παραμέτρων, φαίνονται στους πίνακες 12 (ελαστομερές) και 13 (μη ελαστομερές) που ακολουθούν (Πίνακες 12.1, 12.2, 12.3.1, 12.3.2, 12.4, 12.5, 12.6, 13.1, 13.2, 13.3.1, 13.3.2, 13.4, 13.5, 13.6)

**ΠΙΝΑΚΑΣ 11 : Αποτελέσματα ελέγχων δοκιμών
(Συνδετικό υλικό : Κατιονικού τύπου γαλάκτωμα)**

Αριθμός δοκιμίου	Ασφαλτος (%κ.β.ξ.α.)	Γαλάκτωμα (%κ.β.ξ.α.)	Νερό Γαλακτώματος (%κ.β.ξ.α.)	Νερό Προσθημένο (%κ.β.ξ.α.)	Νερό Συνολικά (%κ.β.ξ.α.)	Σύνολο Ρευστών (%κ.β.ξ.α.)
1	6.05	11.00	4.95	3.85	8.60	14.65
2	6.05	11.00	4.95	3.65	8.60	14.65
M.O.	6.05	11.00	4.95	3.65	8.60	14.65
3	6.05	11.00	4.95	3.85	8.60	14.65
4	6.05	11.00	4.95	3.65	8.60	14.65
M.O.	6.05	11.00	4.95	3.65	8.60	14.65
5	6.05	11.00	4.95	3.65	8.60	14.65
6	6.05	11.00	4.95	3.65	8.60	14.65
M.O.	6.05	11.00	4.95	3.65	8.60	14.65
7	7.00	12.73	5.73	2.87	8.60	15.60
8	7.00	12.73	5.73	2.87	8.60	15.60
M.O.	7.00	12.73	5.73	2.87	8.60	15.60
9	7.00	12.73	5.73	2.87	8.60	15.60
10	7.00	12.73	5.73	2.87	8.60	15.60
M.O.	7.00	12.73	5.73	2.87	8.60	15.60
11	7.00	12.73	5.73	2.87	8.60	15.60
12	7.00	12.73	5.73	2.87	8.60	15.60
M.O.	7.00	12.73	5.73	2.87	8.60	15.60
13	8.00	14.55	6.55	2.05	8.60	16.60
14	8.00	14.55	6.55	2.05	8.60	16.60
M.O.	8.00	14.55	6.55	2.05	8.60	16.60
15	8.00	14.55	6.55	2.05	8.60	16.60
16	8.00	14.55	6.55	2.05	8.60	16.60
M.O.	8.00	14.55	6.55	2.05	8.60	16.60
17	8.00	14.55	6.55	2.05	8.60	16.60
18	8.00	14.55	6.55	2.05	8.60	16.60
M.O.	8.00	14.55	6.55	2.05	8.60	16.60
19	9.00	16.36	7.36	1.24	8.60	17.60
20	9.00	16.36	7.36	1.24	8.60	17.60
M.O.	9.00	16.36	7.36	1.24	8.60	17.60
21	9.00	16.36	7.36	1.24	8.60	17.60
22	9.00	16.36	7.36	1.24	8.60	17.60
M.O.	9.00	16.36	7.36	1.24	8.60	17.60
23	9.00	16.36	7.36	1.24	8.60	17.60
24	9.00	16.36	7.36	1.24	8.60	17.60
M.O.	9.00	16.36	7.36	1.24	8.60	17.60

Πίνακας 11.1 : Σύνοψη δοκιμών

Αριθμός δοκιμίου	Ύψος δοκιμίου (mm)	Διάμετρος δοκιμίου (mm)	Όγκος δοκιμίου (cm ³)	Βάρος δοκιμίου (gr)	Φ.Ε.Β. δοκιμίου (gr/cm ³)	Ξηρό βάρος (gr)	Ξ.Ε.Β. δοκιμίου (gr/cm ³)
1	63	100	494.80	1097.90	2.22	1091.31	2.21
2	63	100	494.80	1103.00	2.23	1096.38	2.22
M.O.					2.22		2.21
3	62	100	486.95	1079.70	2.22	-	-
4	62	100	486.95	1081.00	2.22	-	-
M.O.					2.22		
5	62	100	486.95	1073.70	2.20	1067.28	2.19
6	65	100	510.51	1129.20	2.21	1122.42	2.20
M.O.					2.21		2.20
7	63	100	494.80	1093.30	2.21	1088.74	2.20
8	63	100	494.80	1085.90	2.19	1079.38	2.18
M.O.					2.20		2.19
9	66	100	518.36	1126.40	2.17	-	-
10	63	100	494.80	1118.40	2.26	-	-
M.O.					2.22		
11	62	100	486.95	1058.50	2.17	1052.15	2.16
12	64	100	502.65	1054.70	2.10	1048.37	2.09
M.O.					2.14		2.12
13	61	100	479.09	1106.20	2.31	1098.46	2.29
14	62	100	486.95	1114.60	2.29	1108.80	2.27
M.O.					2.30		2.28
15	63	100	494.80	1075.70	2.17	-	-
16	63	100	494.80	1062.80	2.19	-	-
M.O.					2.18		
17	65	100	510.51	1113.20	2.18	1105.41	2.17
18	63	100	494.80	1062.90	2.15	1055.46	2.13
M.O.					2.16		2.15
19	65	100	510.51	1107.00	2.17	1099.25	2.15
20	64	100	502.65	1084.00	2.16	1076.41	2.14
M.O.					2.16		2.15
21	64	100	502.65	1078.20	2.15	-	-
22	66	100	518.36	1115.90	2.15	-	-
M.O.					2.15		
23	66	100	518.36	1123.60	2.17	1115.73	2.15
24	66	100	518.36	1094.90	2.11	1087.24	2.10
M.O.					2.14		2.12

Πίνακας 11.2 : Προσδιορισμός Φ.Ε.Β. και Ξ.Ε.Β.

Αριθμός δοκιμίων	Άσφαλτας (%κ β.μείγματός)	Βάρος ασφάλτου (gr στα 100cm ³)	Βάρος αδρανών (gr στα 100cm ³)	Ειδ.Βάρος ασφάλτου (gr/cm ³)	Ειδ.Βάρος αδρανών (gr/cm ³)
1	5.28	11.85	208.91	1.00	2.67
2	5.28	11.70	209.88	1.00	2.67
M.O.	5.28	11.87	209.40	1.00	2.67
3	5.28	-	-	-	-
4	5.28	-	-	-	-
M.O.	5.28				
5	5.28	11.57	207.60	1.00	2.67
6	5.28	11.61	208.28	1.00	2.67
M.O.	5.28	11.59	207.93	1.00	2.67
7	6.06	13.31	206.32	1.00	2.67
8	6.06	13.22	204.93	1.00	2.67
M.O.	6.06	13.26	205.62	1.00	2.67
9	6.06	-	-	-	-
10	6.06	-	-	-	-
M.O.	6.06				
11	6.06	13.09	202.98	1.00	2.67
12	6.06	12.84	195.93	1.00	2.67
M.O.	6.06	12.87	199.45	1.00	2.67
13	6.86	15.73	213.55	1.00	2.67
14	6.86	15.59	211.70	1.00	2.67
M.O.	6.86	15.66	212.63	1.00	2.67
15	6.86	-	-	-	-
16	6.86	-	-	-	-
M.O.	6.86				
17	6.86	14.85	201.68	1.00	2.67
18	6.86	14.63	198.68	1.00	2.67
M.O.	6.86	14.74	200.18	1.00	2.67
19	7.65	16.47	198.85	1.00	2.67
20	7.65	16.38	197.76	1.00	2.67
M.O.	7.65	16.43	198.31	1.00	2.67
21	7.65	-	-	-	-
22	7.65	-	-	-	-
M.O.	7.65				
23	7.65	16.47	198.78	1.00	2.67
24	7.65	16.05	193.70	1.00	2.67
M.O.	7.65	16.26	196.24	1.00	2.67

Πίνακας 11.3.1 : Προσδιορισμός ποσοστού κένων και VMA

Αριθμός δοκιμίου	Όγκος ασφάλτου	Όγκος αδρανών	Ποσοστό κενών	VMA
	(cm ³)	(cm ³)	(%)	(%)
1	11.65	78.24	10.11	21.76
2	11.70	76.61	9.69	21.39
M.O.	11.67	78.43	9.90	21.57
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
M.O.				
5	11.57	77.75	10.67	22.25
6	11.61	78.00	10.38	22.00
M.O.	11.59	77.88	10.63	22.12
7	13.31	77.27	9.42	22.73
8	13.22	76.75	10.03	23.25
M.O.	13.26	77.01	9.72	22.99
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-
M.O.				
11	13.09	76.02	10.88	23.98
12	12.64	73.38	13.98	26.62
M.O.	12.87	74.70	12.43	25.30
13	15.73	79.98	4.29	20.02
14	15.59	79.29	5.12	20.71
M.O.	15.66	79.64	4.70	20.36
15	-	-	-	-
16	-	-	-	-
M.O.				
17	14.85	75.53	9.61	24.47
18	14.63	74.41	10.96	25.59
M.O.	14.74	74.97	10.28	25.03
19	16.47	74.48	9.05	25.52
20	16.38	74.07	9.55	25.93
M.O.	16.43	74.27	9.30	25.73
21	-	-	-	-
22	-	-	-	-
M.O.				
23	16.47	74.45	9.09	25.55
24	16.05	72.55	11.41	27.45
M.O.	16.26	73.50	10.25	26.60

Πίνακας 11.3.2 : Προσδιορισμός ποσοστού κενών και VMA

Αριθμός δοκιμίου	Ξ Ε.	Δ.Ε.	Συντελεστής δόρθωσης	Δ.Ξ Ε.	Δ.Δ.Ε.	Διατηρηθείσα ευαισθησία
	(N)	(N)		(N)	(N)	(Δ.Δ.Ε. / Δ.Ξ.Ε. *100)
1	1650	-	1.018	1679.70	-	
2	1820	-	1.018	1852.76	-	
M.O.	1735			1766.23		
3	-	1900	1.04	-	1978.00	
4	-	1920	1.04	-	1996.80	
M.O.		1910			1988.40	
5	-	-	-	-	-	
6	-	-	-	-	-	
M.O.						
						112.47
7	1800	-	1.018	1832.40	-	
8	1790	-	1.018	1822.22	-	
M.O.	1795			1827.31		
9	-	1900	0.94	-	1786.00	
10	-	1910	1.018	-	1842.58	
M.O.		1855			1814.29	
11	-	-	-	-	-	
12	-	-	-	-	-	
M.O.						
						99.29
13	1900	-	1.068	2029.20	-	
14	1900	-	1.04	1976.00	-	
M.O.	1900			2002.60		
15	-	2000	1.018	-	2038.00	
16	-	1900	1.018	-	1934.20	
M.O.		1950			1985.10	
17	-	-	-	-	-	
18	-	-	-	-	-	
M.O.						
						99.13
19	1920	-	0.961	1845.12	-	
20	1940	-	0.987	1914.78	-	
M.O.	1930			1879.95		
21	-	1750	0.987	-	1727.25	
22	-	1810	0.94	-	1701.40	
M.O.		1780			1714.33	
23	-	-	-	-	-	
24	-	-	-	-	-	
M.O.						
						91.19

Πίνακας 11.4 : Προσδιορισμός έτηρης και διαβρωμένης ευαισθησίας

Αριθμός δοκιμίου	Ξηρά" Υποχώρηση (mm)	"Διαβρεγμένη" Υποχώρηση (mm)	Βάρος Α (gr)	Βάρος Β (gr)	Απορροφηθείσα Υγρασία (B-A) / A * 100
1	9.65	-	-	-	-
2	5.40	-	-	-	-
M.O.	7.53				
3	-	5.20	1073.50	1098.30	2.31
4	-	6.10	1075.20	1100.40	2.34
M.O.		5.65	1074.35	1099.35	2.33
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
M.O.					
7	5.40	-	-	-	-
8	6.10	-	-	-	-
M.O.	5.75				
9	-	6.40	1122.10	1149.10	2.41
10	-	6.90	1114.20	1141.50	2.45
M.O.		6.65	1118.15	1145.30	2.43
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
M.O.					
13	5.00	-	-	-	-
14	7.10	-	-	-	-
M.O.	6.05				
15	-	8.00	1070.10	1091.40	1.99
16	-	6.10	1078.20	1097.80	1.82
M.O.		6.85	1074.15	1094.60	1.90
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
M.O.					
19	5.10	-	-	-	-
20	6.20	-	-	-	-
M.O.	5.65				
21	-	5.80	1074.30	1096.80	2.09
22	-	6.00	1111.80	1135.80	2.16
M.O.		5.90	1093.05	1118.30	2.13
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
M.O.					

Πίνακας 11.6 : Προσδιορισμός ξηράς και διαβρεγμένης υποχώρησης και απορροφηθείσης υγρασίας

Αριθμός δοκιμίου	"Ξηρό" μέτρο δυσκαμψίας (Mpa)						"Διοβρεγμένο" μέτρο δυσκαμψίας (Mpa)		
	7 ημερών			15 ημερών			7 ημερών		
	Διεύθυνση			Διεύθυνση			Διεύθυνση		
	a	b	Τελικό	a	b	Τελικό	a	b	Τελικό
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	250	200	250	-	-	-	-	-	-
M.O.			250						
3	-	-	-	-	-	-	150	150	150
4	-	-	-	-	-	-	150	150	150
M.O.									150
5	-	-	-	250	250	250	-	-	-
6	-	-	-	350	350	350	-	-	-
M.O.						300			
7	150	200	200	-	-	-	-	-	-
8	150	150	150	-	-	-	-	-	-
M.O.			175						
9	-	-	-	-	-	-	100	150	150
10	-	-	-	-	-	-	100	100	100
M.O.									125
11	-	-	-	200	250	250	-	-	-
12	-	-	-	150	150	150	-	-	-
M.O.						200			
13	150	150	150	-	-	-	-	-	-
14	100	100	100	-	-	-	-	-	-
M.O.			125						
15	-	-	-	-	-	-	150	150	150
16	-	-	-	-	-	-	150	200	200
M.O.									175
17	-	-	-	250	250	250	-	-	-
18	-	-	-	200	250	250	-	-	-
M.O.						250			
19	150	100	150	-	-	-	-	-	-
20	150	100	150	-	-	-	-	-	-
M.O.			150						
21	-	-	-	-	-	-	100	100	100
22	-	-	-	-	-	-	100	100	100
M.O.									100
23	-	-	-	200	200	200	-	-	-
24	-	-	-	200	200	200	-	-	-
M.O.						200			

Πίνακας 11.8 : Προσδιορισμός Μέτρου Δυσκαμψίας
(Θερμοκρασία 25-27°C)

ΠΙΝΑΚΑΣ 12 : Αποτελέσματα ελέγχων δοκιμών
(Συνδετικό υλικό : Ανιονικού τύπου γαλάκτωμα ελαστομερές)

Αριθμός δοκιμίου	Ασφαλτός (%κ.β.ξ.α.)	Γαλάκτωμα (%κ.β.ξ.α.)	Νερό Γαλακτώματος (%κ.β.ξ.α.)	Νερό Προσπιθέμενο (%κ.β.ξ.α.)	Νερό Συνολικό (%κ.β.ξ.α.)	Σύνολο Ρευστικών (%κ.β.ξ.α.)
1	6.00	9.68	3.68	1.00	4.68	10.68
2	6.00	9.68	3.68	1.00	4.68	10.68
M.O.	6.00	9.68	3.68	1.00	4.68	10.68
3	6.00	9.68	3.68	1.00	4.68	10.68
4	6.00	9.68	3.68	1.00	4.68	10.68
M.O.	6.00	9.68	3.68	1.00	4.68	10.68
5	6.00	9.68	3.68	1.00	4.68	10.68
6	6.00	9.68	3.68	1.00	4.68	10.68
M.O.	6.00	9.68	3.68	1.00	4.68	10.68
7	5.00	8.06	3.06	1.62	4.68	9.68
8	5.00	8.06	3.06	1.62	4.68	9.68
M.O.	5.00	8.06	3.06	1.62	4.68	9.68
9	5.00	8.06	3.06	1.62	4.68	9.68
10	5.00	8.06	3.06	1.62	4.68	9.68
M.O.	5.00	8.06	3.06	1.62	4.68	9.68
11	5.00	8.06	3.06	1.62	4.68	9.68
12	5.00	8.06	3.06	1.62	4.68	9.68
M.O.	5.00	8.06	3.06	1.62	4.68	9.68
13	4.00	6.45	2.45	2.23	4.68	8.68
14	4.00	6.45	2.45	2.23	4.68	8.68
M.O.	4.00	6.45	2.45	2.23	4.68	8.68
15	4.00	6.45	2.45	2.23	4.68	8.68
16	4.00	6.45	2.45	2.23	4.68	8.68
M.O.	4.00	6.45	2.45	2.23	4.68	8.68
17	4.00	6.45	2.45	2.23	4.68	8.68
18	4.00	6.45	2.45	2.23	4.68	8.68
M.O.	4.00	6.45	2.45	2.23	4.68	8.68
19	3.00	4.84	1.84	2.84	4.68	7.68
20	3.00	4.84	1.84	2.84	4.68	7.68
M.O.	3.00	4.84	1.84	2.84	4.68	7.68
21	3.00	4.84	1.84	2.84	4.68	7.68
22	3.00	4.84	1.84	2.84	4.68	7.68
M.O.	3.00	4.84	1.84	2.84	4.68	7.68
23	3.00	4.84	1.84	2.84	4.68	7.68
24	3.00	4.84	1.84	2.84	4.68	7.68
M.O.	3.00	4.84	1.84	2.84	4.68	7.68

Πίνακας 12.1 : Σύγκριση δοκιμών

Αριθμός δοκιμίου	Ύψος δοκιμίου	Διάμετρος δοκιμίου	Όγκος δοκιμίου	Βάρος δοκιμίου	Φ.Ε.Β. δοκιμίου	Ξηρό βάρος	Ξ.Ε.Β. δοκιμίου
	(mm)	(mm)	(cm ³)	(gr)	(gr/cm ³)	(gr)	(gr/cm ³)
1	70	100	549.78	1282.60	2.30	1249.70	2.27
2	61	100	479.09	1101.00	2.30	1089.40	2.27
M.O.					2.30		2.27
3	67	100	526.22	1195.60	2.27	-	-
4	64	100	502.85	1145.40	2.28	-	-
M.O.					2.28		
5	68	100	534.07	1253.90	2.35	1237.70	2.32
6	60	100	471.24	1101.60	2.34	1088.00	2.31
M.O.					2.34		2.31
7	62	100	486.95	1129.60	2.32	1117.20	2.29
8	60	100	471.24	1061.30	2.25	1049.00	2.23
M.O.					2.28		2.26
9	62	100	486.95	1106.30	2.27	-	-
10	60	100	471.24	1061.60	2.25	-	-
M.O.					2.26		
11	62	100	486.95	1096.60	2.25	1082.00	2.22
12	62	100	486.95	1104.50	2.27	1088.90	2.24
M.O.					2.26		2.23
13	64	100	502.85	1133.20	2.25	1118.90	2.23
14	59	100	463.38	1036.40	2.24	1026.00	2.21
M.O.					2.25		2.22
15	64	100	502.65	1125.10	2.24	-	-
16	61	100	479.09	1053.10	2.20	-	-
M.O.					2.22		
17	67	100	526.22	1185.00	2.21	1150.40	2.19
18	62	100	486.95	1074.60	2.21	1062.10	2.18
M.O.					2.21		2.18
19	60	100	471.24	1026.60	2.18	1019.40	2.16
20	62	100	486.95	1046.80	2.15	1040.10	2.14
M.O.					2.16		2.15
21	65	100	510.51	1119.90	2.19	-	-
22	60	100	471.24	1021.90	2.17	-	-
M.O.					2.18		
23	64	100	502.65	1087.80	2.16	1079.20	2.15
24	63	100	494.80	1080.80	2.18	1073.00	2.17
M.O.					2.17		2.16

Πίνακας 12.2 : Προσδιορισμός Φ.Ε.Β. και Ξ.Ε.Β.

Αριθμός δοκιμίου	Άσφαλτος (%κ.β.μίγματος)	Βάρος ασφάλτου (gr στα 100cm ³)	Βάρος αδρανών (gr στα 100cm ³)	Ειδ.Βάρος ασφάλτου (gr/cm ³)	Ειδ.Βάρος αδρανών (gr/cm ³)
1	5.42	12.32	214.99	1.00	2.67
2	5.42	12.32	215.06	1.00	2.67
M.O.	5.42	12.32	215.03	1.00	2.67
3	5.42	-	-	-	-
4	5.42	-	-	-	-
M.O.	5.42				
5	5.42	12.56	219.19	1.00	2.67
6	5.42	12.51	218.37	1.00	2.67
M.O.	5.42	12.54	218.78	1.00	2.67
7	4.58	10.46	218.97	1.00	2.67
8	4.58	10.15	212.45	1.00	2.67
M.O.	4.56	10.31	216.71	1.00	2.67
9	4.58	-	-	-	-
10	4.58	-	-	-	-
M.O.	4.58				
11	4.58	10.13	212.07	1.00	2.67
12	4.58	10.20	213.42	1.00	2.67
M.O.	4.56	10.18	212.74	1.00	2.67
13	3.68	8.19	214.41	1.00	2.67
14	3.68	8.15	213.27	1.00	2.67
M.O.	3.68	8.17	213.84	1.00	2.67
15	3.68	-	-	-	-
16	3.68	-	-	-	-
M.O.	3.68				
17	3.68	8.05	210.57	1.00	2.67
18	3.68	8.03	210.09	1.00	2.67
M.O.	3.68	8.04	210.33	1.00	2.67
19	2.79	6.04	210.29	1.00	2.67
20	2.79	5.96	207.84	1.00	2.67
M.O.	2.79	6.00	208.86	1.00	2.67
21	2.79	-	-	-	-
22	2.79	-	-	-	-
M.O.	2.79				
23	2.79	5.99	208.71	1.00	2.67
24	2.79	6.05	210.80	1.00	2.67
M.O.	2.79	6.02	209.76	1.00	2.67

Πίνακας 12.3.1 : Προσδιορισμός ποσοστού κενών και VMA

Αριθμός δοκιμίου	Όγκος ασφάλτου	Όγκος αδρανών	Ποσοστό κενών	VMA
	(cm ³)	(cm ³)	(%)	(%)
1	12.32	80.52	7.16	19.48
2	12.32	80.55	7.13	19.45
M.O.	12.32	80.53	7.14	19.47
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
M.O.				
5	12.56	82.09	5.35	17.91
6	12.51	81.79	5.70	18.21
M.O.	12.64	81.94	5.52	18.06
7	10.46	82.01	7.53	17.98
8	10.15	79.57	10.28	20.43
M.O.	10.31	80.79	8.90	19.21
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-
M.O.				
11	10.13	79.43	10.44	20.57
12	10.20	79.63	9.87	20.07
M.O.	10.16	79.66	10.16	20.32
13	8.19	80.30	11.51	19.70
14	8.15	79.87	11.98	20.13
M.O.	8.17	80.09	11.74	19.91
15	-	-	-	-
16	-	-	-	-
M.O.				
17	8.05	78.87	13.09	21.13
18	8.03	78.68	13.29	21.32
M.O.	8.04	78.78	13.19	21.22
19	8.04	78.78	15.21	21.24
20	5.96	77.77	16.27	22.23
M.O.	6.00	78.26	15.74	21.74
21	-	-	-	-
22	-	-	-	-
M.O.				
23	5.89	78.17	15.84	21.83
24	6.05	78.95	15.00	21.05
M.O.	6.02	78.66	15.42	21.44

Πίνακας 12.3.2 : Προσδιορισμός ποσοστού κενών και VMA

Αριθμός δοκιμίου	Ξ.Ε.	Δ.Ε.	Συντελεστής διόρθωσης	Δ.Ξ.Ε.	Δ.Δ.Ε.	Διατηρηθείσα ευαισθησία
	(N)	(N)		(N)	(N)	(Δ.Δ.Ε. / Δ.Ξ.Ε. *100)
1	2400	-	0.86	2064.00	-	
2	2400	-	1.068	2563.20	-	
M.O.	2400			2313.60		
3	-	2300	0.918	-	2111.40	
4	-	2210	0.987	-	2181.27	
M.O.		2285			2145.34	
5	-	-	-	-	-	
6	-	-	-	-	-	
M.O.						
						92.77
7	2600	-	1.04	2704.00	-	
8	2400	-	1.085	2628.00	-	
M.O.	2500			2666.00		
9	-	2450	1.04	-	2548.00	
10	-	2500	1.085	-	2737.50	
M.O.		2475			2642.75	
11	-	-	-	-	-	
12	-	-	-	-	-	
M.O.						
						98.13
13	3100	-	0.987	3059.70	-	
14	3110	-	1.122	3489.42	-	
M.O.	3106			3274.56		
15	-	3000	0.987	-	2961.00	
16	-	2850	1.068	-	3043.80	
M.O.		2925			3002.40	
17	-	-	-	-	-	
18	-	-	-	-	-	
M.O.						
						91.69
19	3090	-	1.095	3383.55	-	
20	2800	-	1.04	2704.00	-	
M.O.	2845			3043.78		
21	-	3350	0.961	-	3219.35	
22	-	3000	1.095	-	3285.00	
M.O.		3175			3252.18	
23	-	-	-	-	-	
24	-	-	-	-	-	
M.O.						
						106.86

Πίνακας 12.4 : Προσδιορισμός ξηρής και διαβρεγμένης ευαισθησίας

Αριθμός δοκιμίου	Ξηρή Υποχώρηση (mm)	Διαβρεγμένη Υποχώρηση (mm)	Βάρος Α (gr)	Βάρος Β (gr)	Απορροφηθείσα Υγρασία (B-A) / A * 100
1	8.10	-	-	-	-
2	9.85	-	-	-	-
M.O.	8.98				
3	-	9.20	1186.30	1198.50	1.03
4	-	7.90	1136.60	1145.30	0.77
M.O.		8.55	1161.45	1171.90	0.90
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
M.O.					
7	7.40	-	-	-	-
8	5.90	-	-	-	-
M.O.	6.65				
9	-	6.50	1096.90	1112.30	1.40
10	-	5.50	1053.10	1070.50	1.65
M.O.		6.00	1075.00	1091.40	1.53
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
M.O.					
13	6.60	-	-	-	-
14	6.20	-	-	-	-
M.O.	6.40				
15	-	7.60	1118.30	1134.70	1.47
16	-	5.20	1046.50	1065.00	1.77
M.O.		6.40	1082.40	1099.85	1.62
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
M.O.					
19	6.70	-	-	-	-
20	5.20	-	-	-	-
M.O.	5.95				
21	-	5.50	1112.20	1133.50	1.92
22	-	4.50	1015.20	1033.50	1.80
M.O.		5.00	1063.70	1083.50	1.86
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
M.O.					

Πίνακας 12.5 : Προσδιορισμός ξηρής και διαβρεγμένης υποχώρησης και απορροφηθείσας υγρασίας

Αριθμός δοκιμίου	"Ξηρά" μέτρο δυσκαμψίας (Μρα)						"Διαβρεγμένο" μέτρο δυσκαμψίας (Μρα)		
	7 ημερών			15 ημερών			7 ημερών		
	Διεύθυνση			Διεύθυνση			Διεύθυνση		
	a	b	Τελικό	a	b	Τελικό	a	b	Τελικό
1	250	300	275	-	-	-	-	-	-
2	300	400	350	-	-	-	-	-	-
M.O.			312.5						
3	-	-	-	-	-	-	250	250	250
4	-	-	-	-	-	-	250	200	225
M.O.									237.5
5	-	-	-	300	300	300	-	-	-
6	-	-	-	350	300	325	-	-	-
M.O.						312.5			
7	500	450	475	-	-	-	-	-	-
8	350	450	400	-	-	-	-	-	-
M.O.			437.5						
9	-	-	-	-	-	-	400	400	400
10	-	-	-	-	-	-	550	550	550
M.O.									475
11	-	-	-	600	600	600	-	-	-
12	-	-	-	600	550	575	-	-	-
M.O.						587.5			
13	650	850	850	-	-	-	-	-	-
14	750	750	750	-	-	-	-	-	-
M.O.			700						
15	-	-	-	-	-	-	450	400	425
16	-	-	-	-	-	-	650	800	725
M.O.									575
17	-	-	-	1050	950	1000	-	-	-
18	-	-	-	1250	1150	1200	-	-	-
M.O.						1100			
19	1000	950	975	-	-	-	-	-	-
20	850	850	850	-	-	-	-	-	-
M.O.			812.5						
21	-	-	-	-	-	-	750	750	750
22	-	-	-	-	-	-	800	750	775
M.O.									762.5
23	-	-	-	950	900	925	-	-	-
24	-	-	-	1050	950	1000	-	-	-
M.O.						962.5			

Πίνακας 12.6 : Προσδιορισμός Μέτρου Δυσκαμψίας
(Θερμοκρασία 25-27°C)

ΠΙΝΑΚΑΣ 13 : Αποτελέσματα ελέγχων δοκιμών
(Συνδετικό υλικό : Αθονοικαύ τύπου γαλάκτωμα μη ελαστομερές)

Αριθμός δοκιμίου	Άσφαλτος (%κ.β.ξ.α.)	Γαλάκτωμα (%κ.β.ξ.α.)	Νερό Γαλακτώματος (%κ.β.ξ.α.)	Νερό Προσθηθέν (%κ.β.ξ.α.)	Νερό Συνολικό (%κ.β.ξ.α.)	Σύνολο Ρευστών (%κ.β.ξ.α.)
1	8.00	9.68	3.68	1.00	4.68	10.68
2	6.00	9.68	3.68	1.00	4.68	10.68
M.O.	6.00	9.68	3.68	1.00	4.68	10.68
3	8.00	9.68	3.68	1.00	4.68	10.68
4	6.00	9.68	3.68	1.00	4.68	10.68
M.O.	6.00	9.68	3.68	1.00	4.68	10.68
5	8.00	9.68	3.68	1.00	4.68	10.68
6	8.00	9.68	3.68	1.00	4.68	10.68
M.O.	6.00	9.68	3.68	1.00	4.68	10.68
7	5.00	8.06	3.06	1.62	4.68	9.68
8	5.00	8.06	3.06	1.62	4.68	9.68
M.O.	5.00	8.06	3.06	1.62	4.68	9.68
9	5.00	8.06	3.06	1.62	4.68	9.68
10	5.00	8.06	3.06	1.62	4.68	9.68
M.O.	5.00	8.06	3.06	1.62	4.68	9.68
11	5.00	8.06	3.06	1.62	4.68	9.68
12	5.00	8.06	3.06	1.62	4.68	9.68
M.O.	5.00	8.06	3.06	1.62	4.68	9.68
13	4.00	6.45	2.45	2.23	4.68	8.68
14	4.00	6.45	2.45	2.23	4.68	8.68
M.O.	4.00	6.45	2.45	2.23	4.68	8.68
15	4.00	6.45	2.45	2.23	4.68	8.68
16	4.00	6.45	2.45	2.23	4.68	8.68
M.O.	4.00	6.45	2.45	2.23	4.68	8.68
17	4.00	6.45	2.45	2.23	4.68	8.68
18	4.00	6.45	2.45	2.23	4.68	8.68
M.O.	4.00	6.45	2.45	2.23	4.68	8.68
19	3.00	4.84	1.84	2.84	4.68	7.68
20	3.00	4.84	1.84	2.84	4.68	7.68
M.O.	3.00	4.84	1.84	2.84	4.68	7.68
21	3.00	4.84	1.84	2.84	4.68	7.68
22	3.00	4.84	1.84	2.84	4.68	7.68
M.O.	3.00	4.84	1.84	2.84	4.68	7.68
23	3.00	4.84	1.84	2.84	4.68	7.68
24	3.00	4.84	1.84	2.84	4.68	7.68
M.O.	3.00	4.84	1.84	2.84	4.68	7.68

Πίνακας 13.1 : Σύνοψη δοκιμών

Αριθμός δοκιμίου	Υψος δοκιμίου (mm)	Διάμετρος δοκιμίου (mm)	Όγκος δοκιμίου (cm ³)	Βάρος δοκιμίου (gr)	Φ.Ε.Β. δοκιμίου (gr/cm ³)	Ξηρό βάρος (gr)	Ξ.Ε.Β. δοκιμίου (gr/cm ³)
1	75	100	588.05	1356.60	2.30	1344.70	2.28
2	65	100	510.51	1081.30	2.12	1070.90	2.10
M.O.					2.21		2.19
3	68	100	534.07	1186.90	2.22	-	-
4	68	100	534.07	1134.80	2.12	-	-
M.O.					2.17		
5	65	100	510.51	1115.60	2.19	1102.50	2.16
6	58	100	455.53	1040.30	2.28	1027.70	2.26
M.O.					2.23		2.21
7	67	100	526.22	1186.40	2.25	1178.10	2.24
8	58	100	455.53	1055.90	2.32	1050.00	2.31
M.O.					2.29		2.27
9	65	100	510.51	1164.60	2.32	-	-
10	58	100	455.53	1059.60	2.33	-	-
M.O.					2.32		
11	62	100	466.95	1103.60	2.27	1092.90	2.24
12	64	100	502.65	1154.40	2.30	1143.60	2.28
M.O.					2.28		2.28
13	58	100	455.53	1076.20	2.36	1069.60	2.35
14	57	100	447.68	1033.10	2.31	1026.10	2.29
M.O.					2.34		2.32
15	62	100	466.95	1115.30	2.28	-	-
16	59	100	463.38	1056.10	2.28	-	-
M.O.					2.28		
17	59	100	463.38	1052.90	2.27	1043.00	2.25
18	56	100	439.82	1029.50	2.34	1021.40	2.32
M.O.					2.31		2.29
19	60	100	471.24	1080.60	2.29	1074.80	2.28
20	66	100	518.36	1227.50	2.37	1220.40	2.35
M.O.					2.33		2.32
21	62	100	466.95	1119.70	2.30	-	-
22	60	100	471.24	1054.00	2.24	-	-
M.O.					2.27		
23	61	100	479.09	1122.50	2.34	1115.20	2.33
24	61	100	479.09	1126.10	2.35	1116.60	2.33
M.O.					2.35		2.33

Πίνακας 13.2 : Προσδιορισμός Φ.Ε.Β. και Ξ.Ε.Β.

Αριθμός δοκιμίου	Άσφαλτος (%κ.β. μίγματος)	Βάρος ασφάλτου (gr στα 100cm ³)	Βάρος αδρανών (gr στα 100cm ³)	Ειδ.Βάρος ασφάλτου (gr/cm ³)	Ειδ.Βάρος αδρανών (gr/cm ³)
1	5.42	12.37	215.91	1.00	2.67
2	5.42	11.37	198.40	1.00	2.67
M.O.	5.42	11.87	207.18	1.00	2.67
3	5.42	-	-	-	-
4	5.42	-	-	-	-
M.O.	5.42				
5	5.42	11.71	204.26	1.00	2.67
6	5.42	12.23	213.38	1.00	2.67
M.O.	5.42	11.97	208.82	1.00	2.67
7	4.56	10.21	213.67	1.00	2.67
8	4.56	10.51	219.99	1.00	2.67
M.O.	4.56	10.36	216.43	1.00	2.67
9	4.56	-	-	-	-
10	4.56	-	-	-	-
M.O.	4.56				
11	4.56	10.23	214.20	1.00	2.67
12	4.56	10.37	217.14	1.00	2.67
M.O.	4.56	10.30	215.67	1.00	2.67
13	3.68	8.64	220.16	1.00	2.67
14	3.68	8.43	220.77	1.00	2.67
M.O.	3.68	8.54	223.47	1.00	2.67
15	3.68	-	-	-	-
16	3.68	-	-	-	-
M.O.	3.68				
17	3.68	8.28	218.80	1.00	2.67
18	3.68	8.55	223.68	1.00	2.67
M.O.	3.68	8.41	220.24	1.00	2.67
19	2.79	6.36	221.72	1.00	2.67
20	2.79	6.57	228.86	1.00	2.67
M.O.	2.79	6.47	225.29	1.00	2.67
21	2.79	-	-	-	-
22	2.79	-	-	-	-
M.O.	2.79				
23	2.79	6.49	226.28	1.00	2.67
24	2.79	6.51	226.97	1.00	2.67
M.O.	2.79	6.50	226.52	1.00	2.67

Πίνακας 13.3.1 : Προσδιορισμός ποσοστού κενών και VMA

Αριθμός δοκιμίου	Όγκος ασφάλτου (cm ³)	Όγκος αδρανών (cm ³)	Ποσοστό κενών (%)	VMA (%)
1	12.37	80.87	6.76	19.13
2	11.37	74.31	14.32	25.69
M.O.	11.87	77.59	10.64	22.41
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
M.O.				
5	11.71	76.50	11.79	23.50
6	12.23	79.92	7.86	20.08
M.O.	11.97	78.21	9.83	21.79
7	10.21	80.03	9.76	19.97
8	10.51	82.39	7.10	17.61
M.O.	10.36	81.21	8.43	18.79
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-
M.O.				
11	10.23	80.23	9.54	19.77
12	10.37	81.32	8.30	18.68
M.O.	10.30	80.78	8.92	19.22
13	8.64	84.70	8.65	15.30
14	8.43	82.69	8.88	17.31
M.O.	8.64	83.70	7.77	16.30
15	-	-	-	-
16	-	-	-	-
M.O.				
17	8.28	81.20	10.52	18.80
18	8.55	83.78	7.68	16.22
M.O.	8.41	82.49	9.10	17.51
19	6.36	83.04	10.60	16.96
20	6.57	85.72	7.71	14.28
M.O.	6.47	84.38	9.18	15.62
21	-	-	-	-
22	-	-	-	-
M.O.				
23	6.49	84.75	8.76	15.25
24	6.51	85.01	8.48	14.99
M.O.	6.50	84.88	8.62	15.12

Πίνακας 13.3.2 : Προσδιορισμός ποσοστού κενών και VMA

Αριθμός δοκιμίου	Ξ.Ε.	Δ.Ε.	Συντελεστής διόρθωσης	Δ.Ξ.Ε.	Δ.Δ.Ε.	Διατηρηθείσα ευστάθεια
	(N)	(N)		(N)	(N)	(Δ.Δ.Ε / Δ.Ξ.Ε *100)
1	3160	-	0.778	2458.48	-	
2	2350	-	0.961	2258.35	-	
M.O.	2755			2358.42		
3	-	2200	0.899	-	1977.80	
4	-	2220	0.899	-	1995.78	
M.O.		2210			1986.79	
5	-	-	-	-	-	
6	-	-	-	-	-	
M.O.						
64.24						
7	3810	-	0.918	3509.38	-	
8	3530	-	1.1598	4094.09	-	
M.O.	3720			3841.74		
9	-	3040	0.981	-	2921.44	
10	-	3280	1.1598	-	3804.14	
M.O.		3160			3362.79	
11	-	-	-	-	-	
12	-	-	-	-	-	
M.O.						
67.53						
13	4450	-	1.1598	5181.11	-	
14	5320	-	1.1095	6381.34	-	
M.O.	4885			5771.23		
15	-	3800	1.04	-	3952.00	
16	-	4520	1.12	-	5062.40	
M.O.		4160			4507.20	
17	-	-	-	-	-	
18	-	-	-	-	-	
M.O.						
78.10						
19	4000	-	1.095	4380.00	-	
20	4600	-	0.94	4324.00	-	
M.O.	4300			4352.00		
21	-	4200	1.04	-	4368.00	
22	-	5000	1.095	-	5475.00	
M.O.		4600			4921.60	
23	-	-	-	-	-	
24	-	-	-	-	-	
M.O.						
113.09						

Πίνακας 13.4 : Προσδιορισμός ξηρής και διαβρεγμένης ευστάθειας

Αριθμός δοκιμίου	"Ξηρή" Υποχώρηση (mm)	"Διαβρεγμένη" Υποχώρηση (mm)	Βάρος Α (gr)	Βάρος Β (gr)	Απορροφηθείσα Υγρασία (B-A) / A * 100
1	4.50	-	-	-	-
2	4.70	-	-	-	-
M.O.	4.60				
3	-	9.00	1180.40	1182.50	0.18
4	-	7.30	1128.90	1130.20	0.12
M.O.		8.15	1164.65	1166.35	0.15
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
M.O.					
7	7.50	-	-	-	-
8	6.10	-	-	-	-
M.O.	6.80				
9	-	7.80	1179.00	1184.10	0.43
10	-	8.80	1053.80	1059.20	0.51
M.O.		8.30	1116.40	1121.85	0.47
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
M.O.					
13	3.60	-	-	-	-
14	7.80	-	-	-	-
M.O.	5.60				
15	-	7.00	1110.10	1112.30	0.20
16	-	6.20	1050.30	1053.20	0.28
M.O.		6.60	1080.20	1082.75	0.24
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
M.O.					
19	5.00	-	-	-	-
20	5.20	-	-	-	-
M.O.	5.10				
21	-	5.00	1113.40	1118.20	0.43
22	-	5.10	1048.90	1053.10	0.40
M.O.		5.05	1081.15	1085.65	0.42
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
M.O.					

Πίνακας 13.5 : Προσδιορισμός ξηρής και διαβρεγμένης υποχώρησης και απορροφηθείσης υγρασίας

Αριθμός δοκιμίου	Ήπιο μέτρο δυσκαμψίας (Μρα)						Διαβρεγμένο μέτρο δυσκαμψίας (Μρα)		
	7 ημερών			15 ημερών			7 ημερών		
	Διεύθυνση			Διεύθυνση			Διεύθυνση		
	a	b	Τελικό	a	b	Τελικό	a	b	Τελικό
1	350	350	350	-	-	-	-	-	-
2	500	400	450	-	-	-	-	-	-
M.O.			400						
3	-	-	-	-	-	-	150	150	150
4	-	-	-	-	-	-	150	150	150
M.O.									150
5	-	-	-	750	800	775	-	-	-
6	-	-	-	850	900	875	-	-	-
M.O.						825			
7	700	700	700	-	-	-	-	-	-
8	750	800	775	-	-	-	-	-	-
M.O.			737.5						
9	-	-	-	-	-	-	300	300	300
10	-	-	-	-	-	-	650	650	650
M.O.									475
11	-	-	-	1000	1000	1000	-	-	-
12	-	-	-	1000	1000	1000	-	-	-
M.O.						1000			
13	1050	1050	1050	-	-	-	-	-	-
14	1100	1050	1075	-	-	-	-	-	-
M.O.			1062.5						
15	-	-	-	-	-	-	500	500	500
16	-	-	-	-	-	-	850	900	875
M.O.									667.5
17	-	-	-	1650	1450	1550	-	-	-
18	-	-	-	1500	1200	1350	-	-	-
M.O.						1450			
19	1100	1200	1150	-	-	-	-	-	-
20	1350	1300	1325	-	-	-	-	-	-
M.O.			1237.5						
21	-	-	-	-	-	-	1050	1050	1050
22	-	-	-	-	-	-	1200	1150	1175
M.O.									1112.5
23	-	-	-	2200	2100	2150	-	-	-
24	-	-	-	1950	1850	1900	-	-	-
M.O.						2025			

Πίνακας 13.6 : Προσδιορισμός Μέτρου Δυσκαμψίας
(Θερμοκρασία 25-27°C)

Δ) ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ

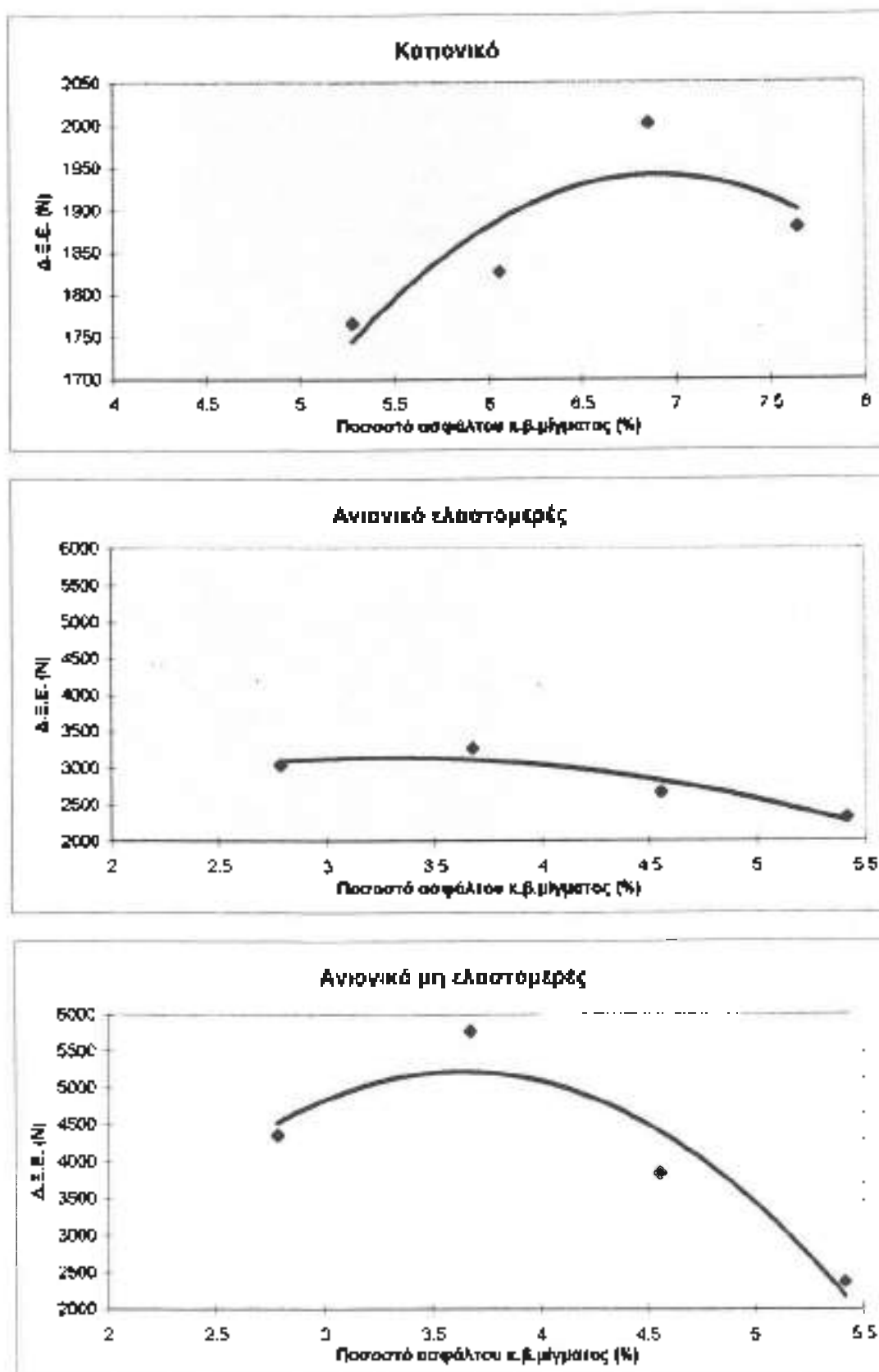
Προκειμένου να καθορισθεί η βέλτιστη περιεκτικότητα ασφάλτου, είναι απαραίτητος ο σχεδιασμός διαγραμμάτων που περιέχουν ιδιότητες του μίγματος συναρτήσει των ποσοστών ασφάλτων κ.β. μίγματος.

Οι ιδιότητες αυτές είναι :

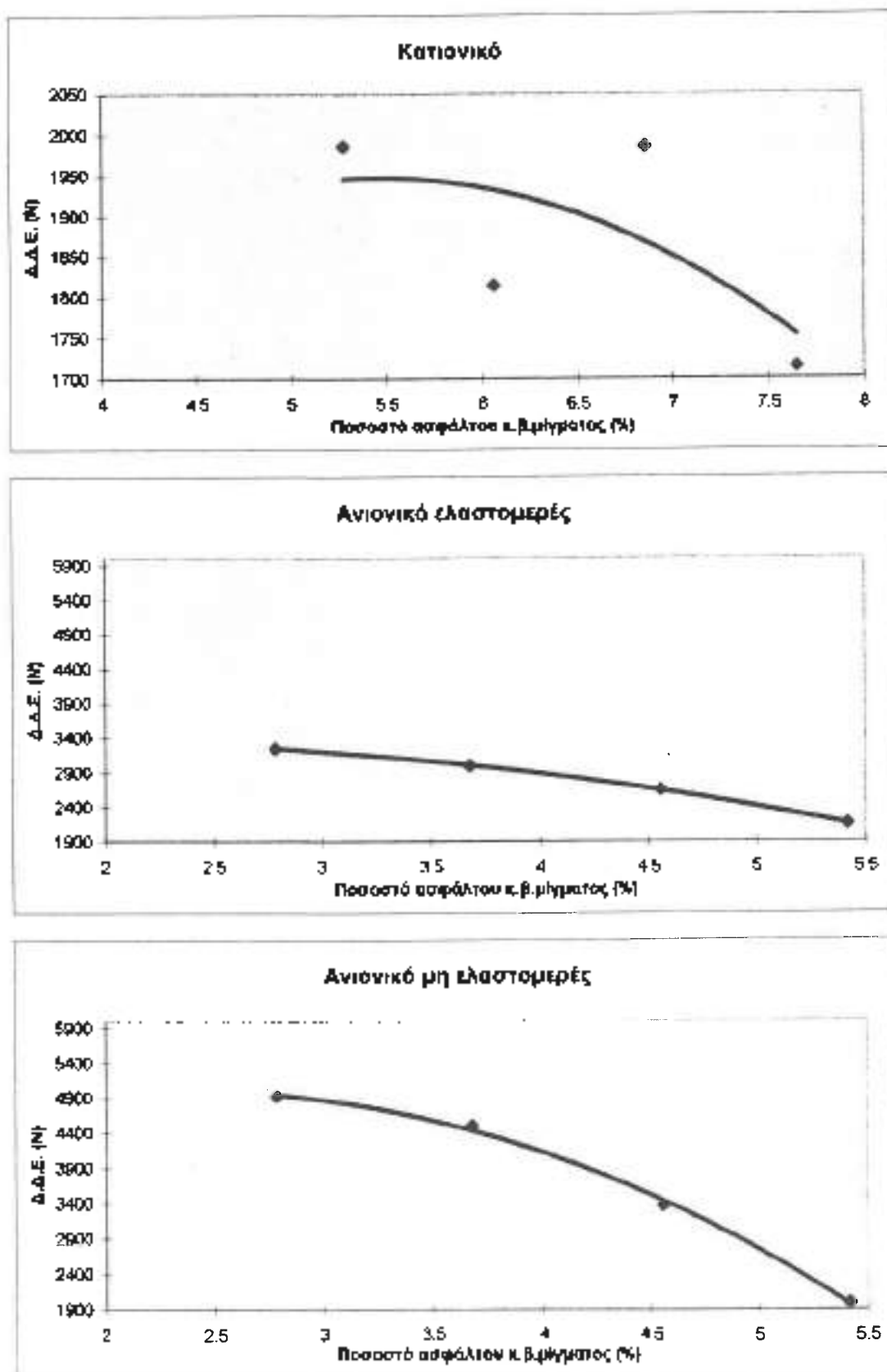
- Διορθωμένη Ξηρή Ευστάθεια (Διάγραμμα 11)
- Διορθωμένη Διαβρεγμένη Ευστάθεια (Διάγραμμα 12)
- Διατηρηθείσα Ευστάθεια (Διάγραμμα 13)
- Απορροφηθείσα Υγρασία (Διάγραμμα 14)
- Ξηρό Ειδικό Βάρος 7 ημερών (Διάγραμμα 15)
- Ξηρό Ειδικό Βάρος 15 ημερών (Διάγραμμα 16)
- Ποσοστό κενών 7 ημερών (Διάγραμμα 17)
- Ποσοστό κενών 15 ημερών (Διάγραμμα 18)
- Ποσοστό VMA 7 ημερών (Διάγραμμα 19)
- Ποσοστό VMA 15 ημερών (Διάγραμμα 20)
- "Ξηρή" Υποχώρηση (Διάγραμμα 21)
- "Διαβρεγμένη" Υποχώρηση (Διάγραμμα 22)
- "Ξηρό" Μέτρο Δυσκαμψίας 7 ημερών (Διάγραμμα 23)
- "Ξηρό" Μέτρο Δυσκαμψίας 15 ημερών (Διάγραμμα 24)
- "Διαβρεγμένο" Μέτρο Δυσκαμψίας 7 ημερών (Διάγραμμα 25)
- Φαινόμενο Ειδικό Βάρος 7 ημερών (Διάγραμμα 26)
- Φαινόμενο Ειδικό Βάρος 15 ημερών (Διάγραμμα 27)

Να σημειωθεί ότι σε κάθε σελίδα, σχεδιάζονται τρία διαγράμματα για την ίδια ιδιότητα. Το πρώτο αναφέρεται στα κατιονικά, το δεύτερο στα ανιονικά ελαστομερή και το τρίτο στα ανιονικά μη ελαστομερή γαλακτώματα.

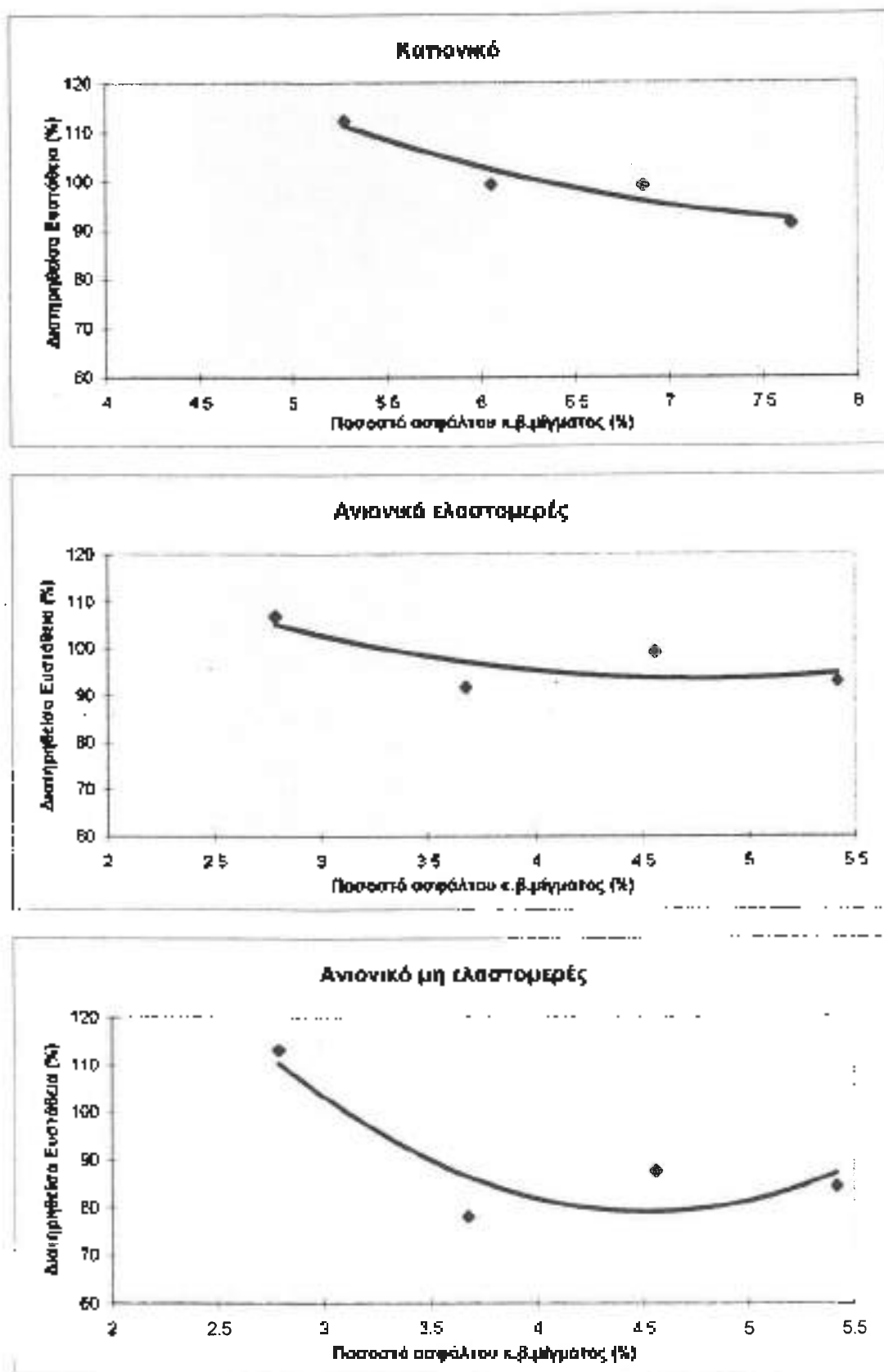
Διάγραμμα 11 : Διορθωμένη Ξηρή Ευστάθεια - Ποσοστό ασφάλτου κ.β.μίγματος



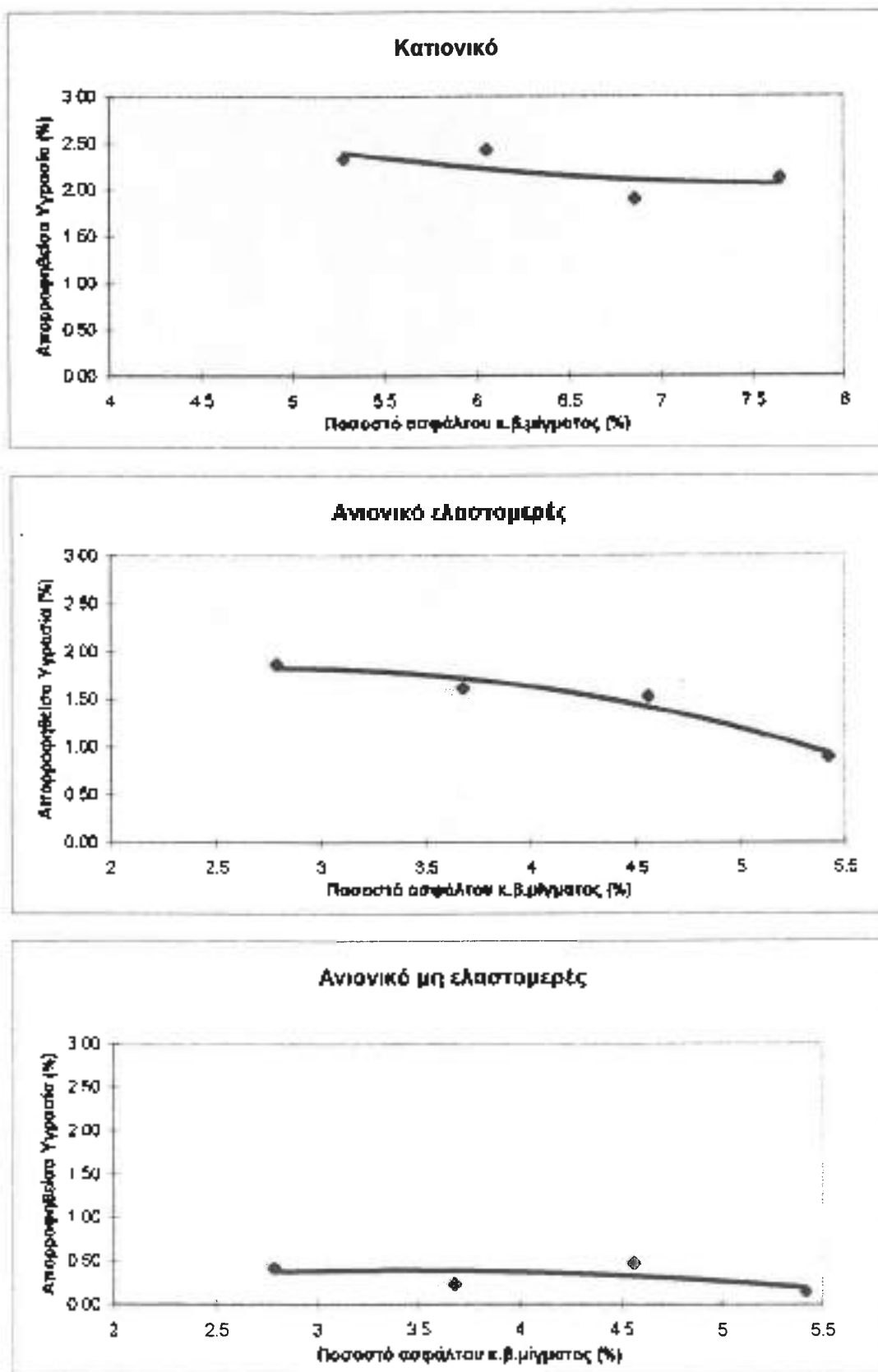
Διάγραμμα 12 : Διορθωμένη Διαβρεγμένη Ευστάθεια - Ποσοστό ασφάλτου κ.β.μίγματος



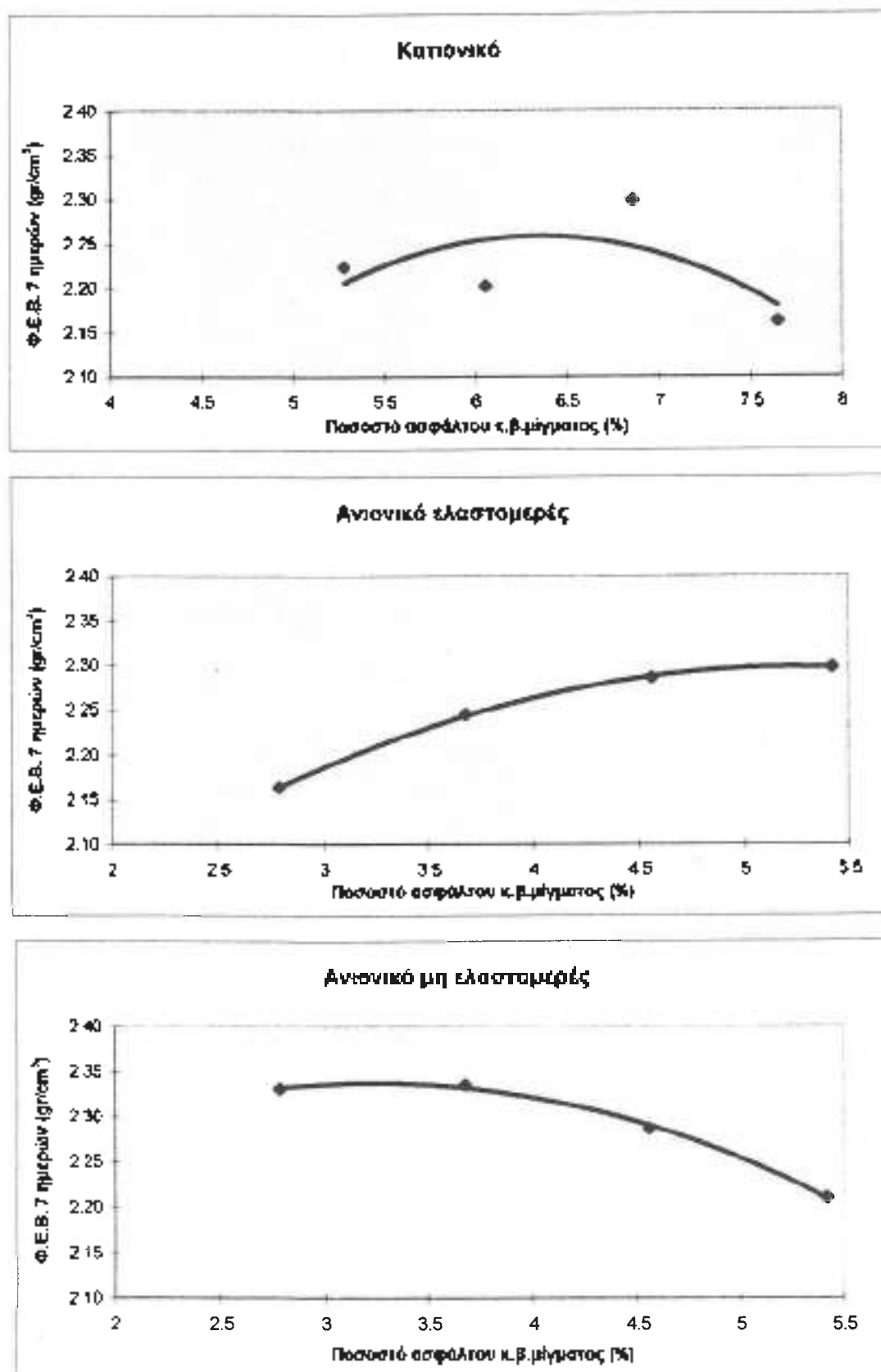
Διάγραμμα 13 : Διατηρηθείσα Ευστόθεια - Ποσοστό ασφάλτου κ.β.μίγματος



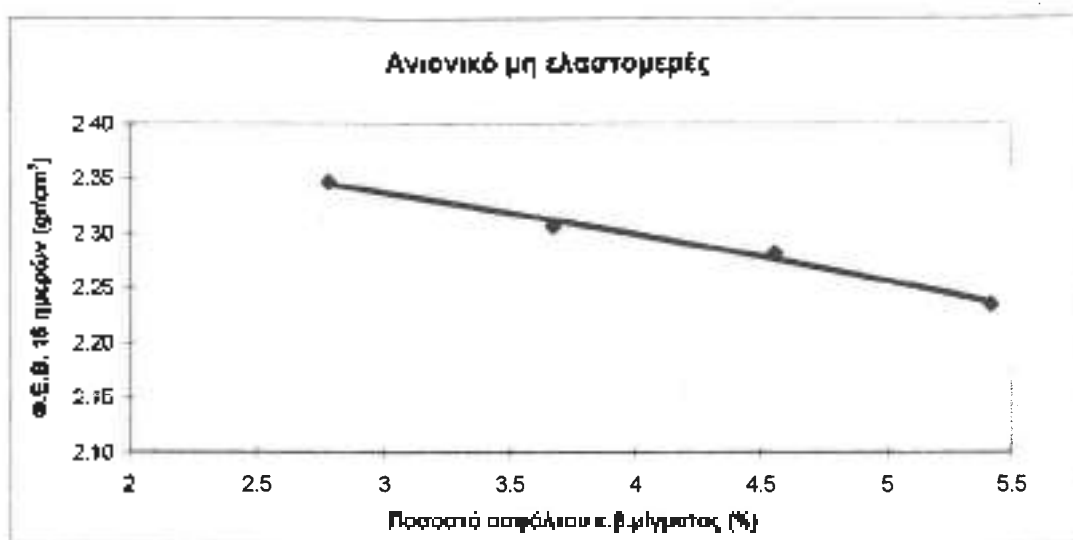
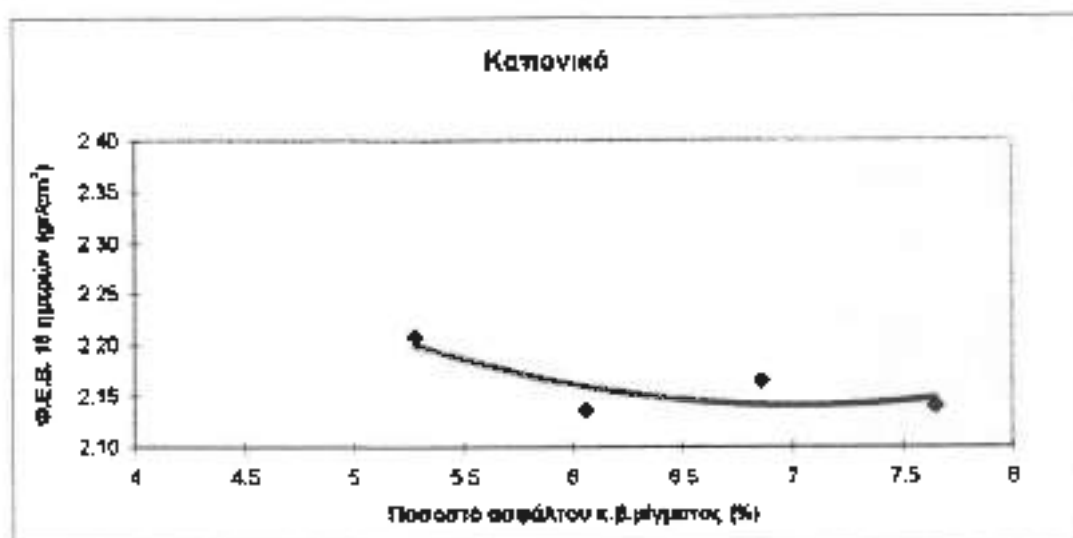
Διάγραμμα 14 : Απορροφηθείσα υγρασία - Ποσοστό ασφάλτου κ.β.μίγματος



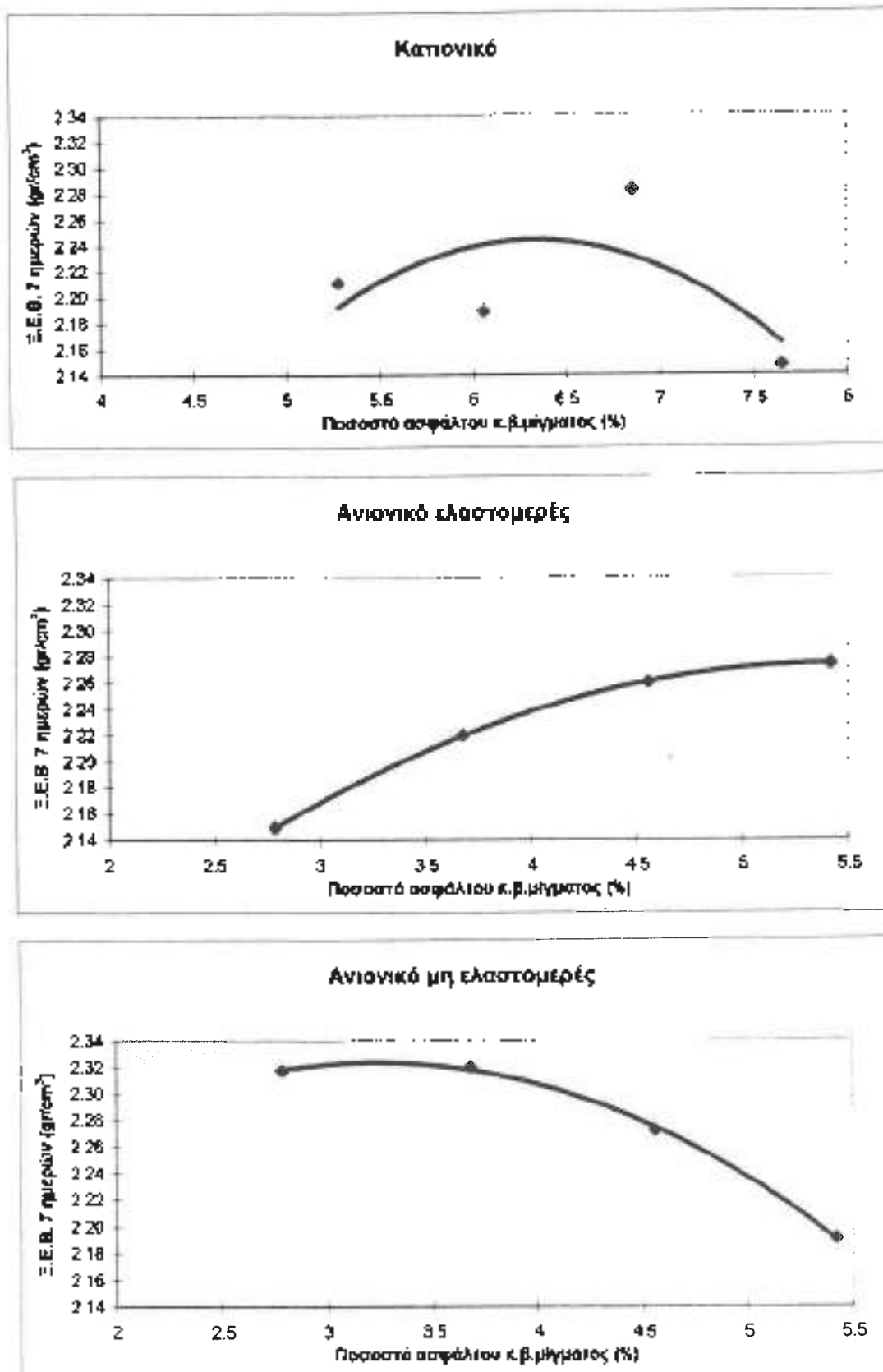
Διάγραμμα 15 : Φαινόμενο Ειδικό Βάρος (7 ημερών) - Ποσοστό ασφάλτου κ.β.μίγματος



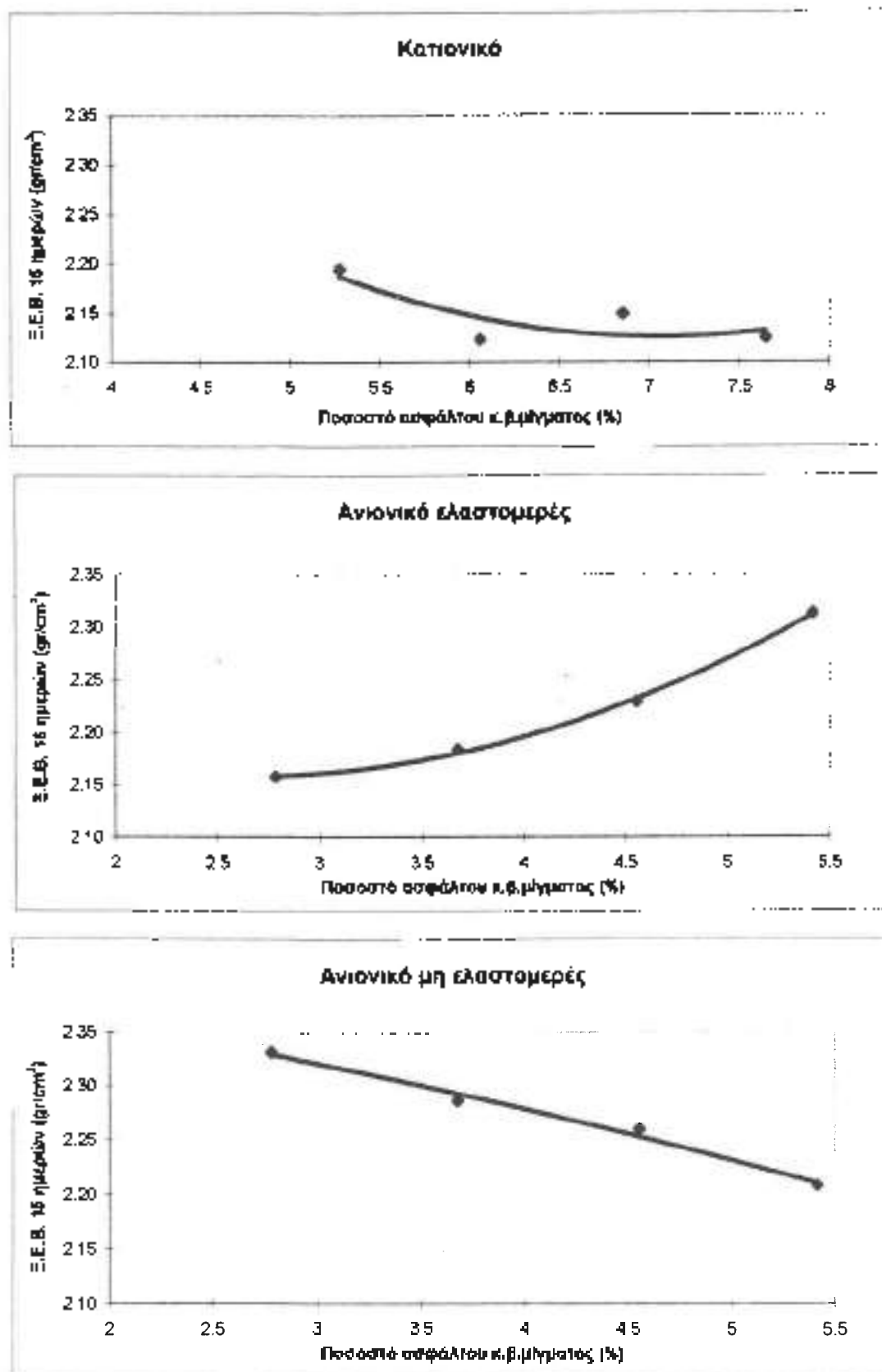
Διάγραμμα 18 : Φαινόμενο Ειδικό Βάρος (15 ημερών) - Ποσοστό ασφάλτου κ.β.μίγματος



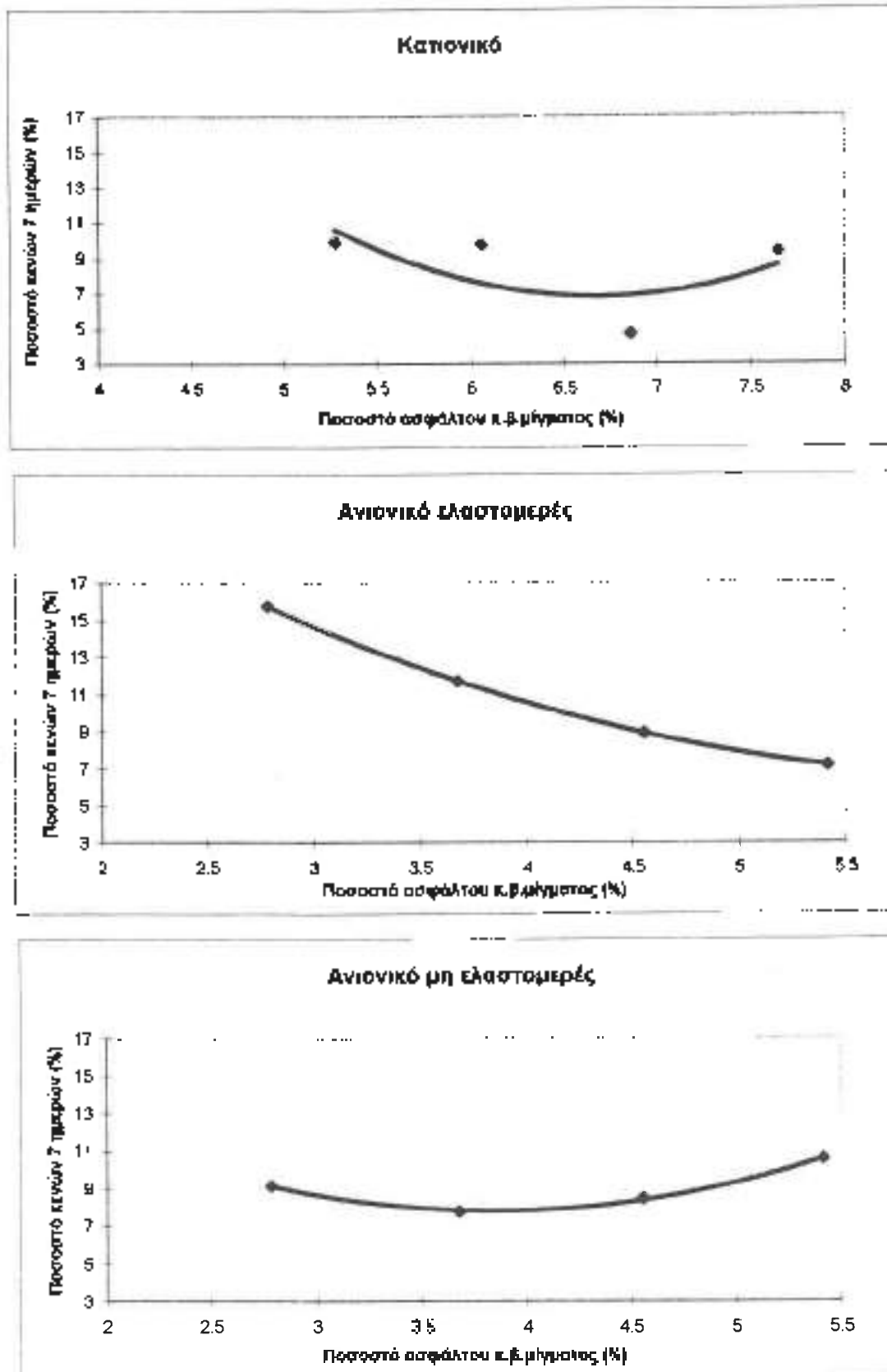
Διάγραμμα 17 : Ξηρό Ειδικό Βάρος (7 ημερών) - Ποσοστά ασφάλτου κ.β.μίγματος



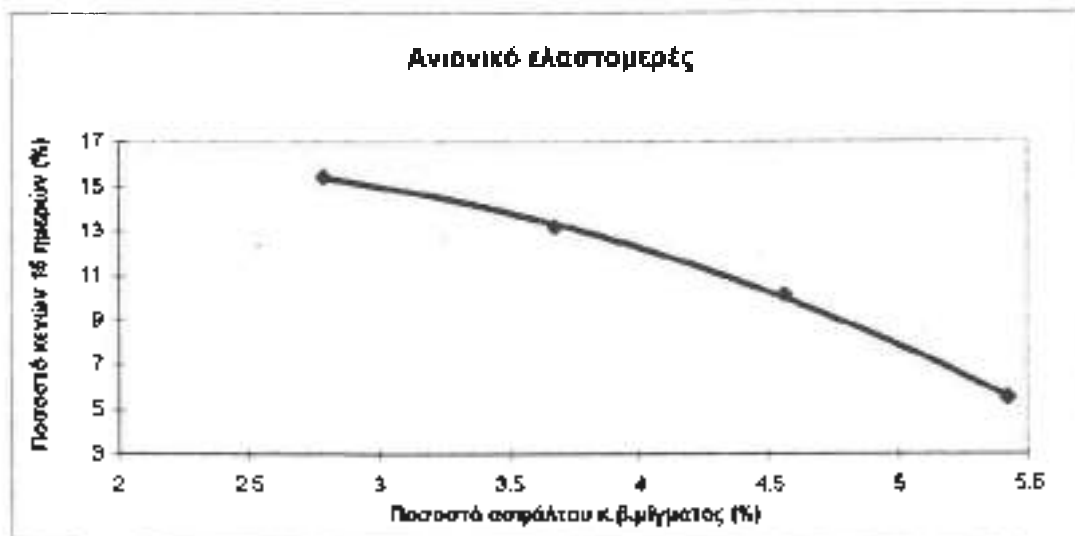
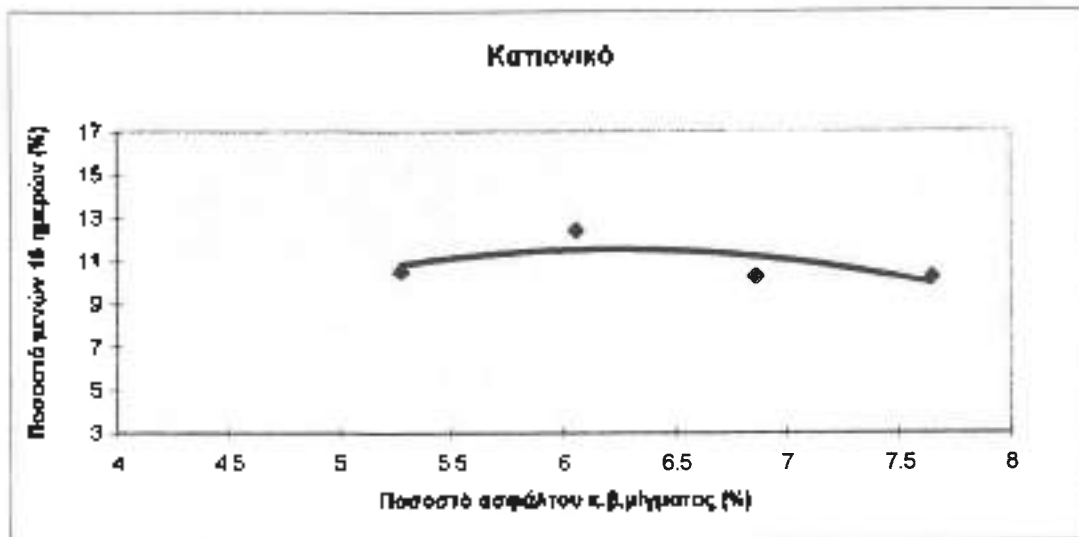
Διάγραμμα 16 : Ξηρό Ειδικό Βάρος (15 ημερών) - Ποσοστό ασφάλτου κ.β.μίγματος



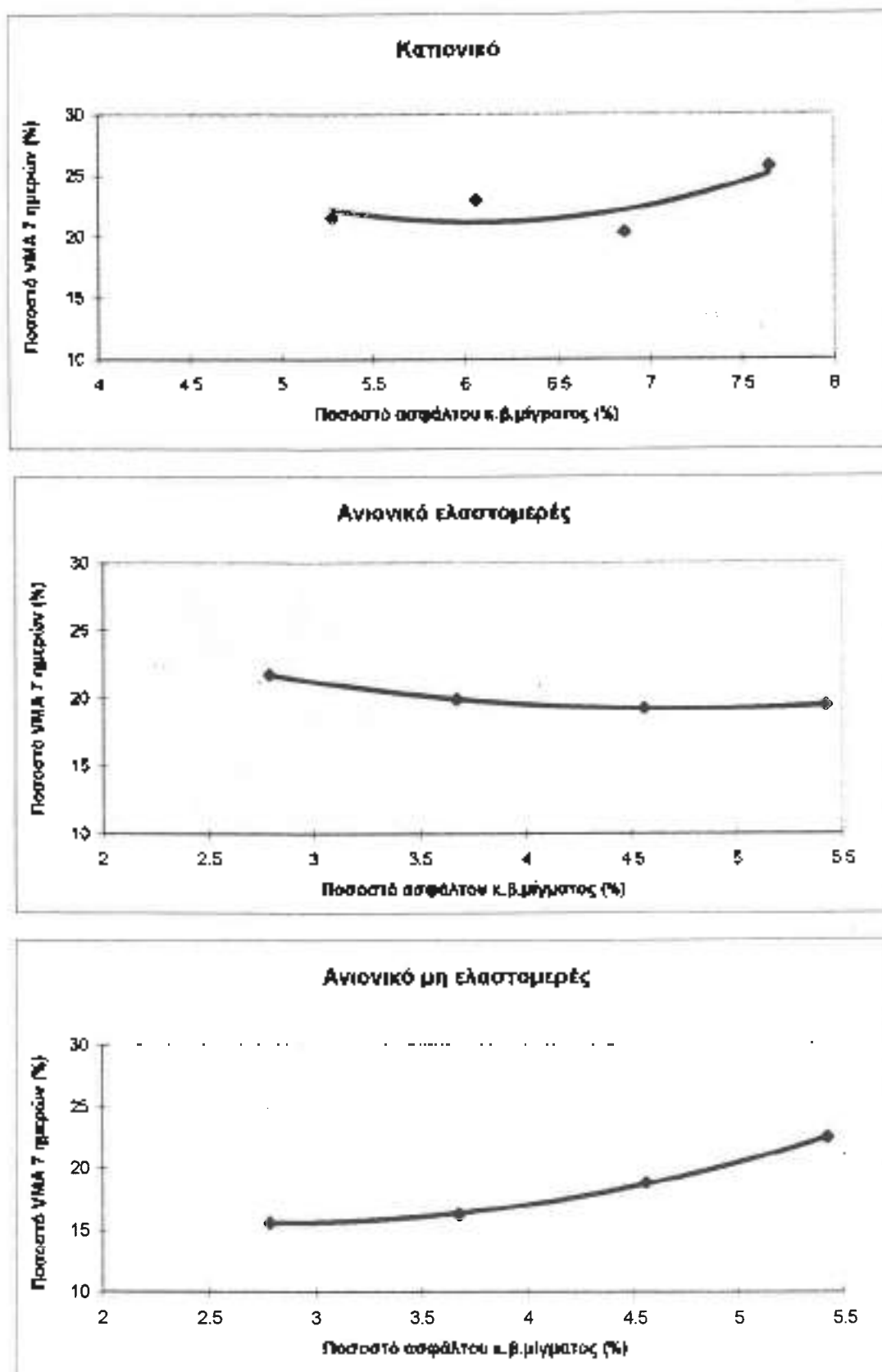
**Διάγραμμα 19 : Ποσοστό κενών (7 ημερών) -
Ποσοστό ασφάλτου κ.β.μ. γέματος**



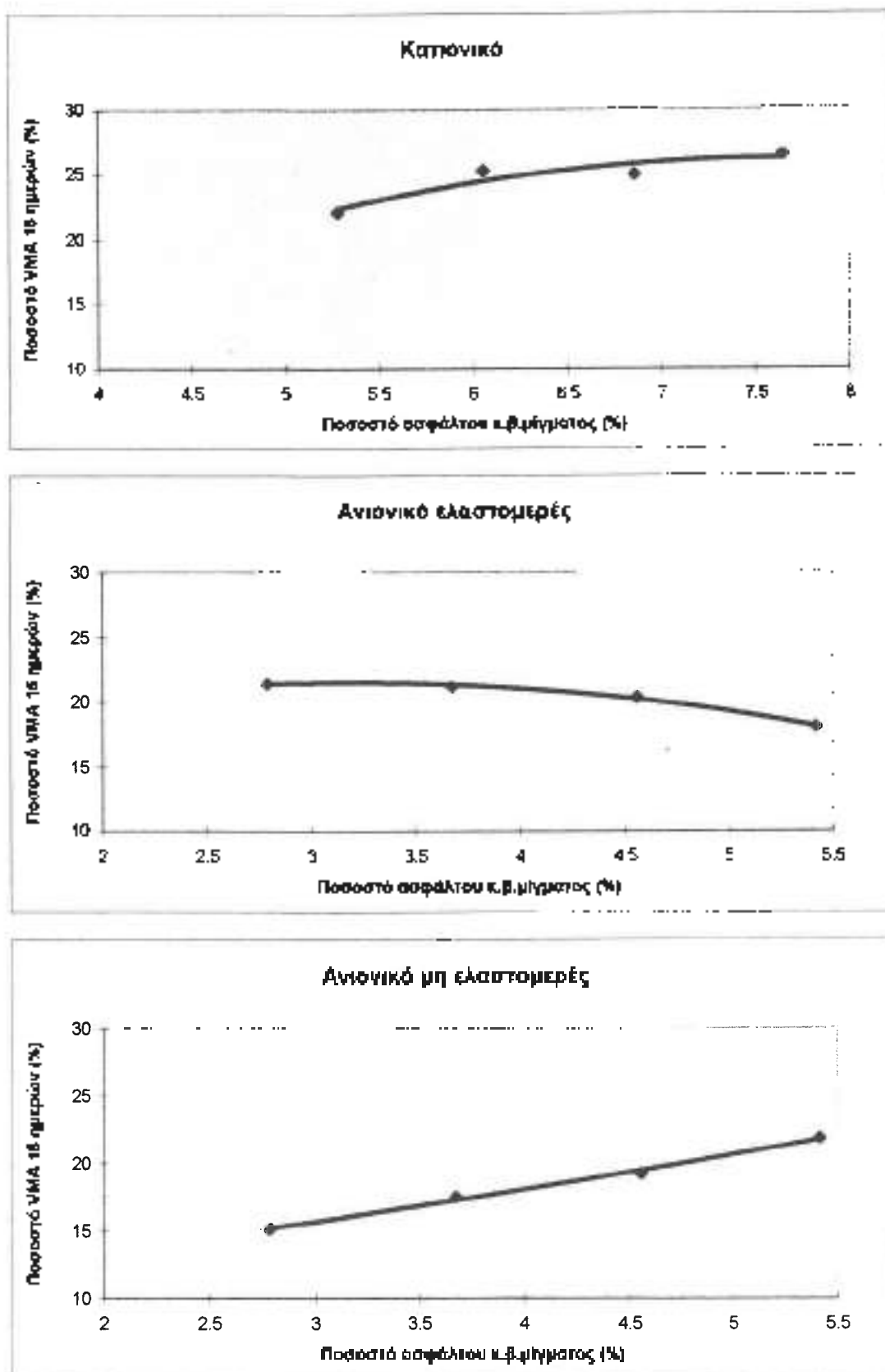
**Διάγραμμα 20 : Ποσοστό κενών (15 ημερών) -
Ποσοστό ασφάλτου κ.β.μίγματος**



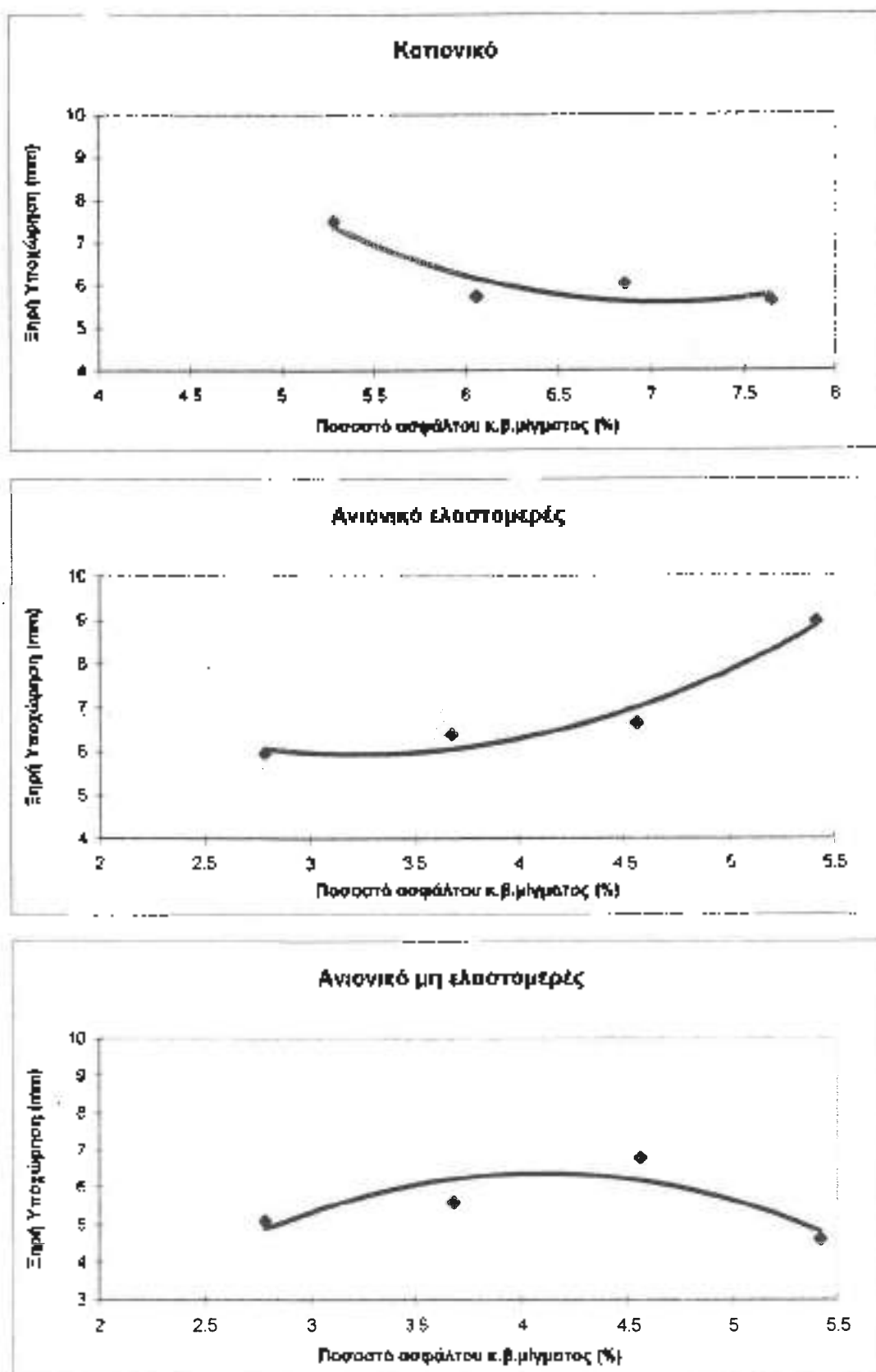
**Διάγραμμα 21 : Ποσοστό VMA (7 ημερών) -
Ποσοστό ασφάλτου κ.β.μίγματος**



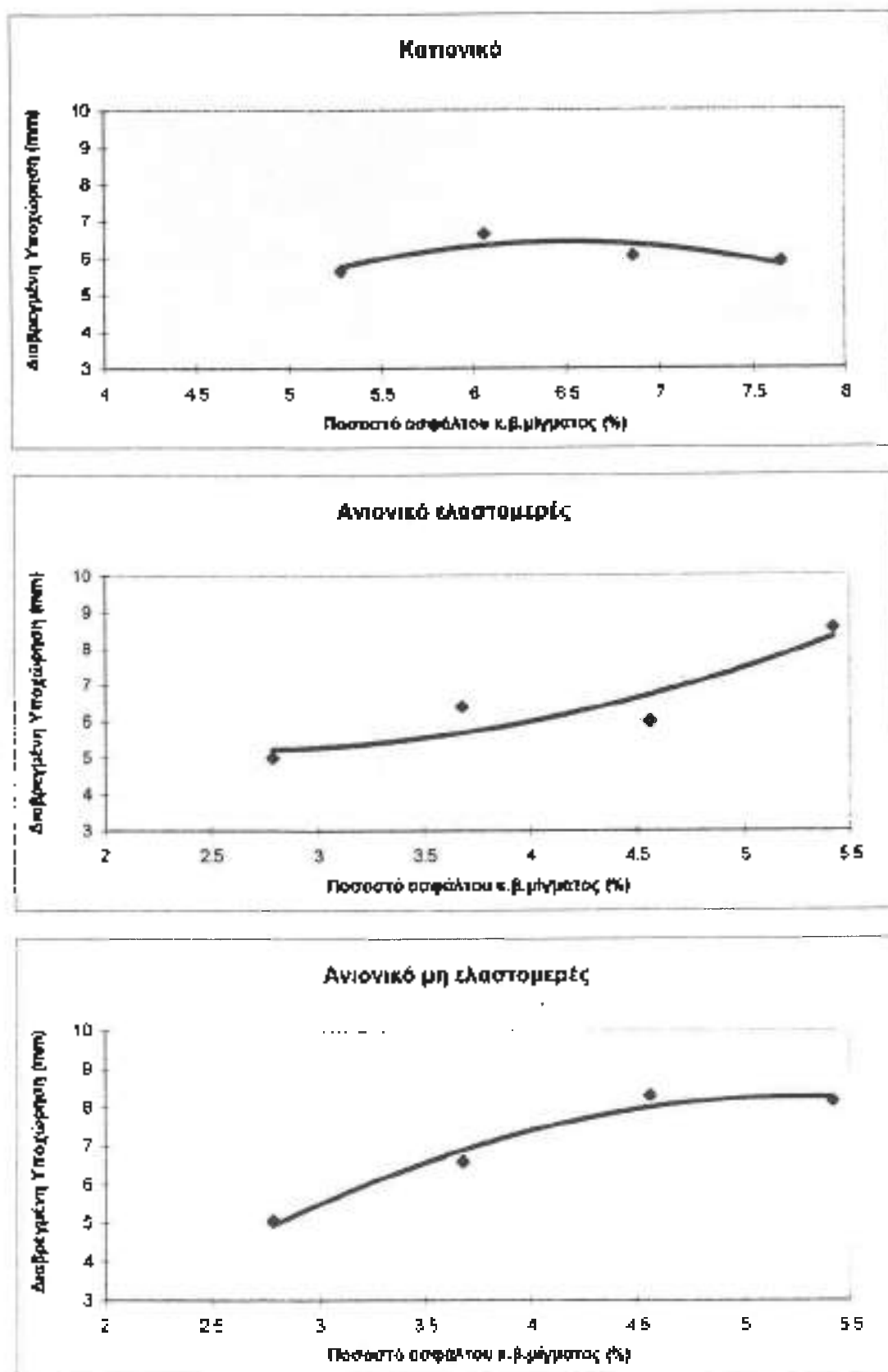
**Διάγραμμα 22 : Ποσοστό VMA (15 ημερών) -
Ποσοστό ασφάλτου κ.β.μίγματος**



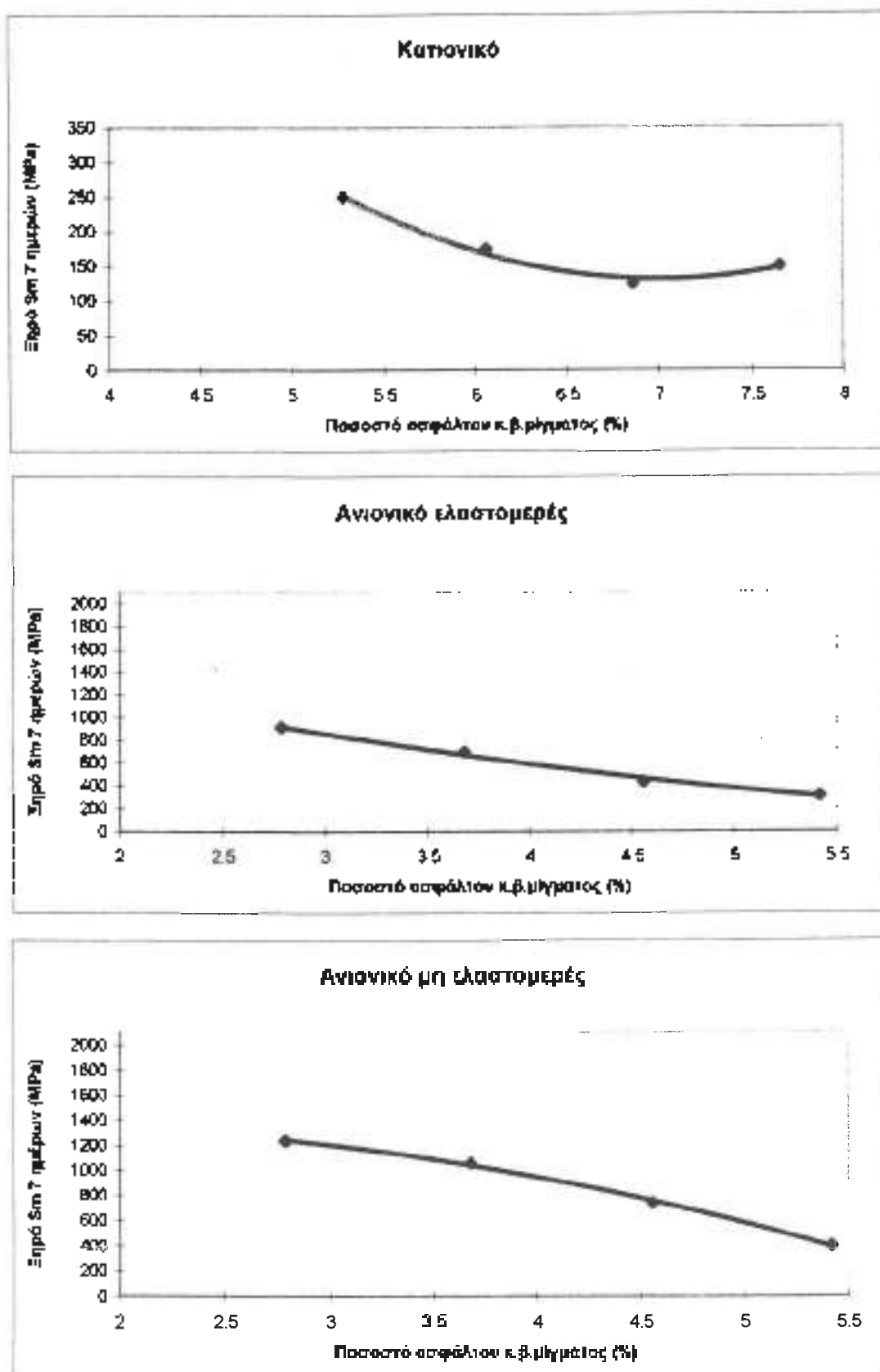
Διάγραμμα 23 : "Ξηρή" Υποχώρηση - Ποσοστό ασφάλτου κ.β.μίγματος



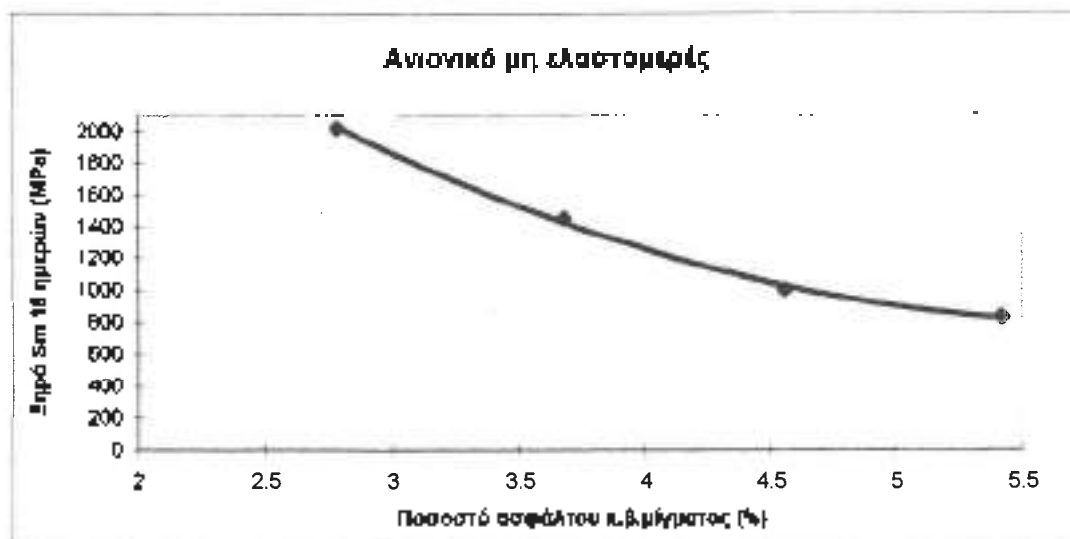
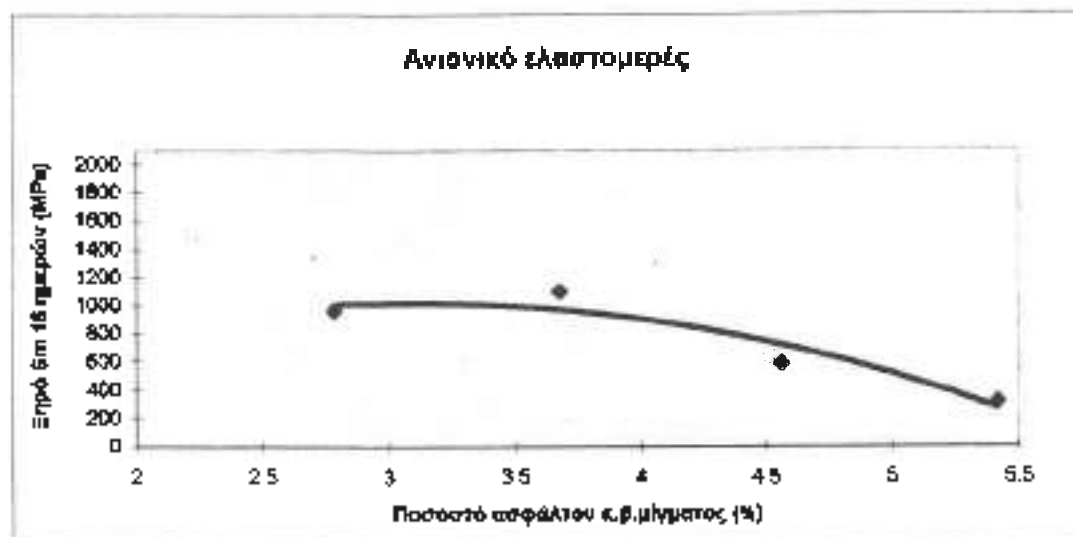
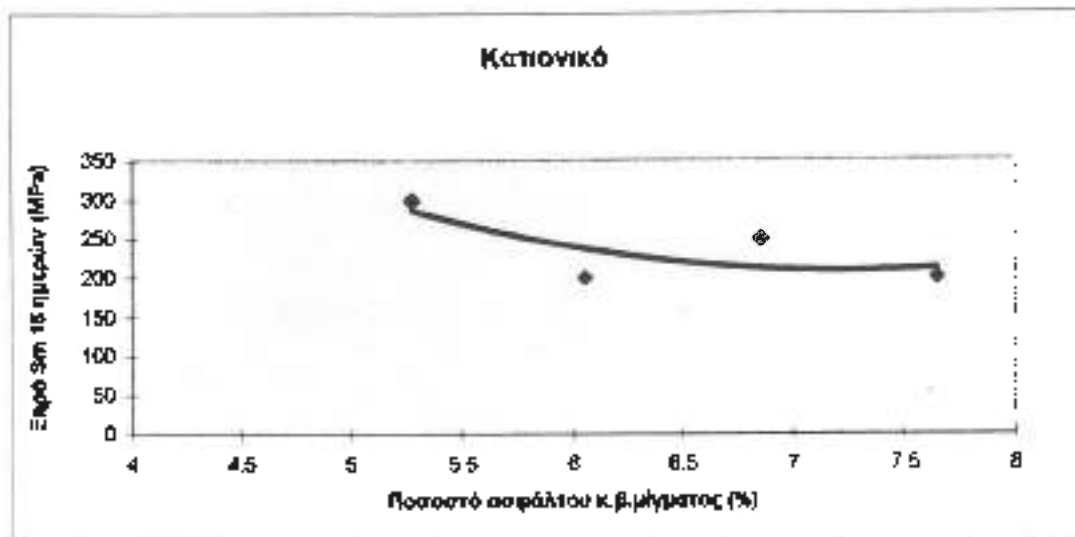
Διάγραμμα 24 : "Διαβρεγμένη" Υποχώρηση - Ποσοστό ασφάλτου κ.β.μίγματος



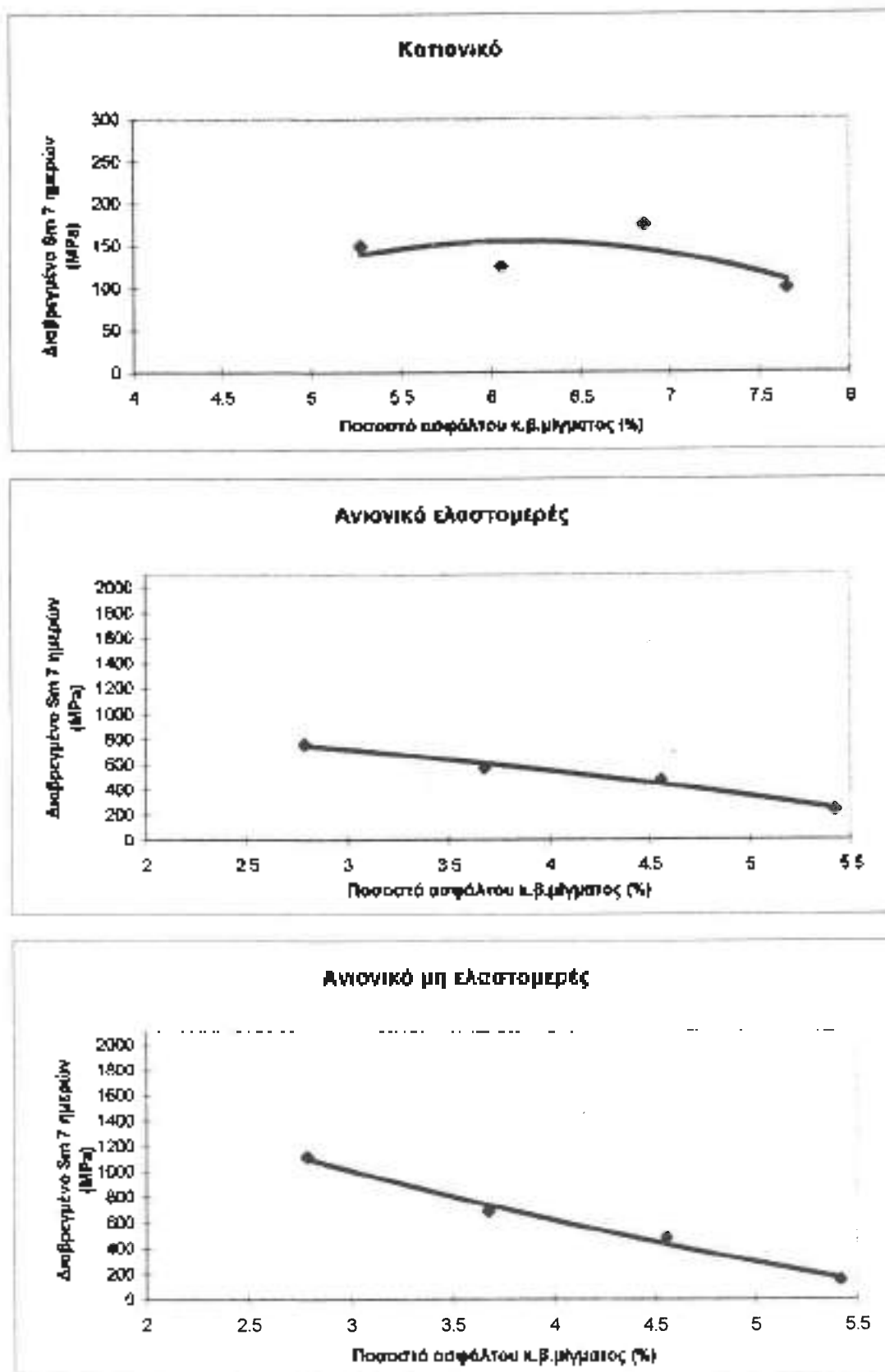
Διάγραμμα 25 : "Ξηρό" Μέτρο Δυσκαμψίας (7 ημερών) - Ποσοστό ασφάλτου κ.β.μίγματος



Διάγραμμα 26 : "Ξηρό" Μέτρο Δυσκαμψίας (15 ημερών) - Ποσοστό ασφάλτου κ.β.μίγματος



Διάγραμμα 27 : "Διαβρεγμένο" Μέτρο Δυσκαμψίας (7 ημερών) - Ποσοστό ασφάλτου κ.β. μίγματος



Ε) ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ

Η δοκιμή που χρησιμοποιήθηκε για την εξέταση των χαρακτηριστικών μόνιμης παραμόρφωσης των δοκιμίων είναι η Δοκιμή Επαναλαμβανόμενης Θλιπτικής Φόρτισης, με τη συσκευή NAT. Το κύριο πρόγραμμα επεξεργασίας, καταγραφής και ελέγχου για τη παραπάνω δοκιμή είναι το RLA test (Repeated load axial test). Τα δεδομένα εισαγωγής είναι :

- η θερμοκρασία και η διάρκεια της δοκιμής
- η τάση που θα επιβληθεί στο δοκίμιο κατά τη διάρκεια της δοκιμής
- οι διαστάσεις του δοκιμίου
- το μέγεθος του φορτίου κατά την προφόρτιση και η διάρκεια της

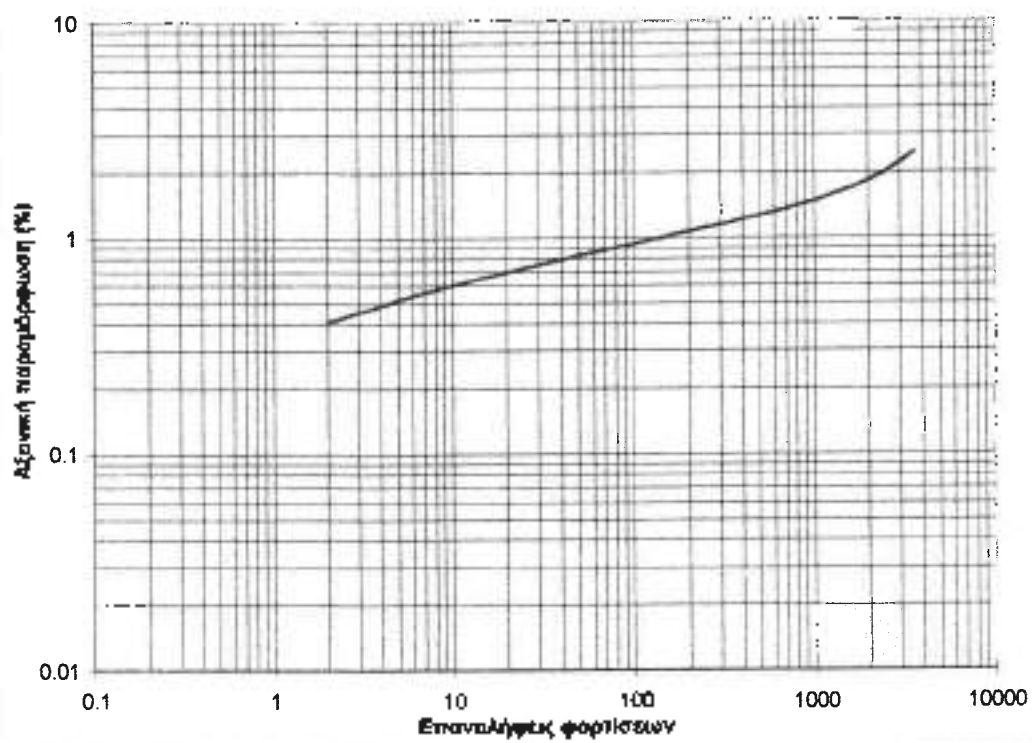
Για τις δοκιμές χρησιμοποιήθηκαν δοκίμια ηλικίας 15 ημερών στα οποία προηγουμένως πραγματοποιήθηκαν και μετρήσεις του Μέτρου Δυσκαμψίας, δεδομένου ότι το φορτίο που επιβάλλεται κατά τις δοκιμές προσδιορισμού του Μέτρου Δυσκαμψίας είναι μικρό με διαφορετική διεύθυνση επιβολής, και κατά συνέπεια δεν επηρεάζει τις μετρήσεις της Μόνιμης Παραμόρφωσης. Συνολικά οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε 24 δοκίμια διαμέτρου 100mm, ύψους που φαίνεται στους πίνακες 11.2, 12.2, 13.2 (8 δοκίμια με 4 διαφορετικά ποσοστά ασφάλτου για κάθε τύπο γαλακτώματος) και σε θερμοκρασίες 25-27°C.

Επειδή τα δοκίμια έχουν λόγο ύψους προς διάμετρο μικρότερο από 2, η εντατική κατάσταση που επιβάλλεται στο δοκίμιο είναι τριαξονική. Για το λόγο αυτό οι επιφάνειες των δοκιμίων που έρχονται σε επαφή με τη μηχανή αλείφονταν με μίγμα γράσου σιλικόνης και σκόνης γραφίτη για μείωση της δύναμης ανάσχεσης της παραμόρφωσης που επιβάλλουν οι πλάκες της μηχανής στο δοκίμιο, μέσω της τριβής. Με τον τρόπο αυτό έγινε προσπάθεια μείωσης της έντασης του τριαξονικού πεδίου και επίτευξης, κατά το δυνατόν, μονοαξονικής εντατικής κατάστασης. Εξάλλου, επειδή οι βάσεις των δοκιμίων δεν έχουν πάντοτε τα ίδια χαρακτηριστικά τραχύτητας είναι επόμενο η αναπτυσσόμενη τριβή να μεταβάλλεται από δοκίμιο σε δοκίμιο. Η χρησιμοποίηση μίγματος γράσου και γραφίτη μειώνει τις δυνάμεις τριβής και επομένως δημιουργεί συνθήκες μονοαξονικής περίπου φόρτισης για όλα τα δοκίμια.

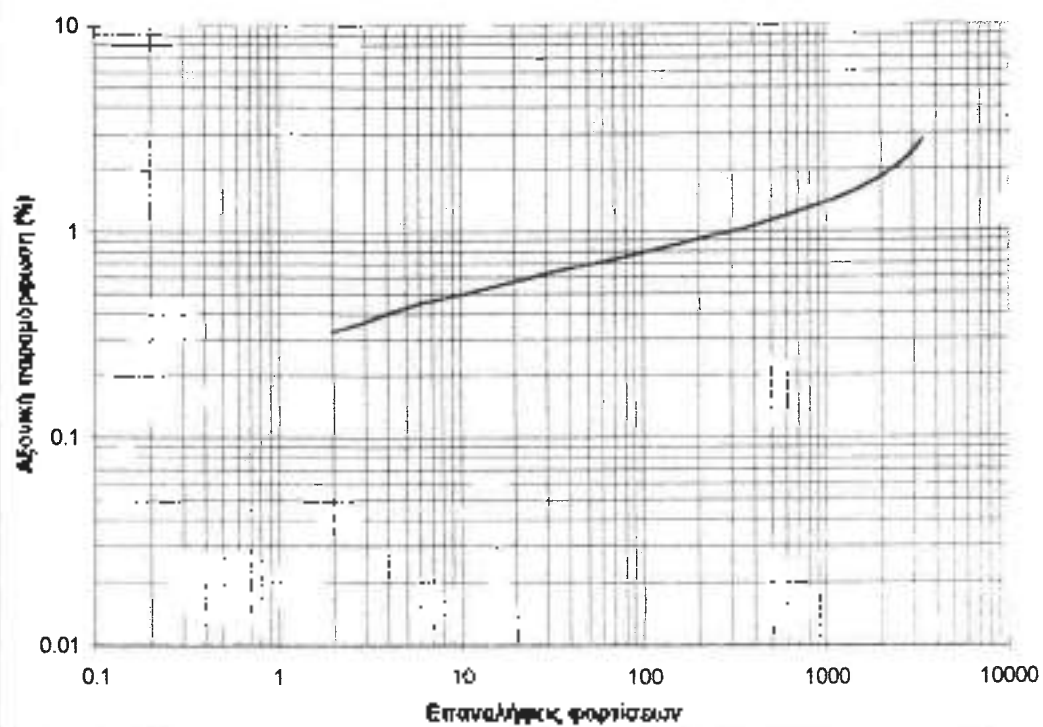
Στη δοκιμή επαναλαμβανόμενης θλίψης το δοκίμιο υποβάλλεται σε επαναλαμβανόμενους κύκλους, φόρτισης και αποφόρτισης, διάρκειας 1sec αντίστοιχα. Η μηχανή έχει τη δυνατότητα εφαρμογής μέχρι 10000 κύκλους, δηλαδή 5000 φορτίσεις με μέγιστη τάση 100 KPa.

Τα αποτελέσματα της δοκιμής δίνονται στα λογαριθμικά διαγράμματα που ακολουθούν (Διαγράμματα 28-51), με τετμημένες τις επαναλήψεις των φορτίσεων (από 0 μέχρι 3600) και τεταγμένες τις αξονικές παραμορφώσεις των δοκιμίων (%) [17].

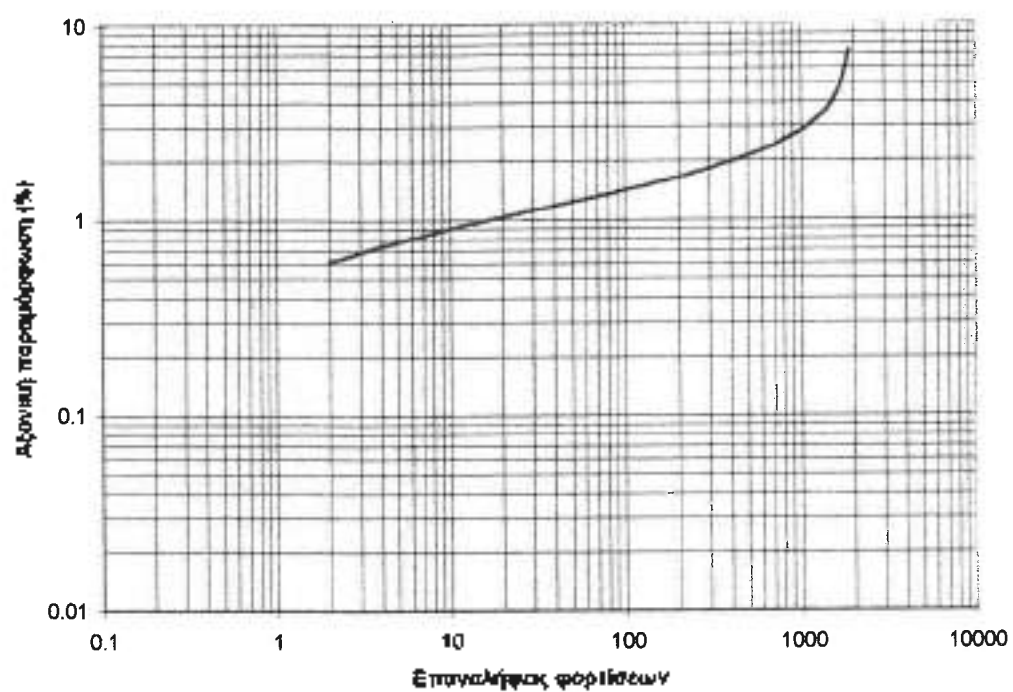
Διάγραμμα 28 : Δοκίμιο 5 (καπονικό)



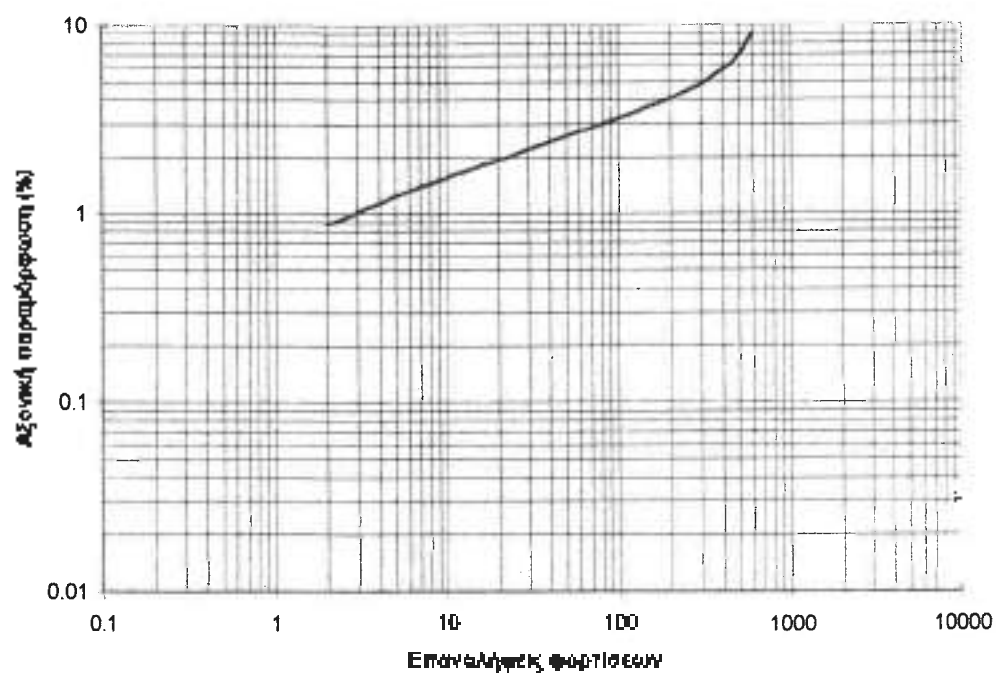
Διάγραμμα 29 : Δοκίμιο 6 (καπονικό)



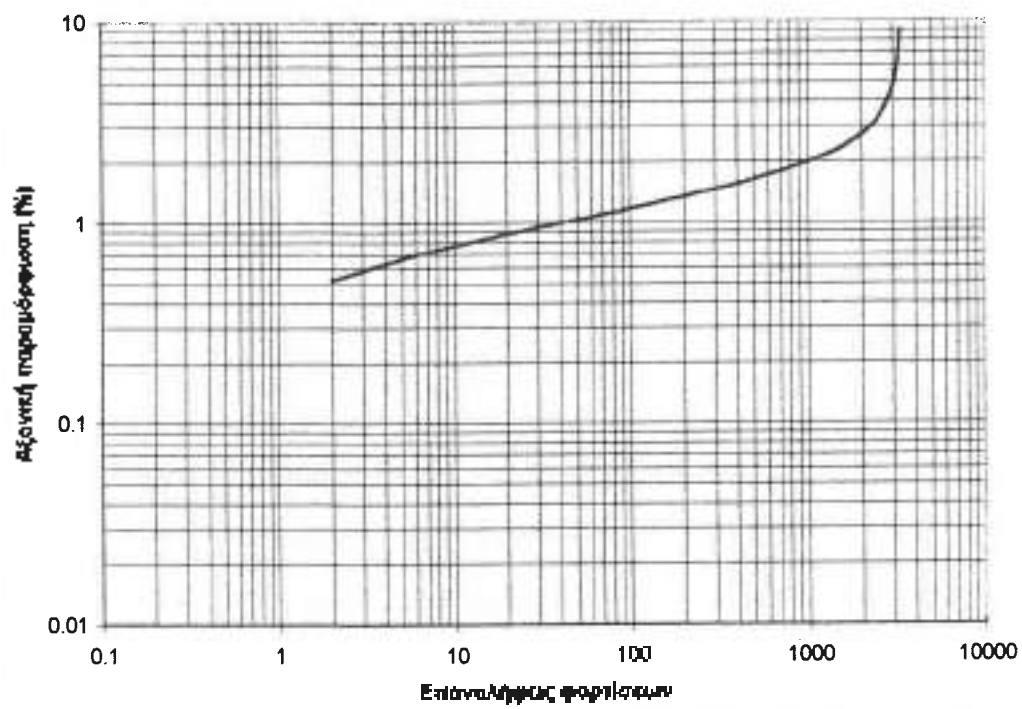
Διάγραμμα 30 : Δοκίμιο 11 (κατιονικό)



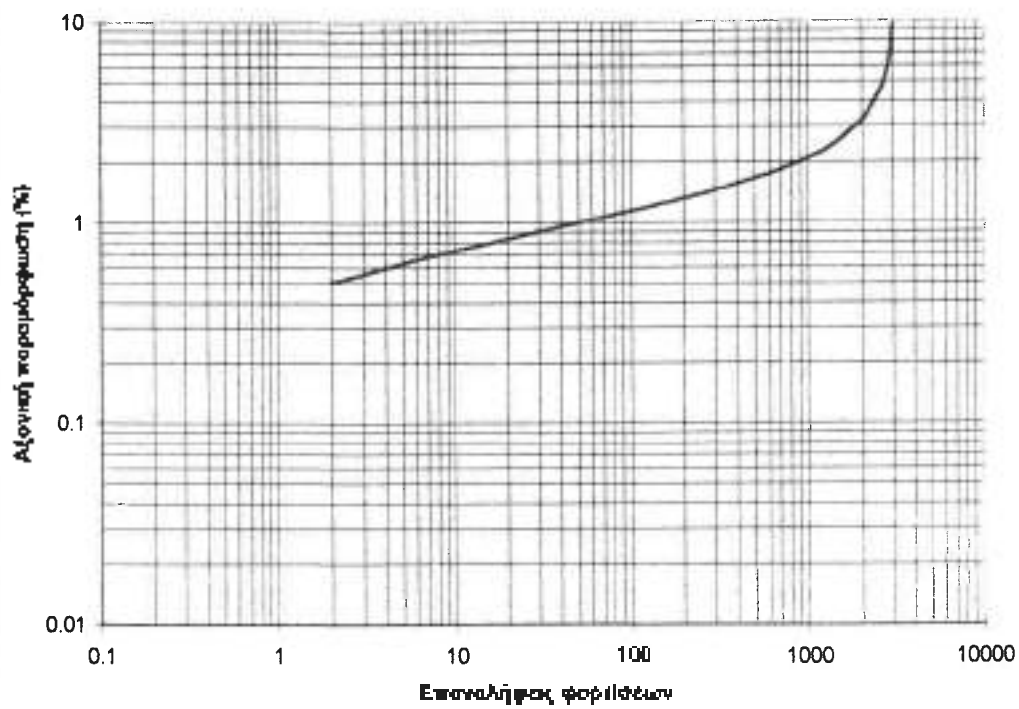
Διάγραμμα 31 : Δοκίμιο 12 (κατιονικό)



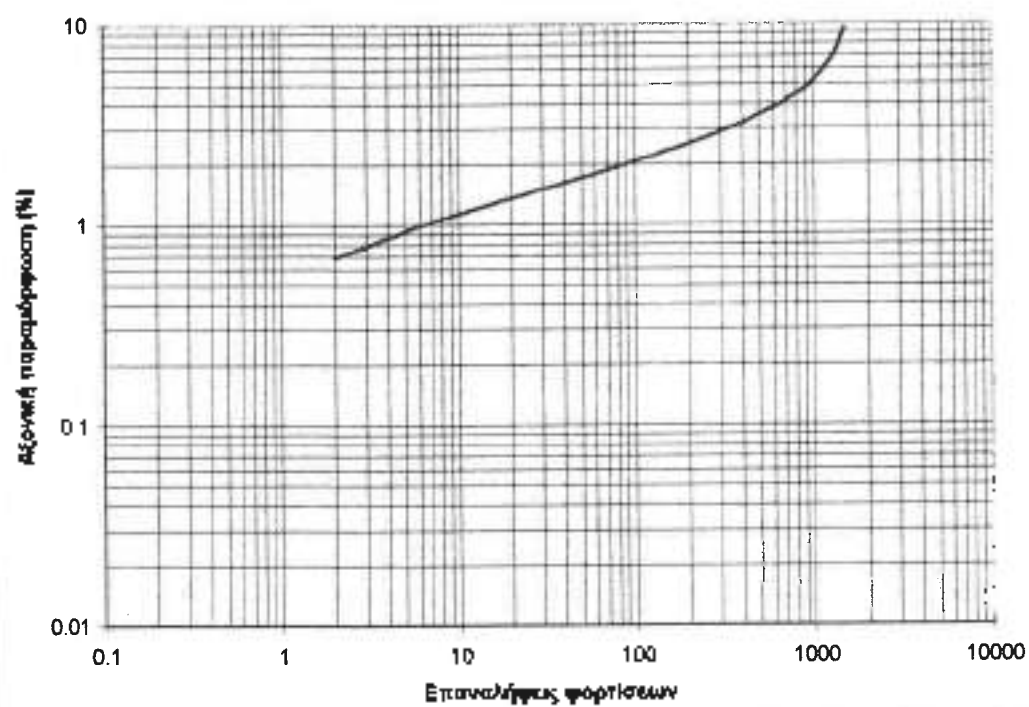
Διάγραμμα 32 : Δοκίμιο 17 (κατιονικό)



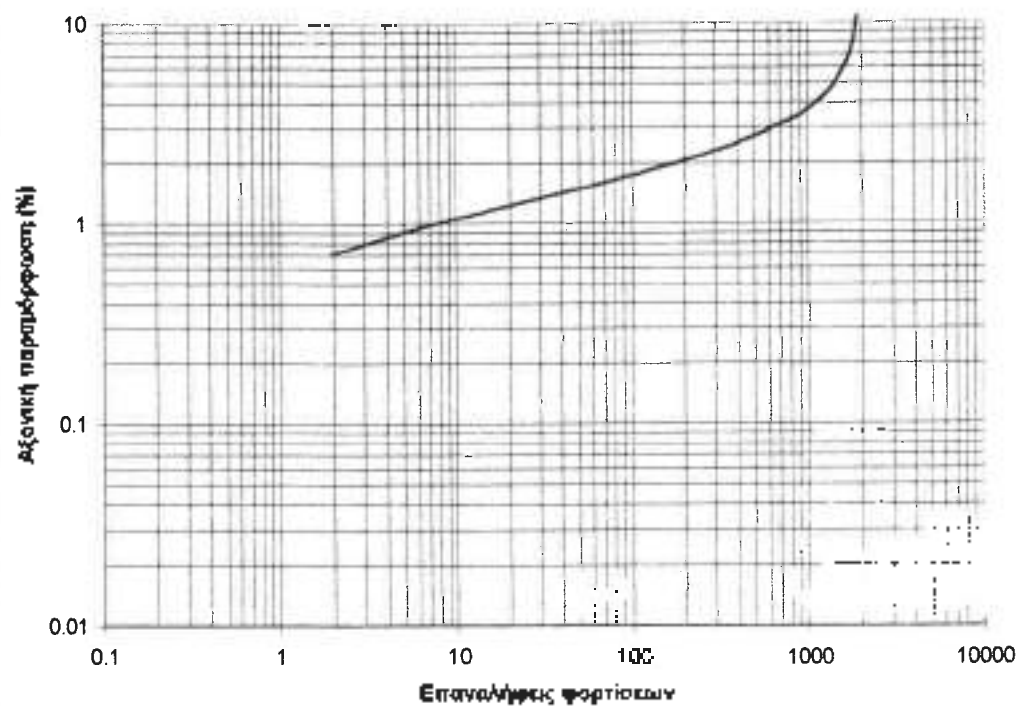
Διάγραμμα 33 : Δοκίμιο 18 (κατιονικό)



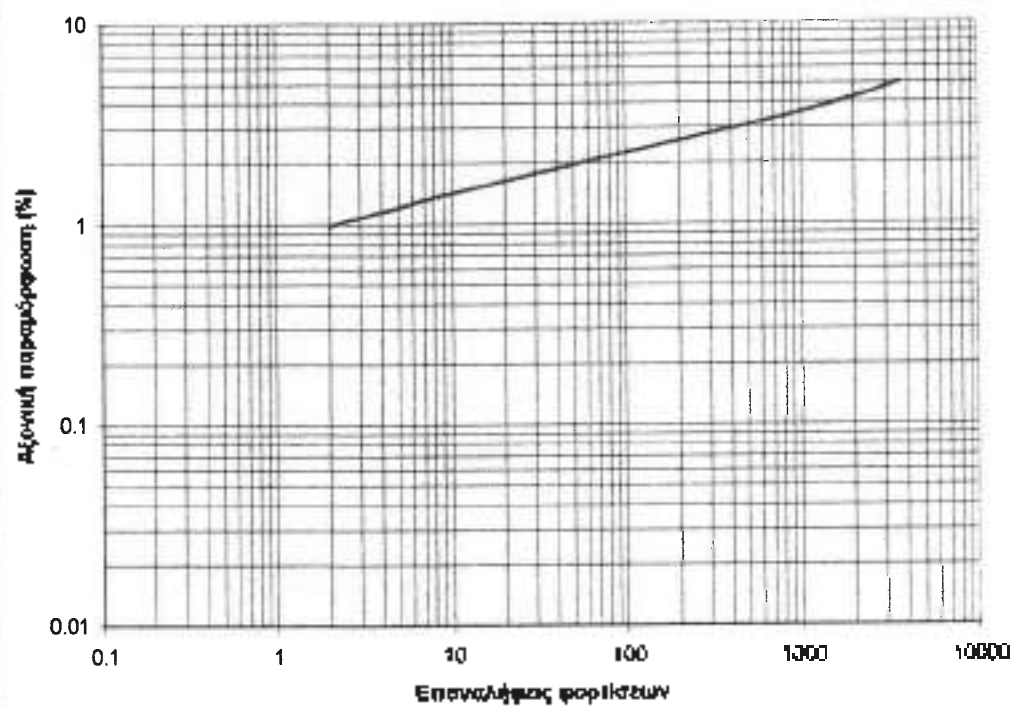
Διάγραμμα 34 : Δοκίμιο 23 (κατιονικό)



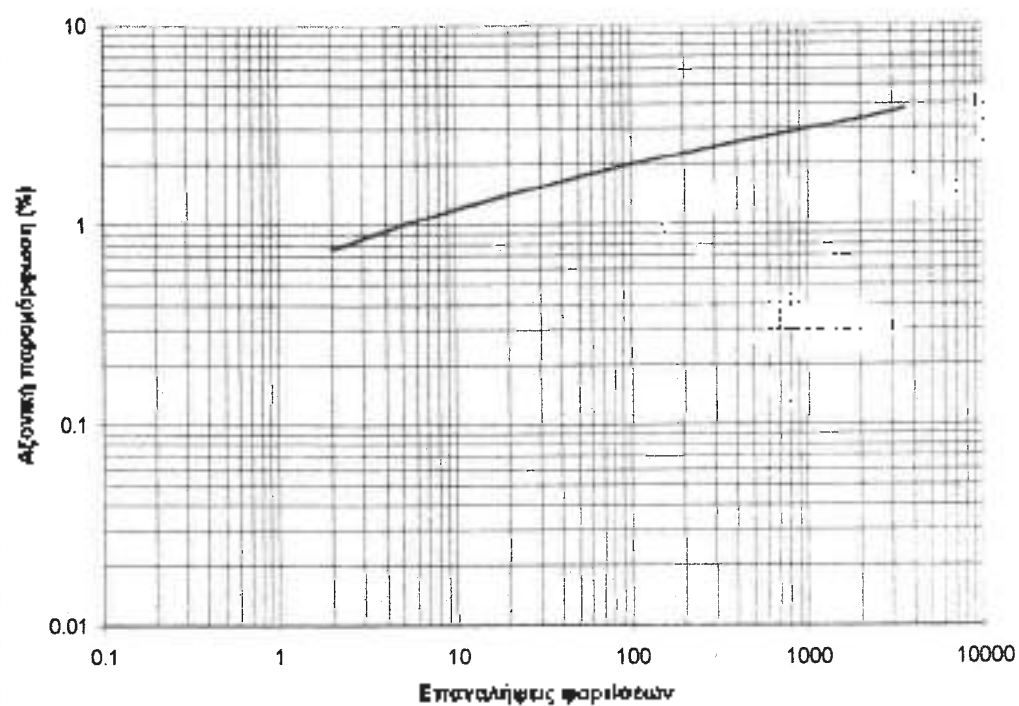
Διάγραμμα 35 : Δοκίμιο 24 (κατιονικό)



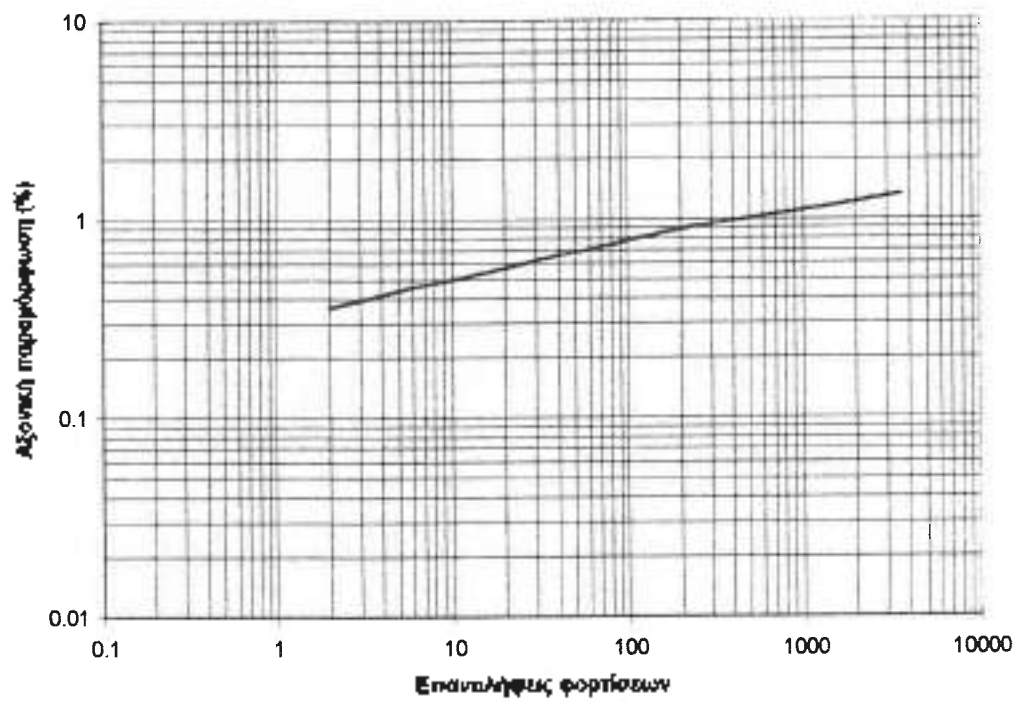
Διάγραμμα 36 : Δοκίμιο 6 (ανιονικό ελαστομερές)



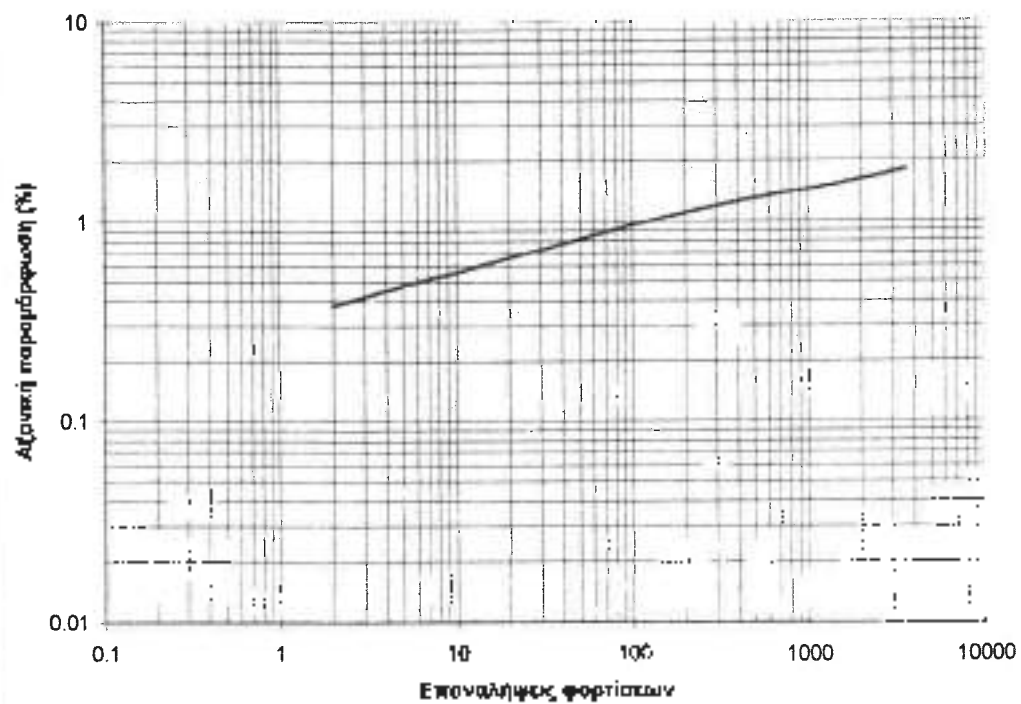
Διάγραμμα 37 : Δοκίμιο 6 (ανιονικό ελαστομερές)



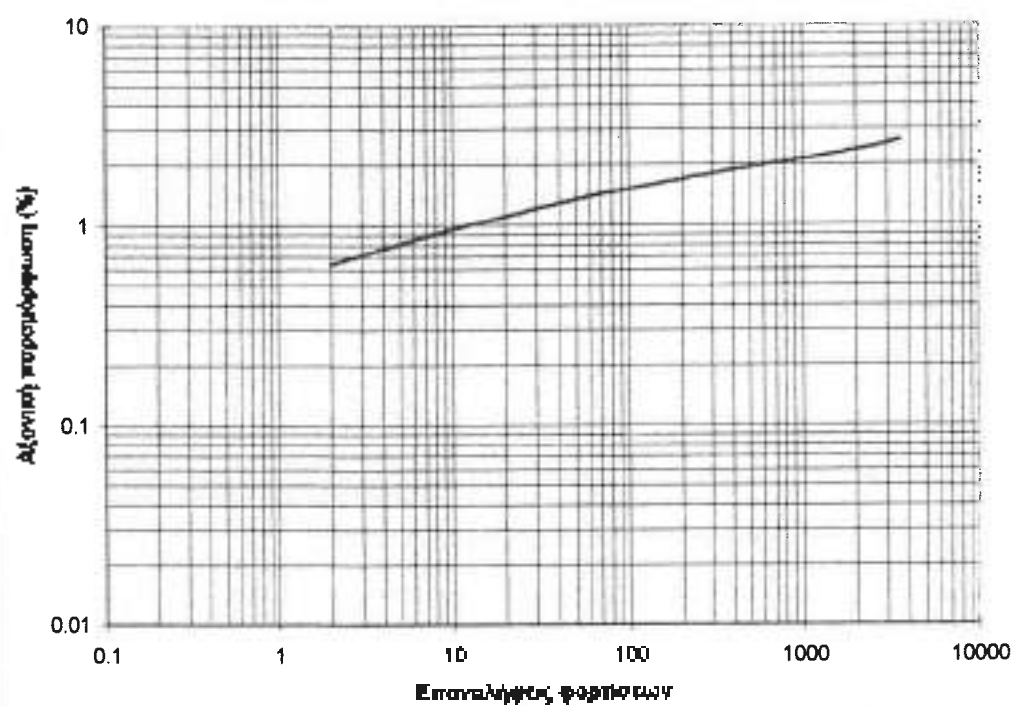
Διάγραμμα 38 : Δοκίμιο 11 (ανιονικό ελαστομερές)



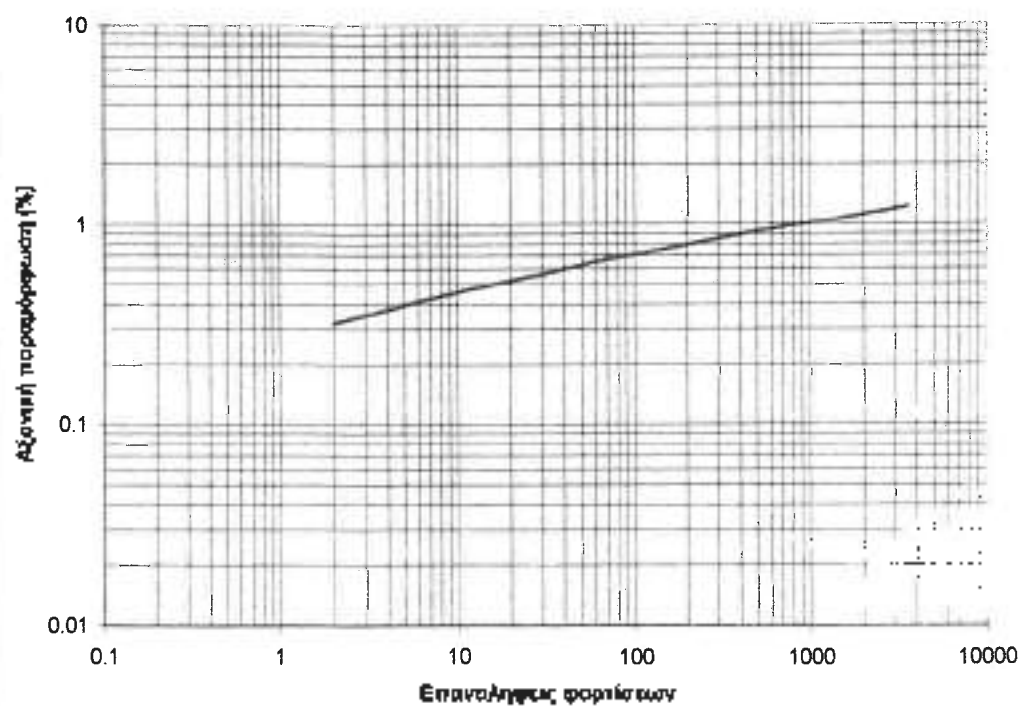
Διάγραμμα 39 : Δοκίμιο 12 (ανιονικό ελαστομερές)



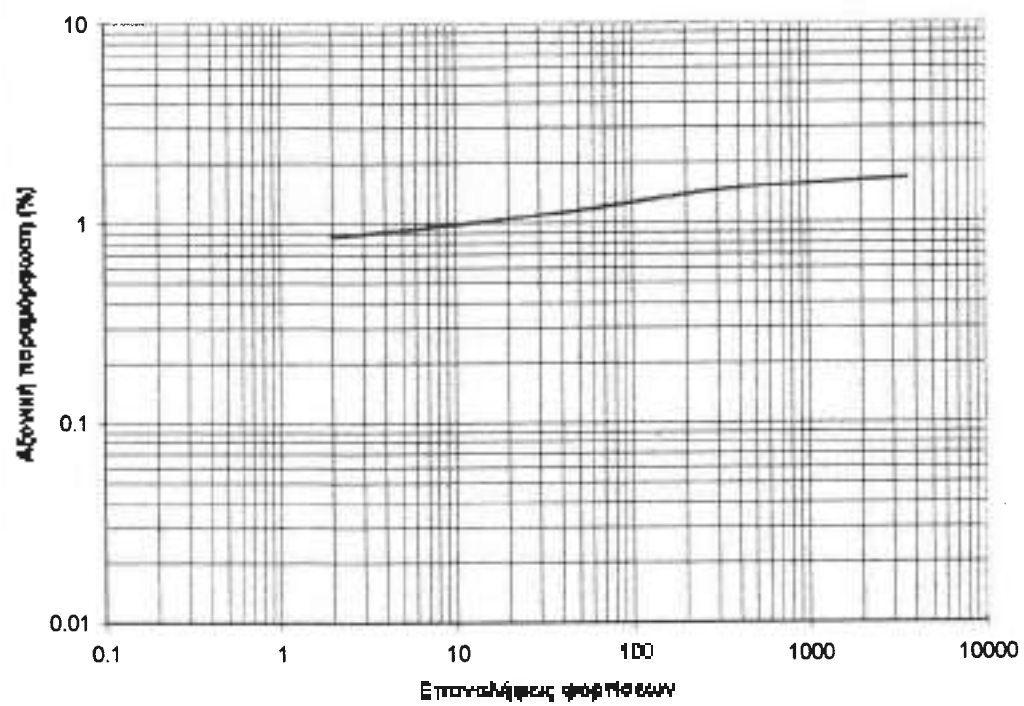
Διάγραμμα 40 : Δοκίμιο 17 (ανιονικό ελαστομερές)



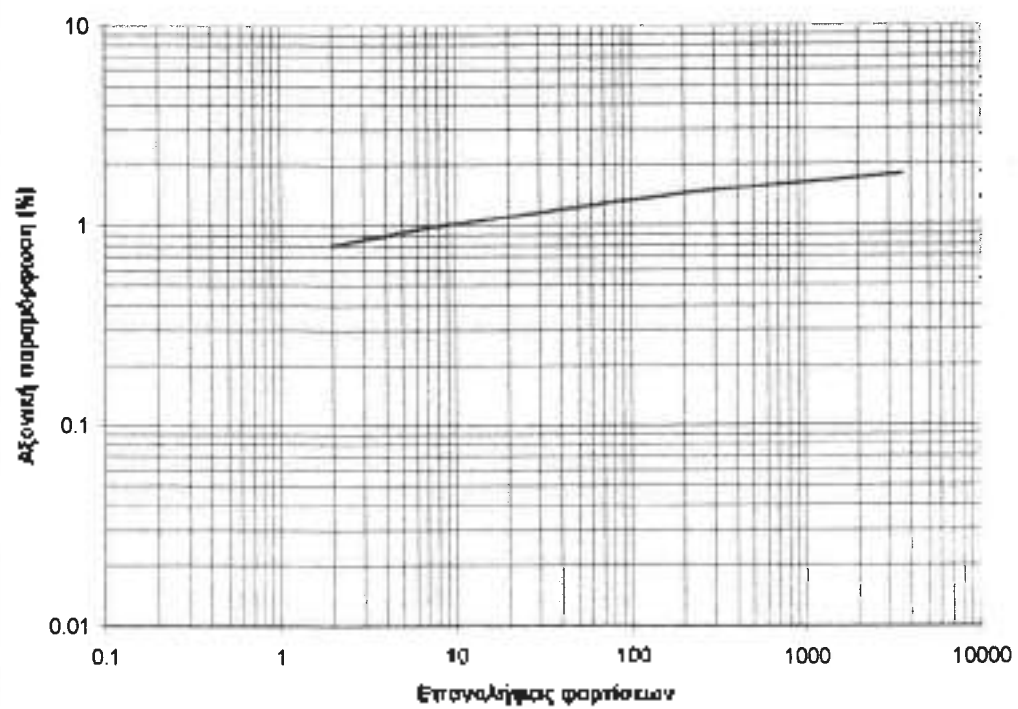
Διάγραμμα 41 : Δοκίμιο 18 (ανιονικό ελαστομερές)



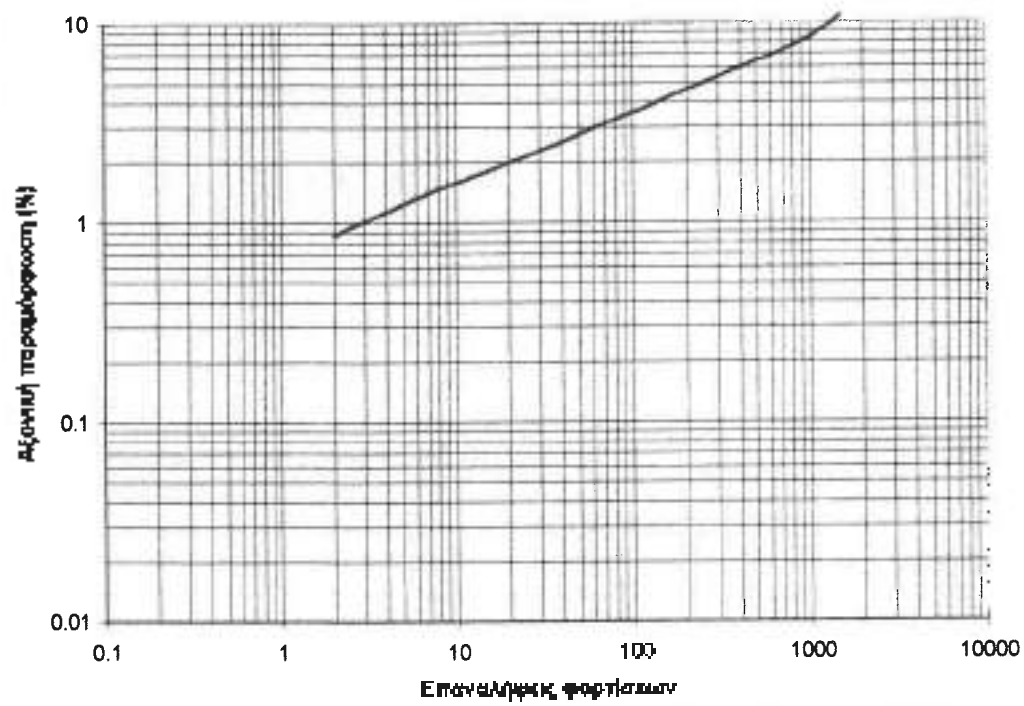
Διάγραμμα 42 : Δοκίμιο 23 (ανιονικό ελαστομερές)



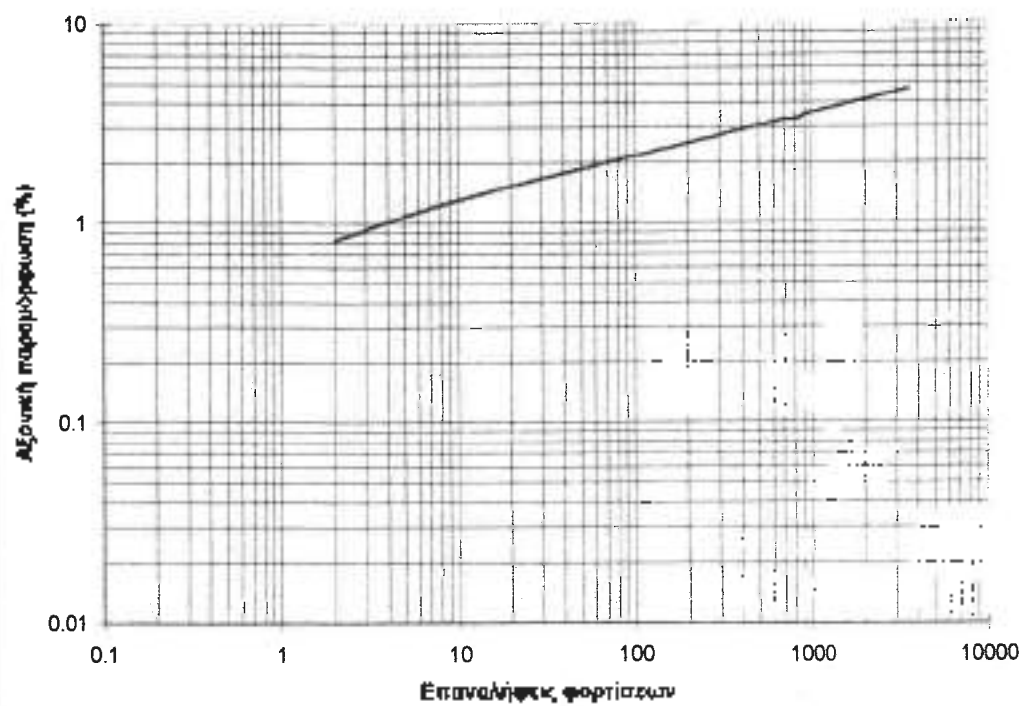
Διάγραμμα 43 : Δοκίμιο 24 (ανιονικό ελαστομερές)



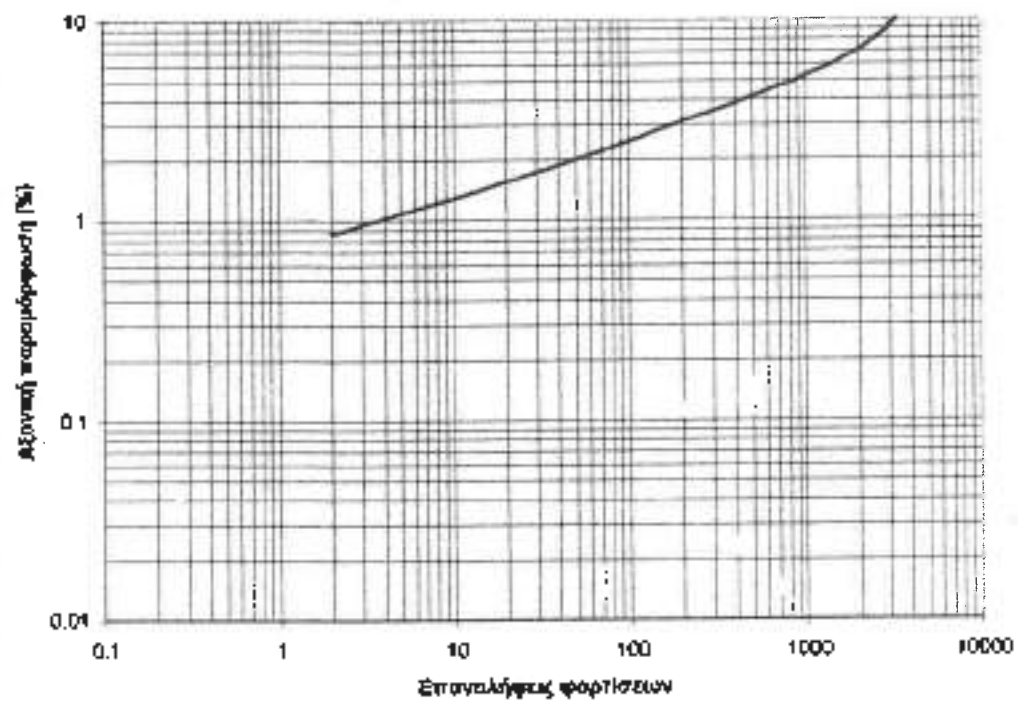
Διάγραμμα 44 : Δοκίμιο 5 (ανιονικό μη ελαστομερές)



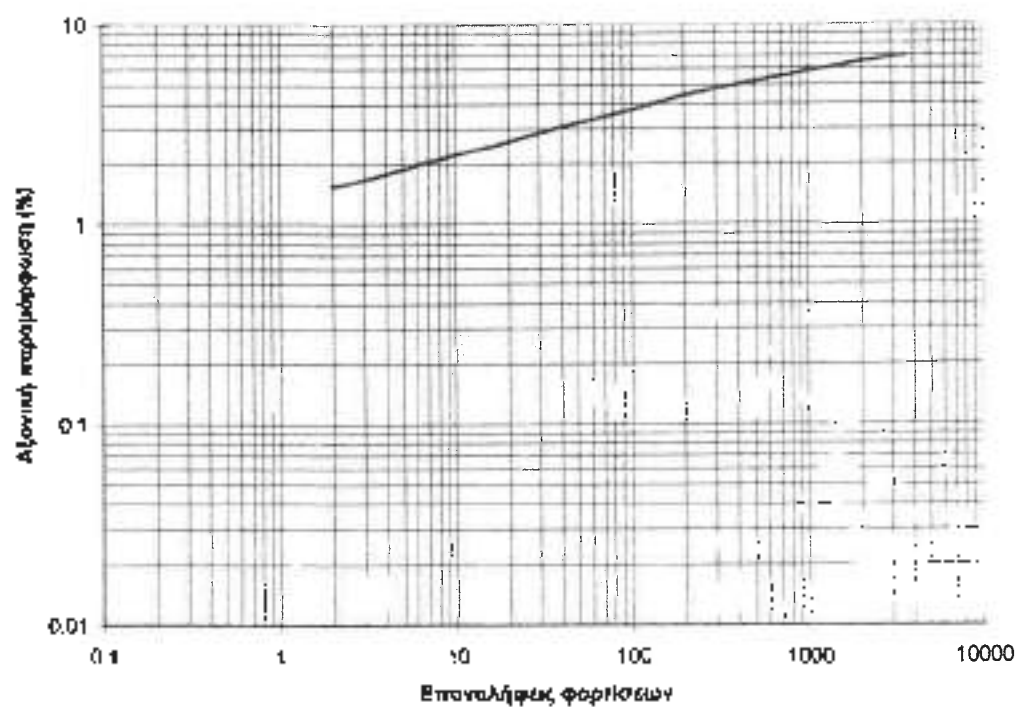
Διάγραμμα 45 : Δοκίμιο 6 (ανιονικό μη ελαστομερές)



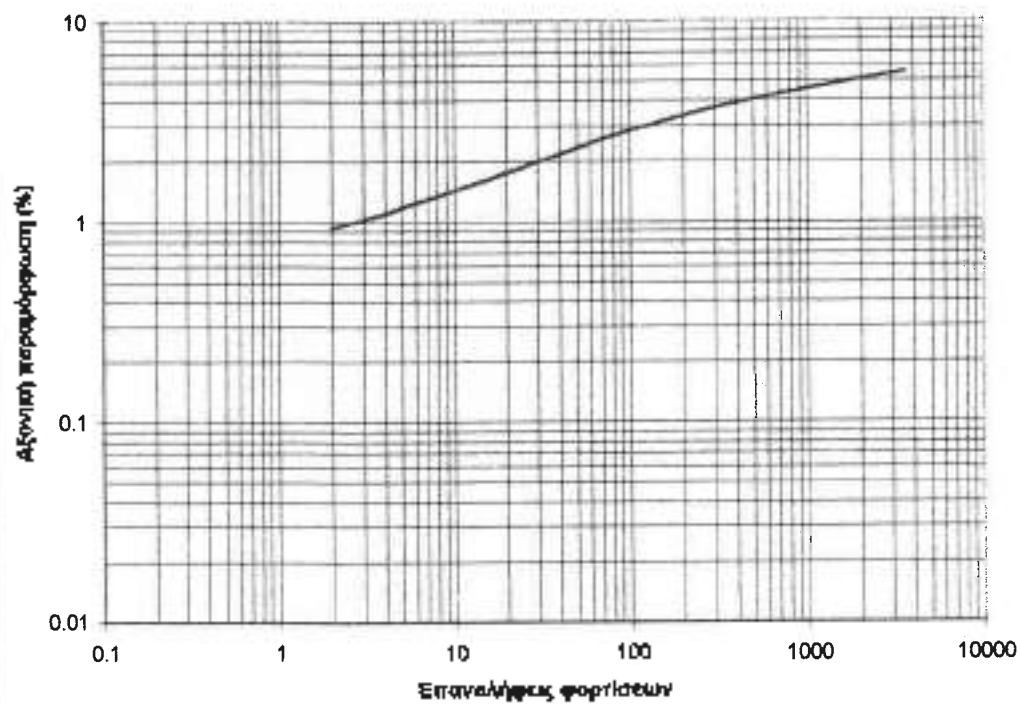
Διάγραμμα 46 : Δοκίμιο 11 (ανιονικό μη ελαστομερές)



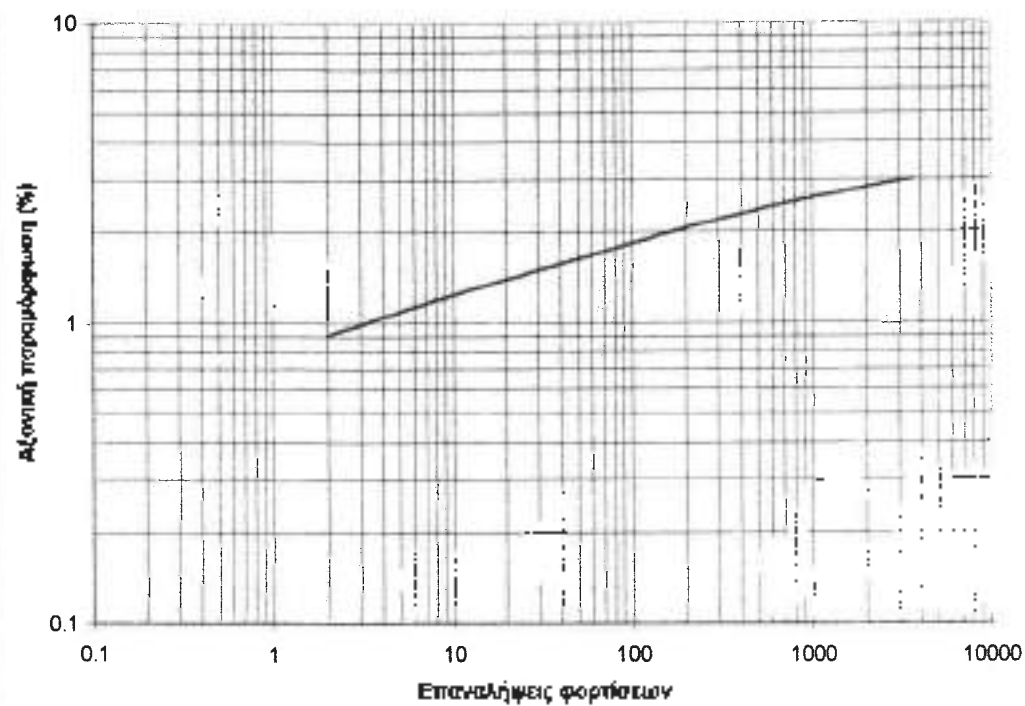
Διάγραμμα 47 : Δοκίμιο 12 (ανιονικό μη ελαστομερές)



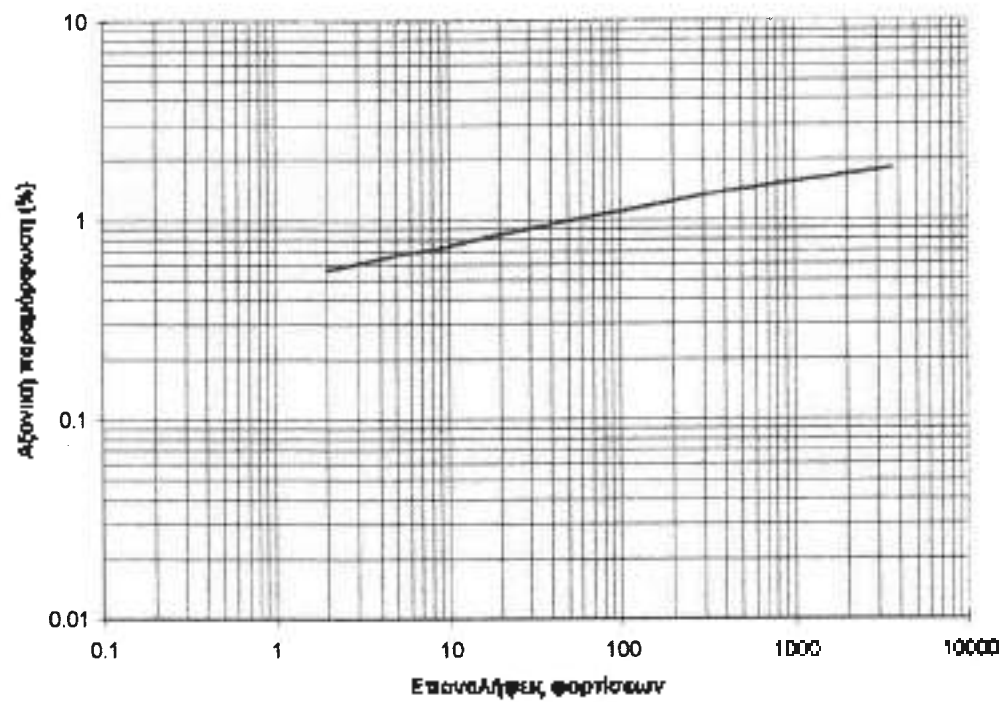
Διάγραμμα 48 : Δοκίμιο 17 (ανιονικό μη ελαστομερές)



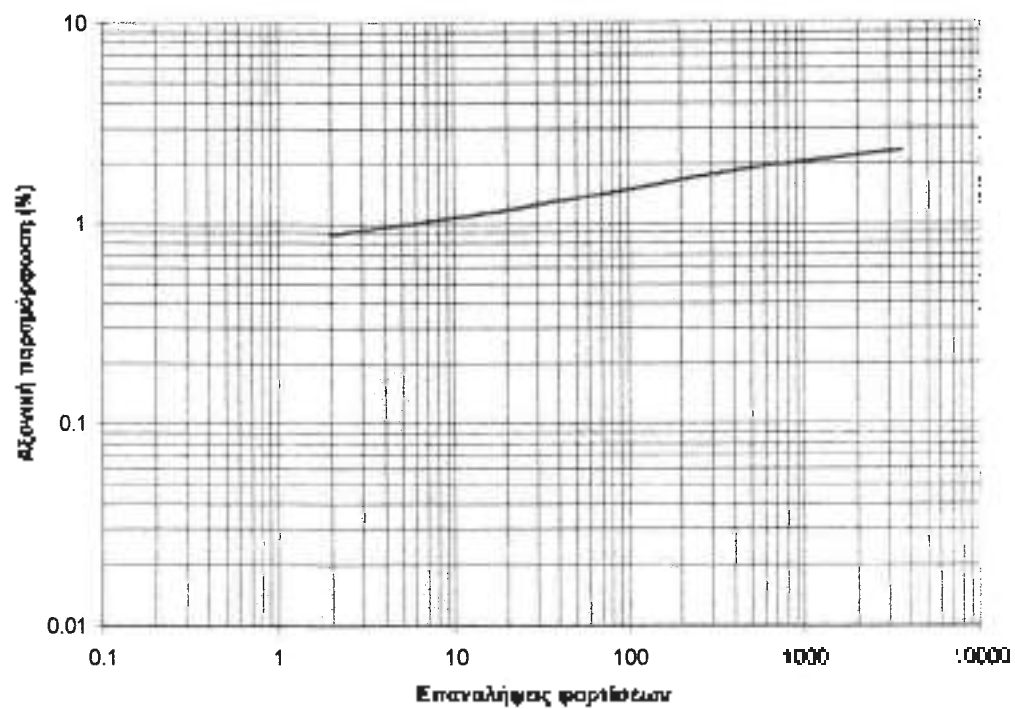
Διάγραμμα 49 : Δοκίμιο 18 (ανιονικό μη ελαστομερές)



Διάγραμμα 50 : Δοκίμιο 23 (ανιονικό μη ελαστομερές)



Διάγραμμα 51 : Δοκίμιο 24 (ανιονικό μη ελαστομερές)



ΣΤ) ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Γενικά

Μετά τη σχεδίαση των διαγραμμάτων ακολουθεί ο σχολιασμός τους προκειμένου να καθοριστεί το βέλτιστο ποσοστό ασφάλτου και να εξαχθούν συμπεράσματα για το ρόλο του κάθε τύπου γαλακτώματος στη συμπεριφορά του μίγματος.

2. Σχολιασμοί

2.1 Διορθωμένη Ξηρή Ευσταθεία - Ποσοστό ασφάλτου (Διάγραμμα 11)

Ο προσδιορισμός της Διορθωμένης Ξηρής Ευσταθείας αποσκοπεί στη διασφάλιση της απαιτούμενης αντοχής του μίγματος, ώστε να φέρει τα φορτία της κυκλοφορίας. Η τιμή της θεωρείται ότι δεν πρέπει να είναι πολύ μεγάλη γιατί σε συνδυασμό με μικρή υποχώρηση δημιουργούνται μίγματα λιγότερο εύκαμπτα και τότε οι τάπητες έχουν την τάση να ρηγματώνονται ευκολότερα [1].

Όσο αυξάνεται το ποσοστό ασφάλτου, αυξάνεται και η τιμή της Δ.Ξ.Ε., πλην όμως μετά από κάποιο ποσοστό ασφάλτου αρχίζει να μειώνεται. Αυτό είναι λογικό γιατί όσο αυξάνει το ποσοστό ασφάλτου γίνεται πιο συνεκτικό το μίγμα. Μετά όμως από κάποιο ποσοστό το πάχος υμένα της ασφάλτου που καλύπτει τα αδρανή γίνεται αρκετά μεγάλο με αποτέλεσμα να μειώνονται τα σημεία επαφής των κόκκων μεταξύ τους, να ελαττώνεται η τριβή που αναπτύσσεται στα σημεία επαφής, να αυξάνει η παραμόρφωση του δοκιμίου και επομένως να μειώνεται η τιμή της Δ.Ξ.Ε.

α) Κατιονικό γαλάκτωμα

Το διάγραμμα ακολουθεί την αναμενόμενη μορφή. Η μέγιστη τιμή είναι ίση με 1950 N για βέλτιστο ποσοστό ασφάλτου ίσο με 6,9% κ.β. μίγματος.

β) Ανιονικό ελαστομερές γαλάκτωμα

Το διάγραμμα ακολουθεί την αναμενόμενη μορφή. Η μέγιστη τιμή είναι ίση με 3200 N για ποσοστό ασφάλτου ίσο με 3,3% κ.β. μίγματος.

γ) Ανιονικό μη ελαστομερές γαλάκτωμα

Το διάγραμμα ακολουθεί την αναμενόμενη μορφή. Η μέγιστη τιμή είναι ίση με 5200 N για ποσοστό ασφάλτου ίσο με 3,7% κ.β. μίγματος.

2.2 Διορθωμένη Διαβρεγμένη Ευστάθεια - Ποσοστό ασφάλτου (Διάγραμμα 12)

Η μέγιστη ευστάθεια του μίγματος επιτυγχάνεται μετά από εβδομάδες ή μήνες και εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες και τις συνθήκες του έργου. Κατά τη διάρκεια της περιόδου αυτής το μίγμα μπορεί να εκτεθεί στην επίδραση του νερού και έτσι να ελαττωθεί η ευστάθειά του. Για το λόγο αυτό προσδιορίζεται η Διορθωμένη Διαβρεγμένη Ευστάθεια (1).

Όσο αυξάνεται το ποσοστό ασφάλτου, μειώνεται η τιμή της Δ.Δ.Ε. Γενικώς η τιμή της Δ.Δ.Ε. είναι μικρότερη της αντίστοιχης Δ.Ξ.Ε. εκτός από την περιοχή που το μίγμα έχει μικρό ποσοστό ασφάλτου. Εκεί η τιμή της Δ.Δ.Ε. είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη τιμή της Δ.Ξ.Ε. γεγονός που χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση διότι πιθανόν είναι να οφείλεται σε μειωμένη ακρίβεια μετρήσεων. Η άποψη αυτή επικουρείται και από το γεγονός ότι θα έπρεπε να παρατηρείται το ίδιο φαινόμενο και στη μέτρηση των μέτρων δυσκαμψίας γεγονός που δεν ισχύει.

α) Καπονικό γαλάκτωμα

Το διάγραμμα ακολουθεί την αναμενόμενη μορφή. Η ελάχιστη τιμή της Δ.Δ.Ε. για βέλτιστη συμπεριφορά του μίγματος για τη διαβάθμιση IV είναι 1335 N (1). Όλες οι τιμές της Δ.Δ.Ε. για το εύρος των ποσοστών ασφάλτου που εξετάζουμε είναι μεγαλύτερες από την ελάχιστη τιμή των 1335 N που απαιτείται. Επισημαίνεται ότι η μέγιστη τιμή της Δ.Δ.Ε. είναι ίση με 1950 N, για ποσοστό ασφάλτου ίσο με 5,4 %κ.β. μίγματος.

β) Ανιονικό ελαστομερές γαλάκτωμα

Το διάγραμμα ακολουθεί την αναμενόμενη μορφή. Η ελάχιστη τιμή της Δ.Δ.Ε. για βέλτιστη συμπεριφορά του μίγματος για τη διαβάθμιση IV είναι 1335 N (1). Όλες οι τιμές της Δ.Δ.Ε. για το εύρος των ποσοστών ασφάλτου που εξετάζουμε είναι μεγαλύτερες από την ελάχιστη τιμή των 1335 N που απαιτείται. Επισημαίνεται ότι η μέγιστη τιμή της Δ.Δ.Ε. είναι ίση με 3250 N, για ποσοστό ασφάλτου ίσο με 2,8 %κ.β. μίγματος.

γ) Ανιονικό μη ελαστομερές γαλάκτωμα

Το διάγραμμα ακολουθεί την αναμενόμενη μορφή. Η ελάχιστη τιμή της Δ.Δ.Ε. για βέλτιστη συμπεριφορά του μίγματος για τη διαβάθμιση IV είναι 1335 N (1). Όλες οι τιμές της Δ.Δ.Ε. για το εύρος των ποσοστών ασφάλτου που εξετάζουμε είναι μεγαλύτερες από την ελάχιστη τιμή των 1335 N που απαιτείται. Επισημαίνεται ότι η μέγιστη τιμή της Δ.Δ.Ε. είναι ίση με 4920 N, για ποσοστό ασφάλτου ίσο με 2,8 %κ.β. μίγματος.

2.3 Διατηρηθείσα Ευστάθεια - Ποσοστό ασφάλτου (Διάγραμμα 13)

Η διατηρηθείσα ευστάθεια δείχνει την τιμή (%) της Δ.Δ.Ε. ως προς την αντίστοιχη Δ.Ε.Ε. για κάθε ποσοστό ασφάλτου του μίγματος. Το ποσοστό της διατηρηθείσας ευστάθειας μειώνεται με την αύξηση του ποσοστού ασφάλτου στο μίγμα. Το διάγραμμα αυτό είναι συνδυασμός των διαγραμμάτων 11 και 12.

α) Κατιονικό γαλάκτωμα

Η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή της διατηρηθείσας ευστάθειας είναι ίση με 50% για βέλτιστη συμπεριφορά του μίγματος για την διαβάθμιση IV [1]. Όλες οι τιμές της διατηρηθείσας ευστάθειας για το εύρος των ποσοστών ασφάλτου που εξετάζουμε είναι μεγαλύτερες από την ελάχιστη τιμή του 50% που απαιτείται.

β) Ανιονικό ελαστομερές γαλάκτωμα

Η ελάχιστη τιμή της διατηρηθείσας ευστάθειας είναι ίση με 50% για βέλτιστη συμπεριφορά του μίγματος για την διαβάθμιση V [1]. Όλες οι τιμές της διατηρηθείσας ευστάθειας για το εύρος των ποσοστών ασφάλτου που εξετάζουμε είναι μεγαλύτερες από την ελάχιστη τιμή του 50% που απαιτείται.

γ) Ανιονικό μη ελαστομερές γαλάκτωμα

Η ελάχιστη τιμή της διατηρηθείσας ευστάθειας είναι ίση με 50% για βέλτιστη συμπεριφορά του μίγματος για την διαβάθμιση V [1]. Όλες οι τιμές της διατηρηθείσας ευστάθειας για το εύρος των ποσοστών ασφάλτου που εξετάζουμε είναι μεγαλύτερες από την ελάχιστη τιμή του 50% που απαιτείται.

2.4 Απορροφηθείσα υγρασία - Ποσοστό ασφάλτου (Διάγραμμα 14)

Η απορροφηθείσα υγρασία δείχνει το ποσοστό νερού που απορροφήθηκε από τα δοκίμια κατά τη διαδικασία εμβάπτισής τους σε υδατόλουτρο για κάθε ποσοστό ασφάλτου του μίγματος.

Το ποσοστό της απορροφηθείσας υγρασίας παρουσιάζει μια μικρή μείωση με την αύξηση του ποσοστού ασφάλτου στο μίγμα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το νερό βρίσκει δυσκολότερα δίοδο όσο αυξάνει το ποσοστό ασφάλτου.

α) Κατιονικό γαλάκτωμα

Το διάγραμμα ακολουθεί την αναμενόμενη μορφή. Η μέγιστη τιμή της απορροφηθείσας υγρασίας είναι ίση με 4% για βέλτιστη συμπεριφορά του μίγματος για την διαβάθμιση IV [1]. Όλες οι τιμές της απορροφηθείσας υγρασίας για το εύρος των ποσοστών ασφάλτου που εξετάζουμε είναι μικρότερες από την μέγιστη τιμή του 4% που απαιτείται.

β) Ανιονικό ελαστομερές γαλάκτωμα

Το διάγραμμα ακολουθεί την αναμενόμενη μορφή. Η μέγιστη τιμή της απορροφηθείσας υγρασίας είναι ίση με 4% για βέλτιστη συμπεριφορά του μίγματος για την διαβάθμιση V [1]. Όλες οι τιμές της απορροφηθείσας υγρασίας για το εύρος των ποσοστών ασφάλτου που εξετάζουμε είναι μικρότερες από την μέγιστη τιμή του 4% που απαιτείται.

γ) Ανιονικό μη ελαστομερές γαλάκτωμα

Το διάγραμμα ακολουθεί την αναμενόμενη μορφή. Η μέγιστη τιμή της απορροφηθείσας υγρασίας είναι ίση με 4% για βέλτιστη συμπεριφορά του μίγματος για την διαβάθμιση V [1]. Όλες οι τιμές της απορροφηθείσας υγρασίας για το εύρος των ποσοστών ασφάλτου που εξετάζουμε είναι μικρότερες από την μέγιστη τιμή του 4% που απαιτείται.

2.5 Φαινόμενο και Ξηρό Ειδικό Βάρος - Ποσοστό ασφάλτου (Διαγράμματα 15,16,17,18)

Το Φ.Ε.Β. και Ξ.Ε.Β. εκφράζει τη πυκνότητα του μίγματος (συμπύκνωση). Όσο αυξάνει το ποσοστό ασφάλτου αυξάνεται η εργασιμότητα του μίγματος: συμπυκνώνεται καλύτερα το μίγμα και συνεπώς αυξάνεται η τιμή του Φ.Ε.Β. και Ξ.Ε.Β. Μετά όμως από κάποιο ποσοστό παρατηρείται περίσσεια ασφάλτου σε βάρος των αδρανών (ειδικό βάρος ασφάλτου μικρότερο των αδρανών) με αποτέλεσμα τη μείωση της τιμής του Φ.Ε.Β. και Ξ.Ε.Β.

Επειδή ο υπολογισμός του όγκου πραγματοποιήθηκε με μετρήσεις των διαστάσεων των δοκιμίων και όχι με χρήση παραφίνης διατηρείται μια επιφύλαξη ως προς την ακρίβεια των τιμών του Φ.Ε.Β. και Ξ.Ε.Β. και επομένως και για τα σχόλια που ακολουθούν.

α) Καπνικό γαλάκτωμα

Το διάγραμμα του Φ.Ε.Β. και Ξ.Ε.Β. για τα αποτελέσματα των 7 ημερών έχει την αναμενόμενη μορφή, παρουσιάζοντας μέγιστη τιμή Φ.Ε.Β. ίση με $2,26 \text{ gr/cm}^3$ και Ξ.Ε.Β. ίση με $2,25 \text{ gr/cm}^3$ για ποσοστό ασφάλτου ίσο με 6,3% κ.β.μίγματος.

Το διάγραμμα του Φ.Ε.Β. και Ξ.Ε.Β. για τα αποτελέσματα των 15 ημερών παρουσιάζει μία απόκλιση από την αναμενόμενη μορφή που πιθανότατα οφείλεται σε λανθασμένη μέτρηση του τρίτου σημείου του διαγράμματος.

β) Ανιονικό ελαστομερές γαλάκτωμα

Το διάγραμμα του Φ.Ε.Β. και Ξ.Ε.Β. για τα αποτελέσματα των 7 και 15 ημερών παρουσιάζει το πρώτο μόνο σκέλος της αναμενόμενης μορφής, δηλαδή συνεχή αύξηση. Η μέγιστη τιμή του Φ.Ε.Β. για αποτελέσματα 7 ημερών είναι ίση με $2,30 \text{ gr/cm}^3$ ενώ για αποτελέσματα 15 ημερών είναι ίση με $2,34 \text{ gr/cm}^3$ για ποσοστό ασφάλτου ίσο με 5,4% κ.β.μίγματος. Αντίστοιχα η μέγιστη τιμή του Ξ.Ε.Β. είναι ίση με $2,27 \text{ gr/cm}^3$ και $2,31 \text{ gr/cm}^3$ για ποσοστό ασφάλτου ίσο με 5,4% κ.β.μίγματος.

γ) Ανιονικό μη ελαστομερές γαλάκτωμα

Το διάγραμμα του Φ.Ε.Β. και Ξ.Ε.Β. για τα αποτελέσματα των 7 και 15 ημερών παρουσιάζει το δεύτερο μόνο σκέλος της αναμενόμενης μορφής, δηλαδή συνεχή μείωση. Η μέγιστη τιμή του Φ.Ε.Β. για αποτελέσματα 7 ημερών είναι ίση με $2,33 \text{ gr/cm}^3$ ενώ για αποτελέσματα 15 ημερών είναι ίση με $2,35 \text{ gr/cm}^3$ για ποσοστό ασφάλτου ίσο με 2,8% κ.β.μίγματος. Αντίστοιχα η μέγιστη τιμή του Ξ.Ε.Β. είναι ίση με $2,32 \text{ gr/cm}^3$ και $2,33 \text{ gr/cm}^3$ για ποσοστό ασφάλτου ίσο με 2,8% κ.β.μίγματος.

2.6 Ποσοστό κενών - Ποσοστό ασφάλτου (Διαγράμματα 19,20)

Το ποσοστό κενών καθορίζει τα αναμενόμενα κενά του τάπητα μετά την πάροδο κάποιου χρόνου. Στη περίπτωση που το μίγμα έχει κενά μικρότερα του επιτρεπτού είναι σίγουρο ότι θα παραμορφωθεί πρόωρα, παρουσιάζοντας έντονη τροχοσυλάκωση με εκατέρωθεν αυτής πλευρική υπερέκφυση του τάπητα ή απώθηση [1].

Όσο αυξάνει το ποσοστό ασφάλτου καλύπτονται τα κενά μεταξύ των αδρανών με αποτέλεσμα τη μείωση του ποσοστού κενών. Μετά όμως από κάποιο ποσοστό παρατηρείται περίσσεια ασφάλτου (αύξηση του πάχους υμένα της ασφάλτου) σε βάρος των αδρανών με αποτέλεσμα την αύξηση του ποσοστού κενών.

α) Κατιονικό γαλάκτωμα

Το διάγραμμα ακολουθεί την αναμενόμενη μορφή για τα αποτελέσματα των 7 ημερών, ενώ παρουσιάζει απόκλιση για τα αποτελέσματα των 15 ημερών που πιθανότατα οφείλεται σε λανθασμένες μετρήσεις.

Η ελάχιστη και μέγιστη τιμή του ποσοστού κενών για βέλτιστη συμπεριφορά του μίγματος για τη διαβάθμιση IV είναι 6% και 12% αντίστοιχα. Οι τιμές του ποσοστού κενών για το εύρος των ποσοστών ασφάλτου που εξετάζουμε βρίσκονται μέσα στα προαναφερθέντα όρια.

β) Ανιονικό ελαστομερές γαλάκτωμα

Τα διαγράμματα για τα αποτελέσματα των 7 και 15 ημερών παρουσιάζουν το πρώτο μόνο σκέλος της αναμενόμενης μορφής, δηλαδή συνεχή μείωση. Η ελάχιστη και μέγιστη τιμή του ποσοστού κενών για βέλτιστη συμπεριφορά του μίγματος για τη διαβάθμιση V είναι 6% και 12% αντίστοιχα. Για τα αποτελέσματα των 7 ημερών οι τιμές του ποσοστού κενών που βρίσκονται μέσα στα προαναφερθέντα όρια είναι από 3,5% μέχρι 5,4% ποσοστό ασφάλτου κ.β. μίγματος, ενώ για τα αποτελέσματα των 15 ημερών οι αντίστοιχες τιμές είναι από 4% μέχρι 5,2% ποσοστά ασφάλτου κ.β. μίγματος.

γ) Ανιονικό μη ελαστομερές γαλάκτωμα

Τα διαγράμματα για τα αποτελέσματα των 7 και 15 ημερών παρουσιάζουν την αναμενόμενη μορφή. Η ελάχιστη και μέγιστη τιμή του ποσοστού κενών για βέλτιστη συμπεριφορά του μίγματος για τη διαβάθμιση V είναι 6% και 12% αντίστοιχα. Για τα αποτελέσματα των 7 και 15 ημερών οι τιμές του ποσοστού κενών που βρίσκονται μέσα στα προαναφερθέντα όρια είναι από 2,8% μέχρι 5,4% ποσοστά ασφάλτου κ.β. μίγματος.

2.7 Ποσοστό VMA - Ποσοστό ασφάλτου (Διαγράμματα 21,22)

Το VMA διασφαλίζει την καλή συμπεριφορά του μίγματος. Με το VMA εξασφαλίζεται ότι ο διαθέσιμος χώρος μεταξύ των αδρανών είναι επαρκής για να παραλάβει την ποσότητα της ασφάλτου [1].

Όσο αυξάνει το ποσοστό ασφάλτου καλύπτεται ο χώρος μεταξύ των αδρανών με ασφάλτο με αποτέλεσμα τη μείωση του VMA. Μετά όμως από κάποιο ποσοστό παρατηρείται περίσσεια ασφάλτου που έχει ως συνέπεια τη μείωση του βάρους των αδρανών με αποτέλεσμα την αύξηση του ποσοστού VMA.

α) Καπονικό γαλάκτωμα

Το διάγραμμα ακολουθεί την αναμενόμενη μορφή για τα αποτελέσματα των 7 ημερών, ενώ παρουσιάζει απόκλιση για τα αποτελέσματα των 15 ημερών που πιθανότατα οφείλεται σε λανθασμένες μετρήσεις.

Να σημειωθεί ότι δεν προδιαγράφεται ελάχιστη και μέγιστη τιμή του ποσοστού VMA για βέλτιστη συμπεριφορά του μίγματος για τη διαβάθμιση IV. Οι τιμές του ποσοστού VMA για το εύρος των ποσοστών ασφάλτου που εξετάζουμε είναι από 21% έως 25%.

β) Ανιονικό ελαστομερές γαλάκτωμα

Τα διαγράμματα για τα αποτελέσματα των 7 και 15 ημερών παρουσιάζουν το πρώτο μόνο σκέλος της αναμενόμενης μορφής, δηλαδή συνεχή μείωση.

Να σημειωθεί ότι δεν προδιαγράφεται ελάχιστη και μέγιστη τιμή του ποσοστού VMA για βέλτιστη συμπεριφορά του μίγματος για τη διαβάθμιση V. Οι τιμές του ποσοστού VMA για το εύρος των ποσοστών ασφάλτου που εξετάζουμε είναι από 19% έως 22% (αποτελέσματα 7 ημερών) και από 18% έως 22% (αποτελέσματα 15 ημερών).

γ) Ανιονικό μη ελαστομερές γαλάκτωμα

Τα διαγράμματα για τα αποτελέσματα των 7 και 15 ημερών παρουσιάζουν το δεύτερο μόνο σκέλος της αναμενόμενης μορφής, δηλαδή συνεχή αύξηση.

Να σημειωθεί ότι δεν προδιαγράφεται ελάχιστη και μέγιστη τιμή του ποσοστού VMA για βέλτιστη συμπεριφορά του μίγματος για τη διαβάθμιση V. Οι τιμές του ποσοστού VMA για το εύρος των ποσοστών ασφάλτου που εξετάζουμε είναι από 15% έως 22% (αποτελέσματα 7 ημερών) και από 15% έως 22% (αποτελέσματα 15 ημερών).

2.8 "Ξηρή" και "Διαβρεγμένη" Υποχώρηση - Ποσοστό ασφάλτου (Διαγράμματα 23,24)

Η υποχώρηση διασφαλίζει ότι το μίγμα δεν πρόκειται να παραμορφωθεί υπερβολικά. Όσο αυξάνεται το ποσοστό ασφάλτου πρέπει να αυξάνει και η υποχώρηση. Όμως, ο τρόπος μέτρησης της υποχώρησης από τη συσκευή Marshall (χρήση μηκυνομέτρου) δεν ήταν ακριβής γι' αυτό και η μορφή των καμπυλών δεν είναι η αναμενόμενη σε όλα τα διαγράμματα.

α) Κατιονικό γαλάκτωμα

Τα διαγράμματα δεν ακολουθούν την αναμενόμενη μορφή. Να σημειωθεί ότι δεν προδιαγράφεται ελάχιστη και μέγιστη τιμή της $\Xi.Y$ και $\Delta.Y$ για βέλτιστη συμπεριφορά του μίγματος για τη διαβάθμιση IV. Οι τιμές τους για το εύρος των ποσοστών ασφάλτου που εξετάζουμε είναι από 5,5 έως 7,5mm και από 6 έως 7mm αντίστοιχα.

β) Ανιονικό ελαστομερές γαλάκτωμα

Τα διαγράμματα ακολουθούν την αναμενόμενη μορφή. Να σημειωθεί ότι δεν προδιαγράφεται ελάχιστη και μέγιστη τιμή της $\Xi.Y$ και $\Delta.Y$ για βέλτιστη συμπεριφορά του μίγματος για τη διαβάθμιση V. Οι τιμές τους για το εύρος των ποσοστών ασφάλτου που εξετάζουμε είναι από 6 έως 8mm και από 5 έως 8,5mm αντίστοιχα.

γ) Ανιονικό μη ελαστομερές γαλάκτωμα

Το διάγραμμα για την $\Xi.Y$ δεν ακολουθεί την αναμενόμενη μορφή, ενώ το διάγραμμα για την $\Delta.Y$ την ακολουθεί. Να σημειωθεί ότι δεν προδιαγράφεται ελάχιστη και μέγιστη τιμή της $\Xi.Y$ και $\Delta.Y$ για βέλτιστη συμπεριφορά του μίγματος για τη διαβάθμιση V. Οι τιμές τους για το εύρος των ποσοστών ασφάλτου που εξετάζουμε είναι από 5,5 έως 6,5mm και από 5 έως 8mm αντίστοιχα.

2.9 "Ξηρό" και "Διαβρεγμένο" Μέτρο Δυσκαμψίας - Ποσοστό ασφάλτου (Διαγράμματα 25,26,27)

Το μέτρο δυσκαμψίας είναι πολύ σημαντικό μηχανικά χαρακτηριστικό των ασφαλτομιγμάτων διότι δείχνει την συμπεριφορά του μίγματος σε φόρτιση. Επίσης το μέτρο δυσκαμψίας είναι πολύ σημαντική παράμετρος στον υπολογισμό των οδοστρωμάτων διότι καθιστά δυνατή τη χρησιμοποίηση των ελαστικών επαλλήλων στρώσεων για την ανάλυση των οδοστρωμάτων (υποκαθιστά το E) όταν μία ή περισσότερες στρώσεις αυτών αποτελούνται από ασφαλτομίγμα τα οποία στην πραγματικότητα είναι υλικά ξω-ελαστικά [3].

Οι μέχρι σήμερα υπάρχουσες μεθοδολογίες σύνθεσης στηρίζονται σε εμπειρικά σχεδιαστικά κριτήρια (Ευστάθεια Marshall) με αποτέλεσμα να μην είναι βέβαιο ότι ένα μίγμα του οποίου μελετήθηκε η σύνθεση με βάση τη μέγιστη περίπου τιμή ευστάθειας έχει και τη βέλτιστη μηχανική συμπεριφορά. Γι'αυτό κρίνεται απαραίτητη η σύνδεση μηχανικών κριτηρίων (Μέτρο Δυσκαμψίας) με τον προσδιορισμό της βέλτιστης σύνθεσης του μίγματος. Αυτή είναι μια νέα χρησιμότητα του Μέτρου Δυσκαμψίας πέρα από την κλασσική του που αναφέρεται στην παραγόμενη παράγραφο.

Να σημειωθεί ότι κατά την είσοδο του Μέτρου Δυσκαμψίας στη σύνθεση του μίγματος πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η χρονική διάρκεια συντήρησης των δοκιμών, ώστε να έχει ολοκληρωθεί η διάσπαση του γαλακτώματος. Τότε μόνο οι τιμές που προκύπτουν για το μέτρο δυσκαμψίας ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Για διάρκεια 7 και 15 ημερών οι τιμές που λαμβάνονται είναι μικρές, γι'αυτό και προτείνεται μεγαλύτερη διάρκεια συντήρησης και νέοι έλεγχοι μέσω μιας περαιτέρω διερεύνησης.

Όσο αυξάνεται το ποσοστό ασφάλτου μειώνεται το Μέτρο Δυσκαμψίας καθώς το μίγμα γίνεται πιο εύκαμπτο.

α) Κατιονικό γαλάκτωμα

Τα διαγράμματα για αποτελέσματα "Ξηρού" Sm 7 και 15 ημερών καθώς και "Διαβρεγμένου" Sm 7 ημερών ακολουθούν την αναμενόμενη μορφή. Οι τιμές τους όμως, είναι υπερβολικά μικρές, γεγονός που μπορεί να οφείλεται στην "οριακή" επικαλυπτικότητα που επιτεύχθηκε ή στον συγκεκριμένο τύπο γαλακτώματος.

β) Ανιονικό ελαστομερές γαλάκτωμα

Τα διαγράμματα για αποτελέσματα "Ξηρού" Sm 7 και 15 ημερών καθώς και "Διαβρεγμένου" Sm 7 ημερών ακολουθούν την αναμενόμενη μορφή. Οι τιμές τους είναι μεγαλύτερες από το δοκίμιο με κατιονικό γαλάκτωμα αλλά δεν είναι οι απαιτούμενες, γεγονός που οφείλεται στη μικρή χρονική διάρκεια συντήρησης.

γ) Ανιονικό μη ελαστομερές γαλάκτωμα

Τα διαγράμματα για αποτελέσματα "Ξηρού" Sm 7 και 15 ημερών καθώς και "Διαβρεγμένου" Sm 7 ημερών ακολουθούν την αναμενόμενη μορφή. Οι τιμές τους είναι μεγαλύτερες από όλα τα δοκίμια και φτάνουν σε κάποια ανεκτά επίπεδα στην ηλικία των 15 ημερών (2000Mpa).

2.10 Μόνιμη παραμόρφωση (Διαγράμματα 28-51)

Η μόνιμη παραμόρφωση είναι ακόμα μία μηχανική ιδιότητα που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στη σύνθεση ασφαλομιγμάτων.

α) Κατιονικό γαλάκτωμα

Από τα διαγράμματα παρατηρούνται μεγάλες τιμές αξονικής παραμόρφωσης (μερικά υπερβαίνουν το 10%), μεγάλη κλίση της καμπύλης και απότομη μεταβολή της μετά από κάποια τιμή (συνήθως μετά τις 1000 επαναλήψεις) μέχρι τη θραύση του δοκιμίου που συνήθως συμβαίνει πριν τις 3600 επαναλήψεις. Έτσι επιβεβαιώνονται και τα αποτελέσματα των τιμών του Μέτρου Δυσκαμψίας.

β) Ανιονικό ελαστομερές γαλάκτωμα

Από τα διαγράμματα παρατηρούνται μικρότερες τιμές αξονικής παραμόρφωσης (δεν ξεπερνούν το 5%), η κλίση της καμπύλης είναι πιο ήπια και τα δοκίμια αντέχουν τις 3600 επαναλήψεις χωρίς μάλιστα να παρουσιάζουν απότομη μεταβολή κλίσης προς το τέλος. Ειδικά για τα δοκίμια 23.24 που αντιστοιχούν σε ποσοστό ασφάλτου 2,8% κ.β.μίγματος η κλίση της καμπύλης είναι σχεδόν μηδενική και η τιμή της αξονικής παραμόρφωσης δεν υπερβαίνει το 2%.

γ) Ανιονικό μη ελαστομερές γαλάκτωμα

Τα διαγράμματα παρουσιάζουν μια ενδιαμέση μορφή των δύο προηγούμενων τύπων γαλακτωμάτων με τιμές αξονικής παραμόρφωσης από 2% έως 10% και σχετικά μεγάλη κλίση της καμπύλης. Μόνο τα δοκίμια 23,24 που αντιστοιχούν σε ποσοστό ασφάλτου 2,8% κ.β.μίγματος έχουν ήπια κλίση καμπύλης και η τιμή της αξονικής παραμόρφωσης δεν υπερβαίνει το 2%.

3. Συμπεράσματα

α) Κατιονικό γαλάκτωμα

Από το κριτήριο της Ευστάθειας προκύπτει βέλτιστο ποσοστό ασφάλτου ίσο με 6,9% κ.β.μίγματος για τη σύνθεση του ασφαλτομίγματος. Το ποσοστό αυτό ικανοποιεί τις προδιαγραφές όλων των άλλων κριτηρίων (Διαβρεγμένη Ευστάθεια, Διατηρηθείσα Ευστάθεια, Απορροφηθείσα υγρασία, Ποσοστό κενών) που απαιτούνται για βέλτιστη συμπεριφορά του μίγματος για τη διαβάθμιση IV.

Από τα κριτήρια των μηχανικών ιδιοτήτων λαμβάνονται μικρές τιμές του Μέτρου Δυσκαμψίας και μεγάλες τιμές αξονικής παραμόρφωσης, που καθιστούν την δεδομένη μελέτη σύνθεσης ακατάλληλη. Γενικότερα παρουσιάσθηκαν πολλά προβλήματα στη διάρκεια των δοκιμών που δημιουργούν υποψίες για την καταλληλότητα του συγκεκριμένου τύπου γαλακτώματος.

Παρόλο τα μη ακριβή αποτελέσματα, η όλη εργασία αποτέλεσε μια σημαντική απόκτηση εμπειρίας για την εφαρμογή της μεθόδου στους δύο άλλους τύπους γαλακτώματος ώστε να εξαχθούν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

β) Ανιονικό γαλάκτωμα

Από το κριτήριο της Ευστάθειας προκύπτει βέλτιστο ποσοστό ασφάλτου ίσο με 3,3% κ.β.μίγματος για το ελαστομερές και 3,7% για το μη ελαστομερές γαλάκτωμα. Τα ποσοστά αυτά ικανοποιούν τις προδιαγραφές όλων των άλλων κριτηρίων (Διαβρεγμένη Ευστάθεια, Διατηρηθείσα Ευστάθεια, Απορροφηθείσα υγρασία, Ποσοστό κενών) που απαιτούνται για βέλτιστη συμπεριφορά του μίγματος για τη διαβάθμιση V.

Οι τιμές του Μέτρου Δυσκαμψίας είναι σχετικά μικρές και για τους δύο τύπους γαλακτωμάτων, γεγονός που αποδίδεται στη μικρή χρονική διάρκεια συντήρησης των δοκιμών κατά την οποία δεν ολοκληρώθηκε η διάσπαση του γαλακτώματος. Επίσης, να σημειωθεί ότι οι τιμές του Μέτρου Δυσκαμψίας για το μη ελαστομερές γαλάκτωμα (κοινή άσφαλτος) είναι μεγαλύτερες των τιμών του ελαστομερούς γαλακτώματος (τροποποιημένη άσφαλτος). Αυτό δεν ήταν αναμενόμενο αφού η χρήση ελαστομερούς βελτιώνει τα χαρακτηριστικά του ασφαλτομίγματος και θα πρέπει μετά την πάροδο μεγαλύτερου χρονικού διαστήματος το ελαστομερές γαλάκτωμα να αποκτήσει υψηλότερες τιμές.

Οι τιμές της αξονικής παραμόρφωσης ήταν γενικά ικανοποιητικές και ειδικά για τα μικρά ποσοστά ασφάλτου (3%-4%) δεν υπερέβαιναν το 2%. Τα δοκίμια με ελαστομερές γαλάκτωμα παρουσίαζαν καλύτερη συμπεριφορά σε μόνιμη παραμόρφωση πράγμα που ήταν αναμενόμενο.

Τέλος να σημειωθεί ότι η χρήση ελαστομερούς κάνει πιο εργάσιμο το μίγμα και συμπυκνώνεται καλύτερα.

γ) Γενικά

Παρόλες τις παραπάνω επιφυλάξεις παρατηρείται ότι τα βέλτιστα ποσοστά για τα κατιονικά και τα ανιονικά ελαστομερή που προβλέπονται από το κριτήριο της Ευστάθειας δεν διαφέρουν σημαντικά από εκείνο της μέγιστης δυσκαμψίας. Αυτό δεν ισχύει για τα ανιονικά μη ελαστομερή.

Δεδομένου ότι η επιλογή του βέλτιστου ποσοστού είναι θέμα συνδυασμού πολλών παραμέτρων και κυρίως πείρας από την συμπεριφορά των οδοστρωμάτων, θεωρείται ακόμη πρόωρο να γίνεται η επιλογή με μόνο κριτήριο την δυσκαμψία. Προτείνεται όμως να συμπεριλαμβάνεται στα χρησιμοποιούμενα στοιχεία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Νικολαΐδης Αθ., Οδοστρώματα - Υλικά - Έλεγχος Ποιότητας, Θεσσαλονίκη 1996
- [2] Κόλιας Σ. - Λοΐζος Α., Ειδικά θέματα Οδοστρωμάτων (Σημειώσεις), Αθήνα 1997
- [3] Κόλιας Σ. - Λοΐζος Α., Σημειώσεις Οδοστρωμάτων, Αθήνα 1996
- [4] ΥΠΕΧΩΔΕ, Πρότυπες Τεχνικές Προδιαγραφές Έργων Οδοποιίας - Οδοστρώσας, "Κατασκευή υποβάσεων οδοστρωμάτων με αδρανή υλικά σταθεροποιημένου τύπου" Ο150, Εθνικό Τυπογραφείο, Αθήνα 1966
- [5] ΥΠΕΧΩΔΕ, Πρότυπες Τεχνικές Προδιαγραφές Έργων Οδοποιίας - Οδοστρώσας, "Κατασκευή βάσεων οδοστρωμάτων με αδρανή υλικά σταθεροποιημένου τύπου" Ο155, Εθνικό Τυπογραφείο, Αθήνα 1966
- [6] ΥΠΕΧΩΔΕ, Πρότυπες Τεχνικές Προδιαγραφές Έργων Οδοποιίας - Ασφαλτικά Έργα, "Ασφαλτικές βάσεις για ασφαλτομιγμάτα παρασκευαζόμενα εν θερμώ σε μόνιμη εγκατάσταση" Α260, Εθνικό Τυπογραφείο, Αθήνα 1966
- [7] ΥΠΕΧΩΔΕ, Πρότυπες Τεχνικές Προδιαγραφές Έργων Οδοποιίας - Ασφαλτικά Έργα, "Ασφαλτικό σκυρόδεμα" Α265, Εθνικό Τυπογραφείο, Αθήνα 1966
- [8] ΥΠΕΧΩΔΕ, Πρότυπες Τεχνικές Προδιαγραφές Έργων Οδοποιίας - Ασφαλτικά Έργα, "Ασφαλτος οδοστρώσας" Α200, Εθνικό Τυπογραφείο, Αθήνα 1966
- [9] ΥΠΕΧΩΔΕ, Πρότυπες Τεχνικές Προδιαγραφές Έργων Οδοποιίας - Ασφαλτικά Έργα, "Ασφαλτικά διαλύματα" Α201, Εθνικό Τυπογραφείο, Αθήνα 1980
- [10] ΥΠΕΧΩΔΕ, Πρότυπες Τεχνικές Προδιαγραφές Έργων Οδοποιίας - Ασφαλτικά Έργα, "Αντιυδροφιλα υλικά" Α205, Εθνικό Τυπογραφείο, Αθήνα 1980
- [11] ΥΠΕΧΩΔΕ, Πρότυπες Τεχνικές Προδιαγραφές Έργων Οδοποιίας - Ασφαλτικά Έργα, "Ασφαλτικά αλκαλικά γαλακτώματα (Ψυχρές άσφαλτοι)" Α201, Εθνικό Τυπογραφείο, Αθήνα 1980
- [12] ΥΠΕΧΩΔΕ, Πρότυπες Τεχνικές Προδιαγραφές Έργων Οδοποιίας - Ασφαλτικά Έργα, "Ασφαλτικά γαλακτώματα αντιυδροφίλου τύπου" Α203, Εθνικό Τυπογραφείο, Αθήνα 1980
- [13] Κορίτσας Ι., Εργαστήριο ασφαλτικών υλικών
- [14] The Asphalt Institute, January 1976
- [15] Darter M., Wilkey P., Ahlfield S., Wasill R., Research report 505-5, ILLINOIS cooperative Highway Research Program, University of ILLINOIS, February 1978
- [16] ΥΠΕΧΩΔΕ, Πρότυπο Τεύχη και Σχέδια - Τεχνική Συγγραφή Υποχρεώσεων (Τ.Σ.Υ.), Ιούνιος 1991
- [17] ΥΠΕΧΩΔΕ, Μέτρηση Μέτρου Δυσκομψίας και χαρακτηριστικών Μόνιμης Παραμόρφωσης των Ελληνικών ασφαλτομιγμάτων - Ερευνητικό Πρόγραμμα Ιούνιος 1994
- [18] ΥΠΕΧΩΔΕ, Υπολογισμός πάχους νέων οδοστρωμάτων και αξιολόγηση της δομικής κατάστασης υφιστάμενων με τη μέθοδο της συσκευής F.W.D. του Κ.Ε.Δ.Ε. - Ερευνητικό Πρόγραμμα Ιούνιος 1994