

33
ΠΟΛ

Τ.Ε.Ι ΠΕΙΡΑΙΑ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΜΑΘΗΜΑ: ΟΔΟΠΟΪΑ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. Ι. ΚΟΦΙΤΣΑΣ



ΤΙΤΛΟΣ

ΜΕΘΟΔΟΙ - ΜΕΣΑ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΙ

ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΕΥΚΑΜΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ: ΛΑΤΣΟΥΝΗ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ

ΠΟΥΖΩΗ ΑΓΓΕΛΙΚΗ

ΑΘΗΝΑ 1996

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας σε όλους εκείνους που συντέλεσαν στην ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

Πρώτους από όλους θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή Δρ. Ι Κοφίτσα για τη βοήθεια που μας πρόσφερε και τη συμπαράσταση του.

Από όλους τους άλλους θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους εργαστηριακούς του Κ.Ε.Δ.Ε, την εταιρεία Δ. ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ - Μ. ΡΑΣΣΟΠΟΥΛΟΣ ΟΕ με έδρα τη Θεσσαλονίκη, για τις συμβουλές και τις τεχνικές γνώσεις που μας παρείχε και τέλος τις αντιπροσωπείες ΒΙΑΜΕΞ, ΑΦΟΙ ΣΑΡΑΚΑΚΗ ΑΕΒΕ, Π. ΚΟΝΤΕΛΗΣ ΑΕΒΕ, CATERPILLAR για την ενημέρωση σχετικά με τα χαρακτηριστικά των μηχανημάτων οδοποιίας και σε όλους του άλλους που μας στήριξαν ηθικά σε αυτήν την προσπάθεια.

ΛΑΤΣΟΥΝΗ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ
ΠΟΛΥΖΩΗ ΑΓΓΕΛΙΚΗ

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 1996

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΦΟΡΤΙΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ - ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΣ ΦΟΡΤΟΣ	17
2.1 Φορτία και ταξινόμηση οχημάτων	17
2.2 Μέτρηση αξονικού οχήματος	17
2.3 Επιφάνεια και πίεση επαφής	22
2.4 Η έννοια του ισοδύναμου τυπικού άξονα	24
3. ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΠΡΟΣΜΙΞΕΩΝ	32
3.1 Γενικά	32
3.2 Άσφαλτος	35
3.3 Πως επιδρά η άσφαλτος στο αποτέλεσμα της συμπύκνωσης	43
3.4 Παιπάλη	46
3.5 Άμμος	49
3.6 Χονδρόκοκκα αδρανή υλικά	51
3.7 Η διάμετρος των μεγαλύτερων κόκκων	53
4. ΘΕΡΜΑ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΑ	57
4.1 Γενικά	57
4.2 Χαρακτηριστικοί τύποι θερμών ασφαλτομιγμάτων	59
4.3 Σύνθεση θερμών ασφαλτομιγμάτων	94
5. ΨΥΧΡΑ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΑ	130
5.1 Γενικά	130
5.2 Τύποι ψυχρών ασφαλτομιγμάτων	130
5.3 Κλειστού τύπου ψυχρά ασφαλτομίγματα	131
5.4 Ανοικτού τύπου ψυχρά ασφαλτομίγματα	141
5.5 Παραγωγή ψυχρών ασφαλτομιγμάτων	146

5.6	Διάστρωση και συμπύκνωση	151
5.7	Ποιοτικός έλεγχος	152
5.8	Ψυχρά μίγματα Slurry Seal	153
	Παράρτημα	161
6.	ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΩΝ	173
6.1	Γενικά	173
6.2	Μέτρο δυσκαμψίας ασφαλτομίγματος	175
6.3	Χρόνος φόρτισης οδοστρωμάτων	176
6.4	Καθορισμός ελαστικού μέτρου δυσκαμψίας ασφαλτομίγματος	189
6.5	Εκτίμηση ελαστικού μέτρου δυσκαμψίας ασφαλτομίγματος	180
6.6	Καθορισμός στατικού μέτρου δυσκαμψίας	183
6.7	Κόπωση ασφαλτομιγμάτων	183
7.	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΡΩΣΗ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΩΝ	185
7.1	Γενικά	185
7.2	Τύποι ασφαλτικών συγκροτημάτων	186
7.3	Συγκροτήματα παραγωγής ανά παρτίδες	187
7.4	Συγκροτήματα παραγωγής συνεχούς ροής	196
7.5	Έλεγχος παραγωγής ασφαλτομιγμάτων	203
7.6	Δοκιμή εκχύλισης ασφαλτομίγματος	204
7.7	Ανάκτηση ασφάλτου	212
7.8	Μεταφορά ασφαλτομιγμάτων	214
8.	ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΩΝ	215
8.1	Η θερμοκρασία συμπύκνωσης	217
8.2	Ο οδοστρωτήρας	230
8.3	Το πρόγραμμα κυλίνδρωσης	267
8.4	Μερικοί ακόμη παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν το έργο της συμπύκνωσης	289
8.5	Πρακτική παρουσίαση της συμπύκνωσης	305

9. ΟΛΙΣΘΗΡΟΤΗΤΑ - ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ	345
9.1 Λεία επιφάνεια οδοστρώματος	345
9.2 Μέτρηση της τραχύτητας του οδοστρώματος	353
10. ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΦΘΟΡΩΝ ΕΥΚΑΜΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ	355
10.1 Παραμορφώσεις	355
10.2 Ρηγματώσεις	374
10.3 Αποσυνθέσεις επιφάνειας-αναδύσεις	390
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I	408
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II	423
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III	433
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV	452
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V	471
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VI	487
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VII	504
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VIII	513

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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

Τα οδοστρώματα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, στα εύκαπτα και στα δύσκαμπτα (ή άκαμπτα), αν και σήμερα με τη σημαντική αύξηση της χρησιμοποιήσεως δυσκάμπτων στρώσεων από σταθεροποιημένα ή κατεργασμένα, με τσιμέντο ή ασφαλτο, υλικά, η διάκριση αυτή δεν είναι πάντοτε σαφής.

Σαν εύκαμπτα οδοστρώματα χαρακτηρίζονται κυρίως τα ασφαλτικά, που αποτελούνται από στρώσεις κατάλληλων υλικών, όπου οι ανώτερες είναι καλύτερης ποιότητας από τις κατώτερες και που πάνω τους κατασκευάζεται ασφαλτοτάπητας (Σχ.1.1).

Κατά κανόνα τα εύκαμπτα οδοστρώματα αποτελούνται από :

- Υπόβαση
- Βάση
- Επιφανειακή στρώση



Σχήμα 1.1

Τα εύκαμπτα οδοστρώματα κατασκευάζονται από σκυρόδεμα (άοπλο, οπλισμένο ή προεντεταμένο) και εδράζονται σε κατάλληλη βάση (σχ. 1.2).



Σχήμα 1.2

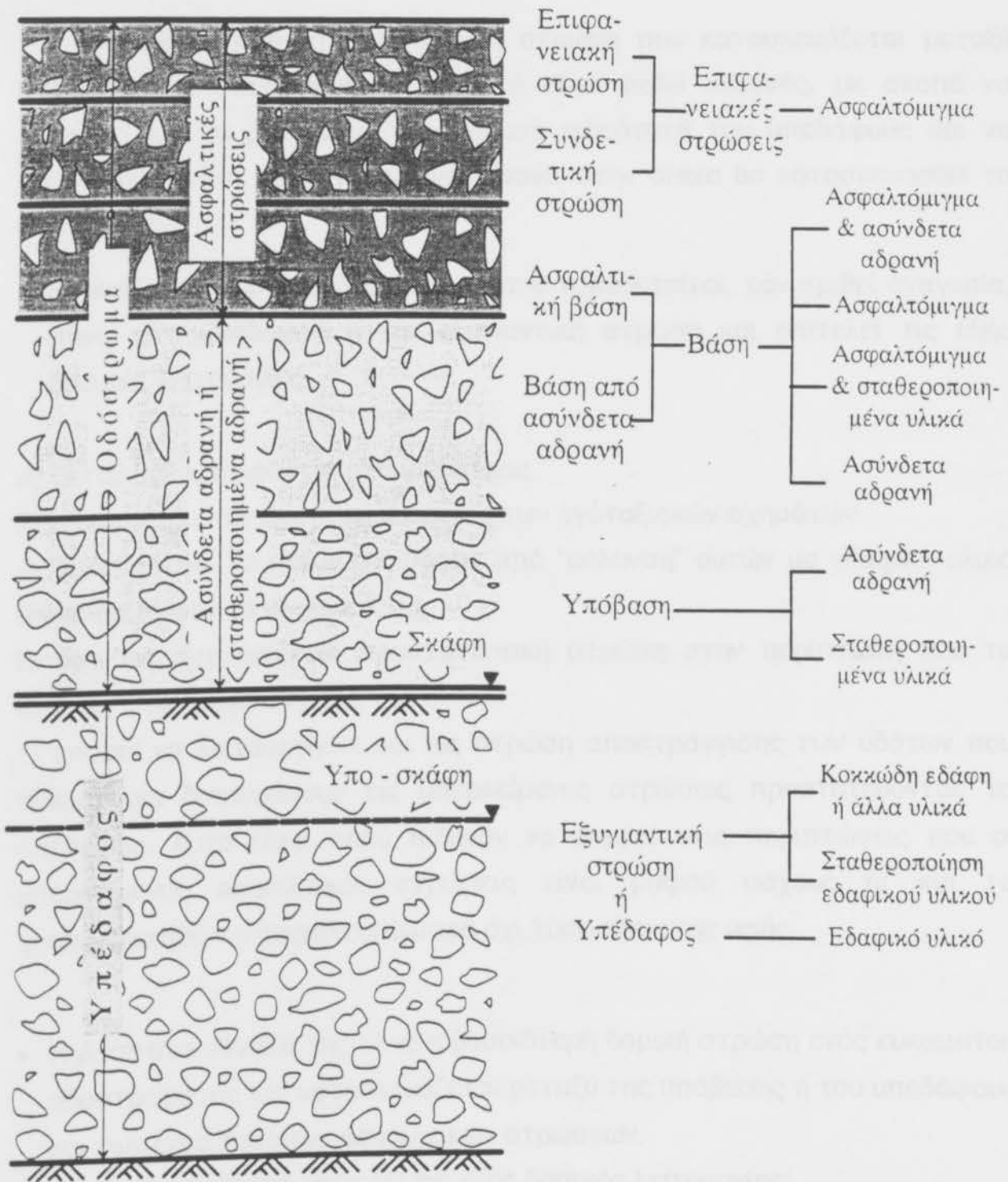
Ο αντικειμενικός σκοπός του οδοστρώματος είναι να παραλάβει τα φορτία κυκλοφορίας και να τα κατανείμει στο υπέδαφος. Βασική επιδίωξη είναι οι μεταβιβαζόμενες στο υπέδαφος τάσεις να μειώνονται σε τέτοιο βαθμό έτσι ώστε να μην επιφέρουν ουσιαστικές παραμορφώσεις ή μετατοπίσεις στην εδαφική στρώση του υπεδάφους. 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). Τέλος, η επιφάνεια του οδοστρώματος θα πρέπει να έχει μια αντιολισθηρή και ανθεκτική, στη λειαντική δράση των ελαστικών, ομαλή επιφάνεια κύλισης. Έτσι, κάθε στρώση ή ομάδα στρώσεων έχει να επιτελέσει ένα ξεχωριστό ρόλο.

Η δομή του εύκαμπτου οδοστρώματος, γενικότερα, αποτελείται από δύο χαρακτηριστικές ομάδες στρώσεων με διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες και συμπεριφορά. Την ομάδα των στρώσεων από ασύνδετα ή/ και σταθεροποιημένα αδρανή, που εδράζεται πάνω στο υπέδαφος, και την ομάδα των στρώσεων από ασφαλτομίγματα, που εδράζεται πάνω στην προηγούμενη ομάδα.

Ο παραπάνω διαχωρισμός της δομής του εύκαμπτου οδοστρώματος βασίζεται στη διαφορετική μηχανική συμπεριφορά των στρώσεων, ομαδοποιημένων, και χρησιμοποιείται σήμερα ως βάση για την ανάπτυξη όλων των μεθοδολογιών διαστασιολόγησης των εύκαμπτων 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 υπεδάφους κατασκευάζεται και *εξυγιαντική στρώση* μεταξύ υποβάσεως και υπεδάφους. Τυπική κατασκευαστική διατομή ευκάμπτου οδοστρώματος δίνεται στο Σχήμα 1.3.



Σχήμα 1.3: Τυπική κατασκευαστική διατομή ευκάμπτου οδοστρώματος

- *Υπέδαφος* (subgrade) είναι το διαμορφωμένο και συμπυκνωμένο έδαφος επί του οποίου κατασκευάζεται το οδόστρωμα, εκτεινόμενο μέχρι βάθους τόσου όσο θα επηρεάσει τη διαστασιολόγηση του οδοστρώματος.

Η *εξυγιαντική στρώση* είναι η στρώση που κατασκευάζεται μεταξύ υπόβασης και υπεδάφους, όταν αυτό είναι πολύ ασθενές, με σκοπό να εξυγιάνει και να βελτιώσει τη φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους και να προετοιμάσει μια ανεκτή επιφάνεια πάνω στην οποία θα κατασκευασθεί το οδόστρωμα.

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

- α) μεταβιβάζει τα φορτία στο υπέδαφος
- β) εξασφαλίζει την άνετη κυκλοφορία των εγοταξιακών οχημάτων
- γ) προστατεύει τα υλικά της βάσης από "μόλυνση" αυτών με εδαφικό υλικό (άργιλος, οργανικά υλικά κ.λ.π.)
- δ) δρα ως αντιπαγετική προστατευτική στρώση στην περίπτωση που το έδαφος είναι παγοπληκτικό
- ε) μπορεί να λειτουργήσει και ως στρώση αποστράγγισης των υδάτων που πιθανόν να διαπεράσουν τις υπερκείμενες στρώσεις προστατεύοντας το υπέδαφος. Αυτό είναι πολύ πιθανόν να συμβεί στις περιπτώσεις που οι υπερκείμενες ασφαλτικές στρώσεις είναι μικρού πάχους ή/ και τα χρησιμοποιηθέντα ασφαλτομίγματα όχι τόσο κλειστής υφής.

- Η *βάση* στο σύνολό της είναι η βασικότερη δομική στρώση ενός εύκαμπτου οδοστρώματος και κατασκευάζεται μεταξύ της υπόβασης ή του υπεδάφους και των επιφανειακών ασφαλτικών στρώσεων.

Αναλυτικότερα επιτελεί τις εξής βασικές λειτουργίες:

- 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 στο υπέδαφος (και διαμέσου της υπόβασης, εάν υπάρχει) σε τέτοιο βαθμό ώστε να μπορούν να

παραληφθούν από τη φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους και να μην προκαλούν ανεπίτρεπτα μεγάλες παραμορφώσεις

- γ) παρέχει στο οδόστρωμα τη δυσκαμψία και την αντοχή αυτού στην κόπωση
- δ) παρέχει μια καλή επιφάνεια έτοιμη να δεχθεί τις επιφανειακές ασφαλτικές στρώσεις
- ε) οι στρώσεις της βάσης από ασύνδετα αδρανή ή σταθεροποιημένα αδρανή συμβάλλουν στην αποτελεσματική συμπύκνωση των υπερκείμενων ασφαλτικών 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.

Στη βάση ενός εύκαμπτου οδοστρώματος υπάρχει και η ασφαλτική βάση.

Η *ασφαλτική 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 άριστης ποιότητας έτσι ώστε η στρώση:

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

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

Ο *τάπητα κυκλοφορίας*, είναι 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 στην καταστροφική δράση της κυκλοφορίας και των καιρικών συνθηκών
- β) να μην παραμορφώνεται από την κυκλοφορία
- γ) να ανθίσταται στη ρηγμάτωση που επέρχεται από θερμοκρασιακές συστοδιαστολές και αναπτυσσόμενες εφελκυστικές τάσεις
- δ) να παρέχει καλή αντιολισθηρή επιφάνεια κύλισης είτε από μόνη της είτε με την προσθήκη προεπαλειμμένων αδρανών ή αντιολισθηρού λεπτοτάπητα slurry seal ή ασφαλτικών επαλείψεων ή άλλης επιφανειακής επεξεργασίας
- ε) να παρέχει καλή επιπεδότητα για υψηλής ποιότητας και ασφάλειας οδήγηση
- στ) να παρέχει επιφάνεια κύλισης με χαμηλό επίπεδο θορύβου
- ζ) να συνεισφέρει στην αντοχή του οδοστρώματος
- η) να είναι σχεδόν αδιαπέρατη από νερό έτσι ώστε να μην επιτρέπεται η διείσδυση του ύδατος στις υποκείμενες στρώσεις. Εξάιρεση 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.

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. Και η στρώση αυτή θα πρέπει να μην παραμορφώνεται, να μη ρηγματώνεται εύκολα και να μην είναι σχεδόν αδιαπέρατη από το νερό.

Η συνδετική στρώση σήμερα, σε πολλές χώρες, παραλείπεται δεδομένου ότι η καλή επιφάνεια για την περετέρω 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 ανοικτής υφής. Ακόμη και στην περίπτωση αυτή η συνδετική στρώση θα μπορούσε να ονομασθεί ασφαλτική

βάση, δεδομένου ότι ως ασφαλτόμιγμα δε διαφέρει σε τίποτε από αυτό για ασφαλτικές βάσεις κλειστής υφής.

Ο σκοπός και η λειτουργία των στρώσεων ποικίλλει ανάλογα με την ελαστικότητα του οδοστρώματος.

Στα εύκαμπτα οδοστρώματα οι στρώσεις υποβάσεως και βάσεως κατασκευάζονται, διότι:

- α) Αποτρέπουν την άνοδο του ύδατος λόγω τριχοειδών
- β) Δίνουν μια πρόσθετη προστασία από τον παγετό
- γ) Συντελούν στην αποστράγγιση
- δ) Αυξάνουν την φέρουσα ικανότητα
- ε) Βοηθούν την κατανομή των φορτίων με το σύστημα των στρώσεων.

Στο εύκαμπτο οδοστρώμα η μεταφορά των φορτίων στο έδαφος γίνεται δια μέσου των στρώσεών του.

Το ολικό πάχος του εύκαμπτου οδοστρώματος πρέπει να είναι τόσο, ώστε οι δυνάμεις, που μεταβιβάζονται σε μεγαλύτερη συνεχώς επιφάνεια, να μειωθούν μέχρι να γίνονται ανεκτές από το έδαφος εδράσεως του οδοστρώματος.

Στα εύκαμπτα οδοστρώματα, η ανοχή του εδάφους εδράσεως είναι ο σημαντικότερος παράγοντας.

Οι κυριότεροι παράγοντες, που υπεισέρχονται στον υπολογισμό του πάχους εύκαμπτου οδοστρώματος, είναι:

- α) Η φύση του εδάφους εδράσεως του οδοστρώματος
- β) Οι κλιματολογικές συνθήκες
- γ) Τα επί τόπου διαθέσιμα υλικά
- δ) Ο κυκλοφοριακός φόρτος

Η φύση του εδάφους εδράσεως επηρεάζει σημαντικά την συμπεριφορά του οδοστρώματος.

Επομένως, η εκτέλεση εδαφοτεχνικής μελέτης στην ζώνη εδράσεως του οδοστρώματος είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό του πάχους του.

Εκτός από τις ορισμένες σταθερές του εδάφους, που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό, χρειάζεται και η γνώση άλλων στοιχείων, που πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη, όπως είναι η στάθμη των υπογείων υδάτων, οι κατολισθήσεις του εδάφους, το βάθος των μαλακών εναποθέσεων κ.λ.π.

Οι κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής, πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη για τον υπολογισμό όχι μόνο του πάχους αλλά και της συνθέσεως του οδοστρώματος.

Οι κυριώτερες είναι:

- Το ύψος των βροχοπτώσεων
- Η δράση του παγετού
- Η συρρίκνωση και η διόγκωση του εδάφους
- Οι εναλλαγές παγετού - τήξεως και υγρασίας - ξηρασίας.

Οι εποχιακές μεταβολές της θερμοκρασίας

Η μελέτη του πάχους και της συνθέσεως του οδοστρώματος πρέπει να κατασκευασθεί με διαφορετικούς τρόπους (π.χ. η υπόβαση μπορεί να κατασκευασθεί με φυσικό ή θραυστό αμμοχάλικο ή ακόμα και με θραυστό πέτρωμα).

Είναι φανερό ότι, η φέρουσα ικανότητα της υποβάσεως εξαρτάται από το είδος του υλικού.

Δηλαδή η χρήση θραυστού πετρώματος, θα έχει μεγαλύτερη φέρουσα ικανότητα από ίσο πάχος φυσικού αμμοχάλικου.

Άρα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το επιτόπιο υλικό, με αμειψίωση του πάχους της στρώσεως της υποβάσεως, μετά από συγκριτική οικονομική μελέτη.

Επί πλέον, μπορεί να προστεθεί ότι η υπόβαση και η βάση ενός οδοστρώματος δεν αποτελούν χωριστές κατασκευές, αλλά είναι δυνατόν κατά τη μελέτη της διατομής του οδοστρώματος να συνδυάζονται, ανάλογα με τα υλικά που συναντώνται, με ενιαίο τρόπο, αρκεί η αντοχή του οδοστρώματος, σαν σύνολο, να είναι η απαιτούμενη. Π.Χ. αν μια περιοχή στερείται φυσικών υλικών υποβάσεως, δεν είναι απαραίτητο να μεταφερθούν αυτά από απομακρυσμένες περιοχές ή να θραυστούν σκληρά πετρώματα για

την παραγωγή υλικών υποβάσεως, αλλά είναι δυνατόν να αυξηθεί κατ' ισοδύναμο πάχος η βάση με ανάλογη ελάττωση του παχους της υποβάσεως ή ακόμα και να καταργηθεί.

Ουσιαστική σημασία για τη σύνθεση ενός οδοστρώματος, που αποτελείται από στρώσεις με διαφορετική ικανότητα, έχει η διάταξη τους κατ' αύξουσα φέρουσα ικανότητα, από κάτω προς τα πάνω και με κάποια σχέση, ώστε όλες οι στρώσεις να φορτίζονται στο επιτρεπτό φορτίο αντοχής τους, επιτυγχάνοντας έτσι το οικονομικότερο οδόστρωμα για συγκεκριμένη αντοχή.

Επομένως, η κατασκευή μιας ισχυρότερης στρώσεως κάτω από ασθενέστερη στρώση είναι αντιοικονομική, διότι αυτή ουδέποτε θα φορτισθεί στο σύνολο της αντοχής της.

Αν συμβεί αυτό, θα έχει σαν συνέπεια την θραύση της ανώτερης στρώσεως.

Για την επίτευξη των επιθυμητών ιδιοτήτων στο ασφαλτόμιγμα κατά τη σταθεροποίηση του οδοστρώματος, και την εξασφάλιση καλής οδήγησης για το συνολικό χρόνο, χρήσης απαιτείται η *συμπύκνωση*.

Η συμπύκνωση προκαλεί παραμένουσες παραμορφώσεις - και μάλιστα τόσο στην μεταβολή της μορφής όσο και ιδιαίτερα στην μεταβολή του όγκου - στην δειαστρωθείσα ασφαλική στρώση με την πλάκα ενός διαστρωτή, κατ' αρχήν σε επίπεδη μορφή. Τα κενά αέρος στην ασφαλική στρώση μειώνονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας συμπύκνωσης και πλησιάζουν - ανάλογα με τον σκοπό της χρήσης και τις ιδιότητες του ασφαλτομίγματος - μια βέλτιστη τιμή.

Κατά την διάρκεια της διαδικασίας θα πρέπει να ξεπεραστεί η χαρακτηριστική του υλικού αντίσταση παραμόρφωσης, η οποία ανάλογα με την σύνθεση και τη θερμοκρασία του μίγματος παίρνει μια διαφορετική τιμή.

Όσο πιο μεγάλη είναι η αντίσταση παραμόρφωσης, τόσο "δύσκολο συμπυκνούμενο" είναι το χρησιμοποιούμενο μίγμα. Για να επιτευχθεί η επιθυμητή κατάσταση συμπύκνωσης, ενός μίγματος δυσκολοσυμπυκνούμενου καταναλίσκεται περισσότερη ενέργεια για συμπύκνωση από ότι για ένα ευκολοσυμπυκνούμενο μίγμα.

Κάθε μίγμα με αυξανόμενη συμπύκνωση τείνει προς μια τελική πυκνότητα.

Όσο πιο εύκολα συμπυκνώνεται τόσο γρηγορότερα επιτυγχάνεται κατά προσέγγιση η τελική πυκνότητα.

Πρέπει λοιπόν σε ένα μίγμα που συμπυκνώνεται εύκολα να παρέχεται λιγότερη εργασία συμπύκνωση, για τη διατήρηση ενός ορισμένου φαινομένου βάρους - συμβατικά καθορισμένου.- Μίγμα που συμπυκνώνεται δύσκολα φθάνει στην τελική πυκνότητα σημαντικά πιο αργά. Πρέπει να καταναλωθεί περισσότερη εργασία συμπύκνωσης. Και έτσι αυξάνονται μεν οι δαπάνες για την διαδικασία αυτής της εργασίας, αλλά όμως περιορίζονται οι παραμορφώσεις με την εναλλαγή των φορτίων βαρειάς κυκλοφορίας.

Η ευκαμψία του ασφαλτομίγματος σε ένα ορισμένο πάχος στρώσης και μέσα σε ορισμένα πλαίσια θερμοκρασίας εξαρτάται από τις ιδιότητες των αδρανών (θραυστοί ή στρογγυλοί κόκκοι), από τη δομή των κόκκων των αδρανών, από το είδος της παιπάλης, από το είδος της ασφάλτου από τη σχέση ανάμιξης διαφόρων συνιστωσών π.χ. σχέση παιπάλης - ασφάλτου.

Η συμπεριφορά σε μεγάλα χρονικά διαστήματα του ασφαλτομίγματος στην οδοποιία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την κατάσταση συμπύκνωσής του.

Η συμπύκνωση κατά τη διάρκεια της κατασκευής με διαστρωτή και οδοστρωτήρες και κατά τη διάρκεια της χρήσης με την επίδραση των ελαστικών των αυτοκινήτων κ.λ.π. επηρεάζει το ποσοστό κενών αέρα σε διάφορες ασφαλτικές στρώσεις, τον αριθμό και το μέγεθος των επιφανειών επαφής μεταξύ των μεμονωμένων κόκκων του αδρανούς και τη θέση αυτών των κόκκων στη δομή του αδρανούς.

Έτοιμο για χρήση ασφαλτικό πρέπει να είναι κατά το δυνατόν στεγανό (πυκνό) διότι:

- δεν μπορεί να εισχωρήσει το νερό (επίδραση θραύσης του παγωμένου νερού μπορεί με συχνές εναλλαγές - πάγωμα - λιώσιμο - να οδηγήσει σε διόγκωση των κενών).
- δεν μπορεί να εισχωρήσει αέρας (το οξυγόνο προκαλεί σκλήρυνση λεπτών μεμβράνων ασφάλτου και φαινόμενα γήρανσης).
- δεν μπορεί να εισχωρήσει ακαθαρσία (εσωτερική αποδυνάμωση με διείσδυση στο συνδετικό υλικό, και κυρίως σε πορώδη λεπτά αδρανή).

Για τη διεισδυτικότητα του νερού ισχύουν οι ακόλουθες τιμές:

Κενά < 3% = Η ασφαλτος είναι αδιαπέρατη

Κενά 3-5% = Η ασφαλτος πρακτικά είναι στεγανή

Κενά 5-8% = Η ασφαλτος είναι ελαφρώς διαπερατή

Κενά >8 % = Η ασφαλτος είναι διαπερατή

Εισροή οξυγόνου προξενεί σκλήρυνση του συνδετικού υλικού.

Εξετάσεις της αντοχής των ασφαλτικών στρώσεων κυκλοφορίας σε καταπόνηση μέχρι φθοράς οδήγησαν σε συμπεράσματα ότι ένα υψηλό ποσοστό κενών στην στρώση κυκλοφορίας και ιδιαίτερα σε χαμηλές θερμοκρασίες και υγρασία (λυώσιμο με χρήση αλατιού στην επιφάνεια των δρόμων κατά τον χειμώνα) έχει ως αποτέλεσμα την επαύξηση των φθορών.

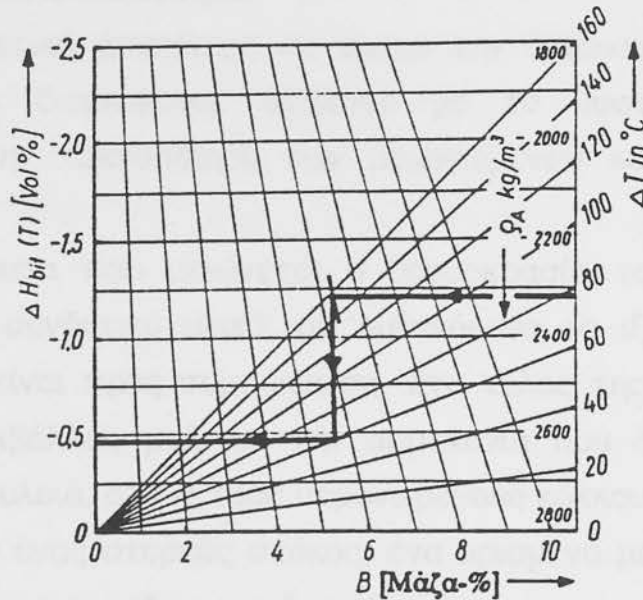
Από πολλές εξετάσεις που έγιναν είναι γνωστή η επίδραση του ποσοστού των κενών στη συμπεριφορά γήρανσης του ασφαλτομίγματος.

Κάθε ασφαλτικό μέσο που συμπυκνώνεται με κύλινδρο καταλήγει σε ένα σύστημα (τύπο) σταθερής δομής το οποίο διαμορφώνεται από τα αδρανή συστατικά του, μέσα στην δομή των οποίων εισχωρεί και συγκολλάται μ' αυτά - μέσω της ασφάλτου - η αμμοκονία.

Η αντίσταση παραμόρφωση αυτού του συστήματος στηρίζεται στο ιξώδες της αμμοκονίας και στην εσωτερική τριβή της δομής των αδρανών και φθάνει στο μέγιστο βαθμό του, εάν κατά τη συμπύκνωση επιτευχθεί το βέλτιστο φαινόμενο βάρος σε δοκίμια κατά MARSHALL έδωσαν μια άμεση σχέση μεταξύ ενέργειας συμπύκνωσης και ευστάθειας κατά MARSHALL.

Προοδευτικά με την ψύξη του ασφαλτικού που έχει χρησιμοποιηθεί υποχωρεί η θερμοκρασιακή διαστολή της ασφάλτου. Ακόμη μεγαλώνουν κατά λίγο και τα κενά αέρα. Μια δυνατότητα για εκτίμηση σε τάξη μεγέθους της μεταβολής των κενών με την μεταβολή της θερμοκρασίας δίνει το νομογράφημα στο Σχήμα 1.4 . Ειδικά σε ασφαλτικές στρώσεις με μικρό ποσοστό κενών είναι δυνατόν, με την επίδραση της θερμοκρασίας και την αύξηση του όγκου των εγκλωβισμένων κενών σε αυτές τις στρώσεις να προκληθεί αργότερα υποπίεση, με την ελάττωση, λόγω διάχυσης, της θερμοκρασίας, η οποία υποπίεση ιδιαίτερα κατά την διάρκεια ή και αμέσως μετά τη φάση ψύξης και με την επίδραση του κυκλοφοριακού φόρτου, μπορεί να είναι αιτία για τις παρουσιαζόμενες παραμορφώσεις. **Το τελειωμένο**

από συμπύκνωση ασφαλτόμιγμα της στρώσης κυκλοφορίας δίνεται για πρώτη φορά στη βαρειά κυκλοφορία, αφού προηγουμένως έχει κρυώσει τελείως (ενδεχομένως για μια νύχτα).



Σχήμα: 1.4 Θερμική σχετική μεταβολή $\Delta H_{bit}(T)$ του ποσοστού κενών ενός συμπυκνωμένου ασφαλτομίγματος ως συνάρτηση του ποσοστού ασφάλτου B , του φαινόμενου βάρους ρ και της διαφοράς της θερμοκρασίας ΔT .

Από φυσική άποψη το ασφαλτικό αποτελεί ένα σύστημα με πολλές φάσεις. Ασφαλτικό κυλίνδρωσης συνίσταται από τις τρεις φάσεις:

- Άσφαλτος - Ρευστή κατάσταση
- Αδρανή - Στερεά κατάσταση
- Κενά αέρα - Αέρια κατάσταση

Κενά αέρα στην χυτή ασφαλτο πρακτικά δεν περιέχονται, υπάρχει πλεόνασμα υλικού.

Το γεγονός ότι σε μια χυτή ασφαλτική στρώση κυκλοφορίας μ' όλα ταύτα δεν παρουσιάζονται παραμορφώσεις, οφείλεται στην ακαμψά της αμμοκονίας.

Η ρευστή και η στερεά φάση είναι πρακτικά ασυμπίεστη ενώ ο αέρας στον χώρο των πόρων συμπιέζεται.

Οι κόκκοι των αδρανών υλικών διαφόρων μεγεθών και μορφής ωθούνται με την επίδραση δυνάμεων κατά την συμπύκνωση ο ένας κοντά στον άλλο, έως ότου φθάσουν και προσδώσουν μια βέλτιστη χαρακτηριστική για το συγκεκριμένο υλικό πυκνότητα.

Η θερμή συνδετική ασφαλτος σε αυτήν την διαδικασία ενεργεί ως μέσο ολίσθησης και διευκολύνει, ανάλογα με το ύψος της θερμοκρασίας κατασκευής, την τακτοποίηση των μεμονωμένων κόκκων, στη δομή του πετρώματος.

Κατά τη διάρκεια που μειώνεται η θερμοκρασία του ασφαλτομίγματος, σκληραίνει το συνδετικό υλικό, με αυξανόμενο το ιξώδες της ασφαλτικής στρώσης που είναι προς συμπύκνωση. Στο τέλος της διαδικασίας ψύξης η ασφαλτος περιβάλλει, μαζί με την αμμοκονία που δημιουργείται από τα λεπτά αδρανή υλικά, όλους τους μεμονωμένους κόκκους, με λεπτή μεμβράνη και γεμίζει σαν ένας στερεός στόκος, ένα ορισμένο μέρος, ανάλογα με το υλικό των κενών στη μάζα των αδρανών.

Η θεωρητικά επιθυμητή "ιδανική μηδενική κατάσταση" είναι μια κατάσταση συμπύκνωσης κατά την οποία κατέχουν μεταξύ τους μια βέλτιστη θέση, ώστε να μην είναι δυνατή καμμία επιπλέον συμπύκνωση πράγμα όμως που στην πράξη - όπως είναι γνωστό - ποτέ δεν επιτυγχάνεται.

Πολλές φορές αυτό καθορίζεται από άλλα πράγματα της στιγμής (επιδράσεις προσανατολισμού, θραύση των κόκκων, ακόμη σε ορισμένες περιπτώσεις εμφανίσεις ρευστότητας).

Κατά την εξέταση από μηχανική άποψη της διαδικασίας συμπύκνωσης, γίνεται η παραδοχή ότι η τάση στην αρχική φάση της συμπύκνωσης κατά το μεγαλύτερο μέρος παραλαμβάνεται από την κατά κάποιο τρόπο ιξώδη αμμοκονία. (Ασφαλτος με παιπάλη και λεπτή άμμο). Υπό την επίδραση αυτής της τάσης εισχωρεί η αμμοκονία στους κενούς χώρους του συστήματος.

Ο αέρας που βρίσκεται στους κενούς χώρους, μπορεί ως επί το πλείστον να απομακρυνθεί. Η ταχύτητα συμπύκνωσης - με παραδοχή ότι το υλικό είναι εύκολο συμπυκνούμενο - σε αυτή την περίοδο καθορίζεται από το ιξώδες της αμμοκονίας.

Μίγματα με χαμηλό ιξώδες της αμμοκονίας είναι κατά τα αναφερόμενα εύκολοσυμπυκνούμενα. Συγχρόνως συνεχίζεται να συμπιέζεται

η δομή των αδρανών υλικών, οι μεμονωμένοι κόκκοι καταλαμβάνουν νέες θέσεις και προξενούν σταθερά αυξανόμενη πυκνότητα. Γι' αυτό αυξάνεται η εσωτερική τριβή της δομής, με αποτέλεσμα η ένταση της απαιτούμενης ενέργειας συμπίκνωσης να απαιτεί συνεχή αύξηση.

Η επόμενη συμπεριφορά του ασφαλτομίγματος εξαρτάται από τον χώρο ο οποίος - λόγω της δομής των αδρανών του ασφαλτομίγματος - διατίθεται για τη διείσδυση της αμμοκονίας. Εάν είναι πολύ μικρός, τότε η αμμοκονία εξέρχεται από τους κενούς χωρους και με την επίδραση της κυλίνδρωσης βγαίνει στην επιφάνεια της κατασκευαζόμενης ασφαλτικής στρώσης. Προξενούνται ανεπιθύμητες παρουσίες ασφάλτου στην επιφάνεια, αποτέλεσμα των οποίων είναι να προκαλούνται χαμηλότεροι συντελεστές ολίσθησης και κακή φωτεινότητα καθώς και μικρότερη διάχυση του φωτός. Το σύστημα για μικρό χρονικό διάστημα είναι δυο φάσεων, κατά το οποίο όλες οι παρουσιαζόμενες τάσεις πρέπει να παραληφθούν μόνον από την αμμοκονία. Η αμμοκονία όμως αυτή για την περίπτωση αυτής της φάσης και φόρτισης είναι πολύ λίγο σκληρή από την φύση της με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται φαινόμενα ροής.

Η συμπίκνωση του ασφαλτομίγματος με κύλινδρο εμφανίζει στην πράξη τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

1. Η διαστρωμένη από τον διαστρωτή στρώση θα πιεσθεί κατ' επανάληψη με έναν αριθμό διελεύσεων του κυλίνδρου.
2. Η μεταδιδόμενη πίεση του κυλίνδρου, ο χρόνος καταπόνησης και η ταχύτητα της συμπίεσης εξαρτώνται από τις ιδιότητες και την ταχύτητα του κυλίνδρου.
3. Η όλη διαδικασία της συμπίκνωσης λαμβάνει χώρα σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα, το οποίο περιορίζεται από το ιξώδες της αμμοκονίας του ασφαλτικού. Το ιξώδες της αμμοκονίας αυξάνεται με την ψύξη και τείνει προς μια οριακή τιμή, όπου κανονικά εμφανίζεται μια ισορροπία μεταξύ φορτίου και αντίστασης σε παραμόρφωση του μίγματος.

Η συμπίκνωση ασφαλτομίγματος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες.

Μια λεπτομερής επισκόπηση μπορεί να εξαχθεί από το επόμενο διάγραμμα συνδυασμού, όπου παριστάνονται οι σχέσεις μεταξύ των διαφόρων επιρροών.

Εδώ φαίνεται έντονα πόσο ασυνήθιστα πολύπλοκη είναι αυτή η διαδικασία. Οι διάφοροι παράγοντες δρουν όχι μόνον άμεσα αλλά ακόμη και έμμεσα, και μάλιστα στο τελευταίο μπορεί να είναι και σοβαρότερο.

Ας πάρουμε ως παράδειγμα το πάχος της στρώσης.

Αυτή έχει μια άμεση επίδραση: **όσο πιο χοντρή είναι η στρώση τόσο καλύτερη είναι η συμπύκνωση.**

Αυτό βέβαια ισχύει, όπως αργότερα θα ειπωθεί, μόνον μέχρι ένα ορισμένο όριο.

Το πάχος της στρώσης έχει όμως και μερικές έμμεσες επιδράσεις στο αποτέλεσμα της συμπύκνωσης.

Η ψύξη χοντροτέρων στρώσεων γίνεται αρκετά πιο αργά. Η μέση θερμοκρασία συμπύκνωσης με αυτόν τον τρόπο γίνεται μεγαλύτερη με σύγκριση σε ίσο χρόνο συμπύκνωσης.

Με ίση δυναμικότητα παραγωγής των εγκαταστάσεων μίγματος η ταχύτητα του διαστρωτή είναι αντίστροφα ανάλογη προς το πάχος στρώσης.

Αυτό σημαίνει ότι ο δυνατός αριθμός των διελεύσεων οδοστρωτήρα είναι ευθέως ανάλογος προς το πάχος της στρώσης, δηλαδή διπλασιάζεται σε διπλασιασμό του πάχους της στρώσης.

2. ΦΟΡΤΙΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ - ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΣ ΦΟΡΤΟΣ

2.1 Φορτία και ταξινόμηση οχημάτων

2.1.1 Φορτία οχημάτων

Τα οχήματα που κυκλοφορούν σε μια οδό είναι μίγμα από επιβατικά οχήματα, λεωφορεία, φορτηγά, ρυμουλκά με ημιρυμουλκούμενα (κοινώς νταλίκες), και φορτηγά ή/και νταλίκες με ρυμουλκούμενα (κοινώς συρμοί). Είναι σαφές ότι το φορτίο του κάθε οχήματος ποικίλλει από όχημα σε όχημα, όπως επίσης ποικίλλει και ο αριθμός των αξόνων και των ελαστικών τροχών, με εξαίρεση τα επιβατικά οχήματα.

Το φορτίο του οχήματος και η κατανομή αυτού μέσω των αξόνων και ελαστικών είναι άμεσα συνυφασμένο με την καταστροφική ικανότητα του κάθε οχήματος. Έτσι, η καταστρεπτική ικανότητα των επιβατικών οχημάτων που το βάρος τους δεν ξεπερνά τους 1.5 τόννους περίπου είναι κατά πολύ μικρότερη από αυτήν των φορτηγών ή των νταλικών ή των συρμών (εμπορικά οχήματα), το βάρος των οποίων μπορεί να φτάσει και τους 60 τόννους. Η καταστρεπτική ικανότητα των επιβατικών οχημάτων σε σύγκριση με την καταστρεπτική ικανότητα των εμπορικών οχημάτων είναι αμελητέα με αποτέλεσμα όλα τα παρακάτω να αναφέρονται σε εμπορικά οχήματα.

Στα εμπορικά οχήματα οι άξονες μπορεί να είναι μονοί ή δίδυμοι ή τρίδυμοι, οι οποίοι φέρουν έναν ή δύο ελαστικούς τροχούς εκατέρωθεν. Οι διαστάσεις των ελαστικών, όπως και τα λοιπά χαρακτηριστικά τους, είναι ανάλογες του τύπου του οχήματος.

Για την προστασία των οδοστρωμάτων όλες οι χώρες έχουν θεσπίσει μέγιστα επιτρεπτά βάρη ανά τύπο οχήματος και κυρίως ανά είδος άξονα. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι από απόψεως οδοστρωμάτων το αξονικό φορτίο είναι αυτό που επηρεάζει άμεσα τους υπολογισμούς και το οδόστρωμα γενικότερα. Το συνολικό φορτίο του οχήματος έχει άμεση σχέση με τη μελέτη των γεφυρών, ή οποιωνδήποτε άλλων μεμονωμένων κατασκευών πάνω στις οποίες πρόκειται να κινηθεί το όχημα. Στην Ελλάδα τα μέγιστα επιτρεπτά βάρη που θεσπίστηκαν ανά είδος

άξονα είναι: για μονό άξονα δίχως κινητήριο δύναμη, 10 τόννοι, για μονό άξονα με κινητήριο δύναμη, 13 τόννοι και για το δίδυμο σύστημα αξόνων, 20 τόννοι. Τα μέγιστα επιτρεπτά αξονικά βάρη που θεσπίστηκαν από άλλες χώρες, ενδεικτικά δίνονται στον Πίνακα 2.1. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η Ευρωπαϊκή Ένωση, από το 1992, έχει θεσπίσει ως ανώτατα επιτρεπτά όρια τους 10, 11.5, και 18 τόννους για μονό δίχως κινητήριο δύναμη και για δίδυμο σύστημα αξόνων, αντίστοιχα.

Για το τρίδυμο σύστημα αξόνων καμία χώρα δεν έχει θεσπίσει μέχρι σήμερα ανώτατο επιτρεπτό βάρος. Το ανώτατο βάρος που μπορεί να φέρει αυτό το σύστημα αξόνων καθορίζεται ουσιαστικά από τους κατασκευαστές και κυμαίνεται από 24 έως 32 τόννους.

2.1.2 Κατηγορίες οδών

Οι οδοί στην Ευρώπη έχουν ταξινομηθεί από άποψη κυκλοφορίας φορτίων στις παρακάτω τρεις κατηγορίες:

- Οδοί με ελαφρή κυκλοφορία: Αντίθετα οχήματα με σύνολο πλάτους περισσότερο από 13,30 ft, συναντιώνται σπάνια.
- Οδοί με βαρεία κυκλοφορία: Αντίθετα οχήματα με σύνολο πλάτους περισσότερο από 13, 30 ft, συναντιώνται συχνά.
- Οδοί με βαρεία κυκλοφορία και ταχεία κυκλοφορία: Όπως και η κατηγορία (2) με επιπλέον ότι, οι ταχύτητες ξεπερνούν τα 100 Km/h.

Στην Β. Αμερική οι οδοί ταξινομούνται σύμφωνα με την θέση τους, στις παρακάτω τρεις κατηγορίες:

- Τοπικές αστικές οδοί: Το εκατοστιαίο ποσοστό των μεγάλων φορτηγών με μέσο συνολικό βάρος 15.000 - 25.000 lb, είναι λιγότερο ή ίσο του 5%.
- Αστικοί αυτοκινητόδρομοι: Το εκατοστιαίο ποσοστό των μεγάλων φορτηγών με μέσο συνολικό βάρος 20.000 - 45.000 lb, είναι 5 - 10%.
- Υπεραστικοί αυτοκινητόδρομοι: Το εκατοστιαίο ποσοστό των μεγάλων φορτηγών με μέσο συνολικό βάρος 30.000 - 45.000 lb, είναι 5 - 25%.

Χώρα	Μέγιστα επιτρεπτά αξονικά φορτία (τόννοι)		
	Μονός άξονας		Δίδυμος
	Δίχως κίνηση	Με κίνηση	
Αγγλία	9-10 ^(α)		16 ή 20-26 ^(α)
Αυστραλία	4.6-9 ^(α)		9-16.5 ^(α)
Αυστρία	10	10	16
Βέλγιο	10	13	20
Γαλλία	13	13	21
Γερμανία	10	10	16
Γιουγκοσλαβία	10	10	16
Δανία	10	10	16
Ελλάδα	10	13	20
Ελβετία	10-12 ^(α)		18
ΗΠΑ ^(β)	9	9	15.6
Ιαπωνία	-	10	20
Ιρλανδία	10	10.5	11-20
Ισπανία	13	13	21
Ιταλία	12	12	19
Καναδάς	4.5-10 ^(α)		16-20 ^(α)
Λουξεμβούργο	10	13	20
Νορβηγία	10	10	16
Ολλανδία	10	10	18
Πορτογαλλία	-	10	16
Σουηδία	10	10	16
Τουρκία	13	13	19
Φινλανδία	10	10	16
Ευρωπαϊκή Ένωση	10	11.5	18

Δεν καθορίζονται όρια

^(α) Εξαρτάται από τον άξονα

^(β) Ενδεικτικά όρια, αλλάζει ελαφρώς από Πολιτεία σε Πολιτεία

Πίνακας 2.1: Μέγιστα αξονικά φορτία σε διάφορες χώρες







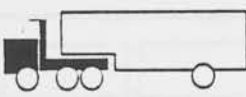
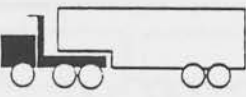
2.1.3 Ταξινόμηση οχημάτων

Οι κατηγορίες των εμπορικών οχημάτων ταξινομούνται διεθνώς ως ακολούθως: Φορτηγά (2, 3 ή 4 αξόνων), Ρυμουλκά με ημιρυμουλκούμενο (3,4,5, ή 6 αξόνων) τα οποία είναι γνωστά στην Ελλάδα ως νταλίκες, Φορτηγά με ρυμουλκούμενο (4,5 ή 6 αξόνων) και νταλίκες με ρυμουλκούμενο (7,8 ή 9 αξόνων). Το μέγιστο μικτό βάρος του κάθε οχήματος, όπως και η κατανομή αυτού, είναι ανάλογο του αριθμού και του είδους των αξόνων, καθώς και των αποστάσεων μεταξύ των αξόνων. Ενδεικτικά μέγιστα επιτρεπτά μικτά βάρη και κατανομή αυτών για τις παραπάνω κατηγορίες οχημάτων δίνονται στον πίνακα 2.2(β). Θα πρέπει να αναφερθεί ότι, όπως και τα μέγιστα επιτρεπτά αξονικά, τα μέγιστα επιτρεπτά μικτά βάρη των εμπορικών οχημάτων καθορίζονται και από την ισχύουσα νομοθεσία της κάθε χώρας. Για την Ελλάδα τα μέγιστα επιτρεπτά μικτά βάρη των οχημάτων δίνονται στον Πίνακα 2.2(α) & (β). Για τις κατηγορίες οχημάτων που δεν αναφέρονται μέγιστα βάρη, καθορίζεται ως γενικό μικτό βάρος αυτό των 40 τόννων. Στον ίδιο πίνακα επίσης δίνονται, για ορισμένες κατηγορίες οχημάτων, τα συνιστώμενα από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε).

2.1.4 Υπέρβαρα οχήματα

Παρόλο που καθορίζονται μέγιστα επιτρεπτά βάρη αξόνων και οχημάτων, είναι σύνηθες φαινόμενο σε κάθε χώρα, ένα ποσοστό των οχημάτων να είναι υπέρβαρα, δηλαδή να κυκλοφορούν με φορτίο μεγαλύτερο του επιτρεπτού (αξονικού ή μικτού φορτίου). Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια να επιτυγχάνεται η φθορά του οδοστρώματος και να μειώνεται η διάρκεια της ζωής του.

Από εκτεταμένες έρευνες στις ΗΠΑ εξήχθη το συμπέρασμα ότι περίπου το 25% όλων των κυκλοφορούντων εμπορικών οχημάτων υπερβαίνουν το μέγιστο επιτρεπτό αξονικό ή μικτό φορτίο. Σε αντίστοιχη έρευνα που εκπονήθηκε από το ΑΠΘ⁽¹⁾ στην περιοχή της Θεσσαλονίκης βρέθηκε ότι τα ποσοστά των υπέρβαρων αξόνων, κατά μέσο όρο, ήταν: 16% για μονούς άξονες δίχως κίνηση, 6% για μονούς άξονες με κίνηση, και 30% για το δίδυμο σύστημα αξόνων. Ιδιαίτερα υψηλά βρέθηκαν ότι τα ποσοστά των υπέρβαρων οχημάτων (σύγκριση με το μέγιστο επιτρεπτό μικτό φορτίο). Τα ποσοστά αυτά κυμάνθηκαν από 26% έως 49% ανάλογα με τον τύπο του εμπορικού οχήματος.

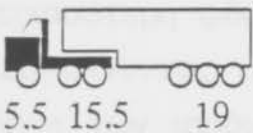
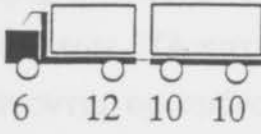
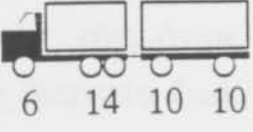
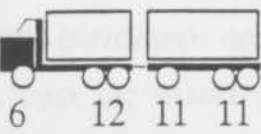
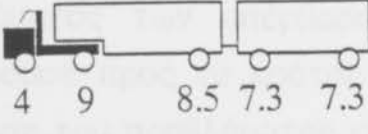
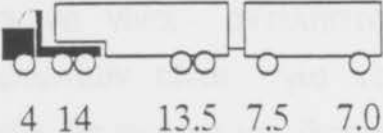
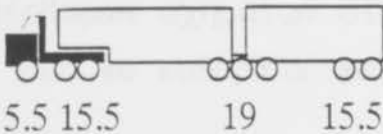
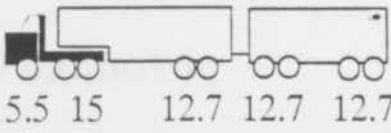
Τύπος οχήματος	Κατανομή βάρους & σχηματική παράσταση οχήματος (τόννοι)	Μεγ. μικότο βάρος ^(α)
Φορτηγό 2-αξόνων (Τύπος 2) ^(β)	 6 13	(τόννοι) 19 GR 16.3 GB
Φορτηγό 3-αξόνων (Τύπος 3) ^(β)	 6 20	26 GR 24.4 GB 22 USA
Φορτηγό 4-αξόνων (Τύπος 4) ^(β)	 7.3 18.3	25.5 USA 30.5 GB
Ρυμουλκό με ημιρυμουλκούμενο (νταλικά) 3-αξόνων (Τύπος 2-S1) ^(β)	 6 13 10	29 GR 24.4 GB
Ρυμουλκό με ημιρυμουλκούμενο (νταλικά) 4-αξόνων (Τύπος 2-S2) ^(β)	 8 10 20	38 GR 32.5 GB 35 E.E.
Ρυμουλκό με ημιρυμουλκούμενο (νταλικά) 5-αξόνων (Τύπος 2-S3) ^(β)	 7 9 22	38 GB 40 E.E
Ρυμουλκό με ημιρυμουλκούμενο (νταλικά) 4-αξόνων (Τύπος 3-S1) ^{(β)(γ)}	 7 15.5 10	32.5 GB
Ρυμουλκό με ημιρυμουλκούμενο (νταλικά) 5-αξόνων (Τύπος 3-S2) ^{(β)(γ)}	 6 16 16	38 GB 36.5 USA 42 E.E

^(α) Ενδεικτικό μέγιστο βάρος, εξαρτάται από τους κανονισμούς της κάθε χώρας

^(β) Εντός παρανθέσεως δηλώνεται ο τύπος του οχήματος συναρτήσεως του αριθμού των αξόνων που έχει. Το γράμμα "S" δηλώνει την ύπαρξη ημιρυμουλκούμενου (semitrailer)

^(γ) Το συνολικό βάρος και η κατανομή αυτού εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των αξόνων και από το εάν ο άξονας ή το σύστημα αξόνων έχει κινητήριο δύναμη

Πίνακας 2.2(α) Τυπικές κατηγορίες εμπορικών οχημάτων και η κατανομή φορτίου⁽³⁾

Τύπος οχήματος	Κατανομή βάρους & σχηματική παράσταση οχήματος (τόννοι)	Μεγ. μικό βάρος ^(α)
Ρυμουλκό με ημιρυμουλκούμενο (νταλικά) 6-αξόνων (Τύπος 3-S3) ^{(β)(γ)}	 5.5 15.5 19	(τόννοι) 40 GR 38 GB 44 E.E
Φορηγό με ένα ρυμουλκούμενο (συρμός) 4-αξόνων (2-2) ^{(β)(γ)}	 6 12 10 10	38 (32-40)
Φορηγό με ένα ρυμουλκούμενο (συρμός) 5-αξόνων (3-2) ^{(β)(γ)}	 6 14 10 10	40 (38-44)
Φορηγό με ένα ρυμουλκούμενο (συρμός) 6-αξόνων (3-3) ^{(β)(γ)}	 6 12 11 11	40 (38-44)
Νταλικά με ρυμουλκούμενο (συρμός) 5-αξόνων (2-S1-2) ^{(β)(γ)}	 4 9 8.5 7.3 7.3	36.1 USA
Νταλικά με ρυμουλκούμενο (συρμός) 7-αξόνων (2-S2-2) ^{(β)(γ)}	 4 14 13.5 7.5 7.0	46 USA
Νταλικά με ρυμουλκούμενο (συρμός) 8-αξόνων (3-S3-2) ^{(β)(γ)}	 5.5 15.5 19 15.5	55.5 USA
Νταλικά με ρυμουλκούμενο (συρμός) 9-αξόνων (3-S2-4) ^{(β)(γ)}	 5.5 15 12.7 12.7 12.7	58.6 USA

^(α) Ενδεικτικό μέγιστο μικό βάρος, εξαρτάται από τους κανονισμούς της κάθε χώρας

^(β) Εντός πασενθέσεως δηλώνεται ο τύπος του οχήματος συναρτήσει του αριθμού των αξόνων που έχει. Το γράμμα "S" δηλώνει την ύπαρξη ημιρυμουλκούμενου (semitrailer)

^(γ) Το συνολικό βάρος και η κατανομή αυτού εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των αξόνων και από το εάν ο άξονας ή το σύστημα των αξόνων έχει κινητήριο δύναμη.

Πίνακας 2.2(β) Κατηγορίες εμπορικών οχημάτων και κατανομή φορτίου⁽¹⁾

Όσον αφορά την εκτίμηση της επίδρασης των υπέρβαρων φορτίων στη φθορά του οδοστρώματος εκτιμάται ότι ένα όχημα που είναι υπέρβαρο κατά 20% επιφέρει 75% περισσότερη φθορά από το ίδιο όχημα με το κανονικό (νόμιμο) φορτίο⁽¹⁾. Συγκρίνοντας την επίδραση των υπέρβαρων οχημάτων στην έμμεση αύξηση των ισοδυνάμων τυπικών αξόνων (ITA), βρέθηκε⁽²⁾ ότι μια αύξηση του φορτίου κατά 29% πάνω από το νόμιμο αξονικό φορτίο επιφέρει έμμεση αύξηση των ITA κατά 27.5%.

Από τα παραπάνω εξάγονται ορισμένα συμπεράσματα τόσο για το μελετητή όσο και για την πολιτεία, όσον αφορά την αντιμετώπιση του προβλήματος των υπέρβαρων οχημάτων. Ο μεν μελετητής, για να διασφαλίσει την απαιτούμενη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος, θα πρέπει ίσως να λαμβάνει υπόψη του το ποσοστό των υπέρβαρων οχημάτων και να αυξάνει κατά ένα ποσοστό το συνολικό αριθμό των ITA στο στάδιο της μελέτης. Το γεγονός αυτό θα έχει ως συνέπεια την αύξηση του πάχους του οδοστρώματος και συνεπώς του κόστους της κατασκευής. Είναι φανερό ότι η αντιμετώπιση του προβλήματος των υπέρβαρων με την παραπάνω διαδικασία δεν είναι συμφέρουσα προς το κράτος και το φορολογούμενο πολίτη. Η σωστή αντιμετώπιση του προβλήματος είναι δυστυχώς η επιβολή αυστηρών προστίμων μέχρι να γίνει αντιληπτό ότι η τήρηση των θεσμοθετημένων μεγίστων φορτίων είναι για το καλό του κοινωνικού συνόλου. Παράλληλα η πολιτεία θα πρέπει να διερευνήσει λεπτομερώς την αρνητική επίδραση των υπέρβαρων οχημάτων στο οδόστρωμα, αλλά και στην οικονομία γενικότερα, για να καθορίσει ανάλογα τα πρόστιμα που πρόκειται να επιβάλλει.

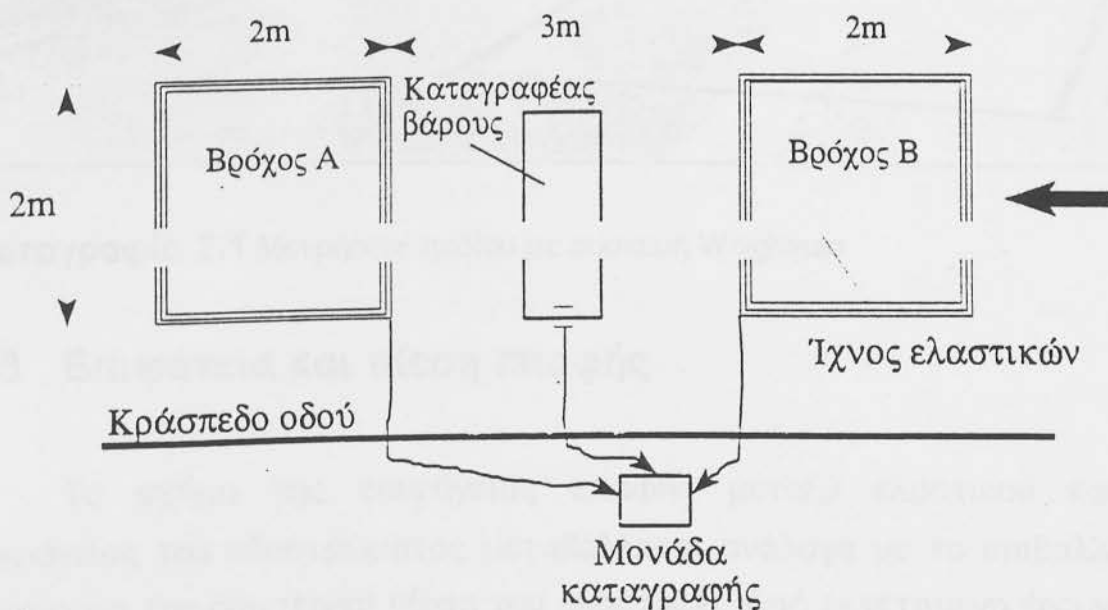
2.2 Μέτρηση αξονικού οχήματος

Η μέτρηση του αξονικού φορτίου του κάθε οχήματος στην απλούστερή της μορφή γίνεται με την τοποθέτηση του άξονα πάνω σε κατάλληλη ζυγαριά (πλάστιγγα) και τη ζύγιση αυτού. Η διαδικασία αυτή είναι χρονοβόρα και εφ' όσον οι μετρήσεις γίνονται επί της οδού, θα πρέπει να ζητηθεί από το όχημα ή τα οχήματα που κυκλοφορούν να σταματήσουν για να ζυγιστούν οι άξονες του καθενός ή και συνολικά. Με τον τρόπο αυτό είναι αδύνατο να καταμετρηθεί ικανοποιητικός αριθμός αξονικών φορτίων σε σύντομο χρονικό διάστημα για την εξαγωγή αντιπροσωπευτικών συμπερασμάτων. Έτσι ο

τρόπος αυτός ζύγισης χρησιμοποιείται αποκλειστικά και μόνο από την αστυνομεύουσα αρχή για τον έλεγχο των υπέρβαρων αξονικών ή καλύτερα των υπέρβαρων οχημάτων.

Για τις επισκοπήσεις του οδικού δικτύου όσον αφορά τα αξονικά φορτία, χρησιμοποιούνται σήμερα ειδικές συσκευές οι οποίες τοποθετούνται στην επιφάνεια του οδοστρώματος και καταγράφουν το φορτίο του κάθε άξονα καθώς το όχημα κινείται. Οι συσκευές αυτές έχουν τη δυνατότητα καταγραφής και άλλων χρήσιμων χαρακτηριστικών των οχημάτων, όπως: ταχύτητα οχήματος, μήκος οχήματος, απόσταση μεταξύ διαδοχικών αξόνων και χρόνος διέλευσης. Η καταγραφή των μετρήσεων γίνεται αυτόματα από κατάλληλη ηλεκτρονική συσκευή και έτσι παρέχεται η δυνατότητα της επεξεργασίας των αποτελεσμάτων από ηλεκτρονικό υπολογιστή. Συνεπώς η ταξινόμηση των αξονικών φορτίων ή των οχημάτων σε κατηγορίες και η εξαγωγή όλων των στατιστικών αποτελεσμάτων είναι ζήτημα ολίγων λεπτών, εφ' όσον υπάρχει το κατάλληλο πρόγραμμα επεξεργασίας των δεδομένων.

Μια από τις συσκευές αυτές είναι η συσκευή με την ονομασία "Weighman" και κατασκευάζεται από την εταιρεία Golden River. Η συσκευή αυτή αποτελείται από τον καταγραφέα βάρους (weight mat), δύο ορθογωνικούς βρόχους (loops) για την καταγραφή των λοιπών δεδομένων, τη



Σχήμα 2.1 Τοποθέτηση συσκευής Weighman στο πεδίο

μονάδα καταγραφής των μετρήσεων (logger) και μια συσκευή προγραμματισμού του συστήματος και μεταφοράς δεδομένων από το πεδίο στον Η/Υ (retriever). Ο καταγραφέας βάρους έχει διαστάσεις περίπου (80x120cm) και πάχος όσο το πάχος ενός λεπτού χαλιού. Ο καταγραφέας βάρους και οι βρώχοι προσκολλώνται στην επιφάνεια του οδοστρώματος και συνδέονται με καλώδια με τη μονάδα καταγραφής των δεδομένων. Σχηματική παράσταση τοποθέτησης συσκευής Weighman στο πεδίο καθώς και φωτογραφία από μετρήσεις πεδίου δίνονται στο Σχήμα 2.1 και στη Φωτογραφία 2.1 αντίστοιχα.

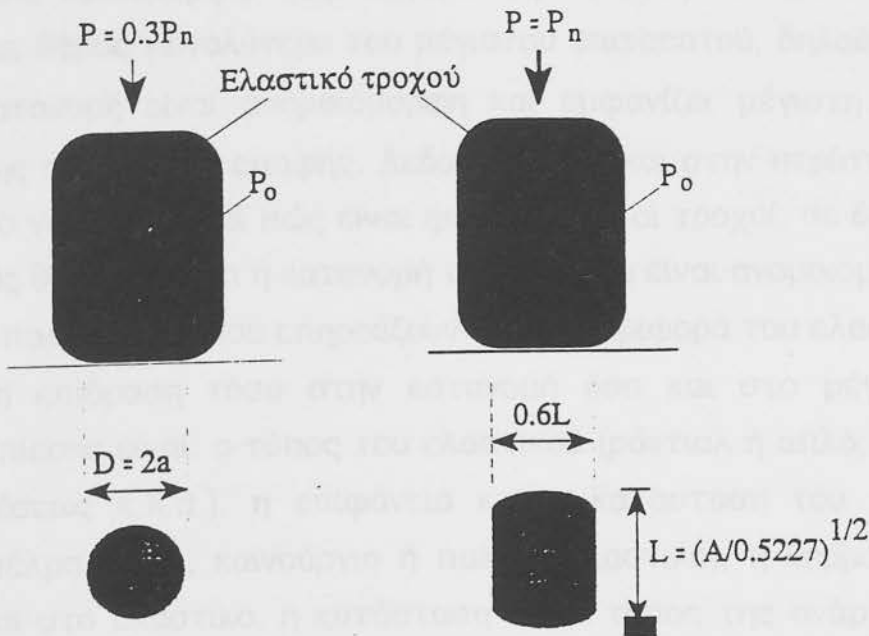


Φωτογραφία 2.1 Μετρήσεις πεδίου με συσκευή Weighman

2.3 Επιφάνεια και πίεση επαφής

Το σχήμα της επιφάνειας επαφής μεταξύ ελαστικού και της επιφάνειας του οδοστρώματος μεταβάλλεται ανάλογα με το επιβαλλόμενο φορτίο και την εσωτερική πίεση του ελαστικού. Από εκτεταμένη έρευνα που έγινε στο TRL βρέθηκε ότι, διατηρώντας σταθερή την εσωτερική πίεση του ελαστικού (P_0) και ίση με την ενδεδειγμένη από τον κατασκευαστή του ελαστικού, το σχήμα της επιφάνειας επαφής είναι σχεδόν κυκλικό όταν το επιβαλλόμενο φορτίο (P) είναι περίπου το 1/3 του συνιστώμενου μέγιστου

επιτρεπτού (P_n), καθώς το φορτίο αυξάνεται, το σχήμα της επιφάνειας επαφής γίνεται "βαρελοειδούς" μορφής, Σχήμα 2.2.



Σχήμα 2.2 Σχηματική παράσταση περιτυπώματος επιφάνειας επαφής

Κάτι ανάλογο ισχύει και όταν διατηρώντας το φορτίο σταθερό μεταβάλλεται η εσωτερική πίεση του ελαστικού. Στην περίπτωση αυτή, διατηρώντας το φορτίο σταθερό και ίσο με το 1/3 του μέγιστου επιτρεπτού, το σχήμα της επιφάνειας επαφής μεταβάλλεται από κυκλικό σε "βαρελοειδές" όταν η εσωτερική πίεση του ελαστικού γίνεται μικρότερη της προτεινόμενης κανονικής πίεσης του ελαστικού. Λόγω της μεγάλης μεταβλητότητας του φορτίου και της πίεσης των ελαστικών, χάριν απλουστεύσεως, σαν αντιπροσωπευτικό σχήμα της επιφάνειας επαφής θεωρείται σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις το κυκλικό σχήμα.

Έτσι το εμβαδόν της επιφάνειας επαφής είναι το εμβαδόν κύκλου και η ακτίνα της επιφάνειας επαφής υπολογίζεται από τη σχέση:

$$a = (P/\pi P_o)^{1/2} \quad (2.1)$$

όπου a = ακτίνα επιφάνειας επαφής
 P = φορτίο τροχού
 P_o = πίεση ελαστικού

Η κατανομή του φορτίου στην κυκλική αυτή επιφάνεια επηρεάζεται από το λόγο (πραγματικό φορτίο ελαστικού (P)/συνιστώμενο μέγιστο

επιτρεπτό φορτίο(P_n)). Όταν ο λόγος αυτός είναι μικρότερος της μονάδος η κατανομή του φορτίου είναι παραβολική, ενώ όταν είναι ίσος με τη μονάδα η κατανομή είναι ομοιόμορφη. Στην περίπτωση κατά την οποία το ελαστικό φορτίζεται με βάρος μεγαλύτερο του μέγιστου επιτρεπτού, δηλαδή ο λόγος $P/P_n > 1$, η κατανομή είναι ανομοιόμορφη και εμφανίζει μέγιστη τιμή στη περίμετρο της επιφάνειας επαφής. Δεδομένου ότι και στην περίπτωση αυτή είναι αδύνατο να καθορισθεί πώς είναι φορτισμένοι οι τροχοί, σε όλους τους υπολογισμούς θεωρείται ότι η κατανομή του φορτίου είναι ανομοιόμορφη.

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του ελαστικού και έχουν άμεση επίδραση τόσο στην κατανομή όσο και στο μέγεθος της ασκούμενης πίεσης είναι: ο τύπος του ελαστικού (ράντιαλ ή απλό, υψηλών ή χαμηλών πιέσεως κ.λ.π.), η επιφάνεια και η κατάσταση του ελαστικού (φθαρμένο πέλμα ή όχι, καινούργιο ή παλιό ελαστικό), η θερμότητα που αναπτύσσεται στο ελαστικό, η κατάσταση και ο τύπος της ανάρτησης του οχήματος και οι επιφανειακές ανωμαλίες του οδοστρώματος. Συμπερασματικά αναφέρεται ότι ο τύπος και η κατάσταση ελαστικού επηρεάζει την κατανομή της πίεσης στο εσωτερικό του ελαστικού και κατά συνέπεια της πίεσης επαφής. Η θερμότητα που αναπτύσσει το ελαστικό, έχει ως συνέπεια την αύξηση της εσωτερικής πίεσης, ενώ η ύπαρξη επιφανειακών ανωμαλιών στο οδόστρωμα προκαλεί, έμμεσα, στιγμιαία αύξηση του φορτίου.

2.4 Η έννοια του ισοδύναμου τυπικού άξονα

Ένας από τους κύριους σκοπούς του πειράματος του AASHO⁽⁴⁾, που εκτελέστηκε στις ΗΠΑ μεταξύ 1957 και 1961, ήταν η διερεύνηση, κάτω από συμβατικές πρακτικές κατασκευής οδοστρωμάτων, της καταστρεπτικής επίδρασης των εμπορικών οχημάτων σε σχέση με τα αξονικά τους φορτία. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν συμβατικά εμπορικά οχήματα με διαφορετικά αξονικά φορτία και πειραματικά αντιπροσωπευτικά οδοστρώματα. Παράλληλα, ορίστηκε και ένας άξονας με δίδυμους τροχούς και φορτίο 18.000 lb (8.16 τόννων). Το φορτίο του άξονα επιλέχτηκε σχεδόν αυθαίρετα ως αντιπροσωπευτικό αξονικό φορτίο για την εποχή εκείνη. Για τον άξονα αυτό θεωρήθηκε ότι με μια διέλευσή του επέρχεται καταστροφή

τον άξονα αυτό θεωρήθηκε ότι με μια διέλευσή του επέρχεται καταστροφή στο οδόστρωμα ίση με τη μονάδα. Ο άξονας αυτός ονομάστηκε τυπικός άξονας.

Η καταστρεπτική επίδραση των αξονικών φορτίων με μικρότερο ή με μεγαλύτερο φορτίο από αυτό των 8.16 τόννων εκφράστηκε με ισοδύναμους συντελεστές μικρότερους ή μεγαλύτερους της μονάδος, αντίστοιχα. Έτσι, καθορίζοντας τους συντελεστές αυτούς δόθηκε η δυνατότητα της μετατροπής και έκφρασης του κυκλοφοριακού φόρτου με τα διαφορετικά αξονικά φορτία, σε μια και μοναδική μεταβλητή, αυτής του Ισοδύναμου Τυπικού Άξονα (ITA).

Για τον καθορισμό των συντελεστών ισοδυναμίας χρησιμοποιήθηκε η θεμελιώδης εξίσωση καταστροφής μεταξύ φορτίων. Η εξίσωση αυτή που δίνεται από τη σχέση 2.2 θεωρεί ότι, σε σχέση με την ισοδύναμη καταστροφή που επιφέρουν δύο διαφορετικά αξονικά φορτία, ο λόγος του αριθμού των διελεύσεων δύο διαφορετικών φορτίων είναι ανάλογος του λόγου των φορτίων αυτών. Η καλύτερα, η επερχόμενη καταστροφή του οδοστρώματος μετά από N διελεύσεις τυχόντος αξονικού φορτίου είναι ισοδύναμη της καταστροφής που επέρχεται μετά από N_T διελεύσεις του ITA. Έτσι,

$$N_i/N_j = (P_j/P_i)^\gamma \quad (2.2)$$

$$\text{ή} \quad N_T = aN_j \quad (2.3)$$

όπου N_j = αριθμός διελεύσεων αξόνων με φορτίο P_j για να προκαλέσει καταστροφή του οδοστρώματος

N_i = αριθμός διελεύσεων αξόνων με φορτίο P_i (=8.16 τόννους) για να επιφέρει ισοδύναμη καταστροφή του οδοστρώματος

γ = αριθμητική μεταβλητή

N_T = αριθμός ισοδύναμων διελεύσεων τυπικού άξονα

a = συντελεστής ισοδυναμίας ($= (P_j/P_i)^\gamma$)

Από το πείραμα AASHO, εξήχθησαν συντελεστές ισοδυναμίας για εύκαμπτα και δύσκαμπτα οδοστρώματα, αρχικά για μονούς και δίδυμους άξονες και αργότερα και για τρίδυμους άξονες. Οι συντελεστές αυτοί

Βάρος άξονα	Συντελεστές ισοδυναμίας ανά τύπο άξονα			
	ΚN	Κίps	Μονός	Δίδυμος	Τρίδυμος
4.45	1	0.00002	0.0000	0.0000
8.9	2	0.00018	0.0000	0.0000
17.8	4	0.00209	0.0003	0.0000
26.7	6	0.01043	0.001	0.0003
35.6	8	0.0343	0.003	0.001
44.5	10	0.0877	0.007	0.002
53.4	12	0.189	0.014	0.003
62.3	14	0.360	0.027	0.006
71.2	16	0.623	0.047	0.010
80.0	18	1.000	0.077	0.017
89.0	20	1.510	0.121	0.027
97.8	22	2.180	0.18	0.040
106.8	24	3.030	0.260	0.057
115.6	26	4.090	0.364	0.080
124.5	28	5.390	0.495	0.109
133.5	30	7.000	0.658	0.145
142.3	32	8.880	0.857	0.191
151.2	34	11.18	1.095	0.246
160.0	36	13.93	1.380	0.313
169.0	38	17.20	1.700	0.393
178.0	40	21.08	2.080	0.487
187.0	42	25.64	2.510	0.597
195.7	44	31.00	3.000	0.723
204.5	46	37.24	3.550	0.868
213.5	48	44.50	4.170	1.033
222.4	50	52.88	4.860	1.220
231.3	52		5.630	1.430
240.2	54		6.470	1.660
249.0	56		7.410	1.910
258.0	58		8.450	2.220
267.0	60		9.659	2.510
275.8	62		10.84	2.850
284.5	64		12.22	3.220
293.5	66		13.73	3.620
302.5	68		15.38	4.050
311.5	70		17.19	4.520
320.0	72		19.16	5.030
329.0	74		21.32	5.570
338.0	76		23.66	6.150
347.0	78		26.22	6.780
356.0	80		29.00	7.450
364.7	82		32.00	8.200
373.6	84		35.30	8.900
382.5	86		38.80	9.800
391.4	88		42.60	10.60
400.3	90		46.80	11.60

Πίνακας 2.3 Συντελεστές ισοδυναμίας για τη μετατροπή αξόνων σε Ισοδύναμους
Τυπικούς Άξονες (ITA) ($P_t=2.5$, $SN=5$)

συγκεντρωτικά δίνονται στη βιβλιογραφία⁽⁵⁾. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι συντελεστές αυτοί εξαρτώνται από τη συνολική κατάσταση του οδοστρώματος μετά από N διελεύσεις (φορτίσεις), η οποία εκφράζεται με τον τελικό δείκτη εξυπηρευτικότητας (P_i) και από το δομικό αριθμό (SN) του οδοστρώματος. Για το σχεδιασμό νέων εύκαμτων οδοστρωμάτων, οι τιμές που συνήθως λαμβάνονται για το P_i και το SN είναι 2.5 και 5, αντίστοιχα. Με βάση τα παραπάνω, οι συντελεστές ισοδυναμίας για τη μετετροπή μονών, δίδυμων και τρίδυμων αξόνων σε ισοδύναμους τυπικούς άξονες (ITA), δίνονται στον Πίνακα 2.3.

Από τα αποτελέσματα του ίδιου πειράματος βρέθηκε ότι η αριθμητική μεταβλητή " γ " για εύκαμπτα οδοστρώματα μεταβάλλεται από 3.6 έως 4.6. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι, η χρήση του δείκτη εξυπηρευτικότητας έχει την έννοια ότι η καταστρεπτική ικανότητα των αξονικών φορτίων δεν επιφέρει μια μόνο αστοχία αλλά συνδυασμό αστοχιών, όπως ρηγματώσεις, παραμορφώσεις, λακκούβες κ.λ.π. Μεταγενέστερες έρευνες που έγιναν σε διάφορες χώρες, κυρίως της Ευρώπης, χρησιμοποιώντας ως κριτήριο αστοχίας την παραμόρφωση ή τη ρηγμάτωση του οδοστρώματος μεμονωμένα και εξετάζοντας πρόσθετες παραμέτρους όπως: νέες διατάξεις αξόνων/ελαστικών, διαφορετικά αξονικά φορτία, διαφορετικές αναρτήσεις τροχών, απέδειξαν ότι υπάρχει μια μεγάλη μεταβλητότητα της τιμής του εκθέτη " γ ". Η τιμή του " γ " εξαρτάται από το κριτήριο που λαμβάνεται ως καταστροφή του οδοστρώματος και από τις παραμέτρους που προαναφέρθηκαν. Συνοπτικά τα αποτελέσματα δίνονται στον Πίνακα 2.4.

Παρ' όλη τη μεταβλητότητα της εκθετικής τιμής " γ " η οποία επηρεάζει τους συντελεστές ισοδυναμίας, από πολλούς ερευνητές καθιερώθηκε να χρησιμοποιείται μια μόνο τιμή ίση με 4. Η τιμή θεωρείται ότι δίνει αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα μετατροπής αξόνων σε ισοδύναμους τυπικούς άξονες για εύκαμπτα οδοστρώματα.

Έτσι, σήμερα επικρατούν παγκοσμίως δυο πρακτικές μετατροπής κυκλοφοριακού φόρτου σε ITA, αυτής των ΗΠΑ που κάνει χρήση των συντελεστών ισοδυναμίας που εξήχθησαν από το πείραμα AASHO και αυτής που οι συντελεστές ισοδυναμίας υπολογίζονται από την εξίσωση:

$$a = (P_i/P_T)^4 \quad (2.4)$$

όπου $P_j =$ φορτίο P τυχόντος άξονα j
 $P_T =$ φορτίο τυπικού άξονα ίσο με 8.16 τόννους

Χώρα έρευνας	Μεταβλητές	Κριτήριο	Τιμή "γ"
ΗΠΑ ⁽⁴⁾	Μονός και δίδυμος άξονας	Δείκτης εξυπηρετικότητας	3.6-4.6
Ιταλία	Συστήματα αξόνων βαρέων οχημάτων	Ρηγματωση ασφαλτοτάπητα	1.2-3.0
Φινλανδία	Μονός άξονας με δίδυμους τροχούς και κίνηση	Ρηγματωση ασφαλτοτάπητα	3.3&4.0
Φινλανδία	Δίδυμος άξονας με δίδυμους τροχούς και κίνηση	Παραμόρφωση εδάφους έδρασης	4.1&4.0
Γαλλία	Διαφορετικό αξονικό φορτίο: - (100 KN) - (130 KN)	Παραμόρφωση (βάθος τροχοαυλάκωσης)	1.3-2.1 8.1-9.6

Πίνακας 2.4 Μεταβλητότητα εκθετικής τιμής "γ" από διάφορες πειραματικές διερευνήσεις

Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται η παραπάνω εξίσωση οι δίδυμοι και οι τρίδυμοι άξονες λαμβάνονται μεμονωμένοι, δηλαδή: 1 δίδυμος των 24 τόννων = 2 μονοί άξονες των 12 τόννων, 1 τρίδυμος των 19 τόννων = 3 μονοί άξονες των 6.33 τόννων = 3 μονοί άξονες των 6.33 τόννων.

Δεδομένου ότι, με τη θεμελιώδη εξίσωση της ισοδυναμίας, υποτιμάται, σε εκθετικό βαθμό, η καταστρεπτική ικανότητα των αξόνων με μικρότερο φορτίο αυτών του τυπικού άξονα και αντίστοιχα, υπερεκτιμάται η καταστρεπτική ικανότητα των αξόνων με φορτίο μεγαλύτερο του τυπικού, η επιλογή του βάρους του τυπικού άξονα είναι ουσιαστική σημασίας, πιο ουσιαστικής μάλιστα από την επιλογή της τιμής του "γ". Έτσι η έρευνα θα πρέπει ίσως να στραφεί προς τον καθορισμό ενός αντιπροσωπευτικότερου φορτίου τυπικού άξονα δεδομένου ότι τα αξονικά φορτία σήμερα είναι γενικώς μεγαλύτερα αυτών της δεκαετίας του '50, στο τέλος της οποίας

εκτελέστηκε το πείραμα AASHO και το οποίο καθορίστηκε το φορτίο του τυπικού άξονα. Άλλες παράμετροι που επίσης έχουν αλλάξει από τότε μέχρι σήμερα είναι ο τύπος των ελαστικών, τα συστήματα ανάρτησης των οχημάτων και γενικότερα η δυναμική των οχημάτων. Σε τελευταίες έρευνες που έγιναν⁽⁶⁾ αποδείχθηκε ότι η χρήση νέων ελαστικών ευρείας επιφάνειας επαφής (τύποι 445 ή 385/65R 22.5 και 350/75R 22.5) τα οποία αρχίζουν να αντικαθιστούν τους δίδυμους τροχούς, έχουν μεγαλύτερη καταστροφική επίδραση από αυτήν των συμβατικών δίδυμων τροχών.

Εάν στα παραπάνω προστεθεί και η μεταβολή της καταστροφικής ικανότητας του αξονικού φορτίου με τη συνεχή "γήρανση" του οδοστρώματος τότε η εκπόνηση ενός ερευνητικού προγράμματος και δαπανηρό εγχείρημα. Πλήν όμως, μια τέτοια έρευνα είναι αναγκαία και θα μπορούσε να εκπονηθεί από τις χώρες της ΕΕ. Από τα αποτελέσματα της έρευνας θα προέκυπταν χρησιμότερα συμπεράσματα και θα καθορίζονταν ενιαίοι συντελεστές και κανονισμοί προς οικονομικό όφελος όλης της Κοινότητας.

3. ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΠΡΟΣΜΙΞΕΩΝ

3.1 Γενικά

Ο NIJBOER⁽⁸⁾ με τη βοήθεια τριαξονικών δοκιμών καθόρισε πώς μπορεί να παρασταθεί η διαδικασία συμπύκνωσης κλειστού τύπου ασφαλτομίγματος με χαρακτηριστικά υλικού και μηχανήματα με ένα "Συντελεστή κυλίνδρωσης".

$$R_f = 10 \cdot \frac{4 \cdot C_w - c_{tc} b}{nm} \cdot (h/uE)^{0,4} \quad (3.1)$$

R_f λαμβάνεται εξ ορισμού αδιάστατο.

Σ' αυτό τον προσεγγιστικό τύπο τα χρησιμοποιούμενα μεγέθη εκφράζονται στο SI σύστημα.

Οπου είναι:

c_{tc} και ηm	οι αριθμοί για πλαστικά χαρακτηριστικά ασφαλτομίγματος N/mm^2 καθώς και P_a
$C_w = \frac{P}{ID}$	ο αριθμός για τα χαρακτηριστικά του Κυλίνδρου, N/mm^2
P	η μάζα του τροχού του Κυλίνδρου, Kg
I	το πλάτος του τροχού του Κυλίνδρου, m
D	η διάμετρος του τροχού του Κυλίνδρου, m
n	ο αριθμός διελεύσεων του Κυλίνδρου
h	το πάχος της προς συμπύκνωση ασφαλτικής στρώσης, m
v_E	η ταχύτητα διέλευσης του κυλίνδρου, m/s

c	ένας συντελεστής που εξαρτάται από το είδος του Κυλίνδρου	
	Για χαλύβδινο Κύλινδρο	c=2,5
	Για λαστιχοφόρο οδοστρωτήρα	c=5,0

Οι χαρακτηριστικοί αριθμοί $\tau c b$ και ηm δίνουν την ασφαλική αρχική αντίσταση καθώς και το ιξώδες του μίγματος.

Με τον παραπάνω τύπο ο NIJBOER⁽⁸⁾ υπολόγισε ως απαιτούμενη δυναμικότητα του κυλίνδρου τον αριθμό διελεύσεων που είναι απαραίτητος για την επίτευξη του ίδιου έργου συμπίκνωσης σε ένα ασφαλτοσκυρόδεμα πάχους 0,04m διαφορετικών συνθέσεων.

Για τον σκοπό αυτό υποθέτουμε ότι η στρώση συμπυκνώθηκε με έναν μέσου βάρους απλό δίτροχο κύλινδρο ως προσυμπύκνωση ($T_M=107^\circ\text{C}$) τόσο ώστε να επιτευχθεί ένα $R_f=4,4 \cdot 10^{-5}$.

Όπου T_M υπολογίζεται απο τον προσεγγιστικό τύπο του BOSSEMEYER⁽⁹⁾ και έχει σαν σκοπό την εύρεση της ψύξης της στρώσης κατά τη διάρκεια της συμπίκνωσης ώστε να καθοριστούν τα πλαστικά χαρακτηριστικά του ασφαλτομίγματος και είναι ο εξής:

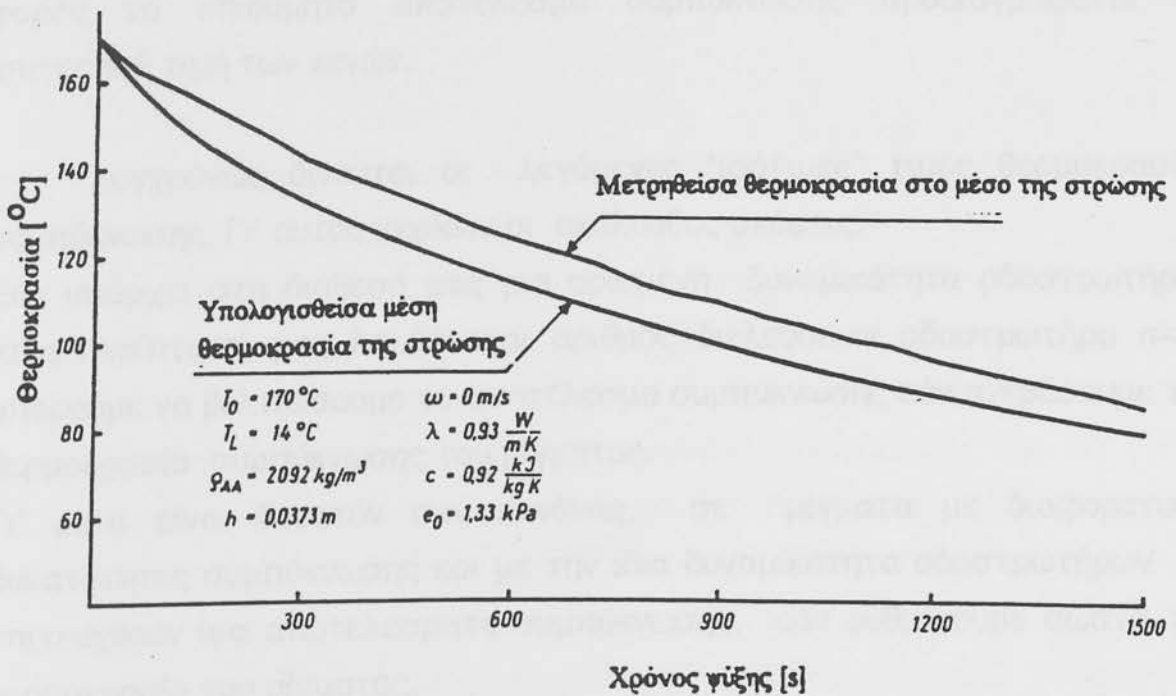
$$T_M = \frac{1}{1 + 0,734\sqrt{\tau}} \cdot e^{-0,38 \frac{\tau}{\xi R} (T_0 - T_L) + T_L} \quad (3.2)$$

όπου σημαίνουν:

T_M	μέση θερμοκρασία της στρώσης μετά από ορισμένο χρόνο σε $^\circ\text{C}$
T_0	Αρχική θερμοκρασία της στρώσης σε $^\circ\text{C}$
T_L	Θερμοκρασία αέρα $^\circ\text{C}$
τ και ξ	Βοηθητικά μεγέθη για τον υπολογισμό

Η χρησιμότητα του τύπου του BOSSEMEYER⁽⁹⁾ εξετάσθηκε στη Ολλανδία και βρέθηκε μια άριστη συσχέτιση μεταξύ των τιμών που υπολογίσθηκαν και αυτών που μετρήθηκαν.

Αυτό δείχνει το (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1: Σύγκριση των τιμών θερμοκρασίας που μετρήθηκαν με αυτές που υπολογίσθηκαν.

Για τον υπολογισμό του R_f υποθέτουμε κατά κανόνα ότι τα κενά αέρα των συμπυκνούμενων μιγμάτων είναι ίσα.

Αυτή η παραδοχή είναι σπουδαία για τον καθορισμό της επίδρασης των ιδιοτήτων του υλικού στη συμπύκνωση όπως, διεισδυτικότητας της ασφάλτου, ιδιοτήτων της παιπάλης κ.α. στην ουσία όμως μόνον υπό όρους είναι χρήσιμη, για την εξέταση της επίδρασης της αναλογίας της θραυστής άμμου στη συμπύκνωση και μέσα σε σχετικά περιορισμένα όρια είναι δυνατόν να υποθεί εάν θα πρέπει να καθορίζεται η επίδραση της σύνθεσης του μίγματος.

Η άλλη δυνατότητα - το να υπογίζεται το R_f με τιμές κενών σε βαθμό συμπύκνωσης 100%. όπου αυτά κατ' αρχήν καθορίζονται εργαστηριακά - δυστυχώς δεν είναι χρήσιμη για τον υπολογισμό αυτόν. Κατά τον καθορισμό του ποσοστού των κενών στο εργαστήριο η δυνατότητα (εύκολη ή δύσκολη) συμπύκνωσης του μίγματος ασκεί μια επιρροή στο αποτέλεσμα της συμπύκνωσης.

Επίσης πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στο γεγονός ότι μερικές φορές το επιθυμητό αποτέλεσμα συμπύκνωσης προδιαγράφεται ως επιτρεπτή τιμή των κενών.

Συγχρόνως δίνονται οι λεγόμενες “ισότιμες” τιμές θερμοκρασίας συμπύκνωσης. Γι’ αυτές ισχύουν οι ακόλουθες σκέψεις:

Εάν υπάρχει στη διάθεσή μας μια ορισμένη δυναμικότητα οδοστρωτήρων (στη περίπτωση μας λαμβάνεται αριθμός διελεύσεων οδοστρωτήρα $n=8$), μπορούμε να βελτιώσουμε το αποτέλεσμα συμπύκνωσης εάν ανεβάσουμε την θερμοκρασία συμπύκνωσης του μίγματος.

Γι’ αυτό είναι δυνατόν σαν κανόνας, σε μίγματα με διαφορετικές δυνατότητες συμπύκνωσης και με την ίδια δυναμικότητα οδοστρωτήρων να επιτευχθούν ίσα αποτελέσματα συμπύκνωσης, εάν ρυθμίσουμε σωστά την θερμοκρασία του μίγματος.

Αυτή είναι η ισότιμη “θερμοκρασία συμπύκνωσης”.

Το πρότυπο μίγμα για το οποίο διενεργούνται οι περισσότεροι υπολογισμοί, λαμβάνεται ως “κανονικό” ως προς την δυνατότητα συμπύκνωσης και έχει την ακόλουθη σύνθεση:

55,0%	της μάζας θραυστό
19,0%	της μάζας θραυστή άμμος (πλυμένη)
19,0%	της μάζας φυσική άμμος
7,0%	της μάζας παιπάλη ασβεστολιθικού πετρώματος
6,0%	της μάζας άσφαλτος

3.2 Άσφαλτος

Τα ασφαλτικά υλικά, που χρησιμοποιούνται στην οδοποιία, είναι υδρογονανθρούκα υλικά φυσικής ή πυρογενούς προελεύσεως, με συγκολλητικό χαρακτήρα.

Στα υδρογοναθρακούχα αυτά υλικά περιλαμβάνονται οι άσφαλτοι και οι πίσσες. Οι άσφαλτοι βρίσκονται στην φύση σε καθαρή κατάσταση ή με ανάμιξη με διάφορες ανόργανες ουσίες ή προέρχονται από την διύλιση πετρελαίου.

Οι πίσσες είναι υδρογοναθρακούχα αποστάγματα του λιθάνθρακα και του ξύλου και διακρίνονται σε υγρόπισσες ή αργές πίσσες και σε ξηρόπισσες ή οδόπισσες.

Η ασφαλτος, που εκτός της οδοποιίας έχει και άλλες πολλές εφαρμογές, δεν είναι νέο προϊόν.

Από τους αρχαίους χρόνους, ακόμα, χρησιμοποιήθηκε σε κατασκευές, ενώ μέχρι και σήμερα σώζονται στη Βαβυλώνα κατασκευές, όπου έχει χρησιμοποιηθεί ασφαλτική μαστίχα για την συγγόληση δομικών στοιχείων.

Στην Αμερική υπάρχουν αποθέματα φυσικής ασφάλτου.

Από την λίμνη Trinidad έχουν εξαχθεί μεγάλες ποσότητες ασφάλτου και η στάθμη της παραμένει σταθερή. Στην φύση βρίσκονται πετρώματα, που έχουν διαποτισθεί με ασφαλτο (ασφαλτόλιθοι).

Ο ασφαλτόλιθος Μαραθουπόλεως, κοντά στους Γαργαλιάνους, αποτελείται από 82-92% ασβεστόλιθο και 7% ασφαλτο.

Η πετρελαϊκή ασφαλτος είναι το υπόλειμμα της αποστάξεως του αργού πετρελαίου.

Το ποσοστό της ασφάλτου, που υπάρχει στο ακάθατο πετρέλαιο, φθάνει από 10% μέχρι 90%.

Η διύλιση του πετρελαίου γίνεται σε συνεχή ροή. Στην αρχή αντλείται το αργό πετρέλαιο στον αποστακτήρα, όπου θερμαίνεται, στη συνέχεια δε εισάγεται στον πύργο αποστάξεως για τον πρ'ωτο διαχωρισμό.

Τα προϊόντα, που λαμβάνονται, είναι η βενζίνη, καθαρό πετρέλαιο, πετρέλαιο ντήζελ, λιπαντικά έλαια και υπόλειμμα, που είναι η ασφαλτος.

Με ρύθμιση της θερμοκρασίας και του κενού αποστάξεως, παραμένουν στο υπόλειμμα λιγότερα ή περισσότερα ελαιώδη συστατικά και έτσι η παραγόμενη ασφαλτος είναι σκληρή ή μαλακή αντίστοιχα.

Η οξειδωμένη ή πεφουσημένη ασφαλτος παρασκευάζεται με εμφύσηση αέρα στο τελευταίο στάδιο της διύλισεως, μερικές φορές με παρουσία καταλύτη.

Η οξειδωμένη ασφαλτος είναι σκληρή, έχει ελαστικότητα και επηρεάζεται λίγο από τις μεταβολές της θερμοκρασίας, χρησιμοποιείται δε, για την πλήρωση αρμών και για την παρασκευή στεγανωτικών υλικών.

Για να διατηρεί τις συνδετικές ιδιότητες της η ασφαλτος πρέπει να παραμένει πλαστική.

Η ασφαλτος λέμε ότι έχει “γέρασει”, όταν εκτίθεται με μορφή λεπτού υμένα στις καιρικές επιδράσεις με αποτέλεσμα να χάσει μέρος της πλαστικότητας της και έτσι, να γίνει εύθραστη.

Το “γέρασμα” της ασφάλτου προκαλείται κυρίως από την οξείδωση και από την απώλεια των πτητικών συστατικών της.

Η ταχύτητα οξείδωσης και απώλειας των πτητικών συστατικών της ασφάλτου, έχει και το μέγεθος της επιφάνειας, όπου εκτίθεται.

Η επιφανειακή αυτή οξείδωση επιδρά σημαντικά στο “γέρασμα” των ελαφρών επαλείψεων.

Η ασφαλτος αποτελείται από υδρογονάνθρακες, που ο διαχωρισμός τους δεν είναι δυνατός.

Ανάλογα με την διαλυτότητα τους, τα συστατικά της ασφάλτου χωρίζονται σε:

1) Καρβοειδή: Αδιάλυτα σε διθειάνθρακα CS_2 . Η συνηθισμένη ασφαλτος δεν περιέχει καρβοειδή, ενώ η πυρολυμένη περιέχει μέχρι 2%.

2) Καρβένια: Αδιάλυτα στον τετραχλωράνθρακα CCl_4 διαλυτά στον διθειάνθρακα. Η ασφαλτος οδοστρωσίας περιέχει καρβένια μέχρι 2%.

3) Ασφαλτένια: Είναι μεγαλομοριακές ενώσεις αδιάλυτες στους πτητικούς υδρογονάνθρακες.

4) Μαλθένια: Είναι ενώσεις μικρότερου μοριακού βάρους από τα ασφαλτένια, με ελαιώδη σύσταση και είναι διαλυτές στους πτητικούς υδρογονάνθρακες.

3.2.1 Μορφές ασφάλτου για κατεσκευές

Σε όλα τα σοβαρά έργα πρέπει να χρησιμοποιείται θερμή (καθαρή) ασφαλτος, που εξασφαλίζει κατασκευή καλύτερης ποιότητας, μεγαλύτερη φέρουσα ικανότητα και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Στις περιοχές, που έχουν ψυχρό κλίμα, χρησιμοποιείται συνήθως μαλακή ασφαλτος, ενώ σε θερμά κλίματα χρησιμοποιείται σχετικά σκληρή ασφαλτος.

Η ασφαλτος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε μορφή ασφαλτικών διαλυμάτων ή ασφαλτικών γαλακτωμάτων.

Οι διάφοροι τύποι της ασφάλτου πρέπει να έχουν ορισμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά μέσα σε όρια προδιαγραφών.

3.2.2 Δοκιμές ασφάλτου

- Δοκιμή διεισδυτικότητας

Η διεισδυτικότητα ορίζεται από το βάθος, που διεισδύει τυποποιημένη βελόνα στην μάζα της ασφάλτου, με την επήρεια βάρους 100 gr σε χρόνο 5 sec και σε θερμοκρασία 25°C.

Το βάθος διεισδύσεως μετρείται σε δέκατα του χιλιοστού (διείσδυση 1 mm ισοδυναμεί με 10 βαθμούς).

Ο συμβολισμός π.χ. 80/100 δηλώνει ότι, κατά την δοκιμή η διείσδυση ήταν μεταξύ 8 και 10 mm.

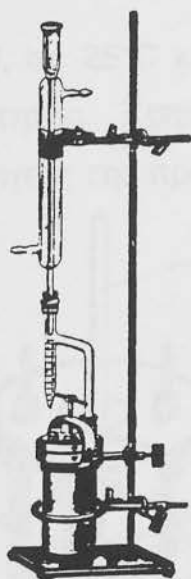
Με βάση την διεισδυτικότητα, οι ασφαλτοί κατατάσσονται σε διάφορους τύπους (50/60, 80/100, 120/150 κ.λ.π.).

- Δοκιμή υγρασίας

Η άσφαλτος πρέπει να είναι απαλλαγμένη από ύδωρ, διότι στην αντίθετη περίπτωση, με την θέρμανση της στο εργοτάξιο υπάρχει κίνδυνος υπερχειλίσεως της, εξ αιτίας αφρισμού.

Οι προδιαγραφές απαιτούν να μην περιέχει καθόλου υγρασία, στην πράξη όμως θεωρούμε ότι ένα ποσοστό 0,5%, είναι επιτρεπτό.

Η δοκιμή χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε ύδωρ ασφαλτικών υλικών με απόσταξη με πτητικό διαλύτη (Σχήμα 3.2).



Σχήμα 3.2 Συσσκευή αποστάξεως.

Το δείγμα θερμαίνεται με ένα διαλύτη, που δεν αναμιγνύεται με το ύδωρ και που συναποστάζει με το ύδωρ του δείγματος.

Συμπυκνωμένος διαλύτης και ύδωρ διαχωρίζονται συνέχεια μέσα σε βαθμολογημένο γυάλινο σωλήνα (παγίδα), το ύδωρ καταλαμβάνει την κάτω στιβάδα στο βαθμολογημένο τμήμα της παγίδας και ο διαλύτης, με υπερχειλίση, επανέρχεται στο αποστακτήρα.

- Δοκιμή μαλθώσεως

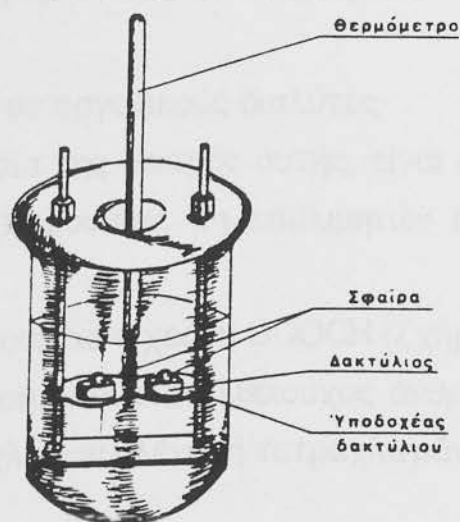
Χαρακτηρίζει την θερμοκρασία, όπου οι άσφαλτοι έχουν τέτοια σύσταση από άποψη ιξώδους, ώστε να επιτρέπουν την δίοδο σιδηρένιας σφαίρας, με διάμετρο 3/8 in και βάρος 3,5 gr, μέσα από την μάζα τους, που γεμίζει έναν δακτύλιο ορισμένων διαστάσεων. (Σχήμα 3.3).

Η σημασία αυτής της δοκιμής είναι ότι, σε συνδυασμό με την διεισδυτικότητα, μας καθορίζει την μεταβολή του ιξώδους μιας ασφάλτου συναρτήσει της θερμοκρασίας.

Έχοντας σαν βάση το σημείο μαλθώσεως και της διεισδυτικότητας σε 25°C, κατατάσσουμε τις ασφάλτους σε τρεις κατηγορίες:

α) Με διεισδυτικότητα 100, σε 25°C και σε σημείο μαλθώσεως 42,5°C, συμπεριφέρονται σαν ιξώδη υγρά και δεν έχουν καμμία ελαστική ιδιότητα. Δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνες στην οδοποιία, αλλά να αναμιγνύονται με άλλες κατηγορίες.

β) Με διεισδυτικότητα 100, σε 25°C και σε σημείο μαλθώσεως 52°C, έχουν μερικές ελαστικές ιδιότητες. Χρησιμοποιούνται στην οδοποιία επειδή συνδυάζουν τις καλές ιδιότητες της προηγούμενης και επόμενης κατηγορίας.



Σχήμα 3.3

γ) Με διεισδυτικότητα 100, σε 25°C και σε σημείο μαλθώσεως 77°C, έχουν ελαστικές ιδιότητες αλλά μικρή ευαισθησία στην θερμοκρασία.

Δεν είναι καταλληλές για την οδοποιία, διότι γερνούν εύκολα με την επίδραση της κυκλοφορίας.

- Δοκιμή ολκιμότητας

Η δοκιμή δίνει την αντοχή της ασφάλτου σε εφελκυσμό. Τυποποιημένη πλάκα τοποθετείται μεταξύ δύο λαβίδων τυποποιημένης συσκευής. Τεντώνεται η πλάκα με ορισμένη δύναμη και με ταχύτητα έλξεως 5 cm/λεπτό.

Η ολκιμότητα του υλικού μετρείται σαν απόσταση σε εκατοστά, που θα διανύσει η πλάκα μέχρι να κοπεί στη μικρότερη της διατομή, που είναι 1 cm². Η δοκιμή γίνεται σε 25°C.

- Δοκιμή τέφρας

Είναι στοιχείο της καθαρότητας της ασφάλτου. Η δοκιμασία γίνεται για να προσδιορίσουμε τις ανόργανες ουσίες, που υπάρχουν στην ασφαλτο.

- Δοκιμή απώλειας βάρους

Βρίσκουμε το ποσοστό της απώλειας ασφάλτου, όταν αυτή θερμαίνεται σε ανοικτό δοχείο για 5 ώρες και σε 163°C. Έτσι εξακριβώνουμε την θερμική καταπόνηση του ασφαλτικού υλικού.

Αποδείχθηκε πειραματικά ότι η καταλληλότερη περιοχή θερμοκρασιών για την παρασκευή ασφαλτομιγμάτων, είναι 125° - 140° C. Σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες, η θερμική καταπόνηση είναι μεγάλη.

- Δοκιμή διαλυτότητας σε οργανικούς διαλύτες

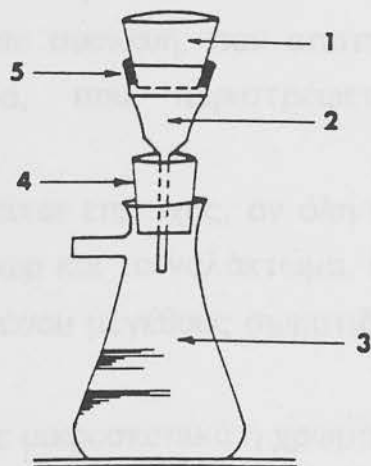
Η πρακτική σημασία της δοκιμής αυτής, είναι ο ποιοτικός έλεγχος της ασφάλτου από άποψη παρουσίας μη επιθυμητών ανόργανων ή οργανικών υλικών.

Για την δοκιμή χρησιμοποιείται η χοάνη GOOCH (Σχήμα 3.4)

Σαν διαλύτης χρησιμοποιείται διθειούχος άνθρακας, τετραχλωριούχος άνθρακας, βενζόλιο, τριχλωραιθυλένιο ή τετραχλωράνθρακας.

- Δοκιμή αναφλέξεως

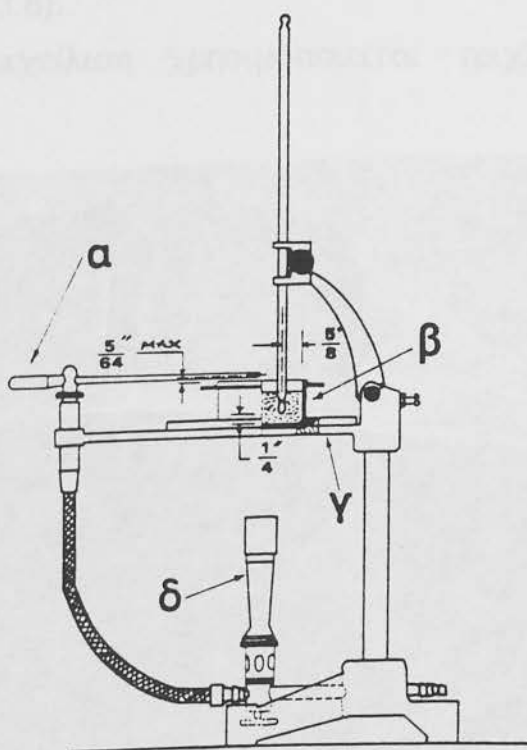
Είναι η δοκιμή, όπου βρίσκεται η θερμοκρασία αναφλέξεως της ασφάλτου.



Σχήμα 3.4: 1: Χωνευτήριο GOOCH, 2: Χωνί (σωλήνας) διηθήσεως, 3: Φιάλη διηθήσεως, 4: Πώμα από νεοπρένιο, 5: Παρέμβυσμα από ελαστικό.

Για τη δοκιμή χρησιμοποιείται η συσκευή CLEVELAND (Σχήμα 3.5).

Με την δοκιμή αυτή εξασφαλίζεται στο εργαστήριο η θερμοκρασία θερμάνσεως της ασφάλτου, χωρίς κίνδυνο αναφλέξεως.



Σχήμα 3.5: α: Εφαρμοστής δοκιμαστικής φλόγας, β: Δοχείο δοκιμής, γ: Θερμαινόμενη πλάκα, δ: Εστία θερμάνσεως με αέριο.

- Δοκιμή γαλακτώσεως

Είναι η δοκιμή, που δείχνει την καταλληλότητα της ασφάλτου για την παρασκευή αλκαλικών γαλακτωμάτων.

Η δοκιμή γίνεται σε συσκευή, που αποτελείται από ένα δοχείο με πτερυγοφόρο αναμικτήρα, που περιστρέφεται με ταχύτητα 1.400 στροφές/λεπτό.

Η γαλάκτωση θεωρείται επιτυχής, αν όλη η ποσότητα της ασφάλτου καταμερισθεί μέσα στο ύδωρ και το γαλάκτωμα, που παρασκευάσθηκε, είναι ομοιογενές με διασπορά μέσου μεγέθους σωματιδίων ασφάλτου μέχρι 0,005 mm.

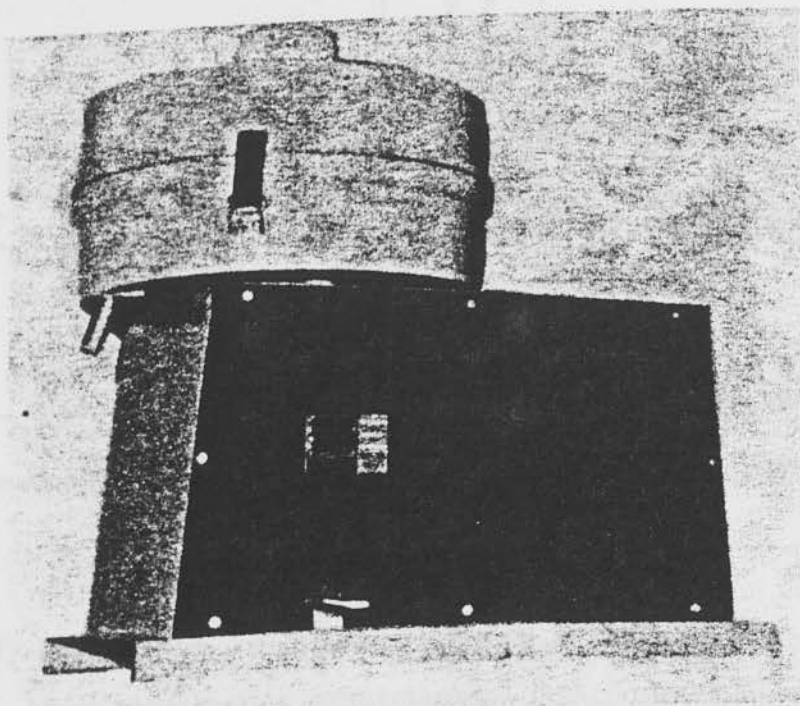
Ο έλεγχος γίνεται με μικροσκοπικά ή χρωματομετρικά.

- Εκχύλιση ασφάλτου

Η δοκιμή αυτή γίνεται για τον ποιοτικό προσδιορισμό της ασφάλτου στα “εν θερμώ” παραγόμενα ασφαλτικά μίγματα οδοστρωσίας και στα δείγματα ασφαλτικών οδοστρωμάτων.

Η δοκιμή γίνεται χρησιμοποιώντας μια συσκευή εκχειλίσεως, που αποτελείται από μια λεκάνη, από μηχανισμό περιστροφής και από έναν υποδοχέα (Σχήμα 3.6).

Για την εκχείλιση χρησιμοποιείται τριχλωραιθάνιο, βενζόλιο ή τριχλωραιθυλένιο.



Σχήμα 3.6

3.3 Πως επιδρά η άσφαλτος στο αποτέλεσμα της συμπίκνωσης

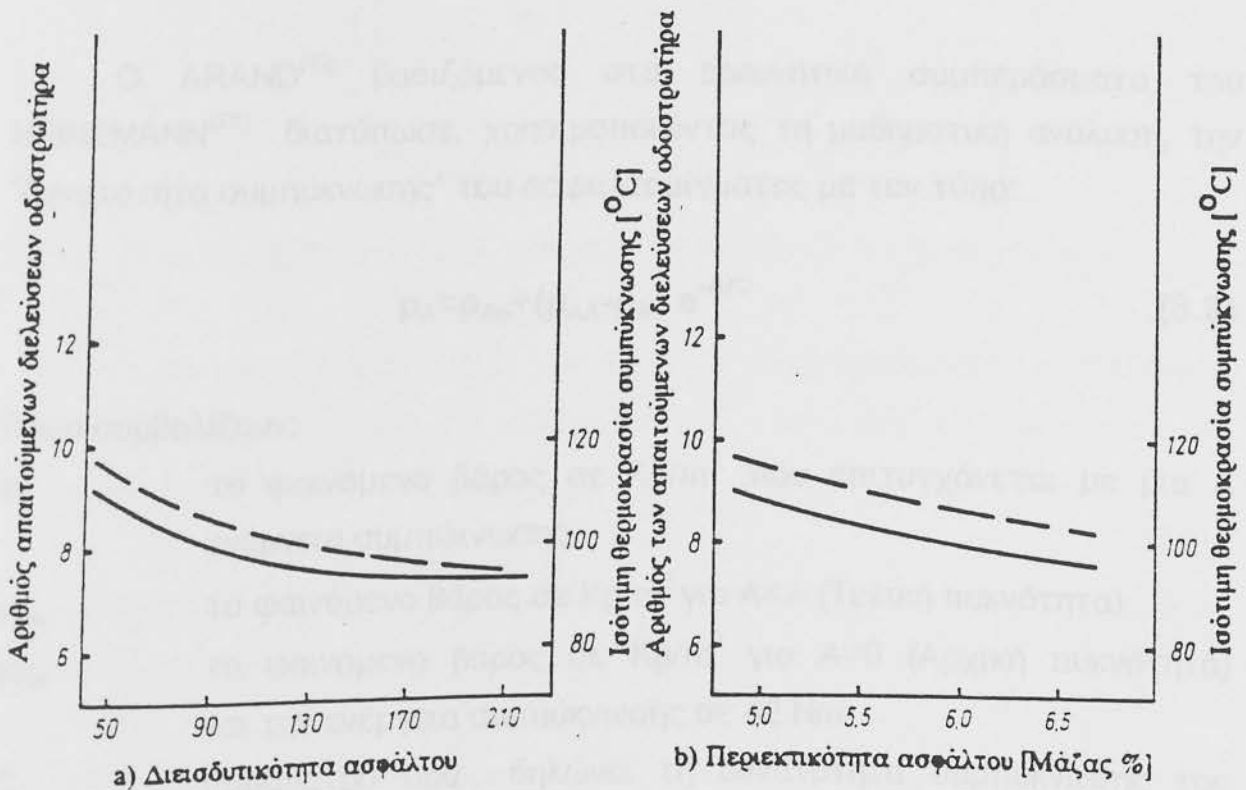
Η άσφαλτος επιδρά στο αποτέλεσμα της συμπίκνωσης

- με τις γενικές ιδιότητες ρευστότητας
- με την ακαμψία που έχει σε μια ορισμένη θερμοκρασία
- με την αναλογία του όγκου που κατέχει στο μίγμα

Η σκληρότητα της ασφάλτου κανονικά δίδεται από την διεισδυτικότητα.

_____ Αριθμός απαιτούμενων διελεύσεων οδοστρωτήρα

--- Ισότιμη θερμοκρασία συμπίκνωσης



Σχήμα 3.7: Η επίδραση της διεισδυτικότητας και του ποσοστού της ασφάλτου στον αριθμό των απαιτούμενων διελεύσεων οδοστρωτήρα και στη ισότιμη θερμοκρασία συμπίκνωσης.

Στο (Σχήμα 3.7α) δίδεται η σχέση της απαιτούμενης δυναμικότητας συμπύκνωσης με την διεισδυτικότητα της ασφάλτου, καθώς και η προκύπτουσα ισότιμη θερμοκρασία συμπύκνωσης.

Σύμφωνα με αυτά πρέπει να χρησιμοποιηθεί δυναμικότητα συμπύκνωσης περίπου 10% επιπλέον, εάν η ασφαλτος Β 80 αντικατασταθεί με ασφαλτο Β 45. Η ισότιμη θερμοκρασία για Β 45 είναι περίπου 8K υψηλότερη και 11K περίπου χαμηλότερη για Β 200 από την περίπτωση κανονικού μίγματος με Β 80.

Η επίδραση της περιεκτικότητας (ποσοστό ασφάλτου) στο αποτέλεσμα της συμπύκνωσης παρουσιάζεται στο (Σχήμα 3.7β).

Η απαιτούμενη δυναμικότητα συμπύκνωσης αυξάνεται περίπου κατά 5%, εάν το ποσοστό της ασφάλτου μειωθεί κατά 0,5%. Έπειτα για την συμπύκνωση αυτού του μίγματος απαιτείται μια θερμοκρασία συμπύκνωσης κατά 4K.

Ο ARAND⁽¹⁰⁾ βασιζόμενος στα ερευνητικά συμπεράσματα του HEINEMANN⁽²⁸⁾ διατύπωσε, χρησιμοποιώντας τη μαθηματική ανάλυση, την "δυνατότητα συμπύκνωσης" του ασφαλτομίγματος με τον τύπο:

$$\rho_A = \rho_{A0} + (\rho_{AA} - \rho_A) e^{-A/C} \quad (3.3)$$

όπου συμβολίζουν:

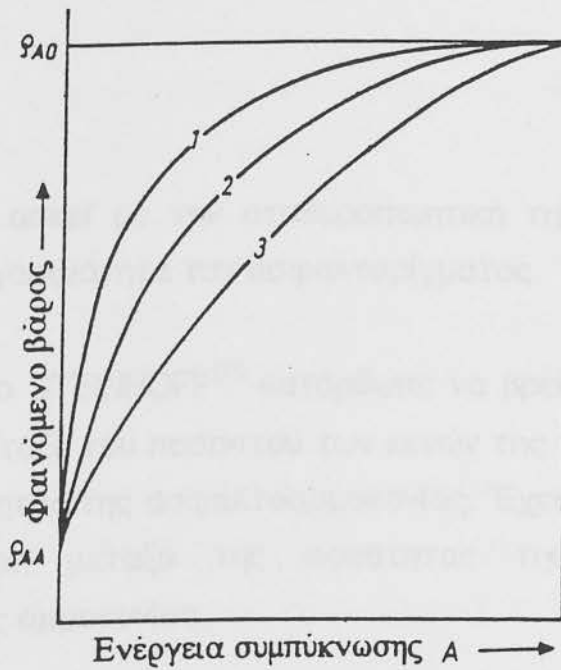
- ρ_A το φαινόμενο βάρος σε Kg/m^3 , που επιτυγχάνεται με μια Α ενέργεια συμπύκνωσης.
- ρ_{A0} το φαινόμενο βάρος σε Kg/m^3 για $A = \infty$ (Τελική πυκνότητα)
- ρ_{AA} το φαινόμενο βάρος σε Kg/m^3 για $A = 0$ (Αρχική πυκνότητα) και την ενέργεια συμπύκνωσης σε 42 Nm
- C παράμετρο που δηλώνει τη δυνατότητα συμπύκνωσης του μίγματος

Στο (Σχήμα 3.8) παριστάνεται το φαινόμενο βάρος σαν συνάρτηση της δυνατότητας συμπύκνωσης για διάφορα μίγματα.

Το μίγμα 1 είναι ευκολοσυμπυκνούμενο ενώ το μίγμα 3 είναι δυσκολοσυμπυκνούμενο.

Η τυπική παράμετρος C του μίγματος μπορεί να καθοριστεί με την βοήθεια της Μεθόδου MARSHALL.

Ο αριθμός των κτύπων είναι ευθέως ανάλογος με την εργασία συμπύκνωσης.



Σχήμα 3.8: Φαινόμενο βάρος ως συνάρτηση της ενέργειας συμπύκνωσης.

Με μεταβλητή τον αριθμό των κτύπων της συμπύκνωσης στη Μέθοδο MARSHALL σημειώνοντάς την στον άξονα X στο (Σχήμα 3.8) μπορεί να καθοριστεί το C πειραματικά.

Σύμφωνα λοιπόν με πειραματικά αποτελέσματα που επιτεύχθηκαν μέχρι σήμερα είναι:

για εύκολα συμπυκνούμενο μίγμα	$C \approx 12$
για μίγμα με μέση δυνατότητα συμπύκνωσης	$C \approx 20$
για δύσκολα συμπυκνούμενο μίγμα	$C \approx 28$

Ο ARAND⁽¹⁰⁾ συνεπώς έχοντας εξετάσει τις τιμές C του παραπάνω τύπου σαν δείκτες της δυνατότητας συμπύκνωσης για διάφορα

ασφαλτομίγματα κατέληξε στο συμπέρασμα ότι από τα αποτελέσματα αυτών των εξετάσεων προκύπτει μια μεγαλύτερη επίδραση της περιεκτικότητας της ασφάλτου (ποσοστό ασφάλτου) στην δυνατότητα συμπύκνωσης από ότι έδειξαν οι παραπάνω αριθμοί που υπολογίσθηκαν με τον τύπο του NIJBOER⁽⁸⁾. Υπολογίζοντας σε κτύπους συμπύκνωσης με την συσκευή MARSHALL ο ARAND⁽¹⁰⁾ έχει βρεί ότι απαιτείται 10 έως 20% περοσσότερη ενέργεια συμπύκνωσης, για να συμπυκνωθεί στον ίδιο βαθμό το μίγμα που έχει ποσοστό ασφάλτου χαμηλότερο κατά 0.5%.

3.4 Παιπάλη

Η παιπάλη ασκεί με την σταθεροποιητική της ενέργεια μια μεγάλη επίδραση στην εργασιμότητα του ασφαλτομίγματος.

Πρόσφατα ο STEINHOFF⁽¹¹⁾ κατόρθωσε να βρεί μια σχέση στατιστικά εξασφαλισμένη μεταξύ του ποσοστού των κενών της παιπάλης κατά RIGDEN και της εργασιμότητας της ασφαλτοαμμοκονίας. Έχει διαπιστωθεί ακόμη μια πολύ καλή σχέση μεταξύ της ποσότητας της παιπάλης και της εργασιμότητας της αμμοκονίας.

Από τις εξετάσεις του NIJBOER⁽⁸⁾ προκύπτει ότι οι χημικές και φυσικές ιδιότητες, το μέγεθος του κόκκου και η ποσότητα της παιπάλης (σχέση παιπάλης-Ασφάλτου F/B) συμβάλλουν σημαντικά στον καθορισμό της αρχικής αντίστασης και του ιξώδους του μίγματος.

Όμως είναι βέβαιο ότι η ποσοτική επίδραση της παιπάλης είναι σημαντικά περιπλοκότερη, από ότι γενικά υποθέτουμε, διότι η παιπάλη επηρεάζει συγχρόνως και τον ελεύθερο χώρο των κενών των αδρανών. Με αυξανόμενη περιεκτικότητα παιπάλης ο βαθμός κορεσμού του συμπυκνωμένου μίγματος με άσφαλο γίνεται υψηλότερος σε πολλά είδη παιπάλης.

Όταν αυτή φθάσει σε μια κρίσιμη τιμή, τότε όχι μόνον μειώνεται η ακαμψία του μίγματος, αλλά ακόμη και ευκολοσυμπυκνούμενο γίνεται το μίγμα.

Το αποτέλεσμα αυτό δεν έχει ληφθεί υπόψη στον τύπο του NIJBOER⁽⁸⁾.

Από αποτελέσματα των εξετάσεων του τύπου του NIJBOER⁽⁸⁾ καθορίζεται ένας δείκτης u για την παιπάλη ο οποίος εξαρτάται από τις ιδιότητες σταθερότητας της παιπάλης. Όσο πιο υψηλό είναι το u τόσο χαμηλή γίνεται η επίδραση της σταθεροποιητικής ικανότητας.

Για μια παιπάλη ασβεστολιθικού πετρώματος συνηθισμένης ποιότητας με ποσοστό κενών κατά RIGDEN περίπου 35% του όγκου μπορούμε να δεχθούμε ένα $u=0,6$, ενώ για μια παιπάλη με μεγάλη σταθερότητα, με ποσοστό κενών κατά RIGDEN περίπου 48% του όγκου, ένα $u=0,5$.

Ο NIJBOER⁽⁸⁾ έχει εξετάσει ακόμη στη συνέχεια και την επίδραση του μεγέθους των κόκκων της παιπάλης. Αυτή είναι σημαντικά μικρότερη και δίδεται τουλάχιστον εν μέρει με το u .

Το Σχήμα 3.9α δίδει ως συνάρτηση του u τις απαιτούμενες διελεύσεις οδοστρωτήρα και την ισότιμη θερμοκρασία συμπύκνωσης. Η επίδραση των ιδιοτήτων της παιπάλης στη δυνατότητα συμπύκνωσης του μίγματος είναι πολύ σημαντική.

Η απαιτούμενη δυναμικότητα συμπύκνωσης αυξάνεται περίπου κατά 40% εάν αντί παιπάλης ασβεστολιθικού πετρώματος χρησιμοποιηθεί παιπάλη με μεγάλη σταθεροποιητική ικανότητα όπως π.χ. μια ορισμένη στάχτη.

Το Σχήμα 3.9β παριστάνει την επίδραση της ποσότητας της παιπάλης. Με την προϋπόθεση ότι η θεωρία της επιφάνειας ισχύει ακόμη στην περίπτωση μας, πράγμα που σημαίνει ότι δεν έχει φθάσει ακόμη το κρίσιμο ποσοστό κενών, η απαιτούμενη δυναμικότητα συμπύκνωσης αυξάνεται γύρω στο 10%, εάν το ποσοστό παιπάλης αυξηθεί κατά 1% της μάζας.

Αυτό το φαινόμενο εξαρτάται από την σταθεροποιητική δύναμη της παιπάλης και είναι μεγαλύτερο σε παιπάλη με μεγαλύτερη ικανότητα σταθεροποίησης.

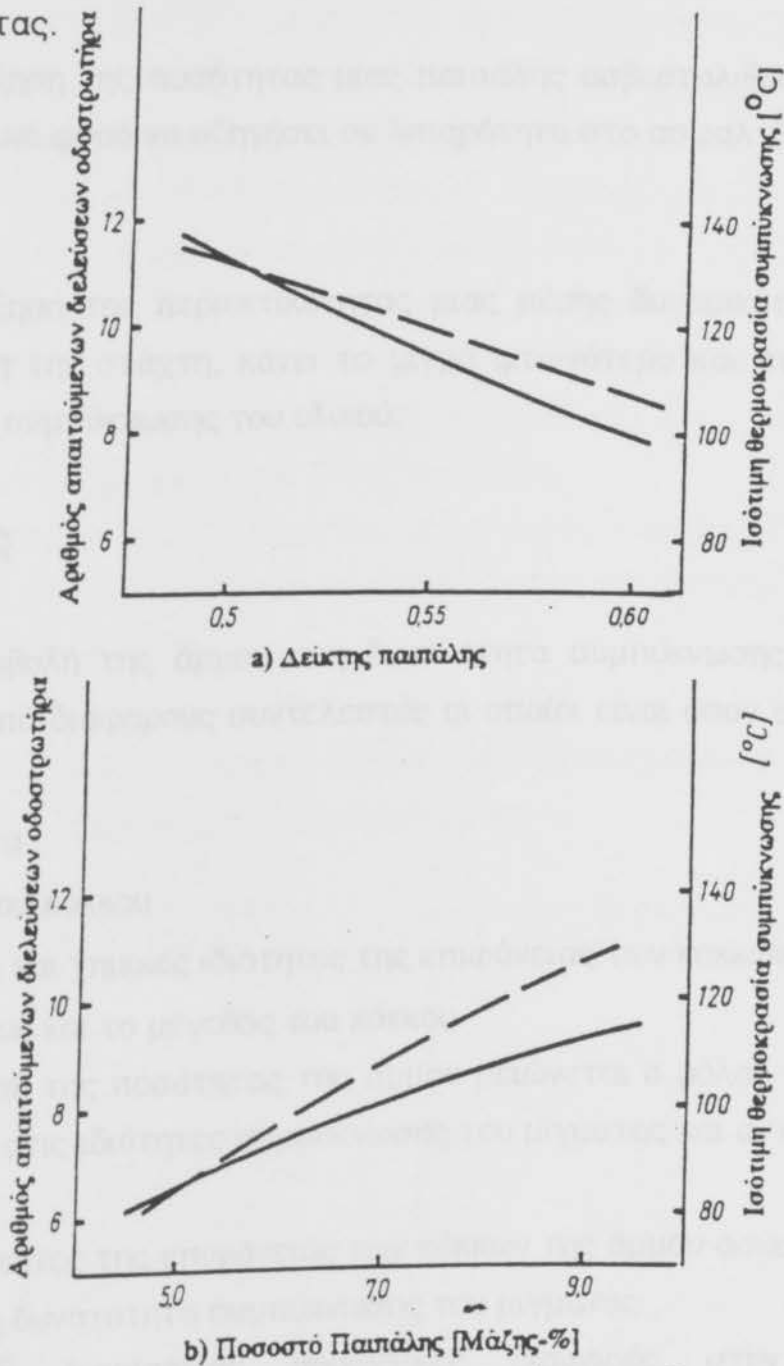
Σε τελείως διαφορετικά αποτελέσματα κατέληξε ο ARAND⁽¹⁰⁾.

Σε αντίθεση με την αυξανόμενη απαίτηση συμπύκνωσης κατά την αύξηση της περιεκτικότητας της παιπάλης, διαπίστωσε ότι στην περίπτωση αυτή η δυνατότητα συμπύκνωσης γίνεται ευκολότερη.

Οι εξετάσεις από τον ARAND⁽¹⁰⁾ έχουν διεξαχθεί με τρία είδη παιπάλης, που χαρακτηρίζονται από αδύνατη έως πολύ αδύνατη παιπάλη

($u=0,60$). Σε αυτή την περίπτωση πιθανόν ο τύπος του NIJBOER⁽⁸⁾ να έχει περιορισμένη ισχύ.

Ο NIJBOER⁽⁸⁾ στην εργασία του εξέτασε την επίδραση μιας παιπάλης μεσαίας δυναμικότητας.



— Αριθμός απαιτούμενων διελεύσεων οδοστρωτήρα
 - - - Ισότιμη θερμοκρασία συμπύκνωσης

Σχήμα 3.9: Η επίδραση του δείκτη και της ποσότητας της παιπάλης στον αριθμό των απαιτούμενων διελεύσεων κυλίνδρου και στην ισότιμη θερμοκρασία συμπύκνωσης.

Ακόμη υπάρχει μια σημαντική διαφορά στην επίδραση αυτών των δύο ειδών παιπάλης στην συμπεριφορά του ασφαλτομίγματος, όταν χρησιμοποιούνται διαφορετικές ποσότητες.

Η αύξηση της ποσότητας μιας παιπάλης ασβεστολιθικού πετρώματος μπορεί καμιά φορά να οδηγήσει σε λιπαρότητα στο ασφαλτόμιγμα.

Η αύξηση της περιεκτικότητας μιας μέσης δυναμικότητας παιπάλης π.χ με βάση την στάχτη, κάνει το μίγμα φτωχότερο και έτσι μειώνεται η δυνατότητα συμπύκνωσης του υλικού.

3.5 Άμμος

Η συμβολή της άμμου στη δυνατότητα συμπύκνωσης του μίγματος εξαρτάται από διάφορους συντελεστές οι οποίοι είναι όσον αφορά το υλικό της άμμου:

- η ποσότητα
- η μορφή του κόκκου
- οι φυσικές και χημικές ιδιότητες της επιφάνειας των κόκκων
- η κατασκευή και το μέγεθος του κόκκου

Με την αύξηση της ποσότητας της άμμου μειώνεται ο ρόλος της δομής του πετρώματος στις ιδιότητες συμπύκνωσης του μίγματος και αντίστροφα.

Οι ιδιότητες της επιφάνειας των κόκκων της άμμου ασκούν μια σοβαρή επίδραση στη δυνατότητα συμπύκνωσης του μίγματος.

Ο GAUER⁽¹²⁾ διαπίστωσε σημαντικές διαφορές στην δυνατότητα συμπύκνωσης δύο μιγμάτων, που παρασκευάστηκαν από θραυστή άμμο Γρανίτη και Βασάλτη.

Τις διαφορές αυτές τις απέδωσε εν μέρει στις διαφορετικές χημικές και φυσικές ιδιότητες που είχαν τα δύο είδη άμμου.

Για την μορφή του κόκκου της άμμου μπορεί να λεχθεί ότι έχουμε να κάνουμε με δύο διαφορετικές ιδιότητες άμμου:

- με την μορφή του κόκκου (στρογγυλός ή με γωνίες) και

- με την σχέση μεταξύ της μεγαλύτερης και μικρότερης διάστασης του κόκκου.

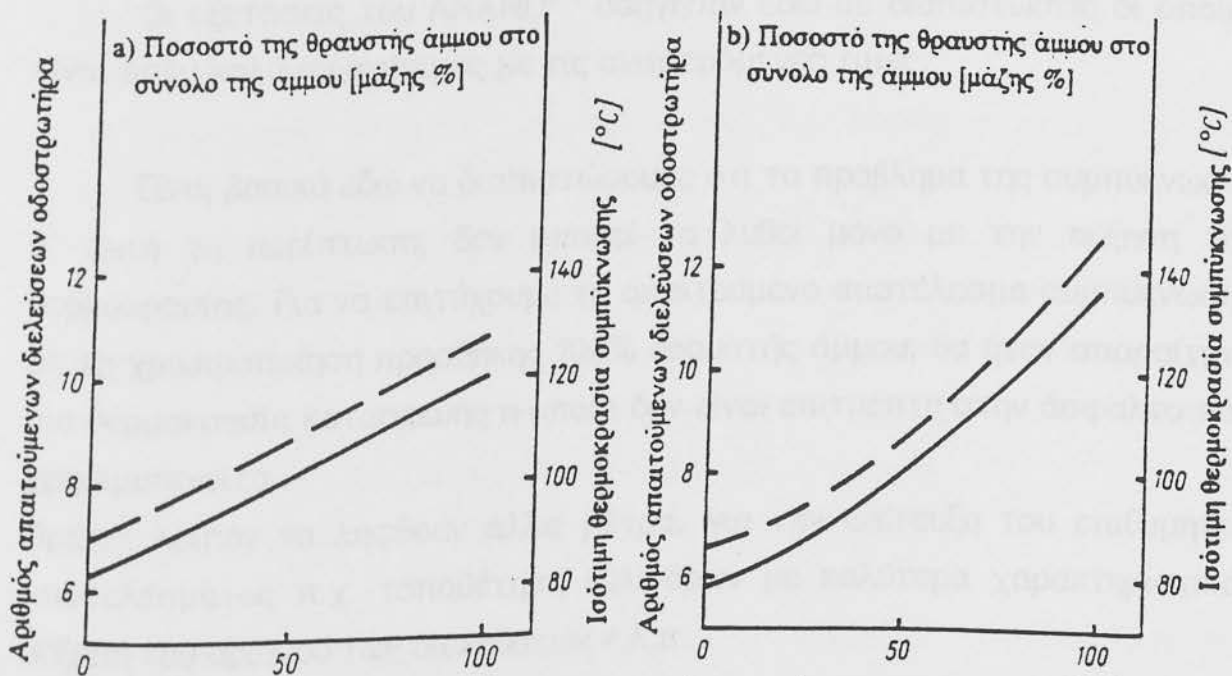
Αν και ο NIJBOER⁽⁸⁾ δεν εξέτασε εμπειριστικά την επίδραση της θραυστής άμμου, κατέληξε αργότερα στα ακόλουθα συμπεράσματα:

Από την κατασκευή και την μορφή των κόκκων της θραυστής άμμου εξαρτάται το ποσοστό του χονδρόκοκου αδρανούς υλικού που πρέπει να υπολογίζουμε κατά τον καθορισμό του δείκτη κυλίνδρωσης. Εκτιμάται ότι το ποσοστό αυτό, κατά τον υπολογισμό του T_{cb} ανέρχεται σε ένα τρίτο έως το ήμισυ της ποσότητας της θραυστής άμμου. Με βάση την εμπειρία είναι γνωστό ότι είναι πιθανό σε πλυμένη θραυστή άμμο το ποσοστό αυτό να ανέλθει μέχρι τα δύο τρίτα της θραυστής άμμου.

Για τον υπολογισμό του ιξώδους του μίγματος η_m ο NIJBOER⁽⁸⁾ προτείνει, να προμετράται το σύνολο της θραυστής άμμου που είναι επάνω από 1mm στα χονδρόκοκκα αδρανή υλικά.

Αριθμός απαιτούμενων διελεύσεων οδοστρώτηρα

Ισότιμη θερμοκρασία συμπύκνωσης



Σχήμα 3.10: Η επίδραση της θραυστής άμμου στον αριθμό των απαιτούμενων διελεύσεων οδοστρώτηρα και στην ισότιμη θερμοκρασία συμπύκνωσης (ο υπολογισμός έγινε στο Σχήμα 3.10α για την επίτευξη βαθμού συμπύκνωσης 100% κατά MARSHALL και στο Σχήμα 3.10β για την επίτευξη του αυτού ποσοστού κενών).

Για την απλοποίηση του υπολογισμού στο εξής το ποσοστό του χονδρόκοκκου αδρανούς θα υπολογίζεται με δύο τρίτα της θραυστής άμμου (λαμβάνεται πλυμένη θραυστή άμμος) τόσο για τον καθορισμό του T_{cb} όσο και του η_m .

Το Σχήμα 3.10 δείχνει την επίδραση του ποσοστού της θραυστής άμμου στην απαιτούμενη δυναμικότητα κυλίνδρωσης και στην ισότιμη θερμοκρασία συμπύκνωσης.

Στο Σχήμα 3.10α αναφέρονται οι τιμές του δείκτη κυλίνδρωσης με βάση τον βαθμό συμπύκνωσης σε 100%, ενώ στο Σχήμα 3.10β οι ίδιες τιμές υπολογίστηκαν με βάση το ίδιο ποσοστό κενών.

Η δυνατότητα συμπύκνωσης του μίγματος επηρεάζεται σημαντικά από το ποσοστό της θραυστής άμμου:

Η απαιτούμενη δυναμικότητα κυλίνδρωσης είναι 70 έως 90% μεγαλύτερη εάν χρησιμοποιηθεί στο μίγμα αντί φυσικής άμμου πλυμένη θραυστή άμμος.

Οι εξετάσεις του ARAND⁽¹⁰⁾ οδήγησαν εδώ σε διαπιστώσεις οι οποίες είναι πολύ καλά συγκρίσιμες με τις αναφερόμενες τιμές.

Είναι βασικό εδώ να διαπιστώσουμε ότι το πρόβλημα της συμπύκνωσης σ' αυτή τη περίπτωση, δεν μπορεί να λυθεί μόνο με την αύξηση της θερμοκρασίας. Για να επιτύχουμε το απαιτούμενο αποτέλεσμα συμπύκνωσης με τη χρησιμοποίηση προσθήκης 100% θραυστής άμμου, θα ήταν απαραίτητο μια θερμοκρασία κατασκευής η οποία δεν είναι επιτρεπτή στην ασφαλτο που χρησιμοποιείται.

Πρέπει λοιπόν να ληφθούν άλλα μέτρα, για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος π.χ. τοποθέτηση κυλίνδρων με καλύτερα χαρακτηριστικά, αύξηση του αριθμού των διελεύσεων κ.λ.π.

3.6 Χονδρόκοκκα αδρανή υλικά

Η ποσότητα η μορφή του κόκκου και οι ιδιότητες της επιφάνειας των χονδρόκοκκων αδρανών, με μέγεθος κόκκου μεγαλύτερο των 2mm, επηρεάζουν την εσωτερική τριβή και το ιξώδες του μίγματος.

Ο NIJBOER⁽⁸⁾ έχει εξετάσει εμπειριστικώς την ποσοτική επίδραση αυτού του υλικού.

Δεν βρήκε μια ιδιαίτερη επίδραση της μορφής των κόκκων. Οι ιδιότητες της επιφάνειας των χονδρόκοκκων αδρανών υλικών δεν εξετάσθηκαν αλλά είναι πράγματι δυνατόν να παίξουν σπουδαίο ρόλο σε ακραίες περιπτώσεις όπως π.χ. σε χονδρόκοκκα θραυστά με πολύ τραχειά χαρακτηριστικά επιφάνειας.

Το Σχήμα 3.11 παριστάνει τον αριθμό των απαιτούμενων διελεύσεων οδοστρωτήρας συναρτήση του ποσοστού του χονδρόκοκκου αδρανούς από θραυστά χαλίκια.

Συγχρόνως δίνεται και η ισότιμη θερμοκρασία συμπύκνωσης.

Ο υπολογισμός γίνεται με βάση ίσα κενά αέρα. Η απαιτούμενη δυναμικότητα κυλίνδρωσης αυξάνεται κατά 20% περίπου, εάν το ποσοστό του χονδρόκοκκου αυξηθεί κατά 10% της μάζας. Με την αύξηση της θερμοκρασίας συμπύκνωσης μπορεί να αντιμετωπισθεί μόνον μερικώς η αυξανόμενη αντίσταση για συμπύκνωση του μίγματος. Το μίγμα με περιεχόμενο χονδρόκοκκου 65% της μάζας δεν μπορεί να φθάσει στον επιθυμητό βαθμό συμπύκνωσης με αυτό τον τρόπο δηλαδή με αύξηση της θερμοκρασίας.

Οι εξετάσεις του ARAND⁽¹⁰⁾ οδήγησαν από την άποψη αυτή φαινομενικά διαφορετικά αποτελέσματα.

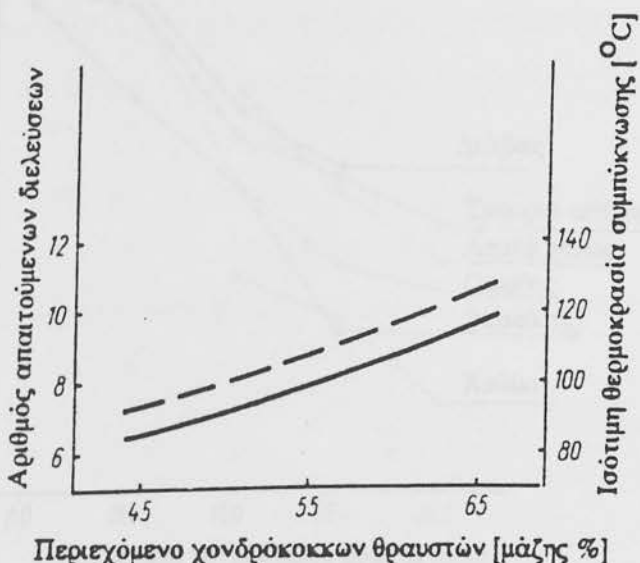
Μετά από αυτά δεν αλλάζει σημαντικά η δυνατότητα συμπύκνωσης του μίγματος με την αλλαγή του περιεχομένου σε χονδρόκοκκο αδρανές υλικό. Όμως οι ίδιες παρατηρήσεις έδειξαν ότι ο δείκτης της παραμέτρου συμπύκνωσης αυξάνεται σημαντικά με την αύξηση του ποσοστού των κενών και έτσι το ασφαλτόμιγμα γίνεται δυσκολοσυμπυκνούμενο. Στους υπολογισμούς μας ξεκινάμε από ίσο ποσοστό κενών.

Τελευταία θα αναφερθεί ακόμη ότι ο τύπος της παραμέτρου της κυλίνδρωσης δεν λαμβάνει υπόψη την πρόσθετη επιρροή του ποσοστού των χονδρόκοκκων θραυστών στην ειδική επιφάνεια των αδρανών υλικών. Με αυξανόμενο ποσοστό χονδρόκοκκων θραυστών μειώνεται η επιφάνεια αυτή και έτσι μένει περισσότερη άσφαλτος ελεύθερη και μειώνεται η εσωτερική τριβή.

Γι' αυτό οι υπολογισμοί που διενεργούνται-εάν τους δούμε με αυστηρότητα-ισχύουν μόνο σε σχετικά στενά περιθώρια.

_____ Αριθμός απαιτούμενων διελεύσεων

-- -- Ισότιμη θερμοκρασία συμπύκνωσης



Σχήμα 10.11: Η επίδραση του ποσοστού των χονδροκόκκων αδρανών υλικών στον αριθμό των απαιτούμενων διελεύσεων κυλίνδρου και στην ισότιμη θερμοκρασία συμπύκνωσης.

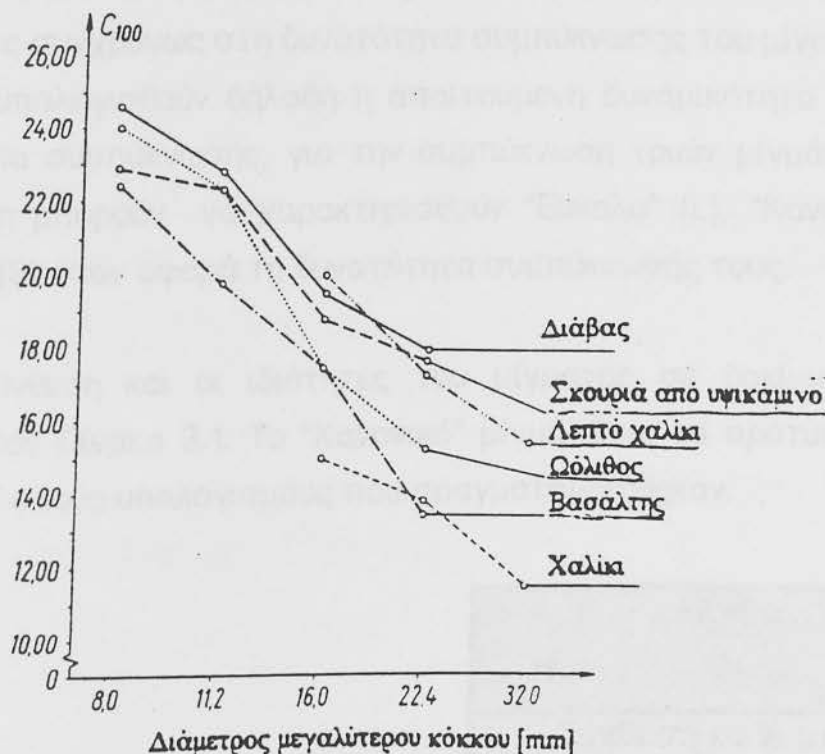
3.7 Η διάμετρος των μεγαλύτερων κόκκων

Η επίδραση της διαμέτρου των μεγαλύτερων κόκκων έχει εξετασθεί επίσης από τον ARAND⁽¹⁰⁾ με λεπτομέρεια. Διατηρήθηκαν όμως σταθερά ή το ποσοστό ασφάλτου του μίγματος ή το ποσοστό κενών του συμπυκνωμένου ασφαλτομίγματος.

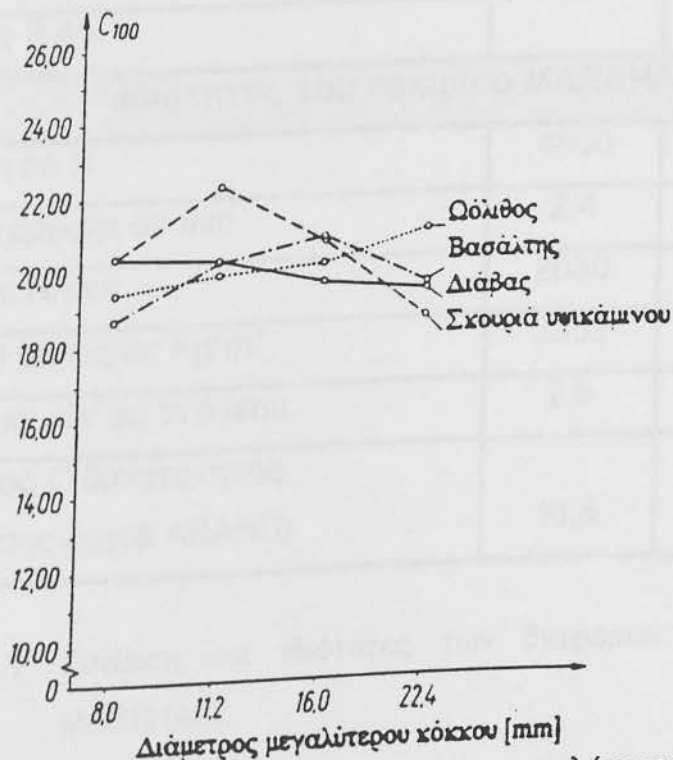
Στη πρώτη περίπτωση παρατηρείται έντονη αύξηση της δυνατότητας συμπύκνωσης με μεγαλύτερους κόκκους αδρανών (Σχήμα 10.12). Αυτό εξηγείται με την ήδη αναφερόμενη επιρροή της ειδικής επιφάνειας των χονδροκόκκων αδρανών.

Στη δεύτερη περίπτωση η δυνατότητα συμπύκνωσης εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την διάμετρο του μεγαλύτερου κόκκου (Σχήμα 10.13).

Στη πράξη το πρόβλημα αυτό σε συσχέτισμό με το πάχος της στρώσης είναι ιδιαίτερα σοβαρό.



Σχήμα 10.12: Επιρροή της διαμέτρου του μεγαλύτερου κόκκου στο μέγεθος της παραμέτρου συμπίκνωσης C με διατήρηση σταθερού του ποσοστού της ασφάλτου



Σχήμα 3.13: Επιρροή της διαμέτρου του μεγαλύτερου κόκκου στο μέγεθος της παραμέτρου συμπίκνωσης C σε συγκρίσιμα ποσοστά κενών.

Τέλος θα δούμε ποιά επιρροή μπορούν να ασκούν οι διάφοροι παράγοντες συγχρόνως στη δυνατότητα συμπύκνωσης του μίγματος.

Θα υπολογισθούν δηλαδή η απαιτούμενη δυναμικότητα και η ισότιμη θερμοκρασία συμπύκνωσης, για την συμπύκνωση τριών μιγμάτων τα οποία στην πράξη μπορούν να χαρακτηρισθούν "Εύκολο" (L), "Κανονικό" (N) και "Δύσκολο" (S) όσον αφορά τη δυνατότητα συμπύκνωσής τους.

Η σύνθεση και οι ιδιότητες του μίγματος σε δοκίμιο MARSHALL δόθηκαν στον Πίνακα 3.1. Το "Κανονικό" μίγμα είναι το πρότυπο μίγμα που έχει ληφθεί στους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν.

	Μίγμα		
	L	N	S
Σύνθεση σε% μάζης			
Θραυστά χονδρόκοκκα	55,0	55,0	55,0
Φυσική άμμος	38,0	19,0	-
Θραυστή άμμος (πλυμένη)	-	19,0	-
Παιπάλη ασβεστολιθικού πετρώματος	7,0	7,0	7,0
Άσφαλτος Β 80	-	-	6,4
Άσφαλτος Β 45			
Ιδιότητες του δοκιμίου MARSHALL			
Ευστάθεια σε Ν	4860	6040	8030
Δείκτης διαρροής σε mm	2,4	2,2	2,7
Πηλίκον σε N/mm	2050	2780	3000
Φαινόμενο βάρος σε Kg/m ³	2352	2314	2321
Ποσοστό κενών σε % όγκου	2,9	4,6	4,7
Παράμετρος C δυνατότητας συμπύκνωσης (κατά ARAND)	10,5	17	31

Πίνακας 3.1 Σύνθεση και ιδιότητες των διαφόρων μιγμάτων στο δοκίμιο MARSHALL

Οι συνθέσεις των μιγμάτων καθορίστηκαν στην συνέχεια έτσι ώστε η εξάλειψη των προαναφερομένων ανασφαλειών να είναι δυνατή για τον υπολογισμό του δείκτη κυλίνδρωσης.

Ο Πίνακας 3.2 περιέχει τον αριθμό των απαιτούμενων διελεύσεων οδοστρωτήρα, δηλαδή την απαιτούμενη δυναμικότητα κυλίνδρωσης και την ισότιμη θερμοκρασία κυλίνδρωσης.

Το μίγμα που χαρακτηρίζεται σαν “Δύσκολο” (S) ως προς τη δυνατότητα συμπίκνωσης χρειάζεται περισσότερη από διπλή δυναμικότητα κυλίνδρωσης από ότι μίγμα L (“Εύκολο”).

	Μίγμα		
	L	N	S
Αριθμός απαιτούμενων διελεύσεων οδοστρωτήρα	6,3	8,0	13,4
Ισότιμη θερμοκρασία συμπίκνωσης °C	90,2	107	156,4

Πίνακας 3.2: Ο αριθμός των απαιτούμενων διελεύσεων οδοστρωτήρα και η ισότιμη θερμοκρασία συμπίκνωσης διαφόρων μιγμάτων⁵

4. ΘΕΡΜΑ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΑ

4.1 Γενικά

Στην κατασκευή των εύκαμπτων οδοστρωμάτων χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι ασφαλτομιγμάτων, ανάλογα με τις απαιτήσεις του έργου. Έτσι διασφαλίζεται η βέλτιστη αξιοποίηση του υλικού. Η δυνατότητα χρησιμοποίησης πλέον του ενός ασφαλτομίγματος προϋποθέτει την ύπαρξη: κατάλληλης ποιότητας και διαβάθμισης αδρανών, κατάλληλου τύπου ασφάλτου, κατάλληλου μηχανολογικού και μηχανικού εξοπλισμού, τεχνογνωσίας των εμπλεκομένων (μελετητών και κατασκευαστών) και σαφώς και άρτιων προδιαγραφών. Βεβαίως από όλους του 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 μόνον ένας τύπος θερμού ασφαλτομίγματος, αυτός του ασφαλτικού 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. Για την πληρέστερη ενημέρωση του αναγνώστη, στο παρόν κεφάλαιο, θα γίνει αναφορά σε όλους τους τύπους των θερμών ασφαλτομιγμάτων που χρησιμοποιούνται σήμερα. Επίσης, θα περιγραφούν οι δοκιμές που απαιτούνται για τον ποιοτικό έλεγχο των ασφαλτομιγμάτων καθώς και για τον καθορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων αυτών.

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 ασφαλτικά έργα.

Τα ασφαλτομίγματα γενικά, τόσο τα θερμά όσο και τα ψυχρά που θα αναπτυχθούν στο επόμενο κεφάλαιο, 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 εύκολα και
- να είναι μικρού κατά το δυνατόν κόστους.

Επιπροσθέτως τα ασφαλτομίγματα για τάπητες κυκλοφορίας θα πρέπει:

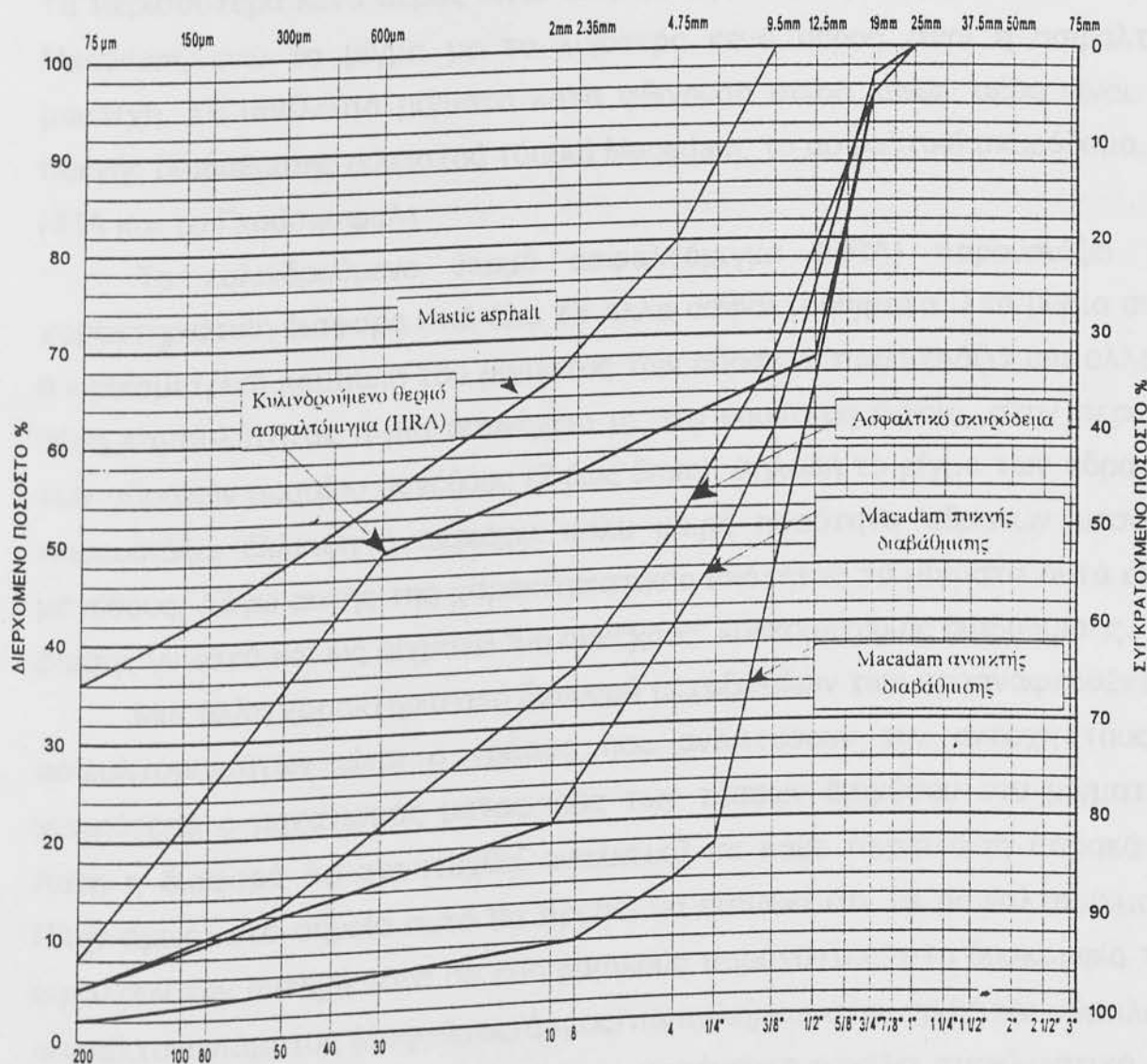
- να ανθίστανται στη λειαντική δράση των ελαστικών και στην καταστροφική επίδραση των καιρικών συνθηκών του περιβάλλοντος, παρέχοντας καλή και μακράς διάρκειας ζωής αντιολισθηρή επιφάνεια,
- να παρέχουν ομαλή επιφάνεια για άνετη ασφαλή οδήγηση
- να παρέχουν ομαλή επιφάνεια για άνετη και ασφαλή οδήγηση 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.

Οι παραπάνω απαιτήσεις αποδεικνύουν την αναγκαιότητα σωστού σχεδιασμού και σύνθεσης των ασφαλτομιγμάτων με παράλληλη χρήση όλων των διαθέσιμων υλικών και τεχνολογιών για τη διασφάλιση της καλής συμπεριφοράς αυτών και κατ' επέκταση του οδοστρώματος.

4.2 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 μόνον από λεπτόκοκκα 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.



Σχήμα 4.1 Κοκκομετρικές διαβαθμίσεις τυπικών ασφαλτομιγμάτων

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 Γκούσασφαλτ (Gussasphalt).

Το βασικό χαρακτηριστικό όλων των παραπάνω ασφαλτομιγμάτων, πλήν 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. Οι αντιπροσωπευτικές καμπύλες των αδρανών των ασφαλτομιγμάτων αυτών δίνονται στο Σχήμα 4.1. Το μίγμα με τα περισσότερα κενά αέρος είναι το ανοικτής διαβάθμισης (ανοικτού τύπου) Macadam, ενώ το μίγμα με τα λιγότερα κενά αέρος είναι η ασφαλτική μαστίχη. Τα υπόλοιπα μίγματα κατά φθίνουσα σειρά κενών αέρα είναι: το πυκνής διαβάθμισης (κλειστού τύπου) Macadam, το ασφαλτικό σκυρόδεμα, το HRA και το Γκούσασφαλτ.

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 θέση καμπυλότητας ή μια 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 διαμέσου 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. Στον πρώτο παράγοντα οφείλει αποκλειστικά και μόνο την αντοχή της η ασφαλτική μαστίχη, ενώ η αντοχή του μίγματος

ανοικτής διαβάθμισης Macadam οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στην τριβή και σύμπλεξη των αδρανών.

Τυπικά χαρακτηριστικά και σύγκριση των παραπάνω μιγμάτων αλλά και αυτών που θα αναπτυχθούν παρακάτω, σε φθίνουσα σειρά ποσοστού κενών, δίνονται στον Πίνακα 4.1.

4.2.1 Ασφαλτικό σκυρόδεμα

Το ασφαλτικό σκυρόδεμα αρχικά αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ για να καλύψει την ανάγκη ύπαρξης ενός ασφαλτομίγματος “σκληρού” και ανθεκτικού στα βαριά φορτία των οχημάτων και των αεροσκαφών. Ο τύπος είναι ο περισσότερο γνωστός τύπος ασφαλτομίγματος και χρησιμοποιείται σχεδόν σε όλες τις χώρες του κόσμου. Πολλές χώρες χρησιμοποιούν αυτούσιες τις κοκκομετρικές καμπύλες που προτείνονται από τις αμερικάνικες προδιαγραφές, ενώ ορισμένες χώρες όπως, η Γερμανία, η Γαλλία κ.ά., τις έχουν ελαφρώς τροποποιήσει ώστε να έχουν τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα κάτω από τις ιδιαίτσες κυκλοφοριακές και κλιματολογικές συνθήκες.

Το ασφαλτικό σκυρόδεμα αποτελείται από καλώς διαβαθμισμένα χονδρόκοκκα, λεπτόκοκκα αδρανή και φίλλερ 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, ισοπεδωτική στρώση και ασφαλτική βάση.

Οι κοκκομετρικές διαβαθμίσεις χαρακτηρίζονται από τη μέγιστη διάσταση των αδρανών του μίγματος. Τυπικές διαβαθμίσεις που συνιστώνται από τις Αμερικάνικες προδιαγραφές⁽¹³⁾ για ασφαλτικά έργα δίνονται στον Πίνακα 4.2. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι στις αναθεωρημένες αυτές προδιαγραφές τα μίγματα αυτά δε χαρακτηρίζονται πλέον ως ασφαλτικά σκυροδέματα αλλά απλά ως ασφαλτικά μίγματα οδοστρωσίας πυκνής διαβάθμισης. Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 4.2, έχει μέγιστη διάσταση

	Τύπος Μίγματος						
	M.A.	Guss	HRA	A.Σ.	MaC	A.Π.	AMac
Σύνθεση (%)							
Χονδροκόκκου	Χα	Με	Με	Υψ	Υψ	Υψ	Υψ
Λεπτόκοκκου	Υψ	Υψ	Υψ	Με	Με	Χα	Χα
Παιπάλης	Υψ	Υψ	Με	Με	Με	Χα	Χα
Ασφάλτου	Π.Υψ	Υψ	Υψ	Με	Με	Χα	Χα
Τύπος ασφάλτου	Π.Σκ	Σκ	Σκ	Με	Με	Με/Σ	Μα
Ιδιότητες							
% Κενών	0-1	1-2	2-3	3-5	5-10	18-22	>20
Αντίστ. σε παραμόρ/ση	Με/Υ	Υψ	Υψ	Με	Κα	Με	Χα
Καιρική ανθεκτικότητα	Υψ	Υψ	Π.Υψ	Με	Με	Χα	Χα
Δομική συνεισφορά	Υψ	Υψ	Υψ	Υψ	Υψ	Χα	Χα
Επιφαν.υφή/Αντιολισθ.	Κ+	Υψ	Υψ	Χα	Με	Υψ	Υψ
Μείωση του θορύβου	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Ναι	Κα
Μείωση του "spray"	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Ναι	κα
Εργασιμότητα	Χα	Χα	Με	Κα	Κα	Υψ	Υψ
Κόστος	Π.Υψ	Υψ	Με/Υψ	Με	Με	Με/Υψ	Χα

M.a :Mastic asphalt

Gauss :Gussasfalt

HRA :Κυλινδρούμενο θερμό ασφαλτόμιγμα

A.Σ :Ασφαλτικό σκυρόδεμα

MaC :Macadam κλειστού τύπου

A.Π :Ασφαλτόμιγμα για πορώδεις τάπητες

AMac :Macadam ανοικτού τύπου

Χα :Χαμηλό (-η)

Με :Μέτριο (-ια)

Υψ :Υψηλό (-η)

Π.Υψ :Πολύ υψηλό (-η)

Σκ :Σκληρή

Π.Σκ :Πολύ σκληρή

Μα :Μαλακιά

Με/Σκ :Μέτρια έως

σκληρή

Κ+ :Καλή έως

έως πολύ καλή

Πίνακας 4.1 Συγκριτική απεικόνιση χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων τυπικών θερμών ασφαλτομιγμάτων

Αριθμός Κοσκίνου		Ασφαλτικά μίγματα πυκνής διαβάθμισης (κλειστού τύπου)									
		Τύπος μίγματος (βάσει του ονομαστικού μέγιστου κόκκου αδρανών)									
		2 in	1 1/2 in	1 in	3/4 in	1/2 in	3/8 in	No.4	No.16		
		(50mm)	(37.5mm)	(25.0mm)	(19.0mm)	(12.5mm)	(9.5mm)	(4.75mm)	(1.18mm)		
									(Sand Asphalt)	(Sheet Asphalt)	
		Διερχόμενο ποσοστό (%) κατά βάρος									
2 1/2 in	63mm	100	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
2 in	50mm	90-100	100	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
1 1/2 in	37.5mm	.....	90-100	100	.....	.....	.....	.....	.....	.....
1 in	25.0mm	60-80	.....	90-100	100	.....	.....	.....	.....	.....
3/4 in	19.0mm	.....	56-80	.....	90-100	100	.....	.....	.....	.....
1/2 in	12.5mm	35-65	.....	56-80	.....	90-100	100	.....	.....	.....
3/8 in	9.5mm	.....	.....	.....	56-80	.....	90-100	100	.....	.....
No.4	4.75mm	17-47	23-53	29-59	35-65	44-74	55-85	80-100	100	.....
No.8	2.36mm	10-36	15-41	19-45	23-49	28-58	32-67	65-100	95-100	.....
No.16	1.18mm	.....	.....	.....	.....	.....	.....	40-80	85-100	.....
No.30	600μm	.....	.....	.....	.....	.....	.....	25-65	70-95	.....
No.50	300μm	3-15	4-16	5-17	5-19	5-21	7-23	7-40	45-75	.....
No.100	150μm	.....	.....	.....	.....	.....	.....	3-20	20-40	.....
No.200	75μm	0-5	0-6	1-7	2-8	2-10	2-10	2-10	9-20	.....

Πίνακας 4.2 Όρια κοκκομετρικών διαβαθμίσεων αδρανών υλικών για ασφαλτικά μίγματα κλειστού τύπου κατά ASTM 3515.

αδρανών 50mm(2") καθώς και τα μίγματα αμμοσφάλτου (sand asphalt) και "φύλλο" ασφάλτου (Sheet asphalt). Ουσιαστικά θα μπορούσε να ειπωθεί ότι τα ασφαλτικά σκυροδέματα, σύμφωνα με την παλαιά ονομασία, είναι αυτά με ονομαστική μέγιστη διάσταση αδρανών από 50 έως και 9.5mm.

Η άσφαλτος που χρησιμοποιείται είναι συνήθως 40/50 έως και 180/200pen, 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 pen. Η άσφαλτος μπορεί να είναι κοινή πετρελαϊκή 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. Για το λόγο αυτό τα μίγματα αυτά σε ορισμένες χώρες καλούνται και μίγματα Marshall. Αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας Marshall δίνεται στην παράγραφο 4.3.1.

Η σύνθεση των ασφαλτικών 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 μερική διαπερατότητα.

Μειονέκτημα του κλειστού τύπου ασφαλτικού σκυροδέματος είναι ότι δεν επιτυγχάνεται επαρκής μακροϋφή, απαραίτητη προϋπόθεση για την επίτευξη καλού συντελεστή αντολίσθησης. Έτσι, για την επίτευξη καλής αντολισθηρής επιφάνειας, ιδιαίτερα σε δρόμους υψηλών ταχυτήτων, απαιτείται επιπλέον επεξεργασία του τάπητα κυκλοφορίας (κατασκευή αντολισθηρής στρώσης).

Επίσης, μια μικρή αύξηση του ποσοστού της ασφάλτου στο μίγμα, πλέον του 0.5% έχει ως αποτέλεσμα το παραχθέν ασφαλτόμιγμα να παρουσιάζει το φαινόμενο της εξίδρωσης.

Τέλος, λόγω του γεγονότος ότι τα ασφαλτικά σκυροδέματα είναι πολύ δύσκαμπτα σε σύγκριση με τα άλλα ασφαλτομίγματα, απαιτούν ικανοποιητικής δυσκαμψίας (σκληρή) στρώση έδρασης. Αλλιώς, ο διαστρωθείς τάπητας με ασφαλτικό σκυρόδεμα αναμένεται να ρηγματωθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα.

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 συνδετικών στρώσεων ή ισοπεδωτικών στρώσεων. Το ασφαλτικό σκυρόδεμα προδιαγράφεται από τις Πρότυπες Τεχνικές Προδιαγραφές (ΠΤΠ) Α-265⁽¹⁴⁾ και τα όρια των κοκκομετρικών διαβαθμίσεων των αδρανών υλικών που προτείνονται δίνονται στον Πίνακα 4.3. Οι προδιαγραφές αυτές βασίζονται στις παλιές Αμερικάνικες προδιαγραφές της δεκαετίας του '60 οι οποίες έκτοτε, στην Ελλάδα, δεν έχουν αναθεωρηθεί.

Για τις ασφαλτικές βάσεις, οι Ελληνικές προδιαγραφές προτείνουν τη χρήση άλλων κοκκομετρικών καμπυλών, οι οποίες προδιαγράφονται από τις ΠΤΠ Α-260⁽¹⁵⁾, Πίνακας 4.4. Οι προδιαγραφές αυτές περιέχουν μίγματα πυκνής (Τύπος Ε), μέσης (Τύπος Γ και Δ) και ανοικτής διαβάθμισης (Τύπος Α και Β). Ο τύπος Ε θεωρείται και ως ασφαλτικό σκυρόδεμα.

Κριτική επί των Ελληνικών προδιαγραφών

Οι νεώτερες Αμερικάνικες προδιαγραφές για ασφαλτικά σκυροδέματα, μετονομασθέντα μίγματα οδοστρωσίας πυκνής διαβάθμισης, σε σύγκριση με τις ισχύουσες Ελληνικές προδιαγραφές, όσον αφορά τις κοκκομετρικές διαβαθμίσεις, παρουσιάζουν ουσιαστικές διαφορές. Οι διαφορές αυτές συνίσταται κυρίως στο ότι τα όρια των νεώτερων προδιαγραφών έχουν μετατοπιστεί, γενικότερα, προς τη χονδρόκοκη περιοχή, το μέγιστο επιτρεπτό ποσοστό παιπάλης στο μίγμα έχει μειωθεί κατά 2% και δεν υπάρχει τόσο μεγάλο εύρος οριακών τιμών στη περιοχή των χονδρόκοκκων αδρανών. Επίσης, δεν υπάρχει ο διαχωρισμός και η διαφοροποίηση σε μίγματα για συνδετικές ή ισοπεδωτικές στρώσεις, και συνεπώς το πολυπληθές των μιγμάτων, που μόνο σύγχυση μπορεί να προκαλέσει, μεταξύ των μελετητών και των παραγωγών ασφαλτομιγμάτων. Επίσης, δεν προτείνονται όρια ποσοστού ασφάλτου στο μίγμα, όπως στις Ελληνικές προδιαγραφές, δεδομένου ότι αυτά καθορίζονται εργαστηριακά με τη μέθοδο Marshall ή οποιαδήποτε άλλη μεθοδολογία ήθελε χρησιμοποιηθεί.

Αριθμός Κοσκίνου (Αμερ. πρότυπα. Κόσκινα τετραγ. οπής AASHO:M-92)		Διερχόμενο ποσοστό % (κατά βάρος), Κατηγορία και Τύπος μίγματος							
Άνοιγμα βροχίδος σε in σε mm		Στρώσεις συνδετικές ή ισοπεδωτικές				Στρώσεις Κυκλοφορίας			
		Τύπος Α	Τύπος Β	Τύπος Γ	Τύπος Δ	Τύπος Α	Τύπος Β	Τύπος Γ	Τύπος Δ
1 1/2"	38.1	100	-	-	-	-	-	-	-
1"	25.4	78-100	100	-	-	100	-	-	-
3/4"	19.1	-	76-100	100	-	85-100	100	-	-
1/2"	12.7	56-80	64-89	74-100	100	-	82-100	100	-
3/8"	9.52	-	-	60-88	74-100	61-90	68-93	84-100	100
No.4	4.76	35-58	38-64	42-70	50-80	43-79	48-82	60-85	78-100
No.10	2.00	23-46	25-50	28-54	32-62	30-65	32-68	43-70	56-84
No.40	0.42	11-25	12-28	14-30	16-34	16-38	17-44	23-42	26-50
No.80	0.177	6-16	7-18	8-20	10-22	10-24	11-28	13-28	14-32
No.200	0.074	3-7	4-8	4-9	4-9	5-12	5-12	5-12	6-12
Άσφαλτος % του βάρους των αδρανών		4.0-6.0	4.0-6.5	4.5-7.0	4.5-7.0	5.0-7.5	5.0-8.0	5.5-8.5	6.0-10.0
Συνιστώμενο πάχος συμπιεσμένου ασφαλτομίγματος, cm		7.5-10.0	3.75-7.5	2.5-5.0	-	3.75-6.25	2.5-5.0	2.0-3.75	1.25-3.25

Πίνακας 4.3 Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών υλικών ασφαλτικού σκυροδέματος κατά ΠΤΠ-A265

Αριθμός Κοσκίνου (Αμερ. προτ. κοσκ. τετρ. οπής AASHO:M-92)		Διερχόμενο ποσοστό % (κατά βάρος), Κατηγορία και Τύπος μίγματος				
Άνοιγμα βροχίδος		Ανοικτής διαβάθμισης		Μέσης διαβάθμισης		Πυκνής διαβάθμισης
σε in	σε mm	Τύπος Α	Τύπος Β	Τύπος Γ	Τύπος Δ	Τύπος Ε
1 1/2"	38.1	100	-	100	-	100
1"	25.4	78-100	100	75-100	100	80-100
3/4"	19.4	50-80	70-100	60-85	75-100	70-90
3/8"	9.52	25-50	35-60	40-65	45-70	55-75
No.4	4.76	10-30	15-35	30-50	30-50	45-62
No.8	2.38	5-20	5-20	20-35	20-35	35-50
No.30	0.59	-	-	5-20	5-20	19-30
No.50	0.297	-	-	3-12	3-12	13-23
No.100	0.149	-	-	2-8	2-8	7-15
No.200	0.074	0-4	0-4	0-4	0-4	0-8
Άσφαλτος % (κατά βάρος αδρανών)		3.0 - 6.0	3.0 - 6.0	4.5 - 6.0	4.5 - 6.0	3.5 - 7.0
Συνιστώμενο πάχος συμπιεσμένου ασφαλτομίγματος σε cm		7.5 - 10.0	4.0 - 7.5	7.5 - 10.0	4.0 - 7.5	5.0 - 7.5

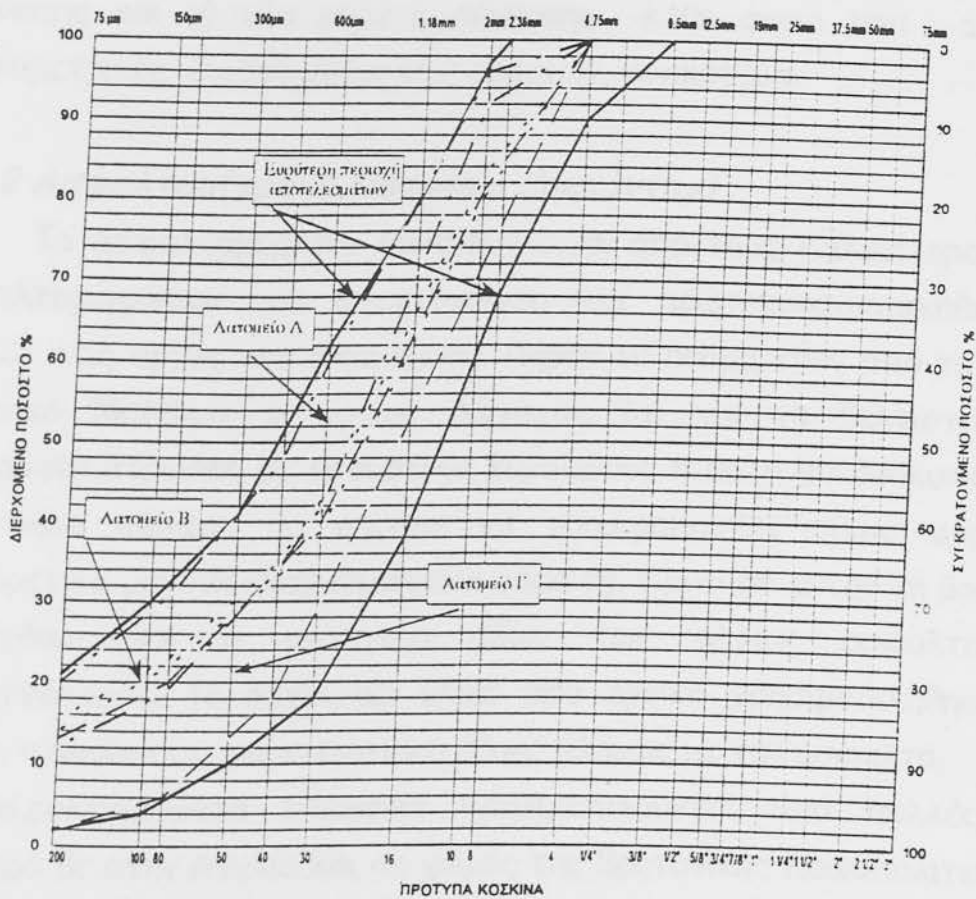
Πίνακας 4.4 Όρια κοκκομετρικών διαβαθμίσεων αδρανών υλικών ασφαλτικού μίγματος βάσεων κατά ΠΤΠ Α-260

Το τελευταίο δίνει τη δυνατότητα στο εργαστήριο σύνθεσης να καθοριστεί αυτό υπεύθυνα και ανεπηρέαστα από προτεινόμενα όρια το ποσοστό της ασφάλτου για βέλτιστη συμπεριφορά του ασφαλτομίγματος ή του οδοστρώματος γενικότερα.

Με δεδομένο τις συχνές αστοχίες που παρατηρούνται στα ασφαλτικά έργα στη Ελλάδα καθίσταται σαφής η αναγκαιότητα αναθεώρησης των Ελληνικών προδιαγραφών. Κατά την άποψη του γράφοντα, μέχρι αναθεώρησης των ελληνικών προδιαγραφών για ασφαλτικά έργα, μπορούν κάλλιστα να χρησιμοποιούνται οι ισχύουσες Αμερικάνικες προδιαγραφές. Την ίδια θέση έχει και για οποιαδήποτε άλλο ασφαλτόμιγμα ή τεχνική ήθελε χρησιμοποιηθεί, δηλαδή να χρησιμοποιείται η αντίστοιχη αναγνωρισμένη προδιαγραφή του εξωτερικού.

Συστάσεις για την αποφυγή αστοχιών

Για την αποφυγή αστοχιών στις κατασκευές με ασφαλτικό σκυρόδεμα θα πρέπει, ανεξαρτήτως των προδιαγραφών, να γίνεται πάντοτε σωστή και αντιπροσωπευτική μελέτη σύνθεσης και να ελέγχεται συστηματικά η συμβατότητα του παραγόμενου ασφαλτομίγματος με τη μελέτη σύνθεσης. Επίσης θα πρέπει να ελέγχεται και η μεταβλητότητα της άμμου, κυρίως, αλλά και των λοιπών αδρανών για την παραγωγή του ασφαλτομίγματος. Από διερεύνηση του γράφοντα σχετικά με τη μεταβλητότητα της άμμου, βρέθηκε ότι η σταθερότητα της παραγόμενης κοκκομετρικής καμπύλης αλλάζει τόσο από λατομείο σε λατομείο όσο και στο ίδιο λατομείο από περίοδο σε περίοδο (άνοιξη-καλοκαίρι-φθινόπωρο). Στο σχήμα 4.2 φαίνεται η μεταβλητότητα της κοκκομετρικής καμπύλης της παραχθείσης άμμου από τρία διαφορετικά λατομεία. Το λατομείο Α έβγαζε περισσότερο λεπτόκοκκη άμμο και με μεγαλύτερο ποσοστό παιπάλης από αυτήν των λατομείων Β και Γ. Το λατομείο Β παρουσίαζε τη μικρότερη μεταβλητότητα κοκκομετρικής καμπύλης κατά τη διάρκεια οκτώ περίπου μηνών παραγωγής. Κατά κανόνα, όλα τα λατομεία βρέθηκε να παράγουν λεπτότερη άμμο την άνοιξη και περισσότερο χονδρόκοκκη το φθινόπωρο. Αυτό εκτιμάται ότι οφείλεται στη φθορά των κοσκίνων που επήλθε (από άνοιξη σε φθινόπωρο) και στη μη έγκαιρη αντικατάσταση αυτών.



Σχήμα 4.2 Κοκκομετρικές καμπύλες θραυστής άμμου από λατομεία της Βορείου Ελλάδος

Στο ίδιο σχήμα, Σχήμα 4.2, δίνεται και η ευρύτερη περιοχή αποτελεσμάτων που εξήχθησαν από έξι συνολικά λατομεία της βορείου Ελλάδος. Τα περισσότερα λατομεία έδωσαν αποτελέσματα όμοια με αυτά του λατομείου Γ. Δηλαδή, στα περισσότερα λατομεία η άμμος είχε έλλειψη λεπτόκοκκων κλασμάτων στην περιοχή κοσκίνων 600μm (No.30) και 150μm (No.100). Στο γεγονός αυτό οφείλεται και η δυσκολία που παρατηρείται πολλές φορές κατά τη σύνθεση να παραχθεί ασφαλτικό σκυρόδεμα εντός των προδιαγραφών.

Δεδομένου ότι τα δείγματα που λήφθησαν ήταν από μια ευρεία περιοχή της Ελλάδος εκτιμάται ότι κάτι αντίστοιχο θα συμβαίνει και σε άλλα λατομεία της χώρας. Για το λόγο αυτό συνιστάται όπως, για την αποφυγή αστοχιών να γίνεται: α) συστηματικός έλεγχος της παραγωγής των αδρανών υλικών και ιδιαίτερα της άμμου, β) συχνός έλεγχος της κοκκομετρικής καμπύλης του ασφαλτομίγματος για τη συμβατότητα αυτής με τη μελέτη

σύνθεσης και γ) νέα μελέτη σύνθεσης κάθε φορά που αλλάζουν οι κοκκομετρικές διαβαθμίσεις των αδρανών, γενικότερα.

6.2.2 Ασφαλτομίγματα Macadam (Μακάνταμ)

Τα ασφαλτομίγματα Macadam είναι από τους παλαιότερους τύπους ασφαλτομιγμάτων που αναπτύχθηκαν και πρωτοχρησιμοποιήθηκαν στην Αγγλία στις αρχές του 19ου αιώνα. Πήραν το όνομά τους από το Σκωτσέζο μηχανικό McAdam, ο οποίος διέγνωσε 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 ασφαλτομιγμάτων μεταγενέστερα. Το συνδετικό υλικό που αρχικά χρησιμοποιήθηκε ήταν η πίσσα, η οποία σήμερα αντικαταστάθηκε πλήρως με την άσφαλτο.

Τα ασφαλτομίγματα Macadam χρησιμοποιούνται από πολλές χώρες, ιδιαίτερα δε στην Αγγλία και σε χώρες της Βρετανικής Κοινοπολιτείας. Στην Αγγλία ειδικότερα, είναι ένα από τα βασικότερα ασφαλτομίγματα και μαζί με το μίγμα HRA χρησιμοποιούνται σε όλα τα ασφαλτικά έργα. Τα μίγματα Macadam χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες τα μίγματα πυκνής κοκκομετρικής διαβάθμισης και τα μίγματα ανοικτής και μέσης διαβάθμισης.

Ασφαλτομίγματα Macadam πυκνής κοκκομετρικής διαβάθμισης

Τα ασφαλτομίγματα αυτά είναι παρόμοια των ασφαλτικών σκυροδεμάτων κλειστού τύπου. Αποτελούνται από σχετικά μεγάλη ποσότητα χονδρόκοκκων αδρανών (μεγαλύτερη από το ασφαλτικό σκυρόδεμα), λεπτόκοκκα αδρανή και παιπάλη (περίπου στις ίδιες αναλογίες με το ασφαλτικό σκυρόδεμα) και άσφαλτο μέσου έως χαμηλού ιξώδους (80/100 έως 180/200 pen). 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 ασφαλτικές 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 σκωρίες). Η ποσότητα της ασφάλτου στο μίγμα είναι κατά κανόνα μικρότερη αυτής του ασφαλτικού σκυροδέματος και κυμαίνεται συνήθως από 4.0 έως 5.5%, κατά βάρος αδρανών.

Τυπικές διαβαθμίσεις ασφαλτομιγμάτων Macadam πυκνής και κλειστής διαβάθμισης, κλειστού τύπου γενικότερα, δίνονται στο Πίνακα 4.5. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι περιεκτικότητες ασφάλτου που δίνονται στον Πίνακα αυτό ισχύουν μόνο για θραυστά ασβεστολιθικά αδρανή. Στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί σκωρία ή φυσικό χαλίκι, η περιεκτικότητα της ασφάλτου στο μίγμα αλλάζει. Επίσης, αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι όταν τα μίγματα πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για τάπητες κυκλοφορίας προδιαγράφεται άλλο ποσοστό ασφάλτου για υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο (>300 εμπορικών οχημάτων ανα ημέρα) και άλλο για χαμηλό κυκλοφοριακό φόρτο (<300 εμπορικών οχημάτων ανά ημέρα). Στην περίπτωση αυτή υπάρχει επίσης διαφοροποίηση του ποσοστού της ασφάλτου και όταν τα αδρανή είναι από θραυστά μη ασβεστολιθικά πετρώματα. Περισσότερες πληροφορίες δίνονται στην προδιαγραφή BS 4987/Part 1⁽¹⁶⁾.

Όταν τα μίγματα πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για αφαλτικές βάσεις σε περιοχές με πολύ υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο, συνίσταται όπως χρησιμοποιείται ασφαλτος 40/50 mm και με ποσοστό φίλλερ μεγαλύτερο του 8%. Τα μίγματα αυτά είναι γνωστά και ως μίγματα Macadam βαρείας χρήσης. Στην περίπτωση αυτή, λόγω των δύο παραπάνω αλλαγών, αυξάνει αισθητά το μέτρο δυσκαμψίας και μπορεί να επέλθει μείωση του πάχους της βάσης κατά 10% έως 15%, αν υπάρχει ανάγκη, ή άλλως αύξηση της διάρκειας ζωής του οδοστρώματος.

Τα πλεονεκτήματα των μιγμάτων Macadam έναντι των αντίστοιχων του ασφαλτικού σκυροδέματος είναι ότι: α) απαιτούν λιγότερη ασφαλτο, 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.

Κόσκινο (mm)	Διερχόμενο ποσοστό (%) κατά βάρος				
	Στρώσεις συνδετικές			Στρώσεις κυκλοφορίας	
	Τύπος Α ^(α)	Τύπος Β	Τυπος Γ	Τύπος Δ	Τύπος Ε
50.0	100	-	-	-	-
37.5	95-100	100	-	-	-
28.0	70-94	90-100	100	-	-
20.0	-	71-95	95-100	100	-
14.0	56-76	58-82	65-85	95-100	100
10.0	-	-	52-72	70-90	95-100
6.3	44-60	44-60	39-55	45-65	55-75
3.35	32-46	32-46	32-46	30-45	30-45
2.36	-	-	-	-	-
1.18	-	-	-	15-30	15-30
600 μm	-	-	-	-	-
300 μm	7-21	7-21	7-21	-	-
150 μm	-	-	-	-	-
75 μm	2-8	2-8	7-21	3-7	3-7
Ασφαλτος (%) κατά βάρος αδρανών	με 200pen 4.0 ± 0.6 με 100 pen 4.5 ± 0.6	με 200pen 4.3 ± 0.6 με 100 pen 4.7 ± 0.6	με 200pen 4.3 ± 0.6 με 100 pen 4.7 ± 0.6	για cnd>300 4.6 ± 0.5 cnd<300 4.9 ± 0.5	για cnd>300 5.0 ± 0.5 cnd<300 5.4 ± 0.5

cnd= εμπορικά οχήματα ανά ημέρα (16h) κατά μια κατεύθυνση (εμπορικό όχημα: όχημα βάρους ≥ 1500 Kg δίχως φορτίο)

^(α)Ο τύπος Α χρησιμοποιείται και σαν ασφαλτικό μίγμα βάσεως. Στην περίπτωση αυτή το % της ασφάλτου ανεξαρτήτως τύπου είναι 3.6 ± 0.6 .

Πίνακας 4.5 Όρια κοκκομετρικών διαβαθμίσεων αδρανών για μίγματα Macadam πυκνής διαβάθμισης κατά BS4987.

Λόγω του ότι έχουν περισσότερα κενά αέρος, τα μίγματα Macadam έχουν μεγαλύτερη αερική διαπερατότητα από αυτήν των ασφαλτικών σκυροδεμάτων κλειστού τύπου. Το γεγονός αυτό επιφέρει ταχύτατη οξειδωση 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.

Ασφαλτομίγματα Macadam ανοικτής και μέσης διαβάθμισης

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

Η περιεκτικότητα της ασφάλτου είναι χαμηλή και καθορίζεται από "συνταγή" ανάλογα με την κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών, προδιαγραφή BS 4987. 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. Τυπικές κοκκομετρικές διαβαθμίσεις δίνονται στον Πίνακα 4.6.

Τα μίγματα αυτά χαρακτηρίζονται από το μεγάλο ποσοστό κενών (15%-25%) και κατά συνέπεια τη μεγάλη αερική και υδατική διαπερατότητα 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 υδρολίσθησης. Παράλληλα με τη χρήση αυτών των μιγμάτων μειώνεται στο ελάχιστο τα σταγονίδια νερού που εκτοξεύονται από τα ελαστικά των οχημάτων. Τα μίγματα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή πορώδων ταπήτων (παράγραφος 4.2.6), ουσιαστικά ανήκουν στην κατηγορία μιγμάτων Macadam ανοικτής διαβάθμισης.

Κόσκινο (mm)	Διερχόμενο ποσοστό (%) κατά βάρος			
	Στρώσεις συνδετικές ή βάσεων		Στρώσεις κυκλοφορίας	
	Τύπος Α	Τύπος Β	Τύπος Γ	Τύπος Δ
50.0	100	-	-	-
37.5	90-100	-	-	-
28.0	55-85	100	-	-
20.0	-	90-100	100	-
14.0	15-35	50-80	90-100	100
10.0	-	-	55-75	85-100
6.3	-	10-25	25-45	30-60
3.35	0-10	5-15	15-25	15-25
75 μm	-	0-5	2-6	2-6
Άσφαλτος(%) κατά βάρος αδρανών	3.2 ± 0.6	3.8 ± 0.6	για Α=4.2±0.5 για Β=4.6±0.5	για Α=4.7±0.5 για Β=5.1±0.5

A: $cnd > 300$, B: $cnd \leq 300$

cnd = εμπορικά οχήματα ανά ημέρα, για 16h, κατά μια κατεύθυνση (εμπορικό όχημα: όχημα βάρους ≥ 1500 Kg δίχως φορτίο)

Πίνακας 4.6 Όρια κοκκομετρικών διαβαθμίσεων αδρανών για μίγματα Macadam ανοικτής διαβάθμισης κατά BS 4987.

Το μειονέκτημα των μιγμάτων αυτών είναι η έντονη οξειδωση 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.

4.2.3 Ασφαλτομίγματα ανοικτού τύπου κατά ASTM D 3515

Τα ασφαλτομίγματα αυτά είναι μια ενδιάμεση κατάσταση μεταξύ μιγμάτων Macadam ανοικτής και πυκνής διαβάθμισης και συμπληρώνουν το φάσμα των Αμερικάνικων προδιαγραφών ASTM D 3515 για ασφαλτομίγματα οδοστρωσίας. Χρησιμοποιούνται κυρίως για ασφαλτικές στρώσεις. Τα κενά αέρος 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 ασφαλτικού σκυροδέματος κλειστού τύπου. Η βέλτιστη περιεκτικότητα μπορεί να υπολογισθεί με τη μέθοδο Marshall, εφ' όσον ο μέγιστος κόκκος του μίγματος είναι μικρότερος των 25mm ή από οποιασδήποτε άλλη κατάλληλη μεθοδολογία. Η περιεκτικότητα της ασφάλτου στα μίγματα αυτά είναι μικρότερης αυτής των κλειστού τύπου και συνήθως κυμαίνεται από 3.0% έως 6%. Τυπικές διαβαθμίσεις των ασφαλτομιγμάτων αυτών δίνονται στον Πίνακα 4.7.

4.2.4 Ασφαλτόμιγμα Gussasphalt (Γκούσασφαλτ - 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 μόνον για τάπητες κυκλοφορίας. Το μίγμα Gussasphalt είναι παραλλαγή του μίγματος Mastic, αποτελείται από σκληρή άσφαλτο (25-40 pen), λεπτόκοκκα αδρανή (μη ασβεστολιθικά), υψηλό ποσοστό παιπάλης (>10%) και από διαβαθμισμένα χονδρόκοκκα σκληρά αδρανή (σε μικρή αρχικά ποσότητα). Το ποσοστό της ασφάλτου λόγω της ύπαρξης μεγάλου ποσοστού λεπτόκοκκων αδρανών και παιπάλης είναι αρκετά υψηλό 8%-12% περίπου. Το ασφαλτόμιγμα αυτό είναι κλειστού τύπου και σχεδόν αδιαπέρατο από αέρα ή νερό (κενά αέρος 1-2%).

Η ανάμιξη του ασφαλτομίγματος γίνεται αρχικά σε συνήθη ασφαλτικό αναμικτήρα και σε υψηλές θερμοκρασίες 170°-220°C, κατόπιν μεταφέρεται σε ειδικούς κλιβάνους, με σύστημα ανάδευσης, όπου συνεχίζεται η ανάμιξη για άλλα 45-60 λεπτά. Κατόπιν το μίγμα διαστρώνεται με ειδικό διαστρωτήρα. Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί ότι και τα οχήματα μεταφοράς είναι ειδικά (ύπαρξη συστήματος ανάμιξης καθ'οδόν) έτσι ώστε να μην επέρχεται βύθιση των χονδρόκοκκων αδρανών και επηρεασθεί η ομοιομορφία του μίγματος. Μετά τη διάστρωση και αφού πέσει λίγο η θερμοκρασία του μίγματος, διασπείρονται ελαφρώς προεπαλειμμένες ψηφίδες και εμπηγνύονται στον τάπητα με την χρήση ειδικού οδοστρωτήρα ο οποίος όχι μόνο εμπηγνύει τις ψηφίδες αλλά αφήνει και ένα ανάγλυφο αποτύπωμα έτσι ώστε να δημιουργηθεί καλύτερη αντιολισθηρή επιφάνεια.

Αριθμός Κοσκίνου		Ανοικτού Τύπου						
		Τύπος μίγματος σε συνάρτηση με το μέγιστο κόκκο των αδρανών						
		2 in (50mm)	1 1/2 in (37.5mm)	1 in (25.0mm)	3/4 in (19.0mm)	1/2 in (12.5mm)	3/8 in (9.5mm)	No. 8 (2.36mm)
		Βάσεις, συνδετικές στρώσεις, ισοπεδωτικές και στρώσεις κυκλοφορίας						
2 1/2 in	63mm	100	.....	.....	.....	.....	.....	.....
2 in	50mm	90-100	100	.....	.....	.....	.....	.....
1 1/2 in	37.5mm	.....	90-100	100	.....	.....	.....	.....
1 in	25.0mm	40-70	.....	90-100	100	.....	.....	.....
3/4 in	19.0mm	.....	40-70	.....	90-100	100	.....	.....
1/2 in	12.5mm	18-48	.....	40-70	.....	85-100	100	.....
3/8 in	9.5mm	.....	18-48	.....	40-70	60-90	85-100	100
No.4	4.75mm	5-25	6-29	10-34	15-39	20-50	40-70	75-100
No.8	2.36mm	0-12	0-14	1-17	2-18	5-25	10-35	50-75
No.16	1.18mm	.....	.....	.....	.....	3-19	5-25	28-53
No.30	600μm	0-8	0-8	0-10	0-10	.....	.....	8-30
No.50	300μm	.....	.....	.....	.....	0-10	0-12	0-12
No.100	150μm	.....	.....	.....	.....	.....	.....	0-5
No.200	75μm	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

Πίνακας 4.7 Όρια κοκκομετρικών διαβαθμίσεων αδρανών υλικών για ασφαλτικό μίγμα ανοικτής διαβάθμισης κατά ASTM 3515

Το ασφαλτόμιγμα αυτό χαρακτηρίζεται από υψηλό ποσοστό ασφάλτου (συνήθως 8%-12%), τη σχεδόν μηδενική αερική διαπερατότητα, το υψηλό μέτρο δυσκαμψίας, την καλή αντιολισθηρή επιφάνεια, την καλή αντίσταση σε παραμένουσα παραμόρφωση, την καλή διάρκεια ζωής και το σχετικά υψηλό κόστος παραγωγής.

4.2.5 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 άσφαλτο, λεπτόκοκκα ασβεστολιθικά αδρανή, υψηλό ποσοστό παιπάλης και μικρό ποσοστό χονδρόκοκκων αδρανών. Η άσφαλτος που χρησιμοποιείται είναι πολύ σκληρή (15 pen ή 25 pen).

Τα λεπτόκοκκα ασβεστολιθικά αδρανή πρέπει να περιέχουν υψηλό ποσοστό παιπάλης (40%-55%) και να μην περιέχουν συγκρατούμενα στο κόσκινο των 2.36mm πλέον του 3%.

Το ποσοστό των χονδρόκοκκων αδρανών καθώς και το ονομαστικό μέγεθος αυτών εξαρτάται από το που θα χρησιμοποιηθεί το μίγμα. Όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε τμήματα οδών ή αυτοκινητοδρόμων που δεν υπόκεινται σε υψηλές τάσεις τότε το ποσοστό είναι $40\pm 5\%$ και το ονομαστικό μέγεθος των αδρανών 6mm ή 10mm. Το πάχος του τάπητα στην περίπτωση αυτή είναι 35mm - 50mm. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις, πεζοδρόμια, τaráτσες κ.λ.π, το ποσοστό κυμαίνεται από 25 έως $30\pm 5\%$ και το ονομαστικό μέγεθος των αδρανών 3mm ή 6mm ή και 10mm, πάχος στρώσης από 20mm έως 35mm.

Ο χρόνος ανάμιξης που απαιτείται είναι πολύ μεγαλύτερος όλων των άλλων ασφαλτομιγμάτων. Το ίδιο ισχύει και για τις θερμοκρασίες ανάμιξης, που συνήθως είναι κατά μέσο όρο γύρω στους 200°C. Η μαστιχική άσφαλτος αναμιγνύεται επί του έργου προσθέτοντας τα υλικά στην κατάλληλη αναλογία στον ειδικό αναμκτήρα. Στο διεθνές εμπόριο η μαστιχική άσφαλτος υπάρχει και σε μορφή ασφαλτικών πλίνθων συνήθως των 25Kg. Οι πλίνθοι αυτοί δεν περιέχουν χονδρόκοκκα αδρανή. Αυτά προστίθενται κατά τη θέρμανση ανάμιξη του μίγματος επί του έργου.

Τα χαρακτηριστικά του μίγματος αυτού είναι η μεγάλη περιεκτικότητα σε φύλλερ, 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 ασφαλτος, λόγω των παραπάνω χαρακτηριστικών, δεν έχει ευρεία εφαρμογή σε έργα οδοποιίας, πλην ειδικών περιπτώσεων, όπως στεγάνωση καταστρωμάτων γεφυρών, σε ορισμένες περιπτώσεις για τη στεγάνωση φθαρμένων οδοστρωμάτων, κατασκευή πεζοδρομίων, κατασκευή δαπέδων parking, σιδηροδρομικών σταθμών, βιομηχανικών δαπέδων κ.λ.π.

Λόγω του υψηλού ποσοστού λεπτόκοκκων και παιπάλης η επιφάνεια που λαμβάνεται είναι λεία. Για να επιτευχθεί καλή αντιολισθηρή επιφάνεια επί της διαστρωθείσης επιφανείας διασπείρονται ελαφρώς προεπαλειμμένες ψηφίδες ή άμμος. Οι πρώτες χρησιμοποιούνται σε δρόμους ενώ η άμμος σε όλες τις άλλες περιπτώσεις. Ορισμένες φορές, ειδικά σε δάπεδα πολυόροφων parking χρησιμοποιείται ειδικός μικρός οδοστρωτήρας που έχει τη δυνατότητα να αφήνει κατά τη κυλίνδρωση μια ανάγλυφη επιφάνεια. Η διάστρωση της μαστίχης ασφάλτου γίνεται συνήθως με το χέρι αλλά και με μηχανικά μέσα.

4.2.6 Ασφαλτομίγματα για πορώδεις τάπητες

Τα ασφαλτομίγματα για πορώδεις τάπητες, είναι ανοικτού τύπου ασφαλτομίγματα, παρόμοια των ασφαλτομιγμάτων Macadam ανοικτού τύπου. Αναπτύχθηκαν την τελευταία εικοσιπενταετία 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 υδρολίστεσης. 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 βρεγμένο οδόστρωμα. Έτσι, από το 1967 μέχρι και το 1986 κατασκευάστηκαν στην Αγγλία δοκιμαστικά τμήματα, πλήρους κλιμακας, για να διερευνηθεί η συμπεριφορά τους γενικότερα. Τα θετικά αποτελέσματα οδήγησαν σύντομα και άλλες χώρες στην εφαρμογή των μιγμάτων αυτών. Το παράδοξο είναι ότι παρόλο που τα μίγματα αυτά αναπτύχθηκαν πρώτα στην Αγγλία, τα περισσότερα τετραγωνικά μέτρα μέχρι το 1991 είχαν διαστρωθεί στην Αυστρία και στην Ιταλία ($>5 \times 10^6 \text{m}^2$) με δεύτερη και τρίτη χώρα τη Γαλλία και τη Σουηδία ($>3.5 \times 10^6 \text{m}^2$ και $>2.6 \times 10^6 \text{m}^2$, αντίστοιχα) και τελευταία

την Αγγλία ($<0.1 \times 10^6 \text{m}^2$). Άλλες ευρωπαϊκές χώρες μέχρι το 1991 κάλυψαν επιφάνειες μέχρι και δύο εκατομμύρια τετραγωνικά μέτρα.

Η χαρακτηριστική ιδιότητα των ασφαλτομιγμάτων αυτών, γνωστών και ως διαπερατών Μακάνταμ για αντιολοσθηρούς τάπητες, είναι το μεγάλο ποσοστό κενών αέρος ($>20\%$) που επιτρέπει τη γρήγορη αποστράγγιση των επιφανειακών βρόχινων υδάτων και επιφέρει μείωση του θορύβου επαφής ελαστικού/οδοστρώματος. Η επιφάνεια των οδοστρωμάτων έχει πολύ καλή μακρο-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.

Η γρήγορη απομάκρυνση του νερού της βροχής έχει ως αποτέλεσμα την εκμηδένιση του φαινομένου της υδρολίσησης και τη δραματική μείωση των σταγονιδίων ύδατος που εκτοξεύονται από τα ελαστικά των οχημάτων και δημιουργούν έντονο πρόβλημα ορατότητας κατά την προσπέραση. Εκτιμήθηκε ότι από τα ατυχήματα που γίνονται στην Αγγλία σε βρεγμένο οδόστρωμα στο 10% των ατυχημάτων αυτών το παραπάνω φαινόμενο είναι ο κύριος αιτιώδης παράγοντας.

Όσον αφορά το θόρυβο που προέρχεται από κινούμενα οχήματα επί πορωδών με την ίδια μακρο-υφή και συντελεστή αντιολίσθησης. Η μείωση που επέρχεται είναι κατά 3 έως 4 dB(A), όταν η επιφάνεια είναι υγρή. Παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν και από το Ερευνητικό Κέντρο Οδών του Βελγίου.

Οι αδυναμίες ή μειονεκτήματα των μιγμάτων αυτών είναι: η μεγαλύτερη οξειδωση της ασφάλτου, η μικρή αντοχή 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 μιγμάτων αυτών.

Ένα επίσης βασικό σημείο που θα πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα είναι η διευθέτηση του ύδατος που απορρέει από τον πορώδη τάπητα. Στην περίπτωση μη κρασπεδομένου οδοστρώματος θα πρέπει ο πορώδης τάπητας να τελειώνει σχεδόν εκεί που αρχίζει η αποστραγγιστική τάφρος, Σχήμα 4.3(α). Στην περίπτωση κρασπεδομένου οδοστρώματος το κράσπεδο θα πρέπει να φέρει οπές σε τακτές αποστάσεις. Πίσω από το κράσπεδο θα πρέπει να υπάρχει στεγανός αγωγός που θα διοχετεύει το νερό στα φρεάτια συλλογής. Στην ευρωπαϊκή αγορά υπάρχουν προκατασκευασμένα κράσπεδα τέτοιου είδους. Στην περίπτωση που ο πορώδης τάπητας έρχεται σε επαφή με τη σχάρα του φρεατίου, αυτή θα πρέπει να φέρει οπές έτσι ώστε να επιτρέπει την πλευρική διείσδυση και απομάκρυνση του ύδατος, Σχήμα 4.3(β). Τέλος, όταν ο πορώδης τάπητας διαστρώνεται πάνω σε παλιό οδόστρωμα που δε φέρει ρηγματώσεις ή άλλες φθορές, θα μπορούσε αυτός να τελειώνει εκεί που αρχίζει η επιφάνεια του κράσπεδου, Σχήμα 4.3(γ). Βεβαίως, η λύση αυτή δεν είναι η πλέον ενδεδειγμένη διότι τα 40 ή 50mm της διαφοράς υψομέτρου πιθανόν να δημιουργήσουν κάποιο πρόβλημα στους πεζούς. Εξυπακούεται ότι όταν ο παλιός τάπητας είναι ρηγματωμένος θα πρέπει, πριν την κατασκευή του πορώδους τάπητα, να εξασφαλισθεί η πλήρης στεγάνωση της επιφανείας.

Τυπικές κοκκομετρικές διαβαθμίσεις των πορώδων ασφαλτομιγμάτων, σύμφωνα με την Αγγλική πρακτική⁽¹⁷⁾, δίνονται στον Πίνακα 4.8. Ο τύπος 1 του Πίνακα είναι ο περισσότερο κοινός τύπος μίγματος. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι ο μέγιστος κόκκος των αδρανών για τα οδοστρώματα οδών και αυτοκινητοδρόμων είναι 20mm ή 10mm, για τάπητες οδοστρωμάτων αεροδρομίων είναι 10mm.

Χαρακτηριστική είναι η διαβάθμιση των Βελγικών προδιαγραφών, που μετά από δεκαετή έρευνα προτείνουν τη χρήση, ουσιαστικά, μη συνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης των αδρανών. Οι προδιαγραφές⁽²⁷⁾ προτείνουν έναν τύπο μίγματος με μέγιστο ονομαστικό κόκκο 14mm. Το μίγμα αυτό αποτελείται από αδρανή 7/14mm σε ποσοστό 83%, άμμο 0.075/2.0mm σε ποσοστό 12% και παιπάλη 5%. Όπως φαίνεται υπάρχει απουσία αδρανών 2/7mm στο μίγμα. Το ποσοστό της ασφάλτου κυμαίνεται από 4% έως 5%. Το μίγμα αυτό δίνει ποσοστό κενών περίπου 22%.

σοβαρά ώστε να μειώσουν την αποτελεσματικότητα και τη χρησιμότητα των μιγμάτων αυτών.

Ένα επίσης βασικό σημείο που θα πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα είναι η διευθέτηση του ύδατος που απορρέει από τον πορώδη τάπητα. Στην περίπτωση μη κρασπεδομένου οδοστρώματος θα πρέπει ο πορώδης τάπητας να τελειώνει σχεδόν εκεί που αρχίζει η αποστραγγιστική τάφρος, Σχήμα 4.3(α). Στην περίπτωση κρασπεδομένου οδοστρώματος το κράσπεδο θα πρέπει να φέρει οπές σε τακτές αποστάσεις. Πίσω από το κράσπεδο θα πρέπει να υπάρχει στεγανός αγωγός που θα διοχετεύει το νερό στα φρεάτια συλλογής. Στην ευρωπαϊκή αγορά υπάρχουν προκατασκευασμένα κράσπεδα τέτοιου είδους. Στην περίπτωση που ο πορώδης τάπητας έρχεται σε επαφή με τη σχάρα του φρεατίου, αυτή θα πρέπει να φέρει οπές έτσι ώστε να επιτρέπει την πλευρική διείσδυση και απομάκρυνση του ύδατος, Σχήμα 4.3(β). Τέλος, όταν ο πορώδης τάπητας διαστρώνεται πάνω σε παλαιό οδόστρωμα που δε φέρει ρηγματώσεις ή άλλες φθορές, θα μπορούσε αυτός να τελειώνει εκεί που αρχίζει η επιφάνεια του κράσπεδου, Σχήμα 4.3(γ). Βεβαίως, η λύση αυτή δεν είναι η πλέον ενδεδειγμένη διότι τα 40 ή 50mm της διαφοράς υψομέτρου πιθανόν να δημιουργήσουν κάποιο πρόβλημα στους πεζούς. Εξυπακούεται ότι όταν ο παλιός τάπητας είναι ρηγματωμένος θα πρέπει, πριν την κατασκευή του πορώδους τάπητα, να εξασφαλισθεί η πλήρης στεγάνωση της επιφανείας.

Τυπικές κοκκομετρικές διαβαθμίσεις των πορώδων ασφαλτομιγμάτων, σύμφωνα με την Αγγλική πρακτική⁽¹⁷⁾, δίνονται στον Πίνακα 4.8. Ο τύπος 1 του Πίνακα είναι ο περισσότερο κοινός τύπος μίγματος. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι ο μέγιστος κόκκος των αδρανών για τα οδοστρώματα οδών και αυτοκινητοδρόμων είναι 20mm ή 10mm, για τάπητες οδοστρωμάτων αεροδρομίων είναι 10mm.

Χαρακτηριστική είναι η διαβάθμιση των Βελγικών προδιαγραφών, που μετά από δεκαετή έρευνα προτείνουν τη χρήση, ουσιαστικά, μη συνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης των αδρανών. Οι προδιαγραφές⁽²⁷⁾ προτείνουν έναν τύπο μίγματος με μέγιστο ονομαστικό κόκκο 14mm. Το μίγμα αυτό αποτελείται από αδρανή 7/14mm σε ποσοστό 83%, άμμο 0.075/2.0mm σε ποσοστό 12% και παιπάλη 5%. Όπως φαίνεται υπάρχει απουσία αδρανών 2/7mm στο μίγμα. Το ποσοστό της ασφάλτου κυμαίνεται από 4% έως 5%. Το μίγμα αυτό δίνει ποσοστό κενών περίπου 22%.

Κόσκινο (mm)	Διερχόμενο Ποσοστό (%)	
	Τύπος 1	Τύπος 2
20	100-5	100-5
14	65±10	60±10
10	-	-
6.3	25±5	20±5
3.35	10±3	10±3
75μm	4.5±1	4.5±1.5

Πίνακας 4.8 Κοκκομετρικές διαβαθμίσεις μιγμάτων για πορώδεις τάπητες κατά TRRL Αγγλίας.

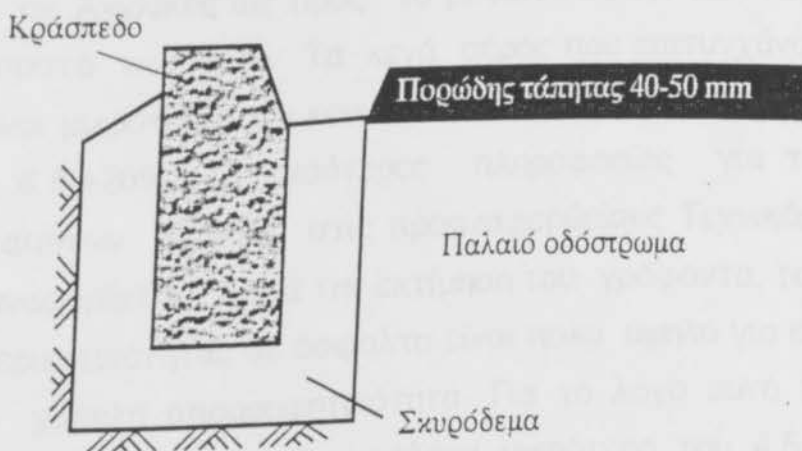
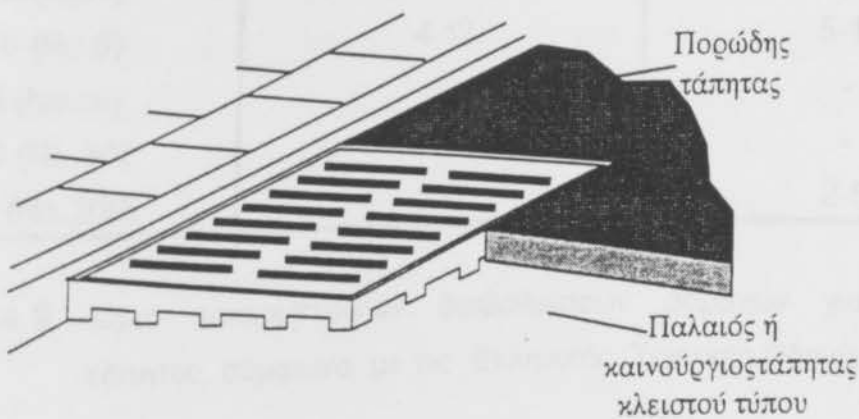
Η άσφαλτος που χρησιμοποιείται είναι συνήθως τροποποιημένη άσφαλτος (ελαστομερής ή πολυμερής) ή 60/70pen και σε ορισμένες περιπτώσεις 80/100pen. Η περιεκτικότητα του μίγματος σε άσφαλτο καθορίζεται από τη μεθοδολογία σύνθεσης που αναπτύσσεται στην παράγραφο 4.3.3. Η συνήθης περιεκτικότητα ασφάλτου κυμαίνεται από 3.5% έως 5%, κατά βάρος μίγματος.

Το συνιστώμενο πάχος του πορώδους τάπητα είναι 30 έως 40mm. Βασικότερη προϋπόθεση στην κατασκευή πορώδων ταπήτων, όπως και για οποιοδήποτε τάπητα κυκλοφορίας είναι η χρήση σκληρών αδρανών, μη ασβεστολιθικών, κατάλληλων για αντιολισθηρές στρώσεις. Αλλιώς, τα αδρανή θα θραυστούν με αποτέλεσμα να κλείσουν τα κενά μίγματος ενώ η γρήγορη λείανση αυτών θα μειώσουν επικίνδυνα το συντελεστή αντιολίσθησης.

Πορώδεις τάπητες στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα η χρήση των πορώδων ταπήτων είναι πολύ περιορισμένη. Μέχρι σήμερα έχουν κατασκευασθεί μόνο πειραματικά τμήματα στην περιοχή Ιωαννίνων και Θεσσαλονίκης.

Οι κοκκομετρικές διαβαθμίσεις του μίγματος των αδρανών που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα για την κατασκευή των πορώδων ταπήτων



Σχήμα 4.3: Λεπτομέρειες απορροής και απομάκρυνσης ύδατος από πορώδη τάπητα.

διαφέρει από αυτές του Πίνακα 4.8 και των Βελγικών προδιαγραφών. Οι προτεινόμενες από τις Τεχνικές Οδηγίες⁽¹⁸⁾ κοκκομετρικές διαβαθμίσεις για την κατασκευή πορωδών ταπήτων στην Ελλάδα δίνονται στον Πίνακα 4.9. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι διαβαθμίσεις αυτές είναι όμοιες με αυτές της προδιαγραφής ASTM D 3515 για αντιολισθηρές στρώσεις.

Μέγεθος κοσκίνου τετραγωνικής οπής (mm)	Πορώδεις τάπητες	
	Ονομαστικό μέγεθος μέγιστου κόκκου	
	12.5mm - Τύπος 1	9.5mm - Τύπος 2
	Διερχόμενα ποσοστά(%)	
19.0 (3/4")	100	100
12.5 (1/2")	90-100	100
9.5 (3/8")	60-100	90-100
4.75 (No.4)	15-40	30-50
2.36 (No.8)	4-12	5-15
1.18 (No.16)	-	-
0.30 (No.50)	-	-
0.07 (No.200)	2-5	2-5

Πίνακας 4.9 Όρια κοκκομετρικών διαβαθμίσεων αδρανών για πορώδεις τάπητες, σύμφωνα με τις Ελληνικές Τεχνικές Οδηγίες⁽¹⁸⁾

Οι κοκκομετρικές διαβαθμίσεις των Τεχνικών Οδηγιών διαφέρουν επίσης από τις Αγγλικές ως προς το μέγιστο κόκκο των αδρανών και ως προς το ποσοστό των κενών. Τα κενά αέρος που επιτυγχάνονται, συνήθως 16%-19%, είναι μικρότερα των κενών που επιτυγχάνονται με τις καμπύλες του Πίνακα 6.8(>20%). Περισσότερες πληροφορίες για την κατασκευή του πορωδών ταπήτων δίνονται στις προαναφερθείσες Τεχνικές Οδηγίες. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι, κατά την εκτίμηση του γράφοντα, το συνιστώμενο εύρος της περιεκτικότητας σε ασφαλτο είναι πολύ υψηλό για συνήθη σκληρά αδρανή με χαμηλή απορροφητικότητα. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να απορρίπτεται μίγμα με ποσοστό ασφάλτου μικρότερο του 4.5-%.

Στα δοκιμαστικά τμήματα πορωδών ταπήτων που κατασκευάστηκαν στην περιοχή της Θεσσαλονίκης Ν.Ε.Ο. Νο.1, θέση κόμβος Κλειδί, η κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών ήταν Τύπου 1. Τα χαρακτηριστικά των τριών μιγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν δίνονται στον Πίνακα 4.10.

Ιδιότητες	Χαρακτηριστικά μιγμάτων		
	Μίγμα Α	Μίγμα Β	Μίγμα Γ
Ποσοστό ασφάλτου (%), κατά βάρος αδρανών	4.2±0.3	4.7±0.3	5.0±0.3
Κενά αέρος (%)	21.0	18.0	21.5
Ελάχιστος λόγος αντοχών μετά τη δοκιμή εμβάπτισης-θλίψης, (%)	0.9	0.9	0.7

Πίνακας 4.10 Χαρακτηριστικά μιγμάτων πορωδών ταπήτων που κατασκευάστηκαν στην περιοχή της Θεσσαλονίκης

Το μίγμα Α παρασκευάστηκε με κοινή ασφαλτο 60/70pen και θραυστά αδρανή Λιτοχώρου, το μίγμα Β παρασκευάστηκε με την ίδια ασφαλτο αλλά με μίγμα αδρανών Λιτοχώρου και Λήμνου και το τρίτο μίγμα Γ με τροποποιημένη ασφαλτο (ελαστομερή SBS). Η σύνθεση των μιγμάτων έγινε από το γράφοντα στο Εργαστήριο Οδοποιίας του ΑΠΘ.

4.2.7 Θερμό Κυλινδρούμενο Ασφαλτόμιγμα (HRA)

Το θερμό κυλινδρούμενο ασφαλτόμιγμα, (Hot Rolled Asphalt-HRA), αναπτύχθηκε στη Αγγλία στις αρχές του αιώνα, με αρχικό σκοπό να παραχθεί ένα οικονομικότερο και περισσότερο εργάσιμο ασφαλτόμιγμα από αυτό της Mastic asphalt που χρησιμοποιόταν ευρέως τότε. Η ενσωμάτωση των χονδροκόκκων 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 κοκκομετρική 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 χονδροκόκκα αδρανή με την παραπάνω ιδιαιτερότητα, παιπάλη και σκληρή ασφαλτο. Το

ποσοστό των λεπτόκοκκων είναι πάντοτε, στα μίγματα για τάπητες κυκλοφορίας, μεγαλύτερου του ποσοστού των χονδροκόκκων. Η ασφαλτος για όλες τις στρώσεις είναι 35pen ή 40 HD, ή 50pen ή 70pen, αναλόγως της κυκλοφορίας. Για τις θέσεις με πολύ βαριά κυκλοφορία συνιστάται η χρήση της σκληρότερης ασφάλτου 35pen ή 40 HD ενώ σε θέσεις με ελαφριά κυκλοφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ασφαλτος 50pen ή 70pen. Όταν το ασφαλτόμιγμα πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε τάπητες κυκλοφορίας η ασφαλτος μπορεί να είναι τροποποιημένη. Στην περίπτωση αυτή συνιστάται η χρήση ασφάλτου 70pen με 5% πολυμερής EVA ή 7% ελαστομερές SBS.

Το ποσοστό της παιπάλης είναι μεγαλύτερο αυτού που εμπεριέχεται στα ασφαλτομίγματα συνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης κλειστού τύπου.

Η μηχανική αντοχή των μιγμάτων αυτών, σε αντίθεση με τα μίγματα συνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης, οφείλεται κυρίως στη δυσκαμψία του κονιάματος άμμου/παιπάλης/ασφάλτου και λιγότερο στη μηχανική σύμπλεξη των αδρανών. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται κατά κανόνα σκληρή ασφαλτος.

Τα κυλινδρούμενα θερμά ασφαλτομίγματα (HRA) προδιαγράφονται από τις Βρετανικές προδιαγραφές BS 594⁽¹⁹⁾ και χρησιμοποιούνται ευρέως στη Βρετανία και σε χώρες του Ηνωμένου Βασιλείου σε όλες τις ασφατικές εργασίες. Τα όρια των κοκκομετρικών διαβαθμίσεων των αδρανών για βάσεις, συνδετικές στρώσεις, ισοπεδωτικές και τάπητες κυκλοφορίας δίνονται στους Πίνακες 4.11, 4.12 και 4.13, αντίστοιχα.

Θα μπορούσε να ειπωθεί ότι όλοι 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. Η καλή αντιολισθηρή επιφάνεια επιτυγχάνεται με τη διασπορά και έμπληξη προεπαλειμμένων ψηφίδων από σκληρά αδρανή με ονομαστικό μέγιστο μέγεθος 20mm ή 14mm (ποσοστό ασφάλτου για την επάλειψη των ψηφίδων $1.5 \pm 0.3\%$).

Τα χαρακτηριστικά των αδρανών αυτών, η ποσότητα ανά τετραγωνικό μέτρο καθώς και άλλες λεπτομέρειες δίνονται στις προαναφερθείσες προδιαγραφές.

A/A μίγματος	1	2	3	4	5	6
Πάχος στρώσης (mm)	25-50	35-65	45-80	45-80	60-120	75-150
Διερχόμενο ποσοστό από κόσκινο:						
50mm	-	-	-	-	-	100
37.5mm	-	-	-	-	100	90-100
28mm	-	-	100	100	90-100	70-100
20mm	-	100	90-100	90-100	50-80	45-75
14mm	100	90-100	65-100	30-65	30-60	30-65
10mm	90-100	65-100	35-75	-	-	-
6.3mm	-	-	-	-	-	-
2.36mm	35-55	35-55	35-55	30-44	30-44	30-44
600μm	15-55	15-55	15-55	10-44	10-44	10-44
212μm	5-30	5-30	5-30	3-25	3-25	3-25
75μm	2-9	2-9	2-9	2-8	2-8	2-8
Άσφαλτος, % κ.β.μίγματος						
Θραυστό υλικό	6.5	6.5	6.5	5.7	5.7	5.7
Χαλίκι	6.3	6.3	6.3	5.5	5.5	5.5

Πίνακας 4.11 Όρια κοκκομετρικών διαβαθμίσεων υλικών θερμού κυλινδρούμενου ασφαλτομίγματος (HRA), Τύπος F (λεπτόκοκκος) για στρώσεις κυκλοφορίας κατά BS594.

A/A μίγματος	7	8	9	10	11	12
Πάχος στρώσης (mm)	25	35	40	50	50	50
Διερχόμενο ποσοστό από κόσκινο:						
28mm	-	-	-	-	100	100
20mm	-	-	100	100	95-100	90-100
14mm	-	100	85-100	90-100	50-85	35-80
10mm	-	85-100	80-90	50-85	-	-
6.3mm	100	60-90	-	-	-	-
2.36mm	95-100	50-72	60-72	50-62	50-62	35-47
600μm	80-100	45-72	45-72	35-62	35-62	25-47
212μm	25-70	15-50	15-50	10-40	10-40	5-30
75μm	13-17	8-12	8-12	6-10	6-10	4-8
Μέγιστο ποσοστό διερχόμενο από το κόσκινο 2.36 mm και συγκρατούμενο στο 600μm	22	14	14	12	12	9
Ελάχιστη "βέλτιστη" περιεκτικότητα ασφάλτου κατά βάρος μίγματος	9.0	7.0	6.5	6.3	6.3	5.3

Πίνακας 4.12 Όρια κοκκομετρικών διαβαθμίσεων αδρανών υλικών θερμού κυλινδρούμενου ασφαλτομίγματος (HRA), Τύπος F (λεπτόκοκκος) για στρώσεις κυκλοφορίας κατά BS594.

A/A	13	14	15	16	17
Πάχος στρώσης (mm)	25	35	40	50	50
Διερχόμενο ποσοστό από κόσκινο:					
28mm	-	-	-	-	100
20mm	-	-	100	100	90-100
14mm	-	100	85-100	90-100	50-85
10mm	-	85-100	60-90	50-85	-
6.3mm	100	60-90	-	-	-
2.36mm	90-100	50-72	60-72	50-62	50-62
600μm	30-65	25-45	45-45	20-40	20-40
212μm	15-40	15-30	15-30	10-25	10-25
75μm	13-17	8-12	8-12	6-10	6-10
Ελάχιστη "βέλτιστη" περιεκτικότητα ασφάλτου κατά βάρος μίγματος	9.0	7.0	6.5	6.3	6.3

Πίνακας 4.13 Όρια κοκκομετρικών διαβαθμίσεων αδρανών υλικών θερμού κυλινδρούμενου ασφαλτομίγματος (HRA), Τύπος C (χονδρόκοκκος) για στρώσεις κυκλοφορίας κατά BS 594.

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 υψηλό ποσοστό ασφάλτου, η άσφαλτος δεν οξειδώνεται γρήγορα με συνέπεια οι αντίστοιχοι τύποι να έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Τα μίγματα HRA απαιτούν σχετικά μεγαλύτερη ενέργεια κυλίνδρωσης (συμπύκνωσης) από ότι τα ασφαλτικά σκυροδέματα και τα μίγματα Macadam. Η χρήση της ασφάλτου με ιξώδες έχει σα συνέπεια να απαιτούνται υψηλότερες θερμοκρασίες κατά τη συμπύκνωση, οι οποίες πολλές φορές είναι δύσκολο να διατηρηθούν ιδιαίτερα τους χειμερινούς μήνες. Το κόστος παραγωγής είναι μεγαλύτερο αυτού των ασφαλτικών σκυροδεμάτων και των μιγμάτων Macadam.

Η βέλτιστη περιεκτικότητα της ασφάλτου στο μίγμα καθορίζεται με τη μέθοδο Marshall, ελαφρώς τροποποιημένη από αυτήν που προδιαγράφεται

από το Asphalt Institute και η οποία περιγράφεται αναλυτικά στην προδιαγραφή BS 598:Part 107⁽²¹⁾. Σύντομη περιγραφή της μεθόδου δίνεται επίσης στην παράγραφο 4.3.4.

Η περιεκτικότητα ασφάλτου στο μίγμα επίσης καθορίζεται και από πίνακες που δίνονται στις προδιαγραφές BS 594/92 συναρτήσει της κοκκομετρικής διαβάθμισης (τυποποιημένη μέθοδος - "συνταγή"). Στην περίπτωση αυτή δεν ελέγχεται καμία μηχανική ιδιότητα. Τα προτεινόμενα ποσοστά ασφάλτου εξήχθησαν από την πράξη και την εμπειρία που αποκτήθηκε κατά τη διάρκεια των πολλών ετών εφαρμογής των μιγμάτων αυτών. Το ποσοστό της ασφάλτου που καθορίζεται με τον τρόπο αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιείται με επιφυλακτικότητα όταν πρόκειται να σχεδιαστεί μίγμα σε άλλη χώρα πλὴν της Αγγλίας. Και αυτό διότι τα υλικά, αδρανή και άσφαλτος, αλλά και οι κλιματολογικές συνθήκες διαφέρουν. Στις περιπτώσεις αυτές συνίσταται η χρήση της μεθοδολογίας σύνθεσης κατά Marshall.

Το ποσοστό της ασφάλτου στο μίγμα, σε όλες τις περιπτώσεις, είναι πάντοτε μεγαλύτερο από το αντίστοιχο του ασφαλτικού σκυροδέματος με τον ίδιο μέγιστο κόκκο μίγματος.

Όταν ακολουθείται η μεθοδολογία Marshall για τον καθορισμό της βέλτιστης περιεκτικότητας της ασφάλτου οι προδιαγραφές προτείνουν οριακές τιμές ευστάθειας και παραμόρφωση, επί εργαστηριακών μιγμάτων, που δίνονται στον Πίνακα 4.14.

Ημερίσιος κυκλοφοριακός φόρτος (εμπορικά οχήμ./λωρίδα)	Ιδιότητες Marshall	
	Ευστάθεια (KN)	Παραμόρφωση (mm)
<1500	2-8	Μέγιστη 5.0
1500-6000	4-8	Μέγιστη 5.0
>6000	6-10	Μέγιστη 7.0 ^(α)

^(α) Μόνο όταν η ευστάθεια είναι μεγαλύτερη των 8 KN

Πίνακας 4.14 Κριτήρια Marshall για τη σύνθεση μιγμάτων HRA

4.2.8 Άλλα θερμά ασφαλτομίγματα που χρησιμοποιούνται στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Splitt Mastix Asphalt ή Stone 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 καρφιά, να μην παραμορφώνεται εύκολα κάτω από την επίδραση υψηλών θερμοκρασιών και υψηλού κυκλοφοριακού φόρτου, να έχει καλή αντλιοσθηρή συμπεριφορά και να έχει μεγάλη διάρκεια ζωής. Σήμερα, παρόλο που η πρώτη απαίτηση δεν υφίσταται πλέον (απαγορεύτηκε η χρήση των ελαστικών με καρφιά το 1975) τα μίγματα SMA χρησιμοποιούνται από πολλές υπηρεσίες των παραπάνω χωρών, για τους άλλους λόγους που προαναφέρθηκαν, ως τάπητες κυκλοφορίας σε όλες τις κατηγορίες οδών καθώς και σε αεροδρόμια, γέφυρες, στάσεις λεωφορείων, κ.λ.π. Επίσης, τα μίγματα αυτά έχουν κεντρίσει το σοβαρό ενδιαφέρον και άλλων πολλών χωρών, ακόμη και των ΗΠΑ, οι οποίες μάλιστα τα βλέπουν ως υποκατάστατο των ασφαλτικών σκυροδεμάτων.

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, παιπάλης και ασφάλτου. Το τελικό μίγμα είναι κλειστού τύπου ασφαλτόμιγμα και, με την ευρεία έννοια, μη συνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης. Τα SMA διαφέρουν από τα HRA διότι στα πρώτα το κονίαμα έρχεται να κλείσει τα κενά στο σκελετό των διαβαθμισμένων χονδρόκοκκων αδρανών, ενώ στα HRA το κονίαμα αποτελεί τη βάση του μίγματος επί του οποίου προστίθεται χονδρόκοκκα μονόκοκκα αδρανή.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό των μιγμάτων αυτών είναι το υψηλότερο ποσοστό ασφάλτου που χρησιμοποιείται έναντι των ασφαλτικών σκυροδεμάτων. Το γεγονός αυτό προσδίδει στα μίγματα SMA μεγαλύτερη διάρκεια ζωής έναντι των ασφαλτικών σκυροδεμάτων. Συγκρινόμενα με τα μίγματα Gussasfalt, που επίσης χρησιμοποιούνται στη Γερμανία, περιέχουν υψηλότερο ποσοστό χονδρόκοκκων, χαμηλότερο ποσοστό ασφάλτου και το βασικότερο, η παραγωγή και διάστρωσή τους δεν απαιτεί ειδικό μηχανικό εξοπλισμό. Μπορούν να παραχθούν σε συνήθη ασφαλτοσυγκροτήματα.

Το μίγμα αποτελείται από χονδρόκοκκα θραυστά αδρανή (συνήθως μέχρι και 10 mm), θραυστή ή /και φυσική άμμο (στη περίπτωση που χρησιμοποιείται και φυσική άμμος η συνιστώμενη αναλογία είναι 1 προς 1), ασβεστολιθική παιπάλη, ασφαλτο 60/70 ή 80/100pen και ίνες ή άλλο προσθετικό. Η σύνθεση του μίγματος είναι τυποποιημένη (από συνταγή) αλλά απαραίτητη προϋπόθεση είναι να υπάρχουν κενά αέρος 2%-4%, τα οποία καθορίζονται από δοκίμια Marshall. Οι κοκκομετρικές διαβαθμίσεις των αδρανών, οι αναλογίες του μίγματος καθώς και άλλα χαρακτηριστικά των μιγμάτων δίνονται στον Πίνακα 4.15.

Οι ίνες ή το προσθετικό υλικό (τριμμένα ελαστικά ή ειδική παιπάλη) σκοπό έχουν να αυξήσουν τη σχετική επιφάνεια που πρόκειται να καλυφθεί με ασφαλτο και συνεπώς το μίγμα να μπορεί να παραλάβει τη σχετικά μεγάλη ποσότητα ασφάλτου, για τις συγκεκριμένες κοκκομετρικές διαβαθμίσεις, δίχως να εμφανίζεται αποστράγγιση αυτής. Οι ίνες (φυσικές ή τεχνικές) που τοποθετούνται στο μίγμα θα πρέπει να μην απορροφούν ασφαλτο αλλά απλά και μόνο να αυξάνουν τη σχετική επιφάνεια του μίγματος των αδρανών.

Η αρχική επιφανειακή υφή του οδοστρώματος που παράγεται δεν έχει μεγάλο βάθος και συνεπώς καλό συντελεστή αντιολίσθησης. Πλήν όμως, το πρόβλημα αυτό επιλύεται με τη διασπορά προεπαλειμμένων ή μονόκοκκων ψηφίδων 2-5mm, οι οποίες κυλινδρώνονται ελαφρώς όταν ο τάπητας έχει θερμοκρασία 90-100°C.

Συμπερασματικά, τα μίγματα Stone Mastic Asphalt, χρησιμοποιούνται ως τάπητες κυκλοφορίας. Είναι ανθεκτικά στην παραμόρφωση και δεν ρηγματώνονται εύκολα, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής (μεγαλύτερη των ασφαλτικών 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 ασφαλτικών σκυροδεμάτων.

Η ελληνική απόδοση του ονόματος των μιγμάτων αυτών δεν είναι εύκολη. Θα μπορούσαν να ονομασθούν "πετρώδεις μαστίχες ασφάλτου" ή "σκυρομαστιχικές ασφαλτοι", πλην όμως οι όροι δεν είναι δόκιμοι. Έτσι, προτείνεται να αναφέρονται ως Stone Mastic Asphalt ή (SMA), όπως εξάλλου είναι γνωστά σε όλο τον κόσμο.

Κόσκινο (mm)	Τύπος 0/5	Μίγματα SMA Τύπος 0/8 Διερχόμενα ποσοστά (%)	Τύπος 0/11
11.2	-	-	90-100
8.0	-	90-100	45-75
5.0	90-100	30-55	30-50
2.0	30-40	20-30	20-30
0.09	8-13	8-13	8-13
Θραυστή φυσική άμμος	> 1:1	>1:1	>1:1
Ίνες ή προσθετικό, (%) κατά βάρος μίγματος	0.3 - 1.5	0.3 - 1.5	0.3 - 1.5
Τύπος ασφάλτου	80/100pen	60/70 ή 80/100pen	60/70pen
Άσφαλτος (%) κ.β. μίγματος	7.5 - 8.5	7.0 - 0.8	6.5 - 7.5
Ποσοστό συμπύκνωσης (%)	Μεγαλύτερο ή ίσο του 97		
Κενά τάπητα (%)	Μικρότερο ή ίσο του 6		
Συνιστώμενα παχη στρώσεων (mm)	15 - 30	20 - 40	25 - 50

Πίνακας 4.15 Κοκκομετρικές διαβαθμίσεις και αναλογίες ασφαλτομιγμάτων SMA ⁽²⁰⁾

Ασφαλτομίγματα υψηλού μέτρου δυσκαμψίας για συνδετικές στρώσεις και ασφαλτικές βάσεις

Τα υψηλού μέτρου δυσκαμψίας ασφαλτομίγματα χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά στη Γαλλία. Χρησιμοποιούνται μόνο ως συνδετικές στρώσεις ή/και ως ασφαλτικές βάσεις. Αναπτύχθηκαν για να αντιμετωπίσουν το έντονο πρόβλημα της παραμορφωσιμότητας των ασφαλτικών σκυροδεμάτων που χρησιμοποιούνται στη Γαλλία, ιδιαίτερα σε

αυτοκινητοδρόμους και δρόμους με υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο. Χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με λεπτές στρώσεις πάχους 15-25mm (λεπτοτάπητες) από θερμό ασφαλτόμιγμα, που δρουν ως τάπητες κυκλοφορίας.

Τα ασφαλτομίγματα αυτά υπάρχουν σε δυο τύπους, αυτά που περιέχουν υψηλό ποσοστό ασφάλτου και αυτά που περιέχουν κανονικό ποσοστό ασφάλτου. Οι διαβαθμίσεις είναι δυο, με μέγιστη ονομαστική διάσταση αδρανών 14mm και 20mm, αντίστοιχα.

Η άσφαλτος που χρησιμοποιείται είναι πολύ σκληρή, συνήθως τροποποιημένη, με διεισδυτικότητα 5-35pen και σημείο μάλθωσης τουλάχιστον 65°C. Στο γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως το υψηλό μέτρο δυσκαμψίας του μίγματος. Τα μίγματα διαστρώνονται σε υψηλές θερμοκρασίες, πάνω από 140°C, και συμπυκνώνονται πρώτα με ελαστιχοφόρο οδοστρωτήρα και κατόπιν με κοινό οδοστρωτήρα.

Παρόλο που η μέγιστη διάσταση των αδρανών είναι περίπου 14mm ή 20mm τα μίγματα αυτά διαστρώνονται σε στρώσεις πάχους έως και 300mm ή 400mm αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι το πάχος της στρώσης είναι περίπου 20 φορές μεγαλύτερο από τη διάσταση του αδρανούς. Σε αντιπαραβολή, στο ασφαλτικό σκυρόδεμα είναι αντίστοιχα μόνο 4-5 φορές, περίπου.

Τα ασφαλτομίγματα υψηλού μέτρου δυσκαμψίας αναπτύχθηκαν από ιδιωτικές εταιρείες με αποτέλεσμα αυτές να έχουν και την αποκλειστική διάθεση αυτών.

Θερμά ασφαλτομίγματα για λεπτοτάπητες κυκλοφορίας

Τα θερμά ασφαλτομίγματα για λεπτοτάπητες κυκλοφορίας αναπτύχθηκαν από διάφορες εταιρείες 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 Saferave. Το σύστημα αυτό προϋποθέτει

τη χρήση ειδικού μηχανήματος διάστρωσης και τη χρήση συγκολλητικής με ασφαλτικό κατιονικό γαλάκτωμα που ψεκάζεται αμέσως πριν τη διάστρωση του θερμού μίγματος. Άλλα μίγματα αυτού του είδους δεν έχουν την παραπάνω απαίτηση.

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

Όλα τα θερμά ασφαλτομίγματα για λεπτοτάπητες έχουν κατοχυρωθεί ως τάπητες και συνεπώς οι εταιρείες έχουν την αποκλειστική ευθύνη και διάθεση αυτών.

Μίγματα Τοπέκα και ABS

Το Τοπέκα και το Asfaltbeton med Nedtromlede Skaever (ABS) χρησιμοποιούνται στις Σκανδιναβικές χώρες και τη Δανία αντίστοιχα. Και τα δύο μίγματα είναι μη συνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης, παρόμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται στην Αγγλία.

Το Τοπέκα χρησιμοποιείται ως τάπητας κυκλοφορίας σε θέσεις με βαριά κυκλοφορία. Η άσφαλτος που χρησιμοποιείται είναι τύπου 60/70 ή 80/100pen και το βέλτιστο ποσοστό στο μίγμα καθορίζεται από "συνταγή". Επί του διαστρωμένου μίγματος διασπείρονται προεπαλειμμένες ψηφίδες προς επίτευξη αντιολισθηρής επιφάνειας.

Το μίγμα ABS χρησιμοποιείται κυρίως στη Δανία, είναι όμοιο με το προηγούμενο με μόνη διαφορά ότι τα αδρανή μπορεί να είναι είτε θραυστά είτε από φυσικό χαλίκι. Επίσης, είναι συνήθες να αντικαθίστανται ένα ποσοστό των χονδρόκοκκων αδρανών, περίπου 20%, με αδρανή ανοικτού χρώματος καθώς επίσης οι προεπαλειμμένες ψηφίδες να είναι και αυτές ανοικτού χρώματος. Το παραπάνω βοηθάει στην οδήγηση κατά τη διάρκεια των ωρών με περιορισμένη ορατότητα.

4.3 Σύνθεση θερμών ασφαλτομιγμάτων

Η σύνθεση του ασφαλτομίγματος συνίσταται στον καθορισμό των αναλογιών των χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων αδρανών και φύλλερ 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 δυο 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 μια 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 προδιαγραφομένων 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 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 καθορίστηκαν 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.

4.3.1 Σύνθεση ασφαλτομιγμάτων πυκνής διαβάθμισης (ασφαλτικά σκυροδέματα) με τη μέθοδο Marshall

Η μέθοδος Marshall γενικά

Η μέθοδος χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της βέλτιστης περιεκτικότητας ασφάλτου ασφαλτομιγμάτων πυκνής διαβάθμισης, με μέγιστη ονομαστική διάσταση αδρανών 25,4mm. Η μέθοδος Marshall προδιαγράφεται τόσο από το Asphalt Institute όσο και από τις Αμερικανικές προδιαγραφές ASTM D1559. Αρχικά αναπτύχθηκε για τα ασφαλτικά σκυροδέματα (συνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης) αλλά σήμερα βρίσκει εφαρμογή και στα μη συνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης ασφαλτομίγματα.

Η μέθοδος Marshall συνίσταται στην παρασκευή συγκεκριμένης διαμέτρου δοκιμίων και στον έλεγχο αυτών, με την ειδική συσκευή Marshall για ευστάθεια και παραμόρφωση. Παράλληλα ελέγχονται και άλλες ιδιότητες που όλες μαζί είναι γνωστές ως ιδιότητες Marshall. Οι ιδιότητες αυτές θα πρέπει να έχουν ορισμένες οριακές τιμές αναλόγως του κυκλοφοριακού φόρτου της θέσεως που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί το ασφαλτόμιγμα.

Οι ιδιότητες Marshall δεν είναι θεμελιώδεις μηχανικές ιδιότητες, χαρακτηρίζονται ως εμπειρικές, και έτσι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αναλυτικούς υπολογισμούς, όπως για τη διαστασιολόγηση των οδοστρωμάτων. Πλήν όμως, από τη μεγάλη εμπειρία που αποκτήθηκε, είναι σε θέση να καθορίζουν την καταλληλότητα των μιγμάτων για τις περισσότερες των περιπτώσεων. Όσον αφορά τη διαστασιολόγηση των οδοστρωμάτων ορισμένες μεθοδολογίες όπως αυτή του Asphalt Institute βασίζονται πάνω στις ιδιότητες Marshall.

Παρασκευή δοκιμίων

Το τελικό αποτέλεσμα των αδρανών (μετά από σύνθεση αυτών) τοποθετείται σε θερμαινόμενο φούρνο για ξήρανση και για να αποκτήσει την επιθυμητή θερμοκρασία. Επαρκής ποσότητα μίγματος αδρανών μεταφέρεται στο θερμαινόμενο κάδο ανάμιξης και επ' αυτού προστίθεται η επιθυμητή ποσότητα θερμής ασφάλτου. Η ποσότητα των αδρανών που απαιτείται για την παρασκευή ενός δοκιμίου Marshall είναι περίπου 1.2Kg. Η ποσότητα της ασφάλτου είναι τέτοια ώστε να παραχθούν πέντε τουλάχιστον ασφαλτομίγματα με διαφορετική περιεκτικότητα σε άσφαλο (με βήμα

0.5%). Από το κάθε μίγμα παρασκευάζονται κατ' ελάχιστο τρία, προτιμότερο πέντε, δοκίμια. Η θερμοκρασία ανάμιξης καθορίζεται από τον τύπο της ασφάλτου που χρησιμοποιείται.

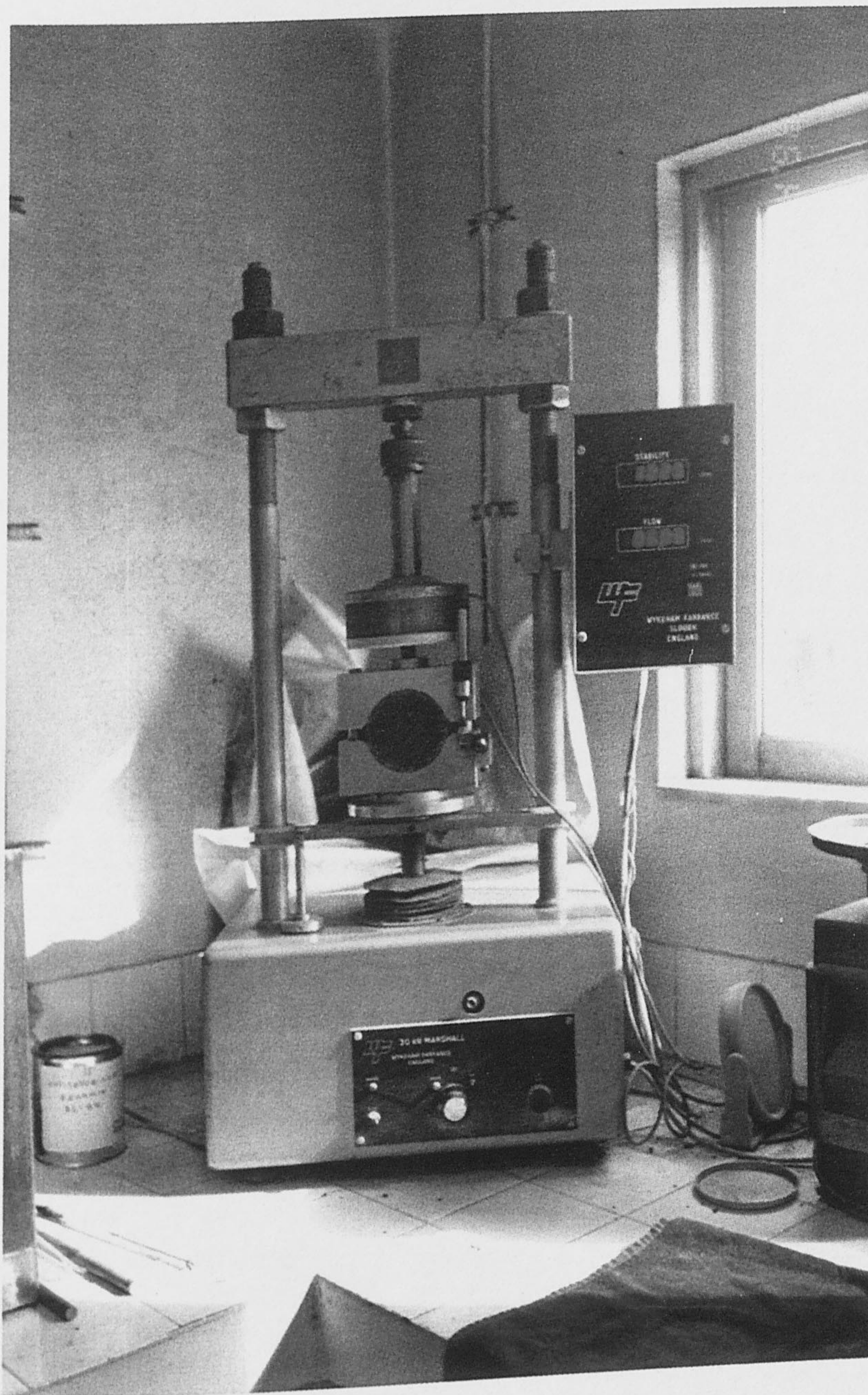
Μετά την ανάμιξη, όπου ο χρόνος ανάμιξης είναι τόσος όσος να επιτευχθεί ομοιόμορφη και πλήρης κάλυψη των αδρανών με άσφαλτο, το θερμό ασφαλτόμιγμα τοποθετείται σε ειδικές κυλινδρικές μεταλλικές μήτρες ("καλούπια") διαμέτρου 101.6mm (4") ή 100mm. Η ποσότητα του ασφαλτομίγματος είναι τόση ώστε να παραχθεί δοκίμιο ύψους 62,5mm περίπου. Η ποσότητα του ασφαλτομίγματος τοποθετείται σε δυο στρώσεις και η κάθε στρώση δέχεται μια ελαφρά προσυμπύκνωση με μεταλλική ράβδο (15 φορές περιμετρικά και 10 φορές στο κέντρο περίπου). Κατόπιν η μήτρα με το ασφαλτόμιγμα τοποθετείται σε ειδικό μηχάνημα συμπύκνωσης (κόπανος Marshall) και συμπυκνώνεται. Κατά τη συμπύκνωση το ασφαλτόμιγμα δέχεται από 35 ή 50 ή 75 κτυπήματα στην κάθε πλευρά. Ο αριθμός των κτυπημάτων είναι ανάλογος του πού θα χρησιμοποιηθεί το ασφαλτόμιγμα. Για δρόμους ελαφράς κυκλοφορίας το δοκίμιο δέχεται 35 κτυπήματα, για δρόμους μέσης κυκλοφορίας 50 και για δρόμους βαριάς κυκλοφορίας ή αεροδρόμια 75 κτυπήματα.

Το συμπυκνούμενο δοκίμιο αφήνεται να κρυώσει μέσα στη μήτρα και κατόπιν εξάγεται με ειδικό εξολκέα. Τα δοκίμια, αφού ελεγχθούν ως προς την επιπεδότητα των δυο όψεων, αριθμηθούν, ζυγιστούν στον αέρα και στο νερό και μετρηθεί το ύψος τους, είναι έτοιμα να ελεγχθούν σε ευστάθεια και παραμόρφωση κατά Marshall.

Έλεγχος δοκιμίων σε ευστάθεια και παραμόρφωση κατά Marshall

Τα δοκίμια τοποθετούνται σε λουτρό ύδατος $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ για 30 έως 40 λεπτά πριν τοποθετηθούν στην ειδική συσκευή Marshall για θραύση. Η συσκευή Marshall συμπιέζει διαμετρικά το δοκίμιο με σταθερό ρυθμό (50.8mm/min) μέχρι τελικής θραύσεως. Η μέγιστη δύναμη κατά τη θραύση του δοκιμίου δίνει την ευστάθεια Marshall του μίγματος, μετρούμενη σε N (ή lb). Η παραμόρφωση που έχει υποστεί το δοκίμιο κατά το σημείο της θραύσης καταγράφεται στη παραμόρφωση Marshall, μετρούμενη σε mm (ή in). Η καταγραφή των παραπάνω τιμών στις σύγχρονες συσκευές Marshall γίνεται αυτόματα από ειδικό κατεγγραφέα. Η συσκευή Marshall μαζί με το

υδρόλουτρο, τον κατεγραφέα και τυπικό αντίγραφο των αποτελεσμάτων φαίνεται στη Φωτογραφία 4.1.



Φωτογραφία 4.1 Συσκευή Marshall

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι τιμές της ευστάθειας που λαμβάνονται διορθώνονται πολλαπλασιάζοντας με τους αντίστοιχους διορθωτικούς συντελεστές που δίνονται στον Πίνακα 4.16. Η διόρθωση αυτή είναι αναγκαία λόγω της ανομοιομορφίας ύψους ή όγκου των δοκιμίων. Τα μεγάλα δοκίμια είναι λογικό να απαιτούν ελαφρώς μεγαλύτερη δύναμη θραύσης από ότι τα μικρά δοκίμια από το ίδιο ασφαλτόμιγμα.

Όγκος δοκιμίου ^(α) (cm ³)	Ύψος δοκιμίου (mm)	Διορθωτικός συντελεστής
200-213	25.4	5.56
214-225	27.0	5.00
226-237	28.6	4.55
238-250	30.2	4.17
251-264	31.8	3.85
265-276	33.3	3.57
277-289	34.9	3.33
290-301	36.5	3.03
302-316	38.1	2.78
317-328	39.7	2.50
329-340	41.3	2.27
341-353	42.9	2.08
354-367	44.4	1.92
368-379	46.0	1.79
380-392	47.6	1.67
393-405	49.2	1.56
406-420	50.8	1.47
421-431	52.4	1.39
432-443	54.0	1.32
444-456	55.6	1.25
457-470	57.2	1.19
471-482	58.7	1.14
483-495	60.3	1.09
496-508	61.9	1.04
509-522	63.5	1.00
523-535	65.1	0.96
536-546	66.7	0.93
547-559	68.3	0.89
560-573	69.8	0.86
574-585	71.4	0.83
586-598	73.0	0.81
599-610	74.6	0.78
611-625	76.2	0.76

^(α) Ο όγκος υπολογίσθηκε από δοκίμιο διαμέτρου 101.6mm

Πίνακας 4.16 Διορθωτικοί συντελεστές Marshall

Υπολογισμός της βέλτιστης περιεκτικότητας ασφάλτου

Για τον υπολογισμό της βέλτιστης περιεκτικότητας ασφάλτου στο ασφαλτόμιγμα είναι απαραίτητο, εκτός από την ευστάθεια (διορθωμένη ευστάθεια) και την παραμόρφωση του μίγματος, να υπολογισθούν και οι παρακάτω ιδιότητες του μίγματος: το φαινόμενο ειδικό βάρος ($G_{φμ}$), το ποσοστό των κενών αέρος (V_a), το ποσοστό των κενών στο "σκελετό" των αδρανών του συμπυκνωμένου μίγματος (VMA) (επίσης γνωστό ως κενά συμπυκνωμένων υλικών) και το ποσοστό των κενών που πληρώθηκαν με άσφαλο (VFA).

Οι παραπάνω παράμετροι χαρακτηρίζουν πλήρως το ασφαλτόμιγμα και υποβοηθούν στον καθορισμό του βέλτιστου ασφαλτομίγματος. Με τον καθορισμό της ευστάθειας διασφαλίζεται ότι το ασφαλτόμιγμα δεν πρόκειται να παραμορφωθεί υπερβολικά. Το ποσοστό των κενών καθορίζει το αναμενόμενο ποσοστό κενών του τάπητα μετά απο παρέλευση n-χρόνων. Στην περίπτωση που το ασφαλτοσκυρόδεμα κατά τη σύνθεση έχει κενά αέρος μικρότερα του επιτρεπτού είναι σίγουρο ότι αυτό θα παραμορφωθεί πρόωρα, παρουσιάζοντας έντονη τροχαυλάκωση με εκατέρωθεν αυτής πλευρική υπερύψωση του τάπητα ή απώθηση (shoving). Το VMA και VFA είναι πρόσθετοι παράμετροι διασφάλισης καλής συμπεριφοράς του ασφαλτομίγματος. Με το VMA διασφαλίζεται ότι ο διαθέσιμος χώρος μεταξύ των αδρανών είναι επαρκής για να παραλάβει (να "χωρέσει") την ποσότητα της ασφάλτου, ενώ με το VFA διασφαλίζεται ότι επαρκής αριθμός κενών πληρώθηκε με άσφαλο. Το τελευταίο είναι ουσιαστικής σημασίας διότι έμμεσα καθορίζει την απολύτως αναγκαία ποσότητα ασφάλτου στο μίγμα. Δηλαδή την ελάχιστη για να υπάρχει καλή συνεκτικότητα των κόκκων και, κυρίως, τη μέγιστη που μπορεί να παραλάβει η δεδομένη κοκκομετρική διαβάθμιση του μίγματος για να μην εμφανισθεί ανάδυση ασφάλτου και πρόωρη παραμόρφωση του μίγματος. Ο υπολογισμός όλων των παραπάνω παραμέτρων επεξηγείται στην παράγραφο 4.3.2.

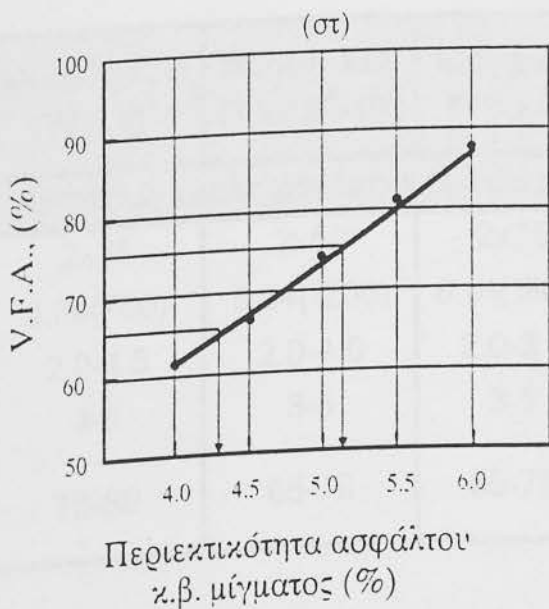
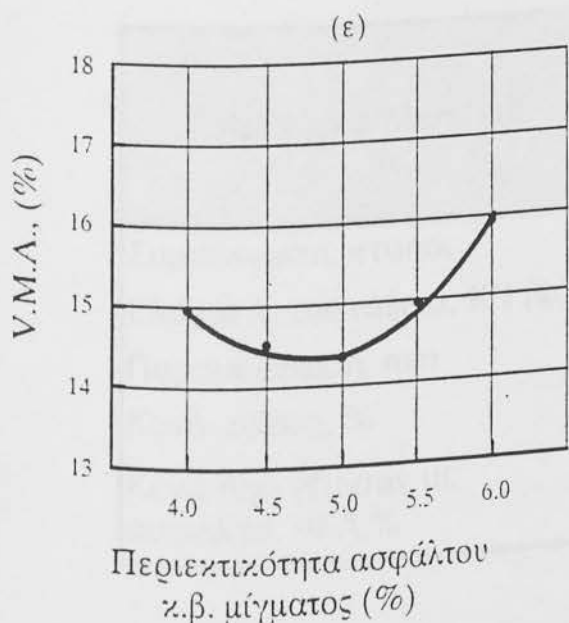
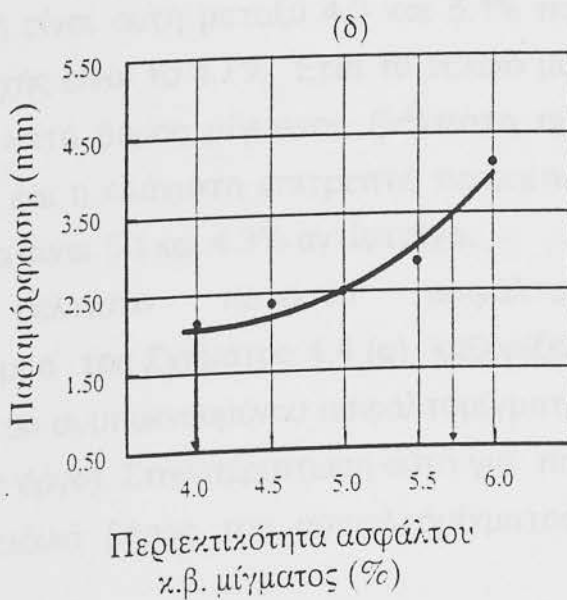
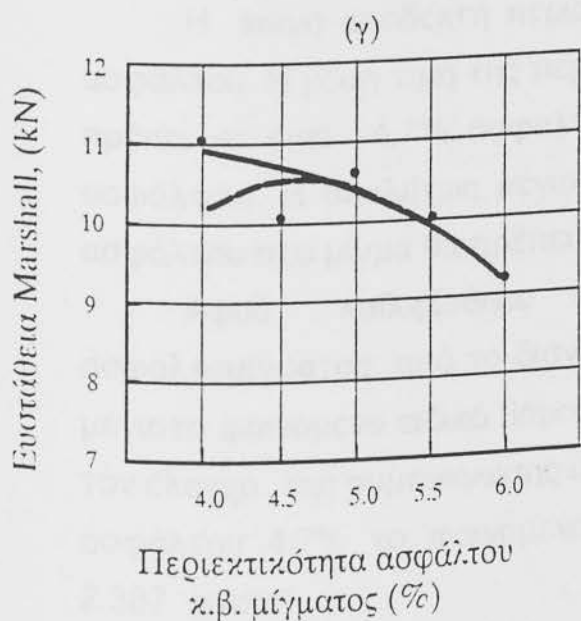
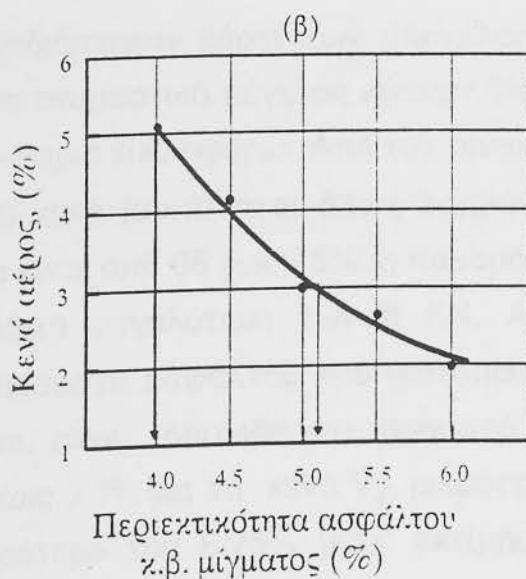
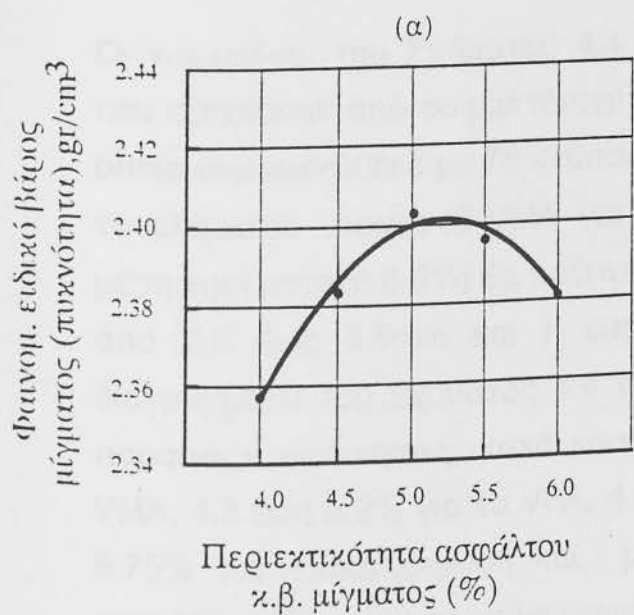
Αφού υπολογισθούν οι παραπάνω ιδιότητες, σχεδιάζονται έξι διαγράμματα που έχουν στους οριζόντιους άξονες την περιεκτικότητα της ασφάλτου και στους κατακόρυφους τις παραπάνω ιδιότητες. Τυπικό παράδειγμα διαγραμμάτων φαίνεται στο Σχήμα 4.4.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.4(α), η καμπύλη του φαινομένου ειδικού βάρους παρουσιάζει, σχεδόν πάντοτε, μια μέγιστη τιμή καθώς αυξάνει το ποσοστό της ασφάλτου. Όμοιας μορφής είναι και η καμπύλη της ευστάθειας με μόνη τη διαφορά ότι η μέγιστη τιμή εμφανίζεται πάντοτε σε χαμηλότερο ποσοστό ασφάλτου από αυτό για μέγιστο φαινόμενο ειδικό βάρος. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι η μέγιστη τιμή της ευστάθειας δεν είναι πάντοτε τόσο εύκολο να προσδιορισθεί, όσο στην περίπτωση του φαινομένου ειδικού βάρους, δηλαδή η καμπύλη δεν παρουσιάζει μονοσήμαντη μέγιστη τιμή (Σχήμα 4.4(γ)-δύο εναλλακτικές καμπύλες). Το φαινόμενο αυτό είναι πολύ συνηθισμένο. Τα κενά αέρος, καθώς αυξάνεται το ποσοστό της ασφάλτου, μειώνονται συνεχώς, Σχήμα 4.4(β). Αντίστοιχα, με την αύξηση του ποσοστού της ασφάλτου η παραμόρφωση αυξάνεται, Σχήμα 4.4(δ), ενώ τα κενά στο σκελετό των αδρανών (VMA) αρχικά μειώνονται μέχρι μιας ελάχιστης τιμής και κατόπιν αυξάνονται, Σχήμα 4.4(ε). Τέλος, καθώς αυξάνει το ποσοστό της ασφάλτου, τα κενά που γέμισαν με άσφαλτο (εκφραζόμενα επί τοις εκατό) (VFA) συνεχώς αυξάνονται, Σχήμα 4.4(στ).

Ο τρόπος καθορισμού της βέλτιστης περιεκτικότητας ασφάλτου και κατά συνέπεια του τελικού μίγματος, βάσει των αναθεωρημένων προδιαγραφών του Asphalt Institute, διαφέρει από αυτόν που μέχρι σήμερα χρησιμοποιείται από όλα τα εργαστήρια σύνθεσης ασφαλτομιγμάτων στην Ελλάδα.

Κατά το Asphalt Institute, επιλέγεται σαν τελικό μίγμα αυτό που ικανοποιεί ταυτόχρονα όλες τις απαιτήσεις των κριτηρίων του Πίνακα 4.17.

Τέτοια μίγματα υπάρχουν πλέον του ενός. Για να μειωθεί ο αριθμός των μιγμάτων και να επιλεγεί το τελικό μίγμα σχεδιάζεται το διάγραμμα του σχήματος 4.5. Στο διάγραμμα αυτό τοποθετούνται τα κριτήρια VMA, VFA, V_a , ευστάθειας και παραμόρφωσης, με τις αντίστοιχες οριακές τιμές του ποσοστού ασφάλτου στο μίγμα. Η κοινή περιοχή μέσα στην οποία οποιοδήποτε περιεκτικότητα ασφάλτου δίνει μίγμα που ικανοποιεί όλα τα κριτήρια Marshall, καθορίζει και το αποδεκτό μίγμα. Το τελικό μίγμα ή η βέλτιστη περιεκτικότητα της ασφάλτου, είναι η μέση τιμή ασφάλτου της περιοχής αυτής. Τα ακραία όρια της κοινής περιοχής καθορίζουν το απολύτως μέγιστο και ελάχιστο επιτρεπτό ποσοστό ασφάλτου στο μίγμα, για καλή συμπεριφορά. Τα παραπάνω επεξηγούνται με ένα παράδειγμα στην παρακάτω παράγραφο.



Σχήμα 4.4 Τυπικά διαγράμματα χαρακτηριστικών ιδιοτήτων Marshall

Οι καμπύλες, του Σχήματος 4.4 σχεδιάστηκαν βάσει των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν από ασφαλτόμιγμα με ονομαστικό μέγεθος κόκκων 19mm, το οποίο συμπυκνώθηκε με 75 κτύπους - βαριά κυκλοφορία. Από τον πίνακα 4.17, το ελάχιστο ποσοστό VMA για 4% κενά (συνίσταται όπως λαμβάνεται η μέση τιμή μεταξύ 3-5%) θα πρέπει να είναι από 65 έως 75%, η παραμόρφωση από 2.0 έως 3.5mm και η ευστάθεια μεγαλύτερη των 8 KN. Από τα διαγράμματα του Σχήματος 4.4 τα ποσοστά ασφάλτου που ικανοποιούν τις παραπάνω απαιτήσεις, κατά κριτήριο, είναι: οποιοδήποτε ποσοστό για το VMA, 4.3 έως 5.2% για το VFA, 4.0 έως 5.1% για τα κενά V_a , μικρότερο του 5.75% για παραμόρφωση και μικρότερο του 6.25% (κατ' εκτίμηση) για ευστάθεια. Όλα τα παραπάνω αναπαρίστανται στο Σχήμα 4.5.

Η κοινή αποδεκτή περιοχή είναι αυτή μεταξύ 4.3 και 5.1% ποσοστό ασφάλτου. Η μέση τιμή της περιοχής είναι το 4.7%. Έτσι το τελικό μίγμα θα πρέπει να έχει 4.7% άσφαλο κατά βάρος μίγματος (βέλτιστο ποσοστό ασφάλτου). Η απολύτως μέγιστη και η ελάχιστη επιτρεπτή περιεκτικότητα ασφάλτου στο μίγμα θα πρέπει να είναι 5.1 και 4.3% αντίστοιχα.

Αφού καθορίσθηκε το βέλτιστο ποσοστό ασφάλτου του ασφαλτομίγματος, από το διάγραμμα του Σχήματος 4.4 (α) καθορίζεται το μέγιστο φαινόμενο ειδικό βάρος του συμπυκνουμένου ασφαλτομίγματος (για τον έλεγχο της συμπύκνωσης στο έργο). Στην περίπτωση αυτή για ποσοστό ασφάλτου 4.7% το φαινόμενο ειδικό βάρος του ασφαλτομίγματος είναι 2.387 gr/cm^3 .

Κριτήρια Marshall	Μικρός κ/φ ITA 10^4	Μέσος κ/φ ITA 10^4 - 10^6	Μεγάλος κ/φ ITA
	Τάπητες κυκλοφορίας και βάσεις		
Συμπύκνωση, κτύποι	2x35	2x50	2x75
Ελάχιστη ευστάθεια, KN (lb)	3.34(750)	5.34(1200)	8.01(1800)
Παραμόρφωση, mm	2.0-4.5	2.0-4.0	2.0-3.5
Κενά αέρος, %	3-5	3-5	3-5
Κενά που γέμισαν με άσφαλο, VFA, %	70-80	65-78	65-75

Για όλες τις περιπτώσεις				
Κενά στο σκελετό των αδρανών (VMA), %	Ονομαστικό μέγεθος αδρανών ^(α)	Ελάχιστο VMA, (%), για κενά αέρος ^(β) :		
	(mm)	3%	4%	5%
	63(2.5")	9.0	10.0	11.0
	50(2.0")	9.5	10.5	11.5
	37.5(1.5")	10.0	11.0	12.0
	25.0(1.0")	11.0	12.0	13.0
	19.0(3/4")	12.0	13.0	14.0
	12.5(1/2")	13.0	14.0	15.0
	9.5(3/8")	14.0	15.0	16.0
	4.75(No.4)	16.0	17.0	18.0
	2.36(No.8)	19.0	20.0	21.0
	1.18(No.16)	21.5	22.5	23.5

(α) Το ονομαστικό μέγεθος αδρανών, στην περίπτωση αυτή, καθορίζεται από το αμέσως προηγούμενο μεγαλύτερο κόσκινο του πρώτου, που συγκρατεί περισσότερο από 10% αδρανή υλικά.

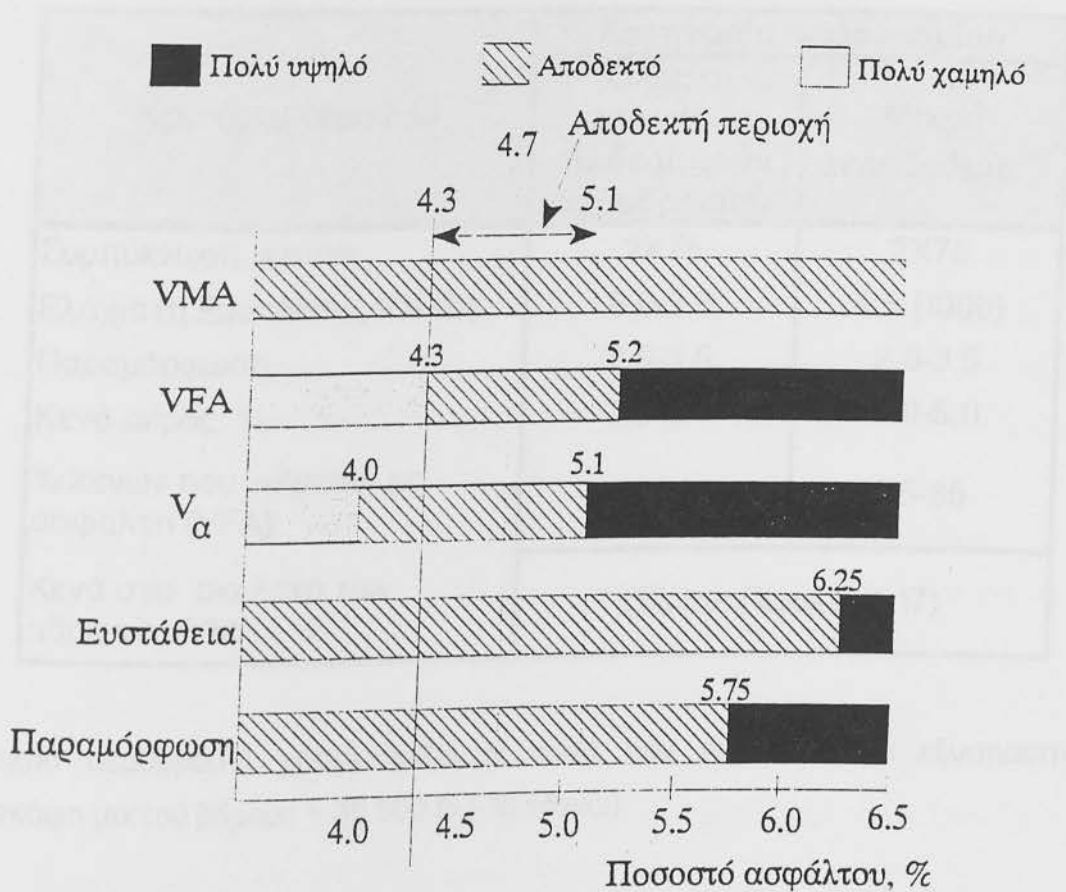
(β) Για ενδιάμεσα ποσοστά κενών το VMA καθορίζεται με γραμμική παρεμβολή

Πίνακας 4.17 Κριτήρια Marshall για οδοστρώματα οδών κατά Asphalt Institute

Κριτήρια Marshall ασφαλτομίγματος για οδοστρώματα αεροδρομίων

Στην περίπτωση κατά την οποία τα πυκνά υφής ασφαλτομίγματα (ασφαλτικά σκυροδέματα) πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή οδοστρωμάτων αεροδρομίων, τα κριτήρια Marshall για τη σύνθεση αυτών είναι αυτά που δίνονται στον Πίνακα 4.18.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι ισχύουσες Ελληνικές προδιαγραφές, ΠΤΠ Α265, περιλαμβάνουν τα παλιά προτεινόμενα κριτήρια του Asphalt Institute και όχι τα αναθεωρημένα που δίνονται στους παραπάνω πίνακες. Για τη διασφάλιση της ποιότητας κατασκευής και την αποφυγή αστοχιών ο συγγραφέας συνιστά όπως χρησιμοποιούνται τα αναθεωρημένα κριτήρια Marshall.



Σχήμα 4.5 Γραφική απεικόνιση οριακών τιμών ποσοστού ασφάλτου ανά κριτήριο Marshall

Παρατηρήσεις επί της μεθοδολογίας Marshall

Μια γενικότερη παρατήρηση επί του κριτηρίου της ευστάθειας των ασφαλτομιγμάτων είναι η απουσία μέγιστης επιτρεπτής ευστάθειας. Η τιμή αυτή, κατά την άποψη του συγγραφέα είναι αναγκαία διότι είναι δυνατόν, να παραχθούν ασφαλτικά σκυροδέματα με πολύ μεγάλη ευστάθεια. Όταν ταυτόχρονα και η παραμόρφωση κατά Marshall είναι μικρή τότε τα μίγματα αυτά θα είναι λιγότερο εύκαμτα και οι αντίστοιχοι τάπητες θα έχουν την τάση να ρηγματώνονται ευκολότερα. Το παραπάνω γίνεται ακόμη πιο έντονο όταν ο τάπητας που κατασκευάστηκε με αυτό το ασφαλτόμιγμα είναι σχετικά μικρού πάχους και εδράζει πάνω σε έδαφος μη καλής ποιότητας ή σε υποκείμενες στρώσεις με μη επαρκή συμπύκνωση.

Κριτήρια Marshall	Κατηγορία αεροδρομίου	
	Όλες οι κατηγορίες πλην μικρών αεροδρομίων	Μικρά αεροδρόμια ^(α)
Συμπύκνωση, κτύποι	2Χ75	2Χ75
Ελάχιστη Ευστάθεια, KN (lb)	8.0-3.5	4.5 (1000)
Παραμόρφωση	2.0-3.5	2.0-3.5
Κενά αέρος, %	3.0-5.0	3.0-5.0
% κενών που γέμισαν με άσφαλτο (VFA)	70-80	75-85
Κενά στο σκελετό των αδρανών (VMA), %	(Βλέπε Πίνακα 4.17)	

^(α) Μικρά αεροδρόμια χαρακτηρίζονται αυτά που πρόκειται να εξυπηρετήσουν αεροσκάφη μικτού βάρους < 30.000 lb (-15 τόννοι)

Πίνακας 4.18 Κριτήρια Marshall για ασφαλτικά σκυροδέματα οδοστρωμάτων αεροδρομίων κατά FAA⁽²⁶⁾⁽²⁷⁾

Ο Brien⁽²⁹⁾ αναγνωρίζοντας την παραπάνω αδυναμία της μεθόδου Marshall πρότεινε τη χρήση της παραμέτρου "πηλίκιο Marshall" (MQ), αρχικά για μίγματα μη συνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης (HRA). Η παράμετρος αυτή είναι το πηλίκιο της ευστάθειας προς την παραμόρφωση κατά Marshall σε KN/mm. Τα μίγματα για να μην παραμορφώνονται εύκολα θα πρέπει να έχουν μια ελάχιστη τιμή MQ, ενώ για να μην ρηγματώνονται θα πρέπει να έχουν μια μέγιστη τιμή MQ. Ο Lees⁽³⁰⁾, συμπεριλαμβάνοντας και την απαίτηση αντίστασης του ασφαλτομίγματος σε κόπωση καθώς επίσης κάνοντας διάκριση μεταξύ μικρού και μεγάλου πάχους στρώσεων, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι για μεγάλου πάχους στρώσεις, πάνω από 100mm, μία μόνο ελάχιστη τιμή MQ είναι επαρκής για την καλή συμπεριφορά του ασφαλτομίγματος σε παραμόρφωση και κόπωση. Αντιθέτως, σε στρώσεις κάτω από 50mm είναι αναγκαία και η ταυτόχρονη ύπαρξη μιας μέγιστης τιμής MQ. Για ενδιάμεσα πάχη στρώσεων οι τιμές MQ θα πρέπει να ορίζονται αναλόγως των συνθηκών που επικρατούν στο έργο. Παρόλο που ως ιδέα η χρήση του πηλίκου Marshall ήταν σωστή δεν έγινε αποδεκτή από πολλούς οργανισμούς. Οριακές τιμές, κυρίως για ασφαλτομίγματα μη συνεχούς

κοκκομετρικής διαβάθμισης, προτάθηκαν από ορισμένους ερευνητές αλλά ουδέποτε χρησιμοποιήθηκαν ως σχεδιαστικά κριτήρια από τις προδιαγραφές. Οι τιμές που προτάθηκαν είναι: ελάχιστη τιμή $MQ=2,0$ kN/mm και μέγιστη τιμή $MQ=4$ kN/mm και για μίγματα HRA:0,5 και 2,0 kN/mm, αντίστοιχα.

Μια άλλη αδυναμία της μεθοδολογίας σύνθεσης κατά Marshall είναι ότι δεν μπορεί να καθοριστεί με αυτήν η βέλτιστη περιεκτικότητα ασφάλτου σε μίγματα διάφορα των ασφαλτικών σκυροδεμάτων. Επίσης, τα κριτήρια Marshall δεν είναι αντιπροσωπευτικά για την σύνθεση ασφαλτικών μιγμάτων με τροποποιημένη άσφαλτο.

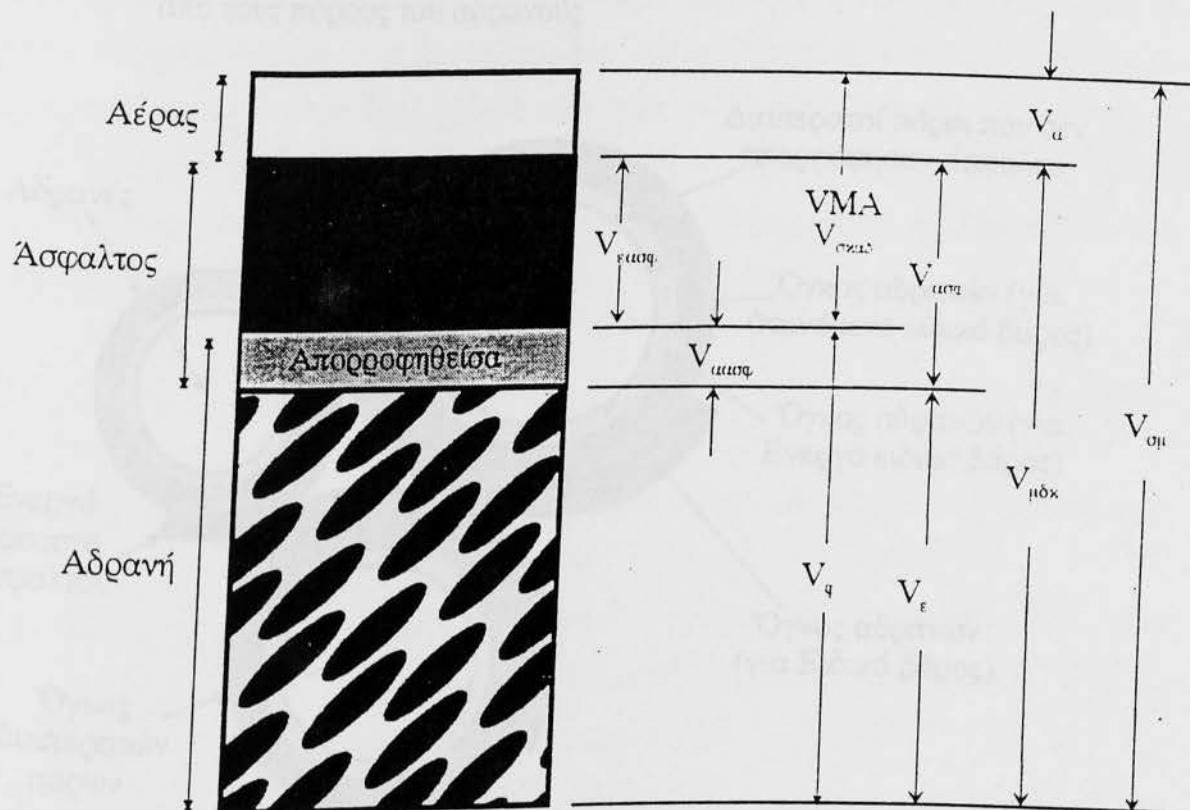
Όλες οι παραπάνω αδυναμίες μπορούν να παρακαμφθούν μόνο με αναλυτικό σχεδιασμό των ασφαλτομιγμάτων που θα βασίζεται σε θεμελιώδεις μηχανικές ιδιότητες όπως μέτρο δυσκαμψίας, αντοχή σε κόπωση, αντοχή σε παραμόρφωση, εφελκυστική αντοχή κ.λ.π. Προς την κατεύθυνση αυτή εργάζονται όλα τα εργαστήρια και δε θα αργήσει να δημιουργηθεί και να καθιερωθεί μια τελείως διαφορετική και ολοκληρωμένη αναλυτική μελέτη σύνθεσης των ασφαλτομιγμάτων.

4.3.2 Χρήσιμοι ορισμοί και σχέσεις για τη σύνθεση ασφαλτομιγμάτων κατά Marshall

Το ασφαλτόμιγμα αποτελείται, όπως είναι γνωστό, από αδρανή και άσφαλτο. Μετά την ανάμιξη και συμπύκνωση του ασφαλτομίγματος, ο συνολικός όγκος του συμπυκνωμένου ασφαλτομίγματος αποτελείται από τον όγκο που καταλαμβάνουν τα αδρανή, τον όγκο που καταλαμβάνει η άσφαλτος και τον όγκο των κενών αέρος. Ο όγκος που καταλαμβάνεται από την άσφαλτο και τα κενά αέρος είναι γνωστό ως όγκος των κενών στο σκελετό των αδρανών (ή VMA). Τα παραπάνω μεγέθη φαίνονται παραστατικά στο Σχήμα 4.6.

Τα αδρανή λόγω των πόρων που πιθανόν να διαθέτουν, απορροφούν μια ποσότητα ασφάλτου με αποτέλεσμα η απομένουσα ποσότητα ασφάλτου να είναι ουσιαστικά αυτή που πρόκειται να περιβάλλει τα αδρανή, να γεμίσει τα κενά μεταξύ των αδρανών και να δώσει τη συνοχή στο μίγμα. Η ποσότητα αυτή της ασφάλτου ονομάζεται ενεργός ποσότητα σφάλτου και είναι μικρότερη της αρχικής ποσότητας που προστέθηκε στο μίγμα. Κατ' επέκταση και ο αντίστοιχος όγκος της ασφάλτου ενεργός όγκος ασφάλτου ($V_{ασφ}$) και είναι πάντοτε μικρότερος του $V_{ασφ}$. Εξυπακούεται ότι, όταν η

απορροφητικότητα των αδρανών είναι μηδενική, ο ενεργός όγκος ισούται με τον όγκο της συνολικής ποσότητας της ασφάλτου ($V_{ασφ}$). Σχηματική παράσταση του ασφαλτομίγματος που επεξηγεί τα παραπάνω, όσο και άλλες έννοιες δίνονται στο Σχήμα 4.7.

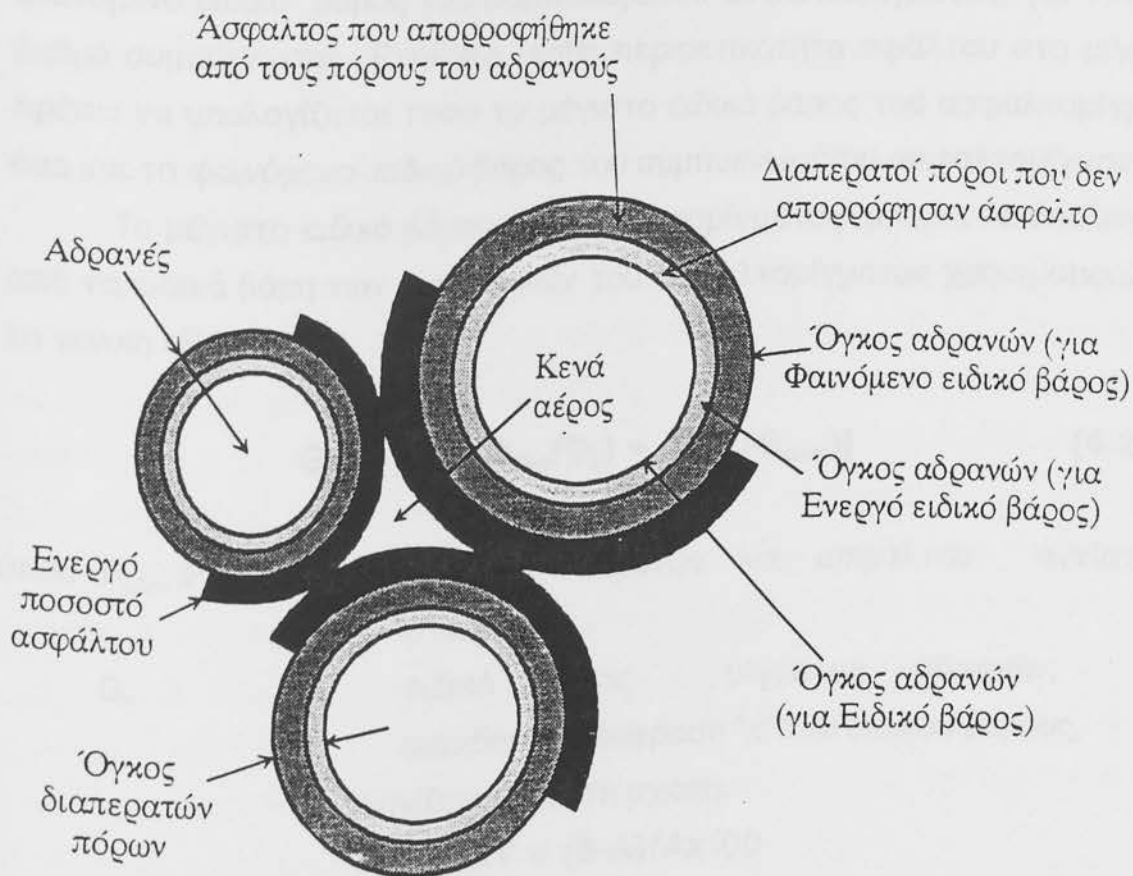


- $V_{\sigma\mu}$ = Όγκος συμπυκνωμένου μίγματος
- V_{α} = Όγκος κενών αέρος
- $V_{ασφ}$ = Όγκος κενών στο "σκελετό των αδρανών" (ή VMA)
- V_{ϕ} = Όγκος αδρανών (φαινόμενος), για τον υπολογισμό του ενεργού ειδικού βάρους
- V_{ϵ} = Όγκος αδρανών (ενεργός), για τον υπολογισμό του ενεργού ειδικού βάρους
- $V_{εασφ}$ = Όγκος ενεργού ποσότητας ασφάλτου
- $V_{\mu\delta\kappa}$ = Όγκος μίγματος δίχως κενά
- $V_{ασφ}$ = Όγκος απορροφηθείσης ασφάλτου

Σχήμα 4.6 Ογκομετρική απεικόνιση ασφαλτομίγματος

Εφ' όσον είναι γνωστό το ειδικό βάρος των αδρανών και της ασφάλτου ($G_{ασφ}$), μπορούν να καθορισθούν τα επόμενα φυσικά μεγέθη και

ιδιότητες του ασφαλτομίγματος. Το ειδικό βάρος της ασφάλτου κυμένεται, συνήθως από 1.01 έως 1.02 g/cm³.



Σχήμα 4.7 Ασφαλτομίγματα (τρία αδρανή σε μεγένθυση) -επεξήγηση εννοιών

Κενά αέρος στο συμπυκνωμένο ασφαλτόμιγμα

Το ποσοστό των κενών αέρος στο συμπυκνωμένο ασφαλτόμιγμα υπολογίζεται από την εξίσωση 4.1:

$$V_a = [(G_{\mu\mu} - G_{\phi\mu}) / G_{\mu\mu}] / G_{\mu\mu} \times 100, (\%) \quad (6.1)$$

όπου $G_{\mu\mu}$ = μέγιστο ειδικό βάρος "χαλαρού" ασφαλτομίγματος, gr/cm³
 $G_{\phi\mu}$ = φαινόμενο ειδικό βάρος του συμπυκνωμένου ασφαλτομίγματος, gr/cm³.

Η τιμή του μέγιστου ειδικού βάρους του ασφαλτομίγματος $G_{\mu\mu}$ αλλάζει καθώς αλλάζει η περιεκτικότητα της ασφάλτου ($P_{ασφ}$) και κατ' επέκταση το ποσοστό των αδρανών ($P_{αδρ}$) στο ασφαλτόμιγμα. Ομοίως αλλάζει και το φαινόμενο ειδικό βάρος του συμπυκνωμένου ασφαλτομίγματος, για τον αυτό βαθμό συμπύκνωσης. Έτσι για κάθε περιεκτικότητα σφάλτου στο μίγμα θα πρέπει να υπολογίζεται τόσο το μέγιστο ειδικό βάρος του ασφαλτομίγματος όσο και το φαινόμενο ειδικό βάρος του συμπυκνωμένου ασφαλτομίγματος.

Το μέγιστο ειδικό βάρος του ασφαλτομίγματος μπορεί να υπολογισθεί από τα ειδικά βάρη των συστατικών του ασφαλτομίγματος χρησιμοποιώντας τη γενική εξίσωση:

$$G_{\mu\mu} = 100 / [P_{\alpha\delta\rho} / G_x + (P_{\alpha\sigma\phi} / G_{\alpha\sigma\phi})] \quad (4.2)$$

όπου $P_{\alpha\delta\rho}$, $P_{\alpha\sigma\phi}$ = ποσοστό αδρανών και ασφάλτου αντίστοιχα στο μίγμα

G_x = ειδικό βάρος μίγματος αδρανών, για οποιαδήποτε έκφραση "x" του ειδικού βάρους,

υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\%AY = (B-A) / Ax100$$

όπου $\%AY$ = ποσοστό απορρόφησης υγρασίας

A = μάζα ξηρού αδρανούς, gr

B = μάζα υγρού αδρανούς, gr

$G_{\alpha\sigma\phi}$ = ειδικό βάρος ασφάλτου.

Ως ειδικό βάρος του μίγματος αδρανών θα μπορούσε να ληφθεί είτε το φαινόμενο ειδικό βάρος είτε το σχετικό ειδικό βάρος των αδρανών. Πλήν όμως, τα δυο αυτά μεγέθη είναι διάφορα μεταξύ τους ιδιαίτερα όταν τα αδρανή είναι πορώδη. Για τον υπολογισμό του φαινόμενου ειδικού βάρους των αδρανών λαμβάνεται ως όγκος και ο όγκος των διαπερατών από το νερό πόρων (πόροι που απορρόφησαν νερό) ενώ για το σχετικό ειδικό βάρος όχι. Και στις δυο περιπτώσεις γίνεται αναφορά σε απορρόφηση ύδατος και όχι ασφάλτου από τα αδρανή, που είναι η πραγματικότητα, και τα πράγματα περιπλέκονται ακόμη περισσότερο.

Το ποσοστό απορρόφησης ασφάλτου είναι πάντοτε μικρότερο του ποσοστού απορρόφησης ύδατος των αδρανών. Το πόσο μικρότερη είναι η

Το μέγιστο ειδικό βάρος του ασφαλτομίγματος κατά Rise (Rise το όνομα του ερευνητή που πρότεινε τη δοκιμή) υπολογίζεται εργαστηριακά σύμφωνα με την προδιαγραφή ASTM D 2041⁽²²⁾.

Σύμφωνα με την προδιαγραφή αυτή, γνωστή ποσότητα "χαλαρού" ασφαλτομίγματος τοποθετείται εντός ειδικού δοχείου και καλύπτεται πλήρως με νερό 25°C. Ο αέρας που εμπεριέχεται μεταξύ των αδρανών του ασφαλτομίγματος απομακρύνεται με τη σταδιακή αύξηση της υποπίεσης που δημιουργείται στο δοχείο. Όταν η υποπίεση φτάσει τα 30mm υδραργύρου διατηρείται για 5 έως 15 λεπτά και το περιεχόμενο δονείται για να διευκολυνθεί η απομάκρυνση του αέρα που πιθανόν να εγκλωβίσθηκε μεταξύ των καλυμμένων με άσφαλο αδρανών. Το θεωρητικά μέγιστο ειδικό βάρος του ασφαλτομίγματος υπολογίζεται κάνοντας χρήση μιας από τις παρακάτω δυο εξισώσεις, η οποία εξαρτάται από το εάν ο όγκος του ασφαλτομίγματος καθορίζεται ζυγίζοντας το ειδικό δοχείο με το μίγμα στο νερό ή το ασφαλτόμιγμα μόνο στο νερό:

$$G_{\mu R} = A/(A-\Gamma) \quad (4.5)$$

όπου A = βάρος του ασφαλτομίγματος

Γ = βάρος του ασφαλτομίγματος στο νερό (25°C)

ή

$$G_{\mu R} = A/(A+\Delta-E) \quad (4.6)$$

όπου Δ = βάρος του δοχείου γεμάτο με νερό

E = βάρος του δοχείου γεμάτο με ασφαλτόμιγμα και νερό (25°C)

Το $G_{\mu R}$ θα μπορούσε να υπολογισθεί κάθε φορά που αλλάζε η περιεκτικότητα της ασφάλτου στο μίγμα και να χρησιμοποιείται αυτούσιο για τον υπολογισμό του ποσοστού των κενών, σχέση 4.1. Πλήν όμως, για την ακρίβεια της δοκιμής, συνίσταται όπως καθορίζεται μια φορά σε ασφαλτόμιγμα με ποσοστό ασφάλτου περίπου ίσο με το βέλτιστο, και κατόπιν, το μέγιστο ειδικό βάρος του ασφαλτομίγματος, για οποιοδήποτε ποσοστό ασφάλτου, υπολογίζεται από τη σχέση 4.2 σε συνδυασμό με τη σχέση 4.3. Για όλες τις πρακτικές εφαρμογές το ενεργό ειδικό βάρος των

αδρανών είναι σταθερό διότι η απορροφητικότητα της ασφάλτου δεν επηρεάζεται αισθητά από τις αυξομειώσεις της ποσότητας της ασφάλτου στο μίγμα. Επίσης η τιμή που λαμβάνει το ενεργό ειδικό βάρος του μίγματος των αδρανών είναι πάντοτε μικρότερη του σχετικού ειδικού βάρους και μεγαλύτερη του φαινόμενου ειδικού βάρους του μίγματος των αδρανών ($G_{σχ} < G_{\epsilon} < G_{\phi}$). Σε αντίθετη περίπτωση θα πρέπει να επαναλαμβάνονται οι δοκιμές, πρώτα για τον καθορισμό του $G_{\mu R}$ και κατόπιν για τον καθορισμό του $G_{σχ}$ και G_{ϕ} των αδρανών και κατ' επέκταση του μίγματος των αδρανών.

Η παραπάνω μεθοδολογία συνιστάται από το Asphalt Institute για τον υπολογισμό του μέγιστου ειδικού βάρους και κατ' επέκταση του ποσοστού των κενών αέρος στο μίγμα.

Ορισμένα εργαστήρια, χρησιμοποιούν ως μέγιστο ειδικό βάρος ασφαλτομίγματος την τιμή που προκύπτει από τη σχέση 4.2 αλλά ως G_x λαμβάνουν το μέσο όρο μεταξύ φαινόμενου και σχετικού ειδικού βάρους αδρανών ή το σχετικό ειδικό βάρος των αδρανών. Ελάχιστα εργαστήρια χρησιμοποιούν επίσης και το φαινόμενο ειδικό βάρος των αδρανών. Εάν τα αδρανή είχαν μηδενική απορροφητικότητα σε νερό οι υπολογισμοί θα κατέληγαν στο ίδιο αποτέλεσμα.

Θα μπορούσε να ειπωθεί ότι, όταν τα αδρανή δεν έχουν μεγάλη απορροφητικότητα, δηλ. ποσοστό απορρόφησης ύδατος (υγρασίας) μικρότερο του 0.5% περίπου, το μέγιστο ειδικό βάρος του ασφαλτομίγματος μπορεί να προσδιορισθεί, με σχετική ακρίβεια, με οποιονδήποτε από τους τρόπους που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο.

Το φαινόμενο ειδικό βάρος συμπυκνωμένου ασφαλτομίγματος υπολογίζεται από το βάρος του συμπυκνωμένου δοκιμίου και τον όγκο αυτού. Ο όγκος του δοκιμίου, όταν αυτό έχει πυκνή και λεία υφή δίχως επιφανειακούς πόρους, υπολογίζεται δια εμβαπτίσεως αυτού σε νερό δίχως καμία προεργασία της επιφάνειάς του δοκιμίου. Η αναλυτική διαδικασία της δοκιμής περιγράφεται στη προδιαγραφή ASTM D 2726⁽²³⁾. Το δοκίμιο τοποθετείται σε καλάθι που είναι κρεμασμένο από ζυγό ακριβείας, έτσι ώστε να ζυγίζεται αυτόματα, και όλα μαζί τοποθετούνται σε υδρόλουτρο 25°C. Μετά από τρία έως πέντε λεπτά λαμβάνεται η ένδειξη του βάρους και χαρακτηρίζεται ως βάρος δοκιμίου στο νερό (ο ζυγός είχε προηγουμένως μηδενισθεί με το καλάθι άδειο και πλήρως εμβαπτισμένο στο νερό). Κατόπιν το δοκίμιο απομακρύνεται από το υδρόλουτρο σκουπίζεται ελαφρώς, έτσι

το δοκίμιο απομακρύνεται από το υδρόλουτρο σκουπίζεται ελαφρώς, έτσι ώστε να μη στάζουν νερά, και ζυγίζεται. Το βάρος αυτό χαρακτηρίζεται ως βάρος κορεσμένου δοκιμίου με στεγνή επιφάνεια. Το φαινόμενο ειδικό βάρος συμπυκνωμένου ασφαλτομίγματος υπολογίζεται από τη σχέση:

$$G_{\phi\mu} = A/(B-\Gamma) \quad (4.7)$$

- όπου A = βάρος του δοκιμίου στον αέρα
 B = βάρος κορεσμένου δοκιμίου με στεγνή επιφάνεια
 Γ = βάρος του δοκιμίου στο νερό.

Όταν το ασφαλτόμιγμα έχει επιφανειακούς πόρους (ασφαλτόμιγμα ανοικτής διαβάθμισης ή χονδρόκοκκο ασφαλτόμιγμα) το φαινόμενο ειδικό βάρος του συμπυκνωμένου ασφαλτομίγματος υπολογίζεται σύμφωνα με την προδιαγραφή ASTM D 1188⁽²⁴⁾. Η διαδικασία της δοκιμής είναι ίδια με την προηγούμενη μόνο που το συμπυκνωμένο ασφαλτόμιγμα (δοκίμιο ή "καρότο") καλύπτεται με παραφίνη για να αποτραπεί η απορρόφηση ύδατος και πλήρωση των πόρων του μίγματος με νερό.

Το φαινόμενο ειδικό βάρος του συμπυκνωμένου ασφαλτομίγματος, στην περίπτωση αυτή, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$G_{\phi\mu} = A/[\Delta-E-(\Delta-A)/G_{\pi}] \quad (4.8)$$

- όπου A = βάρος του δοκιμίου στον αέρα
 Δ = βάρος του δοκιμίου με παραφίνη στον αέρα
 E = βάρος του δοκιμίου με παραφίνη στο νερό, και
 G_π = ειδικό βάρος της παραφίνης (συνήθως 0.89 gr/cm³).

Για να υπολογισθεί η πυκνότητα του συμπυκνωμένου ασφαλτομίγματος, το φαινόμενο ειδικό βάρος αυτού θα πρέπει, και στις δυο περιπτώσεις, να πολλαπλασιαστεί με το συντελεστή 0.9970 gr/cm³. Ο συντελεστής αυτός είναι η πυκνότητα του ύδατος στους 25°C. Αρκετά εργαστήρια χρησιμοποιούν το συντελεστή 1.000, που είναι η πυκνότητα του ύδατος στους 4°C, αλλά θεωρούν ότι δίνει επαρκή ακρίβεια υπολογισμών.

Κενά στο σκελετό των αδρανών (VMA)

Τα κενά στο σκελετό των αδρανών (ή κενά στα συμπυκνωμένα αδρανή), ορίζονται ως ο όγκος που καταλαμβάνουν τα κενά αέρος και ο όγκος που καταλαμβάνει η άσφαλτος, - η ενεργός άσφαλτος, δηλαδή αυτή που απέμεινε μετά την πιθανή απορρόφηση κάποιας μικρής ποσότητας από τα αδρανή. Το VMA εκφράζεται σε ποσοστό επί του συνολικού φαινομένου συμπυκνωμένου όγκου του ασφαλτομίγματος και υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$VMA = 100 - (G_{\phi\mu} \times P_{\alpha\delta\rho} / G_{\phi}), (\%) \quad (4.9)$$

όπου $G_{\phi\mu}$ = φαινόμενο ειδικό βάρος του συμπυκνωμένου ασφαλτομίγματος

G_{ϕ} = φαινόμενο ειδικό βάρος του μίγματος των αδρανών

$P_{\alpha\delta\rho}$ = ποσοστό των αδρανών στο ασφαλτόμιγμα.

Εξ ορισμού το VMA ισούται επίσης με το αλγεβρικό άθροισμα του όγκου των κενών αέρα (V_a) συν τον όγκο που καταλαμβάνει η ενεργός ποσότητα ασφάλτου ($V_{\epsilon\alpha\sigma\phi}$) ή τον όγκο της αρχικής ποσότητας ασφάλτου στην περίπτωση που δεν υπάρχει απορρόφηση από τα αδρανή, ήτοι:

$$VMA = V_a + V_{\epsilon\alpha\sigma\phi} (\text{ή } V_{\alpha\sigma\phi}) \quad (4.10)$$

Έτσι, σε περίπτωση που ήθελε υπολογισθεί ο όγκος της ασφάλτου συναρτήσει του συμπυκνωμένου όγκου του ασφαλτομίγματος, αυτός μπορεί να υπολογισθεί από την παραπάνω εξίσωση αφού υπολογισθεί το VMA και το V_a .

Ο όγκος της ασφάλτου ($V_{\epsilon\alpha\sigma\phi}$ ή $V_{\alpha\sigma\phi}$) μπορεί να υπολογισθεί, ανεξάρτητα, και από την παρακάτω εξίσωση:

$$V_{\epsilon\alpha\sigma\phi} (\text{ή } V_{\alpha\sigma\phi}) = [(G_{\phi\mu}/) - (G_{\phi\mu} \times P_{\alpha\delta\rho}/)] \times 100, (\%) \quad (4.11)$$

όπου $G_{\phi\mu}$ = φαινόμενο ειδικό βάρος του συμπυκνωμένου ασφαλτομίγματος

$G_{\mu\mu}$ = μέγιστο φαινόμενο βάρος "χαλαρού" ασφαλτομίγματος

- G_{ϕ} = φαινόμενο ειδικό βάρος του μίγματος των αδρανών
 $P_{\alpha\delta\rho}$ = ποσοστό των αδρανών στο ασφαλτόμιγμα

Ποσοστό κενών που πληρώθηκαν με άσφαλτο (VFA)

Το VFA ορίζεται ως το ποσοστό των κενών στο σκελετό των αδρανών που πληρώθηκαν με άσφαλτο. Η τιμή του VFA υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$VFA = [V_{\epsilon\alpha\sigma\phi} \text{ ή } V_{\alpha\sigma\phi})/VMA] \times 100, (\%) \quad (4.12)$$

Ποσοστό απορρόφησης ασφάλτου

Το ποσοστό απορρόφησης ασφάλτου εκφράζεται συναρτήσει του βάρους των αδρανών και όχι συναρτήσει του βάρους του ασφαλτομίγματος. Το ποσοστό απορρόφησης ασφάλτου ($P_{\alpha\sigma\phi}$) υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$P_{\alpha\sigma\phi} = (G_{\epsilon\alpha\delta\rho} - G_{\phi\alpha}) / (G_{\phi\alpha} \times G_{\epsilon\alpha\delta\rho}) \times G_{\alpha\sigma\phi} \times 100, (\%) \quad (4.13)$$

- όπου $G_{\epsilon\alpha\delta\rho}$ = ενεργό ειδικό βάρος αδρανών
 $G_{\phi\alpha}$ = φαινόμενο ειδικό βάρος αδρανών
 $G_{\alpha\sigma\phi}$ = ειδικό βάρος ασφάλτου.

Ενεργός ποσότητα ασφάλτου στο ασφαλτόμιγμα

Η ποσότητα της ασφάλτου που απομένει μετά την απορρόφηση μέρους αυτής από τα αδρανή και ονομάζεται ενεργός ποσότητα ασφάλτου, είναι αυτή που θα καλύψει τα αδρανή, θα δώσει τη συνοχή στο ασφαλτόμιγμα, θα καλύψει ορισμένα από τα κενά του ασφαλτομίγματος και γενικότερα θα επηρεάσει τη συμπεριφορά του ασφαλτομίγματος. Η ποσότητα της ενεργού ασφάλτου ($P_{\epsilon\alpha\sigma\phi}$) εκφράζεται ως ποσοστό επί του ασφαλτομίγματος και υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$P_{\epsilon\alpha\sigma\phi} = P_{\alpha\sigma\phi} - (P_{\alpha\sigma\phi}/100) \times P_{\alpha\delta\rho}, (\%) \quad (4.14)$$

- όπου $P_{\alpha\sigma\phi}$ = ποσοστό ασφάλτου στο ασφαλτόμιγμα
 $P_{\alpha\alpha\sigma\phi}$ = ποσοστό απορρηφθείσης ασφάλτου κατά βάρος αδρανών

$P_{\alpha\delta\rho}$ = ποσοστό αδρανών στο ασφαλτόμιγμα.

Πάχος υμένα ασφάλτου

Το πάχος του υμένα της ασφάλτου, παρόλο που δε χρησιμοποιείται ως κριτήριο για τη σύνθεση του ασφαλτομίγματος κατά Marshall, είναι μια παράμετρος χρήσιμη διότι από το πάχος του υμένα της ασφάλτου εξαρτάται η ταχύτητα οξειδωσης της ασφάλτου κατά τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος. Ένα ασφαλτόμιγμα μπορεί να ικανοποιεί τις απαιτούμενες μηχανικές ιδιότητες αλλά να έχει πολύ λεπτό πάχος υμένα με αποτέλεσμα να αναμένεται να αποσαθρωθεί ή να ρηγματωθεί πρόωρα λόγω της γρήγορης οξειδωσης της ασφάλτου.

Το πάχος του υμένα της ασφάλτου $T_{\alpha\sigma\phi}$, (θεωρητική τιμή) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$T_{\alpha\sigma\phi} = [P_{\alpha\sigma\phi}/(100 - P_{\alpha\sigma\phi})] \times [1/G_{\alpha\sigma\phi}] \times [1/A_{\alpha.s.f.}] \quad (4.15)$$

όπου $P_{\alpha\sigma\phi}$ = ποσοστό ασφάλτου στο μίγμα (ενεργό εάν υπάρχει απορρόφηση ασφάλτου)

$G_{\alpha\sigma\phi}$ = ειδικό βάρος ασφάλτου

$\Sigma_{\alpha.s.f.}$ = συνολική ειδική επιφάνεια μίγματος αδρανών.

Για τον υπολογισμό της ειδικής επιφάνειας των αδρανών (ε.ε.α) χρησιμοποιείται η μέθοδος που κάνει χρήση των συντελεστών ειδικής επιφάνειας H_{veem} . Υποθέτοντας ότι το σχήμα των αδρανών είναι σφαιρικό και το ειδικό βάρος των αδρανών 2.65, οι συντελεστές ανά μέγεθος κόσκινου δίνονται στον Πίνακα 4.19. Η συνολική ειδική επιφάνεια των αδρανών είναι το αλγεβρικό άθροισμα του γινομένου του ποσοστού που διέρχεται από το κάθε κόσκινο επί τον αντίστοιχο συντελεστή ειδικής επιφάνειας (s.a.f.), παράδειγμα Πίνακα 4.19. Βασική προϋπόθεση είναι να χρησιμοποιούνται τα ίδια κόσκινα με αυτά που δίνονται στον Πίνακα 4.19.

Κόσκινο (mm)	Συντελ ειδικής επιφανείας (s.a.f) (m ² /Kg)	Παράδειγμα			
		Κόσκινο	Διερχόμενο	(s.a.f)	Ειδική επιφάνεια
		19.0mm	100 x	0.41	=0.41
>4.75	0.41 ^(*)	9.5mm	90	-	
4.75	0.41	4.75mm	75 x	0.41	=0.31
2.36	0.82	2.36mm	60 x	0.82	=0.49
1.18	1.64	1.18mm	45 x	1.64	=0.74
0.600	2.87	0.600mm	35 x	2.87	=1.00
0.300	6.14	0.300mm	25 x	6.14	=1.54
0.150	12.29	0.150mm	18 x	12.29	=2.21
0.075	32.77	0.075mm	10 x	32.77	=3.28
Συνολ. ειδική επιφ. αδρανών					=9.98 m ² /Kg

(*) Όλα τα περισσότερα χονδρόκοκκα αδρανή θεωρούνται ότι έχουν ειδική επιφάνεια ίση με 0.41

Πίνακας 4.19 Συντελεστές ειδικής επιφανείας και παράδειγμα υπολογισμού

4.3.3 Σύνθεση ασφαλτομιγμάτων με τη μέθοδο Hveem

Η μέθοδος Hveem για τη σύνθεση ασφαλτομιγμάτων κλειστού τύπου δεν είναι τόσο διαδεδομένη όσο η μέθοδος Marshall και για το λόγο αυτό θα δοθεί μόνο μια σύντομη περιγραφή.

Τα βασικά χαρακτηριστικά της μεθόδου είναι ο αναλυτικός καθορισμός της περίπου βέλτιστης ποσότητας (περιεκτικότητας) της ασφάλτου στο μίγμα καθώς και ο διαφορετικός τρόπος συμπύκνωσης των δοκιμίων.

Η περίπου βέλτιστη περιεκτικότητα της ασφάλτου καθορίζεται από ειδικό διάγραμμα αφού καθοριστεί πρώτα η επιφανειακή σταθερά των λεπτόκοκκων αδρανών (K_f) και η σταθερά των χονδρόκοκκων αδρανών (K_c).

Η πρώτη σταθερά (K_f) προσδιορίζεται από ειδικό διάγραμμα αφού προηγουμένως καθορισθεί εργαστηριακά το Ισοδύναμο Κηροζίνης μετά από Φυγοκέντριση (CKE). Κατά τη δοκιμή Ισοδύναμου Κηροζίνης με Φυγοκέντριση (CKE), η ποσότητα αδρανών και κηροζίνης τοποθετούνται σε φυγοκεντρική συσκευή και αφήνονται για ορισμένη ώρα έτσι ώστε τα αδρανή να

κορεσθούν πλήρως από κηροζίνη. Κατόπιν το περιεχόμενο υφίσταται φυγοκέντριση και έτσι απομακρύνεται η κηροζίνη. Το ποσό της κηροζίνης που παρακρατήθηκε είναι το ισοδύναμο κηροζίνης (CKE).

Η δεύτερη σταθερά (K_c) προσδιορίζεται από διάγραμμα αφού καθορισθεί η ποσότητα ειδικού ελαίου (SAE 10) που παρακρατήθηκε από τα χονδρόκοκκα αδρανή. Και στις δυο περιπτώσεις είναι απαραίτητη η γνώση της ειδικής επιφάνειας του μίγματος των αδρανών, που υπολογίζεται όπως επεξηγήθηκε παραπάνω.

Αφού καθορισθεί η περίπου βέλτιστη περιεκτικότητα παρασκευάζονται δοκίμια, με διαφορετική περιεκτικότητα ασφάλτου γύρω από την περίπου βέλτιστη περιεκτικότητα που καθορίσθηκε, χρησιμοποιώντας διαφορετική συσκευή συμπύκνωσης από αυτήν της μεθόδου Marshall. Τα παρασκευασθέντα δοκίμια ελέγχονται στους 60°C ως προς την ευστάθεια και ως προς τη διόγκωση κατά Hveem, χρησιμοποιώντας το ευσταθειόμετρο Hveem. Το μίγμα με τη βέλτιστη περιεκτικότητα σε άσφαλο θα πρέπει να πληρεί τα σχεδιαστικά κριτήρια κατά Hveem.

4.3.4 Σύνθεση ασφαλτομιγμάτων πυκνής διαβάθμισης με χονδρόκοκκα αδρανή ονομαστικού μεγέθους $>25\text{mm}$

Τα ασφαλτομίγματα με χονδρόκοκκα αδρανή ονομαστικού μεγέθους $>25\text{mm}$, συνήθως ασφαλτομίγματα βάσεων, δεν μπορούν να συνθεθούν με την τυποποιημένη μέθοδο Marshall όπως περιγράφηκε παραπάνω.

Η σύνθεση των ασφαλτομιγμάτων αυτών και ειδικότερα ο καθορισμός της βέλτιστης περιεκτικότητας στο ασφαλτόμιγμα επιτυγχάνεται είτε με την τυποποιημένη μέθοδο Marshall, είτε από κάποια μαθηματική σχέση, είτε από συγκεκριμένες διαβαθμίσεις που χρησιμοποιούνται. Μπορεί επίσης να εφαρμόσει κανείς και τη μεθοδολογία της FAA που εφαρμόζεται στις ασφατικές βάσεις οδοστρωμάτων αεροδρομίων και η οποία βασίζεται στη μέθοδο Marshall.

Γενικότερα, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι επειδή τα μίγματα αυτά έχουν κατά κανόνα χαμηλότερα ποσοστά λεπτόκοκκων αδρανών και παιπάλης, περισσότερα κενά και προστατεύονται από υπερκείμενες ασφατικές στρώσεις, η απαίτηση για αυξομείωση της περιεκτικότητας ασφάλτου στο μίγμα κάθε φορά που αλλάζει η κοκκομετρική καμπύλη

(πάντοτε όμως εντός των προδιαγραφομένων ορίων) δεν είναι τόσο επιτακτική. Αυτό δεν συνεπάγεται ότι τα μίγματα μπορεί να είναι "φτωχά" ή πολύ "πλούσια" σε άσφαλο. Και οι δύο ακραίες περιπτώσεις είναι μη αποδεκτές δεδομένου ότι θα δημιουργήσουν, και στη μία και στην άλλη περίπτωση, πρόβλημα.

Σύνθεση με τροποποιημένη μέθοδο Marshall

Η τροποποιημένη μέθοδος Marshall για μίγματα με χονδρόκοκκα αδρανή ονομαστικού μεγέθους >25mm προτάθηκε από τον Kandhal και προτείνεται από το Asphalt Institute¹. Κατά τη μέθοδο αυτή τα δοκίμια που παρασκευάζονται είναι μεγαλύτερης διαμέτρου (152.4mm) και μεγαλύτερου ύψους, περίπου 95mm. Η συμπύκνωσή τους γίνεται με μεγαλύτερο βάρος πίπτοντος εμβόλου, δηλαδή 10.2Kg, ενώ το ύψος από το οποίο αφήνεται να πέσει είναι το ίδιο. Ο αριθμός των κτύπων είναι 1.5 φορές μεγαλύτερος αυτών της κανονικής μεθόδου. Δηλαδή 112 κτύποι έναντι των 75 και 75 κτύποι έναντι των 50 κτύπων.

Τα σχεδιαστικά κριτήρια είναι όμοια με αυτά που δίνονται στον Πίνακα 4.17, με μόνη τη διαφορά ότι οι ελάχιστες τιμές της ευστάθειας αυξάνονται κατά 2.25 φορές και τα όρια της παραμόρφωσης κατά 1.5 φορές.

Λόγω του διαφορετικού μεγέθους των δοκιμίων οι διορθωτικοί συντελεστές της ευστάθειας αλλάζουν και είναι αυτοί που δίνονται στον Πίνακα 4.20. Η λοιπή διαδικασία για τον καθορισμό της βέλτιστης περιεκτικότητας είναι ακριβώς η ίδια με αυτήν που προαναφέρθηκε στην παράγραφο 4.3.1.

Προσδιορισμός ποσοστού ασφάλτου από μαθηματική σχέση

Οι διαφορετικές σχέσεις που έχουν αναπτυχθεί βασίζονται όλες στη θεωρία της σχετικής επιφάνειας των αδρανών. Μια από τις σχέσεις που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της ποσότητας ασφάλτου, ($P_{ασφ}$), στο μίγμα είναι αυτή που συνιστάται από την ΠΤΠ Α 260⁽²³⁾ και είναι:

$$P_{ασφ} = 0.035\alpha + 0.04\beta + (0.18\gamma \text{ ή } 0.20\gamma) + F \quad (4.16)$$

- όπου $P_{ασφ}$ = ποσοστό ασφάλτου κατά βάρος μίγματος
- α = συγκρατούμενο ποσοστό αδρανών υλικών στο κόσκινο No.8, κατά βάρος αδρανών
- β = ποσοστό αδρανών διερχόμενο του κόσκινου No. 8 και συγκρατούμενο στο κόσκινο No.200
- γ = ποσοστό παιπάλης (διερχόμενο του κόσκινου No.200)
- F = μεταβλητή εξαρτωμένη από το ειδικό βάρος και το πορώδες των αδρανών, μεταβάλλεται από 0-15% και σπάνια για πολύ απορροφητικά αδρανή μέχρι 2%. Απουσία άλλων δεδομένων η τιμή F από 0.7 έως 1.0% καλύπτει όλες τις περιπτώσεις ο συντελεστής 0.20 χρησιμοποιείται όταν το ποσοστό της παιπάλης είναι μικρότερο ή ίσο του 5%, σε όλες τις άλλες περιπτώσεις λαμβάνεται το 0.18.

Ύψος δοκιμίου (mm)	Όγκος δοκιμίου (cm ³)	Διορθωτικός συντελεστής
88.9	1608 - 1626	1.12
90.5	1637 - 1665	1.09
92.1	1666 - 1694	1.06
93.7	1695 - 1723	1.03
95.2	1724 - 1752	1.00
96.8	1753 - 1781	0.97
98.4	1782 - 1810	0.95
100.0	1811 - 1839	0.92
101.6	1840 - 1868	0.90

Πίνακας 4.20 Διορθωτικοί συντελεστές τροποποιημένης μεθόδου Marshall για χονδρόκοκκα ασφαλτομίγματα πυκνής διαβάθμισης

Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις δηλαδή όταν το ασφαλτόμιγμα βάσεως έχει αδρανή με μέγιστη ονομαστική διάσταση μικρότερη των 25.4mm μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μεθοδολογία Marshall.

Σύνθεση ασφαλτομιγμάτων βάσεων κατά FAA

Οι Ομοσπονδιακές Αρχές Αεροδρομίων (FAA) των ΗΠΑ, για τη σύνθεση των ασφαλτομιγμάτων με χονδρόκοκκα αδρανή μεγαλύτερα των 25.4mm, σε ποσοστό μεγαλύτερο του 10%, προτείνουν και πάλι τη μεθοδολογία Marshall με την παρακάτω διαφοροποίηση.

Το ασφαλτόμιγμα για την παρασκευή των δοκιμών παρασκευάζεται κανονικά (μίγμα αδρανών ως έχει). Πρίν τη συμπύκνωση των δοκιμών, τα αδρανή που υπερβαίνουν τα 25.4mm απομακρύνονται και κατόπιν συνεχίζεται η συμπύκνωση και ο έλεγχος αυτών, όπως καθορίζεται από τη μεθοδολογία Marshall.

Για τους υπολογισμούς των κενών καθώς και των κενών που πληρώθηκαν με άσφαλτο χρησιμοποιείται το διορθωμένο ειδικό βάρος του συμπυκνωμένου ασφαλτομίγματος, $\Delta G_{\phi\mu}$, που δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\Delta g_{\phi\mu} = \{100/[(A/\Gamma)+(B/E)]\} \times 0.995 \quad (4.17)$$

όπου A = ποσοστό αδρανών μεγέθους μεγαλύτερου από 25.4mm, κατά βάρος ασφαλτομίγματος

B = 100-A

Γ = φαινόμενο ειδικό βάρος αδρανών με μέγεθος μεγαλύτερο των 25.4mm

E = φαινόμενο ειδικό βάρος δοκιμών

0.995 = διορθωτικός συντελεστής.

Αφού υπολογισθούν όλα τα απαραίτητα μεγέθη για το σχεδιασμό των διαγραμμάτων Marshall, το τελικό μίγμα με τη βέλτιστη περιεκτικότητα σε άσφαλτο θα πρέπει να πληρεί τις απαιτήσεις του Πίνακα 4.21.

Κριτήρια Marshall	Κατηγορία Αεροδρομίου	
	Όλες οι κατηγορίες πλην μικρών αεροδρομίων	Μικρά αεροδρόμια ^(α)
Συμπύκνωση, κτύποι	2x75	2x50
Ελάχιστη Ευστάθεια, KN (lb)	8.0(1800)	4.5(1000)
Παραμόρφωση, mm	2.0-4.0	2.0-4.0
Κενά αέρος, %	3.0-8.0	3.0-8.0
Κενά που πληρώθηκαν με άσφαλτο (VFA), %	60-70	65-75

^(α) Μικρά αεροδρόμια χαρακτηρίζονται αυτά που πρόκειται να εξυπηρετήσουν αεροσκάφη μικτού βάρους < 30.000 lb (~15 τόννοι)

Πίνακας 4.21 Σχεδιαστικά κριτήρια Marshall ασφαλτομιγμάτων βάσεων για αεροδρόμια κατά FAA⁽³⁴⁾

4.3.5 Σύνθεση ασφαλτομιγμάτων ανοικτού τύπου για πορώδεις τάπητες

Ο κύριος σκοπός κατά τη σύνθεση των ασφαλτομιγμάτων ανοικτού τύπου για πορώδεις τάπητες είναι να καθοριστεί η κατάλληλη κοκκομετρική καμπύλη των αδρανών έτσι ώστε το μίγμα να έχει το επιθυμητό υψηλό ποσοστό κενών, καθώς και την κατάλληλη ποσότητα ασφάλτου, έτσι ώστε αυτή να μην αποστραγγίζεται από το μίγμα αλλά να είναι επαρκής για την καλή και για μακρό χρονικό διάστημα συγκόλληση των αδρανών του μίγματος.

Οι μηχανικές ιδιότητες του ασφαλτομίγματος, όπως ευστάθεια ή άλλες θεμελιώδεις μηχανικές ιδιότητες δεν είναι αμέσου προτεραιότητας, διότι ο κύριος ρόλος των μιγμάτων αυτών δεν είναι να αυξήσουν τη φέρουσα ικανότητα του οδοστρώματος ή να βελτιώσουν την καλύτερη κατανομή των φορτίων, αλλά να απομακρύνουν γρήγορα το νερό της βροχής, αποφεύγοντας έτσι την υδρολίσθηση και παρέχοντας πολύ καλό συντελεστή αντίστασης στην ολίσθηση ακόμη και όταν η επιφάνεια του οδοστρώματος είναι υγρή. Βεβαίως, η καλή μηχανική συμπεριφορά του μίγματος, ειδικότερα η αντίσταση αυτού σε παραμόρφωση, πρέπει να είναι δεδομένη. Το τελευταίο διασφαλίζεται από την κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών καθώς και από

τη χρήση, κατ' αποκλειστικότητα, θραυστών σκληρών αδρανών. Η κοκκομετρική καμπύλη είναι τέτοια που επιβάλλει τη φυσική επαφή, την τριβή και τη σύμπλεξη των αδρανών. Το γεγονός ότι χρησιμοποιούνται αδρανή με θραυστές επιφάνειες αυξάνει περαιτέρω την τριβή και την αντίσταση των αδρανών στη μετατόπιση κάτω από την επίδραση των αξονικών φορτίων. Έτσι, εφ' όσον τα μίγματα αυτά συμπυκνωθούν επαρκώς δε θα πρέπει να αναμένεται να αναπτυχθεί σημαντική παραμένουσα παραμόρφωση.

Το επιθυμητό ποσοστό των κενών στο μίγμα επιτυγχάνεται με την τήρηση της προκαθορισμένης από προδιαγραφές κοκκομετρικής καμπύλης, που σημαίνει ακριβή καθορισμό των αναλογιών των αδρανών προς σύνθεση. Το στάδιο είναι όμοιο με τη σύνθεση κάθε άλλου ασφαλτομίγματος.

Για τον καθορισμό της βέλτιστης ποσότητας ασφάλτου θα πρέπει να ακολουθηθεί κατάλληλη μεθοδολογία. Επί του παρόντος, δεν υπάρχει μια διεθνώς αποδεκτή. Κάθε εργαστήριο ή οργανισμός έχει αναπτύξει τη δικιά του ή ακολουθεί μια από τις ήδη αναπτυχθείσες που τη θεωρεί ως την καταλληλότερη. Οι ελληνικές τεχνικές οδηγίες για την κατασκευή πορωδών ταπήτων⁽¹⁸⁾ προτείνουν να ακολουθείται η διαδικασία με ορυκτέλαιο που ανέπτυξε η ομοσπονδιακή υπηρεσία αυτοκινητοδρόμων FHWA στις ΗΠΑ. Η διαδικασία αυτή είναι παλαιά (1974), αρκετά πολύπλοκη και καθορίζει το ποσοστό της ασφάλτου έμμεσα, από την ποσότητα ειδικού ελαίου που χρησιμοποιείται. Για τους λόγους αυτούς στο Εργαστήριο Οδοποιίας του ΑΠΘ χρησιμοποιείται η νεώτερη μεθοδολογία που προτείνεται από το TRRL Αγγλίας, η οποία αναπτύχθηκε ειδικά για μίγματα για πορώδεις τάπητες. Στη μεθοδολογία αυτή χρησιμοποιείται η δοκιμή αποστράγγισης ασφάλτου, η οποία περιγράφεται εν συντομία παρακάτω.

Με τη δοκιμή αποστράγγισης της ασφάλτου καθορίζεται η μέγιστη δυνατή ποσότητα ασφάλτου που μπορεί το μίγμα να παραλάβει έτσι ώστε να μην παρατηρείται αποστράγγιση αυτής κατά τη μεταφορά του ασφαλτομίγματος. Όπως προαναφέρθηκε, το ασφαλτόμικμα θα πρέπει να έχει επαρκή ποσότητα ασφάλτου έτσι ώστε η άσφαλτος να μην οξειδώνεται γρήγορα και να διατηρείται η καλή συνοχή του μίγματος για μεγάλο χρονικό διάστημα. Θεωρητικά τουλάχιστον, όσο πιο πολύ άσφαλτο έχει το μίγμα τόσο πιο αργά θα εμφανισθεί η οξείδωση της ασφάλτου. Πλήν όμως, η πλεονάζουσα ποσότητα ασφάλτου αφενός θα κλείσει ένα ποσοστό των

κενών και αφετέρου είναι σίγουρο ότι μια ποσότητα θα αποστραγγιστεί από το μίγμα. Βρέθηκε ότι αύξηση της ποσότητας της ασφάλτου κατά 1% επιφέρει μείωση των κενών κατά 2.7 μονάδες. Η αποστράγγιση της ασφάλτου από το ασφαλτόμιγμα είναι ανεπιθύμητη διότι είναι αντιοικονομική, δημιουργεί πρόβλημα καθορισμού των οχημάτων μεταφοράς και δημιουργεί ανομοιομορφία στο μίγμα.

Μετά τον καθορισμό της βέλτιστης ποσότητας ασφάλτου στο τελικό μίγμα, ελέγχονται τα κενά αέρος του συμπυκνωμένου μίγματος καθώς και ο ελάχιστος λόγος αντοχής σε θλίψη μετά από εμβάπτιση των δοκιμίων σε νερό.

Το ποσοστό των κενών αέρος υπολογίζεται όπως στη μεθοδολογία Marshall, παράγραφος 4.3.1. Ο έλεγχος της αντοχής σε θλίψη μετά από εμβάπτιση των δοκιμίων (δοκιμή υδρεμποτισμού) γίνεται σύμφωνα με την ASTM D 1074⁽²⁶⁾. Σύντομη περιγραφή της δοκιμής δίνεται στην παράγραφο 4.7.3(γ).

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά του τελικού μίγματος θα πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του Πίνακα 4.22.

Χαρακτηριστικά	Τύπος 1 και 2 για πορώδεις τάπητες
Συμπύκωση, κτύποι	2x50
Κενά αέρος συμπυκνωμένου ασφαλτομίγματος, (%)	15 minimum
Ελάχιστος λόγος αντοχών στη δοκιμή εμβάπτισης - θλίψης	0.5

Πίνακας 4.22 Χαρακτηριστικά μιγμάτων για πορώδεις τάπητες⁽¹⁸⁾

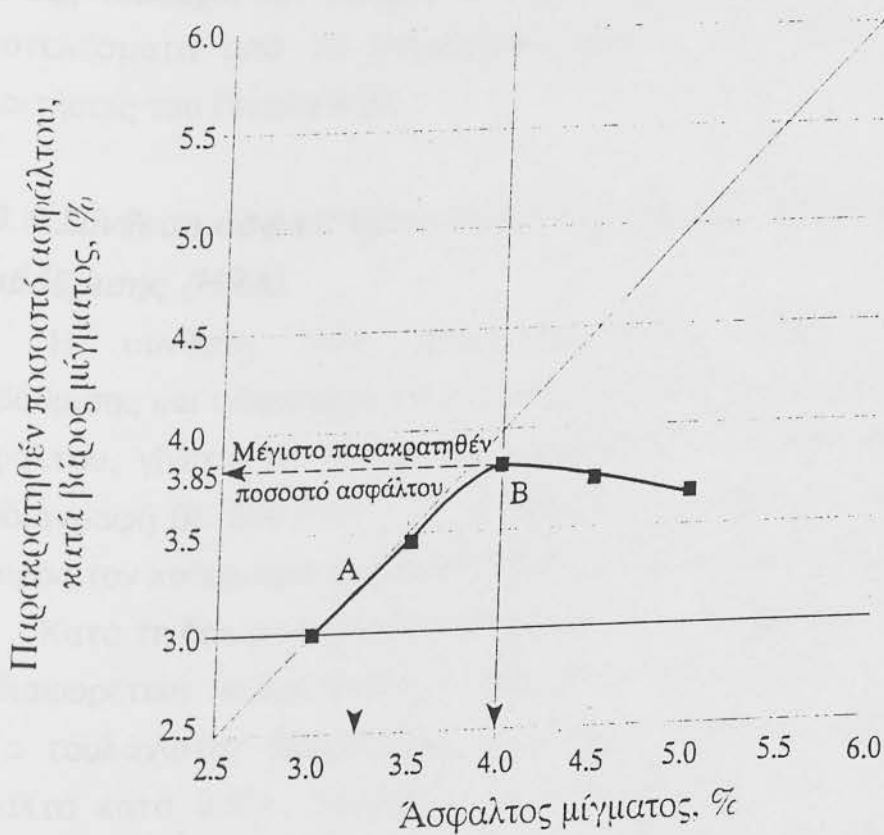
Δοκιμή αποστράγγισης ασφάλτου

Η δοκιμή αποστράγγισης ασφάλτου συνίσταται στην παραγωγή ασφαλτομιγμάτων με διαφορετική περιεκτικότητα σε άσφαλο, συνήθως πέντε διαφορετικές περιεκτικότητες, και τον καθορισμό της ποσότητας ασφάλτου που απορρέει από το ασφαλτόμιγμα.

Ποσότητα από τα παραχθέντα ασφαλτομίγματα τοποθετείται σε μεταλλικό καλάθι και όλα μαζί σε φούρνο θερμοκρασίας 160°C για τρεις ώρες. Μετά το

πέρας των τριών ωρών καθορίζεται η ποσότητα που αποστραγγίστηκε από το ασφαλτόμιγμα. Αυτό επιτυγχάνεται με το ζύγισμα του μικρού ταψιού που τοποθετείται κάτω από το καλάθι που κρέμεται μέσα στο φούρνο. Από την ποσότητα που αποστραγγίστηκε καθορίζεται η ποσότητα που συγκρατήθηκε στο μίγμα.

Επειδή η ποσότητα που αποστραγγίστηκε περιέχει παιπάλη που έχει διαφορετικό ειδικό βάρος από την άσφαλο, είναι αναγκαίο να γίνει μια διόρθωση στην αποστραγγισθείσα ποσότητα. Αυτό επιτυγχάνεται υποθέτοντας ότι στη αποστραγγισθείσα ποσότητα ασφάλτου εμπεριέχεται και ένα ποσοστό παιπάλης ίσο με το ποσοστό της παιπάλης στο μίγμα. Έτσι, αφαιρώντας το βάρος της παιπάλης από την αποστραγγισθείσα ποσότητα ασφάλτου, λαμβάνεται η πραγματική ποσότητα ασφάλτου που αποστραγγίστηκε από το μίγμα. Η ποσότητα αυτή εκφραζόμενη σε ποσοστό επί του μίγματος μαζί με την αντίστοιχη αρχική ποσότητα του μίγματος είναι τα ζεύγη τιμών για τη δημιουργία του αντίστοιχου διαγράμματος. Τυπικό παράδειγμα αποτελεσμάτων δίνεται στο Σχήμα 4.8.



Σχήμα 4.8 Αποτελέσματα δοκιμής αποστράγγισης ασφάλτου

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.8 μετά από ένα ποσοστό, αρχίζει να παρατηρείται αποστράγγιση της ασφάλτου. Το σημείο έναρξης της αποστράγγισης ορίζεται ως κρίσιμη περιεκτικότητα ασφάλτου στο μίγμα, σημείο "Α". Καθώς το ποσοστό ασφάλτου αυξάνεται η καμπύλη παρουσιάζει ένα μέγιστο σημείο, σημείο "Β". Το σημείο αυτό καθορίζει τη μέγιστη περιεκτικότητα ασφάλτου που μπορεί να συγκρατηθεί από το μίγμα. Η βέλτιστη περιεκτικότητα του μίγματος είναι αυτή που καθορίζεται από το σημείο "Β". Λαμβανομένης υπόψη και της ανεκτής απόκλισης, που ορίζεται ως $\pm 0.3\%$, συνιστάται όπως η τελική βέλτιστη σχεδιαστική τιμή του μίγματος είναι αυτή που μαζί με τη μέγιστη επιτρεπτή απόκλιση (+0.3%) δεν ξεπερνά τη βέλτιστη κατά 0.2%. Δηλαδή στην περίπτωση της καμπύλης του Σχήματος 4.8, η βέλτιστη περιεκτικότητα του μίγματος είναι 4.0% και η τελική βέλτιστη περιεκτικότητα ασφάλτου στο μίγμα $3.9 \pm 0.3\%$.

Με την τελική βέλτιστη περιεκτικότητα παρασκευάζονται τρία, τουλάχιστον, δοκίμια Marshall για τον καθορισμό των κενών αέρος, καθώς και έξι, τουλάχιστον, δοκίμια για τη δοκιμή υδρεμποτισμού. Τα αντίστοιχα αποτελέσματα από τα παραπάνω δοκίμια θα πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις του Πίνακα 4.22.

4.3.6 Σύνθεση ασφαλτομιγμάτων μη συνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης (HRA)

Η σύνθεση των ασφαλτομιγμάτων συνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης και ειδικότερα ο καθορισμός της βέλτιστης περιεκτικότητας της ασφάλτου, γίνεται με τη μέθοδο Marshall, όπως προδιαγράφεται από την προδιαγραφή BS 598:Part 1, (η μέθοδος έχει ελαφρώς τροποποιηθεί κυρίως ως προς τον καθορισμό του τελικού βέλτιστου ποσοστού ασφάλτου).

Κατά τη δοκιμή αυτή παρασκευάζονται τρία δοκίμια Marshall ανά μίγμα με διαφορετική περιεκτικότητα ασφάλτου. Συνιστάται όπως παραχθούν εννέα τουλάχιστον διαφορετικά μίγματα με διαφορά περιεκτικότητας σε άσφαλο κατά 0.5%. Τα δοκίμια συμπυκνώνονται σε θερμοκρασία 92°C πάνω από τη θερμοκρασία μάλθωσης της ασφάλτου. Η συμπύκνωση γίνεται με την ίδια συσκευή συμπύκνωσης Marshall χρησιμοποιώντας 50 κτύπους ανά επιφάνεια, ανεξαρτήτως κυκλοφοριακού φόρτου ή κατηγορίας οδού.

Τα δοκίμια αφού κρυώσουν και εξαχθούν από τις μήτρες τοποθετούνται σε υδρόλουτρο των 60°C, για 45, τουλάχιστον, λεπτά και κατόπιν ελέγχονται για ευστάθεια και παραμόρφωση κατά Marshall (χρησιμοποιείται η ίδια συσκευή). Η ευστάθεια κατά Marshall διορθώνεται, χρησιμοποιώντας διορθωτικούς συντελεστές που δίνονται από την προδιαγραφή (διαφέρουν ελαφρώς αυτών που δίνονται στον Πίνακα 4.15).

Οι μέσοι όροι των τιμών ευστάθειας και παραμόρφωσης, ανά μίγμα, χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία των διαγραμμάτων ευστάθειας και παραμόρφωσης ως ποσοστό ασφάλτου στο μίγμα, όμοια του Σχήματος 4.4. Εκτός των δύο παραπάνω διαγραμμάτων σχεδιάζονται και τα διαγράμματα συμπυκνωμένης πυκνότητας ασφαλτομίγματος και πυκνότητας συμπυκνωμένων αδρανών.

Η πυκνότητα του συμπυκνωμένου ασφαλτομίγματος καθορίζεται από το φαινόμενο ειδικό βάρος του συμπυκνωμένου ασφαλτομίγματος υποθέτοντας πυκνότητα ύδατος 1.0 gr/cm³.

Η πυκνότητα των συμπυκνωμένων αδρανών υπολογίζεται από την πυκνότητα του συμπυκνωμένου ασφαλτομίγματος πολλαπλασιαζόμενη με το ποσοστό των αδρανών στο μίγμα κατά βάρος μίγματος.

Η βέλτιστη περιεκτικότητα του ασφαλτομίγματος είναι ο μέσος όρος των τριών ποσοστών ασφάλτου για μέγιστη πυκνότητα μίγματος, μέγιστη πυκνότητα συμπυκνωμένων αδρανών και μέγιστη ευστάθεια. Στην περιεκτικότητα αυτή προστίθεται ένα επιπλέον ποσοστό ασφάλτου αναλόγως του ποσοστού του χονδρόκοκκου αδρανούς που περιέχεται στο μίγμα. Το τελικό ποσοστό που προκύπτει είναι και η τελική βέλτιστη περιεκτικότητα του ασφαλτομίγματος. Για ποσοστό χονδρόκοκκων στο μίγμα 30 ή 40 % προστίθεται ένα 0.7% ασφάλτου στο βέλτιστο που καθορίσθηκε. Αντιθέτως, για 55% χονδρόκοκκα στο μίγμα δεν προστίθεται τίποτε, όπως και για ποσοστά χονδρόκοκκων στο μίγμα μικρότερα του 30%. Τα προσθετικά ποσοστά φαίνονται αυθαίρετα, πλην όμως καθορίσθηκαν από την πράξη για καλύτερη ευστάθεια, εργασιμότητα και διάρκεια ζωής του ασφαλτομίγματος.

Το μίγμα με την τελική βέλτιστη περιεκτικότητα σε άσφαλο θα πρέπει να έχει ευστάθεια και παραμόρφωση που να πληρεί τις απαιτήσεις του Πίνακα 4.23.

Ημερήσιος κυκλοφοριακός φόρτος (σε εμπορικά οχήμ./λωρίδα)	Συμπύκνωση δοκιμίων 2x50 κτύποι	
	Ευστάθεια (KN)	Παραμόρφωση (mm)
<1500	2 - 8	Μέγιστη 5.0
1500 - 6000	4 - 8	Μέγιστη 5.0
>6000	6 - 10	Μέγιστη 7.0 ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Μόνο όταν η ευστάθεια είναι μεγαλύτερη των 8 KN

Πίνακας 4.23 Κριτήρια Marshall κατά BS 598 για τη σύνθεση των HRA μιγμάτων.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η προδιαγραφή συνιστά τον υπολογισμό των κενών αέρα, πλήν όμως δεν προτείνει κανένα όριο. Τα κενά αέρος των μιγμάτων αυτών συνήθως κυμαίνονται από 2 έως 3%.

5. ΨΥΧΡΑ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΑ

5.1 Γενικά

Ψυχρά ασφαλτομίγματα είναι τα ασφαλτομίγματα στα οποία το συνδετικό υλικό είναι ασφαλτικό γαλάκτωμα. 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 θέρμανσή 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 μεραφέρονται σε μεγαλύτερες αποστάσεις, συγκριτικά με τα θερμά ασφαλτομίγματα, και να διαστρώνονται/συμπυκνώνονται επιτυχώς ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία του μίγματος.

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

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.

5.2 Τύποι ψυχρών ασφαλτομιγμάτων

Τα ψυχρά ασφαλτομίγματα διαιρούνται σε δυο βασικές κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν αυτά που χρησιμοποιούνται για τάπητες κυκλοφορίας, ισοπεδωτικές στρώσεις, ασφαλτικές βάσεις ή την πλήρωση λακκούβων. 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 ανοικτού 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 στη 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⁽³¹⁾⁽³²⁾ όσο και για ψυχρά ασφαλτομίγματα κλειστού ή ανοικτού τύπου⁽³³⁾), οι οποίες διευκολύνουν το έργο των Υπηρεσιών για τη μελέτη και δημοπράτηση έργων με ψυχρά ασφαλτομίγματα.

5.3 Κλειστού τύπου ψυχρά ασφαλτομίγματα

Τα Κλειστού τύπου Ψυχρά Ασφαλτομίγματα (ΚΤΨΑ) είναι μίγματα ασφατικού 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 οδοστρωσίας, όπως βάση, συνδετική στρώση, τάπητα κυκλοφορίας καθώς και στην κατασκευή επιστρώσεων για την αποκατάσταση/ενίσχυση των οδοστρωμάτων. Τα βασικά πλεονεκτήματα έναντι των αντιστοιχών ανοικτού τύπου ασφαλτομιγμάτων είναι ότι έχουν μεγαλύτερη ευστάθεια και είναι κατά πολύ λιγότερο διαπερατά από το νερό.

5.3.1 Υλικά παραγωγής

Συνδετικό υλικό

Ως συνδετικό υλικό στα ΚΤΨΑ χρησιμοποιείται αποκλειστικά και μόνο το ασφαλτικό γαλάκτωμα, κατά προτίμηση κατιονικού τύπου, με ενδεικτική περιεκτικότητα ασφάλτου στο γαλάκτωμα 60-65% κατά βάρος. Το γαλάκτωμα μπορεί να είναι με κοινή άσφαλτο ή με τροποποιημένη άσφαλτο. Οι ιδιότητες του ασφαλτικού 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. Άθραυστα αμμοχάλικα ή χαλίκια μπορούν να χρησιμοποιηθούν, εφ' όσον ικανοποιείται η κοκκομετρική διαβάθμιση του μίγματος, αλλά καλό είναι να αποφεύγονται, ιδιαίτερα σε δρόμους με μέση ή υψηλή κυκλοφορία. 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 κ.λ.π.).

Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται στη καθαρότητα των αδρανών. Όλα τα αδρανή θα πρέπει να είναι καθαρά και απαλλαγμένα από αποσαθρωμένα υλικά, άργιλο και άλλα υλικά που επηρεάζουν την καλή κάλυψη των αδρανών με άσφαλτο και κατ' επέκταση 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 άλλες περιπτώσεις και ιδιαίτερα όταν η απορροφητικότητα είναι πάνω από 0.75% θα πρέπει να συνυπολογίζεται η απορροφητικότητα των αδρανών σε άσφαλτο και να προστίθεται επιπλέον ποσότητα στο μίγμα. Ασφαλτομίγματα από αδρανή με υψηλή απορροφητικότητα αναμένεται να παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαισθησία στη κόπωση, εάν δε 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 φίλλερ

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 μπορεί να πληρεί τις προδιαγραφές 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 προδιαγραφομένων ορίων. Οι κοκκομετρικές καμπύλες κατ τα όρια των κοκκομετρικών καμπύλων είναι όμοιες με αυτές των θερμών ασφαλτομιγμάτων συνεχούς και μη-συνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης. Στην Ελλάδα με εγκύκλιο⁽³³⁾ προτείνεται να χρησιμοποιούνται οι κοκκομετρικές καμπύλες των ασφαλτικών σκυροδεμάτων που προτείνονται από τις προδιαγραφές ASTM για θερμά και ψυχρά ασφαλτοσκυροδέματα (ASTM D 3515). Τα όρια των κοκκομετρικών καμπυλών δίνονται στον Πίνακα 4.2.

Από την πλειάδα των κοκκομετρικών καμπυλών που χρησιμοποιούνται στα θερμά ασφαλτομίγματα κλειστού τύπου, ο συγγραφέας προτείνει για ψυχρά ασφαλτομίγματα να χρησιμοποιούνται εναλλακτικά τα όρια των κοκκομετρικών καμπυλών που δίνονται στον Πίνακα 5.1. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η κύρια διαφορά με τις προδιαγραφές ASTM είναι ότι ο προτεινόμενος πίνακας περιέχει και μίγματα μη-συνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης.

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 δε θα πρέπει να υπερβαίνει σε καμία περίπτωση την τιμή του 35%.

Προσθήκη ύδατος

Στα πυκνά ασφαλτομίγματα, κυρίως όταν τα αδρανή είναι στεγνά, απαιτείται πάντοτε προσθήκη ύδατος για τη βελτίωση του ποσοστού κάλυψης των αδρανών με άσφαλο. 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 διάσπασης του γαλακτώματος. Στην περίπτωση αυτή η χημική ουσία διαλύεται στο νερό, το είδος και η συγκέντρωση (περιεκτικότητα) αυτού καθορίζεται από τον προμηθευτή του γαλακτώματος, σε συνδυασμό με τη διαδικασία σύνθεσης του ασφαλτομίγματος.

5.3.2 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 ανοικτού τύπου. Σε γενικές γραμμές, οι λόγοι προτίμησής τους έναντι των ψυχρών μιγμάτων ανοικτού τύπου είναι οι ίδιοι όπως και στα αντίστοιχα θερμά μίγματα.

Οι τύποι των μιγμάτων προτείνονται στον Πίνακα 5.1 συνοπτικά είναι:

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 περισσότερο χονδρόκοκκο ασφαλτόμιγμα συνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης και χρησιμοποιείται κυρίως ως σταθεροποιημένη υπόβαση. Ο τύπος V είναι το λεπτότερο μίγμα συνεχούς κοκκομετρικής

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

Πίνακας 5.1 Όρια κοκκομετρικών διαβαθμίσεων ψυχρών ασφαλτομιγμάτων κλειστού τύπου

διαβάθμισης και χρησιμοποιείται ως τάπητας κυκλοφορίας. Οι ενδιάμεσες κατηγορίες χρησιμοποιούνται επίσης ως υποβάσεις, ή βάσεις, ή τάπητες κυκλοφορίας, αναλόγως των συνθηκών.

Τύποι ασφαλτομιγμάτων 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 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 για στρώσεις κυκλοφορίας. Ο ενδιάμεσος τύπος VII χρησιμοποιείται τόσο για στρώσεις κυκλοφορίας όσο και για στρώσεις βάσης.

Τύπος IX, Ψυχρή Αμμάσφαλτος

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

5.3.3 Σύνθεση ψυχρών ασφαλτομιγμάτων κλειστού τύπου

Η σύνθεση των ψυχρών ασφαλτομιγμάτων κλειστού τύπου γίνεται με μεθοδολογίες που αναπτύχθηκαν από οργανισμούς ή εργαστήρια του δημοσίου ή ιδιωτικού φορέα του εξωτερικού και μέχρι σήμερα δεν υπάρχει μια διεθνώς αποδεκτή μέθοδος μελέτης σύνθεσης. Στο παρόν κεφάλαιο θα αναπτυχθεί η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε από το συγγραφέα μετά από πολυετή ερευνητική και πρακτική ενασχόληση. Η μεθοδολογία αυτή έχει παρουσιαστεί σε διεθνές συνέδριο⁽³⁹⁾ αλλά και στην Ελλάδα⁽³⁴⁾ και έχει γίνει αποδεκτή και χρησιμοποιείται στο εξωτερικό.

5.3.4 Τροποποιημένη μέθοδος Marshall για τη σύνθεση ψυχρών ασφαλτομιγμάτων κλειστού τύπου

Η προτεινόμενη μέθοδος σύνθεσης σκοπό έχει τον καθορισμό των βέλτιστων αναλογιών του μίγματος για βέλτιστη και μακράς διάρκειας καλή συμπεριφορά του ασφαλτομίγματος. Στην προτεινόμενη μέθοδο σύνθεσης χρησιμοποιούνται κατά βάση οι γνωστές, από τη σύνθεση των θερμών ασφαλτομιγμάτων, συσκευές Marshall και για το λόγο αυτό η προτεινόμενη μεθοδολογία ονομάζεται "τροποποιημένη" μέθοδος Marshall για ψυχρά ασφαλτομίγματα.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η μεθοδολογία σύνθεσης που προτείνεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιοδήποτε μίγμα κλειστού τύπου και όχι μόνο για τύπους που δίνονται στον Πίνακα 5.1.

Τα σχεδιαστικά κριτήρια που χρησιμοποιούνται είναι:

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

Δεδομένης της καταλληλότητας των υλικών, η μεθοδολογία σύνθεσης συνίσταται από δυο βασικά στάδια: α) το στάδιο ελέγχου της συμβατότητας του ασφαλτικού 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 ασφαλτικού γαλακτώματος και καθορισμός ποσοστού ύδατος για τη διαβροχή των αδρανών.

Το στάδιο ελέγχου συμβατότητας του ασφαλτικού γαλακτώματος είναι αναγκαίο δεδομένου ότι από την πλειάδα των πηγών των πετρωμάτων και των κοκκομετρικών διαβαθμίσεων είναι δύσκολο ένα και

μόνο ένα γαλάκτωμα να παράγει μίγμα με βέλτιστες ιδιότητες. Οι ιδιότητες του ψυχρού ασφαλτομίγματος 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 για βέλτιστη συμπεριφορά

Το στάδιο καθορισμού των ιδιοτήτων του ψυχρού ασφαλτομίγματος για βέλτιστη συμπεριφορά συνίσταται στον καθορισμό της περιεκτικότητας της ασφάλτου στο ασφαλτόμιγμα έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις του Πίνακα 5.2. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι απαιτήσεις του Πίνακα 5.2 ισχύουν και για οποιοδήποτε άλλο ψυχρό ασφαλτόμιγμα κλειστού τύπου του οποίου η κοκκομετρική καμπύλη δεν εμπίπτει εντός των ορίων που δίνονται στον Πίνακα 5.1.

Οι ιδιότητες που αναφέρονται στον Πίνακα 5.2 εξάγονται από δοκίμια που παρασκευάζονται και ελέγχονται σύμφωνα με την προτεινόμενη μεθοδολογία Marshall. Τα δοκίμια Marshall, διαστάσεων $\Phi 100 \times 62.5$ mm περίπου σε ύψος, ωριμάζουν και θλιβονται κατά Marshall σε θερμοκρασίες δωματίου $21 \pm 1^\circ \text{C}$, αφού προηγουμένως ορισμένα από αυτά εμβαπτίζονται σε υδρόλουτρο 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 ωρίμανση, υπολογίζεται το συνολικό ποσοστό κενών.

Λεπτομερής περιγραφή εμβάπτισης της παραγωγής και του ελέγχου των δοκιμίων, καθώς και της διαδικασίας εμβάπτισης των δοκιμίων, κατά την οποία επέρχεται τριχοειδής απορρόφηση ύδατος, δίνεται στο Παράρτημα το οποίο παρατίθενται στο τέλος αυτού του κεφαλαίου. Στο παράρτημα δίνονται και όλες οι σχέσεις που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της βέλτιστης περιεκτικότητας ασφάλτου στο μίγμα.

Ιδιότητες μιγμάτων	Όρια	Τύποι Ψυχρών Ασφαλτομιγμάτων Κλειστού Τύπου										
		Συνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης					Μη-συνεχούς διαβάθμισης			Συνεχούς διαβάθμισης		
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX		
Όνομαστική περιεκτικότητα ασφάλτου στο μίγμα, (%)	-	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	5.5	6.0	6.5	7.0		
Απορροφητικότητα αδρανών σε νερό, (%)	Max	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7		
Διαβρεγμένη ευστάθεια (N)	Min	1335	1335	1335	1335	1335	1335	1335	1335	1110		
Διατηρηθείσα Ευστάθεια (%) (48h σε υδρόλουτρο)	Min	50	50	50	50	50	50	50	50	50		
Συνολικό ποσοστό κενών ^(α)	Min	6	6	6	6	6	6	6	6	6		
	Max	12	12	12	12	12	12	12	12	12		
Απορροφηθείσα υγρασία (%) (48h σε υδρόλουτρο)	Max	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
Πάχος υμένα ασφάλτου (μm)	Min	6	6	6	6	6	6	6	6	6		
Βαθμός επικαλυπτικό/τας, (%)	Min	85	85	85	85	85	85	85	85	85		
Συμπεριφορά μίγματος σε παραμένονσα παραμόρφωση	-	Η βέλτιστη περιεκτικότητα ασφάλτου θα πρέπει να είναι μικρότερη από αυτήν που καθορίζεται από τη δοκιμή ερπυσμού									-	
Προτεινόμενο πάχος στρώσης (mm)	Min	80	50	40	30	25	30	30	30	25		
	Max	150 ^(β)	100 ^(β)	100 ^(β)	75 ^(β)	75 ^(β)	75 ^(β)	75 ^(β)	75 ^(β)	50 ^(β)		

^(α) Συνολικό ποσοστό κενών = κενά αέρος συν κενά κατελημμένα με νερό

^(β) Μπορεί να τροποποιηθεί μετά από δοκιμές συμπύκνωσης επί του έργου.

Πίνακας 5.2 Χαρακτηριστικές ιδιότητες ψυχρών ασφαλτομιγμάτων κλειστού τύπου για βέλτιστη συμπεριφορά

Η προτεινόμενη μεθοδολογία σύνθεσης, πλήν 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 διασφαζαλίζουν 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 οξυγόνο και την ηλιακή ακτινοβολία του περιβάλλοντος.

Τυπικά αποτελέσματα που εξάγονται από τη μεθοδολογία σύνθεσης των ΚΤΨΑ απεικονίζονται γραφικά στα διαγράμματα του Σχήματος 5.1.(α). Το ποσοστό της διατηρηθείσης ευστάθειας, μετά από εμβάπτιση των δοκιμίων σε νερό για 48 ώρες, αυξάνεται με την αύξηση της περιεκτικότητας της ασφάλτου στο μίγμα, Σχήμα 5.1(β). Η ξηρή πυκνότητα (φαινόμενο βάρος) των δοκιμίων συνήθως εμφανίζει μια μέγιστη τιμή για συγκεκριμένο ποσοστό ασφάλτου, Σχήμα 5.1(γ). Το ποσοστό των συνολικών κενών μειώνεται καθώς αυξάνεται το ποσοστό της ασφάλτου, πλήν όμως μετά από κάποιο ποσοστό ασφάλτου αρχίζει να αυξάνεται, Σχήμα 5.1(δ). Αντίστοιχα, με την αύξηση της περιεκτικότητας ασφάλτου στο μίγμα, το ποσοστό της απορροφηθείσης υγρασίας, μετά από εμβάπτιση των δοκιμίων σε υδρόλουτρο για 48h, μειώνεται, ενώ το πάχος του υμένα της ασφάλτου αυξάνεται, Σχήμα 5.1(ε)&(στ).

Το βέλτιστο ποσοστό ασφάλτου στο μίγμα εξάγεται από τα παραπάνω διαγράμματα και είναι εκείνο για το οποίο πληρούνται κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο όλες οι απαιτήσεις του Πίνακα 5.2. Το σχήμα που απεικονίζει την καμπύλη του ξηρού φαινομένου ειδικού βάρους (πυκνότητα) χρησιμοποιείται κυρίως για τον καθορισμό της εργαστηριακής πυκνότητας στη βέλτιστη περιεκτικότητα ασφάλτου που καθορίστηκε. Βέβαια, η βέλτιστη περιεκτικότητα της ασφάλτου θα πρέπει να δίνει όσο το δυνατό μεγαλύτερη πυκνότητα μίγματος.

Στη συνέχεια, η μεθοδολογία απαιτεί την εκτέλεση της δοκιμής ερπυσμού κατω από στατικό αξονικό φορτίο. Η δοκιμή αυτή σκοπό έχει να ελέγξει τη συμπεριφορά του τελικού μίγματος σε παραμένουσα παραμόρφωση.

Δοκιμή ερπυσμού

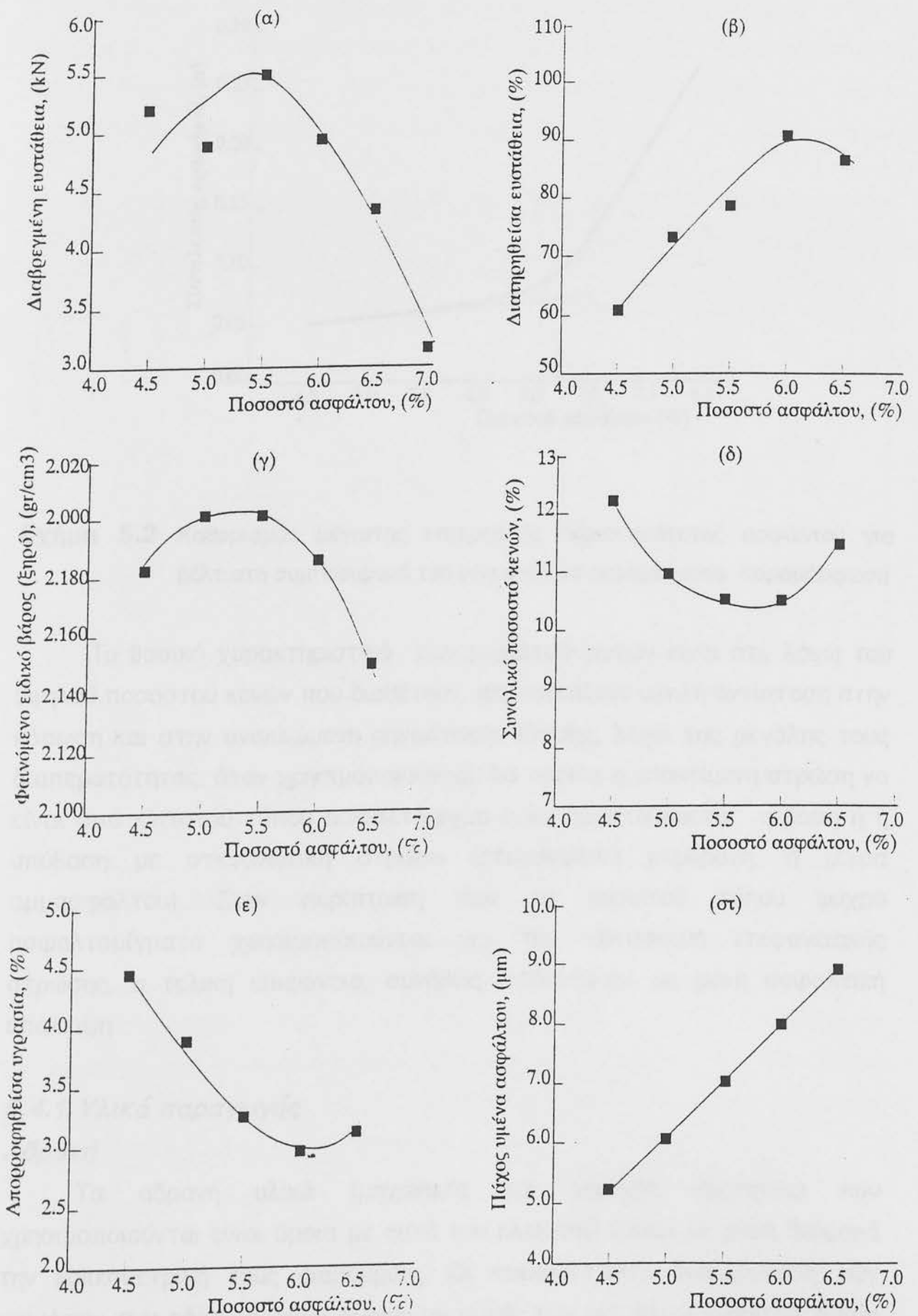
Κατά τη δοκιμή ερπυσμού, δυο τουλάχιστον δοκίμια ανά περιεκτικότητα ασφάλτου ελέγχονται σε θερμοκρασία $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$, αφού προηγουμένως ωριμάσουν όπως στη τροποποιημένη μέθοδο Marshall. Από τα αποτελέσματα που λαμβάνονται εξάγεται η αντιπροσωπευτική ευθεία ερπυσμού, για κάθε μίγμα. Η κλίση της ευθείας ερπυσμού ορίζεται ως συντελεστής ερπυσμού. Οι συντελεστές ερπυσμού συσχετίζονται με τις αντίστοιχες περιεκτικότητες ασφάλτου και έτσι λαμβάνεται η καμπύλη του Σχήματος 5.2. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.2 μετά από κάποια περιεκτικότητα η κλίση της καμπύλης αυξάνει απότομα. Αυτό δηλώνει ότι το ασφαλτόμιγμα καθίσταται περισσότερο ευαίσθητο (ευάλωτο) στη παραμένουσα παραμόρφωση. Συνεπώς, όλα τα μίγματα με μεγαλύτερη περιεκτικότητα ασφάλτου από αυτήν που ορίζεται από την τομή των δυο εφαπτομένων ευθειών θα πρέπει να απορρίπτονται.

Έτσι, η βέλτιστη περιεκτικότητα που καθορίστηκε από τα διαγράμματα Marshall θα πρέπει να είναι μικρότερη ή το πολύ ίση με την παραπάνω. Σε αντίθετη περίπτωση η τελική βέλτιστη περιεκτικότητα του μίγματος είναι αυτή που καθορίζεται από την παραπάνω καμπύλη αφού προηγουμένως ελεγχθεί εάν το μίγμα που προκύπτει ικανοποιεί όλες τις παιτήσεις του Πίνακα 5.2. Στην περίπτωση κατά την οποία αυτό είναι αδύνατο τότε θα πρέπει να γίνουν οι απαραίτητες τροποποιήσεις στη κοκκομετρική καμπύλη του μίγματος καθώς και στο ασφαλικό γαλάκτωμα και να επαναληφθεί η σύνθεση του μίγματος.

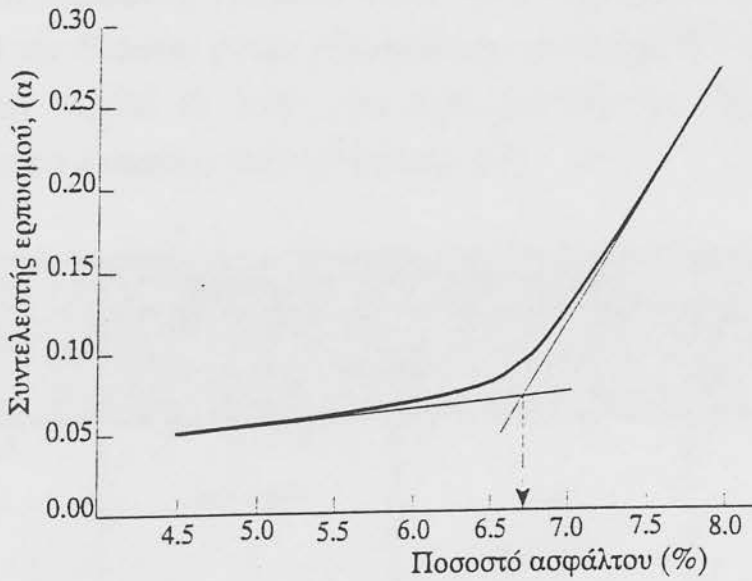
Ο παραπάνω έλεγχος, δηλαδή της συμπεριφοράς του ψυχρού ασφαλτομίγματος σε παραμένουσα παραμόρφωση, είναι ουσιαστικής σημασίας κυρίως σε περιπτώσεις που το μίγμα πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ως επιφανειακή στρώση.

5.4 Ανοικτού τύπου ψυχρά ασφαλτομίγματα

Τα ανοικτού 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 και η ευκολία ανάμιξης αυτών με τα πρώτα ασφατικά γαλακτώματα που παρουσιάστηκαν.



Σχήμα 5.1: Τυπικά διαγράμματα τροποποιημένης μεθόδου Marshall για ΚΤΨΑ.



Σχήμα 5.2 Καθορισμός μέγιστης επιτρεπτής περιεκτικότητας ασφάλτου για βέλτιστη συμπεριφορά του μίγματος σε παραμένουσα παραμόρφωση

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 αμμασφάλτου). Στην περίπτωση που τα ανοικτού τύπου ψυχρά ασφαλτομίγματα χρησιμοποιούνται για την κατασκευή επιφανειακής στρώσης, η τελική επιφάνεια, συνήθως, καλύπτεται με μονή ασφαλτική επάλειψη.

5.4.1. Υλικά παραγωγής

Αδρανή

Τα αδρανή υλικά (μηχανικές και χημικές 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 μιγμάτων ανοικτού τύπου (Κεφάλαιο 4). Από την πλειάδα των κοκκομετρικών καμπύλων, το Asphalt

Institute⁽³¹⁾ προτείνει για βάσεις και επιφανειακές στρώσεις τις κοκκομετρικές καμπύλες που βρίσκονται εντός των ορίων που δίνονται στον πίνακα 5.3. Στην Ελλάδα έχουν προσφάτως υιοθετηθεί⁽³²⁾ οι κοκκομετρικές καμπύλες των ASTM D 3515 που προτείνονται για θερμά και ψυχρά ασφαλτομίγματα ανοικτού τύπου (Πίνακας 4.7).

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

Πίνακας 5.3 Όρια κοκκομετρικών καμπυλών ψυχρών μιγμάτων ανοικτού τύπου

Ασφαλτικό γαλάκτωμα

Το ασφαλτικό 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 ανοικτού τύπου ψυχρά μίγματα η προσθήκη νερού στα αδρανή, πριν την ανάμιξη, για την 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 ανοικτού τύπου μίγματα δεν απαιτείται η προσθήκη χημικών προσθέτων ή φίλλερ στο μίγμα.

5.4.2. Σύνθεση ψυχρών ασφαλτομιγμάτων ανοικτού τύπου

Η σύνθεση των ψυχρών μιγμάτων ανοικτού τύπου είναι απλούστερη αυτής των μιγμάτων κλειστού τύπου. Συνίσταται κυρίως στον καθορισμό της ποσότητας της ασφάλτου στο μίγμα, όσο δυνατόν περισσότερης, δίχως αυτή να απορρέει από το μίγμα. Βέβαια και στην περίπτωση αυτή επιζητείται η καλή επικάλυψη των αδρανών με άσφαλο που είναι συνάρτηση της καταλληλότητας του ασφαλτικού γαλακτώματος. Πλην όμως, στην περίπτωση των ανοικτού τύπου ασφαλτομιγμάτων η καταλληλότητα του ασφαλτικού γαλακτώματος, εφόσον 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 την σύνθεση των κλειστού τύπου ασφαλτομιγμάτων (ευστάθεια κλπ.) δε βρίσκουν εφαρμογή στα ανοικτού τύπου μίγματα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα ανοικτού 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.

Καθορισμός του ποσοστού ύδατος για τη διαβροχή των αδρανών

Ο καθορισμός της ποσότητας του ύδατος για την διαβροχή των αδρανών πριν την ανάμιξη γίνεται κατά το στάδιο εκτέλεσης του ελέγχου της επικαλυπτικότητας. Στην προκειμένη περίπτωση 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%, αντίστοιχα, για τα μίγματα που παρατίθενται στον Πίνακα 5.3.

Καθορισμός ποσότητας ασφάλτου στο μίγμα

Η βέλτιστη ποσότητα ασφάλτου στο μίγμα καθορίζεται με διάφορους τρόπους, ένας από τους οποίους είναι εκτελώντας τη δοκιμή απορροής. Ο τρόπος αυτός συνιστάται από το Asphalt Institute⁽³¹⁾, για αυτού του είδους ψυχρά ασφαλτομίγματα.

Κατά την δοκιμή απορροής, σε ποσότητα μίγματος αδρανών (500 gr 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 ανοικτού τύπου ασφαλτομίγματα, οι προτεινόμενες ονομαστικές περιεκτικότητες ισχύουν.

Τα αδρανή και το γαλάκτωμα 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 0.85mm. 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 δίχως να μειωθεί το ποσοστό επικάλυψης των αδρανών με άσφαλο. Το ποσοστό της ασφάλτου στο μίγμα που δίνει αυτό το αποτέλεσμα θεωρείται ως το βέλτιστο του ασφαλτομίγματος.

5.5 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.

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. Τυπικό συγκρότημα παραγωγής ψυχρού ασφαλτομίγματος δίνεται στη Φωτογραφία 5.1.

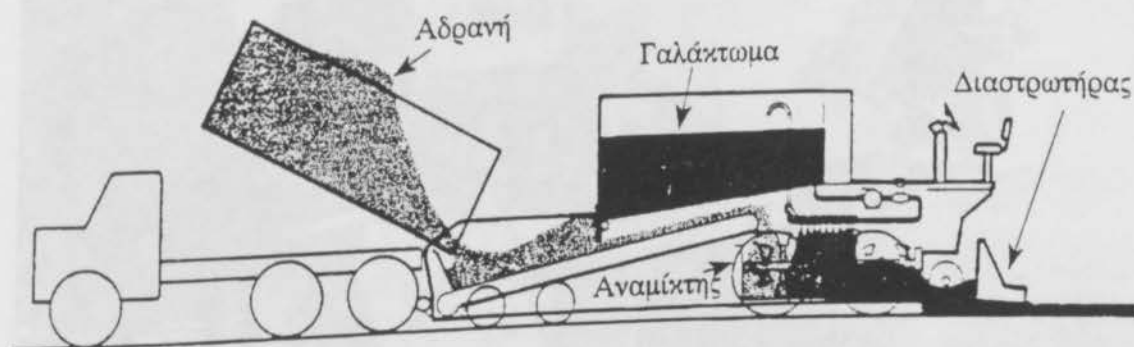
Η τροφοδοσία των αδρανών, με την βοήθεια μεταφορικής ταινίας, γίνεται απευθείας από τα σιλό στον αναμκτήρα για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα έως ότου συγκεντρωθεί η απαιτούμενη ανά παρτίδα ποσότητα αδρανών στον αναμκτήρα. Εναλλακτικά, υπάρχουν και συγκροτήματα όπου η παροχή των αδρανών είναι συνεχούς ροής. Το παραγώμενο ασφαλτόμιγμα 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 ότι απαιτείται, θα πρέπει, πριν την ανάμιξη, να αερίζονται με την βοήθεια φορτωτή έτσι ώστε να εξατμίζεται η πλεονάζουσα περιεκτικότητα υγρασίας. Η ανάμιξη των αδρανών με περισσότερη από την περιεκτικότητα υγρασίας, 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.

Παραγωγή σε ειδικό αυτοκινούμενο μηχάνημα

Τα ψυχρά ασφαλτομίγματα μπορούν να παραχθούν και επί του έργου με την βοήθεια ειδικού αυτοκινούμενου μηχανήματος. Το μηχάνημα αυτό, που έχει την 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. Αυτοκινούμενο μηχάνημα παραγωγής φαίνεται στη Φωτογραφία 5.2.

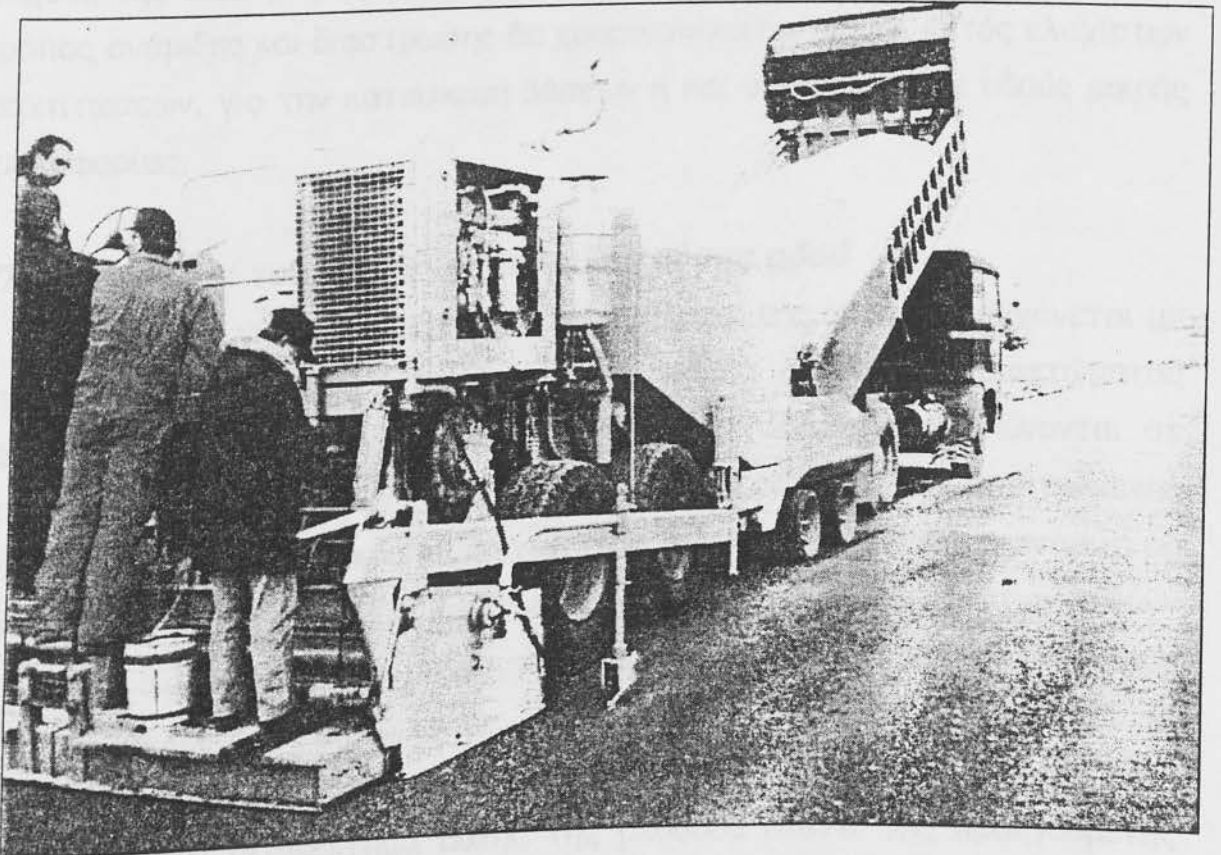
Η τροφοδοσία των αδρανών υλικών για την παραγωγή του μίγματος είναι συνεχής και γίνεται από ανατρεπόμενα φορτηγά που προσαρμόζονται στην χοάνη υποδοχής. Σχηματική παράσταση λειτουργίας του μηχανήματος δίνεται στο Σχήμα 5.3. Το σύστημα μέτρησης των αναλογιών του μίγματος, που αποτελείται από αδρανή, γαλάκτωμα και νερό (αν απαιτείται), είναι ανεξάρτητο της ταχύτητας κίνησης του μηχανήματος. Η μεν ποσότητα αδρανών καθορίζεται από το άνοιγμα της θυρίδας, οι δε ποσότητες γαλακτώματος και νερού από ειδικές αντλίες με στροφόμετρο. Το βασικό πλεονέκτημα των μηχανημάτων παραγωγής εν κινήσει σε σύγκριση με τα μηχανήματα παραγωγής σε μόνιμη εγκατάσταση είναι η ευελιξία μεταφοράς των από έργο σε έργο και η μείωση του κόστους μεταφοράς του μίγματος. Το πρώτο έχει ως αποτέλεσμα να παρέχει την δυνατότητα διάστρωσης ασφαλτικών ταπήτων ακόμη και στα πιο απομακρυσμένα σημεία του οδικού δικτύου.



Σχήμα 5.3 Σχηματική παράσταση λειτουργίας αυτοκινούμενου μηχανήματος παραγωγής ψυχρών ασφαλτομιγμάτων



Φωτογραφία 5.1: Συγκροτήματα παραγωγής ψυχρών ασφαλτομιγμάτων σε μόνιμη εγκατάσταση



Φωτογραφία 5.2: Αυτοκινούμενο μηχάνημα παραγωγής ψυχρών ασφαλτομιγμάτων

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

Τροφοδοσία από σειράδιο

Μια παραλλαγή του αυτοκινούμενου μηχανήματος παραγωγής είναι αυτό στο οποίο η τροφοδοσία των αδρανών γίνεται από σειράδιο αδρανών σταθερής διατομής. Το μηχάνημα αυτό είναι κατά πολύ απλούστερο του προαναφερθέντος. Δε διαθέτει δικές του δεξαμενές, το γαλάκτωμα ψεκάζεται στον αναμικτήρα από βυτίο γαλακτώματος που προπορεύεται και το παραγόμενο μίγμα βγαίνει και πάλι υπό μορφή 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 (grader).

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

Παραγωγή επί του έργου με ανάμιξη επί της οδού

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

Ένα επί ολεον μειονέκτημα αυτής της μεθόδου έναντι της προηγούμενης είναι ότι δεν συνίσταται για την ανάμιξη μειγμάτων κλειστού τύπου. Έτσι,

σήμερα και αυτή χρησιμοποιείται αποκλειστικά και μόνο για την κατασκευή στρώσεων βάσεων ή υποβάσεων σε οδούς μικρής κυκλοφορίας.

5.6 Διάστρωση και συμπύκνωση

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 την διάστρωση του ψυχρού ασφαλτομιγματος απαιτείται προεπάλειψη ή συγκολλητική με ασφαλτικό 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 lit/m² για προεπαλείψεις και 0.25-0.4 lit/m² για συγκολλητικές).

Συμπύκνωση

Η συμπύκνωση των ψυχρών ασφαλτομιγμάτων γίνεται όπως και στα θερμά ασφαλτομίγματα, δηλαδή συνδυασμός οδοστρωτήρα λείων κυλίνδρων (6-10ton) και λαστιχοφόρου οδοστρωτήρα (8-12 τόννων). Η αρχική κυλίνδρωση γίνεται σχεδόν πάντοτε με κοινό οδοστρωτήρα (δίχως δόνηση), ενώ η ενδιάμεση και τελική συμπύκνωση συνήθως με λαστιχοφόρο (μετά ή ανευ δόνησης). Η συμπύκνωση 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 συμπύκνωση των ψυχρών ασφαλτομιγμάτων αρχίζει μόνο όταν το γαλάκτωμα έχει εν μέρει διασπαστεί. Αυτό γίνεται αντιληπτό από την αλλαγή χρώματος του μίγματος από καφέ σε μαύρο. Επίσης, η συμπύκνωση σταματά όταν παρατηρείται πλευρική μετατόπιση ή συσσώρευση μπροστά στους κυλίνδρους του ασφαλτομίγματος. Ο αριθμός διελεύσεων των οδοστρωτήρων καθορίζεται πάντοτε από πειραματικά τμήματα που κατασκευάζονται πλησίον του έργου με το ίδιο ασφαλτόμιγμα που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Κατά την συμπύκνωση 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 συμπύκνωσης το ποσοστό υγρασίας του μίγματος θα πρέπει να είναι περίπου ίδιο με αυτό που καθορίστηκε στη 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 προς συμπύκνωση επιφάνειας. Εάν επιλεγεί η διαβροχή των κυλίνδρων ή των ελαστικών με νερό, συνιστάται όπως αυτή γίνεται εκτός της επιφάνειας που πρόκειται να συμπυκνωθεί και όχι εν κινήσει κατά την συμπύκνωση.

5.7 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 το διαστρωτήρα, όταν το μίγμα παράγεται σε αυτοκινούμενο συγκρότημα. Ο έλεγχος συνίσταται στον καθορισμό της περιεκτικότητας ασφάλτου στο 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 ⁽³⁵⁾⁽³⁶⁾, με μόνη διαφορά του πριν την έναρξη των δοκιμών θα πρέπει να εξατμισθεί πλήρως η υγρασία που περιέχει το μίγμα.

Ο ποιοτικός έλεγχος της κατασκευής συνίσταται στον έλεγχο της συμπύκνωσης, του πάχους των στρώσεων και της επιπεδότητας της επιφάνειας. Ο έλεγχος πυκνότητας γίνεται, κατά προτίμηση, με την 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 συνίσταται, 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.

5.8 Ψυχρά μίγματα Slurry Seal

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

Το πάχος του λεπτοτάπητα που διαστρώνεται είναι συνήθως από 4 έως 10 mm (σε μία στρώση). Το μίγμα παράγεται και διαστρώνεται επί του έργου με ειδικό αυτοκινούμενο μηχάνημα παραγωγής και διάστρωσης. Το μηχάνημα, όπως επεξηγείται, παρακάτω είναι σε θέση να καθορίζει τις σωστές αναλογίες των αδρανών, του γαλακτώματος, του νερού, των χημικών προσθετικών και του φίλλερ και να παρέχει 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⁽³⁷⁾ και Ελληνικές Τεχνικές Οδηγίες⁽³¹⁾⁽³²⁾.

5.8.1. Υλικά παραγωγής

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

Το γαλάκτωμα είναι προτιμότερο να είναι κατιονικού τύπου με ελαστομερή άσφαλτο και ημιβραδείας ή ταχείας διάσπασης. Έτσι επιτυγχάνεται καλύτερη πρόσφυση των αδρανών, καλύτερη κατασκευή και γρηγορότερη απόδοση της επιφάνειας 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 ασβεστολιθικών πετρωμάτων (μόνο σε περιοχές με πολύ μικρό κυκλοφοριακό φόρτο). Τα αδρανή θα πρέπει να είναι κατάλληλα διαβαθμισμένα έτσι ώστε να είναι σύμφωνα με τις προτεινόμενες διαβαθμίσεις των προδιαγραφών, Πίνακας 5.4. Επίσης θα πρέπει να είναι καθαρά, απαλλαγμένα από άργιλο ή αργιλικά κατάλοιπα, με τιμή ισοδύναμου άμμου μεγαλύτερη του 45 και απορροφητικότητας αδρανούς μικρότερη του 1.25% για το 50% τουλάχιστον των αδρανών του μίγματος.

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

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

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

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

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

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

Πίνακας 5.4 Διαβαθμίσεις και ενδεικτικές ποσότητες ασφάλτου και αδρανών μιγμάτων Slurry Seal σύμφωνα με τις Ελληνικές τεχνικές οδηγίες⁽¹⁾.

5.8.2. Σύνθεση μίγματος Slurry Seal

Η σύνθεση του μίγματος Slurry seal γίνεται σύμφωνα με τις τεχνικές οδηγίες του ΥΠΕΧΩΔΕ⁽³¹⁾. 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 αυτής της απώλειας βάρους μετά από υγρή απότριψη, η οποία καθορίζει το βέλτιστο ποσοστό ασφάλτου στο μίγμα. Αναλυτική περιγραφή των δοκιμών δίνεται στις τεχνικές οδηγίες⁽³¹⁾⁽³²⁾.

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.

5.8.3 Κατασκευή λεπτοτάπητα

Πριν από τη διάστρωση του λεπτοτάπητα απαιτείται σχολαστικός καθαρισμός της επιφάνειας του οδοστρώματος από σκόνες, λάδια, φυτικές ύλες κ.λ.π., καθώς και επιδιόρθωση των μικροφθορών του οδοστρώματος. Σε ορισμένες περιπτώσεις για την επιδιόρθωση των μικροφθορών μπορεί να χρησιμοποιηθεί τοπικά και το ίδιο το Stryr seal. Συγκολλητική στρώση συνήθως δε χρειάζεται, εκτός και αν η παλαιά επιφάνεια είναι λεία ή η κατασκευή γίνεται σε ανωφέρεια/κατωφέρεια. Η υπάρχουσα διαγράμμιση του οδοστρώματος θα πρέπει οπωσδήποτε να ψεκάζεται με ασφαλτικό γαλάκτωμα όμοιο με αυτό που χρησιμοποιείται για συγκολλητική. Οι

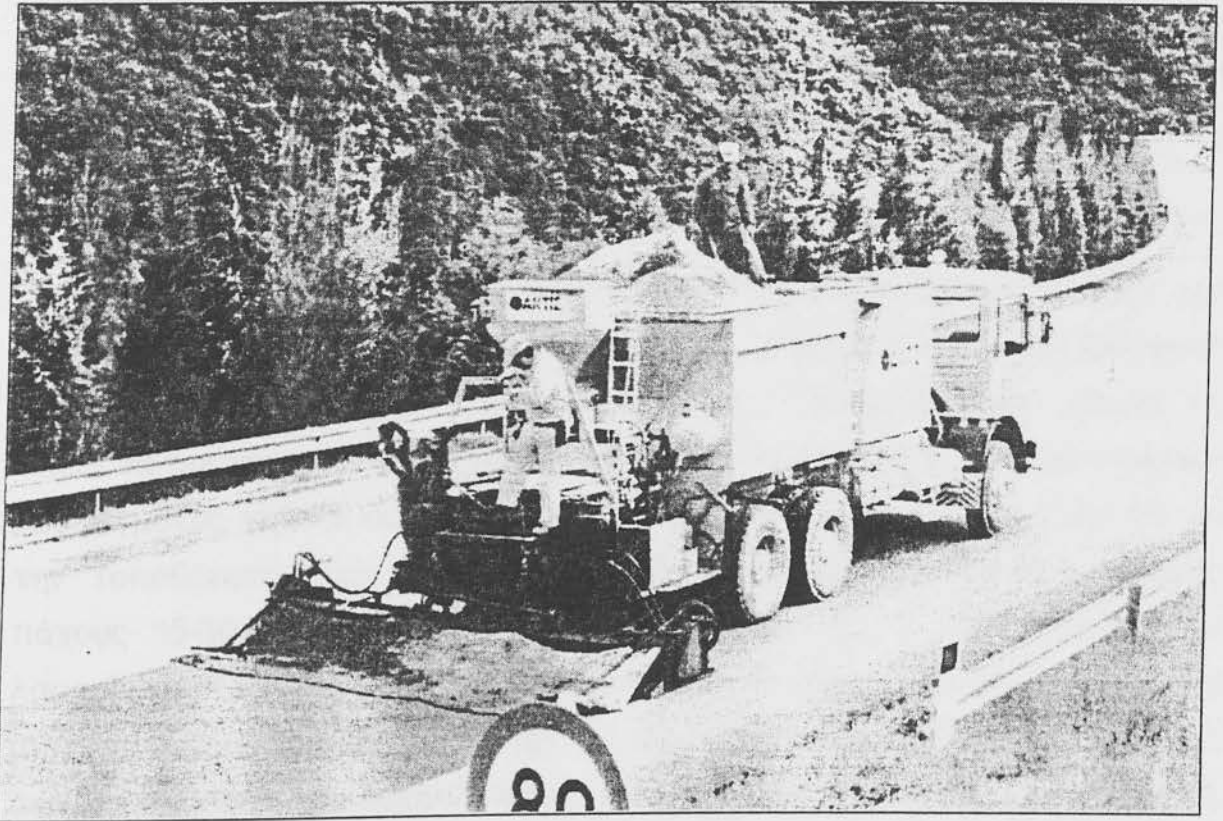
ποσότητες του ασφαλτικού γαλακτώματος - ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας - για τον ψεκασμό των διαγραμμίσεων ή της πιθανής συγκολλητικής είναι περίπου $250-400 \text{ ml/m}^2$, αφού προηγουμένως αραιωθεί με νερό έτσι ώστε το γαλάκτωμα να περιέχει άσφαλτο 30-35%.

Η ανάμιξη και διάστρωση του αντιολισθηρού και σφραγιστικού μίγματος γίνεται αποκλειστικά και μόνο με ειδικό 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 ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου παροχής του γαλακτώματος καθώς και σύστημα ψεκασμού των ελαστικών των τροχών και ανεξάρτητη παροχή νερού υπό πίεση. Ένα τυπικό μηχάνημα Slurry φαίνεται στη Φωτογραφία 5.3.

Τα διαβαθμισμένα αδρανή σε συγκεκριμένη ποσότητα, η οποία καθορίζεται από θυρίδα, διοχετεύονται στον αναμικτήρα με τη βοήθεια μεταφορικής ταινίας. Στον αναμικτήρα τροφοδοτείται ασφαλτικό γαλάκτωμα και νερό σε προκαθορισμένες αναλογίες και μετά από σύντομο χρόνο ανάμιξης (περίπου 10 δευτερόλεπτα) το μίγμα εκρέει από τον αναμικτήρα στον διαστρωτήρα. Ο διαστρωτήρας φέρει δύο σειρές (συνήθως) πτερυγίων για την μεταφορά του μίγματος στα άκρα του διαστρωτήρα. Η ανάμιξη και διάστρωση είναι συνεχούς ροής μέχρι να τελειώσουν τα αδρανή υλικά ή το ασφαλτικό γαλάκτωμα. Ο ανεφοδιασμός του μηχανήματος γίνεται συνήθως στο εργοτάξιο πλησίον του έργου. Ο εν κινήσει ανεφοδιασμός προϋποθέτει διαθεσιμότητα πλευρικού χώρου, πράγμα αδύνατο να εξευρεθεί όταν η διάστρωση γίνεται σε οδικό δίκτυο. Εν κινήσει ανεφοδιασμός είναι εφικτός μόνο σε έργα αεροδρομίων. Πλην του μηχανήματος που φαίνεται στην Φωτογραφία 5.3, υπάρχουν και μηχανήματα που δε διαθέτουν κάδο αδρανών με αποτέλεσμα οι δεξαμενές γαλακτώματος και νερού να είναι μεγαλύτερες σε όγκο. Στα μηχανήματα αυτά η παροχή των αδρανών γίνεται από ανατρεπόμενα φορτηγά που 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 μέσα σε ξηρή ή υγρή (αλλά δίχως στάσιμα νερά) επιφάνεια οδοστρώματος. Ο λεπτοτάπητας που διαστρώνεται συνήθως δε

χρειάζεται κυλίνδρωση, εκτός εάν πρόκειται για διάδρομο ή τροχοδρόμο



Φωτογραφία 5.3 Μηχάνημα παραγωγής και διάστρωσης μιγμάτων slurry

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 τη διάσπαση του γαλακτώματος (συνήθως 10-30 λεπτά για κατιονικά γαλακτώματα). Η διάσπαση του γαλακτώματος χαρακτηρίζεται από αλλαγή χρώματος του μίγματος από καφέ σε μαύρο και ταυτόχρονη εμφάνιση καθαρού νερού στα άκρα της λωρίδας διάστρωσης.

Τα μίγματα slurry συνιστάται όπως διαστρώνονται σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος πάνω από 70°C και έχοντας την ημέρα μπροστά, δηλαδή η θερμοκρασία αναμένεται να αυξηθεί και όχι να μειωθεί. Η σχετική υγρασία κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών θα πρέπει να είναι τέτοια, που να μην καθυστερεί την ωρίμανση του μίγματος πάνω από ένα λογικό χρονικό διάστημα (δυνήθως 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.

5.8.4 Ποιοτικός έλεγχος

Δεδομένης της καταλληλότητας των υλικών, ο ποιοτικός έλεγχος του παραγόμενου μίγματος συνίσταται στον έλεγχο της κοκκομετρικής διαβάθμισης των αδρανών και της ποσότητας του ασφαλικού υλικού, τα οποία θα πρέπει να είναι σύμφωνα με την μελέτη σύνθεσης. Η δειγματοληψία του μίγματος γίνεται από το διαστρωθέντα τάπητα. Αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση, πριν τη διάστρωση, αδιάβροχης αυτοκόλλητης ταινίας πάχους 15-30 cm σε όλο το πλάτος διάστρωσης ή λεπτής επίπεδης λαμαρίνας 1 m² περίπου στο κέντρο της λωρίδας διάστρωσης και σε απόσταση τουλάχιστον 20 m 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⁽³⁸⁾, 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 εκτελείται σύμφωνα με τις τεχνικές οδηγίες⁽³²⁾ 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 επιφανείας και εφόσον κατασκευάστηκε για την βελτίωση της αντιολισθηρής ικανότητας, στον έλεγχο του συντελεστή αντίστασης σε ολίσθηση και του βάθους της μακρο-υφής.

Η ποσότητα των αδρανών που διαστρώθηκαν ανά μονάδα επιφανείας 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 μια από τις γνωστές συσκευές/μηχανήματα μέτρησης ολισθηρότητας. 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⁽³²⁾.

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 συντομότερο χρονικό διάστημα 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.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ
ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ MARSHALL ΓΙΑ ΤΟ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΨΥΧΡΩΝ
ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΩΝ (ΚΤΨΑ)

(Παραγωγή δοκιμίων και εκτέλεση δοκιμών)

1. Γενικά

α) Η μέθοδος αυτή εκτελείται για τον καθορισμό της βέλτιστης περιεκτικότητας ασφάλτου στο ψυχρό ασφαλτόμιγμα. Παράλληλα καθορίζεται και το ποσοστό υγρασίας του ψυχρού ασφαλτομίγματος για βέλτιστη συμπίκνωση.

β) Ο καθορισμός των μηχανικών ιδιοτήτων των Κλειστού Τύπου Ψυχρών Ασφαλτομιγμάτων (ΚΤΨΑ) γίνεται με τη χρήση των συσκευών Marshall. Η κλασική μεθοδολογία Marshall για θερμά ασφαλτομίγματα έχει τροποποιηθεί έτσι ώστε να είναι κατάλληλη για τις ιδιότητες και την συμπεριφορά των ψυχρών ασφαλτομιγμάτων. Οι κυριότερες τροποποιήσεις που έγιναν είναι: η θερμοκρασία ελέγχου των δοκιμίων και η ωρίμανση τους πριν τον έλεγχο. Οι υπόλοιπες συνθήκες ελέγχου και περιορισμοί παραμένουν οι ίδιοι (μέγεθος δοκιμίων, συσκευή συμπίκνωσης, ταχύτητα εφαρμογής του φορτίου, μέγιστο μέγεθος αδρανών κ.λ.π.).

γ) Η ανάμιξη και η συμπίκνωση λαμβάνουν χώρα σε θερμοκρασίες δωματίου. Το έργο συμπίκνωσης είναι ίδιο για όλα τα μίγματα, ανεξαρτήτως του κυκλοφοριακού φόρτου και της θέσης που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν, 50 χτυπήματα ανά επιφάνεια με την συσκευή συμπίκνωσης Marshall.

δ) Η θερμοκρασία των δοκιμίων κατά των έλεγχο πρέπει να είναι $20 \pm 1^\circ\text{C}$ (έλεγχος εν ψυχρώ). Η θερμοκρασία των κεφαλών φόρτισης της συσκευής Marshall θα πρέπει επίσης να διατηρείται στην ίδια θερμοκρασία.

ε) Τα δοκίμια Marshall αφήνονται μέσα στις μήτρες για μια μέρα (24 ώρες) σε θερμοκρασίες δωματίου και κατόπιν αφού εξαχθούν από τις μήτρες τοποθετούνται για μία μέρα (24 ώρες) σε αεριζόμενο φούρνο των 35-40°C. Ο συνολικός χρόνος των δύο ημερών ορίζεται ως χρόνος ωρίμανσης δυο ημερών.

στ) Ορισμένα δοκίμια υποβάλλονται στη δοκιμή εμφάπτισης πριν ελεγχθούν για ευστάθεια Marshall.

ζ) Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της βέλτιστης περιεκτικότητας της ασφάλτου είναι: η διαβρεγμένη ευστάθεια, η διατηρηθείσα ευστάθεια, η ξηρή πυκνότητα, το συνολικό ποσοστό των κενών, η απορροφηθείσα υγρασία και το πάχος υμένα ασφάλτου.

2. Εξοπλισμός

α) Απαιτείται ο ίδιος εξοπλισμός όπως και στη κλασική μεθοδολογία Marshall εκτός από το θερμαινόμενο λουτρό ύδατος. Το λουτρό ύδατος δεν είναι αναγκαίο δεδομένου ότι τα δοκίμια ελέγχονται σε θερμοκρασία δωματίου.

β) Αίθουσα ελεγχόμενης θερμοκρασίας (στους $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) είναι αναγκαία μόνο στην περίπτωση που οι θερμοκρασίες δωματίου είναι μονίμως υψηλότερες από την θερμοκρασία ελέγχου.

γ) Απαιτείται μεγαλύτερος αριθμός μεταλλικών μητρών δεδομένου ότι και τα δοκίμια δεν εξαγονται αμέσως από τις μήτρες. Ο αριθμός αυτός είναι ίσος ή μεγαλύτερος από την ημερήσια ικανότητα παραγωγής δοκιμίων του εργαστηρίου.

3. Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία αποτελείται από δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο καθορίζεται η βέλτιστη περιεκτικότητα ύδατος κατά την συμπύκνωση και στο δεύτερο στάδιο καθορίζονται όλες οι παράμετροι που απαιτούνται για τον καθορισμό της βέλτιστης περιεκτικότητας ασφάλτου στο μίγμα.

3.1 Καθορισμός βέλτιστης περιεκτικότητας ύδατος κατά την συμπύκνωση

α) Προετοιμάζεται επαρκής ποσότητα μίγματος ξηρών αδρανών για την παραγωγή δέκα τουλάχιστον δοκιμίων Marshall (περίπου 1.1Kg/δοκίμιο). Τα δέκα αυτά δοκίμια θα συμπυκνωθούν ανά ομάδες των δύο σε πέντε διαφορετικές περιεκτικότητες ύδατος, με τη διαδικασία που αναπτύσσεται παρακάτω.

β) Τοποθετείται το μίγμα στον κάδο ανάμιξης και προστίθεται η αντίστοιχη ποσότητα νερού^(A) που αναλογεί στην περιεκτικότητα που καθορίστηκε από τον έλεγχο επικαλυπτικότητας συν 1%. Δηλαδή, εάν η περιεκτικότητα από τον έλεγχο επικαλυπτικότητας ήταν 2%, στο μίγμα θα προστεθεί 3% νερό (=2+1).

γ) Αναμιγνύεται πολύ καλά έως ότου το νερό να κατανεμηθεί ομοιόμορφα στο μίγμα των αδρανών. Η ανάμιξη μπορεί να διακοπεί για να εξεταστεί εάν τα λεπτόκοκκα αδρανή έχουν κολλήσει στα τοιχώματα του κάδου. Αν έχουν κολλήσει αποκολλούνται με την βοήθεια κατάλληλου μεταλλικού μέσου (σπάτουλα, ή μυστρί) και συνεχίζεται η ανάμιξη.

δ) Προστίθεται η απαιτούμενη ποσότητα ασφαλτικού γαλακτώματος που αντιστοιχεί στην ονομαστική περιεκτικότητα ασφάλτου (Πίνακας 7.2) και ανακατεύεται πολύ καλά σε θερμοκρασίες δωματίου για 45 περίπου δευτερόλεπτα. Η ανάμιξη μπορεί να διακοπεί για να εξετασθεί εάν παρέμειναν μη επικαλυμμένα αδρανή στα τοιχώματα και στον πάτο του κάδου. Χρησιμοποιείται μυστρί ή σπάτουλα για να αποκολληθούν τα αδρανή και συνεχίζεται η ανάμιξη. Θα πρέπει να αποφεύγεται η παρατεταμένη ανάμιξη διότι θα εμφανιστεί διαχωρισμός της ασφάλτου από τα αδρανή (αποφλοίωση) ή/και θρόμβωση του μίγματος.

(A) Αν χρησιμοποιήθηκε επιβραδυντής στο νερό κατά τη διάρκεια του ελέγχου επικαλυπτικότητας πρέπει το ίδιο διάλυμα να χρησιμοποιηθεί σ' όλες τις διαδικασίες ανάμιξης.

ε) Μετά την ανάμιξη αδειάζεται το μίγμα σε πέντε 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 20-45 λεπτά αναλόγως του τύπου του μίγματος.

στ) Στο στάδιο αυτό ζυγίζεται ένα από τα ταψιά (βάρος Β) για να καθοριστεί 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 ποσότητα του νερού που περιέχεται στο γαλάκτωμα. Η συμπύκνωση γίνεται με τον κόπανο Marshall σε θερμοκρασία δωματίου $21 \pm 1^\circ\text{C}$ εφαρμόζοντας 50 κτύπους ανά επιφάνεια. Η τοποθέτηση του μίγματος στις μήτρες καθώς και η συμπύκνωση γίνεται όπως στα θερμά μίγματα.

ζ) Μετά τη συμπύκνωση αφήνονται τα δοκίμια μέσα στις μήτρες για μια ημέρα, εάν χρησιμοποιείται κατιονικό γαλάκτωμα, ή για δύο ημέρες, εάν χρησιμοποιείται ανιονικό γαλάκτωμα. Κατόπιν αφαιρούνται τα δοκίμια από τις μήτρες με τη βοήθεια εξολκέα, ζυγίζονται και εμβαπτίζονται σε παραφίνη. Κατόπιν ζυγίζονται στον αέρα και στο νερό. Από τις παραπάνω μετρήσεις υπολογίζεται ο όγκος του δοκιμίου και από αυτόν το φαινόμενο ειδικό βάρος (πυκνότητα) του μίγματος. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει η δυνατότητα χρήσης παραφίνης ο όγκος των δοκιμίων υπολογίζεται από τις γεωμετρικές διαστάσεις αυτών.

η) Στην συνέχεια, σπάζονται τα δοκίμια σε κομμάτια, με την βοήθεια σφυριού και τοποθετούνται δύο δείγματα ανά δοκίμιο, σε κατάλληλα μεταλλικά δοχεία ή δίσκους. Ζυγίζεται το περιεχόμενο με το δοχείο (με ακρίβεια 0.1 gr) και τοποθετούνται σε φούρνο $110 \pm 2^\circ\text{C}$. 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 την παραπάνω διαδικασία υπολογίζεται η περιεκτικότητα του μίγματος σε νερό και από αυτήν μπορεί να υπολογιστεί το ξηρό φαινόμενο ειδικό βάρος (πυκνότητα) του μίγματος.

θ) Επαναλαμβάνονται τα βήματα (στ) έως (η) αλλά σε διαφορετική περιεκτικότητα υγρασίας του μίγματος κατά την συμπύκνωση. Αυτό επιτυγχάνεται αφήνοντας το δεύτερο, τρίτο κλπ ταψί με το μίγμα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα εκτεθειμένο στο περιβάλλον του εργαστηρίου^(B). 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.

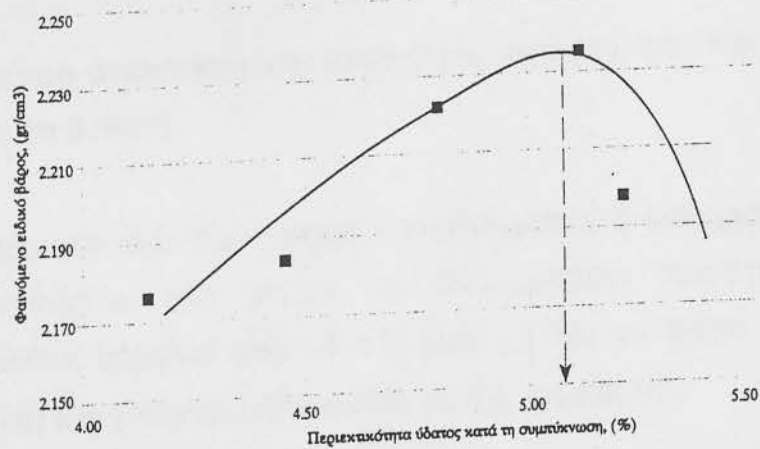
ι) Από τα πέντε ζεύγη τιμών, το ποσοστό υγρασίας κατά την συμπύκνωση και το φαινόμενο ή ξηρό φαινόμενο ειδικό βάρος, σχεδιάζεται η αντίστοιχη καμπύλη. Από αυτήν καθορίζεται το ποσοστό υγρασίας για μέγιστη συμπύκνωση. Πλήρης σειρά εργαστηριακών αποτελεσμάτων δίνεται στον Πίνακα Π.5.1. Στο ποσοστό υγρασίας για μέγιστο ειδικό βάρος θα συμπυκνωθούν όλα τα επόμενα δοκίμια που θα παρασκευασθούν για τον καθορισμό των παραμέτρων που απαιτούνται για την σύνθεση του μίγματος.

3.2 Καθορισμός παραμέτρων για τον καθορισμό της βέλτιστης περιεκτικότητας ασφάλτου

α) Προετοιμάζεται κατάλληλη ποσότητα ξηρών αδρανών (περίπου 35kg) για την παρασκευή έξι δοκιμίων ανά ποσοστό ασφάλτου (συνήθως πέντε διαφορετικά ποσοστά, αλλά ορισμένες φορές μπορεί να χρειαστούν και παραπάνω).

^(B) Ο χρόνος αναμονής μπορεί να μειωθεί εάν χρησιμοποιηθεί ηλεκτρικός ανεμιστήρας και περιοδικό "αναποδογύρισμα" του μίγματος (προσοχή να μην χαθεί κανένας κόκκος αδρανών).

Δοκίμιο	Περιεκτικότητα νερού κατά τη συμπύκνωση (κ.β. Ξηρού μίγματος)	Βάρος δοκιμίου στον αέρα	Ύψος δοκιμίου	Όγκος δοκιμίου	Φαινόμενη πυκνότητα	Περιεκτικότητα νερού κατά τον έλεγχο	Ξηρή πυκνότητα
	(%)	(gr)	(mm)	(cm ³)	(gr/cm ³)	(%)	(gr/cm ³)
	A	B	Γ	Δ	E (B/Δ)	Z (ή ζ=Z/100)	H [B-(ζB)]/Δ
1	4.15	1023.7	58.3	472.42	2.167	1.28	2.140
2	4.15	1023.6	57.8	468.37	2.185	1.119	2.161
M.O	4.15				2.176	1.2	2.151
3	4.45	1014.6	57.3	464.31	2.185	1.45	2.154
4	4.45	1022.8	57.8	468.37	2.184	1.31	2.156
M.O	4.45				2.184	1.38	2.155
5	4.8	1001.2	55.5	449.73	2.226	1.54	2.192
6	4.8	988.5	55	445.68	2.218	1.39	2.187
M.O	4.80				2.222	1.465	2.190
7	5.12	1008.6	55.7	451.35	2.235	1.51	2.201
8	5.12	1014.8	56	453.78	2.236	1.51	2.203
M.O	5.12				2.235	1.51	2.202
9	5.21	986.3	55.2	447.3	2.205	1.62	2.170
10	5.21	983.6	55.4	448.92	2.191	1.63	2.156
M.O	5.21				2.198	1.625	2.163



Πίνακας Π.5.1 Εργαστηριακά αποτελέσματα καθορισμού βέλτιστης περιεκτικότητας ύδατος κατά τη συμπύκνωση.

β) Τοποθετείται στον κάδο ανάμιξης επαρκής ποσότητα αδρανών (περίπου 7kg) για την παρασκευή έξι δοκιμίων. Προστίθεται η ποσότητα νερού που καθορίστηκε από την δοκιμή επικαλυπτικότητα και αναμιγνύεται επαρκώς, όπως το 3.1.(γ). Κατόπιν προστίθεται ποσότητα γαλακτώματος που να αντιστοιχεί σε κάποιο ποσοστό ασφάλτου και αρχίζει η ανάμιξη, όπως στο 3.1.(δ). Ως ποσοστό εκκίνησης χρησιμοποιείται η ονομαστική περιεκτικότητα ασφάλτου που δίνεται στον Πίνακα 5.2.

γ) Μετά το πέρας της ανάμιξης αδειάζεται το μίγμα σε ταψί και ζυγίζεται (προηγούμενος πρέπει να ζυγιστεί το ταψί άδειο). Αφήνεται το μίγμα σε θερμοκρασία δωματίου μέχρι να αποκτήσει ποσοστό υγρασίας ίσο με αυτό που καθορίστηκε στη παράγραφο 3.1 για μέγιστη ξηρή πυκνότητα. Αυτό επιτυγχάνεται με συνεχείς μετρήσεις του βάρους του μίγματος. Το βάρος του νερού που πρέπει να εξατμισθεί μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση:

$$B_v = B_\mu \times \Gamma \times (\Delta - E) / 100 \quad (B.1)$$

όπου B_v = βάρος του νερού που πρέπει να εξατμισθεί, gr

B_μ = βάρος ασφαλτομίγματος, (gr)

Γ = ποσοστό αδρανών στο μίγμα, (%)

Δ = συνολικό ποσοστό νερού στο μίγμα κατά την ανάμιξη (νερό που προστέθηκε στο μίγμα συν νερό που περιέχεται στο γαλάκτωμα), (%)

E = ποσοστό υγρασίας κατά την συμπύκνωση, όπως καθορίστηκε από την παράγραφο 3.1 του παραρτήματος, (%).

δ) Μόλις το μίγμα αποκτήσει την επιθυμητή υγρασία, συμπυκνώνονται τα έξι δοκίμια, όπως το 3.1(στ).

ε) Κατά το χρονικό διάστημα μέχρι να εξατμισθεί η καθορισμένη ποσότητα νερού, αναμιγνύεται νέο μίγμα με διαφορετική ποσότητα ασφάλτου (χρησιμοποιούνται βήματα από $\pm 0.5\%$ έως $\pm 1.0\%$, με βάση την ονομαστική περιεκτικότητα) και επαναλαμβάνονται τα (β), (γ) και (δ).

στ) Μετά την συμπύκνωση αφήνονται τα δοκίμια μέσα στις μήτρες για μία ημέρα και κατόπιν αφαιρούνται προσεκτικά με την βοήθεια κατάλληλου εξολκέα. Αριθμούνται και τοποθετούνται σε φούρνο $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ για 24 ώρες.

ζ) Μετά την εξαγωγή του από το φούρνο, τα δοκίμια αριθμούνται, μετράται το ύψος αυτών (με κλιμακόμετρο venier) και ζυγίζονται στον αέρα. Κατόπιν εμβαπτίζονται σε παραφίνη, αφήνονται να κρυώσουν και ξαναζυγίζονται στον αέρα και σε νερό. Με τη διαδικασία αυτή καθορίζεται ο όγκος του δοκιμίου. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει η δυνατότητα χρήσης παραφίνης ο όγκος υπολογίζεται από το ύψος και τη διάμετρο του δοκιμίου (τα αποτελέσματα που εξάγονται από μη παραφινόμενα δοκίμια αναμένεται να διαφέρουν κατά ένα μικρό ποσοστό).

η) Τα τρία παραφινόμενα δοκίμια από κάθε περιεκτικότητα ασφάλτου θλίβονται με τη συσκευή Marshall σε θερμοκρασία^(ε) $21 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Η εκτέλεση της δοκιμής Marshall γίνεται την ίδια μέρα που αυτά εξάγονται από το φούρνο, δηλαδή μετά από 48 συνολικά ώρες από την παρασκευή τους. Από τη δοκιμή αυτή καταγράφεται μόνο η ευστάθεια Marshall, η οποία ορίζεται ως τροποποιημένη Ξηρή Ευστάθεια Marshall (ΞΕΜ).

Για τη διόρθωση των τιμών της Ξηρής ευστάθειας, λόγω πιθανού διαφορετικού ύψους των δοκιμίων, χρησιμοποιούνται οι ίδιοι διορθωτικοί συντελεστές Marshall που χρησιμοποιούνται στα θερμά ασφαλτομίγματα (Πίνακας 4.16).

θ) Από τα κατεστραμμένα δοκίμια επαναλαμβάνεται το 3.1(η).

ι) Τα υπόλοιπα τρία μη παραφινόμενα δοκίμια, από κάθε μίγμα, τοποθετούνται σε υδρόλουτρο θερμοκρασίας ίσης με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος του εργαστηρίου και υποβάλλονται για 48 ώρες στη δοκιμή τριχοειδούς απορρόφησης ύδατος. Μετά το πέρας των 48 ωρών και αφού καθορισθεί το ποσοστό απορρόφησης υγρασίας, τα δοκίμια θλίβονται με τη

^(ε) Εάν η θερμοκρασία του εργαστηρίου είναι διάφορη από τους $21 \pm 1^{\circ}\text{C}$., τοποθετήστε τα δοκίμια σε θάλαμο για μία περίπου ώρα, έτσι ώστε να αποκτήσουν τη θερμοκρασία των 21°C .

συσσκευή Marshall. Η τιμή που λαμβάνεται ορίζεται ως τροποποιημένη Διαβρεγμένη ευστάθεια Marshall (ΔΕΜ).

Για τη διόρθωση των τιμών της διαβρεγμένης ευστάθειας, λόγω πιθανού διαφορετικού ύψους των δοκιμίων, χρησιμοποιούνται οι ίδιοι διορθωτικοί συντελεστές Marshall που χρησιμοποιούνται στα θερμά ασφαλτομίγματα.

κ) Από την ξηρή και διαβρεγμένη επιφάνεια υπολογίζεται το ποσοστό της Διατηρηθείσης ευστάθειας (ΔΕ) χρησιμοποιώντας τον τύπο:

$$\Delta E = \Delta EM / \Xi EM \times 100, (\%)$$

5. Αποτελέσματα

Για κάθε δοκίμιο από κάθε μίγμα υπολογίζονται και αναφέρονται τα αποτελέσματα της τροποποιημένης διαβρεγμένης ευστάθειας Marshall, το ποσοστό της διατηρηθείσης ευστάθειας, το ξηρό φαινόμενο ειδικό βάρος (πυκνότητα) του μίγματος, το ποσοστό της απορροφηθείσης υγρασίας μετά από εμβάπτιση των δοκιμίων σε νερό για 48 ώρες και το πάχος υμένα της ασφάλτου. Ο μέσος όρος των τιμών ανά μίγμα είναι αυτός που χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό των διαγραμμάτων που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 5.3.4.

Για τη διευκόλυνση της καταγραφής των μετρήσεων και τον υπολογισμό των απαιτούμενων μεγεθών συνιστάται η χρήση του Πίνακα Π.5.2.

6. Χρήσιμες σχέσεις

Για τον υπολογισμό των μεγεθών του Πίνακα Π.5.2 χρησιμοποιούνται οι παρακάτω σχέσεις:

Στήλη Γ: $100 / [(P_{αδ} / G_{αδ}) + (P_{ασφ} / G_{ασφ})], (gr/cm^3)$

όπου $P_{αδ}, P_{ασφ}$ = ποσοστό αδρανών και ασφάλτου στο μίγμα, αντίστοιχα.

$G_{αδ}, G_{ασφ}$ = ειδικό βάρος αδρανών και ασφάλτου, αντίστοιχα, gr/cm^3 .

Στήλη Θ: **$E-Z-[(E-Δ)/Γ_π], (cm^3)$**

όπου E,Z και Δ το αποτέλεσμα από τη στήλη E, Z και Δ αντίστοιχα

$G_π$ = ειδικό βάρος παραφίνης, (gr/cm^3)

Στήλη Ι: **$Δ/Θ, (gr/cm^3)$**

όπου Δ και Θ το αποτέλεσμα από τη στήλη Δ και Θ, αντίστοιχα

Στήλη Λ: **$[Ix(100+B)]/(100+B+K), (gr/cm^3)$**

όπου I,B και K το αποτέλεσμα από τη στήλη I,B και K, αντίστοιχα

Στήλη Μ: **$(Γ-Λ)/Γ, (%)$**

όπου Γ και Λ το αποτέλεσμα από τη στήλη Γ και Λ, αντίστοιχα

Στήλη Ξ: **$[(N-Δ)/Δ]x100, (%)$**

όπου N και Δ το αποτέλεσμα από τη στήλη N και Δ, αντίστοιχα

Αριθμός δοκιμίου	Περιεκτ. ασφ. στο μίγμα	Μεγ. ειδικό βάρος ασφ./τος	Βάρος στον αέρα	Βάρος στον αέρα με κερί	Βάρος στο νερό	Ύψος δοκιμίου	Όγκος δοκιμίου	Φαινόμε. ειδ. βάρος δοκιμίου	Περιεκ. νερού κατά τον έλεγχο
	(%)	(gr/cm ³)	(gr)	(gr)	(gr)	(mm)	(cm ³)	(gr/cm ³)	(%)
Στήλη Α	Β	Γ	Δ	Ε	Ζ	Η	Θ	Ι	Κ
1									
2									
3									
M.O									
4									

Ξηρό φαινομ. ειδ. βάρ. δοκιμίου	Ποσοστό κενών	Βάρος δοκιμ. (48h σε υδρατ/ρο)	Ποσοστό απορροφ. νερού	Ξηρή ευστάθ.	Διορθ. Ξηρή ευστάθ.	Διαβρευ. ευστάθ.	Διορθ. διαβρευ. ευστάθ.	Διατηρηθ. ευστάθεια	Πάχος υμένα ασφ.
(gr/cm ³)	(%)	(gr)	(%)	(KN)	(KN)	(KN)	(KN)	(%)	(μm)
Λ	Μ	Ν	Ξ	Ο	Π	Ρ	Σ	Τ	Υ

Πίνακας Π.5.2 Έντυπο καταγραφής και επεξεργασίας αποτελεσμάτων τροποποιημένης μεθόδου Marshall για σύνθεση ΚΨΤΑ

- Στήλη Π: Οι τιμές της στήλης Π εξάγονται από τις τιμές της στήλης "Ο", που λαμβάνονται από το εργαστήριο, αφού προηγουμένως πολλαπλασιαστούν με τους διορθωτικούς συντελεστές που χρησιμοποιούνται για τα θερμά ασφαλτομίγματα, Πίνακας 4.16.
- Στήλη Σ: Οι τιμές της στήλης Τ εξάγονται από, τις τιμές της στήλης Σ, που λαμβάνονται από το εργαστήριο, αφού προηγουμένως πολλαπλασιαστούν με τους διορθωτικούς συντελεστές που χρησιμοποιούνται για τα θερμά ασφαλτομίγματα, Πίνακας 4.16.
- Στήλη Τ: **$(\Sigma/\Pi) \times 100, (\%)$**
όπου Σ και Π το αποτέλεσμα από τη στήλη Σ και Π, αντίστοιχα
- Στήλη Υ: Ο υπολογισμός του πάχους υμένα ασφάλτου γίνεται σύμφωνα με την παράγραφο 4.3.2.
- Σημείωση: Οι τιμές όλων των άλλων στηλών λαμβάνονται από μετρήσεις στο εργαστήριο.

6. ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΩΝ

6.1 Γενικά

Μια αναλυτική μεθοδολογία διαστασιολόγησης οποιασδήποτε κατασκευής βασίζεται στη γνώση των θεμελιακών μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών από τα οποία πρόκειται να κατασκευασθεί καθώς και στη γνώση γενικότερα, της μηχανικής συμπεριφοράς αυτών. Ως θεμελιώδης μηχανικές ιδιότητες μπορούν να χαρακτηρισθούν το μέτρο ελαστικότητας, η αντοχή σε εφελκυσμό, η αντοχή σε θλίψη, σε κόπωση κ.λ.π. Κάτι αντίστοιχο υπάρχει και στην αναλυτική προσέγγιση διαστασιολόγησης των εύκαμπτων οδοστρωμάτων. Η βασική διαφορά με τις άλλες κατασκευές π.χ. από οπλισμένο σκυρόδεμα ή από χάλυβα, είναι ότι ένα ασφαλτόμιγμα δε συμπεριφέρεται ως ελαστικό αλλά ως ιξωδοελαστικό υλικό λόγω της παρουσίας της ασφάλτου. Τα άλλα δομικά υλικά όπως τα συμπυκνωμένα αδρανή, τα σταθεροποιημένα αδρανή υλικά ή έδαφος με συνδετικό υλικό διάφορο της ασφάλτου καθώς και το έδαφος μπορούν να χαρακτηρισθούν ως υλικά με ελαστική συμπεριφορά.

Στην αναλυτική διαστασιολόγηση των οδοστρωμάτων, και όσον αφορά 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, συμπύκνωση ασφαλτομίγματος κ.λ.π. Ειδικότερα για την εκτίμηση της αντοχής του ασφαλτομίγματος σε παραμένουσα παραμόρφωση εκτελείται επιπροσθέτως και ένας έλεγχος ο οποίος όμως θα μπορούσε να χαρακτηρισθεί ως ένας έλεγχος ο οποίος όμως θα μπορούσε να

χαρακτηρισθεί ως έλεγχος απομίμησης της πραγματικής κατάστασης, γνωστός ως έλεγχος τροχοαυλάκωσης (wheel-tracking test).

Η εκτέλεση των δοκιμών για τον καθορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων και της συμπεριφοράς του ασφαλτομίγματος προϋποθέτει την ύπαρξη πολύπλοκων 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 ελλείψη αυτών των συσκευών. Βεβαίως για την καλύτερη πιστότητα των αποτελεσμάτων της διαστασιολόγησης προτιμητέα είναι η χρήση εργαστηριακών αποτελεσμάτων.

Οι μηχανικές ιδιότητες καθώς και η μηχανική συμπεριφορά των ασφαλτομιγμάτων σε παραμόρφωση και κόπωση δε 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 και όχι σε θεμελιώδη μηχανικά κριτήρια. Ο καθορισμός της βέλτιστης σύνθεσης, ουσιαστικά της βέλτιστης ποσότητας ασφάλτου, έτσι όπως γίνεται σήμερα δε 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 αστοχιών με συνακόλουθη σπατάλη χρήματος.

Προς την κατεύθυνση αυτή κινείται και η Ευρωπαϊκή ένωση, δηλαδή 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. Μόνο έτσι θα είναι δυνατόν να σχεδιάζονται ασφαλτομίγματα που θα δύναται να ικανοποιούν με επιτυχία τις εκάστοτε ανάγκες αλλά και θα μπορούν να χρησιμοποιούνται επιτυχώς νέα βελτιωμένα υλικά ή ακόμη και αυτά που σήμερα θεωρούνται ακατάλληλα ή οριακά για την οδοποιία.

6.2 Μέτρο δυσκαμψίας ασφαλτομίγματος

Το ασφαλτόμιγμα εμπεριέχει δύο υλικά με διαφορετική μηχανική συμπεριφορά. Την άσφαλτο με ιξωδοελαστική συμπεριφορά, κάτω από συνήθεις συνθήκες φόρτισης, και τα συμπυκνωμένα αδρανή με ελαστική, κατά βάση, συμπεριφορά. Η ιξωδοελαστική συμπεριφορά της ασφάλτου υπερισχύει και έτσι το ασφαλτόμιγμα συμπεριφέρεται και αυτό, κάτω από τις συνήθεις συνθήκες φόρτισης, ως ιξωδοελαστικό υλικό. Η μεγάλη μεταβλητότητα των ιδιοτήτων των συστατικών του ασφαλτομίγματος καθώς και των αναλογιών αυτών στο ασφαλτόμιγμα, κάνουν την αποτίμηση της μηχανικής συμπεριφοράς του ασφαλτομίγματος ακόμη πιο δύσκολη υπόθεση.

Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι το ασφαλτόμιγμα δεν μπορεί να χαρακτηριστεί από τη θεμελιώδη χαρακτηριστική ιδιότητα των ελαστικών υλικών που εκφράζεται με το μέτρο ελαστικότητας (E) ή άλλως γνωστό μέτρο Young. Στην περίπτωση των ασφαλτομιγμάτων, κατ' αντιστοιχία με την άσφαλτο, χρησιμοποιείται ο όρος *μέτρο δυσκαμψίας* (stiffness modulus ή stiffness), (S_{mix}), όρος που προτάθηκε από τον Van der Poel⁽⁴⁰⁾. Η χαρακτηριστική και θεμελιώδης αυτή ιδιότητα εξαρτάται, (σε αντίθεση με το μέτρο ελαστικότητας όπου η παραμόρφωση εξαρτάται μόνο από το επιβαλλόμενο φορτίο) και από τη θερμοκρασία (T) και το χρόνο φόρτισης (t). Το μέτρο δυσκαμψίας του ασφαλτομίγματος υπολογίζεται από την παρακάτω θεμελιώδη εξίσωση:

$$S_{mix} = (\sigma/\epsilon)_{T,t} \quad (6.1)$$

όπου σ = επιβαλλόμενη τάση

ϵ = αντιστοιχούσα ανηγμένη παραμόρφωση.

Στους αναλυτικούς υπολογισμούς καθορισμού μηχανικής συμπεριφοράς του ασφαλτομίγματος, καθιερώθηκε να χρησιμοποιούνται δύο μέτρα δυσκαμψίας. Αυτό που μετράται κάτω από συνθήκες όπου ο χρόνος φόρτισης είναι πολύ μικρός και η θερμοκρασία ελέγχου χαμηλή και αυτό που μετράται κάτω από συνθήκες όπου ο χρόνος φόρτισης είναι μεγάλος και η θερμοκρασία ελέγχου υψηλή. Το πρώτο ονομάζεται ελαστικό μέτρο

δυσκαμψίας (elastic stiffness), διότι οι συνθήκες μέτρησης αυτού πλησιάζουν τις συνθήκες ελαστικής συμπεριφοράς της ασφάλτου, και το δεύτερο ονομάζεται στατικό μέτρο δυσκαμψίας (viscous stiffness), διότι οι συνθήκες μέτρησης αυτού πλησιάζουν τις συνθήκες ιξώδους συμπεριφοράς της ασφάλτου. Το ελαστικό μέτρο δυσκαμψίας ονομάζεται από διάφορους ερευνητές και ως δυναμικό μέτρο δυσκαμψίας (dynamic stiffness). Κατ' αντιστοιχία, το στατικό μέτρο δυσκαμψίας, λόγω του μεγάλου χρόνου φόρτισης, ονομάζεται και στατικό μέτρο δυσκαμψίας. Τέλος, όταν γίνεται αναφορά στο μέτρο δυσκαμψίας του ασφαλτομίγματος, καθιερώθηκε να εννοείται το ελαστικό (ή δυναμικό) μέτρο δυσκαμψίας, αλλιώς γίνεται αναφορά σε στατικό.

Όσον αφορά τους συμβολισμούς που συνήθως χρησιμοποιούνται για την έκφραση του ελαστικού μέτρου δυσκαμψίας είναι : S_{mix} ή E_{dyn} ή E . Ομοίως, για την έκφραση του ιξώδους μέτρου δυσκαμψίας συνήθως χρησιμοποιούνται οι συμβολισμοί: $S_{mix,visc}$ ή $S_{mix,creep}$ ή E_{sta} ή E_{visc} .

Το ελαστικό ή δυναμικό μέτρο δυσκαμψίας χρησιμοποιείται από την αναλυτική διαστασιολόγηση οδοστρωμάτων για τον υπολογισμό των κρίσιμων τάσεων και παραμορφώσεων που αναπτύσσονται στην πολυστρωματική δομή του οδοστρώματος κατά τη φόρτιση.

Το στατικό μέτρο δυσκαμψίας χρησιμοποιείται στην εκτίμηση της αντίστασης του ασφαλτομίγματος σε παραμένουσα παραμόρφωση καθώς και στην πρόβλεψη της συνολικής παραμένουσας παραμόρφωσης του οδοστρώματος μετά από συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ζωής.

6.3 Χρόνος φόρτισης οδοστρωμάτων

Η επιβολή του φορτίου από τα κινούμενα οχήματα σε ένα τυχαίο σημείο του οδοστρώματος γίνεται για χρονικό διάστημα ανάλογο της ταχύτητας του οχήματος και αναμφισβήτητα είναι επαναλαμβανόμενη. Η ανάπτυξη της μέγιστης επιβαλλόμενης τάσης δηλαδή η μορφή της καμπύλης “επιβαλλόμενο φορτίο (ή τάση) - χρόνος φόρτισης” είναι επίσης άλλη μια βασική παράμετρος για τον καθορισμό των “ελαστικών” ιδιοτήτων των ασφαλτομιγμάτων. Η κάθετη τάση που αναπτύσσεται από ένα κινούμενο φορτίο τροχού, σε οποιοδήποτε βάθος του οδοστρώματος, θεωρείται ότι έχει περίπου τη μορφή της ημιτονοειδούς καμπύλης. Αντίστοιχη είναι και η μορφή

της καμπύλης της ανοιγμένης παραμόρφωσης συναρτήσει της διάρκειας φόρτισης.

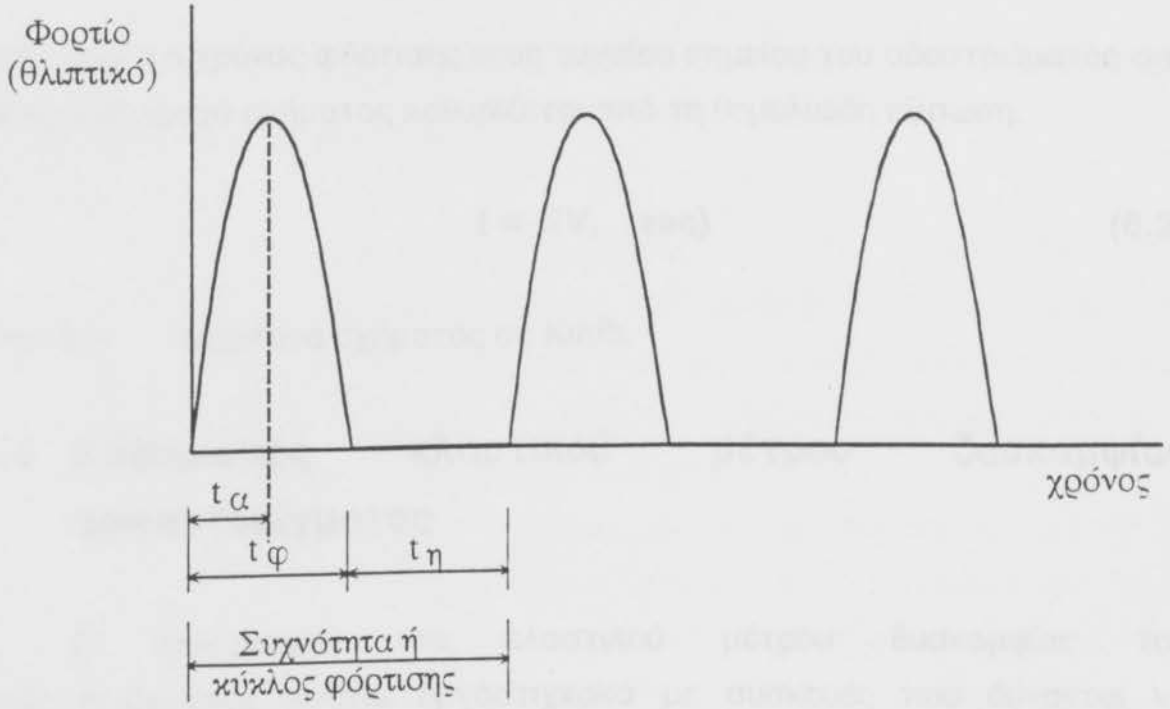
Η επανάληψη της φόρτισης είναι και αυτή συνάρτηση της ταχύτητας των οχημάτων. Η συχνότητα επανάληψης είναι πάντοτε μεγαλύτερη του χρόνου που απαιτείται για να αναπτυχθεί και να μηδενισθεί η μέγιστη επιβαλλόμενη τάση.

Έτσι, η προσομοίωση της πραγματικής κατάστασης στο εργαστήριο γίνεται με τη χρήση δυναμικής φόρτισης συγκεκριμένης συχνότητας ή ρυθμού ή παλμού της μορφής που φαίνεται στο Σχήμα 6.1 (α).

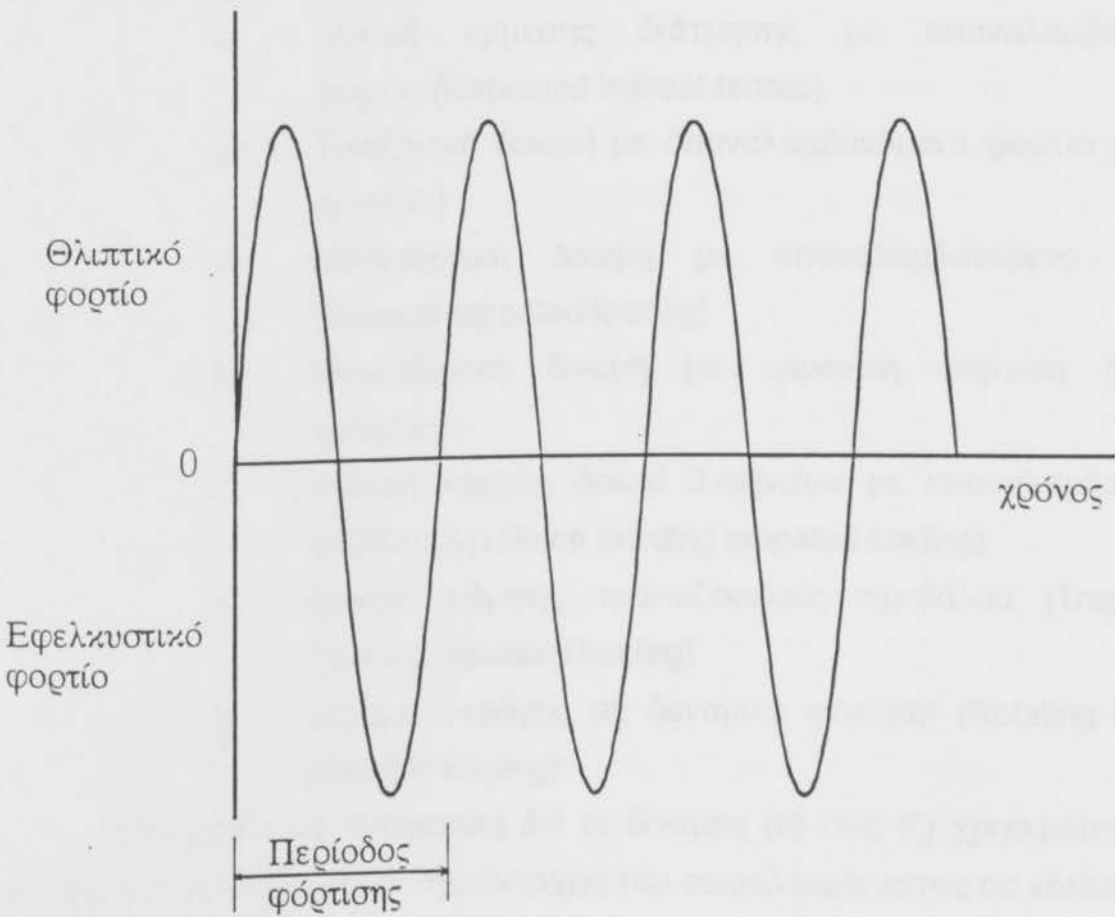
Στην παλμική φόρτιση μορφής μισής ημιτονοειδούς καμπύλης επιβάλλεται θλιπτικό φορτίο για ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα και κατόπιν μεσολαβεί μια μικρή περίοδος ηρεμίας (t_h) ή ανάκτησης. Ο χρόνος που απαιτείται για να λάβει το φορτίο τη μέγιστη επιθυμητή τιμή ονομάζεται χρόνος ανύψωσης (t_a), ενώ ο συνολικός χρόνος φόρτισης/αποφόρτισης ονομάζεται χρόνος φόρτισης (t_f), συνήθως ο χρόνος αυτός είναι 0.1 έως 0.4 sec. Ο συνολικός χρόνος $t_f + t_h$ ονομάζεται συχνότητα παλμού και μετράται σε sec ή Hz. Η συχνότητα παλμού συνήθως είναι από 3 έως 1 sec. Το στάδιο φόρτισης/αποφόρτισης και ηρεμίας μαζί καθορίζουν ένα πλήρη κύκλο φόρτισης. Μεταξύ δύο φορτίσεων η προκληθείσα παραμόρφωση σε καθαρώς ελαστικά υλικά ανακτάται πλήρως.

Μια άλλη μορφή δυναμικής φόρτισης που χρησιμοποιείται στις εργαστηριακές δοκιμές για τον καθορισμό του ελαστικού μέτρου δυσκαμψίας των ασφαλτομιγμάτων είναι η μορφή πλήρους ημιτονοειδούς καμπύλης (αρμονικής), Σχήμα 6.1 (β). Στην περίπτωση της πλήρους ημιτονοειδούς (αρμονικής) φόρτισης επιβάλλεται θλιπτική και εφελκυστική δύναμη (φορτίο) δίχως να υπάρχει περίοδος ηρεμίας. Το πλάτος της ημιτονοειδούς καμπύλης καθορίζει το μέγεθος του επιθυμητού φορτίου και η συχνότητα αυτής τη συχνότητα φόρτισης.

Και οι δύο τύποι δυναμικής φόρτισης θεωρούνται ικανοποιητικοί για την προσομοίωση της φόρτισης που υφίσταται το ασφαλτόμιγμα στην πράξη. Η μόνη διαφορά είναι ότι η επιβολή αρμονικής φόρτισης απαιτεί τη χρήση πολυπλοκότερου και ακριβότερου συστήματος επιβολής και καταγραφής φορτίου.



(α) Παλμική φόρτιση τριγωνικής μορφής



(β) Ημιτονοειδής φόρτιση (αρμονική)

Σχήμα 6.1 Τυπικές μορφές δυναμικής φόρτισης για εργαστηριακές δοκιμές

Στην πράξη ο χρόνος φόρτισης ενός τυχαίου σημείου του οδοστρώματος από κινούμενο τροχό οχήματος καθορίζεται από τη θεμελιώδη εξίσωση:

$$t = 1/V, \text{ (sec)} \quad (6.2)$$

όπου $V =$ ταχύτητα οχήματος σε Km/h.

6.4 Καθορισμός ελαστικού μέτρου δυσκαμψίας ασφαλτομίγματος

Ο καθορισμός του ελαστικού μέτρου δυσκαμψίας του ασφαλτομίγματος γίνεται εργαστηριακά με συσκευές που δύνανται να επιβάλλουν δυναμικό φορτίο, μορφής μίας από τις δύο προαναφερθείσες, σε δοκίμιο συμπυκνωμένου ασφαλτομίγματος. Οι εργαστηριακές δοκιμές που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι:

- α) Δοκιμή έμμεσης διάτμησης με επαναλαμβανόμενο φορτίο (Repeated indirect tensile)
- β) Τριαξονική δοκιμή με επαναλαμβανόμενο φορτίο (Triaxial dynamic)
- γ) Μονοαξονική δοκιμή με επαναλαμβανόμενο φορτίο (Uniaxial repeated loading)
- δ) Μονοαξονική δοκιμή με αρμονική φόρτιση (Uniaxial dynamic)
- ε) Δοκιμή κάμψης δοκού 3-σημείων με επαναλαμβανόμενο φορτίο (3-p Beam bending repeated loading)
- στ) Δοκιμή κάμψης τραπεζοειδούς προβόλου (Trapezoidal bending repeated loading)
- ζ) Δοκιμή στρέψης σε δυναμική φόρτιση (Rotating bending dynamic loading)

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

6.5 Εκτίμηση ελαστικού μέτρου δυσκαμψίας ασφαλτομίγματος

Εάν η μέτρηση του ελαστικού 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 ελαστικού μέτρου δυσκαμψίας γίνεται με τη βοήθεια του νομογραφήματος που δίνεται στο Σχήμα 6.2. Το νομογράφημα αυτό αναπτύχθηκε από τους Bonnaure 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 5×10^6 Pa. Ο περιορισμός οφείλεται στο γεγονός ότι μόνο πάνω από αυτήν την τιμή δυσκαμψίας της ασφάλτου υπάρχει δυναμική συμπεριφορά του μίγματος και το ελαστικό μέτρο δυσκαμψίας της ασφαλτομίγματος εξαρτάται μόνο από τη δυσκαμψία της ασφάλτου και τις ογκομετρικές αναλογίες των συστατικών του μίγματος. Κατω από αυτήν την τιμή, υπεισέρχονται και άλλες παράμετροι, η επίδραση της ασφάλτου μειώνεται και γενικότερα ο καθορισμός του μέτρου δυσκαμψίας του ασφαλτομίγματος είναι ουσιαστικά αδύνατος.

Η χρήση του νομογραφήματος είναι απλούστατη. Χρειάζεται μόνο ο καθορισμός του μέτρου δυσκαμψίας της ασφάλτου S_{bit} και ο καθορισμός του όγκου της ασφάλτου και του όγκου των αδρανών επί τοις εκατό στο συνολικό όγκο του μίγματος. Το μέτρο δυσκαμψίας της ασφάλτου καθορίζεται από το νομογράφημα του Van der Poel (Σχήμα 6.3), για τη συγκεκριμένη θερμοκρασία φόρτισης που ουσιαστικά είναι η μέση ταχύτητα των οχημάτων στο συγκεκριμένο έργο. Ο όγκος της ασφάλτου και των αδρανών στο μίγμα καθορίζεται εύκολα από το στάδιο μελέτης σύνθεσης του ασφαλτομίγματος.

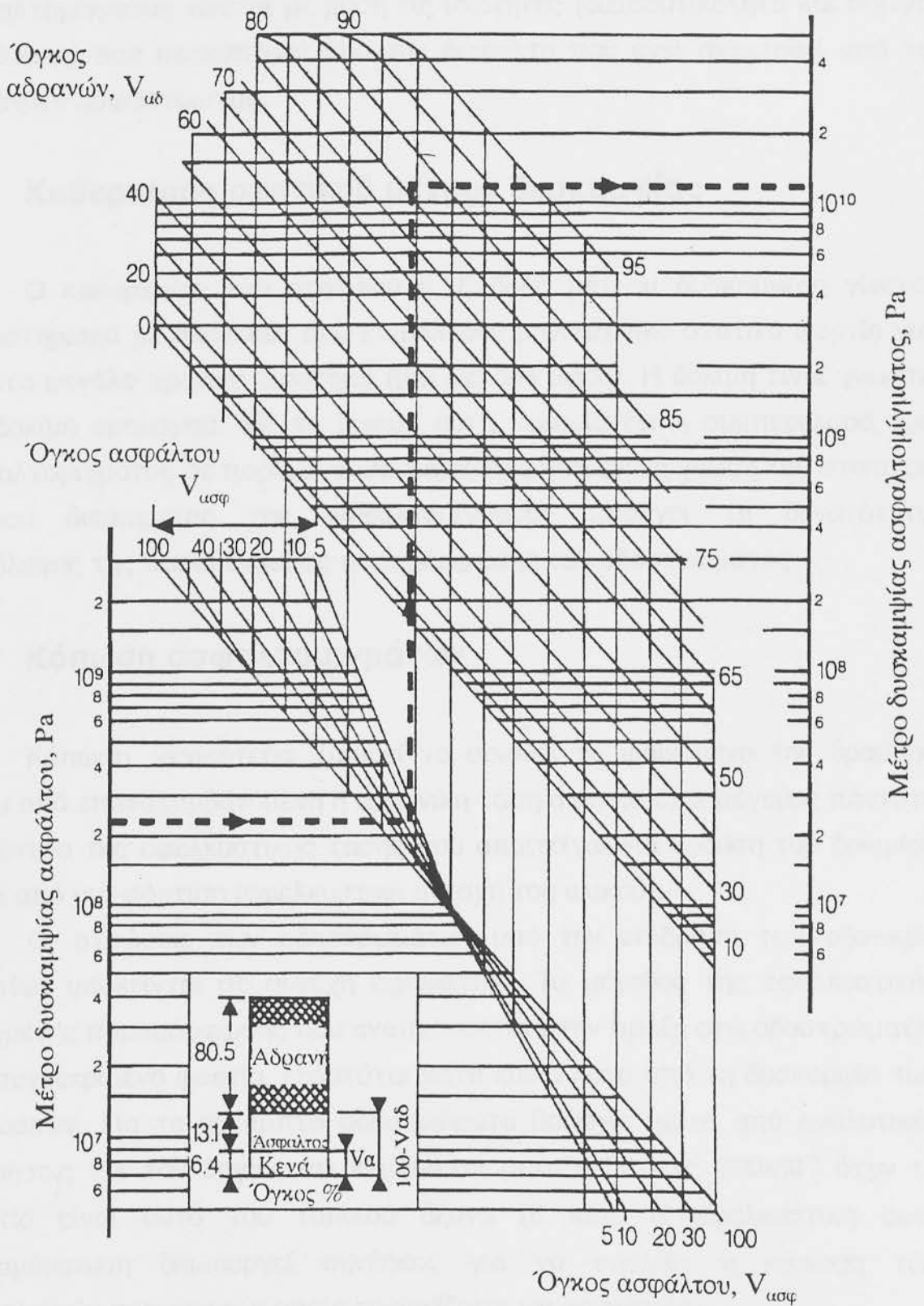
Θα πρέπει να αναφερθεί ότι επειδή η άσφαλτος οξειδώνεται από τα πρώτα ακόμη στάδια της εφαρμογής της (αποθήκευση, ανάμιξη και διάστρωση) ο καθορισμός του μέτρου δυσκαμψίας του ασφαλτομίγματος από τις ιδιότητες της αρχικής ασφάλτου πριν την παραγωγή του ασφαλτομίγματος θα δώσει μη πραγματικά αποτελέσματα. Για το λόγο αυτό



Για τον υπολογισμό του μέτρου δυσκαμψίας μιας ασφάλτου, έστω 50 rep, στις συνθήκες ελέγχου, ενώστε 0.02s στον άξονα του χρόνου φόρτισης με $(53.5-5=48.5 \text{ } ^\circ\text{C})$ στον άξονα της θερμοκρασίας.
 Μέτρο δυσκαμψίας = $1.8 \times 10^8 \text{ Pa}$ με $PI=0$

Συνθήκες ελέγχου
 Χρόνος φόρτισης = 0.02 sec., Θερμοκρασία = 5 °C
 Ιδιότητες ασφάλτου
 Διεισδυτικότητα στους 25 °C = 50 rep
 Σημείο Μάλθωσης (R&B) = 53.5 °C
 PI = 0.0

Σχήμα 6.2 Νομογράφημα Van der Poel για τον καθορισμό του μέτρου δυσκαμψίας (S_{bit}) της ασφάλτου.



Σχήμα 6.3: Νομογράφημα εκτίμησης μέτρου δυσκαμψίας ασφαλτομιγμάτων

συνιστάται όπως ο καθορισμός του μέτρου δυσκαμψίας του ασφαλτομίγματος γίνεται με βάση τις ιδιότητες (διδυσδυτικότητα και σημείο μάλθωσης) που προκύπτουν από την ασφαλτο που έχει ανακτηθεί από το παραχθέν ασφαλτόμιγμα.

6.6 Καθορισμός στατικού μέτρου δυσκαμψίας

Ο καθορισμός του στατικού ή ιξώδους μέτρου δυσκαμψίας γίνεται εργαστηριακά με συσκευές που επιβάλλουν μονοαξονικό στατικό φορτίο για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα (μία ως δύο ώρες). Η δοκιμή είναι γνωστή ως δοκιμή ερπυσμού. 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.

6.7 Κόπωση ασφαλτομιγμάτων

Κόπωση, γενικότερα, μπορεί να ορισθεί 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 φόρτιση (εφελκυστική αντοχή του υλικού).

Οι στρώσεις των οδοστρωμάτων υπό την επίδραση των αξονικών φορτίων υπόκεινται σε συνεχή εφελκυσμό. Το μέγεθος της εφελκυστικής ανηγμένης παραμόρφωσης που αναπτύσσεται στην πράξη στα οδοστρώματα, για συγκεκριμένο φορτίο, εξαρτάται κατά κυριο λόγο από τη δυσκαμψία των στρώσεων. Για τα εύκαμπτα οδοστρώματα βρέθηκε, μετά από αναλυτικές μετρήσεις επί του έργου, ότι κυμαίνεται μεταξύ 30 έως 200×10^{-6} όταν το φορτίο είναι αυτό του τυπικού άξονα (8 ton). Η εφελκυστική αυτή παραμόρφωση δημιουργεί συνθήκες για να επέλθει η κόπωση των ασφαλικών στρώσεων η οποία εμφανίζεται ως ρηγμάτωση.

Η ρηγμάτωση του οδοστρώματος, λόγω της κόπωσης των ασφαλικών στρώσεων, είναι μια 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 μη ρηγματώνεται πρόωρα.

7.1 Γενικά

Η βελτιστοποίηση μηχανικά των ελαστικών οδοστρωμάτων πραγματοποιείται με βάση την ανάλυση των μηχανικών τους ιδιοτήτων. Η ανάλυση των ιδιοτήτων των οδοστρωμάτων γίνεται με βάση τις μετρήσεις των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών που χρησιμοποιούνται. Πρώτη προτεραιότητα είναι η ανάλυση των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών που χρησιμοποιούνται. Η ανάλυση των ιδιοτήτων των υλικών που χρησιμοποιούνται γίνεται με βάση τις μετρήσεις των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών που χρησιμοποιούνται. Η ανάλυση των ιδιοτήτων των υλικών που χρησιμοποιούνται γίνεται με βάση τις μετρήσεις των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών που χρησιμοποιούνται.

Από τη βελτιστοποίηση μηχανικά των οδοστρωμάτων προκύπτει η ανάγκη για την ανάλυση των ιδιοτήτων των υλικών που χρησιμοποιούνται. Η ανάλυση των ιδιοτήτων των υλικών που χρησιμοποιούνται γίνεται με βάση τις μετρήσεις των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών που χρησιμοποιούνται. Η ανάλυση των ιδιοτήτων των υλικών που χρησιμοποιούνται γίνεται με βάση τις μετρήσεις των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών που χρησιμοποιούνται. Η ανάλυση των ιδιοτήτων των υλικών που χρησιμοποιούνται γίνεται με βάση τις μετρήσεις των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών που χρησιμοποιούνται.

Τα οδοστρώματα που βελτιστοποιούνται μηχανικά προκύπτουν με βάση την ανάλυση των ιδιοτήτων των υλικών που χρησιμοποιούνται. Η ανάλυση των ιδιοτήτων των υλικών που χρησιμοποιούνται γίνεται με βάση τις μετρήσεις των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών που χρησιμοποιούνται. Η ανάλυση των ιδιοτήτων των υλικών που χρησιμοποιούνται γίνεται με βάση τις μετρήσεις των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών που χρησιμοποιούνται.

Την Ελλάδα τα πρώτα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή οδοστρωμάτων είναι τα ασφάλτα και οι άμμοι. Στην συνέχεια χρησιμοποιούνται υλικά που προκύπτουν από την επεξεργασία των υλικών που χρησιμοποιούνται.

7. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΡΩΣΗ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΩΝ

7.1 Γενικά

Η βιομηχανική παραγωγή των θερμών ασφαλτομιγμάτων συνίσταται στην εν θερμώ ανάμιξη σε ειδικά συγκροτήματα, των αδρανών με την άσφαλτο, έτσι ώστε το παραγόμενο ασφαλτόμιγμα να είναι ομοιογενές και σύμφωνο με την προκαθορισμένη σύνθεση. Πρίν την προσθήκη της ασφάλτου, τα αδρανή αναμιγνύονται σε προκαθορισμένες αναλογίες έτσι ώστε να προκύπτει η επιθυμητή κοκκομετρική διαβάθμιση. Επίσης πριν την προσθήκη της ασφάλτου, τα αδρανή θερμαίνονται για να ξηραθούν και να αποκτήσουν την επιθυμητή θερμοκρασία, κατάλληλη για την πλήρη επικάλυψή τους με άσφαλτο.

Αρχικά η ξήρανση/θέρμανση των αδρανών και η ανάμιξη του μίγματος γινόταν χειρωνακτικά. Η μηχανική ξήρανση/θέρμανση και ανάμιξη εμφανίσθηκε στις αρχές του εικοστού αιώνα. Τα πρώτα μηχανικά μέσα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν κυλινδρικοί ξηραντήρες, που χρησιμοποιούσαν άνθρακα ως θερμική ενέργεια, και τροποποιημένοι αναμικτήρες σκυροδέματος. Σύντομα αναπτύχθηκαν οι πτερυγιοφόροι αναμικτήρες, αρχικά με έναν άξονα και αργότερα με δύο, και η πηγή της θερμικής ενέργειας αντικαταστάθηκε με βαρέα έλαια (μαζούτ) ή πετρέλαιο ή ακόμη και υγραέριο. Η εισαγωγή της νέας πηγής θερμικής ενέργειας είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη των ξηραντήρων τύμπανου οι οποίοι σύντομα τροποποιήθηκαν και σε ξηραντήρες - αναμικτήρες.

Τα συγκροτήματα παραγωγής ασφαλτομιγμάτων είναι εγκατεστημένα κοντά στην πηγή παραγωγής των αδρανών (λατομεία) ή σε χώρους όπου συλλέγονται και αποθηκεύονται τα αδρανή, πλησίον των έργων. Τα περισσότερα συγκροτήματα είναι συνήθως μόνιμα εγκατεστημένα στους χώρους αυτούς, πλην όμως, υπάρχουν και συγκροτήματα που είναι εύκολο να μετακινηθούν από έργο σε έργο.

Στην Ελλάδα τα πρώτα συγκροτήματα παραγωγής ασφαλτομιγμάτων εμφανίσθηκαν τη δεκαετία του εξήντα. Έκτοτε αναπτύχθηκε ένας μεγάλος

αριθμός συγκροτημάτων που καλύπτει σήμερα τις ανάγκες όλης σχεδόν της επικράτειας. Μόνο στη ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης υπάρχουν 25 ασφαλτικά συγκροτήματα.

7.2 Τύποι ασφαλτικών συγκροτημάτων

Οι τύποι των ασφαλτικών συγκροτημάτων αποτελούνται από τρία διακεκριμένα τμήματα, της τροφοδοσίας, της ξήρανσης/θέρμανσης και της ανάμιξης. Τα δύο τελευταία τμήματα είναι αυτά που καθορίζουν την κατηγοριοποίηση αυτών, ενώ το πρώτο είναι κοινό για όλους τους τύπους. Οι βασικοί τύποι ασφαλτικών συγκροτημάτων είναι δύο:

- α) τα συγκροτήματα παραγωγής ανά παρτίδες και
- β) τα συγκροτήματα παραγωγής συνεχούς ροής ή συγκροτήματα “τύμπανου”.

Οι παραπάνω δυο κατηγορίες χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες η κάθε μία. Η πρώτη χωρίζεται στις υποκατηγορίες: α₁) της “έμμεσης” θέρμανσης (indirectly heated) και α₂) της άμεσης θέρμανσης (directly heated). Η δεύτερη, αντίστοιχα, χωρίζεται στις υποκατηγορίες: β₁) της άμεσης θέρμανσης κατά τη διεύθυνση της ροής και β₂) της άμεσης θέρμανσης αντίθετης στη διεύθυνση ροής.

Η επιλογή του κατάλληλου τύπου συγκροτήματος είναι αρκετά πολύπλοκη διαδικασία. Επηρεάζεται από: τις συνθήκες της αγοράς όσον αφορά τη ζήτηση και την τιμή πώλησης του ασφαλτομίγματος, τη δυναμικότητα παραγωγής (ωριαία), το κόστος κτήσης, τον τύπο ασφαλτομίγματος που συνήθως παράγεται στην περιοχή ή στη χώρα προορισμού, τη διαθεσιμότητα του χώρου και τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς που επιβάλλονται (κυρίως εκπομπή ρύπων και θορύβου). Η αναλυτική περιγραφή, καθώς και η αναφορά στα υπέρ και τα κατά του κάθε τύπου ασφαλτικών συγκροτημάτων, που τίθεται παρακάτω μπορεί να συμβάλει στο δύσκολο αυτό έργο της επιλογής και της απόφασης για επένδυση.

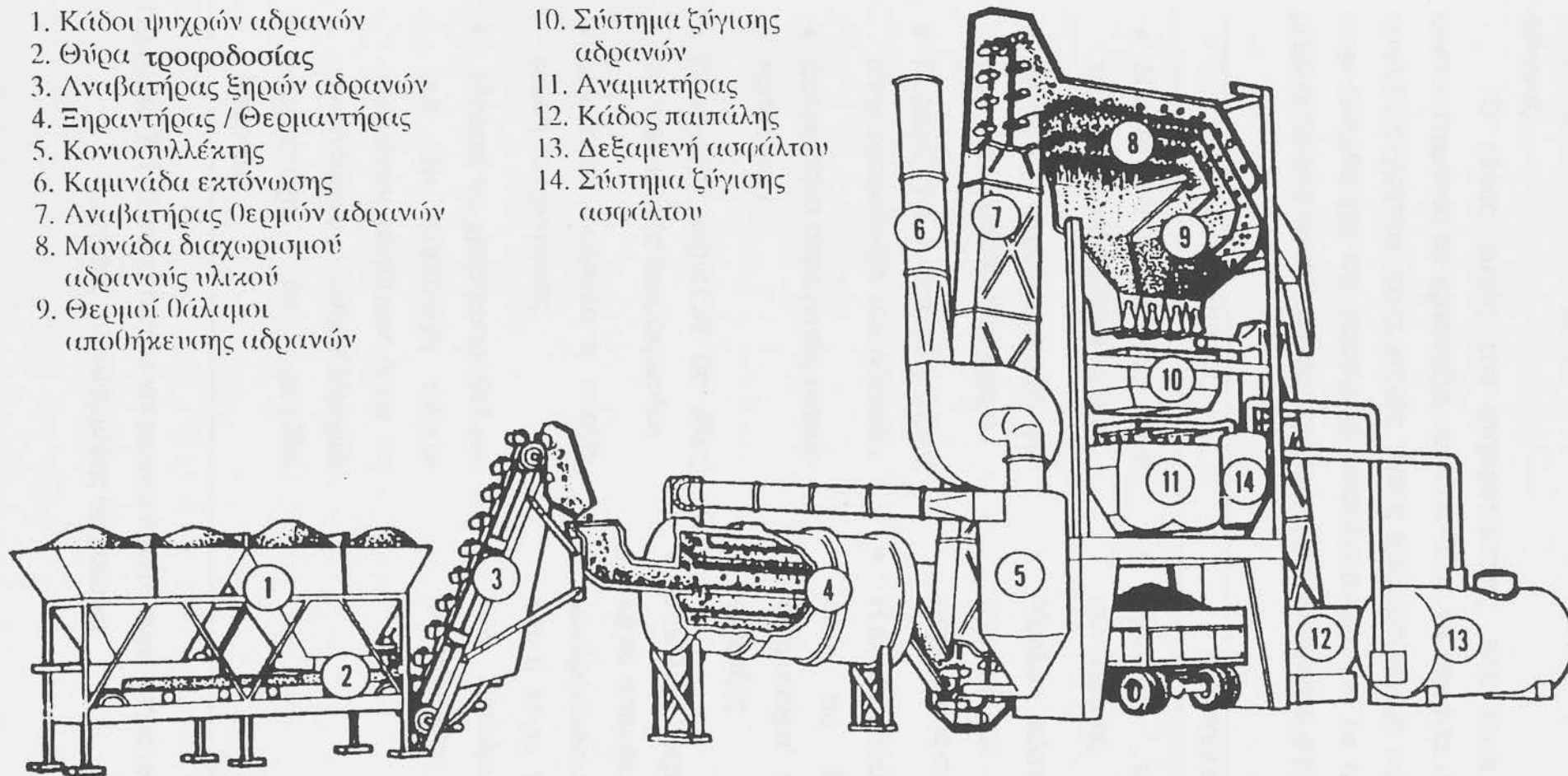
7.3 Συγκροτήματα παραγωγής ανά παρτίδες

7.3.1 Συγκροτήματα παραγωγής ανά παρτίδες “έμμεσης” θέρμανσης

Στον τύπο αυτό του συγκροτήματος το ασφαλτόμιγμα παράγεται ανά παρτίδες συγκεκριμένου βάρους και η θέρμανση των αδρανών προηγείται του καθορισμού τόσο του βάρους της παρτίδας όσο και της ανάμιξης του ασφαλτομίγματος. Το βάρος της παρτίδας κυμαίνεται από 1000Kg έως 5000Kg αναλόγως του μοντέλου του συγκροτήματος. Στα περισσότερα συγκροτήματα του Ελληνικού χώρου το βάρος της παρτίδας κυμαίνεται από 1500 Kg έως 2500 Kg.

Τα ψυχρά και υγρά αδρανή εκρέουν από τους κάδους τροφοδοσίας και με τη βοήθεια μεταφορικής ταινίας τροφοδοτούν περιστρεφόμενο μεταλλικό κύλινδρο (τύμπανο), ο οποίος φέρει καυστήρα μαζούτ ή αερίου. Στο χώρο αυτό τα αδρανή ξηραίνονται και αποκτούν την επιθυμητή θερμοκρασία. Τα θερμά αδρανή, με κατακόρυφο σύστημα “κάδων”, μεταφέρονται στη μονάδα διαχωρισμού όπου διαχωρίζονται σε κλάσματα και αποθηκεύονται προσωρινά σε θαλάμους (διαμερίσματα). Ο διαχωρισμός γίνεται από μια σειρά κοσκίνων τα οποία είναι τοποθετημένα ακριβώς επάνω από τους θαλάμους προσωρινής αποθήκευσης. Από τους θαλάμους προσωρινής αποθήκευσης, λαμβάνονται διαδοχικά ποσότητες αδρανών οι οποίες αφού ζυγιστούν, για να καθορισθεί και να διασφαλιστεί η προκαθορισμένη αναλογία των αδρανών στο μίγμα, τροφοδοτούν τον αναμκτήρα. Στον αναμκτήρα επίσης τροφοδοτείται και η απαιτούμενη ποσότητα θερμής ασφάλτου καθώς και η παιπάλη. Τα θερμά αδρανή, η παιπάλη και η θερμή άσφαλτος αναμιγνύονται για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και το παραγόμενο ασφαλτόμιγμα εκφορτώνεται απευθείας στο εν αναμονή φορτηγό, ή μεταφέρεται σε σιλό προσωρινής αποθήκευσης. Σχηματική παράσταση του συγκροτήματος παραγωγής ανά παρτίδες δίνεται στο Σχήμα 7.1.

Ο απαιτούμενος χρόνος ανάμιξης επηρεάζεται από τον τύπο του μίγματος που παράγεται και η ποσότητα της παρτίδας. Κατ’ ακολουθία, ο χρόνος ανάμιξης και η ποσότητα της παρτίδας καθορίζει και την ωριαία παραγωγή του συγκροτήματος. Έτσι, σε ένα συγκρότημα παραγωγής των 2000 Kg ανά παρτίδα ασφαλτικού σκυροδέματος που ο χρόνος ανάμιξης



Σχήμα 7.1: Τυπική μονάδα παραγωγής ασφαλτομιγμάτων ανά παρτίδες, τύπος έμμεσης θέρμανσης, (το σύστημα συλλογής της σκόνης μπορεί να είναι διαφορετικό από το εικονιζόμενο).

είναι περίπου 45 sec, η μέγιστη ωριαία παραγωγή μπορεί να φτάσει τους 160 τόννους.

Ο τύπος αυτός του συγκροτήματος, που είναι συνήθως μόνιμα εγκατεστημένος σε εργοτάξιο, είναι σε θέση να παράγει όλους τους τύπους ασφαλτομιγμάτων, είναι κοινός τύπος συγκροτήματος που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα για την παραγωγή ασφαλτομιγμάτων. Τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αυτού του συγκροτήματος συνοψίζονται στον Πίνακα 7.1.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> • Δυνατότητα παραγωγής όλων των τύπων ασφαλτομιγμάτων • Εκπομπή ατμοσφαιρικών ρύπων εντός αποδεκτών ορίων • Περιορίζεται η μεταβλητότητα στην τροφοδοσία των αδρανών • Δυνατότητα παραγωγής μικρών ποσοτήτων • Παραγωγή μιγμάτων σε όλες τις επιθυμητές θερμοκρασίες • Δεν είναι αναγκαία η αποθήκευση του μίγματος • Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την παραγωγή ανακυκλωμένων μιγμάτων όπου το ανακτώμενο ασφαλτόμιγμα συμμετέχει σε μεγάλο ποσοστό 	<ul style="list-style-type: none"> • Σχετικά υψηλό κόστος συντήρησης • Υψηλό κόστος παραγωγής σχετικά με το συγκρότημα παραγωγής συνεχούς ροής • Η ωραία απόδοση περιορίζεται από τις διαστάσεις του αναμκτήρα και του χρόνου ανάμιξης • Απώλεια θερμικής ενέργειας λόγω απομάκρυνσης του πολύ χονδρόκοκκου αδρανούς υλικού ή λόγω της υπερχειλίσης των θαλάμων προσωρινής αποθήκευσης

Πίνακας 7.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα συγκροτήματος παραγωγής ανά παρτίδες (τύπου έμμεσης θέρμανσης)

Βασικά μέρη της μονάδος παραγωγής

α) Αποθήκευση και τροφοδοσία των αδρανών

Τα αδρανή που είναι αποθηκευμένα σε σωρούς τοποθετούνται με τη βοήθεια φορτωτή ή φορτηγού στους κάδους τροφοδοσίας. Οι κάδοι τροφοδοσίας είναι συνήθως από 3 έως και 9 σε αριθμό, αναλόγως των διαστάσεών τους και της ωριαίας παραγωγής του συγκροτήματος. Στον πυθμένα του κάθε κάδου υπάρχει θυρίδα με την οποία ρυθμίζεται η ποσότητα που εκρέει στο σύστημα τροφοδοσίας του ξηραντήρα/θερμαντήρα. Σε ορισμένα μοντέλα οι κάδοι, ιδιαίτερα των λεπτόκοκκων αδρανών, είναι εξοπλισμένοι και με σύστημα δόνησης. Με αυτό απομακρύνεται η πιθανότητα δημιουργίας “φωλίας” (δηλαδή κενού χώρου) κατά την εκροή των αδρανών στον ιμάντα της μεταφορικής ταινίας. Αυτό κυρίως συμβαίνει όταν τα αδρανή είναι υγρά.

Το σύστημα τροφοδοσίας των αδρανών στον ξηραντήρα/θερμαντήρα αποτελείται από σύστημα μεταφορικών ταινιών ή αναβατήρα, το οποίο συνήθως έχει τη δυνατότητα μεταβολής της ταχύτητας κίνησης, για την αυξομείωση της παροχής.

Οι αναλογίες των κλασμάτων των αδρανών που τροφοδοτούνται συνιστάται να είναι παρόμοιες των αναλογιών του μίγματος που καθορίστηκαν κατά τη σύνθεση του μίγματος, εάν δεν έχει γίνει προηγουμένως κάποια σχετική σύνθεση των αδρανών. Βέβαια, στον προκείμενο τύπο συγκροτήματος, η σύνθεση του μίγματος γίνεται σε μεταγενέστερο στάδιο λίγο πρίν την ανάμιξη, πλην όμως καλό είναι οι αναλογίες να καθορίζονται από το αρχικό στάδιο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ξήρανση/θέρμανση να είναι πιο αποδοτική αλλά και να αποφεύγεται η περίπτωση υπερπλήρωσης των θαλάμων προσωρινής αποθήκευσης των θερμών αδρανών. Οι αναλογίες καθορίζονται ανάλογα με το άνοιγμα των θυρίδων. Πρίν την έναρξη λειτουργίας, αλλά και σε τακτά χρονικά διαστήματα, συνιστάται όπως βαθμονομείται η κάθε θυρίδα ανάλογα με το κλάσμα των αδρανών που περιέχεται στον κάδο. Το τελευταίο είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τα συγκροτήματα παραγωγής συνεχούς ροής.

β) Ξηραντήρας/θερμαντήρας

Ο ρόλος του συστήματος ξήρανσης και θέρμανσης είναι ιδιαίτερα σημαντικός δεδομένου ότι τα συνήθως υγρά αδρανή θα πρέπει σε σύντομο

χρονικό διάστημα να αποβάλλουν την υγρασία τους και να αποκτήσουν την κατάλληλη θερμοκρασία για την πλήρη και ομοιόμορφη επικάλυψή τους με ασφαλτο.

Το σύστημα ξήρανσης/θέρμανσης αποτελείται από έναν περιστρεφόμενο μεταλλικό κύλινδρο (τύμπανο) και έναν καυστήρα ελαίου ή αερίου. Ο καυστήρας στο συγκεκριμένο τύπο συγκροτήματος είναι τοποθετημένος στο κατώτατο άκρο του τύμπανου, δηλαδή στο άκρο της εξόδου. Το τύμπανο είναι τοποθετημένο με μια μικρή επίκλιση ως προς την οριζόντια διεύθυνση (συνήθως 2 έως 10 μοίρες). Μεταβάλλοντας τη γωνία επίκλισης αυξομειώνεται ο χρόνος παραμονής των αδρανών στο τύμπανο, έτσι ώστε η ξήρανση και η θέρμανση να είναι αποτελεσματική. Ο χρόνος παραμονής των αδρανών σε δεδομένου μήκους ξηραντήρα μειώνεται με την αύξηση της κλίσης, όπως επίσης μειώνεται και με την αύξηση των στροφών, ή με την αύξηση της διαμέτρου του τύμπανου ή ακόμη με την αύξηση της ποσότητας τροφοδοσίας. Αντίστοιχα, ο χρόνος παραμονής αυξάνει τη μείωση της κλίσης, τη μείωση των στροφών, την αύξηση της ταχύτητας των αερίων του απαγωγέα και έμμεσα με τη μείωση του κόκκου των αδρανών. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι το στάδιο ξήρανσης και θέρμανσης απαιτεί μεγάλες ποσότητες καύσιμου υλικού και συνεπώς επιρεάζεται αισθητά το κόστος παραγωγής. Υπολογίσθηκε ότι χρειάζονται 10 λίτρα ανά τόνο αδρανών για την απομάκρυνση 5% υγρασίας και τη θέρμανση των αδρανών στους 160°C.

Στο αντίθετο άκρο του τυμπάνου, από αυτό που βρίσκεται ο καυστήρας, είναι προσαρτημένο το σύστημα απαγωγής της σκόνης (κονιοσυλλέκτης) για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Στο σύστημα αυτό χρησιμοποιούνται εν σειρά φίλτρα τα οποία κατακρατούν το μεγαλύτερο μέρος της σκόνης. Η σκόνη αυτή, που ουσιαστικά είναι παιπάλη, συλλέγεται και, εφ' όσον είναι κατάλληλη, επαναχρησιμοποιείται. Για την επαναχρησιμοποίηση υπάρχει ειδική διευθέτηση στο συγκρότημα που την τροφοδοτεί στον κάδο της παιπάλης ο οποίος βρίσκεται πλησίον του αναμικτήρα.

Τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται είναι βασικά τριών ειδών: τα μηχανικά φίλτρα (συνήθως φυγοκεντρικά), τα υφασμάτινα φίλτρα και τα φίλτρα ψεκασμού ύδατος (υγρά φίλτρα). Από άποψη αποδοτικότητας τα φυγοκεντρικά δεν μπορούν να παρακρατήσουν το λεπτότατο μέρος της παιπάλης και θα πρέπει να συνοδεύονται και από υφασμάτινα ή από φίλτρα

ψεκασμού ύδατος. Τονίζεται ότι, η χρήση των φίλτρων είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τη σύμφωνη με τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις, λειτουργία του συγκροτήματος.

γ) Μονάδα διαχωρισμού αδρανούς υλικού

Η μονάδα διαχωρισμού περιλαμβάνει σειρά κοσκίνων τα οποία διαχωρίζουν τα θερμά αδρανή υλικά σε κλάσματα (τρία τουλάχιστον) και ταυτόχρονα αποβάλλουν τα αδρανή που έχουν μεγαλύτερη διάμετρο από τη μέγιστη επιτρεπτή του μίγματος. Τα κόσκινα έχουν την δυνατότητα να αλλάζουν εύκολα, ανάλογα με το μίγμα που πρόκειται να παραχθεί.

Τα διαχωρισθέντα αδρανή αποθηκεύονται προσωρινά σε ανεξάρτητους θαλάμους (διαμερίσματα) αποθήκευσης. Η χωρητικότητα των διαμερισμάτων είναι ανάλογη της αναλογίας του κλάσματος του αδρανούς στο μίγμα. Για την παραγωγή ασφαλτομίγματος τύπου ασφαλτικού σκυροδέματος, παραδείγματος χάρι, το διαμέρισμα αποθήκευσης της άμμου είναι μεγαλύτερο από κάθε άλλο διαμέρισμα. Κάθε θάλαμος είναι εφοδιασμένος με σωλήνα υπερχειλίσης κατάλληλης διαμέτρου, έτσι ώστε να αποφεύγονται η υπερχειλίση υλικού από το ένα διαμέρισμα στο άλλο.

δ) Σύστημα μέτρησης (ζύγισης) αδρανών υλικών

Ακριβώς κάτω από το διαμέρισμα αποθήκευσης των αδρανών βρίσκεται ο κάδος ζύγισης της παρτίδας που πρόκειται να αναμιχθεί. Το κάθε κλάσμα αδρανούς υλικού ζυγίζεται μεμονωμένα σε αναλογία όμοια με αυτήν που καθορίστηκε στο στάδιο της μελέτης σύνθεσης. Η σειρά ζύγισης είναι συνήθως από τα χονδρόκοκκα προς τα λεπτόκοκκα. Στο μίγμα των αδρανών υλικών προστίθεται και η ανάλογη ποσότητα παιπάλης η οποία ελέγχεται συνήθως, από το ανεξάρτητο σύστημα ζύγισης.

Το σύστημα ζύγισης των αδρανών θα πρέπει περιοδικά να ελέγχεται ως προς την ακρίβειά του για να εξασφαλίζεται η ποιότητα του ασφαλτομίγματος.

ε) Αποθήκευση, θέρμανση και παροχή του ασφαλτικού συνδετικού

Η άσφαλτος αποθηκεύεται σε θερμαινόμενες και θερμο-μονωμένες δεξαμενές κατάλληλης χωρητικότητας, οι οποίες συνίσταται όπως φέρουν

και πτερυγιοφόρο αναδευτήρα. Η θέρμανση των δεξαμενών γίνεται με περιμετρικούς σωλήνες στους οποίους κυκλοφορεί κατάλληλο υπέρθερμο έλαιο το οποίο θερμαίνει ομοιόμορφα την ασφάλτο με αποτέλεσμα την αποφυγή τοπικής υπεροξείδωσης και απανθράκωσης.

Η παροχή της ασφάλτου στον αναμικτήρα γίνεται με τη βοήθεια κατάλληλης αντλίας ενώ ο καθορισμός της απαιτούμενης ποσότητας επιτυγχάνεται είτε με ζύγισμα του κάδου της ασφάλτου, είτε ογκομετρικά με ογκομετρικό μετρητή ροής. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται το δεύτερο σύστημα ελέγχου της ποσότητας θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η μεταβολή του ειδικού βάρους της ασφάλτου συναρτήσει των υψηλών θερμοκρασιών που χρησιμοποιούνται. Επίσης στον Πίνακα Π.7.2 δίνεται και ο αριθμός των λίτρων ανά τόνο ασφάλτου σε διαφορετικές θερμοκρασίες και ειδικά βάρη.

στ) Σύστημα ανάμιξης

Η ανάμιξη των αδρανών, της παιπάλης και της ασφάλτου γίνεται σε ειδικό αναμικτήρα που αποτελείται από ένα μεταλλικό ημικυκλικό κάδο και δύο πτερυγιοφόρους οριζόντιους άξονες. Αρχικά, και για σύντομο χρονικό διάστημα, γίνεται η ανάμιξη των αδρανών και της παιπάλης (ανάμιξη εν ξηρώ) και κατόπιν, αφού προστεθεί η ασφάλτος, ακολουθεί η ανάμιξη του ασφαλτομίγματος. Ο χρόνος ανάμιξης εν ξηρώ θα πρέπει να είναι σύντομος για να αποφεύγεται η πρόωρη φθορά του κάδου ανάμιξης.

Ο συνολικός χρόνος ανάμιξης θα πρέπει να είναι τόσοσ όσος χρειάζεται για την ομοιόμορφη κάλυψη όλων των αδρανών με ασφάλτο. Παρατεταμένη ανάμιξη θα πρέπει να αποφεύγεται διότι όχι μόνον μειώνει την ωραία παραγωγή του συγκροτήματος αλλά κυρίως διότι οξειδώνεται περαιτέρω η ασφάλτος. Επίσης, ανάμιξη για χρονικό διάστημα μικρότερο του κανονικού θα έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή μίγματος με αδρανή ακάλυπτα από ασφάλτο. Αρνητικό επακόλουθο αυτού είναι, πολλές φορές, να αυξάνεται αυθαίρετα η ποσότητα της ασφάλτου στο μίγμα για την επίτευξη της καλυπτικότητας. Αυτό είναι σαφές ότι έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή ασφαλτομίγματος με πλεόνασμα ασφάλτου.

Τα πτερύγια στους άξονες είναι τοποθετημένα υπό γωνία η οποία μπορεί, αν χρειασθεί, να αλλάξει για την καλύτερη ανάμιξη του μίγματος. Ο αναμικτήρας θα πρέπει να τροφοδοτείται με επαρκή και κατάλληλη

ποσότητα μίγματος όταν κατά την ανάμιξη φαίνονται οι άκρες των πτερυγίων.

Η ανάμιξη γίνεται σε συγκεκριμένη θερμοκρασία η οποία καθορίζεται από τον τύπο της ασφάλτου που χρησιμοποιείται. Για την επίτευξη αυτής της θερμοκρασίας, τα αδρανή και η ασφαλτος εισερχόμενα στον αναμικτήρα θα πρέπει να έχουν την κατάλληλη θερμοκρασία. Οι ενδεικτικές θερμοκρασίες ανάλογα με τον τύπο της ασφάλτου που χρησιμοποιείται δίνονται στον Πίνακα 7.2.

Τύπος ασφάλτου	Ενδεικτικές θερμοκρασίες θέρμανσης, °C	
	Αδρανών	Ασφάλτου
50-60	150-180	165
60-70	140-170	160
80-100	135-163	155
120-150	130-160	150
180-220	125-155	145

Πίνακας 7.2 Ενδεικτικές θερμοκρασίες θέρμανσης αδρανών και ασφάλτου κατά την εισαγωγή αυτών στον αναμικτήρα, κατά ΠΤΠ Α 265 και ΠΤΠ Α260

ζ) Όργανα μετρήσεως και αυτοματισμοί

Στο συγκρότημα υπάρχουν επίσης και όλα τα απαραίτητα όργανα μέτρησης των θερμοκρασιών της ασφάλτου, των αδρανών, του ασφαλτομίγματος, του ξηραντήρα, της παροχής των αδρανών και της παιπάλης, της παροχής ασφάλτου καθώς επίσης και οποιουδήποτε άλλου μεγέθους που πρέπει να προσμετράται. Στα σύγχρονα συγκροτήματα η διαδικασία τροφοδοσίας, θέρμανσης, ανάμιξης και εκφόρτωσης είναι πλήρως αυτοματοποιημένη. Ο χειριστής του συγκροτήματος έχει όλες τις πληροφορίες στον πίνακα ελέγχου και μπορεί να προβεί στις οποιεσδήποτε μικρορυθμίσεις γρήγορα και με μεγάλη ευκολία.

7.3.2 Συγκρότημα παραγωγής ανά παρτίδες "άμεσης" θέρμανσης

Στον τύπο αυτό συγκροτήματος τα ψυχρά αδρανή αφού ζυγισθούν, για τον καθορισμό του βάρους της παρτίδας παραγωγής, εισέρχονται στο

περιστρεφόμενο τύμπανο, όπου ξηραίνονται και θερμαίνονται, και κατόπιν εισέρχονται απευθείας στον αναμικτήρα δίχως να προηγηθεί προσωρινή αποθήκευση. Αυτή είναι και η βασική διαφορά σε σύγκριση με το συγκρότημα έμμεσης θέρμανσης. Όλα τα άλλα μέρη του συγκροτήματος είναι τα ίδια.

Η ζύγιση των ψυχρών αδρανών γίνεται κατά τον ίδιο τρόπο όπως και στο προηγούμενο συγκρότημα. Δηλαδή, από τους κάδους τροφοδοσίας τα αδρανή εισέρχονται διαδοχικά και σε προκαθορισμένες αναλογίες στον κάδο ζύγισης. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει στάδιο διαχωρισμού των αδρανών, τα αδρανή θα πρέπει να είναι διαχωρισμένα εκ των προτέρω σε κλάσματα, γεγονός που αυξάνει τον απαιτούμενο αριθμό των κάδων τροφοδοσίας.

Θα πρέπει να αναφερθεί, επειδή το ποσοστό της ασφάλτου που προστίθεται κατά βάρος ξηρών αδρανών, θα πρέπει πάντοτε να είναι γνωστό το ποσοστό υγρασίας των αδρανών. Το ποσοστό αυτό δίνεται ως δεδομένο στο σύστημα ελέγχου για τον αυτόματο υπολογισμό του ξηρού βάρους των αδρανών και κατ' επέκταση της ποσότητας της ασφάλτου που πρέπει να προστεθεί. Ορισμένα συγκροτήματα έχουν και ένα πρόσθετο σύστημα ζύγισης των αδρανών αμέσως μετά τον ξηραντήρα και πριν τον αναμικτήρα, για τον ακριβέστερο προσδιορισμό του βάρους του μίγματος των ξηρών αδρανών.

Ο ξηραντήρας που χρησιμοποιείται λειτουργεί με την ίδια αρχή όπως και στο προηγούμενο συγκρότημα. Η μόνη διαφορά είναι ότι στην περίπτωση αυτή το μήκος του τυμπάνου είναι μικρότερο.

Στο συγκρότημα αυτό, ο συνολικός χρόνος ανάμιξης μιας παρτίδας είναι περίπου δύο λεπτά και η ωριαία παραγωγή, αναλόγως του μοντέλου, κυμαίνεται από 50 έως 200 τόννους. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα συγκροτήματα αυτά λειτουργούν αποδοτικά και οικονομικά μόνο όταν η υγρασία των αδρανών είναι μικρότερη του 2%. Σε περίπτωση που η άμμος, κυρίως, είναι συστηματικά "βρεγμένη" (περιεκτικότητα υγρασίας μεγαλύτερη του 2%), απαιτείται και ένας προ-ξηραντήρας. Ο προξηραντήρας αυτός τοποθετείται σε τέτοια θέση ώστε να ξηραίνει την άμμο πριν εισέλθει στον κάδο ζύγισης και στον κυρίως ξηραντήρα.

Όσον αφορά τη χρήση του συγκροτήματος αυτού για την παραγωγή ανακυκλωμένων ασφαλτομιγμάτων, το ποσοστό του ανακατωμένου μίγματος που μπορεί να αναμιχθεί είναι σχετικά μικρό, συνήθως έως και 15%. Τα

πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του συγκροτήματος παραγωγής ανά παρτίδες άμεσης θέρμανσης συνοψίζονται στον Πίνακα 7.3.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> • Οικονομική παραγωγή μικρών παρτίδων ασφαλτομίγματος • Δυνατότητα παραγωγής όλων των τύπων ασφαλτομιγμάτων • Δεν απαιτείται μεγάλος χρόνος για την αλλαγή από μίγμα σε μίγμα • Δεν είναι αναγκαία η αποθήκευση του ασφαλτομίγματος • Ο αριθμός των υλικών που τροφοδοτούνται περιορίζεται μόνο από τον αριθμό των κάδων τροφοδοσίας • Δεν υπάρχουν απώλειες αδρανών υλικών • Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την παραγωγή ανακυκλωμένων ασφαλτομιγμάτων 	<ul style="list-style-type: none"> • Τροφοδοσία αδρανών σε κλάσματα • Περιορισμός στην υγρασία των αδρανών • Απαιτηση για προθερμαντήρα όταν το ποσοστό υγρασίας είναι πάνω από 2% • Σχετικά υψηλό κόστος αγοράς • Σχετικά υψηλό κόστος συντήρησης • Δεν μπορεί να αναμίξει μεγάλο ποσοστό ανακτώμενου μίγματος κατά την ανακύκλωση

Πίνακας 7.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα συγκροτήματος παραγωγής ανά παρτίδες με άμεση θέρμανση

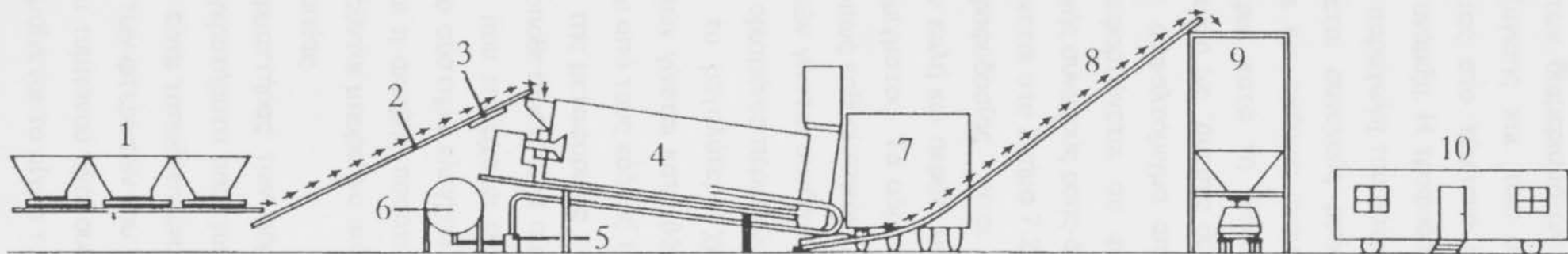
7.4 Συγκροτήματα παραγωγής συνεχούς ροής

7.4.1 Συγκροτήματα παραγωγής συνεχούς ροής-άμεσης θέρμανσης κατά την διεύθυνση της ροής

Στο συγκρότημα παραγωγής συνεχούς ροής-άμεσης θέρμανσης/ανάμιξης κατά την διεύθυνση ροής, ή όπως αλλιώς είναι γνωστό, συγκρότημα συνεχούς ροής, ασφαλτόμιγμα παράγεται δίχως τη χρήση της

1. Κάδοι αδρανών
2. Μεταφορική ταινία
3. Αυτόματο σύστημα ζυγίσματος
4. Τύμπανο
5. Αντλία ασφάλτου

6. Δεξαμενή ασφάλτου
7. Κονιοσυλλέκτης
8. Ταινία μεταφοράς θερμού ασφαλτομίγματος
9. Σιλό θερμού ασφαλτομίγματος
10. Εργαστήριο



Σχήμα 7.2: Σχηματική παράσταση συγκροτήματος παραγωγής συνεχούς ροής (άμενη θέρμανση κατά τη διεύθυνση της ροής).

μονάδος διαχωρισμού, των διαμερισμάτων προσωρινής αποθήκευσης των αδρανών, του κάδου ζύγισης και του αναμικτήρα. Τα ψυχρά αδρανή τροφοδοτούνται απευθείας στο τύμπανο ξήρανσης/θέρμανσης στο οποίο γίνεται ταυτόχρονα και ανάμιξη. Η τροφοδοσία των αδρανών είναι συνεχής και κατά συνέπεια και η παραγωγή του ασφαλτομίγματος. Για το λόγο αυτό το συγκρότημα ονομάζεται συνεχούς ροής. Το γεγονός ότι τα αδρανή ξηραίνονται/θερμαίνονται και αμέσως αναμιγνύονται και ότι ο καυστήρας εκπέμπει τα θερμά αέρια κατά τη διεύθυνση της ροής του μίγματος, χαρακτηρίζει το συγκρότημα ως "άμεσης θέρμανσης κατά τη διεύθυνση της ροής". Το παραγόμενο ασφαλτόμιγμα αποθηκεύεται σε θερμο-μονωμένα σιλό, από τα οποία εκφορτώνεται σε φορτηγά. Σχηματική παράσταση συγκροτήματος παραγωγής συνεχούς ροής-άμεσης θέρμανσης/ανάμιξης κατά τη διεύθυνση της ροής δίνεται στο Σχήμα 7.2.

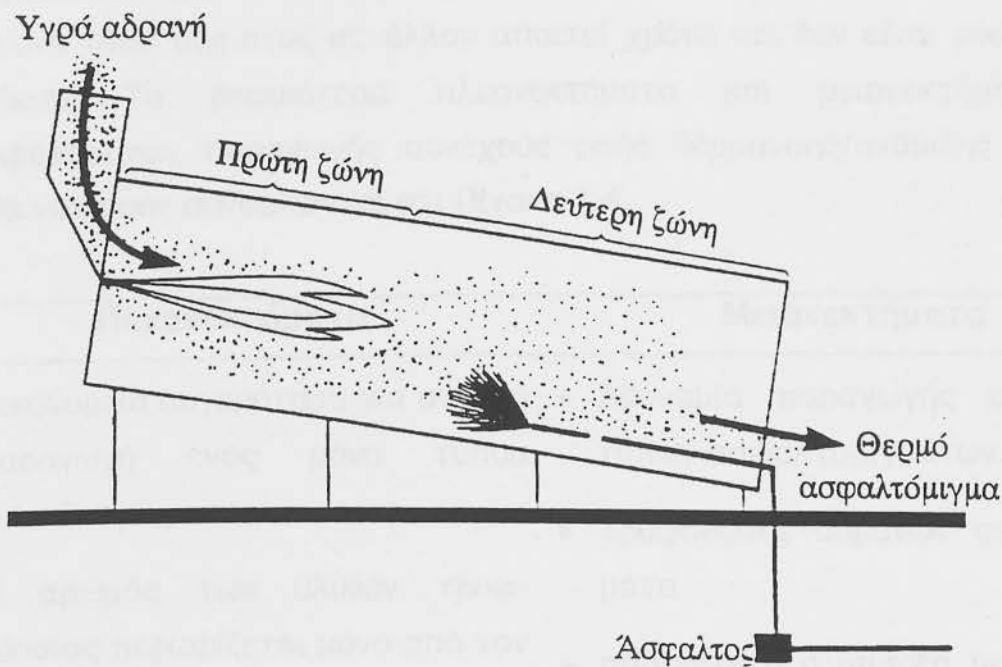
Το σύστημα τροφοδοσίας είναι το νευραλγικό μέρος του συγκροτήματος. Από την καλή και ακριβή λειτουργία του εξαρτάται άμεσα η ποιότητα του ασφαλτομίγματος. Τα αδρανή τροφοδοτούνται στο τύμπανο σε ακριβείς αναλογίες, όπως καθορίστηκαν από την σύνθεση του μίγματος. Ο καθορισμός των αναλογιών γίνεται συνήθως ογκομετρικά με τις θυρίδες των κάδων τροφοδοσίας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, κυρίως όταν τα λεπτόκοκκα αδρανή είναι υγρά για το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα παραγωγής, ο καθορισμός των αναλογιών γίνεται κατά βάρος με σύστημα ζυγίσματος που είναι τοποθετημένο κάτω από τους κάδους τροφοδοσίας.

Σε κάποιο σημείο της μεταφορικής ταινίας που μεταφέρει τα αδρανή στο ξηραντήρα, είναι τοποθετημένο ένα σύστημα ζύγισης το οποίο ελέγχει συνεχώς την ποσότητα που εισέρχεται στο ξηραντήρα. Το σύστημα αυτό είναι συνδεδεμένο με το σύστημα ελέγχου και τροφοδοσίας της ασφάλτου έτσι ώστε να παρέχεται η ακριβής ποσότητα ασφάλτου. Η ποσότητα των αδρανών που τροφοδοτούνται μπορεί να αυξομειώνεται, αυξομειώνοντας την ταχύτητα κίνησης της ταινίας.

Ο ξηραντήρας/θερμαντήρας των αδρανών διαφέρει από αυτόν που χρησιμοποιείται στα συγκροτήματα παραγωγής ανά παρτίδες σε δύο σημεία: α) στα ότι ο καυστήρας είναι τοποθετημένος στο πάνω άκρο του τυμπάνου, και β) στο ότι η διάταξη των φτερωτών του τυμπάνου είναι πολυπλοκότερη.

Το εσωτερικό του τυμπάνου έχει ουσιαστικά δύο ζώνες. Στην πρώτη ζώνη ξηραίνεται και θερμαίνεται το μίγμα των αδρανών, ενώ στη δεύτερη, τα

θερμά αδρανή αναμιγνύονται με τη θερμή άσφαλτο, Σχήμα 7.3. Η ζώνη ανάμιξης προστατεύεται από την υψηλή θερμική ακτινοβολία και τις φλόγες του καυστήρα με ειδικές ασπίδες προστασίας ή άλλο κατάλληλο σύστημα. Η θερμή άσφαλτος εκχέεται υπό πίεση στην αρχή της ζώνης ανάμιξης.



Σχήμα 7.3 Ζώνες στο τύμπανο ξήρανσης/ανάμιξης συγκριτήματος παραγωγής συνεχούς ροής

Ένα από τα πλεονεκτήματα του συγκροτήματος είναι ότι τα εξερχόμενα αέρια περιέχουν πολύ μικρό ποσοστό σκόνης, μόνο 10% της ποσότητας περιέχεται στα αέρια των συγκροτημάτων παραγωγής ανά παρτίδες. Η μείωση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι η σκόνη που παράγεται στη ζώνη ξήρανσης/θέρμανσης απορροφάται από την άσφαλτο που περιβάλλει τα καλυμμένα με άσφαλτο αδρανή. Παρόλα αυτά σε αρκετές χώρες, η νομοθεσία για την προστασία του περιβάλλοντος επιβάλλει τη χρήση κονιοσυλλεκτών. Η μικρή ποσότητα σκόνης (παιπάλης) που συλλέγεται συνήθως επανατροφοδοτείται στο τύμπανο.

Σε γενικές γραμμές το συγκρότημα παραγωγής αυτού του τύπου είναι σχετικά απλό και μικροτερου μεγέθους από το συγκρότημα ανά παρτίδες. Σαν αποτέλεσμα, η μεταφορά του συγκροτήματος αυτού από έργο σε έργο είναι ευκολότερη. Όσον αφορά την ωριαία απόδοση του συγκροτήματος, αυτή μπορεί να φτάσει μέχρι 500 τόννους ανά ώρα, με αποτέλεσμα να είναι το καταλληλότερο για μεγάλα έργα οδοποιίας ή αεροδρομίων. Το βασικότερο ίσως μειονέκτημα του συγκροτήματος αυτού του τύπου είναι ότι η αλλαγή από ένα τύπο μίγματος σε άλλον απαιτεί χρόνο και δεν είναι τόσο εύκολη υπόθεση. Τα βασικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του συγκροτήματος παραγωγής συνεχούς ροής θέρμανσης/ανάμιξης κατά τη διεύθυνση ροής συνοψίζονται στι Πίνακα 7.4.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> • Οικονομικό συγκρότημα για συνεχή παραγωγή ενός μόνο τύπου ασφαλτομίγματος. • Ο αριθμός των υλικών τροφοδοσίας περιορίζεται μόνο από τον αριθμό των κάδων τροφοδοσίας. • Η ποσότητα της σκόνης που απομακρύνεται είναι πολύ μικρή. • Εύκολη και δυνατή η αύξηση της παραγωγικότητας για την καλυψη των απιτήσεων. • Εύκολα μετατρέπεται σε “φορητό” συγκρότημα. • Σχετικά μικρό κόστος συντήρησης • Χρησιμοποιείται και για παραγωγή ανακυκλωμένων ασφαλτομιγμάτων. 	<ul style="list-style-type: none"> • Αδυναμία παραγωγής ορισμένων τύπων ασφαλτομιγμάτων. • Τροφοδοσία αδρανών σε κλάσματα • απαραίτητη η ύπαρξη πολυπλοκότερου συστήματος ανάμιξης αδρανών • Η παραγωγή μικρών ποσοτήτων ασφαλτομίγματος είναι αντιοικονομική. • Πιθανότητα εκπομπής ρύπων καπνού κατά την παραγωγή μιγμάτων που απαιτούν υψηλές θερμοκρασίες ανάμιξης.

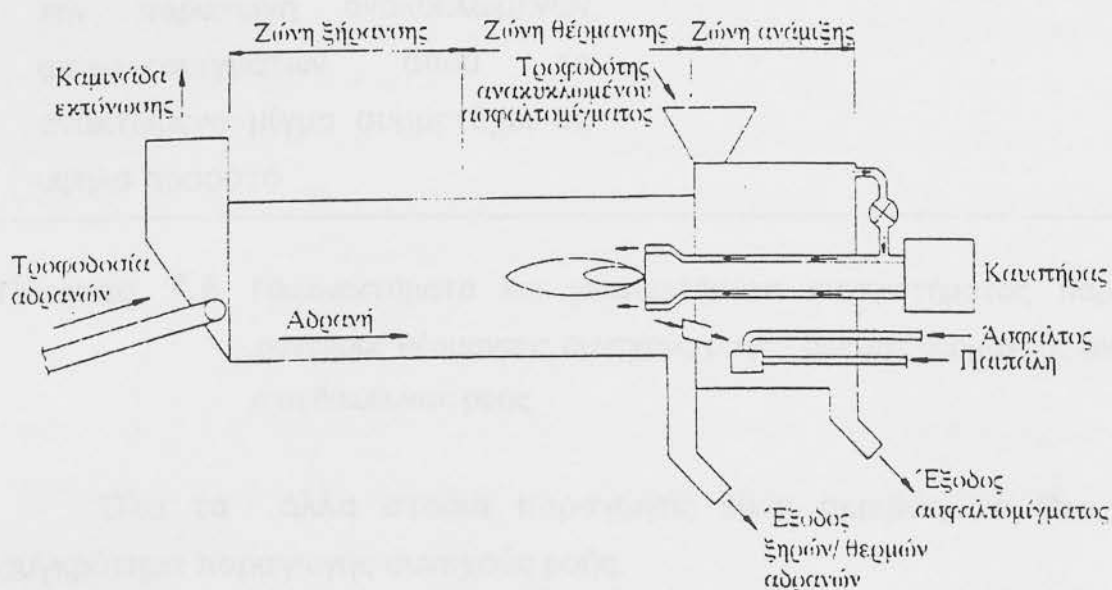
Πίνακας 7.4

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα συγκροτήματος παραγωγής συνεχούς ροής

7.4.2 Συγκρότημα παραγωγής συνεχούς ροής - άμεσης θέρμανσης αντίθετης στη διεύθυνση ροής

Το συγκρότημα παραγωγής συνεχούς ροής - άμεσης θέρμανσης αντίθετης στη διεύθυνση ροής είναι μια παραλλαγή του προηγούμενου συγκροτήματος που διαφέρει σε δύο μόνο σημεία. Πρώτον, ο καυστήρας είναι διαφορετικός και είναι τοποθετημένος στο κάτω άκρο του τυμπάνου και δεύτερον, η ζώνη ανάμιξης είναι τελείως διαχωρισμένη από τη ζώνη ξήρανσης/θέρμανσης, Σχήμα 7.4. Λόγω της θέσεως του καυστήρα τα υπέρθερμα αέρια κινούνται κατά τη διεύθυνση της ροής του μίγματος (εξού και ο χαρακτηρισμός) με αποτέλεσμα η ξήρανση/θέρμανση των αδρανών να είναι αποδοτικότερη.

Παράλληλα, λόγω του διαχωρισμού της ζώνης ανάμιξης, η εκπομπή ρύπων καπνού μειώνεται στο ελάχιστο. Η ασφαλτός, η παιπάλη ή/και το ανακτώμενο ασφαλτόμιγμα (στην περίπτωση ανακύκλωσης) τροφοδοτούνται στη ζώνη ανάμιξης, με αποτέλεσμα η ζώνη ξήρανσης να χρησιμοποιείται και μόνο ως ξηραντήρας αν χρειαστεί. Η αποδοτικότερη ξήρανση/θέρμανση και ο πλήρης διαχωρισμός της ζώνης ανάμιξης έχει ένα πρόσθετο πλεονέκτημα, την ασφαλή ανάμιξη του ανακτώμενου ασφαλτομίγματος σε ποσοστό τουλάχιστον 50%. Τα βασικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του συγκροτήματος αυτού συνοψίζονται στον Πίνακα 7.5.



Σχήμα 7.4 Τύμπανο συγκροτήματος παραγωγής συνεχούς ροής - άμεσης θέρμανσης αντίθετης στη διεύθυνση ροής

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> • Το οικονομικότερο συγκρότημα για συνεχή παραγωγή ενός τύπου ασφαλτομίγματος • Η πιθανότητα εκπομπής ρύπων καπνού κατά την ανάμιξη σε υψηλές θερμοκρασίες μειώνεται • Δυνατότητα παραγωγής όλων των τύπων ασφαλτομιγμάτων • Ο αριθμός των υλικών τροφοδοσίας περιορίζεται μόνο από τον αριθμό των κάδων τροφοδοσίας • Εύκολη και δυνατή η αύξηση της παραγωγικότητας για την κάλυψη των απαιτήσεων • Σχετικά μικρό το κόστος συντήρησης • Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την παραγωγή ανακυκλωμένων ασφαλτομιγμάτων όπου το ανακτώμενο μίγμα συμμετέχει σε υψηλό ποσοστό 	<ul style="list-style-type: none"> • Απώλειες κατά την έναρξη και πέρας της παραγωγής • Η παραγωγή μικρών ποσοτήτων ασφαλτομίγματος είναι αντιοικονομική • Τροφοδοσία αδρανών σε κλάσματα • Απαραίτητη η ύπαρξη πολυπλοκότερου συστήματος ανάμιξης αδρανών

Πίνακας 7.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα συγκροτήματος παραγωγής συνεχούς θέρμανσης συνεχούς ροής - άμεσης θέρμανσης αντίθετης στη διεύθυνση ροής

Όλα τα άλλα στάδια παραγωγής είναι ακριβώς τα ίδια με το συγκρότημα παραγωγής συνεχούς ροής.

7.5 Έλεγχος παραγωγής ασφαλτομιγμάτων

Ο έλεγχος παραγωγής των ασφαλτομιγμάτων είναι αναγκαίος για την εξακρίβωση εάν το παραγόμενο ασφαλτόμιγμα είναι σύμφωνο με τη μελέτη σύνθεσης και τις προδιαγραφές γενικότερα, όπως επίσης και για την εξακρίβωση της καλής ή της μη καλής λειτουργίας του συγκροτήματος. Ο έλεγχος του ασφαλτομίγματος γίνεται επί αντιπροσωπευτικών δειγμάτων που λαμβάνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα, δεδομένου ότι δεν είναι πρακτικό να ελέγχονται όλες οι παρτίδες ή όλη η ημερήσια παραγωγή. Η λήψη αντιπροσωπευτικών δειγμάτων είναι ουσιαστικής σημασίας διότι αλλιώς τα αποτελέσματα δεν έχουν κανένα νόημα αλλά και ταυτόχρονα μπορούν να οδηγήσουν σε εσφαλμένα συμπεράσματα.

Η διαδικασία δειγματοληψίας περιγράφεται από τις ισχύουσες προδιαγραφές κάθε χώρας, που για την Ελλάδα είναι η προδιαγραφή AASHTO T 168⁽⁴¹⁾. Κατά την προδιαγραφή αυτή η δειγματοληψία μπορεί να γίνει από διάφορα σημεία όπως: από το σημείο εκφόρτωσης του μίγματος, από τα σιλό αποθήκευσης, από τη μεταφορική ταινία, από το φορηγό μεταφοράς, ή από τη συμπυκνωμένη στρώση. Συνήθης είναι και η δειγματοληψία από διαστρωτήρα, ενώ σπάνια είναι η δειγματοληψία από το διαστρωθέντα τάπητα πριν τη συμπύκνωση. Το κάθε σημείο δειγματοληψίας έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του και παράλληλα μπορεί να δώσει και άλλα συμπεράσματα πλὴν της σύνθεσης του ασφαλτομίγματος. Άλλοι σοβαροί παράγοντες είναι επίσης η συχνότητα της δειγματοληψίας και η ποσότητα του δείγματος που λαμβάνεται.

Τα δείγματα που λαμβάνονται μεταφέρονται στο εργαστήριο, όπου εκτελούνται δύο βασικές δοκιμές για τον καθορισμό: α) της περιεκτικότητας του ασφαλτομίγματος σε άσφαλτο, και β) της κοκκομετρικής καμπύλης του ασφαλτομίγματος. Παράλληλα, συμπυκνώνονται και δοκίμια Marshall για τον καθορισμό της ευστάθειας και της εργαστηριακής συμπυκνωμένης πυκνότητας του ασφαλτομίγματος. Οι τελευταίοι δυο έλεγχοι έχουν άμεση σχέση, κυρίως, με τις προδιαγραφές του μίγματος και όχι με τη διαδικασία της παραγωγής.

Αρκετές φορές, πλην των παραπάνω ελέγχων και για τη διασφάλιση του ότι η άσφαλτος που ενσωματώθηκε δεν έχει υποστεί μεγάλη οξειδωση κατά τη θέρμανση ή την ανάμιξη, επί του υπολείμματος εκτελούνται και οι

δοκιμές καθορισμού των ιδιοτήτων της ασφάλτου, όπως διεισδυτικότητας, σημείου μάλθωσης, κ.λ.π. Η διαδικασία ανάκτησης της ασφάλτου από το ασφαλτόμιγμα περιγράφεται παρακάτω. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι παραπάνω έλεγχοι είναι απολύτως αναγκαίοι για τη διερεύνηση των αιτιών, στην περίπτωση που το ασφαλτόμιγμα ή η κατασκευή γενικότερα παρουσιάζει πρόωρες αστοχίες.

Τέλος, για τον πλέον ολοκληρωμένο έλεγχο της παραγωγής θα πρέπει να ελέγχονται και τα υλικά που συνθέτουν το ασφαλτόμιγμα (αδρανή, παιπάλη και άσφαλτος). Το σημείο της δειγματοληψίας ιδιαίτερα των αδρανών υλικών καθορίζει την αξιοπιστία του συστήματος σύνθεσης του μίγματος των αδρανών.

Σε κάθε ασφαλτικό συγκρότημα θα πρέπει να υπάρχει ένα πλήρες πρόγραμμα δειγματοληπτικού ελέγχου το οποίο καθορίζει τη συχνότητα και την ποσότητα δειγματοληψίας καθώς και τους ελέγχους που θα πρέπει να εκτελούνται για τη διασφάλιση της ποιότητας της παραγωγής. Ένα τέτοιο πρόγραμμα θα μπορούσε να είναι αυτό που παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.6.

7.6 Δοκιμή εκχύλισης ασφαλτομίγματος

Η δοκιμή εκχύλισης εκτελείται για τον ποσοστικό καθορισμό του ασφαλτικού συνδετικού υλικού στο ασφαλτόμιγμα (θερμό ή ψυχρό). Τα αδρανή που προκύπτουν μετά το διαχωρισμό της ασφάλτου μπορούν να κοσκινισθούν για τον καθορισμό της κοκκομετρικής καμπύλης του ασφαλτομίγματος. η δοκιμή της εκχύλισης εκτελείται σύμφωνα με την προδιαγραφή AASHTO T-164, ακολουθώντας μια από τις προτεινόμενες μεθόδους. Στην Ελλάδα η μέθοδος που, σχεδόν αποκλειστικά, χρησιμοποιείται είναι η μέθοδος του φυγοκεντρικού εκχυλιστήρα (μέθοδος Α των προδιαγραφών).

Κατά τη δοκιμή της εκχύλισης, εάν το ασφαλτόμιγμα περιέχει υγρασία, θα πρέπει αυτή να είναι γνωστή εκ των προτέρων έτσι ώστε να λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς. Ο καθορισμός της υγρασίας γίνεται από την απώλεια βάρους μετά από θέρμανση του ασφαλτομίγματος για 2 έως 2 1/2 ώρες σε φούρνο 149-163°C (μέχρι να αποκτήσει σταθερό βάρος), εφ' όσον από το μίγμα διαλύτη-ασφάλτου που θα προκύψει από την εκχύλιση

Δειγματοληψία από:	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψίας ^(α)	Ελάχιστη ποσότητα δειγματοληψίας ^(β)	Δοκιμές που πρέπει να εκτελεσθούν	Αριθμός προδιαγραφής
Ψυχρά αδρανή υλικά	Όπως καθορίζεται ^(α)	Βλέπε Πίνακα 7.6	Κοκκομ. ανάλυση Ειδικό βάρος Ισοδύναμο άμμου (όταν απαιτείται)	AASHTO T-11 AASHTO T-27 AASHTO T-84 AASHTO T-85 AASHTO T-176
Κάθε θερμό θάλαμο Κάθε θερμό θάλαμο	2 δείγματα ημερησίως	Βλέπε Πίνακα 7.7 ^(γ)	Κοκκομ. ανάλυση Ισοδύναμο άμμου (όταν απαιτείται)	AASHTO T-11 AASHTO T-27 AASHTO T-176
Θερμά αδρανή αναμεμιγμένα	2 δείγματα ημερησίως	Βλέπε Πίνακα 9.7	Κοκκομ. ανάλυση	AASHTO T-11 AASHTO T-27
Παιπάλη	Όπως καθορίζεται ^(α)	Βλέπε Πίνακα 9.7	Κοκκομ. ανάλυση	AASHTO T-37
Άσφαλτο	2 δείγματα από κάθε βυτίο ^(δ)	1 λίτρο	Αποστολή σε κεντρικό εργαστήριο	AASHTO T-40
Ασυμπέστο μίγμα	2 δείγματα ημερησίως	9 Kg	Πλήρης εκχύλιση	AASHTO T-168 AASHTO T-164 AASHTO T-30
Ασυμπέστο μίγμα	2 δείγματα ημερησίως	7 Kg	Πυκνότητα Ευστάθεια	AASHTO T-209 Απαιτήσεις προδιαγραφών έργου

^(α) Η συχνότητα από τη συμβαλλόμενη αρχή και από τις συνθήκες προμήθειας των αδρανών

^(β) Η ποσότητα καθορίζεται από τη συμβαλλόμενη αρχή

^(γ) Στα συγκροτήματα ανά παρτίδες λαμβάνεται από το σημείο εκροής από το θάλαμο αποθήκευσης, ενώ στα συγκροτήματα συνεχούς ροής από το σημείο εκροής από τον κάδο τροφοδίσιας (ψυχρά αδρανή

^(δ) Ένα δείγμα για άμεσο έλεγχο και ένα ως αντίδειγμα

Πίνακας 7.6 Προτεινόμενο πρόγραμμα δειγματοληψίας και ελέγχου παραγωγής ασφαλτικών μιγμάτων

δεν πρόκειται να γίνουν άλλοι έλεγχοι επί της ασφάλτου. Σε αντίθετη περίπτωση, ο καθορισμός της υγρασίας θα πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τη δοκιμή που ορίζεται από την προδιαγραφή AASHTO T 110.

Μέθοδος εκχύλισης με φυγοκεντρικό εκχυλιστήρα

Η δοκιμή αυτή εκτελείται χρησιμοποιώντας μια συσκευή εκχύλισης η οποία φέρει ένα μεταλλικό ημικυκλικό υποδοχέα μίγματος με καπάκι ασφαλείας ο οποίος μπορεί να περιστρέφεται με 3600 στροφές/λεπτό. Επίσης στη συσκευή υπάρχει και σύστημα αποβολής του υγρού διαλύματος και κατάλληλο μηχανικό φρένο, για το σταμάτημα της συσκευής μετά το πέρας της δοκιμής. Τυπική συσκευή φυγοκεντρικού εκχυλιστήρα δίνεται στη Φωτογραφία 7.1.



Φωτογραφία 7.1 Φυγοκεντρικός εκχυλιστήρας

Κατά τη δοκιμή, επαρκής ποσότητα ασφαλτομίγματος ζυγίζεται και τοποθετείται στον υποδοχέα. Η ποσότητα που χρησιμοποιείται είναι συνάρτηση του μέγιστου κόκκου των αδρανών και καθορίζεται από τις προδιαγραφές. Για ασφαλτόμιγμα με αδρανή 12.5mm χρησιμοποιείται

ποσότητα 2 έως 2.5kg, ενώ για ασφαλτόμιγμα με αδρανή 12.5mm χρησιμοποιείται ποσότητα 1.5 έως 2.0kg.

Μέγιστο μέγεθος κόκκου αδρανών υλικών, διερχόμενο του κοσκίνου	Ελάχιστο βάρος δείγματος (Kg)
2.36 mm	5
4.75 mm	5
9.5 mm	5
12.5 mm	10
19.0 mm	15
25.0 mm	25
37.5 mm	30
50.0 mm	40
63 mm	45
75 mm	60
90 mm	65

Πίνακας 7.7 Ελάχιστες ποσότητες δειγμάτων αδρανών υλικών

Η ποσότητα του μίγματος καλύπτεται πλήρως με επαρκή ποσότητα κατάλληλου οργανικού διαλύτη. Ως διαλύτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί το τριχλωροαιθυλένιο, ή το 1,1,1-τριχλωροαιθάνιο ή το χλωριούχο μεθυλένιο. Ο διαλύτης αφήνεται να δράσει για κάποιο χρονικό διάστημα (όχι μεγαλύτερο της μίας ώρας) και κατόπιν ο υποδοχέας κλείνεται ερμητικά, αφού προηγουμένως μεταξύ υποδοχέα και καπακιού τοποθετηθεί κατάλληλος διηθητικός χάρτης (φίλτρο). Το όλο μίγμα υφίσταται φυγοκέντριση για τόσο χρονικό διάστημα όσο απαιτείται για την απομάκρυνση του υγρού που περιέχει άσφαλτο και διαλύτη. Μετά το σταμάτημα της συσκευής προστίθεται νέα ποσότητα καθαρού διαλύτη (περίπου 200-250 ml ή ανάλογα με την ποσότητα του μίγματος) και το μίγμα υφίσταται εκ νέου φυγοκέντριση. Το παραπάνω επαναλαμβάνεται τόσες φορές όσες είναι αναγκαίες για να εξαχθεί από τη συσκευή καθαρός διαλύτης.

Μετά το πέρας της φυγοκέντρισης, αφαιρείται προσεκτικά ο διηθητικός χάρτης, επί του οποίου έχει προσκολληθεί ποσότητα παιπάλης και

μαζί με τα καθαρά αδρανή ξηραίνονται στους 110°C και ζυγίζονται. Στο βάρος των ξηρών αδρανών μετά την εκχύλιση θα πρέπει να προστεθεί και η ποσότητα της παιπάλης που παρακρατήθηκε από διηθητικό χάρτη. Το τελευταίο καθορίζεται από τη διαφορά βάρους του διηθητικού χάρτη πριν και μετά τη δοκιμή.

Στο εκχύλισμα που συλλέγεται, παρόλο που χρησιμοποιείται διηθητικός χάρτης, υπάρχει πάντοτε μια μικρή ποσότητα λεπτότατης παιπάλης. Η ποσότητα αυτή θα πρέπει να καθορισθεί και να συμπεριληφθεί στο βάρος των αδρανών, αλλιώς το αποτέλεσμα που θα εξαχθεί θα είναι πλασματικό. Στην προκείμενη περίπτωση το ποσοστό της ασφάλτου, εάν δε συνυπολογισθεί η παιπάλη που περιέχεται στο εκχύλισμα, θα είναι μεγαλύτερο από το πραγματικό. Ο καθορισμός της μικρής ποσότητας παιπάλης που περιέχεται στο εκχύλισμα πραγματοποιείται στη συνέχεια με μια από τις μεθόδους που περιγράφονται στην προδιαγραφή AASHTO T164.

Ο υπολογισμός, τέλος, της ποσότητας της ασφάλτου στο μίγμα, ως ποσοστό κατά βάρος μίγματος, γίνεται με τη βοήθεια της σχέσης 7.1.

Ποσοστό ασφάλτου

$$= 100 \times [(W_1 - W_2) - (W_3 - W_4)] / (W_1 - W_2) \quad (7.1)$$

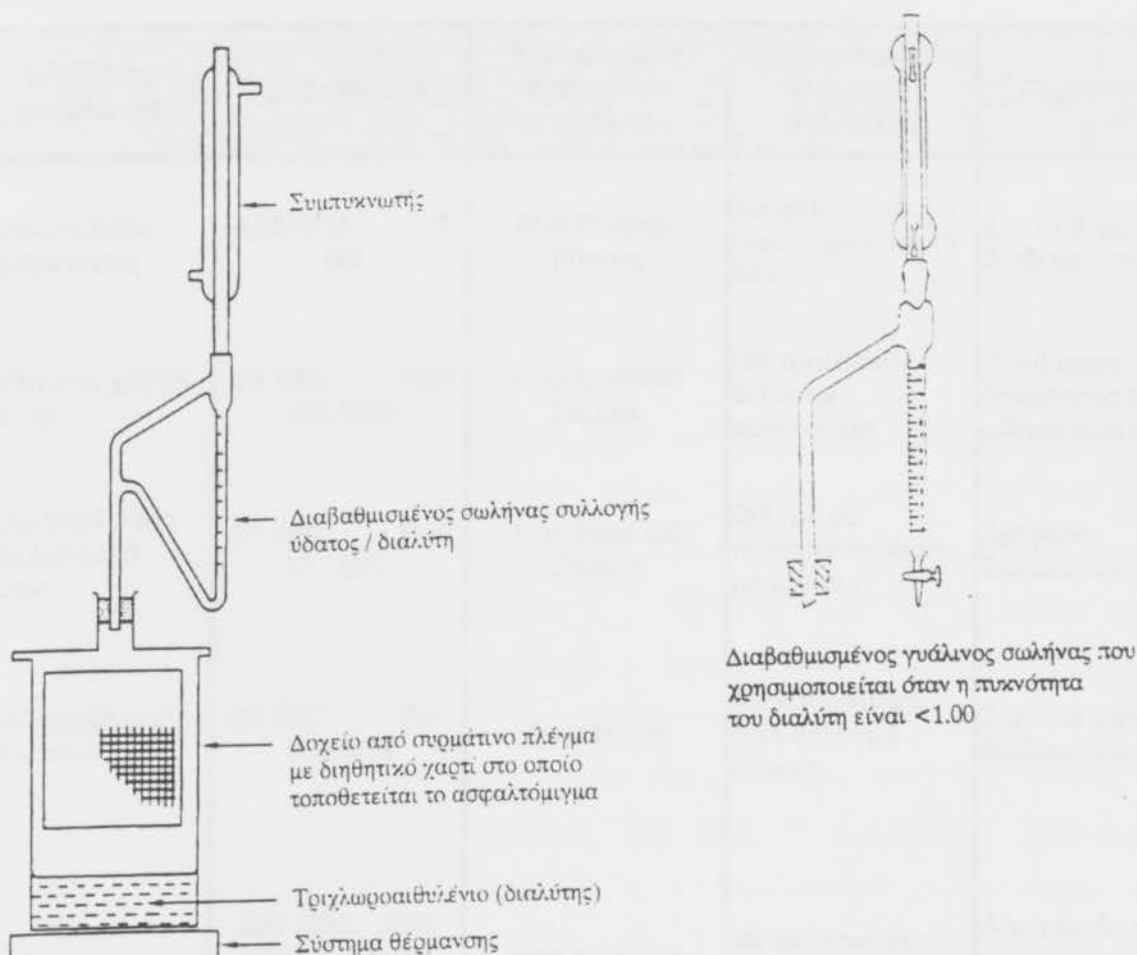
- όπου
- W_1 = βάρος ασφαλτομίγματος
 - W_2 = βάρος ύδατος στο ασφαλτόμιγμα (εάν υπάρχει υγρασία)
 - W_3 = βάρος μίγματος καθαρών αδρανών μετά την εκχύλιση
(προσοχή να μην ξεχασθεί να προστεθεί η παιπάλη που παρακρατείται από διηθητικό χάρτη)
 - W_4 = βάρος παιπάλης που περιέχεται στο εκχύλισμα.
(Η ποσότητα αυτή μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα μόνο στα μίγματα ανοικτού τύπου. Όσο πιο μεγάλο είναι το ποσοστό στο ασφαλτόμιγμα τόσο πιο επιτακτική είναι η ανάγκη καθορισμού της ποσότητας αυτής).

Άλλες μέθοδοι εκχύλισης

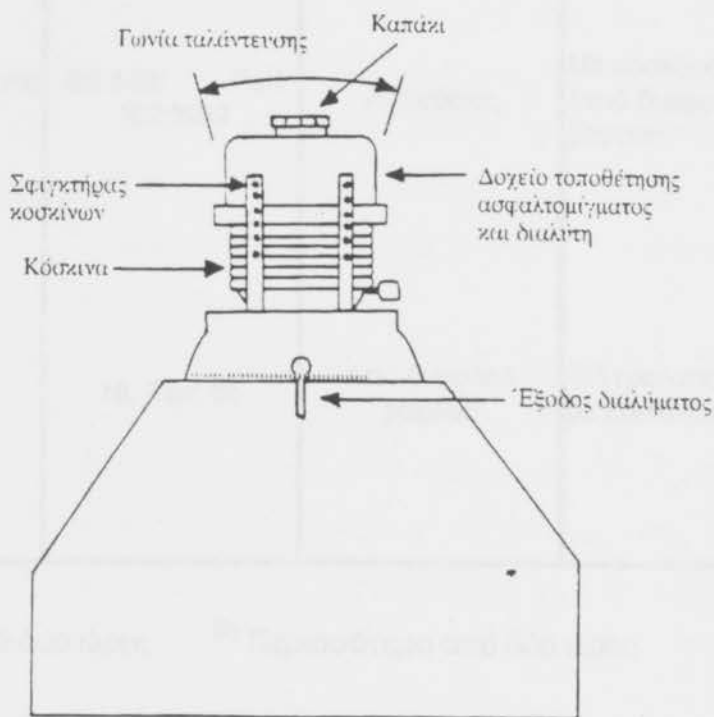
Πλην της προαναφερθείσης μεθόδου και αυτών που περιγράφονται στην προαναφερθείσα προδιαγραφή, υπάρχουν και άλλες μέθοδοι εκχύλισης οι οποίες χρησιμοποιούνται ευρέως από άλλες χώρες. Οι κυριότερες των μεθόδων αυτών είναι: η μέθοδος εκχύλισης διαμέσου διηθητικού χάρτου σε σχήμα "χωνιού", η μέθοδος εκχύλισης, η μέθοδος της θερμής εκχύλισης, η μέθοδος με συσκευή εκχύλισης με κόσκινα και η μέθοδος με εκχυλιστήρα Soxhlet. Στο σχήμα 7.5 δίνεται η σχηματική παράσταση των συσκευών που χρησιμοποιούνται στις μεθόδους της θερμής εκχύλισης και της εκχύλισης με κόσκινα.

Η καθεμιά από τις παραπάνω μεθόδους βασίζεται στην ίδια βασική αρχή της εκχύλισης, δηλαδή της έκπλυσης της ασφάλτου από το ασφαλτόμιγμα με τη βοήθεια διαλύτου, πλην όμως διαφέρουν ως προς τον τρόπο καθορισμού του ποσοστού της ασφάλτου και τον τρόπο παρακράτησης και συνυπολογισμού της παιπάλης. Σε ορισμένες μεθόδους ο προσδιορισμός του ποσοστού της ασφάλτου γίνεται από τη διαφορά βάρους του δείγματος. Σε άλλες ο προσδιορισμός του ποσοστού της ασφάλτου γίνεται από το εκχύλισμα. Στην περίπτωση αυτή γνωστή ποσότητα εκχυλίσματος υφίσταται φυγοκέντριση και από το υγρό διάλυμα που δεν περιέχει πλέον στερεά κατάλοιπα, ανακτάται και καθορίζεται το ποσοστό της ασφάλτου. Η ανάκτηση της ασφάλτου γίνεται με εξάτμιση του διαλύτη. Ο τρόπος αυτός καθορισμού είναι γνωστός ως απευθείας καθορισμός και συνιστάται από τις Βρετανικές προδιαγραφές⁽⁴²⁾.

Επίσης σε ορισμένες μεθόδους, η παιπάλη παρακρατείται πλήρως από το μέσο συγκράτησης με αποτέλεσμα, ο καθορισμός της παιπάλης να γίνεται απευθείας μετά από κοσκίνισμα και να μην χρειάζονται περαιτέρω υπολογισμοί. Σε άλλες μεθόδους, όπως αυτή του φυγοκεντρικού εκχυλιστήρα, η παιπάλη δεν παρακρατείται πλήρως και απαιτείται πρόσθετη δοκιμή για τον ολοκληρωτικό καθορισμό της. Στον Πίνακα 7.8 δίνονται συνοπτικά οι βασικές διαφορές των κυριότερων μεθόδων εκχύλισης που χρησιμοποιούνται.



Σχήμα 7.5(α): Συσσκευή θερμής εκχύλισης με ταυτόχρονο καθορισμό της υγρασίας



Σχήμα 7.5(β): Συσσκευή εκχύλισης με κόσκινα.

Μέθοδος εκχύλισης	Προδιαγραφή	Καθορισμός ποσοστού ασφάλτου	Διαχωρισμός/καθορισμός παιπάλης	Παρατηρήσεις
Φυγοκεντρικός εκχυλιστήρας	AASHTO T 164	Από διαφορά βάρους	Με φίλτρο και με συμπληρωματική δοκιμή	Σχετικά γρήγορη διαδικασία(α)
Διηθητικού χάρτη χοάνης	BS 598: Part 102:1989	Από διαφορά βάρους	Φίλτρο/απευθείας με κοσκίνισμα	Πολύ αργή διαδικασία(β), η φθηνότερη συσκευή
Φιάλη εκχύλισης (από διαφορά βάρους)	BS 598: Part 102:1989	Από διαφορά βάρους	Φίλτρο με πίεση/απευθείας με ζύγισμα	Γρήγορη διαδικασία(α)
Φιάλη εκχύλισης (απευθείας)	BS 598: Part 102:1989	Απευθείας	Με κοσκίνισμα/ από διαφορά βάρους	Σχετικά γρήγορη διαδικασία(α)
Θερμός εκχυλιστήρας	DIN 1996: Part 6:1988 ή BS 598: Part 102:1989	Από διαφορά βάρους	Με φίλτρο/απευθείας με κοσκίνισμα	Αργή διαδικασία(β), ταυτόχρονα καθορισμός του ποσοστού υγρασίας
Συσκευή εκχύλισης με κόσκινα	BS 598: Part 102:1989	Απευθείας	Με κοσκίνισμα /από διαφορά βάρους	Σχετικά γρήγορη διαδικασία(α), ταυτόχρονα κοσκίνισμα αδραν.
Εκχυλιστήρας Soxhlet	NL Test 65	Από διαφορά βάρους	Φίλτρο/απαυθείας με κοσκίνισμα	Αργή διαδικασία(β), κατάλληλο για λεπτόκοκκα μίγματα, ταυτόχρονος υπολογισμός υγρασίας

(α) Λιγότερο από δύο ώρες

(β) Περισσότερο από δύο ώρες

Πίνακας 7.8 Βασικά χαρακτηριστικά κυριότερων μεθόδων εκχύλισης

7.7 Ανάκτηση ασφάλτου

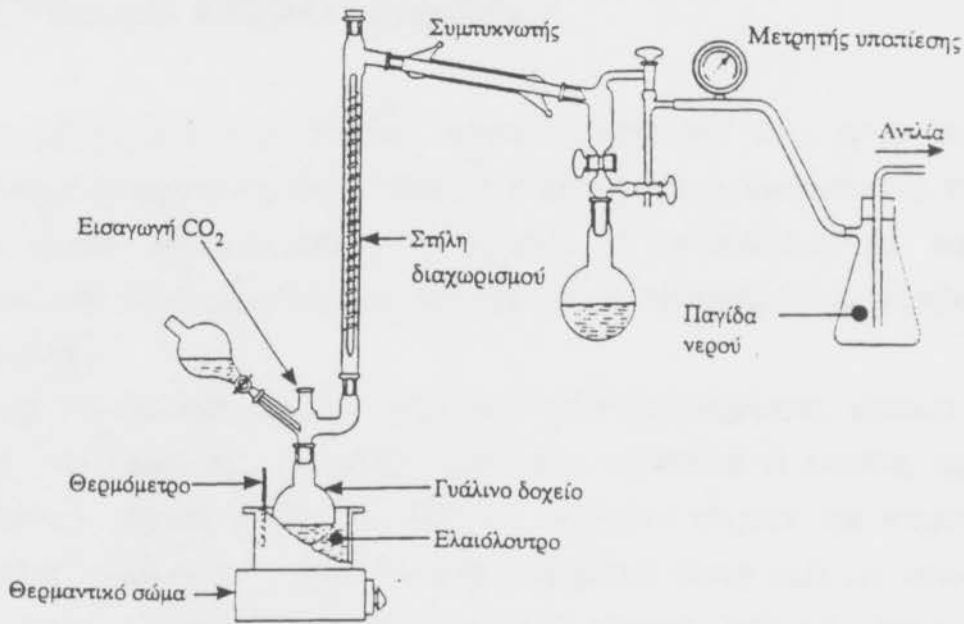
Η ανάκτηση της ασφάλτου από το ασφαλτόμιγμα είναι αναγκαία για την εκτέλεση περαιτέρω ελέγχων όπως της διεισδυτικότητας, του σημείου μάλθωσης, του ιξώδους κ.λ.π. και επιτυγχάνεται με ειδικές συσκευές, έτσι ώστε να μειώνεται στο ελάχιστο δυνατό η απώλεια ελαφρών πτητικών ελαίων που υπάρχουν στη μάζα της ασφάλτου.

Η ανάκτηση της ασφάλτου γίνεται από το εκχύλισμα που προήλθε από τη δοκιμή εκχύλισης. Το εκχύλισμα, αφού πρώτα απαλλαγεί από τα λεπτότατα στερεά κατάλοιπα που περιέχει (λεπτή παιπάλη), τοποθετείται σε γυάλινο δοχείο 250ml και θερμαίνεται. Η απομάκρυνση των στερεών από το εκχύλισμα γίνεται με φυγοκέντριση ή φιλτράρισμα και φυγοκέντριση (τυπικός χρόνος φυγοκέντρισης 30-35 λεπτά).

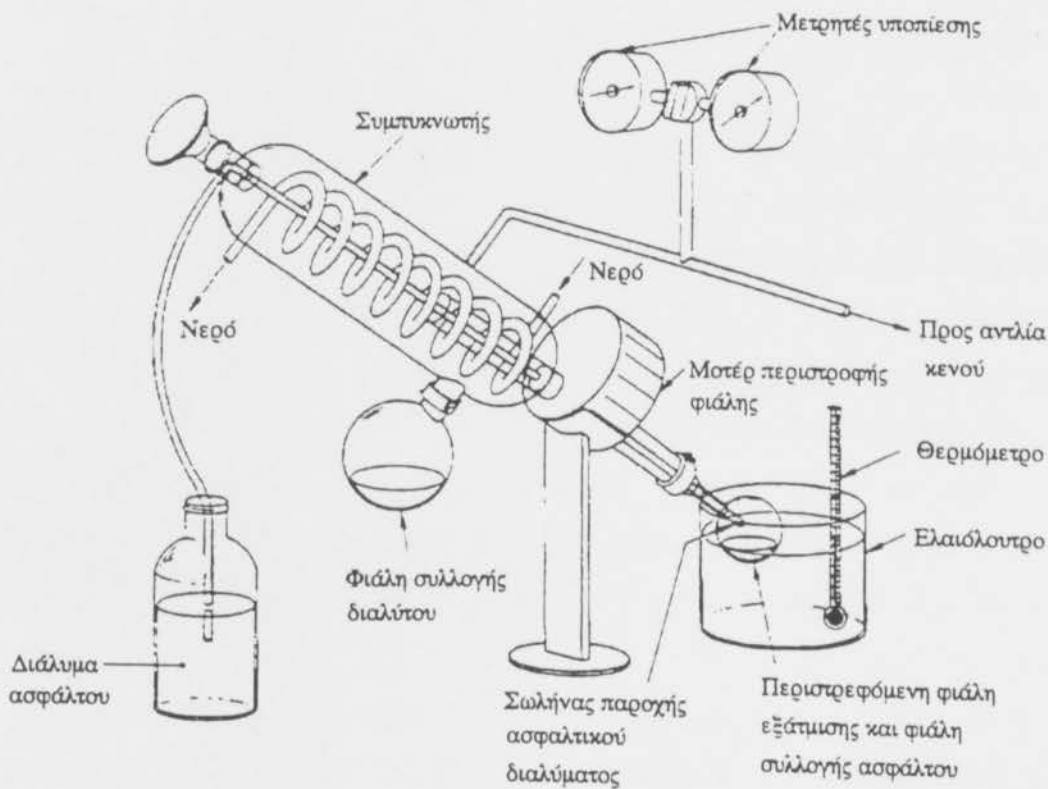
Η θέρμανση του γυάλινου δοχείου γίνεται με θερμαινόμενο ελαιόλουτρο ή κατάλληλο ηλεκτρικό θερμαντικό στοιχείο δικτυωτού πλέγματος και όχι με λίκνο bunsen. Έτσι, επιτυγχάνεται ομοιόμορφη και ελεγχόμενη θερμοκρασία και αποφεύγεται η τοπική υπερθέρμανση της ασφάλτου. Κατά τη θέρμανση του εκχυλίσματος, σε θερμοκρασίες μέχρι και 160°C, εξατμίζεται ο διαλύτης, ο οποίος υγροποιείται και συλλέγεται, και στο δοχείο παραμένει η ανακτηθείσα άσφαλτος. Κατά τη θέρμανση του εκχυλίσματος για την αποφυγή αφρισμού και για την ανάδευση του εκχυλίσματος, στο γυάλινο δοχείο εισάγεται αέριο διοξείδιο του άνθρακα. Για την υποβοήθηση, τέλος, της απαγωγής των αερίων χρησιμοποιείται και μικρή αντλία υποπίεσης. Τυπική διάταξη συσκευής ανάκτησης ασφάλτου δίνεται στο Σχήμα 9.6. Περισσότερες πληροφορίες για τον τρόπο εκτέλεσης της δοκιμής δίνονται στη βιβλιογραφία⁽⁴³⁾⁽⁴⁴⁾.

Μια συσκευή που χρησιμοποιείται σήμερα ευρέως σε πολλά εργαστήρια για την ανάκτηση της ασφάλτου είναι η συσκευή εξάτμισης με περιστρεφόμενο υμένα ασφάλτου που φαίνεται στο Σχήμα 7.7. Το βασικό πλεονέκτημα αυτής της συσκευής είναι ότι ο διαλύτης απομακρύνεται σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, σε σύγκριση με την τυποποιημένη διάταξη του σχήματος 7.6.

Σχήμα 7.7 Συσκευή εξάτμισης με περιστρεφόμενο υμένα ασφάλτου



Σχήμα 7.6 Τυπική διάταξη συσκευής ανάκτησης ασφάλτου (με κλασματική στήλη διαχωρισμού)⁽⁴⁴⁾



Σχήμα 7.7 Συσκευή εξάτμισης με περιστρεφόμενο υμένα (rotary film evaporator)

7.8 Μεταφορά ασφαλτομιγμάτων

Η μεταφορά των θερμών ασφαλτομιγμάτων στο έργο γίνεται με ανατρεπόμενα φορτηγά των οποίων η καρότσα είναι καθαρή. Για τη μείωση της απώλειας θερμοκρασίας θα πρέπει να σκεπάζεται με κατάλληλο υγρομονωτικό υλικό, ιδιαίτερα τις ημέρες που οι θερμοκρασίες περιβάλλοντος είναι χαμηλές.

Για την ευκολία εκφόρτωσης του ασφαλτομίγματος, μπορεί να γίνει επίπαση της καρότσας με μικρή ποσότητα παιπάλης ή λεπτής άμμου. Το πετρελαίωμα της καρότσας λιμνάζει σε ορισμένα σημεία της καρότσας και ακολούθως απορροφάται από το ασφαλτόμιγμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μαλακώνει το ασφαλτόμιγμα και είναι πιθανό, εάν το μίγμα αυτό δε διασκορπισθεί κατά τη διάρκεια της διάστρωσης, να δημιουργήσει τοπικό πρόβλημα στον τάπητα.

8. ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΩΝ

Η συμπίκνωση είναι ίσως το πιο κρίσιμο στάδιο της κατασκευής, όχι μόνο των ασφαλτικών αλλά και όλων των άλλων στρώσεων. Από αυτήν πρόκειται να εξαρτηθεί κατά ένα πολύ μεγάλο βαθμό η καλή συμπεριφορά του οδοστρώματος και στην προκειμένη περίπτωση των ασφαλτικών στρώσεων. Κατά τη συμπίκνωση, τα καλυμμένα με άσφαλτο αδρανή συμπιέζονται, επαναδιατάσσονται και λαμβάνουν θέσεις τέτοιες ώστε η μεταξύ τους απόσταση να είναι η μικρότερη δυνατή. Επίσης, μειώνεται το ποσοστό των κενών και αυξάνεται η πυκνότητα του μίγματος.

Λόγω της επαναδιάταξης των αδρανών που επέρχεται από τη συμπίεση αυξάνονται οι επιφάνειες επαφής με αποτέλεσμα να αναπτύσσεται μεγαλύτερη εσωτερική τριβή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται η ευστάθεια του μίγματος και κατά συνέπεια η αντοχή της στρώσης του οδοστρώματος.

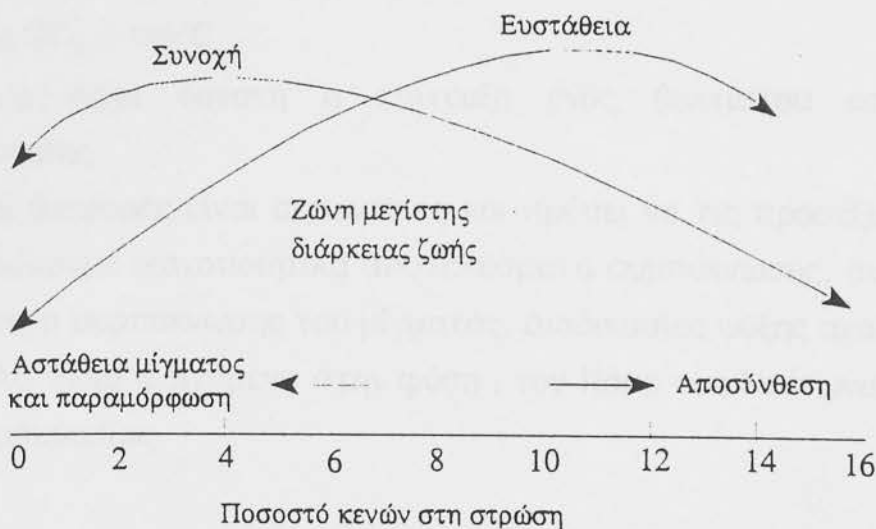
Η μείωση των κενών έχει ως αποτέλεσμα αφενός να καθιστά το μίγμα λιγότερο διαπερατό από τον αέρα και το νερό και αφετέρου να αυξάνει και το μέτρο δυσκαμψίας του ασφαλτομίγματος. Η μείωση της διαπερατότητας οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι μειώνεται ο αριθμός των κενών που συνδέονται μεταξύ τους. Σε μια υπο-συμπιεσμένη στρώση ο αριθμός αυτός είναι μεγάλος. Ο αριθμός των κενών που συνδέονται μεταξύ τους μπορεί να αυξηθεί και σε μια υπερ-συμπιεσμένη στρώση. Αυτό μπορεί να συμβεί στα κλειστού τύπου μόνο ασφαλτομίγματα λόγω της ανάπτυξης εσωτερικών "υδραυλικών" πιέσεων κατά τη συμπίκνωση, σε συνδυασμό με την υπερβολική μείωση των διαθέσιμων κενών. Από τα παραπάνω συνάγεται ότι κατά τη συμπίκνωση επιζητείται ένα βέλτιστο ποσοστό κενών και όχι το ελάχιστο δυνατόν.

Μείωση της διαπερατότητας έχει ως θετικό αποτέλεσμα όχι μόνο να επιτρέπει λιγότερη ποσότητα νερού να διέρχεται από τη στρώση αυτή στις υποκείμενες στρώσεις, με τα γνωστά αρνητικά αποτελέσματα, αλλά και να διακινείται λιγότερη ποσότητα αέρος μέσα στη μάζα του ασφαλτομίγματος. Αυτό έχει ως συνέπεια τη μείωση του ρυθμού οξειδωσης της ασφάλτου.

Μείωση των κενών έχει ως αποτέλεσμα, όπως προαναφέρθηκε, την αύξηση του μέτρου δυσκαμψίας του ασφαλτομίγματος. Από έρευνα βρέθηκε ότι σε μίγματα Macadam η μείωση των κενών κατά 3% επέφερε αύξηση του μέτρου δυσκαμψίας του ασφαλτομίγματος κατά 30% περίπου. Η αύξηση αυτή του μέτρου δυσκαμψίας είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του πάχους της βάσης από ασύνδετα αδρανή κατά 8%. Η θετική επίδραση της μείωσης των κενών επί του μέτρου δυσκαμψίας και της διάρκειας ζωής του οδοστρώματος τεκμηριώνεται και από άλλους ερευνητές.

Τέλος, εάν δε συμπυκνωθεί καλά το ασφαλτόμιγμα, είναι σίγουρο ότι η στρώση(-εις) θα συμπυκνωθεί ανομοιόμορφα από την κυκλοφορία, με αποτέλεσμα την εμφάνιση πρόωρων αυλακώσεων στις τροχιές των τροχών.

Σκοπός, λοιπόν, κατά τη συμπύκνωση των ασφαλτικών στρώσεων είναι να επιτευχθεί ένα βέλτιστο ποσοστό κενών και παράλληλα να διασφαλισθεί μια ομαλή επιφάνεια. Η στρώση από ασφαλτικό σκυρόδεμα αμέσως μετά τη διάστρωση έχει ποσοστό κενών 15% έως 20%. Σκοπός των οδοστρωτήρων είναι να μειώσουν το ποσοστό αυτό στο 8% περίπου ή και λίγο λιγότερο. Κατά το Asphalt Institute, συμπύκνωση κατά την οποία επιτυγχάνεται μικρότερο ποσοστό κενών θα πρέπει να αποφεύγονται ιδιαίτερα στην περιοχή των κενών του 2%-3%. Η επίδραση της μεταβολής των κενών στη συμπεριφορά του οδοστρώματος, επεξηγείται γραφικά στο Σχήμα 8.1.



Σχήμα 8.1 Επίδραση των κενών στη συμπεριφορά οδοστρώματος

8.1 Η θερμοκρασία συμπύκνωσης

8.1.1 Γενικά

Η έννοια "ισότιμη θερμοκρασία συμπύκνωσης" δείχνει στο θέμα αυτό πόσο σπουδαίο ρόλο παίζει η θερμοκρασία του μίγματος κατά την συμπύκνωση.

Στο κεφάλαιο 3 είδαμε ότι σε πολλές περιπτώσεις δύσκολα συμπυκνούμενα ασφαλτομίγματα, με ανέβασμα της θερμοκρασίας συμπύκνωσης σε επιθυμητά επίπεδα, μπόρεσαν να συμπυκνωθούν χωρίς να ληφθούν άλλα μέτρα.

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναπτύξουμε με κάθε λεπτομέρεια την σημασία και την επιρροή της θερμοκρασίας συμπύκνωσης.

Το Σχήμα 8.2 παριστάνει την απαιτούμενη δυναμικότητα κυλίνδρωσης ως συνάρτηση της θερμοκρασίας συμπύκνωσης σε τρία μίγματα με διαφορετική δυνατότητα συμπύκνωσης. Ο κύλινδρος είναι μέσου βάρους κοινός δίτροχος. Εάν υποθέσουμε ότι κατά την διάρκεια του διαθέσιμου για συμπύκνωση χρόνου μπορεί να πραγματοποιήσει 12 διελεύσεις, τότε από το διάγραμμα μπορούμε να δούμε ότι η θερμοκρασία συμπύκνωσης πρέπει να είναι για:

το μίγμα $LT_M \geq 74^\circ C$

το μίγμα $NT_M \geq 83^\circ C$

το μίγμα $ST_M \geq 115^\circ C$

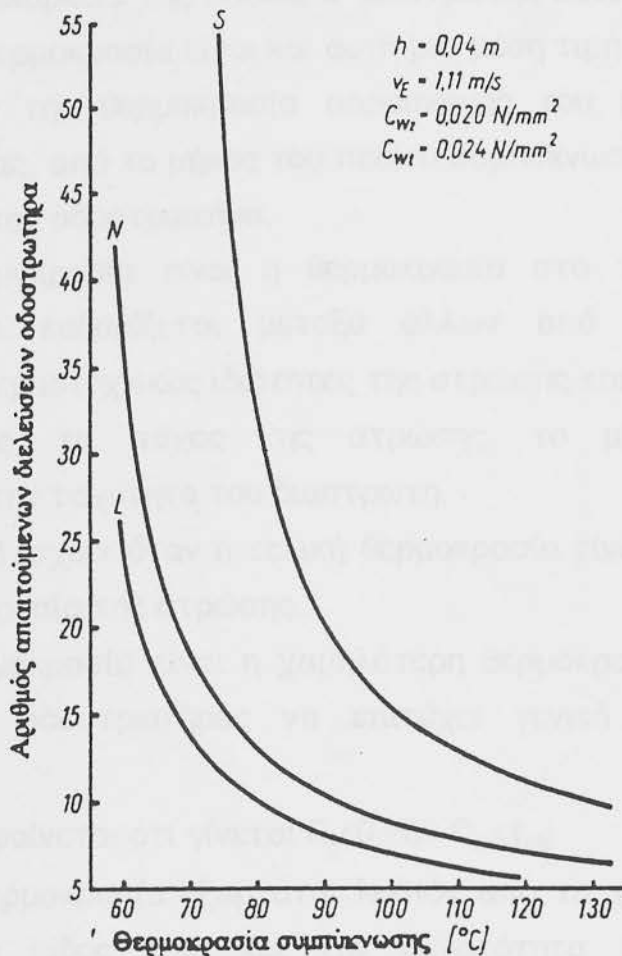
ώστε να είναι δυνατή η επίτευξη ενός βέλτιστου αποτελέσματος συμπύκνωσης.

Οι διαφορές είναι σημαντικές και πρέπει να τις προσέξουμε ιδιαίτερα αν επιδιώκουμε ικανοποιητικά αποτελέσματα συμπύκνωσης, ανάλογα με την δυνατότητα συμπύκνωσης του μίγματος. Διαδικασίες ψύξης ακολουθούν όπως και πολλά άλλα φαινόμενα στην φύση, τον Νόμο του Νεύτωνα, για απώλεια της θερμοκρασίας

$$Q_t = Q_o \cdot e^{-ax} \quad (8.1)$$

Οι χρόνοι που είναι διαθέσιμοι για την συμπύκνωση του υλικού λόγω ψύξης στρώσης μπορούν να υπολογιστούν σύμφωνα με τον προσεγγιστικό τύπο του BOSSEMEYER⁽⁹⁾ :

$$T_M = \frac{1}{1 + 0,734\sqrt[3]{T}} \cdot e^{-0,38\frac{T}{\xi_R}(T_0 - T_L) + T_L} \quad (8.2)$$



Σχήμα 8.2: Η απαιτούμενη δυνατότητα κυλίνδρωσης ως συνάρτηση της θερμοκρασίας συμπύκνωσης και της δυνατότητας συμπύκνωσης του μίγματος.

8.1.2 Μερικές έννοιες

Κατά την διάρκεια συμπύκνωσης η στρώση ψύχεται. Η μέση θερμοκρασία συμπύκνωσης μπορεί να υπολογιστεί, με ορισμένες απλοποιήσεις κατά VIZI⁽⁴⁹⁾ ως ευνοϊκή μέση τιμή της αρχικής και τελικής θερμοκρασίας συμπύκνωσης με τον τύπο:

$$T=0,4T_B+0,6T_E \quad (8.3)$$

όπου παριστάνουν

T_B την αρχική θερμοκρασία

T_E την τελική θερμοκρασία κατά την διάρκεια συμπύκνωσης.

Η συμπύκνωση με τον κύλινδρο πραγματοποιείται σε μεμονομένες λωρίδες, κατά τη διάρκεια της οποίας ο διαστρωτής συνεχίζει να προχωρεί. Γι αυτό η αρχική θερμοκρασία είναι και αυτή μια μέση τιμή και μεταξύ άλλων επηρεάζεται: από την θερμοκρασία παρασκευής του μίγματος, από το πλάτος της λωρίδας, από το μήκος του πεδίου συμπύκνωσης, από το πλάτος και την ταχύτητα του οδοστρωτήρα.

Τελική θερμοκρασία είναι η θερμοκρασία στο τέλος του πεδίου συμπύκνωσης και καθορίζεται μεταξύ άλλων από την θερμοκρασία παρασκευής, τις θερμοτεχνικές ιδιότητες της στρώσης και της υποδομής, τις καιρικές συνθήκες, το πάχος της στρώσης, το μήκος του πεδίου συμπύκνωσης και την ταχύτητα του διαστρωτή.

Ο τύπος 8.3 ισχύει όταν η τελική θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από την οριακή θερμοκρασία της στρώσης.

Οριακή θερμοκρασία είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία, με την οποία μπορεί ακόμη ο οδοστρωτήρας να επιτύχει γενικά ένα αποτέλεσμα συμπύκνωσης.

Από τον τύπο 3.1 φαίνεται ότι γίνεται $R_f \leq 0$ εάν $C_w \leq T_{cb}$.

Η οριακή θερμοκρασία εξαρτάται λοιπόν από τα χαρακτηριστικά του οδοστρωτήρα, το είδος του, και την δυνατότητα του μίγματος για συμπύκνωση.

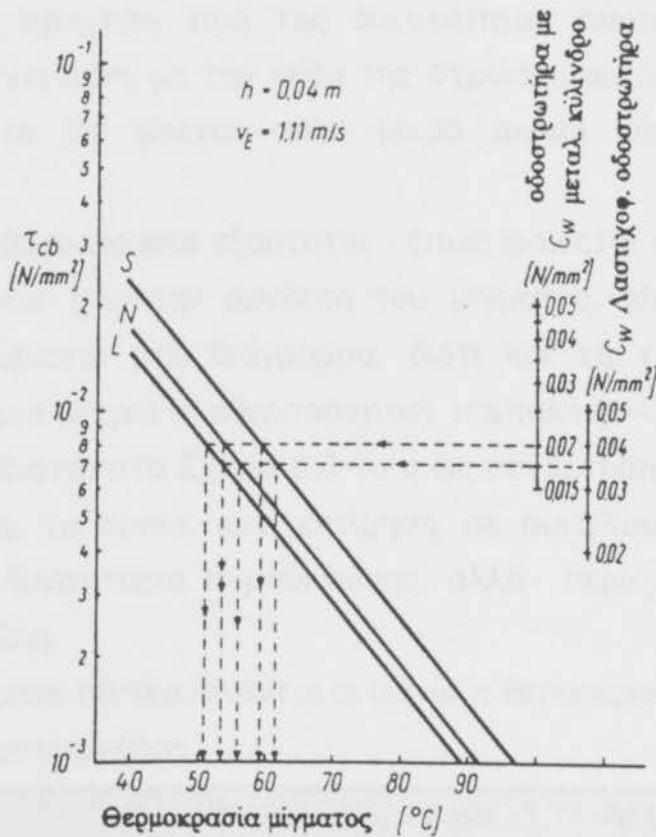
Το Σχήμα 8.3 δίνει το T_{cb} για τρία ασφαλτομίγματα με διαφορετική δυνατότητα συμπύκνωσης ως συνάρτηση της θερμοκρασίας του μίγματος.

Από το διάγραμμα μπορούμε να διακρίνουμε την οριακή θερμοκρασία για διάφορα χαρακτηριστικά (C_w) οδοστρωτήρα.

Σχήμα 8.3: Το T_{cb} ως συνάρτηση της θερμοκρασίας του μίγματος για τρία ασφαλτομίγματα με διαφορετικές δυνατότητες συμπύκνωσης.

Μίγμα	Οδοστρωτήρας με μεταλλικό κύλινδρο $C_w=0,020 \text{ N/mm}^2$	Λαστιχοφόρος οδοστρωτήρας $C_w=0,035 \text{ N/mm}^2$
L	51,0	53,5
N	53,5	56,5
S	59,0	61,5

Πίνακας 8.1 Οι οριακές θερμοκρασίες από τρία ασφαλτομίγματα με διαφορετική δυνατότητα συμπύκνωσης για δυο οδοστρωτήρες σε °C



Σχήμα 8.3: Το τ_{cb} ως συνάρτηση της θερμοκρασίας του μίγματος από τρία ασφαλτομίγματα με διαφορετικές δυνατότητες συμπύκνωσης (L,N,S)

Στον πίνακα 8.1 δόθηκαν οι τιμές για οδοστρωτήρα μεταλλικού κυλίνδρου με $C_w=0,020 \text{ N/mm}^2$ και για βαρύ λαστιχοφόρο με $C_w=0,035 \text{ N/mm}^2$.

Από τον πίνακα αυτό εξαγονται δύο εξαιρετικά σημαντικά συμπεράσματα.

- Η οριακή θερμοκρασία για οδοστρωτήρα με μεταλλικό κύλινδρο με σχετικά μικρά χαρακτηριστικά είναι μικρότερη από εκείνη για ένα βαρύ λαστιχοφόρο οδοστρωτήρα.
- Οι ευρεθείσες τιμές θερμοκρασίας είναι εξαιρετικά χαμηλές.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στις υπολογισθείσες χαμηλές οριακές θερμοκρασίες διότι αυτές παριστάνουν μια θεωρητική τιμή η οποία δίνει τα απόλυτα όρια της δυνατότητας συμπύκνωσης κατά τη χρησιμοποίηση των αναφερομένων οδοστρωτήρων.

Όμως, η πρακτική τιμή της δυνατότητας συμπύκνωσης βρίσκεται αρκετά υψηλότερα διότι με την ψύξη της στρώσης αυξάνεται σημαντικά το η_m , και έτσι το R_f γίνεται πολύ μικρό ακόμη και σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες.

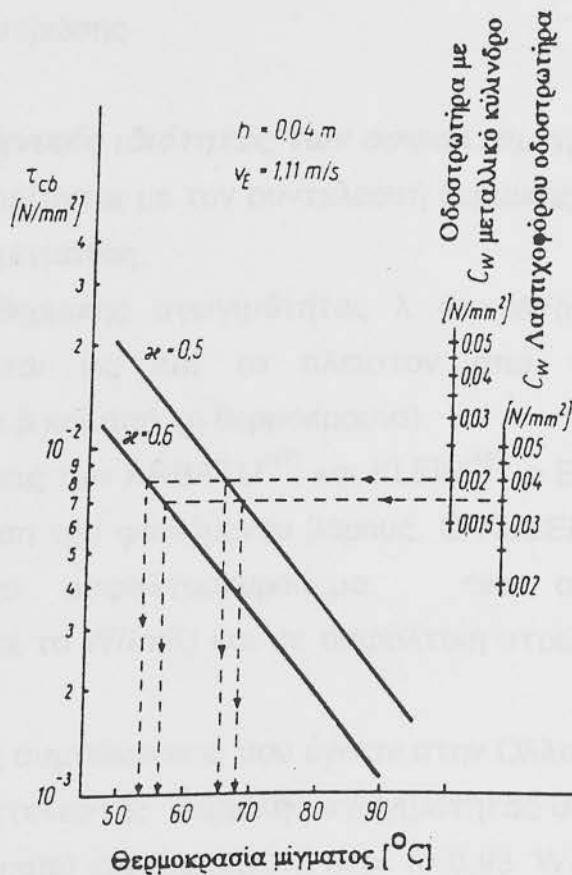
Η οριακή θερμοκρασία εξαρτάται - όπως φαίνεται από το διάγραμμα - μεταξύ άλλων και από την σύνθεση του μίγματος. Μια ιδιαίτερη μεγάλη επιρροή δεν φαίνεται στο διάγραμμα, διότι και τα τρία μίγματα έχουν υπολογισθεί με μια μέτρια σταθεροποιητική παιπάλη ($u=0,6$).

Γι' αυτό δίνεται στο Σχήμα 8.4 το u ως συνάρτηση της θερμοκρασίας για δύο μίγματα, τα οποία, κατ' εκτίμηση, σε συνηθισμένες θερμοκρασίες έχουν την ίδια δυνατότητα συμπύκνωσης, αλλά περιέχουν διαφορετικής ποιότητας παιπάλη.

Στον επόμενο πίνακα δίνονται οι οριακές θερμοκρασίες για τα μίγματα αυτά για δύο οδοστρωτήρες.

u	Οδοστρωτήρες με μεταλλικό κύλινδρο $C_w=0,020 \text{ N/mm}^2$	Λαστιχοφόρος οδοστρωτήρας $C_w=0,035 \text{ N/mm}^2$
0,5	65,5	68,0
0,6	53,5	56,5

Πίνακας 8.2 Η οριακή θερμοκρασία για δύο οδοστρωτήρες και για δύο ασφαλτομίγματα με διαφορετική παιπάλη σε °C



Σχήμα 8.4: Το τ_{cb} ως συνάρτηση της θερμοκρασίας του μίγματος δύο ασφαλτομιγμάτων με διαφορετική παιπάλη

Οι διαφορές που παρουσιάζονται είναι πολύ μεγάλες. Γι' αυτό πρέπει κατά την κατάρτιση προγραμμάτων κυλίνδρωσης να ληφθούν ιδιαίτερα υπόψη οι ιδιότητες της παιπάλης.

Η μέση θερμοκρασία συμπύκνωσης του μίγματος εξαρτάται εκτός των άλλων και από την ταχύτητα της ψύξης της στρώσης. Αυτή καθορίζει το χρόνο που είναι διαθέσιμος, έως ότου η θερμοκρασία φθάσει σε μια ορισμένη τιμή δηλαδή στην τελική θερμοκρασία. Όσο αργά ψύχεται τόσο μεγαλύτερος είναι ο διαθέσιμος χρόνος συμπύκνωσης και τόσο μεγαλύτερος ο αριθμός των εφικτών διελεύσεων.

Η ψύξη της στρώσης καθορίζεται βασικά από τους παρακάτω παράγοντες:

- Τις θερμοτεχνικές ιδιότητες του μίγματος και της υποδομής
- Τη θερμοκρασία παρασκευής
- Τις καιρικές συνθήκες

- Το πάχος της στρώσης

8.1.3 Οι θερμοτεχνικές ιδιότητες των ασφαλτομιγμάτων

Αυτές εκφράζονται με τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας και την θερμοκρασία του μίγματος.

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ (σε $W/(mK)$) της ασφαλτικής στρώσης εξαρτάται ως επί το πλείστον από το φαινόμενο βάρος (περιεκτικότητα κ.β και από τη θερμοκρασία).

Από εξετάσεις των ARBATLI⁽⁴⁷⁾ και KLEIN⁽⁴⁵⁾ ο BOSSEMEYER⁽⁹⁾ έδωσε το λ ως συνάρτηση του φαινομένου βάρους. Ο KUCERA⁽⁴⁶⁾ στο εργαστήριο σε συμπυκνωμένο ασφαλτοσκυρόδεμα, ένα συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας περί το $W/(mK)$ και σε ασφαλτική στρώση βάσης περί το 1,11 $W/(mK)$.

Από δοκιμές συμπύκνωσης που έγιναν στην Ολλανδία μετρήθηκε ένας κατά μέσο όρο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας σε ασφαλτοσκυρόδεμα με προσυμπύκνωση από τον διαστρωτή περί το 0,93 $W/(mK)$ σε θερμοκρασία μεταξύ 170°-90°C.

Ως μέση τιμή κατά τη συμπύκνωση σε θερμοκρασίες μεταξύ 115°C και 80°C διαπιστώθηκε μια τιμή περί το 1,16 $W/(mK)$.

Οι τιμές αυτές συμβιβάζονται ικανοποιητικά μεταξύ τους.

Μπορούμε να υπολογίσουμε για συμπυκνούμενο ασφαλτόμιγμα και μάλιστα με αρκετή ακρίβεια με $\lambda=0,93-1,38 W/(mK)$.

Ο αριθμός λ εξαρτάται κάθε φορά από το μέσο φαινόμενο βάρος και τη θερμοκρασία συμπύκνωσης της στρώσης.

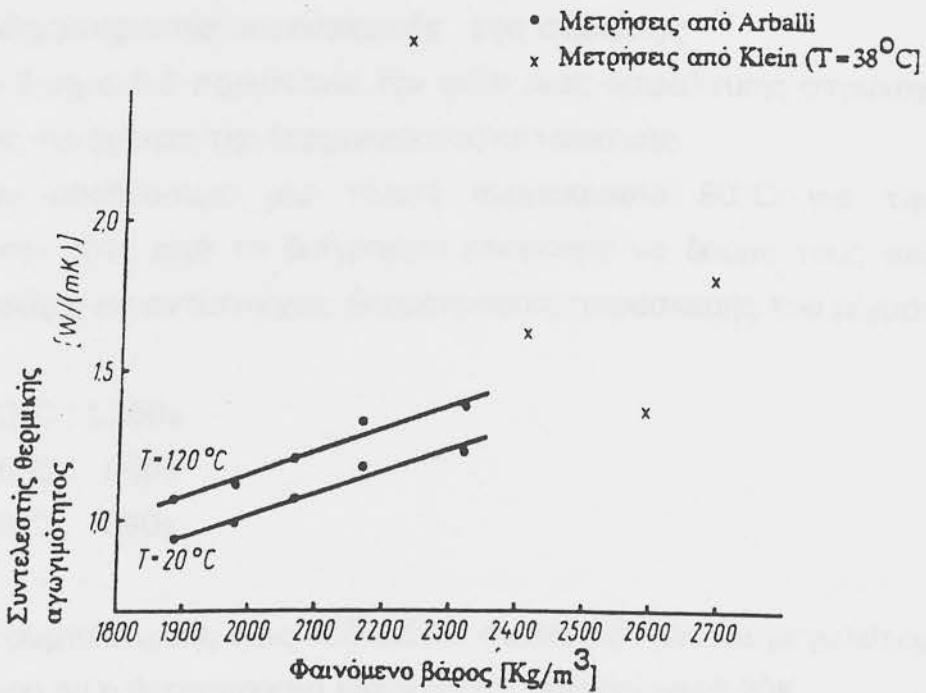
Σε διάφορες δημοσιεύσεις έχει αναφερθεί για την ειδική θερμοκρασία του ασφαλτομίγματος μια τιμή

$$c=0,84-1,0 \text{ (KJ/KgK)}$$

Κατά τον BOSSEMEYER⁽⁹⁾ μπορεί να ληφθεί εδώ κατά μέσο όρο

$$c=0,92 \text{ (KJ/KgK)}$$

Παρακάτω έχουν υπολογισθεί με τη βοήθεια προσεγγιστικών τύπων του BOSSEMEYER⁽⁹⁾ διαγράμματα ψύξης. Για την ισχύ του τύπου τίθεται σαν



Σχήμα 8.5: Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας από ασφαλτομίγματα ως συνάρτηση του φαινομένου βάρους (κατά BOSSEMEYER⁽⁹⁾ σύμφωνα με τα αποτελέσματα των εξετάσεων από ARBATLI και KLEIN⁽⁴⁵⁾)

προϋπόθεση μεταξύ άλλων ότι η υποδομή έχει τις ίδιες θερμοτεχνικές ιδιότητες με την κατασκευαζόμενη στρώση και η θερμοκρασία αυτής της υποδομής πριν από την διάστρωση του μίγματος είναι ίση με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Σε κανονικές περιπτώσεις ικανοποιείται με αρκετή ακρίβεια η προϋπόθεση αυτή, ιδιαίτερα τότε, όταν η υπόβαση αποτελείται από μια στεγανή ασφαλτική στρώση. Αλλά κάτω από, τις συνθήκες υγρασίας αυξάνεται έντονα ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υποστρώματος.

Ο KUCERA⁽⁴⁶⁾ βρήκε ότι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας της ανώτερης ασφαλτικής στρώσης βάσης εξαρτάται από το ποσοστό των κενών και τον κορεσμό ύδατος, και ότι σε υγρή κατάσταση αυξάνεται από 20% έως 40%.

Γι' αυτό σε μια υγρή υπόβαση λαμβάνει χώρα μια εντονότερη ψύξη της κατασκευαζόμενης στρώσης.

8.1.4 Η θερμοκρασία κατασκευής της στρώσης

Το Σχήμα 8.6 παριστάνει την ψύξη μιας ασφαλτικής στρώσης πάχους 0,04 m ως συνάρτηση της θερμοκρασίας κατασκευής.

Εάν υποθέσουμε μια τελική θερμοκρασία 90°C για την πρώτη κυλίνδρωση, τότε από το διάγραμμα μπορούμε να δούμε τους ακόλουθους χρόνους ψύξης σε αντίστοιχες θερμοκρασίες παρασκευής του μίγματος:

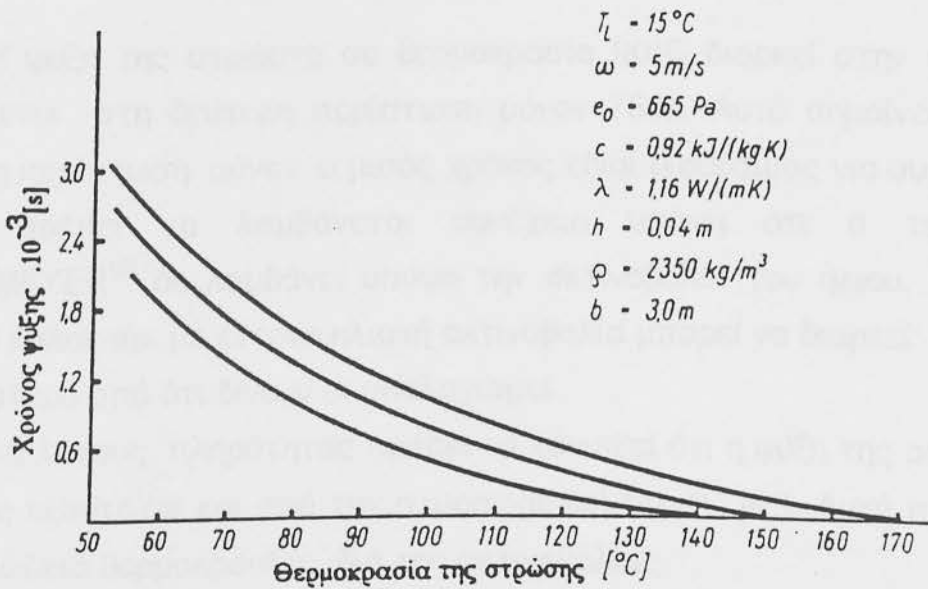
Για $T_o=180^\circ\text{C}$: 1.260s

Για $T_o=160^\circ\text{C}$: 990s

Για $T_o=140^\circ\text{C}$: 690s

Ο χρόνος συμπύκνωσης στις δεδομένες συνθήκες γίνεται μεγαλύτερος κατά 30K περίπου αν η θερμοκρασία κατασκευής αυξηθεί κατά 20K.

Σε κανονικές συνθήκες επιτυγχάνεται η πραγματοποίηση 25 έως 40% περισσότερων διελεύσεων. Ειδικά κατά τις ψυχρές μέρες του χρόνου είναι πολύ σημαντικό να αυξηθεί η θερμοκρασία παρασκευής μέχρι τα επιτρεπτά όρια.



Σχήμα 8.6: Η ψύξη μιας ασφαλτικής στρώσης ως συνάρτηση της θερμοκρασίας κατασκευής

8.1.5 Καιρικές συνθήκες

Στο επόμενο διάγραμμα (Σχήμα 8.7) δίνεται η ψύξη ως συνάρτηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος.

Λαμβάνοντας ως τελική θερμοκρασία τους 90°C , ο διαθέσιμος χρόνος συμπύκνωσης γίνεται:

Για $T_L=30^{\circ}\text{C}$: 1.200s

Για $T_L= 15^{\circ}\text{C}$: 990s

Για $T_L= 0^{\circ}\text{C}$: 840s

Οι διαφορές είναι εκπληκτικά μικρές. Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος μόνον, έχει μια σχετικά μικρή επιρροή στην ψύξη της στρώσης.

Η ψύξη αυτή συντελείται σημαντικά γρηγορότερα εάν παράλληλα με μια χαμηλή θερμοκρασία επικρατεί ένας δυνατός άνεμος.

Στο Σχήμα 8.7 δίνονται οι χρόνοι ψύξης

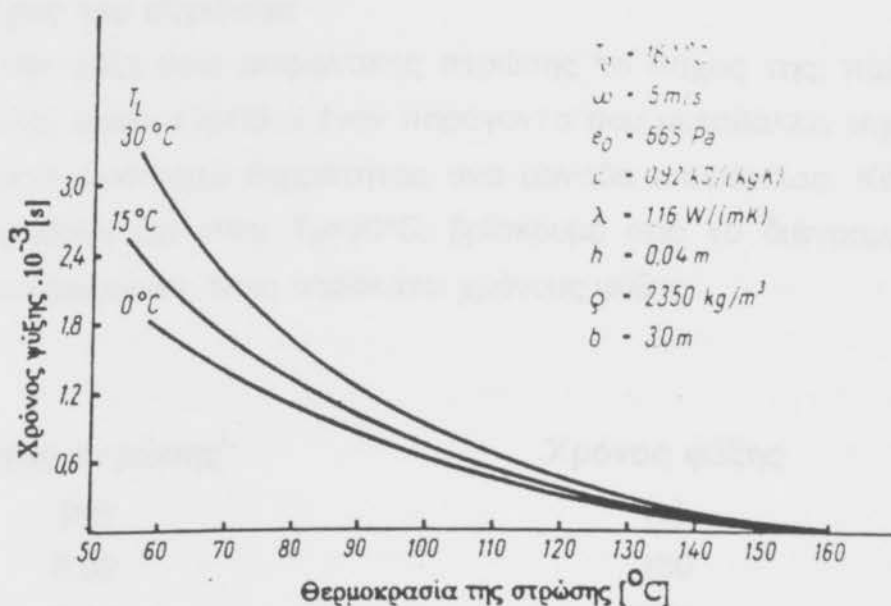
a) για πολύ ευνοϊκό θερινό καιρό ($T_L=30^{\circ}\text{C}$, νημεμία) και

b) για μια θερμοκρασία περιβάλλοντος $T_L=5^{\circ}\text{C}$ με δυνατό άνεμο ($\omega=10\text{ m/s}$)

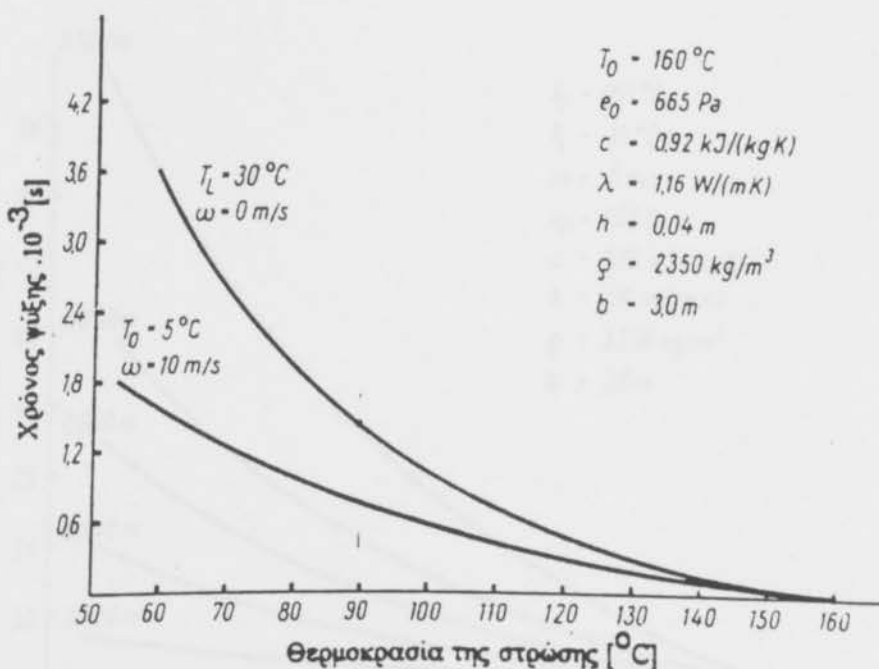
Η ψύξη της στρώσης σε θερμοκρασία 90°C διαρκεί στην περίπτωση 1.380s ενώ στη δεύτερη περίπτωση μόνον 750s. Αυτό σημαίνει ότι στη δεύτερη περίπτωση μόνον ο μισός χρόνος είναι διαθέσιμος για συμπύκνωση. Ακόμη πρέπει να λαμβάνεται συνέχεια υπόψη ότι ο τύπος του BOSSEMEYER⁽⁹⁾ δε λαμβάνει υπόψη την ακτινοβολία του ήλιου. Γι' αυτό η ψύξη το καλοκαίρι με έντονη ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να διαρκεί σημαντικά περισσότερο από ότι δίνουν οι υπολογισμοί.

Για λόγους πληρότητας πρέπει να τονισθεί ότι η ψύξη της ασφαλτικής στρώσης εξαρτάται και από την ατμοσφαιρική πίεση (e_o). Αυτή παίζει ρόλο στην απώλεια θερμοκρασίας διά της ακτινοβολίας.

Η επιρροή όμως του e_o είναι σχεδόν ασήμαντη.



Σχήμα 8.7: Η ψύξη μιας ασφαλτικής στρώσης ως συνάρτηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος

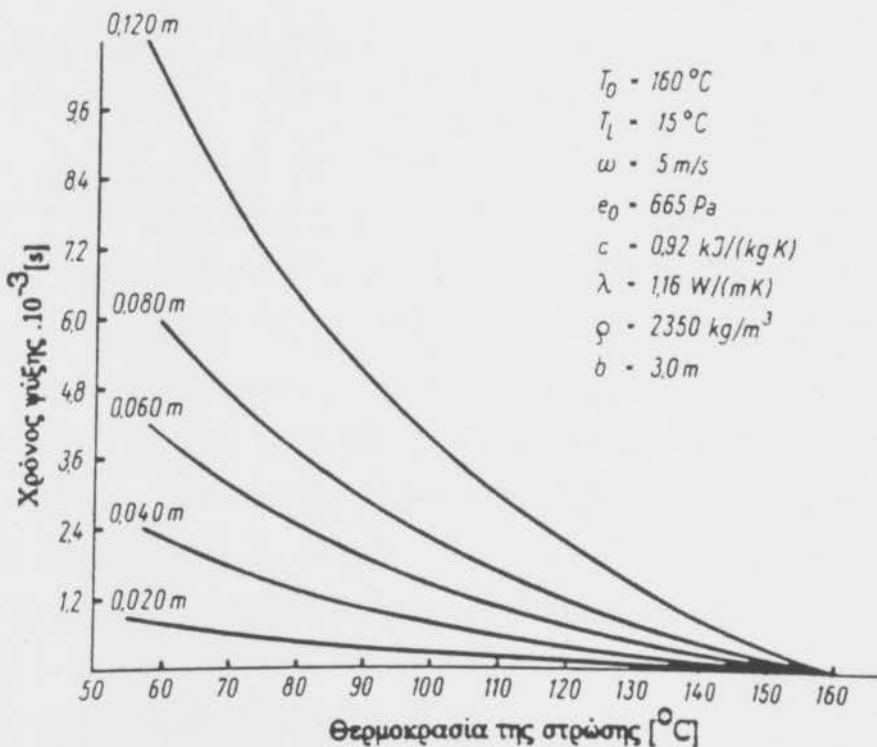


Σχήμα 8.8: Η ψύξη της ασφαλτικής στρώσης σε διάφορες καιρικές συνθήκες

8.1.6 Το πάχος της στρώσης

Κατά την ψύξη μιας ασφαλτικής στρώσης το πάχος της, παίζει ένα σπουδαίο ρόλο, αφού αποτελεί έναν παράγοντα που μεταβάλλει σημαντικά την εισερχόμενη ποσότητα θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας. Κάνοντας πάλι την παραδοχή ότι είναι $T_E=90^\circ\text{C}$, βρίσκουμε από το διάγραμμα, για διάφορα πάχη στρώσεων, τους παρακάτω χρόνους ψύξης:

Πάχος στρώσης (m)	Χρόνος ψύξης (s)
0,02	330
0,04	990
0,06	1.890
0,08	2.970
0,12	5.100



Σχήμα 8.9: Η ψύξη της ασφαλτικής στρώσης ως συνάρτηση του πάχους

Ένας πρόχειρος κανόνας που ισχύει στη περίπτωση αυτή είναι ότι ο χρόνος ψύξης τριπλασιάζεται όταν διπλασιαστεί το πάχος της στρώσης.

Επομένως η αύξηση του πάχους της στρώσης αποτελεί ένα δραστικό μέσο, για την επιμήκυνση του χρόνου συμπύκνωσης.

Όμως πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι η λύση αυτή παράλληλα με τα πλεονεκτήματά της έχει και μερικά μειονεκτήματα: Ο κίνδυνος πρόκλησης των ρωγμών (κυρίως τριχοειδών) κατά τη συμπύκνωση είναι μεγαλύτερος, η συμπύκνωση των ακμών είναι προβληματική και η ομαλότητα στρώσεων μεγάλου πάχους δεν εμφανίζεται γενικά ικανοποιητική.

Όμως συνίσταται οι ασφαλικές στρώσεις βάσης και συνδετικής, αν είναι δυνατόν, να διαστρώνεται σε μεγαλύτερα πάχη.

Τέλος υπενθυμίζεται ότι το πλάτος της λωρίδας έχει επιρροή στο χρόνο ψύξης της στρώσης, αφού η απώλεια θερμότητας δια της ακτινοβολίας μειώνεται με την αύξηση του πλάτους της λωρίδας. Αυτή όμως η επιρροή είναι στην πράξη αμελητέα.

8.2 Ο ΟΔΟΣΤΡΩΤΗΡΑΣ

8.2.1 Γενικά

Το ασφαλτόμιγμα που διαστρώνεται με χέρια ή με τον διαστρωτή πρέπει και να συμπυκνώνεται. Ο βαθμός συμπύκνωσης του υλικού χωρίς πρόσθετη συμπύκνωση φθάνει σε 75% περίπου όταν η διάστρωση γίνεται με χέρια και σε 92% περίπου που είναι και η υψηλότερη τιμή, όταν η διάστρωση γίνεται με μηχανικά μέσα. Γι' αυτό οι ιδιότητες αυτού του μίγματος είναι τελείως ανεπαρκείς για την παραλαβή των φορτίων της κυκλοφορίας για μεγάλα χρονικά διαστήματα χωρίς ανεπίτρεπτες βλάβες, και για ανθεκτικότητα κάτω από την επίδραση των καιρικών συνθηκών.

Η πρόσθετη συμπύκνωση της ασφαλτικής στρώσης πραγματοποιείται με οδοστρωτήρες.

Κατά τη συμπύκνωση με τον οδοστρωτήρα προξενούνται στην φρεσκοδιαστρωμένη στρώση τάσεις διαφόρων ειδών.

Αυτές οι τάσεις προκαλούν μια ανακατάταξη της δομής των αδρανών, και μια αλλαγή του όγκου η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των κενών της στρώσης και επομένως την αύξηση του φαινομένου βάρους και του βαθμού συμπύκνωσης.

Για μια σωστή συμπύκνωση είναι πολύ σημαντικό η ομαλότητα της διαστρωθείσας στρώσης να υποστεί τις ελάχιστες δυνατόν μεταβολές κατά τη συμπύκνωση (π.χ. ίχνη οδοστρωτήρα), η επιφάνεια να μην υποστεί βλάβες (με ρωγμές διαφόρων ειδών) και η υφή της - ειδικά σε στρώσεις κυκλοφορίας - να μη γίνει λεία (με περίσσεια αμμοκονίας στην επιφάνεια).

Με τη σημερινή τεχνική κατασκευής οδών δεν μπορούμε να αγνοήσουμε τη συμπύκνωση του ασφαλτικού εάν επιθυμούμε να κατασκευάσουμε οδούς με ασφαλτικό ικανοποιητικών απαιτήσεων ως προς τη χρήση τους. Εξάλλου για τον σκοπό αυτόν πρέπει να γίνει παράλληλα μια αξιολόγηση των μερικών ιδιοτήτων τους κατά τη κατασκευή, διότι ιδιότητες όπως μεγάλη πυκνότητα, πολύ καλή σταθερότητα σε καιρικές επιδράσεις από τη μια και μεγάλη αντίσταση παραμόρφωσης, πολύ καλή ταχύτητα από την άλλη αντικρούονται μεταξύ τους. Ακόμη η επιθυμία μας για πολύ καλή ομαλότητα της επιφάνειας δεν πρέπει να μας οδηγεί στη μειωμένη συμπύκνωση των ασφαλτικών στρώσεων.

Η επεξεργασία του ασφαλτομίγματος στην οδό απαιτεί πάντα έναν συμβιβασμό των απαιτήσεών μας.

Πρέπει πάντα να εκτιμούμε ποιές από τις ιδιότητες της χρήσης είναι σημαντικές με βάση τις μελλοντικές μας απαιτήσεις.

Έτσι π.χ. η υφή της επιφάνειας σε στρώση ασφαλτικής βάσης δεν είναι σημαντική όπως στη στρώση κυκλοφορίας. Είναι δυνατόν στην ομαλότητα αυτής της στρώσης να καθορισθούν λιγότερο αυστηρές απαιτήσεις από ότι στη στρώση κυκλοφορίας. Είναι ακόμη γνωστό από την εμπειρία, ότι τριχοειδείς ρωγμές ορισμένων διαστάσεων σε μια στρώση βάσης, συνήθως ξανακλείνουν την διάστρωση της επόμενης στρώσης. Τριχοειδείς ρωγμές σε μια στρώση κυκλοφορίας, σε αντίθεση με τα προηγούμενα είναι ανεπιθύμητες, διότι εισχωρούν σε αυτές ακαθαρσίες από την κυκλοφορία και δεν είναι πλέον δυνατό το κλείσιμό τους με το σιδέρωμα που προκαλείται από την ίδια την κυκλοφορία.

8.2.2 Το είδος κατασκευής του οδοστρωτήρα

Από άποψη κατασκευαστικών χαρακτηριστικών διακρίνονται σε:

- οδοστρωτήρες με μεταλλικό κύλινδρο
- λαστιχοφόρους οδοστρωτήρες

Οι πρώτοι είναι εξοπλισμένοι με μεταλλικό κύλινδρο, οι δεύτεροι με μεταλλικούς τροχούς. (Σχήμα 8.10).

Υπάρχουν ακόμη σύνθετοι οδοστρωτήρες, που έχουν κατασκευασθεί με τρεις άξονες από τους οποίους οι δύο με ελαστικούς τροχούς και κίνηση και ο τρίτος εξοπλισμένος με μεταλλικό κύλινδρο (Σχήμα 8.11).

Με την ανύψωση του ενός άξονα είναι δυνατόν, αυτός ο οδοστρωτήρας να εργάζεται ανάλογα ως κανονικός δονητικός οδοστρωτήρας ή ως σύνθετος οδοστρωτήρας.

Μερικοί σύνθετοι οδοστρωτήρες είναι έτσι κατασκευασμένοι, ώστε οι ελαστικοί τροχοί να μπορούν να αντικατασταθούν με μεταλλικό κύλινδρο σε μικρό χρονικό διάστημα.

Στους οδοστρωτήρες με μεταλλικό κύλινδρο διακρίνουμε ανάλογα με την διάταξη και τον αριθμό των κυλίνδρων:

- Κύλινδρο με ένα τροχό: ο ελκόμενος άξονας είναι με ένα μεγάλων διαστάσεων κύλινδρο, ενώ το τμήμα κίνησης είναι εξοπλισμένο με δύο μεγάλους λείους ελαστικούς τροχούς (Σχήμα 8.12).
- Δίτροχο: με δύο διατεταγμένους τον ένα πίσω από τον άλλον κύλινδρους. (Σχημα8.13).
- Κύλινδρο με τρεις τροχούς (Σχήμα 8.14).

Ο κύλινδρος του ελκόμενου άξονα έχει μικρή διάμετρο ενώ ο οπίσθιος άξονας (κινητήριος) φέρει δύο βαρείς κυλίνδρους μεγάλης διαμέτρου.

Οι λεγόμενοι τριπλοί οδοστρωτήρες είναι κατασκευασμένοι να φέρουν τρεις κυλίνδρους κατά σειρά, και από όσα γνωρίζουμε, δεν κατασκευάζονται πλέον.

Οι οδοστρωτήρες εργάζονται στατικά ή είναι εξοπλισμένοι με δονητική συσκευή. Στους δίτροχους κυλίνδρους μπορεί ο ένας ή και οι δύο άξονες να δίνουν κίνηση και ο ένας ή και οι δύο κύλινδροι να έχουν δόνηση.

Οι οδοστρωτήρες με έναν τροχό κατασκευάζονται κυρίως ως δονητικοί οδοστρωτήρες.

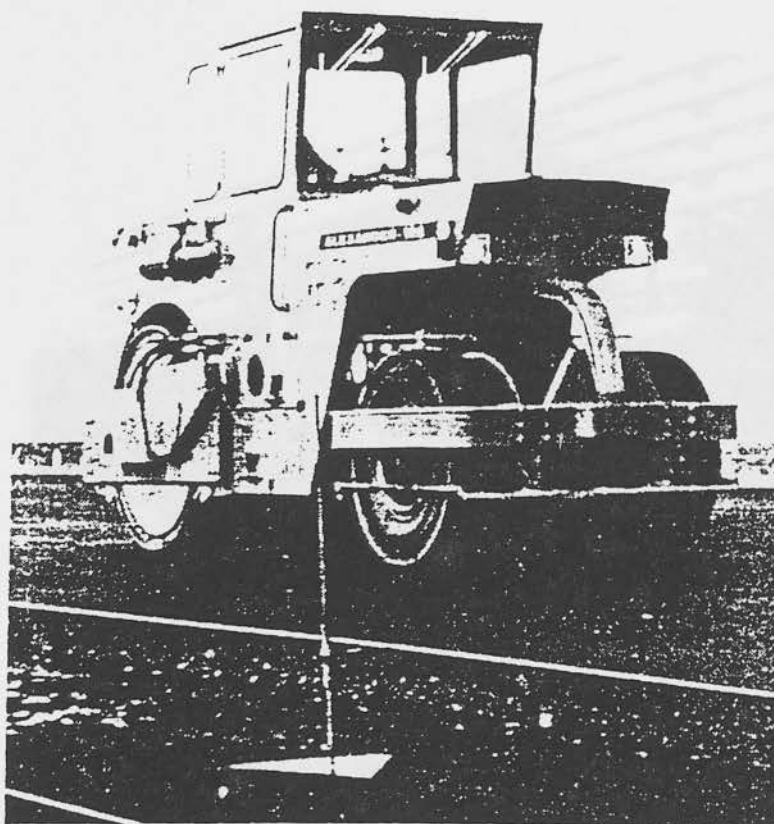
Υπάρχουν επίσης οδοστρωτήρες με τρεις τροχούς, στους οποίους ο ελκόμενος κύλινδρος μπορεί να εργάζεται με δόνηση.

Στους λαστιχοφόρους οδοστρωτήρες (Σχήμα 8.15) οι ελαστικοί τροχοί είναι έτσι διατεταγμένοι στους δύο άξονες ώστε τα ίχνη των εμπροσθίων να σβήνονται από τους οπίσθιους τροχούς.

Ο αριθμός των τροχών - που εξαρτάται από το συνολικό βάρος και το πλάτος του κυλίνδρου - κυμαίνεται μεταξύ 5 και 11. Τα ελαστικά είναι λεία και φαρδιά και η πίεση του ελαστικού μπορεί να ρυθμιστεί συχνά από τον οδηγό του οδοστρωτήρα από το κουβούκλιο μεταξύ 0,15 έως 0,80 MN/m².

8.2.3 Βασικές σκέψεις επάνω στην συμπύκνωση με οδοστρωτήρα.

Δυστυχώς δεν είναι δυνατό να περιγράψουμε με ακρίβεια την κατάσταση τάσεων κατά τη διάρκεια της συμπύκνωσης στο διαστρωμένο και ενδεχομένως προσυμπυκνωμένο με τον διαστρωτή ασφαλτόμιγμα. Το υλικό κατά την διάρκεια της συμπύκνωσης είναι σε πλαστική κατάσταση και το αποτέλεσμα της συμπύκνωσης εξαρτάται από το μέγεθος και το είδος των τάσεων, την ταχύτητα συμπίεσης του υλικού κατά την διάρκεια της φόρτισης, τη δυνατότητα συμπύκνωσης του ασφαλτομίγματος, το πάχος της στρώσης κ.ά.



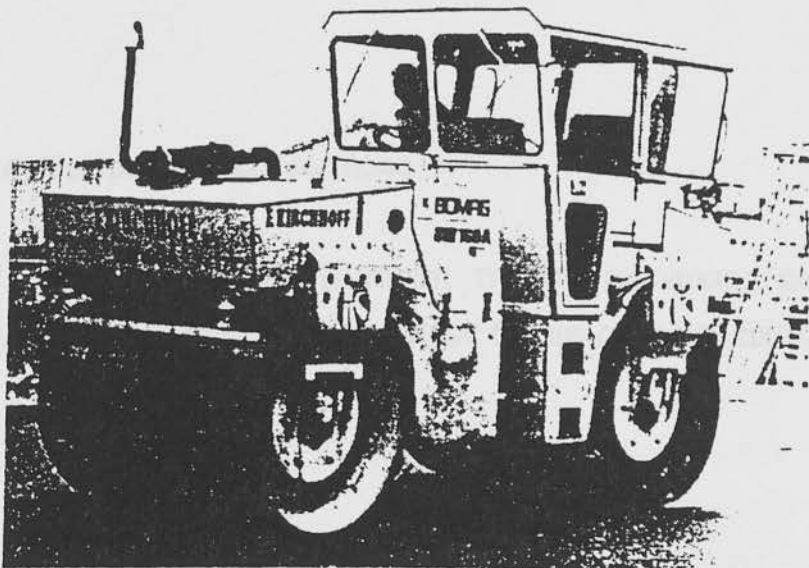
Σχήμα 8.10: Ο σύνθετος οδοστρωτήρας ABG ALEXANDER 128 G



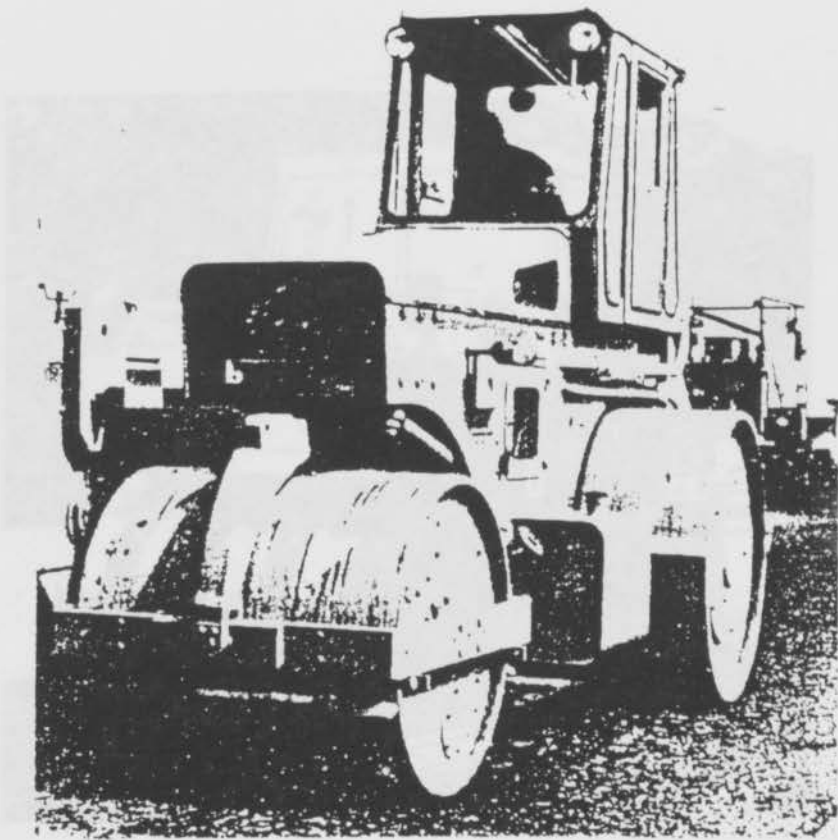
Σχήμα 8.11: Ο σύνθετος οδοστρωτήρας VOEST - ALPINE GRV 912



Σχήμα 8.12: Μονότροχος οδοστρωτήρας (Συρμός δονητικού οδοστρωτήρα)
TRAMAC - PAY - GO 404



Σχήμα 8.13: Δίτροχος οδοστρωτήρας (κανονικός).

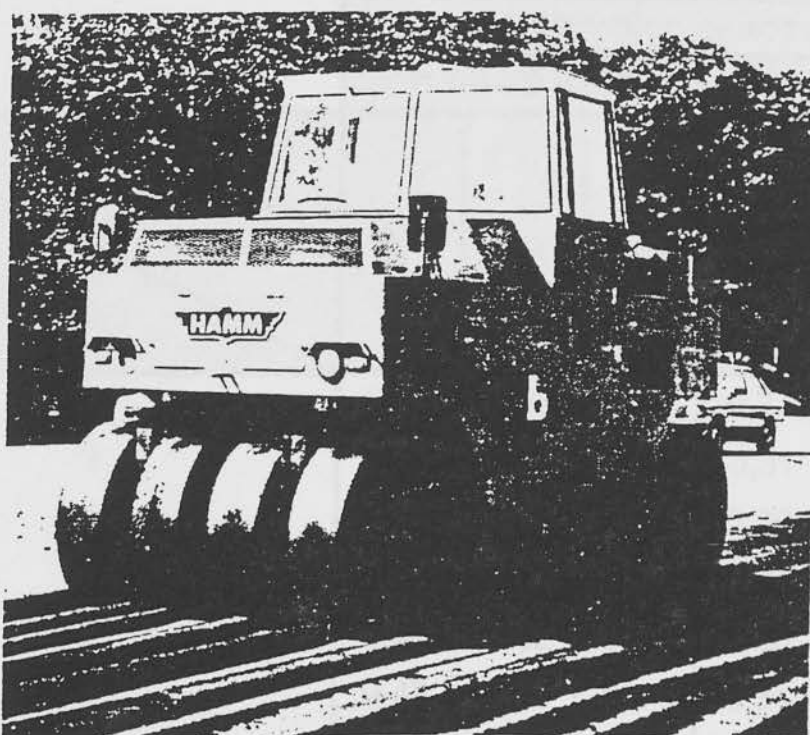


Σχήμα 8.14: Τρίτροχος οδοστρωτήρας

Ο HOLL⁽⁴⁸⁾ έδωσε εύστοχα την πίεση της συμπύκνωσης ενός μεταλλικού οδοστρωτήρα βασιζόμενος σε θεωρητικές σκέψεις με τον ακόλουθο τύπο:

$$p^* = C \frac{1}{h'} \quad (8.4)$$

όπου: C σταθερά που εξαρτάται από τη συσκευή συμπύκνωσης και h' η καθαρή πλαστική συμπίεστικότητα της στρώσης κατά τη διέλευση του οδοστρωτήρα.



Σχήμα 8.15: Λαστιχοφόρος οδοστρωτήρας HAMM GRW 20

Από τον τύπο αυτό συνάγεται ότι η πίεση συμπύκνωσης του μεταλλικού οδοστρωτήρα δεν είναι σταθερή, αλλά αυξάνεται όσο και η συμπύκνωση της στρώσης.

Για λαστιχοφόρους οδοστρωτήρες η πίεση συμπύκνωσης κατά τη διάρκεια συμπύκνωσης πρακτικά παραμένει σταθερή και εξαρτάται από την εσωτερική πίεση των ελαστικών, την κατασκευή των ελαστικών και το βάρος του τροχού.

Στον επόμενο πίνακα δίνεται η μέση πίεση επαφής (το πηλίκο του φορτίου του τροχού προς την επιφάνεια επαφής του ελαστικού) για δύο

μεγέθη ελαστικών ως συνάρτηση του βάρους του τροχού και της εσωτερικής πίεσης του ελαστικού.

Φορτίο Τροχού t		Μέγεθος ελαστικού					
		11.00-20 12PR			12.00-20 14PR		
		0,9	1,3	1,7	1,2	1,8	2,5
Εσωτερική πίεση τροχού bar							
2	0,26	0,28	0,29	0,27	0,29	0,32	
3	0,3	0,31	0,33	0,31	0,34	0,36	
4	0,34	0,35	0,37	0,36	0,39	0,41	
5	0,38	0,38	0,4	0,41	0,43	0,44	
6	0,42	0,42	0,43	0,46	0,48	0,48	
7	0,47	0,46	0,46	0,51	0,52	0,52	
8	0,53	0,5	0,5	0,55	0,56	0,56	

Πίνακας 8.3 Μέση θεωρητική πίεση επαφής ως συνάρτηση του φορτίου του τροχού και της εσωτερικής πίεσης του ελαστικού για δύο μεγέθη ελαστικών σε MN/m^2 .

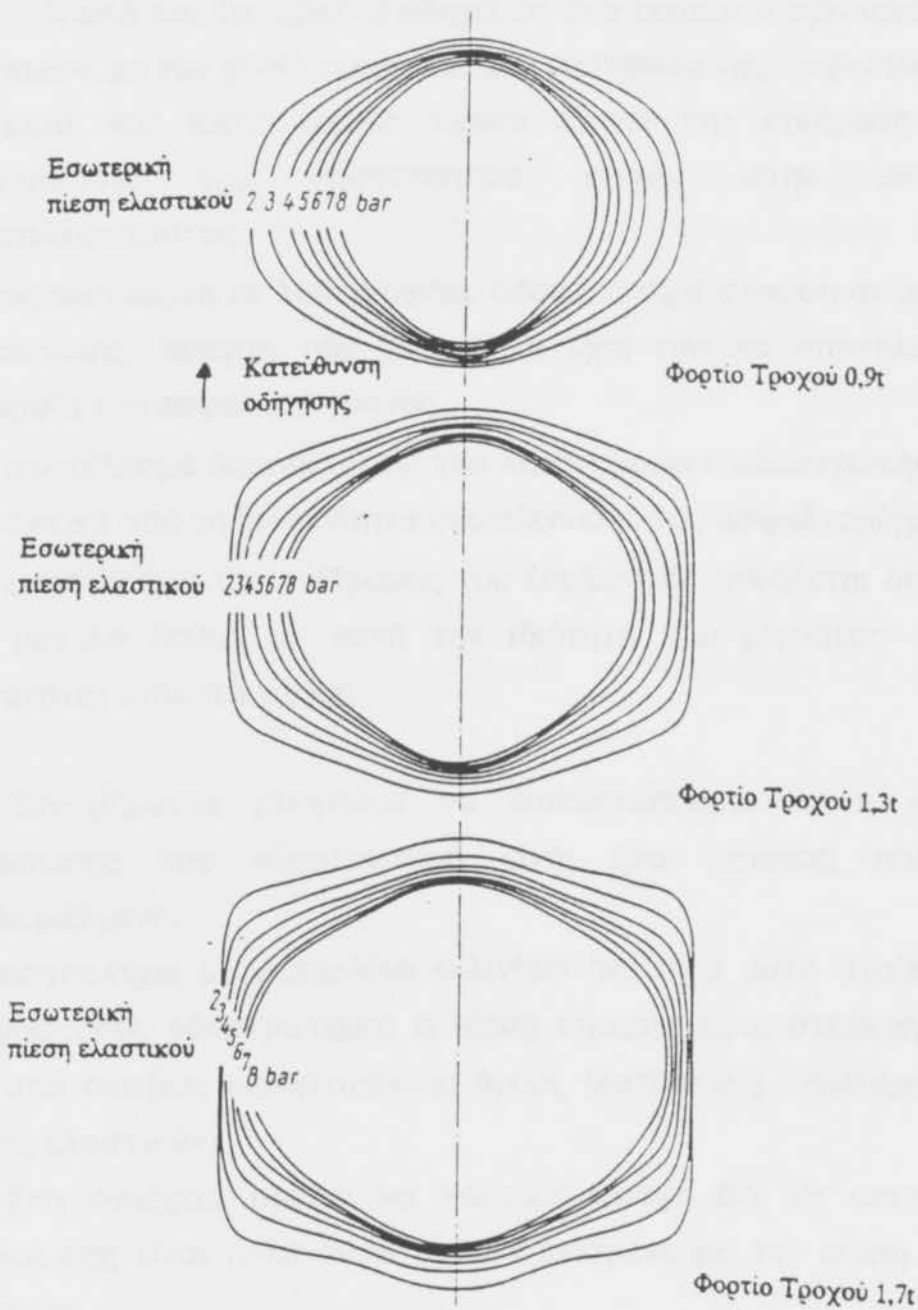
Από τους αριθμούς του πίνακα 8.3 παρατηρούμε ότι η μέση πίεση επαφής με χαμηλή εσωτερική πίεση ελαστικών είναι υψηλότερη από την εσωτερική πίεση των ελαστικών. Με αυξανόμενη όμως εσωτερική πίεση των ελαστικών παραμένει εν μέρει σημαντικά χαμηλότερη.

Υπάρχει ακόμη μια σημαντική διαφορά στη συμπεριφορά των δύο οδοστρωτήρων, που οφείλεται στον τρόπο κατασκευής τους.

Ο μεταλλικός οδοστρωτήρας ασκεί βασικά κατακόρυφες δυνάμεις στην συμπυκνούμενη επιφάνεια.

Οι λαστιχοφόροι οδοστρωτήρες σε αντίθεση με την προηγούμενη περίπτωση ασκούν σημαντικά μεγάλες δυνάμεις με την υποχώρηση του ελαστικού προς όλες τις πλευρές.

Γι' αυτό παρουσιάζεται σ' αυτούς τους οδοστρωτήρες αισθητά μεγαλύτερη ενέργεια ζυμώματος.



Σχήμα 8.16: Επιφάνεια επαφής του ελαστικού 11.00-20 12PR σε συνάρτηση του φορτίου τροχού και της εσωτερικής πίεσης του ελαστικού, σε μία σταθερή επίπεδη βάση

Αυτό έχει πολλαπλά αποτελέσματα όπως π.χ.:

- Η επίδραση του ζυμώματος οδηγεί σε ένα ορισμένο προσανατολισμό των αδρανών, με τον οποίο επηρεάζεται η ευστάθεια της ασφαλικής στρώσης, πράγμα που κατά κάποιο τρόπο εξηγεί την επίδραση του είδους κατασκευής του οδοστρωτήρα επάνω στην ακαμψία του ασφαλομίγματος.
- Η συμπυκνωμένη με λαστιχοφόρο οδοστρωτήρα στρώση φαίνεται να είναι ομοιογενής, πράγμα που μπορεί να έχει ευνοϊκά αποτελέσματα στην ακαμψία του ασφαλομίγματος.
- Το αποτέλεσμα συμπύκνωσης του λαστιχοφόρου οδοστρωτήρα εξαρτάται σημαντικά από τη δυνατότητα συμπύκνωσης του ασφαλομίγματος.
- Το αποτέλεσμα της επίδρασης του ζυμώματος συνδέεται όπως φαίνεται σε μεγάλο βαθμό με αυτή την ιδιότητα του μίγματος ως προς τη δυνατότητα συμπύκνωσης.

Συνοψίζοντας μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι η ειδική πίεση συμπύκνωσης του οδοστρωτήρα είναι ένα μέγεθος πολύ δύσκολα προσδιοριζόμενο.

Σε οδοστρωτήρα με μεταλλικό κύλινδρο δεν έχει αυτή σταθερή τιμή. Σε λαστιχοφόρους οδοστρωτήρες η πίεση επαφής είναι σταθερή, αλλά μόνο κάτω από ακριβώς καθορισμένους όρους (κατασκευή, εσωτερική πίεση και μέγεθος ελαστικών).

Στη συνέχεια πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι το αποτέλεσμα της συμπύκνωσης είναι πολύ σύνθετα συσχετισμένο με την πίεση επαφής των ελαστικών.

Για τους λόγους αυτούς ακόμη και η λεγόμενη *γραμμική φόρτιση* ενός μεταλλικού οδοστρωτήρα σε καμμία περίπτωση δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι δίνει ενδεικτικά αποτελέσματα αυτού του οδοστρωτήρα.

Το πλεονέκτημα των χαρακτηριστικών του οδοστρωτήρα κατά NIJBOER⁽⁸⁾ είναι ότι αυτά δίνουν το αποτέλεσμα του οδοστρωτήρα σε συσχετισμό με τους σημαντικότερους παράγοντες.

Στη συνέχεια στον τύπο των παραγόντων του οδοστρωτήρα μπαίνουν με απλό τρόπο στον υπολογισμό η χρησιμοποίηση δυναμικών φορτίων

(δονητικός οδοστρωτήρας, σταθερά K) η επίδραση του είδους κατασκευής (σταθερά C).

Τα χαρακτηριστικά του οδοστρωτήρα θα εξετασθούν στο κεφάλαιο 8.2.5.

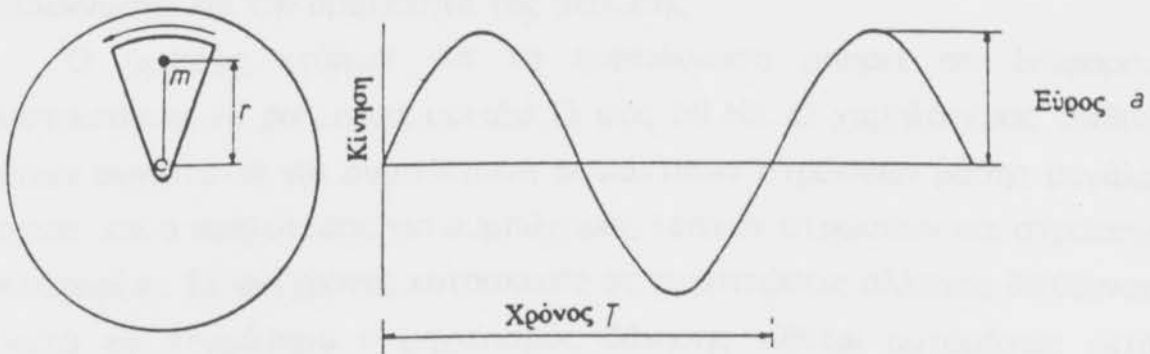
8.2.4 Η θεωρία της συμπύκνωσης με δόνηση

Για την αύξηση του αποτελέσματος της συμπύκνωσης ο δονητικός οδοστρωτήρας εξοπλίζεται με μια μάζα που κινείται κυκλικά και έκκεντρα στον άξονα.

Με την κυκλική κίνηση αυτής της μάζας δημιουργούνται δυναμικά φορτία τα οποία είναι σημαντικά μεγαλύτερα από ότι οι δυνάμεις που ασκούνται από τον ίδιο κύλινδρο χωρίς δόνηση.

Αν και η πραγματική ενέργεια συμπύκνωσης λόγω απόσβεσης της προς συμπύκνωση στρώσης και του μικρού χρόνου φόρτισης είναι λιγότερο αποτελεσματική από ότι θα περιμέναμε από το μέγεθος αυτών των δυναμικών φορτίων, αυξάνεται σημαντικά το αποτέλεσμα της συμπύκνωσης με τη δόνηση.

Στη δόνηση οι ακόλουθες παράμετροι είναι χαρακτηριστικές (Σχήμα 8.17):



Αριθμός κτύπων $1/T \cdot n$

Εύρος a

Μάζα της ορμής m

Εκκεντρη ροπή $m \cdot r$

Κεντροφόρος δύναμη $F_c = m \cdot r \cdot 4\pi^2 \cdot n^2$

Σχήμα 8.17: Πρότυπο μιας δονητικής εγκατάστασης και τα σχετικά μεγέθη

- Η στατική μάζα, η μάζα του πλαισίου και του σώματος του κυλίνδρου, όπου η μεταξύ τους σχέση παίζει ένα σπουδαίο ρόλο
- Ο αριθμός των κτύπων
- Οι έκκεντρες ροπές

Έκκεντρες ροπές

- Το ονομαστικό εύρος: -----

Μάζα σώματος οδοστρωτήρα

- Κεντροφόρα δύναμη

Στην εγκατάσταση δόνησης μπορούμε να αλλάξουμε

- Τη φορά στροφής της ορμής
- Τον αριθμό κτύπων και
- Το εύρος ταλάντωσης

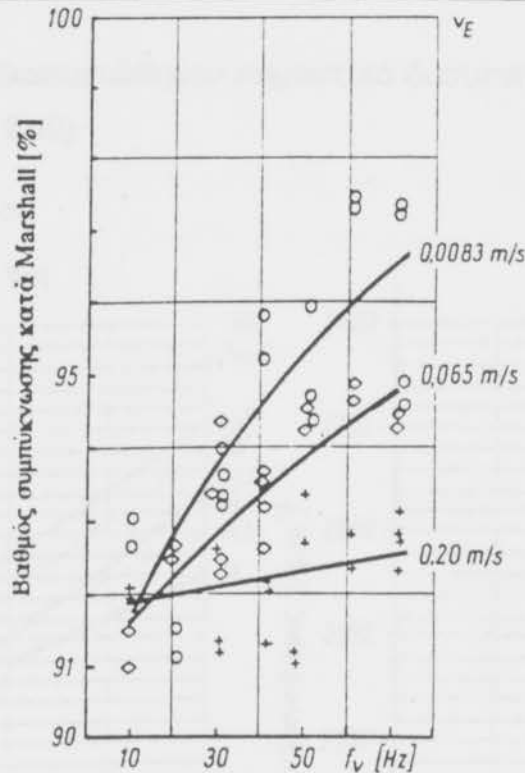
Με την αλλαγή φοράς της στροφής της ορμής μπορούμε να κατορθώσουμε να στρέφεται αυτή στην ίδια ή στην αντίθετη φορά με τον οδοστρωτήρα. Σε συνάρτηση του πάχους της στρώσης και της σύνθεσης του ασφαλτομίγματος πρέπει αυτή (η ρύθμιση) να επηρεάζει το αποτέλεσμα της συμπύκνωσης και την ομαλότητα της στρώσης.

Ο αριθμός κτύπων για τη συμπύκνωση μπορεί σε διάφορους οδοστρωτήρες να ρυθμιστεί μεταξύ 15 έως 50 Hz. Ο χαμηλότερος αριθμός κτύπων συνίσταται για συμπύκνωση ασφατικών στρώσεων βάσης μεγάλου πάχους, και ο υψηλότερος για συμπύκνωση λεπτών στρώσεων και στρώσεων κυκλοφορίας. Σε σύγχρονες κατασκευές σε περιπτώσεις αλλαγής διεύθυνσης ή κατά το σταμάτημα ο μηχανισμός δόνησης τίθεται αυτομάτως εκτός λειτουργίας, για να αποκλείει την δημιουργία υπερβολικών ιχνών οδοστρωτήρα και εντυπωμάτων.

Η επίδραση του αριθμού των κτύπων στο αποτέλεσμα της συμπύκνωσης μπορεί να εκτιμηθεί επάνω σε ένα δοκίμιο του BOHMER⁽⁵⁰⁾.

Αν και η εξέταση αυτή έχει διενεργηθεί για τον καθορισμό του αποτελέσματος της συμπύκνωσης του διαστρωτή, τα αποτελέσματα αυτής της δοκιμής μπορούν να μεταφερθούν στη συμπύκνωση του οδοστρωτήρα.

Στο Σχήμα 8.18 δίνεται ο βαθμός συμπύκνωσης σε συνάρτηση με τον αριθμό κτύπων και την ταχύτητα του διαστρωτή, για ασφατική στρώση βάσης πάχους 0,12m. Με την αύξηση των κτύπων αυξάνεται ο βαθμός



Σχήμα 8.18: Ο βαθμός συμπίκνωσης σε συνάρτηση του αριθμού κτύπων της δονητικής πλάκας και της ταχύτητας του διαστρωτή

συμπύκνωσης. Αυτή η αύξηση όμως εξαρτάται σημαντικά από την ταχύτητα του διαστρωτή. Γι' αυτό όσο χαμηλότερη είναι η ταχύτητα του διαστρωτή, τόσο καλύτερο είναι το αποτέλεσμα της συμπίκνωσης. Παρόμοια εξάρτηση από την ταχύτητα υπάρχει χωρίς αμφιβολία και στον δονητικό οδοστρωτήρα. Σύμφωνα με Γαλλικές έρευνες σπουδαίο ρόλο παίζει στον βαθμό συμπίκνωσης η λεγόμενη συχνότητα συντονισμού.

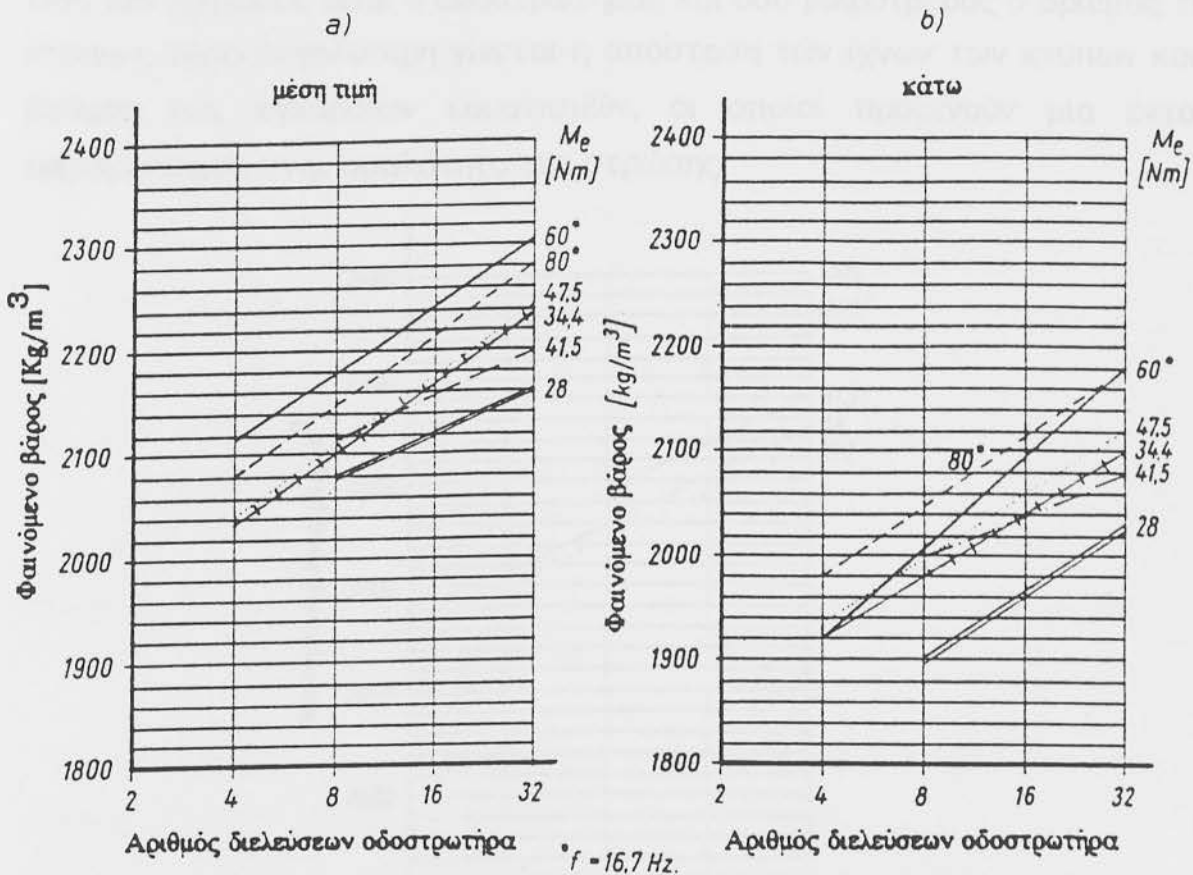
Αυτή είναι η δόνηση η οποία επιβάλλεται βίαια με την δόνηση του οδοστρωτήρα στο σύστημα οδοστρωτήρας-ασφαλτόμιγμα-υποδομή.

Η απόσβεση αυτής της δόνησης εξαρτάται από τις ιδιότητες του οδοστρωτήρα, του συμπυκνούμενου υλικού και της υποδομής. Το εύρος της δόνησης στην πράξη επιρεάζεται από την ελαστικότητα και την "Δυναμικότητα απόσβεσης" του συμπυκνούμενου υλικού. Γι' αυτό το πραγματικό εύρος εξαρτάται από το ασφαλτόμιγμα και αλλάζει ακόμη και κατά την διάρκεια της συμπίκνωσης.

Στις ήδη προαναφερόμενες Γαλλικές έρευνες δε διαπιστώθηκε έντονη επίδραση της έκκεντρης ροπής μεταξύ 34,4 έως 47,5 Nm σε μια ασφαλτική στρώση πάχους 0,17m.

Μια αύξηση της έκκεντρης ροπής σε 60 καθώς και σε 80 Nm βελτίωσε σημαντικά το βαθμό συμπίκνωσης σε αντίθεση με προηγούμενα.

Σε μια τιμή 28 Nm διαπιστώθηκαν σημαντικά δυσμενή αποτελέσματα από ότι σε 34,4 Nm (Σχήμα 8.19).



Σχήμα 8.19: Το φαινόμενο βάρος της συμπυκνούμενης στρώσης ως συνάρτηση του αριθμού διελεύσεων οδοστρωτήρα και της έκκεντρης ροπής. Χαλίκια ασφαλτικού 0/20 mm, $u_E=0,83 \text{ m/s}$, $f=1500 \text{ min}$, $T=130-140^\circ\text{C}$, $h=170 \text{ mm}$ [33].

Κατά τη συμπύκνωση μιας στρώσης κυκλοφορίας ασφαλτοσκυροδέματος πάχους 0,06 m, φαίνεται ότι μια έκκεντρη ροπή με 41,5 Nm έχει εντονότερη επίδραση από ότι με τιμές 28 Nm (Σχήμα 8.20).

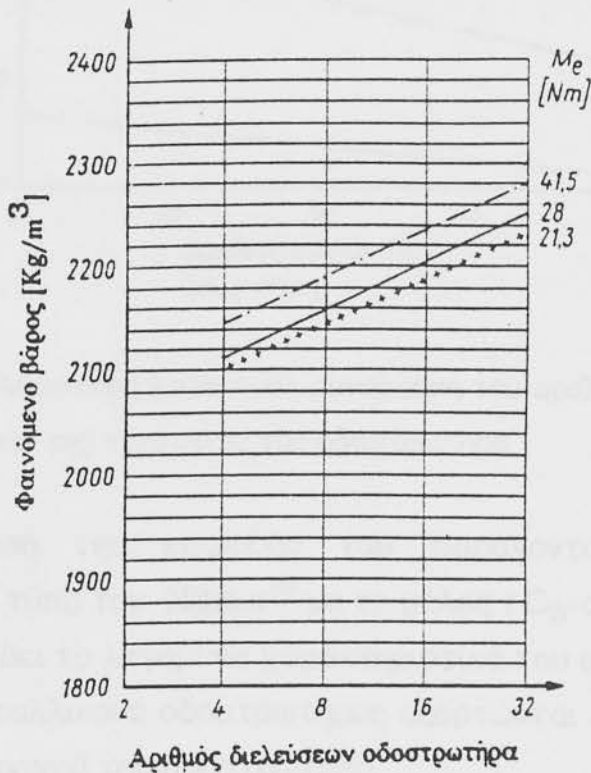
Όπως αναφέραμε ήδη η ταχύτητα του οδοστρωτήρα παίζει σπουδαίο ρόλο στη συμπύκνωση με δόνηση.

Με αύξηση της ταχύτητας μειώνεται η ενέργεια συμπύκνωσης ανά μονάδα επιφάνειας. Το αποτέλεσμα συμπύκνωσης γίνεται ασθενέστερο.

Με την αύξηση της ταχύτητας V_E αυξάνεται ακόμη και η απόσταση των κτύπων μεταξύ δύο κατακόρυφων κινήσεων του σώματος του οδοστρωτήρα, με τους οποίους δημιουργούνται εγκάρσιοι κυματισμοί στη λεπτή περιοχή της επιφάνειας.

Η απόσταση των κτύπων στη συνέχεια επηρεάζεται από τον αριθμό των κτύπων (Σχήμα 8.21).

Όσο πιο γρήγορος είναι ο οδοστρωτήρας και όσο μικρότερος ο αριθμός των κτύπων, τόσο μεγαλύτερη γίνεται η απόσταση των ίχνων των κτύπων και ο βαθμός των εγκάρσιων κυματισμών, οι οποίοι προξενούν μια έντονη παραμόρφωση στην ομαλότητα της στρώσης.



Σχήμα 8.20: Το μέσο φαινόμενο βάρος μιας στρώσης λεπτού ασφαλτοσκυροδέματος, ως συνάρτηση του αριθμού διελεύσεων οδοστρωτήρα και της έκκεντρης ροπής.

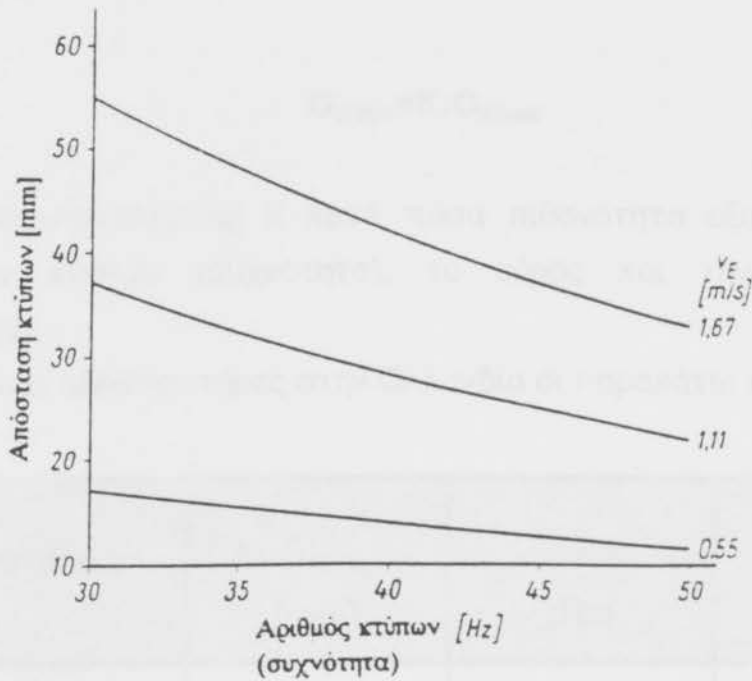
Γι' αυτό η ταχύτητα του δονητικού οδοστρωτήρα είναι σημαντικά περιορισμένη στις περιπτώσεις που είναι επιθυμητή η ομαλότητα της επιφάνειας της διαστρωνόμενης στρώσης.

8.2.5 Χαρακτηριστικά οδοστρωτήρα

Το αποτέλεσμα της συμπύκνωσης του οδοστρωτήρα εξαρτάται από τις ιδιότητες των συσκευών που φέρει.

Ακόμη παίζει σπουδαίο ρόλο η ειδική πίεση του οδοστρωτήρα.

Η πίεση αυτή δεν είναι σταθερή σε μεταλλικό οδοστρωτήρα, αλλά εξαρτάται από την κατάσταση συμπύκνωσης του ασφαλτομίγματος.



Σχήμα 8.21: Απόσταση κτύπων σε συνάρτηση του αριθμού κτύπων (συχνότητα) και της ταχύτητας του οδοστρωτήρα

Η επίδραση της επιρροής του παράγοντα του οδοστρωτήρα εκφράζεται στον τύπο του Nijboer⁽⁸⁾ με το μέλος ($C_W - c_{t_{cb}}$). Εδώ το C_W αποδίδει τα λεγόμενα χαρακτηριστικά του οδοστρωτήρα τα οποία σε στατικούς μεταλλικούς οδοστρωτήρες εξαρτώνται από το φορτίο και τις διαστάσεις του τροχού του οδοστρωτήρα.

$$C_W = \frac{P}{ID} \quad (8.5)$$

Το μέγεθος των χαρακτηριστικών του οδοστρωτήρα σε κανονικές περιπτώσεις για τον ελκόμενο τροχό είναι:

- Σε μονότροχο οδοστρωτήρα 0,015-0,020 N/mm²
 - Σε δίτροχο οδοστρωτήρα 0,018-0,030 N/mm²
 - Σε τρίτροχο οδοστρωτήρα 0,018-0,025 N/mm²
- και 0,025-0,060 N/mm² για τον εργαζόμενο τροχό.

Για δονητικούς οδοστρωτήρες η τιμή των στατικών χαρακτηριστικών θα πολλαπλασιασθεί με ένα συντελεστή K και τότε γίνεται:

$$C_{Wdyn} = K \cdot C_{Wstat} \quad (8.6)$$

Ο δυναμικός συντελεστής K κατά πάσα πιθανότητα εξαρτάται από τον αριθμό των κτύπων (συχνότητα), το εύρος και την ταχύτητα του οδοστρωτήρα.

Για ορισμένους οδοστρωτήρες στην Ολλανδία οι παρακάτω τιμές.

Οδοστρωτήρας	u_E (m/s)	f (Hz)	k
ABC MW 22	0,69-1,93	56	1,7*
Hamm 5,2 VTD	1,11	52	1,5
ABC Alexander 126	0,92	50	1,6
Ray.-Go Tramac 404 B (μονότροχος)	0,92	25	3,1
* μέση τιμή			

Πίνακας 8.4: Τιμές K για δονητικούς οδοστρωτήρες

Οι αναφερόμενοι οδοστρωτήρες εργάστηκαν με σταθερό εύρος.

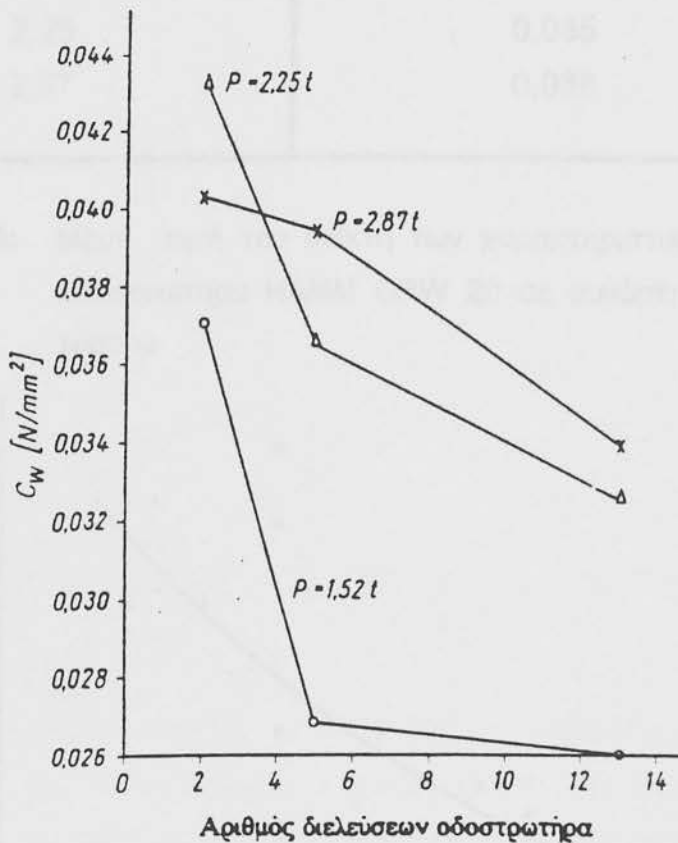
Οι δοκιμές διενεργήθηκαν για την συμπύκνωση ενός χονδρόκοκκου ασφαλτοσκυροδέματος πάχους 0,03 έως 0,05 m.

Στις προαναφερόμενες Ολλανδικές δοκιμές διαπιστώθηκε ότι ακόμη και οι λαστιχοφόροι οδοστρωτήρες έχουν χαρακτηριστικά. Αν και αυτά βασικά εξαρτώνται από τον αριθμό των διελεύσεων οδοστρωτήρα, στην πράξη είναι δυνατόν να υπολογίσουμε με μια σταθερή μέση τιμή.

Το Σχήμα 8.22 δίνει τα χαρακτηριστικά ενός λαστιχοφόρου οδοστρωτήρα με τρία διαφορετικά φορτία τροχών σε συνάρτηση με τις διελεύσεις που πραγματοποιεί.

Μετά από την 5η διέλευση του οδοστρωτήρα το C_w αλλάζει σχετικά λίγο ώστε στην πράξη να μπορούμε να παίρνουμε μια μέση τιμή (Πίνακας 8.5).

Από το διάγραμμα φαίνεται ακόμη η επίδραση του φορτίου του τροχού. Με μεγαλύτερο φορτίο τροχού αυξάνεται σημαντικά ο δείκτης των χαρακτηριστικών οδοστρωτήρα, όμως για P μεγαλύτερο του 2,25 t η αύξηση αυτή είναι μικρή.



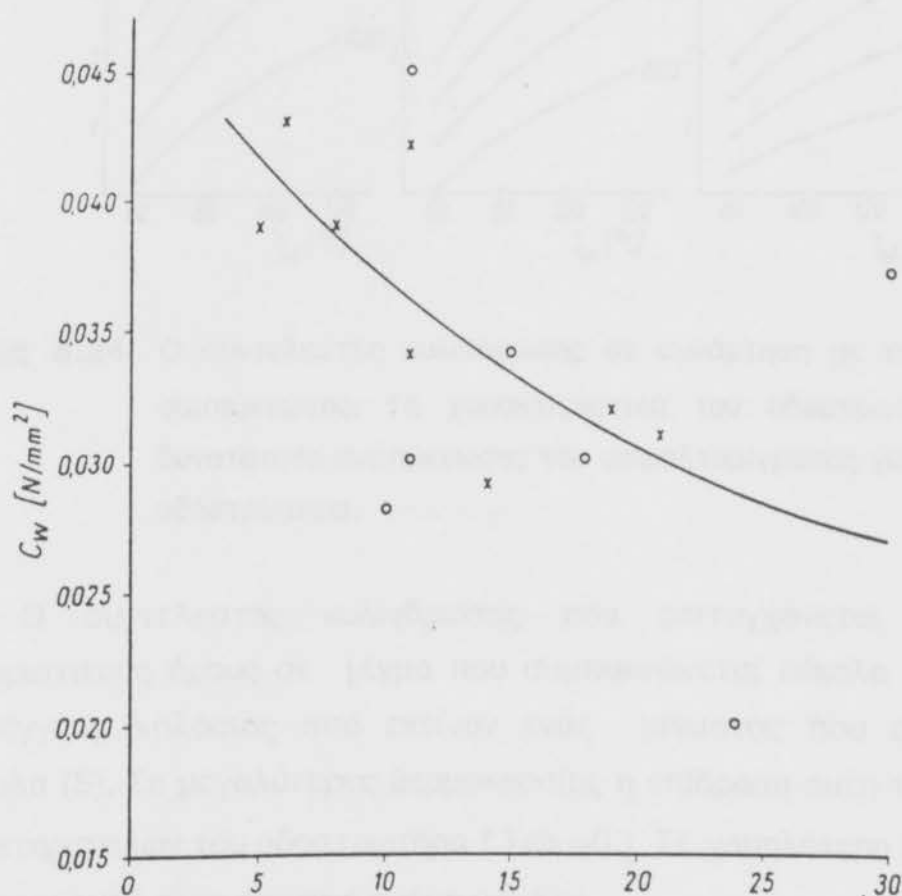
Σχήμα 8.22: Τα χαρακτηριστικά ενός λαστιχοφόρου οδοστρωτήρα (HAMM GRW 20) σε συνάρτηση του αριθμού διελεύσεων και του φορτίου τροχού

Στο επόμενο διάγραμμα (Σχ. 8.23) δίνεται ο δείκτης των χαρακτηριστικών ενός λαστιχοφόρου οδοστρωτήρα ως συνάρτηση του αριθμού διελεύσεων και της πίεσης του ελαστικού.

Η επίδραση των διελεύσεων οδοστρωτήρα είναι εδώ πολύ έντονη. Αντίθετα, η επίδραση της πίεσης του ελαστικού δεν είναι ουσιώδης. Αυτό φαίνεται να έρχεται σε αντίθεση με τις εμπειρίες από την πράξη και εξηγείται ίσως με τις σχετικά μικρές διαφορές των πιέσεων των ελαστικών που έχουν εξετασθεί, όπου η επίδρασή τους (των πιέσεων των ελαστικών) μπορεί να εξουδετερωθεί από τους τυχαίους παράγοντες.

Φορτίο Τροχού t	C_w N/mm ²
1,52	0,026
2,25	0,035
2,87	0,038

Πίνακας 8.5: Μέση τιμή του δείκτη των χαρακτηριστικών του λαστιχοφόρου οδοστρωτήρα HAMM GRW 20 σε συνάρτηση με το φορτίο του τροχού



Αριθμός διελεύσεων οδοστρωτήρα

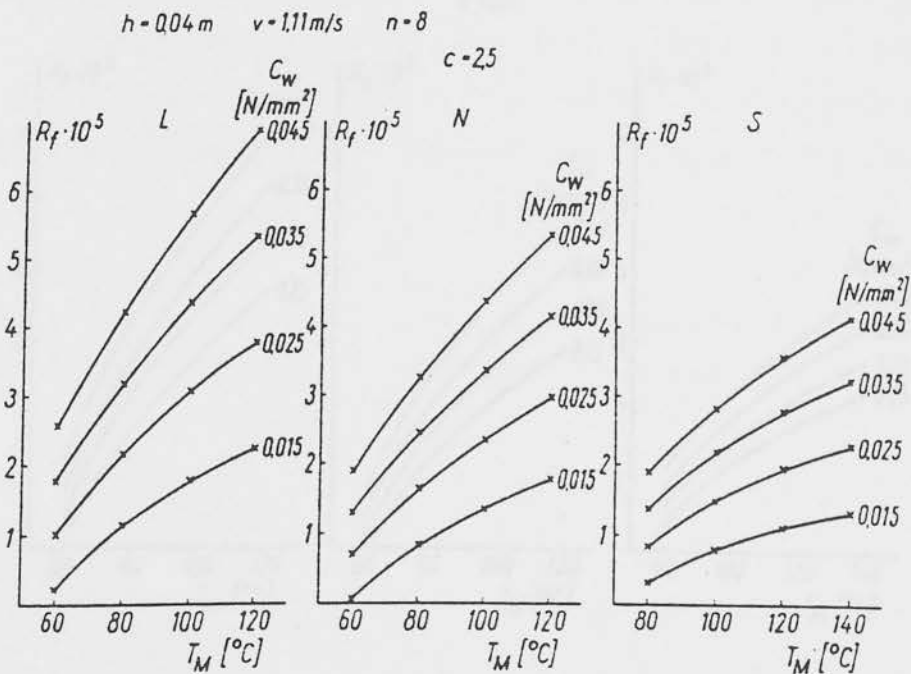
o Πίεση ελαστικού 4,4 bar

x Πίεση ελαστικού 5,9 bar

(Aveling Barford PRT 26)

Σχήμα 8.23: Ο δείκτης χαρακτηριστικών ενός λαστιχοφόρου οδοστρωτήρα σε συνάρτηση με τον αριθμό διελεύσεων και την πίεση του ελαστικού (AVELING-BARFORD PTR 26)

Το επόμενο διάγραμμα (Σχήμα 8.24) δίνει την επίδραση του δείκτη των χαρακτηριστικών ενός μεταλλικού οδοστρωτήρα επάνω στο συντελεστή κυλίνδρωσης, σε διάφορες θερμοκρασίες και σε ασφαλτομίγματα με διαφορετική δυνατότητα συμπύκνωσης.



Σχήμα 8.24: Ο συντελεστής κυλίνδρωσης σε συνάρτηση με την θερμοκρασία συμπύκνωσης, τα χαρακτηριστικά του οδοστρωτήρα και την δυνατότητα συμπύκνωσης του ασφαλτομίγματος για ένα μεταλλικό οδοστρωτήρα.

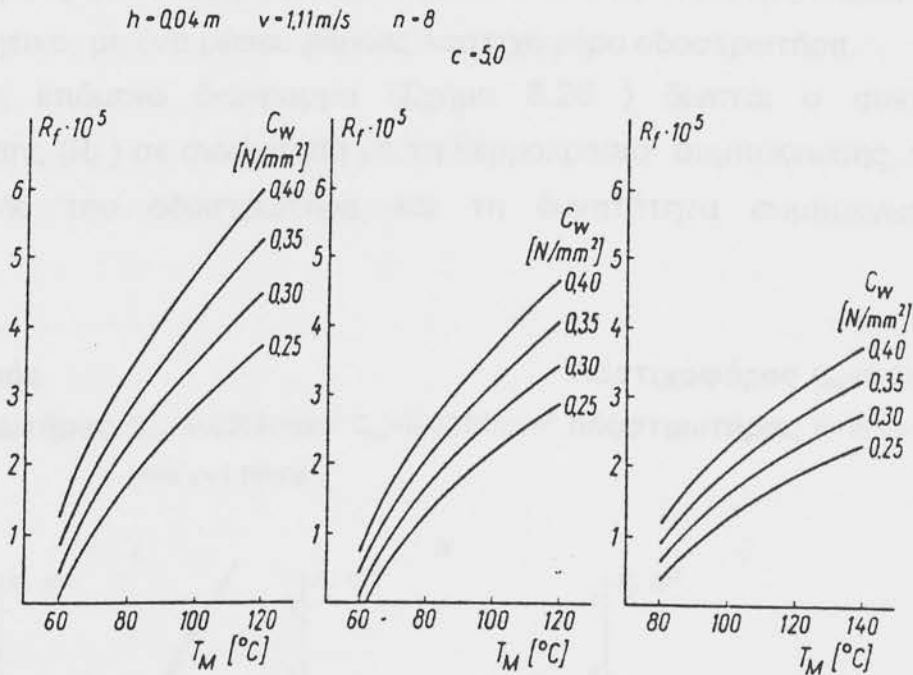
Ο συντελεστής κυλίνδρωσης που επιτυγχάνεται με ίδιους περιοριστικούς όρους σε μίγμα που συμπυκνώνεται εύκολα (L) είναι κατά προσέγγιση διπλάσιος από εκείνον ενός μίγματος που συμπυκνώνεται δύσκολα (S). Σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες η επίδραση αυτή του δείκτη των χαρακτηριστικών του οδοστρωτήρα ($T_{cb} \rightarrow 0$). Σε χαμηλότερη θερμοκρασία η επίδραση αυτή είναι σχετικά ακόμη μεγάλη.

Στο Σχήμα 8.25 βλέπουμε την επίδραση των χαρακτηριστικών του λαστιχοφόρου οδοστρωτήρα σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία συμπύκνωσης και την ευκολία συμπύκνωσης του μίγματος.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από το διάγραμμα για μεταλλικό οδοστρωτήρα γενικά ισχύουν και εδώ.

Εύκολα αναγνωρίζεται ότι η θερμοκρασία συμπύκνωσης σε λαστιχοφόρο οδοστρωτήρα παίζει σημαντικά μεγαλύτερο ρόλο, από ότι σε μεταλλικό. Η

συμπύκνωση του μίγματος με λαστιχοφόρο οδοστρωτήρα αντιδρά πιο ευαίσθητα στην θερμοκρασία κατά τη συμπύκνωση.



Σχήμα 8.25: Ο συντελεστής κυλίνδρωσης (R_f) σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία συμπύκνωσης, τα χαρακτηριστικά του οδοστρωτήρα (C_w) και τη δυνατότητα συμπύκνωσης του ασφαλτομίγματος για ένα λαστιχοφόρο οδοστρωτήρα.

8.2.6 Το αποτέλεσμα συμπύκνωσης και το είδος κατασκευής του οδοστρωτήρα

Τα τελευταία 15 χρόνια έγιναν στην Γερμανία ανακοινώσεις για την σύγκριση των αποτελεσμάτων της συμπύκνωσης οδοστρωτήρων, διαφόρων ειδών κατασκευής, μεταξύ τους. Όμως μερικά από τα αποτελέσματα έρχονται τελείως σε αντίθεση μεταξύ τους.

Από μια προγενέστερη δοκιμή του BANASCHEK⁽⁵¹⁾ ΚΑΙ FISCHER⁽⁵¹⁾ βγήκε το συμπέρασμα ότι λαστιχοφόρος οδοστρωτήρας ($P=2,35 \text{ τ.}$) είναι τουλάχιστον ισοδύναμος με ένα μέσου βάρους δονητικό οδοστρωτήρα. Ο POTSCHKA⁽⁵²⁾ εξηγεί σε μια άλλη δοκιμή ότι οι λαστιχοφόροι οδοστρωτήρες που τοποθετήθηκαν (συνολική μάζα 10,2 τ.) πέτυχε στην ίδια δοκιμή αποτελέσματα συμπύκνωσης ικανοποιητικά από κάθε άποψη.

Οι οδοστρώτηρες πρέπει να τοποθετούνται στη συνέχεια με το βέλτιστο τρόπο ανάλογα με τον τύπο και το είδος της κατασκευής τους. Στην πρώτη περίπτωση εξ άλλου συγκρίναμε ένα βαρύ λαστιχοφόρο με ένα μέσου βάρους δονητικός οδοστρώτηρας, ενώ στην δεύτερη περίπτωση ένα βαρύ δονητικό, με ένα μέσου βάρους λαστιχοφόρο οδοστρώτηρα.

Στο επόμενο διάγραμμα (Σχήμα 8.26) δίνεται ο συντελεστής κυλίνδρωσης (R_f) σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία συμπύκνωσης, το είδος κατασκευής του οδοστρώτηρα και τη δυνατότητα συμπύκνωσης του μίγματος.

Δονητικός

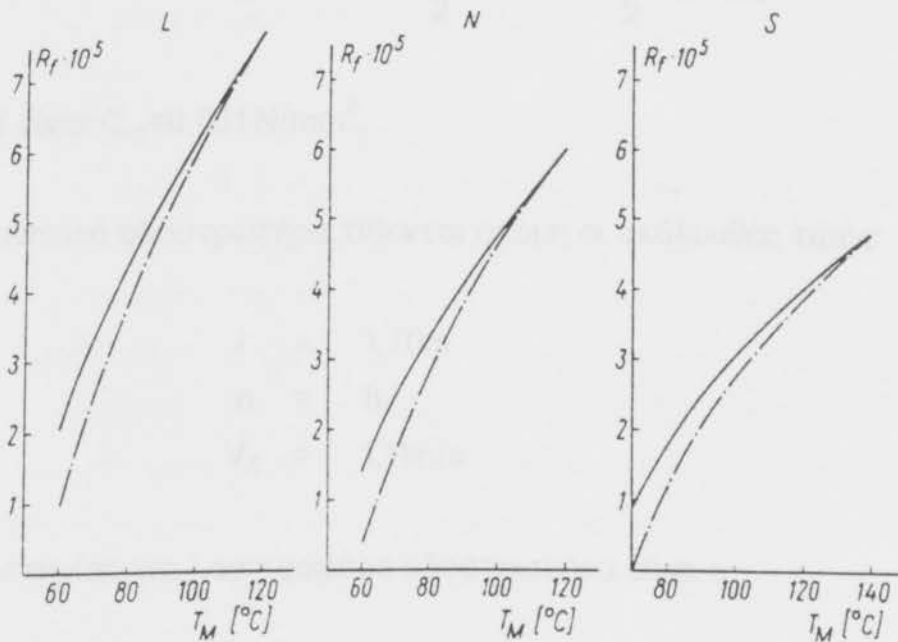
οδοστρώτηρας

$$C_{wz}=0.020\text{N/mm}^2 \quad C_{wt}=0.031\text{N/mm}^2$$

$$n=8 \quad v=1,11\text{m/s}$$

Λαστιχοφόρος $C_w=0.032\text{N/mm}^2$

οδοστρώτηρας $n=15 \quad v=1,67\text{m/s}$



Σχήμα 8.26: Συντελεστής κυλίνδρωσης ως συνάρτηση της θερμοκρασίας και της δυνατότητας κυλίνδρωσης του ασφαλτομίγματος κατά τη χρήση ενός βαρέος δονητικού οδοστρώτηρα και ενός βαρέος λαστιχοφόρου.

Για το δείκτη των χαρακτηριστικών του οδοστρώτηρα έχουν ληφθεί οι παρακάτω τιμές:

- Δονητικός οδοστρώτηρα

Για τον ελκόμενο τροχό

$$C_{wz} = 0,020\text{N/mm}^2$$

- Για τον εργαζόμενο τροχό $C_{wtstat} = 0,024 \text{ N/mm}^2$
 • Λαστιχοφόρος οδοστρωτήρας $C_w = 0,032 \text{ N/mm}^2$

Στη συνέχεια έγινε η παραδοχή ότι ο εργαζόμενος τροχός εξοπλίσθηκε με συσκευή δόνησης.

Ο οδοστρωτήρας κινείται στατικά προς το διαστρωτή και με δόνηση προς τα πίσω. Επειδή οι χρονικές διαφορές είναι πολύ μικρές είναι δυνατόν για τις δύο διελεύσεις οδοστρωτήρα να ληφθεί η ίδια θερμοκρασία.

Στην περίπτωση αυτή μπορούμε για τον δείκτη των χαρακτηριστικών του οδοστρώματος (C_w) να πάρουμε τη μέση τιμή

$$C_{wt} = \frac{C_{wtstat} + C_{wtdyn}}{2} = \frac{1+K}{2} C_{wtsta} \quad (8.7)$$

για $k=1,6$ είναι $C_{wt}=0,031 \text{ N/mm}^2$.

Για το δονητικό οδοστρωτήρα τίθενται ακόμη οι ακόλουθες τιμές:

$$\begin{aligned} l &= 1,70\text{m} \\ n &= 8 \\ V_E &= 1,11\text{m/s} \end{aligned}$$

Τιμές αφετηρίας για λαστιχοφόρο οδοστρωτήρα είναι :

$$\begin{aligned} l &= 2,20\text{m} \\ V_E &= 1,67\text{m/s} \\ n &= \frac{2,20}{1,70} \cdot \frac{1,67}{1,11} \cdot 8 \sim 15 \end{aligned}$$

Το διάγραμμα δείχνει ότι οι λαστιχοφόροι οδοστρωτήρες σε υψηλότερες θερμοκρασίες μπορούν να πετύχουν ισάξια αποτελέσματα με τους δονητικούς οδοστρωτήρες.

Σε χαμηλότερη θερμοκρασία η επίδραση συμπύκνωσης του λαστιχοφόρου οδοστρωτήρα γίνεται όλο και μικρότερη από ότι ενός βαρέος δονητικού οδοστρωτήρα.

Στον Πίνακα 8.6 δίδονται οι θερμοκρασίες συμπύκνωσης κατά τις οποίες οι οδοστρωτήρες μπορούν να φθάσουν σε ένα συντελεστή κυλίνδρωσης $R_f=4,10^{-5}$. Η τιμή αυτή έχει υπολογισθεί και για ελαφρύ λαστιχοφόρο οδοστρωτήρα ($C_w=0,025\text{N/mm}^2$).

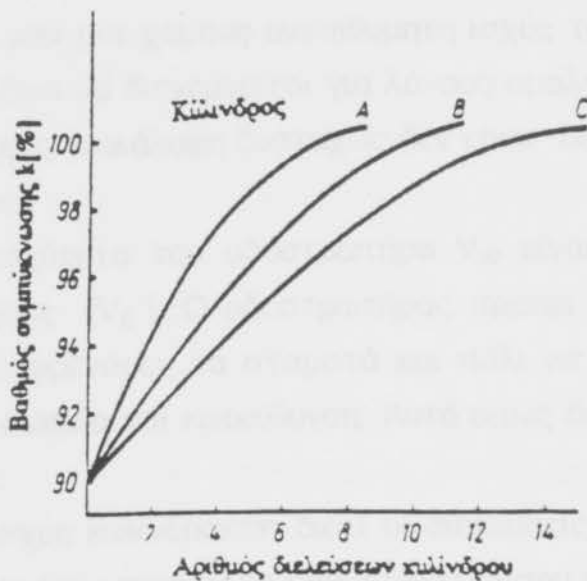
Οδοστρωτήρας	Μίγμα		
	L	N	S
Βαρύς δονητικός οδοστρωτήρας	76	88	119
Βαρύς λαστιχοφόρος οδοστρωτήρας	80	92	124
Ελαφρύς λαστιχοφόρος οδοστρωτήρας	93	109	140

Πίνακας 8.6: Η απαιτούμενη μέση θερμοκρασία συμπύκνωσης σε °C για την επίτευξη ενός συντελεστή $R_f=4,10^{-5}$. Πάχος στρώσης $h=0,04\text{m}$.

Μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι το μίγμα που συμπυκνώνεται δύσκολα στις περιπτώσεις που υποθέσαμε, με κανέναν από τους αναφερόμενους οδοστρωτήρες δεν συμπυκνώνεται ικανοποιητικά, διότι η απαιτούμενη θερμοκρασία συμπύκνωσης στην πράξη δεν μπορεί να επιτευχθεί. Ο ελαφρύς λαστιχοφόρος οδοστρωτήρας είναι ακόμη και για τη συμπύκνωση του κανονικού μίγματος (N) ακατάλληλος. Ο βαρύς δονητικός και βαρύς λαστιχοφόρος σύμφωνα με αυτόν τον υπολογισμό είναι κατά προσέγγιση ισάξιοι, αν και για το λαστιχοφόρο οδοστρωτήρα η θερμοκρασία συμπύκνωσης πρέπει να κρατηθεί υψηλότερα, κατά μέσο όρο, κατά 5 βαθμούς.

8.2.7 Ο αριθμός διελεύσεων οδοστρωτήρα

Σύμφωνα με τον τύπο 3.1 ο συντελεστής κυλίνδρωσης είναι γραμμική συνάρτηση του αριθμού διελεύσεων οδοστρωτήρα. Από αυτό συνάγεται ότι το αποτέλεσμα συμπύκνωσης είναι μια εκθετική συνάρτηση του n (Σχήμα 8.27). Με μία διέλευση του οδοστρωτήρα πρέπει να εννοούμε μια μοναδική επαφή μεταξύ του οδοστρωτήρα και της προς συμπύκνωση στρώσης.



Σχήμα 8.27: Το αποτέλεσμα της συμπύκνωσης ως συνάρτηση του αριθμού των διελεύσεων κυλίνδρου και του είδους του χρησιμοποιηθέντος κυλίνδρου.

Ο εφικτός αριθμός αυτών των διελεύσεων οδοστρωτήρα εξαρτάται από την σχέση μεταξύ της απόδοσης του οδοστρωτήρα και της αντίστοιχης του διαστρωτή και μπορεί να δοθεί με τον ακόλουθο τύπο:

$$nt = \frac{uw \cdot l}{A} = \frac{uw \cdot l \cdot q}{A} \quad (8.8)$$

όπου είναι

- V_w η μέση ταχύτητα του οδοστρωτήρα σε m/s
- l το πλάτος του τροχού του οδοστρωτήρα σε m
- A η απόδοση του οδοστρωτήρα σε Kg/s
- q το διαστρωνόμενο μίγμα σε Kg/m²

Το πλάτος του οδοστρωτήρα l πρέπει για τον υπολογισμό να διορθωθεί, διότι με την επικάλυψη των ιχνών του οδοστρωτήρα το ενεργό πλάτος του τροχού (l) είναι μικρότερο.

Για την ακρίβεια η επικάλυψη δεν επηρεάζει την ισχύ της συμπύκνωσης του οδοστρωτήρα, μόνον που για τον υπολογισμό με l σκεπτόμαστε ότι η

επικάλυψη είναι σαν μια χαμένη ανεπιθύμητη ισχύς του οδοστρωτήρα, στην πράξη όμως πρέπει να διενεργείται για λόγους ομαλότητας και αποφυγής των ρωγμών. Χωρίς επικάλυψη δυστυχώς δεν είναι δυνατή η κυλίνδρωση για λόγους τεχνικούς.

Η μέση ταχύτητα του οδοστρωτήρα V_w είναι μικρότερη από την ταχύτητα οδήγησης (V_E). Ο οδοστρωτήρας πρέπει στο τέλος του πεδίου συμπύκνωσης να φρενάρει, να σταματά και πάλι να επιταχύνει την κίνησή του, να αλλάζει λωρίδα και κατεύθυνση. Αυτό όμως δεν είναι δυνατόν χωρίς απώλεια χρόνου.

Ακόμη χάνεται ισχύς κυλίνδρωσης διότι οι διελεύσεις του οδοστρωτήρα για διάφορους λόγους δεν μπορούν να μοιραστούν εξίσου στην προς συμπύκνωση στρώση.

Η σχέση b/l' συχνά δεν είναι ακέραιος αριθμός, γι' αυτό η επικάλυψη δεν είναι ίση για κάθε διελεύση.

Εάν το πλάτος του οδοστρωτήρα σε σχέση με το πλάτος λωρίδας είναι πολύ μεγάλο, τότε στο μέσο της λωρίδας προξενούνται περισσότερες διελεύσεις οδοστρωτήρα απ' ότι στις παρειές.

Σ' αυτές τις περιπτώσεις η κατασκευή του οδοστρωτήρα καθιστά αδύνατη μια ομοιογενή κατανομή των διελεύσεων. Ειδικά σε τρίτροχους οδοστρωτήρες η εποπτική γραμμική παράσταση δεν γίνεται βέλτιστη. Μια από τις σπουδαιότερες αιτίες της ανομοιογενούς κατανομής των διελεύσεων οδοστρωτήρα, είναι ότι μερικές φορές ο οδοστρωτήρας δεν έχει αρκετό χρόνο για να συμπυκνώσει πλήρως όλο το πλάτος της λωρίδας.

Το πρόβλημα αυτό μπορούμε να το λύσουμε με τη σωστή επιλογή του πλάτους της επικάλυψης ή της ταχύτητας του οδοστρωτήρα.

Γι' αυτό ο αριθμός των πραγματικών διελεύσεων οδοστρωτήρα είναι:

$$n = K \frac{u_w \cdot l' \cdot q}{A} \quad (8.8a)$$

όπου K είναι ένας διορθωτικός συντελεστής.

Το μέγεθος αυτού του συντελεστή εξαρτάται από τις προαναφερόμενες παραμέτρους και κυμαίνεται από 0,7 έως 0,9.

Κατά τη κατάστρωση του τύπου έχουμε χαμένους χρόνους συμπύκνωσης, π.χ. για γέμισμα νερού, παύσεις που γίνονται αυθαίρετα από τον χειριστή οδοστρωτήρα, βλάβες στην επιχείρηση κ.λ.π. που δεν έχουν ληφθεί υπ' όψη.

Η κατανομή αυτών των απωλειών φυσικά δεν είναι κανονική και ακόμη δεν είναι ίση. Οι απώλειες όμως χρόνου πρέπει να κρατηθούν από την οργάνωση του εργοταξίου όσο είναι δυνατόν πιο μικρές.

Ο χρόνος διακοπής για γέμισμα νερού εξαρτάται μεταξύ των άλλων, από το μέγεθος της δεξαμενής του οδοστρωτήρα, την ταχύτητα του οδοστρωτήρα, και την ισχύ της αντλίας νερού. Σε κανονικές περιπτώσεις πρέπει να υπολογίζεται χρόνος διακοπής από 5 έως 15% του χρόνου συμπύκνωσης. Σε ειδικές περιπτώσεις π.χ. σε μικρή δεξαμενή του οδοστρωτήρα, σε μεγάλες αποστάσεις για γέμισμα νερού κ.λ.π. είναι δυνατόν οι τιμές αυτές να ξεπεραστούν σημαντικά.

Επειδή η κατανομή των διελεύσεων οδοστρωτήρα για την επίτευξη ενός καλού αποτελέσματος συμπύκνωσης μπορεί να παίξει πολύ σπουδαίο ρόλο, πρέπει το πρόβλημα αυτό να αναπτυχθεί πιο εμπεριστατωμένα.

Η βέλτιστη κατανομή των διελεύσεων οδοστρωτήρα έχει δύο χαρακτηριστικά:

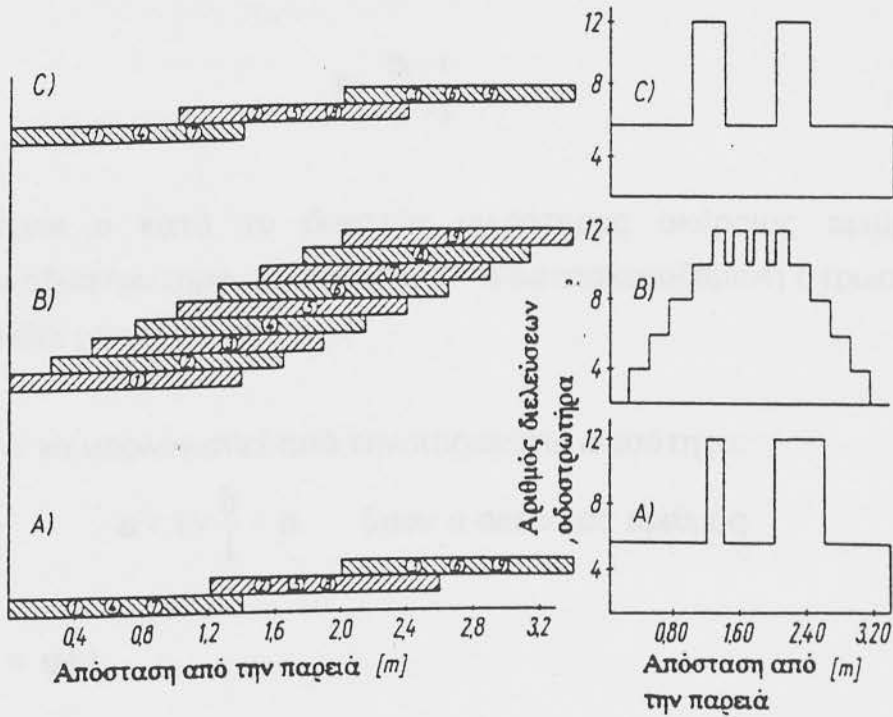
- Οι διελεύσεις οδοστρωτήρα έχουν κατανεμηθεί κατά το δυνατόν ομοιόμορφα στην εγκάρσια και στην κατά μήκος διεύθυνση.
- Η λωρίδα στην εγκάρσια διεύθυνση κυλινδρώνεται με το μικρότερο κατά το δυνατόν αριθμό διελεύσεων.

Σύμφωνα με τον τύπο (8.8) ο εφικτός αριθμός των διελεύσεων του οδοστρωτήρα εξαρτάται γραμμικά από το πλάτος του τροχού του οδοστρωτήρα.

Πρέπει λοιπόν να είναι όσο το δυνατόν πιο μεγάλο. Για τους λόγους που προαναφέρθηκαν είναι ακόμη επιθυμητό, η επικάλυψη να κρατηθεί κατά το δυνατόν μικρή.

Για μια ομοιόμορφη κατανομή των διελεύσεων οδοστρωτήρα πρέπει τελικά το b/l' κατά το δυνατόν να είναι ακέραιος αριθμός.

Στο επόμενο διάγραμμα (Σχήμα 8.28) παριστάνονται γραφικά για ένα δίτροχο οδοστρωτήρα τρεις δυνατότητες της κατανομής των διελεύσεων του κυλίνδρου.



Σχήμα 8.28: Η κατανομή των διελεύσεων οδοστρωτήρα σε ένα δίτροχο οδοστρωτήρα και για τρεις διαφορετικές μεθόδους συμπύκνωσης (δίνεται μόνον για τον έναν τροχό)

- I. Η επικάλυψη έχει τη μικρότερη τιμή η οποία είναι ακόμη δυνατή για τεχνικούς λόγους συμπύκνωσης.
- II. Η επικάλυψη είναι κατ' επιλογήν όσο γίνεται πιο μεγάλη και πρέπει να κρατηθεί ίση για κάθε διέλευση.
- III. Η επικάλυψη έχει την μικρότερη δυνατή τιμή, υπό την προϋπόθεση, ότι κάθε ίχνος κυλίνδρωσης διατηρεί το ίδιο πλάτος.

Για την περίπτωση (II) ισχύει:

$$I' = \frac{b-l}{N-1} \quad (8.9)$$

όπου N είναι ο αριθμός των ιχνών οδοστρωτήρα, με τον οποίο η κατασκευαζόμενη λωρίδα θα κυλινδρωθεί στην εγκάρσια τομή, μόνον μια φορά.

Για την περίπτωση (III) είναι:

$$l' = \frac{b-l}{N'-1} \quad (8.9a)$$

όπου N' είναι ο κατά το δυνατόν μικρότερος ακέραιος αριθμός των διελεύσεων οδοστρωτήρα, με τον οποίο η κατασκευαζόμενη στρώση μπορεί να κυλινδρωθεί μόνον μια φορά.

Το N' μπορεί να υπολογισθεί από την παρακάτω ανισότητα:

$$a+1 > \frac{b}{l} > a \quad \text{όπου } a \text{ ακέραιος αριθμός}$$

$$N' = a+1$$

Για τεχνικούς λόγους κυλίνδρωσης πρέπει να ικανοποιηθεί η απαίτηση της εξής ανίσωσης:

$$l-l' \geq 0,10 \text{ m}$$

όπου 0,10 m, παραστάει την μικρότερη δυνατή επικάλυψη. Εάν αυτή η απαίτηση δεν ικανοποιηθεί τότε πρέπει να είναι:

$$N' = a+2 \quad \text{κ.λ.π.}$$

$$\text{Εάν είναι } b=3,40 \quad l=1,40\text{m} \quad n=9$$

τότε έχουμε για την περίπτωση (II) $l'=0,25 \text{ m}$

Για την περίπτωση (III) πρέπει να είναι $N'=a+1=3$ διότι είναι:

$$3 > \frac{3,40}{1,40} > 2$$

Στη περίπτωση αυτή γίνεται (σύμφωνα με τον τύπο (8.9a))

$$l' = \frac{3,40 - 1,40}{2} = 1,0\text{m}$$

Στο Σχήμα 8.28 δίνεται η σειρά των διελεύσεων.

Σε κάθε διέλευση ο οδοστρωτήρας κινείται εμπρός και πίσω και κάνει σε κάθε ίχνος σύμφωνα με τις αναφερόμενες διαπιστώσεις δύο διελεύσεις. Χάριν απλοποιήσεως υπολογίστηκε μόνον για έναν τροχό.

Το διάγραμμα δίνει στη συνέχεια την κατανομή των διελεύσεων οδοστρωτήρα σε εγκάρσια τομή. Μπορούμε να δούμε πόσο ανομοιόμορφα έχουν κατανεμηθεί οι διελεύσεις στην περίπτωση (II). Η κατανομή των διελεύσεων οδοστρωτήρα στην περίπτωση (III) είναι ευνοϊκότερη. Στο Σχήμα 8.29 παριστάνεται η κατανομή των διελεύσεων ενός τρίτροχου οδοστρωτήρα ($N=5$), η οποία είναι πολύ ανομοιογενής. Εάν ακόμη ο κύλινδρος συμπυκνώσει με δύο πλέον διελεύσεις και διπλασιάσει τις διελεύσεις στα ίχνη 1 και 5 ($N=7$) τα αποτελέσματα πάλι δεν θα είναι ικανοποιητικά (Σχήμα 8.30).

Για τρίτροχο κύλινδρο πρέπει - ανάλογα με την κατασκευή του κυλίνδρου - ο τύπος (8.9α) να τροποποιηθεί:

$$k_t' = \frac{b - l_w}{N'} \quad (8.9\beta)$$

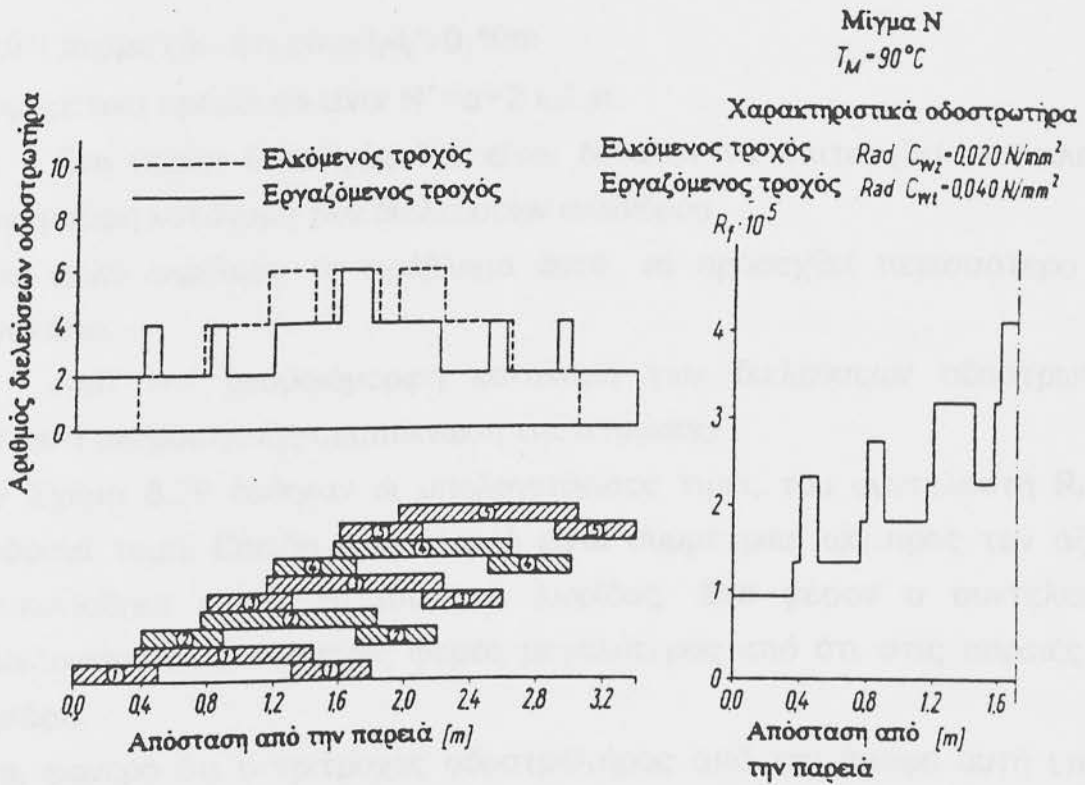
Εδώ το l_t είναι το πλάτος του εργαζόμενου τροχού.

$$N' = a + 1$$

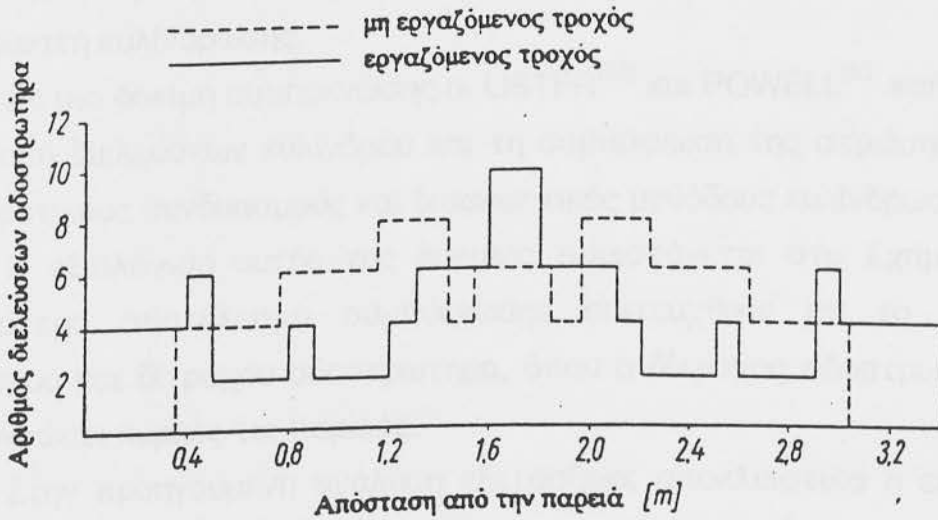
και l_w = το συνολικό πλάτος του κυλίνδρου.

Για τον καθορισμό του N' ισχύουν οι παρακάτω συλλογισμοί:

$$a + 1 > \frac{b - l_w}{l_t} > a$$



Σχήμα 8.29: Η βέλτιστη κατανομή των διελεύσεων του οδοστρωτήρα και ο επιτευχθείς συντελεστής κυλίνδρωσης σε έναν τρίτροχο οδοστρωτήρα (N=5).



Σχήμα 8.30: Η βέλτιστη κατανομή των διελεύσεων οδοστρωτήρα σε έναν τρίτροχο οδοστρωτήρα (N=7)

ισχύει ακόμη εδώ ότι είναι $l_f - l'_f \geq 0,10m$

διαφορετικά πρέπει να είναι $N' = a + 2$ κ.λ.π.

Στη πράξη δυστυχώς δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί μια πλήρως ομοιόμορφη κατανομή των διελεύσεων κυλίνδρου.

Είναι πολύ ωφέλιμο, το πρόβλημα αυτό, να προσεχθεί περισσότερο στο εργοτάξιο.

Από την ανομοιόμορφη κατανομή των διελεύσεων οδοστρωτήρα έπεται η ανομοιογενής συμπύκνωση της στρώσης.

Στο Σχήμα 8.29 δόθηκαν οι υπολογισθείσες τιμές του συντελεστή R_f σε εγκάρσια τομή. Επειδή η κατανομή είναι συμμετρική ως προς τον άξονα, απεικονίσθηκε μόνον το ισό της λωρίδας. Στο μέσον ο συντελεστής κυλίνδρωσης είναι τέσσερις φορές μεγαλύτερος από ότι στις παρειές της λωρίδας.

Είναι φανερό ότι ο τρίτροχος οδοστρωτήρας από την άποψη αυτή επιδρά δυσμενέστερα.

Στο Σχήμα 8.28 βλέπουμε ότι η κατανομή των διελεύσεων οδοστρωτήρα και κατ' ακολουθίαν η συμπύκνωση της στρώσης στην εγκάρσια διεύθυνση αποβαίνει σημαντικά ευνοϊκότερη για δίτροχο οδοστρωτήρα.

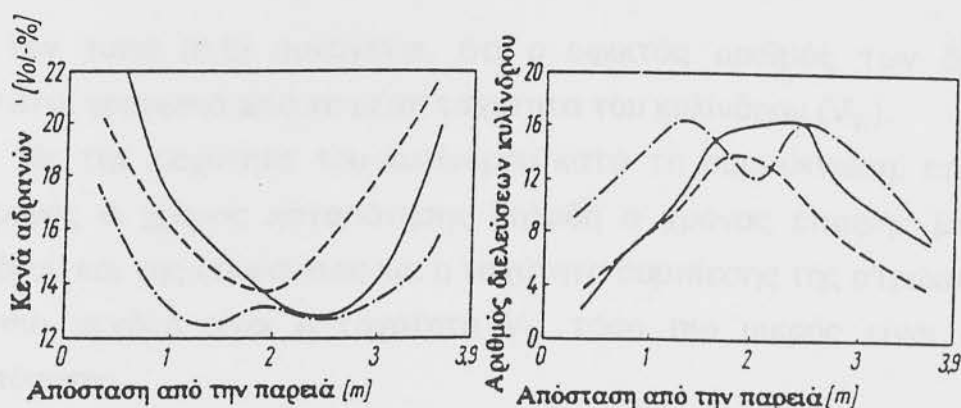
Σύμφωνα με το Σχήμα 8.28 μεταξύ της μεγαλύτερης και της μικρότερης τιμής βρίσκουμε μια διαφορά μόνον της τάξεως του 2 γύρω από τον συντελεστή κυλίνδρωσης.

Σε μια δοκιμή συμπύκνωσης οι LISTER⁽⁵³⁾ και POWELL⁽⁵³⁾ καθόρισαν την κατανομή διελεύσεων κυλίνδρου και τη συμπύκνωση της στρώσης για τρεις διαφορετικούς συνδυασμούς και διαφορετικές μεθόδους κυλίνδρωσης.

Η αξιολόγηση αυτής της δοκιμής παριστάνεται στο Σχήμα 8.31. Το μεγαλύτερο αποτέλεσμα συμπύκνωσης επιτεύχθηκε με το συνδυασμό τρίτροχου και δίτροχου οδοστρωτήρα, όπου ο δίτροχος οδοστρωτήρας είχε συμπυκνώσει κυρίως τις παρειές.

Στην προηγούμενη ανάλυση εξετάσθηκε αποκλειστικά η επιρροή της κατανομής του αριθμού διελεύσεων στο αποτέλεσμα συμπύκνωσης.

Μια ανομοιόμορφη κατανομή των διελεύσεων μπορεί να επηρεάσει ακόμη και τη θερμοκρασία συμπύκνωσης και στη συνέχεια να μεγαλώσει η ανομοιομορφία της συμπύκνωσης.



- Δύο ανεξάρτητα εργαζόμενοι τρίτροχοι οδοστρωτήρες
Συνολικός αριθμός των λωρίδων κυλίνδρωσης: 28
- Ένας τρίτροχος για την κυρίως συμπύκνωση και ένας δίτροχος
για τη συμπύκνωση των παρειών. Αριθμός λωρίδων κυλίνδρωσης: 38
- Δύο κατά σειρά εργαζόμενοι τρίτροχοι οδοστρωτήρες.
Αριθμός λωρίδων κυλίνδρωσης: 38

Σχήμα 8.31: Η κατανομή των διελεύσεων οδοστρωτήρα και το αποτέλεσμα συμπύκνωσης σε τρεις διαφορετικούς συνδιασμούς και μεθόδους κυλίνδρωσης.

Τελικά μπορεί μια άνιση κατανομή των διελεύσεων να παρουσιασθεί ακόμη και στη κατά μήκος διεύθυνση, εάν το πρόγραμμα συμπύκνωσης δεν είναι κανονικό, εάν ο διαστρωτής για διάφορους λόγους, είναι σταματημένος για μεγάλα χρονικά διαστήματα κ.λ.π.

Είναι αυτονόητο ότι τα φαινόμενα αυτά στο εργοτάξιο πρέπει να προσεχθούν και με κατάλληλα μέτρα όσο είναι δυνατόν να αποφευχθούν.

8.2.8 Η επιρροή της ταχύτητας του οδοστρωτήρα

Κύλινδροι σύγχρονου τρόπου κατασκευής και μάλιστα τρίτροχοι κύλινδροι - μπορούν κατά τη διάρκεια της συμπύκνωσης να αναπτύξουν ταχύτητα (V_E) έως 4,2m/s.

Εδώ πρέπει να επισημανθεί για κάθε περίπτωση, ότι μια υψηλή ταχύτητα κυλίνδρωσης, μπορεί να προξενήσει βλάβες στην επιφάνεια της συμπυκνούμενης στρώσης, όπως ρωγμές και ανωμαλίες. Σε δονητικούς οδοστρωτήρες μπορεί ακόμη με την αύξηση της απόστασης κτύπων, όπως προαναφέρθηκε, να προκληθούν εγκάρσιες αυλακώσεις.

Από τον τύπο (8.8) συνάγεται, ότι ο εφικτός αριθμός των διελεύσεων εξαρτάται γραμμικά από τη μέση ταχύτητα του κυλίνδρου (V_w).

Με την ταχύτητα του κυλίνδρου κατά τη συμπύκνωση, επηρεάζεται συγχρόνος ο χρόνος καταπόνησης δηλαδή ο χρόνος επαφής μεταξύ του κυλίνδρου και της επιφάνειας και η ταχύτητα συμπίεσης της στρώσης.

Όσο πιο μεγάλη είναι η ταχύτητα V_E , τόσο πιο μικρός είναι ο χρόνος καταπόνησης.

Σε υλικά ελαστικά από άποψη ιξώδους, μειώνεται το αποτέλεσμα της συμπύκνωσης.

Η συμπύκνωση πραγματοποιείται στη λωρίδα κυλίνδρωσης κατά κανόνα παράλληλα στη διεύθυνση κίνησης του διαστρωτή.

Στην αρχή παρουσιάζεται μια επιτάχυνση μέχρι τη σταθερή ταχύτητα V_E . Στο τέλος του πεδίου κυλίνδρωσης ο κύλινδρος φρενάρει, για ένα διάστημα ακινητοποιείται, έπειτα πάλι επιταχύνει και αλλάζει λωρίδα κ.λ.π.

Έτσι χάνεται ένας ορισμένος χρόνος.

Η μέση ταχύτητα του κυλίνδρου είναι λοιπόν πάντοτε μικρότερη, από την ταχύτητα κίνησης

$$V_w = r \cdot V_E \quad (8.10)$$

όπου είναι $r < 1$.

Το r εξαρτάται από τις ιδιότητες κίνησης του κυλίνδρου, τον τρόπο οδήγησης του χειριστή και τις διαστάσεις του πεδίου κυλίνδρωσης και κυρίως από το μήκος του (L).

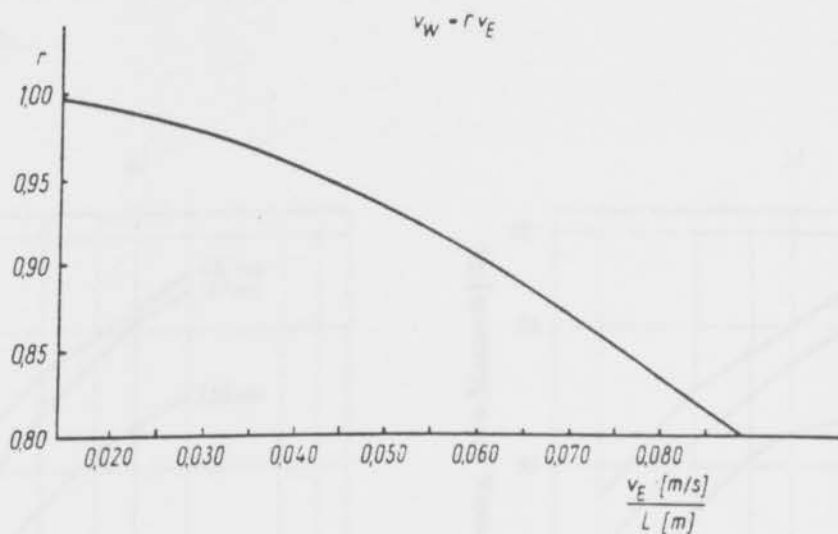
Στο διάγραμμα (Σχήμα 8.32) δίνεται το r ως συνάρτηση του V_E/L για μια κανονική περίπτωση.

Όσο πιο μεγάλο είναι το πηλίκο, τόσο πιο μεγάλη γίνεται η διαφορά μεταξύ των δύο ταχυτήτων.

Από τον τύπο του NIJBOER⁽⁸⁾ έχουμε:

$$Rf = f(u_w \div u_E^{0,4}) \sim f(u_E^{0,6}). \quad (8.11)$$

Από αυτό συνάγεται ότι η αύξηση της ταχύτητας σε στατικούς κυλίνδρους πρέπει να οδηγεί σε αύξηση του αποτελέσματος της συμπύκνωσης.



Σχήμα 8.32: Η σχέση μεταξύ του μήκους κυλίνδρωσης, ταχύτητας κίνησης και μέσης ταχύτητας του κυλίνδρου

Στο κεφάλαιο που υπόθηκαν τα χαρακτηριστικά του οδοστρωτήρα τονίσθηκε ότι ο δυναμικός συντελεστής K εξαρτάται μεταξύ άλλων και από την ταχύτητα του κυλίνδρου.

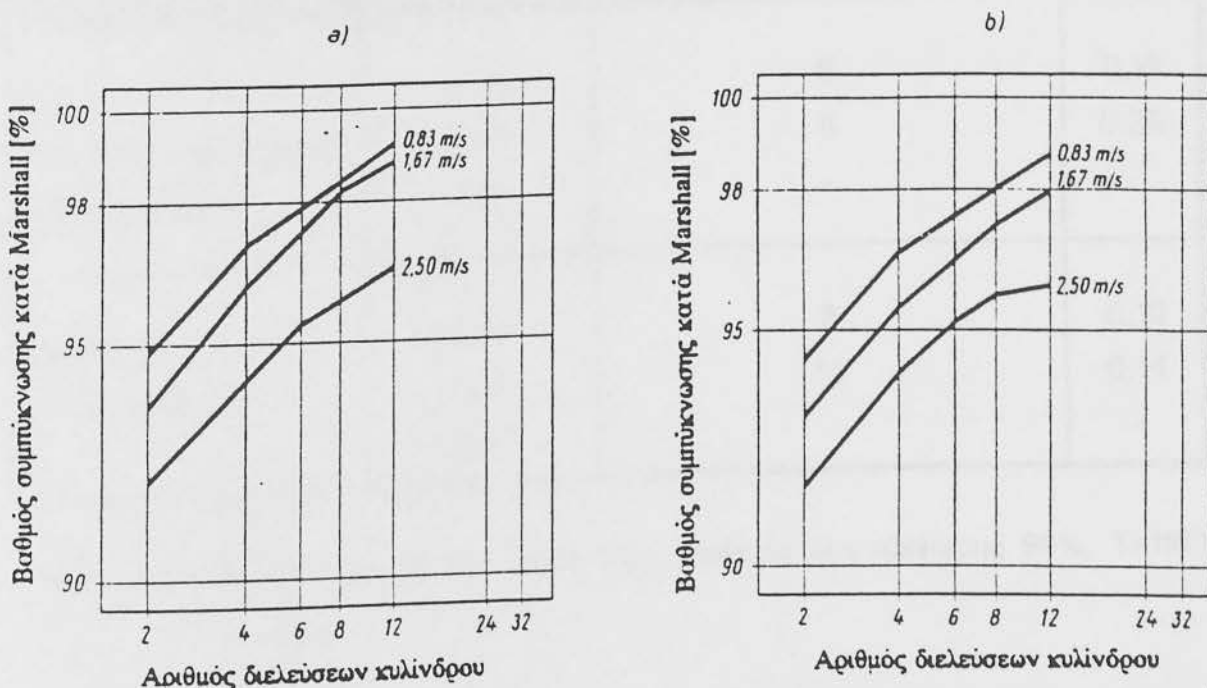
Όσο πιο μεγάλη είναι αυτή τόσο μικρότερο γίνεται το K .

Είναι λοιπόν δυνατόν, σε δονητικούς οδοστρωτήρες να υπάρχει μια βέλτιστη ταχύτητα, με την οποία μπορούν να επιτευχθούν τα ευνοϊκότερα αποτελέσματα συμπύκνωσης.

Στη Σουηδία πριν μερικά χρόνια εξετάσθηκε η βέλτιστη ταχύτητα ενός δίτροχου δονητικού κυλίνδρου και ενός τρίτροχου στη συμπύκνωση δύο χονδροκόκκων ασφαλτοσκυροδεμάτων.

Η σύνθεση των αδρανών των μιγμάτων πρακτικά ήταν η ίδια, η περιεκτικότητα ασφάλτου διαφορετική, η δυνατότητα συμπύκνωσης του μίγματος κατ' εκτίμηση ήταν από λίγο δύσκολη έως δύσκολη. Η αρχική θερμοκρασία κατά την κυλίνδρωση ήταν σε 110 και 85 °C. Το πάχος της στρώσης ήταν κατά μέσο όρο, 0,032 m. Στο Σχήμα 8.33 παριστάνονται τα ποσοστά συμπύκνωσης ως συνάρτηση του αριθμού των διελεύσεων οδοστρωτήρα και της ταχύτητας κυλίνδρωσης. Η βέλτιστη ταχύτητα

κυλίνδρωσης είναι εκείνη, κατά την οποία το πηλίκο V_E/n , για την επίτευξη του μικρότερου, ικανοποιητικού βαθμού συμπύκνωσης (98%) είναι το μεγαλύτερο.



Σχήμα 8.33: Βαθμός συμπύκνωσης ως συνάρτηση του αριθμού διελεύσεων κυλίνδρου και της ταχύτητας του κυλίνδρου
 α) Dynapac CC 51 δονητικός οδοστρωτήρας
 β) Aveling-Barford Advance τρίτροχος κύλινδρος

Από τις καμπύλες συμπύκνωσης είναι δυνατόν τα ακόλουθα πηλικά (πίνακας 8.7).

Η βέλτιστη ταχύτητα και των δύο κυλίνδρων είναι ($T_B=110^\circ\text{C}$):

$$V_{\text{opt}} \sim 1,67 \text{ m/s}$$

όπου με την βοήθεια ακριβέστερης ανάλυσης διαπιστώνουμε για τον τρίτροχο κύλινδρο μια μικρότερη τιμή.

Για αρχική θερμοκρασία 85°C η βέλτιστη ταχύτητα και των δύο οδοστρωτήρων ήταν:

$$V_{\text{opt}} \sim 0,83 \text{ m/s}$$

Κυλίνδρος	Ταχύτητα m/s	Αριθμός διελεύσεων κυλίνδρου	$\frac{VE}{n}$
CC 41	0,83	6	0,13
Δονητικός δίτροχος οδοστρωτήρας)	1,67	8	0,29
	2,50	-	-
Advance (Τρίτροχος)	0,83	8	0,10
	1,67	12	0,14
	2,50	-	-

Πίνακας 8.7: Υπολογισθείσες τιμές V_E/n (βαθμός συμπύκνωσης 98%, $T=110^\circ\text{C}$) [40].

Αυτά τα αποτελέσματα σε τρίτροχο οδοστρωτήρα έρχονται σε κάποια αντίθεση προς τους υπολογισμούς με τον τύπο του NIJBOER⁽⁸⁾.

Οι λόγοι για τις διαφορές αυτές δεν είναι ακόμη γνωστοί.

Πρέπει ο τύπος του συντελεστή κυλίνδρωσης για τις αναφερόμενες οριακές συνθήκες κατά το δυνατόν να αναθεωρηθεί διότι οι ήδη μνημονευθείσες Ολλανδικές δοκιμές δεν εξέτασαν την επιρροή της ταχύτητας του οδοστρωτήρα. Είναι όμως ακόμη δυνατόν οι προϋποθέσεις κάτω από τις οποίες έχουν διενεργηθεί οι δοκιμές για τις δύο κυλινδρώσεις στην Σουηδία να μην ήταν ίδιες.

Από την έκθεση της δοκιμής μπορούμε να συμπεράνουμε μόνον την αρχική θερμοκρασία.

Για την συμπύκνωση είναι γνωστό ότι η μέση θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι καθοριστική.

Επισημαίνεται για κάθε περίπτωση, ότι οι μέσες ταχύτητες κυλίνδρωσης μπορούν να αυξηθούν σημαντικά έναντι αυτών των ταχυτήτων που σήμερα ως επί το πλείστον χρησιμοποιούνται, από 0,75 έως 1,0 m/s, και έτσι τα αποτελέσματα της συμπύκνωσης μπορούν με βεβαιότητα να βελτιωθούν ακόμη περισσότερο.

Για τεχνικούς λόγους κυλίνδρωσης πρέπει η χρησιμοποιούμενη ταχύτητα κυλίνδρωσης-που εξαρτάται από το πάχος της στρώσης, τη δυνατότητα συμπύκνωσης του ασφαλτομίγματος και τα χαρακτηριστικά του κυλίνδρου-να περιορισθεί σε 1 έως 2 m/s.

Ειδικά αυτό ισχύει για τον πρώτο κύλινδρο, ο οποίος-σε ιδανική κατάσταση συμπύκνωσης-μπορεί να επιτελέσει κατά προσέγγιση 65 έως 80 % της συνολικής εργασίας συμπύκνωσης.

8.3 Το πρόγραμμα κυλίνδρωσης

8.3.1 Γενικά

Σκοπός της κυλίνδρωσης είναι να επιτευχθεί με ασφάλεια και οικονομικά ο απαιτούμενος βαθμός συμπύκνωσης, με τα διατιθέμενα μηχανήματα.

Αυτό καθιστά απαραίτητη την τοποθέτηση των υπάρχοντων οδοστρωτήρων με τον καλύτερο τρόπο.

Γι' αυτό θα αναλύσουμε παρακάτω με λεπτομέρεια την διαδικασία συμπύκνωσης.

Για την συμπύκνωση του μίγματος που έχει διαστρωθεί και προσυμπυκνωθεί από το διαστρωτή, ο κύλινδρος κανονικά τοποθετείται με τον ακόλουθο τρόπο:

Ο κύλινδρος εργάζεται παράλληλα προς τον άξονα του οδοστρώματος στο ίδιο ίχνος μπρός και πίσω, αλλάζει ίχνος στο τέλος του πεδίου κυλίνδρωσης, έτσι ώστε να επικαλυφθεί εν μέρει το πρώτο ίχνος.

Με τον τρόπο αυτόν κυλινδρώνεται η λωρίδα μια φορά σε όλο της το πλάτος. Μετά απ' αυτό επιστρέφει ο κύλινδρος στο σημείο αφετηρίας και κυλινδρώνει εκ νέου την λωρίδα - όπως έχει περιγραφεί. Εν τω μεταξύ όμως ο διαστρωτής προχωράει παρακάτω. Εάν ο κύλινδρος φθάνει πάντα μέχρι τον διαστρωτή ή μέχρι μια ορισμένη απόσταση L_0 από αυτόν τότε δημιουργείται ένα κλιμακωτό πρότυπο κυλίνδρωσης όπως δίνεται στο Σχήμα 8.34.

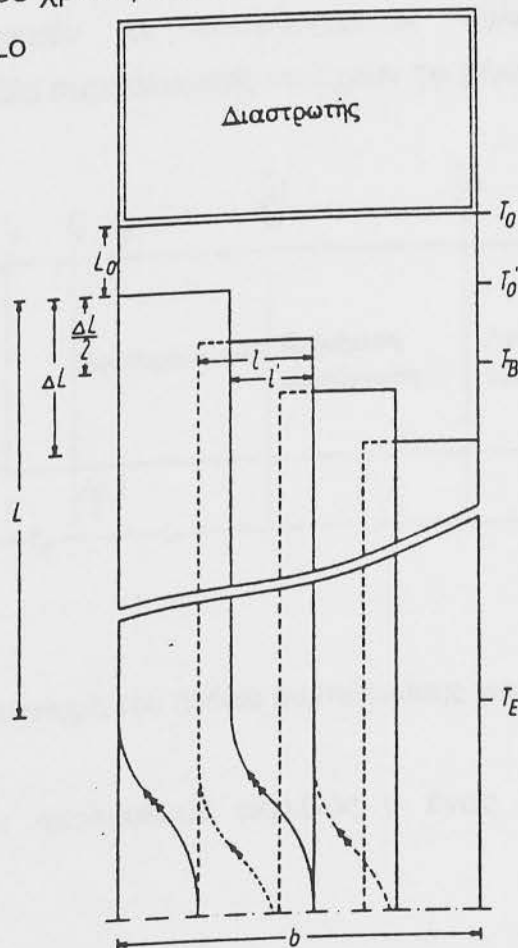
Κάθε κύλινδρος λειτουργεί σύμφωνα με την κλασσική παράσταση: Προσυμπύκνωση, Ενδιάμεση συμπύκνωση (εσφαλμένα ονομάζεται και κυρίως συμπύκνωση) και Λεία συμπύκνωση, όπου κάθε στάδιο ακολουθεί το προηγούμενο. Μπορεί ενδεχομένως να παραλειφθεί η εργασία μιας

προσυμπύκνωσης. Σε πλατιές λωρίδες μπορεί να τοποθετηθούν κύλινδροι ακόμη και παράλληλα ο ένας προς τον άλλον.

Στη περίπτωση που απεικονίζεται στο Σχήμα 8.34 παριστάνονται οι πορείες του οδοστρωτήρα προσυμπύκνωσης, έως ότου το πεδίο κυλινδρωθεί μια φορά σε όλο του το πλάτος.

Υποτίθεται ότι οι διελεύσεις οδοστρωτήρα στην λωρίδα που διαστρώνεται είναι με κανονική κατανομή και ότι ο διαστρωτής εργάζεται χωρίς διακοπή. Πρέπει όμως να λάβουμε υπόψη μας και τα ακόλουθα μεγέθη, όπου είναι:

- L_0 η ελάχιστη απόσταση του κυλίνδρου πίσω από το διαστρωτή
- ΔL η απόσταση, την οποία διανύει ο διαστρωτής έως ότου ο κύλινδρος κυλινδρώσει τη λωρίδα μια φορά σε όλο της το πλάτος
- L το μήκος του πεδίου που κυλινδρώνεται
- T_0 η θερμοκρασία κατασκευής
- T'_0 η διορθωμένη θερμοκρασία κατασκευής του μίγματος
- T_B η θερμοκρασία του βέλους
- T_E η θερμοκρασία του εδάφους
- t_0 ο χρόνος που χρειάζεται ο διαστρωτής, για να διανύσει την απόσταση L_0



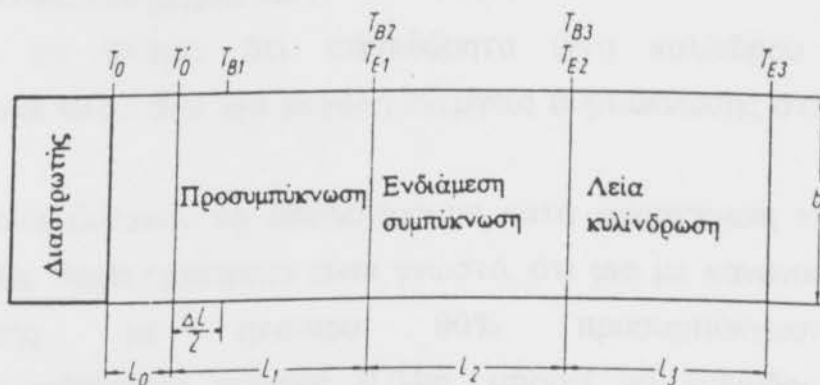
Σχήμα 8.34: Πρότυπο κυλινδρωσης ενός δίτροχου οδοστρωτήρα πίσω από τον διαστρωτή

- T_B η μέση αρχική θερμοκρασία κατά την κυλίνδρωση
- t_B ο χρόνος που χρειάζεται ο διαστρωτής για να διανύσει την απόσταση $L_0 + \frac{\Delta L}{2}$
- T_E η θερμοκρασία της στρώσης στο τέλος του πεδίου
- t_w ο διαθέσιμος χρόνος για τη συμπύκνωση του πεδίου
- V_E η ταχύτητα του διαστρωτή η οποία καθορίζεται από τη δυναμικότητα κατασκευής A (Kg/s), την ποσότητα κατασκευής q (Kg/m²) και το πλάτος της τροχιάς b

$$u_F = \frac{A}{b \cdot q} \quad (8.12)$$

Επειδή κάθε οδόστρωμα πρέπει να κυλινδρωθεί κάτω από τις ίδιες προϋποθέσεις μπορούμε να υποθέσουμε ότι ο κύλινδρος συμπυκνώνει πάντα μια επιφάνεια με τις διαστάσεις $L \times b$ όπου οριακές θερμοκρασίες είναι T_B και T_E .

Πρέπει λοιπόν οι τοποθετημένοι κύλινδροι θεωρητικά όταν κυλινδρώσουν πεδία συμπύκνωσης να έχουν τα μήκη από $L_1 \dots L_n$ (Σχ.8.35).



Σχήμα 8.35: Κατανομή του πεδίου συμπύκνωσης για τρεις κατά σειρά κυλίνδρους

Εάν οι κύλινδροι ακολουθούν ακριβώς ο ένας τον άλλον, γίνεται στην συνέχεια :

$$T_{E1} = T_{B2}$$

$$T_{E2} = T_{B3} \quad \text{κ.λ.π.}$$

8.3.2 Η διορθωμένη θερμοκρασία κατασκευής T'_o

Ο κύλινδρος δεν μπορεί πάντα να φθάσει μέχρι τον διαστρωτή, διότι έτσι είναι δυνατόν να παρουσιασθούν ανεπιθύμητα ίχνη και ρωγμές οι οποίες δεν μπορούν πια να αποκατασταθούν με την κυλίνδρωση. Στη περίπτωση αυτή πρέπει ο κύλινδρος να επιστρέψει σε μια απόσταση L_o από τον διαστρωτή (Σχήμα 8.34). Η θερμοκρασία στο σημείο αυτό είναι η διορθωμένη θερμοκρασία κατασκευής T'_o .

Από την άλλη μεριά όμως πρέπει για τεχνικούς λόγους συμπύκνωσης ο κύλινδρος να πλησιάζει πάντα όσο είναι δυνατόν προς τον διαστρωτή, διότι έτσι γίνονται τα T_B καθώς και η μέση θερμοκρασία συμπύκνωσης T_M μεγαλύτερα και το αποτέλεσμα της συμπύκνωσης σαφώς καλύτερο. Υπάρχει λοιπόν μια κρίσιμη θερμοκρασία T_{okrit} , η οποία παριστάνει την υψηλότερη θερμοκρασία, κάτω από τις ισχύουσες συνθήκες συμπύκνωσης, κατά την οποία δεν προξενούνται ακόμη ανεπιθύμητες παραμορφώσεις και ρωγμές στην ασφαλτική στρώση.

Το μέγεθος του T_{okrit} , εξαρτάται βασικά από τις παραμορφώσεις που προξενούνται με την πρώτη διέλευση του οδοστρωτήρα, και αυτές πάλι από την πλευρά τους καθορίζονται από την επιτρεπόμενη διαστολή του χρησιμοποιούμενου μίγματος.

Μπορούμε να πούμε, ότι ανεπιθύμητα ίχνη κυλίνδρου και ρωγμές προξενούνται κάτω από μια μεγάλη ενέργεια συμπύκνωσης στη ζεστή ακόμη στρώση.

Έμμεσα είναι δυνατόν να υπολογίσουμε κατά προσέγγιση την αντίστοιχη θερμοκρασία. Βάση εμπειριών είναι γνωστό, ότι μια με κανονική δυνατότητα συμπύκνωσης, με περίπου 90% προσυμπύκνωση, στρώση ασφαλτοσκυροδέματος πάχους 0,04m, μπορεί να κυλινδρωθεί με έναν δίτροχο κύλινδρο μέσου βάρους ($C_W=0,025 \text{ N/mm}^2$) και με μια θερμοκρασία κατασκευής 160°C , μέχρι τον διαστρωτή. Από αυτό μπορεί να υπολογισθεί ότι κατά την πρώτη διέλευση με έναν συντελεστή κυλίνδρωσης μέχρι $R_f=0,5 \cdot 10^{-5}$ δεν προξενούνται ακόμη βλαβερές παραμορφώσεις στη στρώση.

Στο Σχήμα 8.36 δίνονται οι τιμές θερμοκρασιών που υπολογίσθηκαν με αυτόν τον τρόπο, ως συνάρτηση του δείκτη των χαρακτηριστικών του οδοστρωτήρα, του πάχους της στρώσης και της δυνατότητας συμπύκνωσης του μίγματος με χρήση ενός μεταλλικού κυλίνδρου:

Για μίγμα N με $C_W=0,025 \text{ N/mm}^2$ παρατηρούμε ότι είναι το $T_{okrit}=162^\circ\text{C}$.

Όσο πιο μεγάλος είναι ο δείκτης των χαρακτηριστικών του οδοστρωτήρα καθώς και το πάχος της στρώσης, τόσο μικρότερο γίνεται το T_{okrit} .

Οι σκέψεις που έχουν διατυπωθεί παραπάνω δεν ισχύουν για λαστιχοφόρους οδοστρωτήρες.

Ο κίνδυνος πρόκλησης ρωγμών, και ιδιαίτερα τριχοειδών ρωγμών σχεδόν δεν υπάρχει εδώ.

Στους επόμενους υπολογισμούς υποθέτουμε ότι το T_0 παίρνει ιδανική τιμή ($T_0 = T_{\text{okrit}}$).

Στα διαγράμματα των Σχημάτων 8.37, 8.38, μπορούμε να δούμε τον χρόνο ψύξης, που πρέπει να περάσει μέχρις ότου η στρώση φθάσει σε μια ορισμένη θερμοκρασία.

Αυτός ο χρόνος ψύξης είναι προ παντός μια συνάρτηση του πάχους της στρώσης, των καιρικών συνθηκών και της θερμοκρασίας κατασκευής. Επειδή πρέπει τα διαγράμματα αυτά να χρησιμοποιηθούν και για άλλους υπολογισμούς, θα υπολογίζεται με έναν μέσο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας και ένα μέσο φαινόμενο βάρος της στρώσης. Αποκλίσεις από τις ακριβείς τιμές δίνουν ένα σχετικά μικρό σφάλμα.

Με την βοήθεια της τιμής του T_0 που έχει βρεθεί μπορεί στην συνέχεια να υπολογισθεί η απόσταση L_0 με τον επόμενο τύπο:

$$t_0 = \frac{L_0}{uF} = \frac{L_0 \cdot b \cdot q}{A} \quad \text{και} \quad (8.13)$$

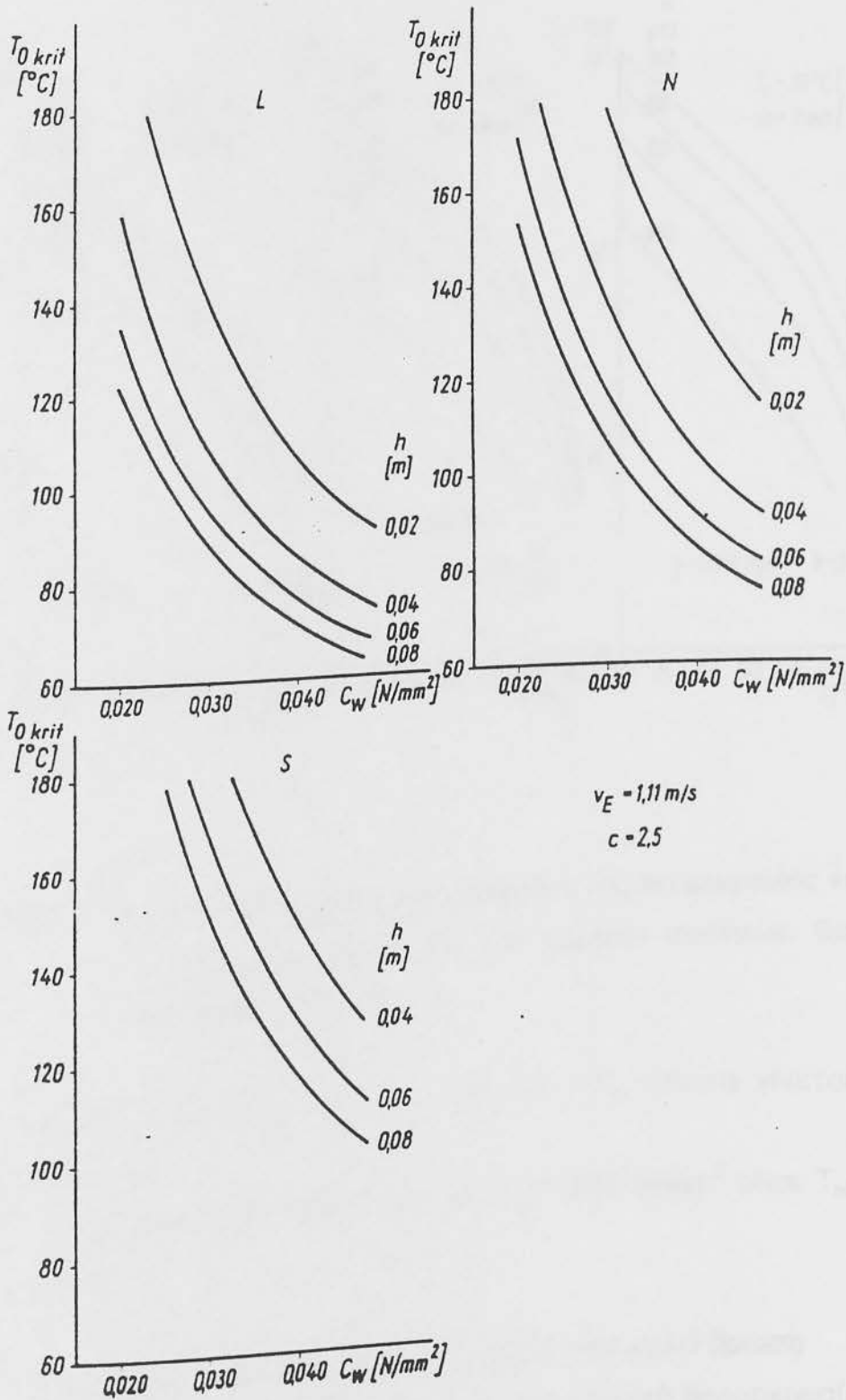
$$L_0 = t_0 \cdot uF = \frac{t_0 \cdot A}{b \cdot q} \quad (8.14)$$

Δίνουμε εδώ τρία απλά αριθμητικά παραδείγματα:

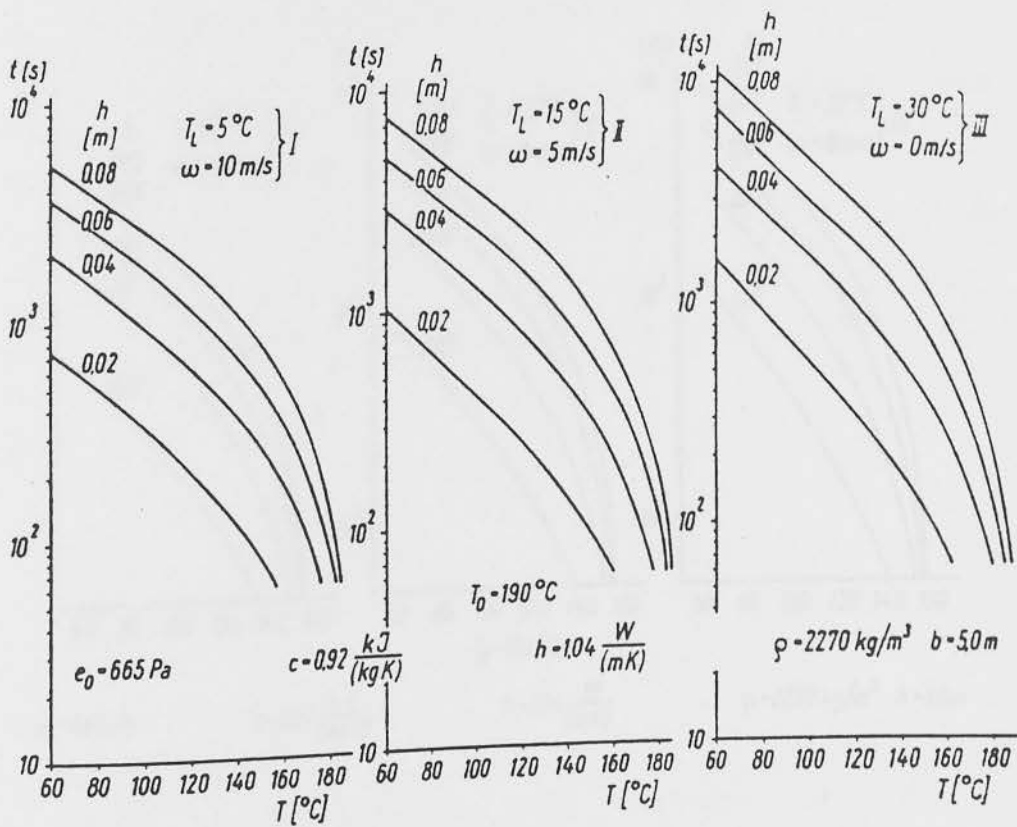
α) Στο Σχήμα 8.36 μπορούμε να αναγνώσουμε για κανονικό μίγμα (N) πάχους 0,04m με $C_{wo} = 0,030 \text{ N/mm}^2$ μια τιμή για το $T_{\text{okrit}} = 136^\circ\text{C}$.

Για $T_0 = 160^\circ\text{C}$, $T_L = 15^\circ\text{C}$ και $\omega = 5 \text{ m/s}$ βρίσκουμε από το Σχήμα 8.38 χρόνο ψύξης 190s. Στην περίπτωση αυτή ($b = 5\text{m}$, $A = 27,8 \text{ Kg/s}$, $q = 94 \text{ Kg/m}^2$) γίνεται:

$$L_0 = \frac{190 \cdot 27,8}{5 \cdot 94} \approx 11\text{m}$$



Σχήμα 8.36: Η κρίσιμη θερμοκρασία της στρώσης ως συνάρτηση του δείκτη των χαρακτηριστικών του οδοστρωτήρα, του πάχους της στρώσης και της δυνατότητας συμπύκνωσης του ασφαλτομίγματος

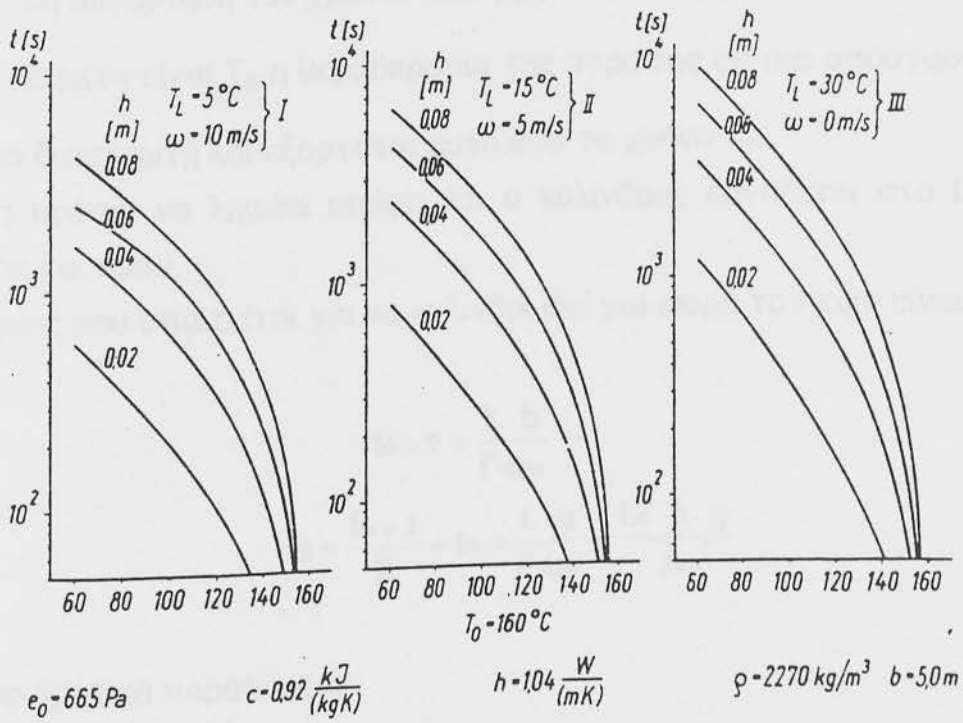


Σχήμα 8.37: Η ψύξη της στρώσης ως συνάρτηση της θερμοκρασίας κατασκευής του πάχους στρώσης, και των καιρικών συνθηκών. Θερμοκρασία κατασκευής $T_0=190^\circ\text{C}$

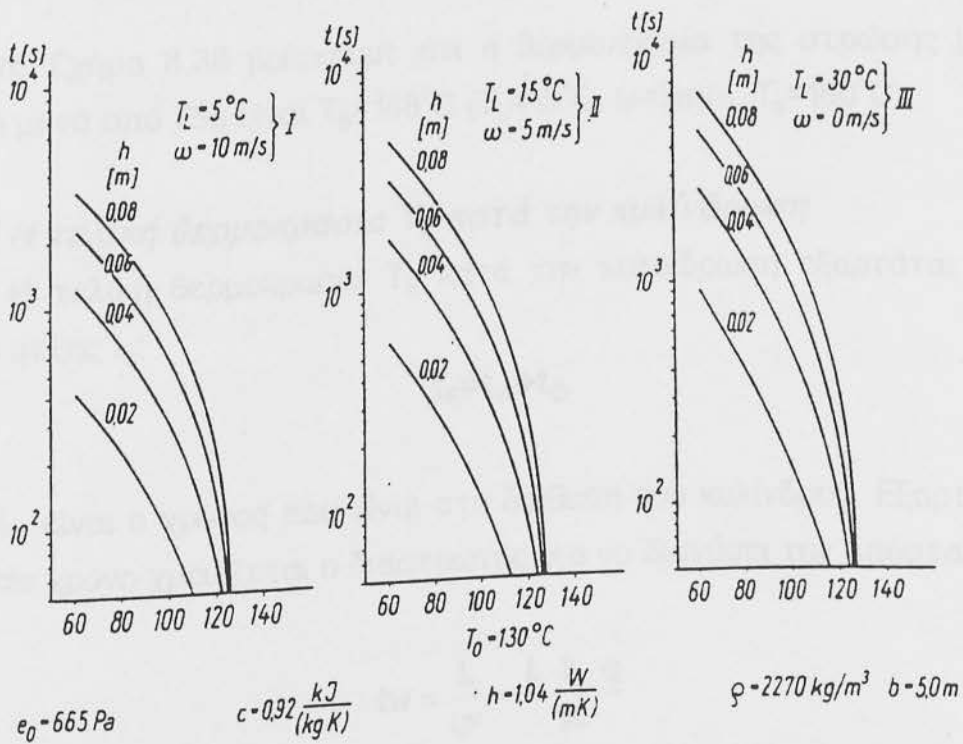
- b) Για $C_w=0,025 \text{ N/mm}^2$ είναι $T_{\text{okrit}} \approx 160^\circ\text{C} = T_0$, έπειτα γίνεται $t_0=0$ και επομένως $L_0=0$.
- c) Για μια στρώση πάχους $0,06\text{m}$ και για $C_w=0,025 \text{ N/mm}^2$ είναι $T_{\text{okrit}}=138^\circ\text{C}$, $t_0=340\text{s}$, $L_0\approx 20\text{m}$.

8.3.3 Η μέση αρχική θερμοκρασία T_B κατά την κυλίνδρωση

Από το Σχήμα 8.34 φαίνεται ότι η μέση αρχική θερμοκρασία T_B είναι πάντοτε χαμηλότερη από το T_0 καθώς και το T'_0 . Ο κύλινδρος χρειάζεται χρόνο για να κυλινδρώσει μια φορά την στρώση, μετά επιστρέφει στο πρώτο ίχνος (διέλευση), εν τω μεταξύ όμως ο διαστρωτής έχει διανύσει μια απόσταση ΔL .



Σχήμα 8.38: Όπως στο σχήμα 8.37. Θερμοκρασία κατασκευής $T_0 = 160^\circ\text{C}$



Σχήμα 8.39: Όπως στο σχήμα 8.37. Θερμοκρασία κατασκευής $T_0 = 130^\circ\text{C}$.

Προσεγγιστικά μπορούμε να πούμε ότι η ψύξη στην αρχή είναι μια γραμμική συνάρτηση του χρόνου και έμμεσα και του μήκους ΔL .

Έπειτα είναι T_B η θερμοκρασία της στρώσης σε μια απόσταση $L_0 + \frac{\Delta L}{2}$

από το διαστρωτή και εξαρτάται αυτή από το χρόνο t_B .

Ακόμη πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι ο κύλινδρος εργάζεται στο ίδιο ίχνος εμπρός και πίσω.

Ο χρόνος που απαιτείται για να κυλινδρωθεί μια φορά το πεδίο είναι:

$$t_{n=2} = \frac{L \cdot b}{l' \cdot u_w} \quad (8.15)$$

$$t_B = \frac{t_{n=2}}{2} + t_0 = \frac{L \cdot b}{l' \cdot u_w} + \frac{L_0 \cdot b \cdot q}{A} \quad (8.16)$$

Ένα αριθμητικό παράδειγμα:

Υποθέτουμε ότι είναι:

$L=30\text{m}$, $b=5,0\text{m}$, $l'=1,80\text{m}$ και $u_w=1,11\text{m/s}$ και έπειτα γίνεται σε $L_0=0$:

$$t_B = \frac{30 \cdot 5}{1,80 \cdot 1,11} = 75\text{s}$$

Από το Σχήμα 8.38 βρίσκουμε ότι η θερμοκρασία της στρώσης με πάχος $0,04\text{m}$ μετά από 75s είναι $T_B=148^\circ\text{C}$ ($T_L=15^\circ\text{C}$, $\omega=5\text{m/s}$, $T_0=160^\circ\text{C}$).

8.3.4 Η τελική θερμοκρασία T_E κατά την κυλίνδρωση

Η τελική θερμοκρασία T_E κατά την κυλίνδρωση εξαρτάται από τον χρόνο ψύξης t_E :

$$t_E = t_w + t_0 \quad (8.17)$$

όπου t_w είναι ο χρόνος που είναι στη διάθεση του κυλίνδρου. Εξαρτάται από το πόσο χρόνο χρειάζεται ο διαστρωτής για να διανύσει την απόσταση L :

$$t_w = \frac{L}{u_F} = \frac{L \cdot b \cdot q}{A} \quad (8.18)$$

Έπειτα ο χρόνος ψύξης γίνεται:

$$t_E = \frac{L}{u_F} + \frac{L_0}{u_F} = \frac{L + L_0}{u_F} \quad (8.19)$$

και από αυτό εξάγεται

$$L = (t_E \cdot u_F) - L_0 \quad (8.20)$$

Για την επίτευξη ενός καλού αποτελέσματος συμπύκνωσης είναι σπουδαίο, να κρατήσουμε όσο είναι δυνατόν υψηλότερα την τελική θερμοκρασία, όπου χωρίς άλλο πρέπει να προσεχθεί, ότι σε αυτήν την θερμοκρασία δεν πρέπει να προξενούνται ίχνη και ρωγμές, τα οποία δεν μπορούν πλέον να εξαλειφθούν με επόμενες διελεύσεις.

Μετά από παρατηρήσεις διαπιστώσαμε ότι με την τοποθέτηση ενός κυλίνδρου μέσου βάρους σε μια κανονική δυνατότητα συμπύκνωσης (N) ασφαλτική στρώση πάχους 0,04m, κάτω από αυτές τις προϋποθέσεις, επιτυγχάνεται ένα μέγιστο αποτέλεσμα συμπύκνωσης $R_f = 0,3 \cdot 10^{-5}$.

Στο Σχήμα 8.40 δίνονται οι αντίστοιχες θερμοκρασίες ως συνάρτηση του δείκτη των χαρακτηριστικών του οδοστρωτήρα, του πάχους της στρώσης και της δυνατότητας συμπύκνωσης του μίγματος για μεταλλικό κύλινδρο. Για λαστιχοφόρους οδοστρωτήρες αυτές οι τιμές είναι μεγαλύτερες, το διάγραμμα είναι λοιπόν και γι' αυτόν τον οδοστρωτήρα χρησιμοποιήσιμο.

Ένα αριθμητικό παράδειγμα:

Για $C_w = 0,025 \text{ N/mm}^2$, ένα πάχος στρώσης 0,04m και για ένα κανονικό (N) συμπυκνούμενο μίγμα είναι $T_E = 102^\circ\text{C}$ (Σχ.8.39).

Στο Σχήμα 8.38 βρίσκουμε ότι ο χρόνος ψύξης είναι $t_E = 780\text{s}$.

Εάν δεχθούμε τις ίδιες προϋποθέσεις όπως στο κεφάλαιο 8.3.3 τότε γίνεται:

$$u_F = \frac{27,8}{5 \cdot 94} = 0,059 \text{ m/s}$$

και

$$L = 780 \cdot 0,059 \approx 46 \text{ m.}$$

Είναι αυτονόητο ότι για το μέγεθος του L πρέπει να ορισθούν τα ελάχιστα όρια.

Όσο πιο μικρό είναι το μήκος πεδίου (L) τόσο περσοσσότερος χρόνος χάνεται για την αλλαγή κατευθύνσεως φρενάρισμα και επιτάχυνση (βλέπε σχήμα 8.32).

Παράλληλα και ο χειριστής του κυλίνδρου επιβαρύνει περισσότερο με διακοπές και φρεναρίσματα.

Στην πράξη φαίνεται να είναι $L_{\min}=30\text{m}$ μια λογική ελάχιστη τιμή.

Το μήκος του πεδίου κυλίνδρωσης δεν παίζει ασήμαντο ρόλο για την επίτευξη ενός βέλτιστου αποτελέσματος συμπύκνωσης.

Στον επόμενο πίνακα δίνεται μια επισκόπηση για την επιρροή του μήκους πεδίου κυλίνδρωσης στην τελική θερμοκρασία.

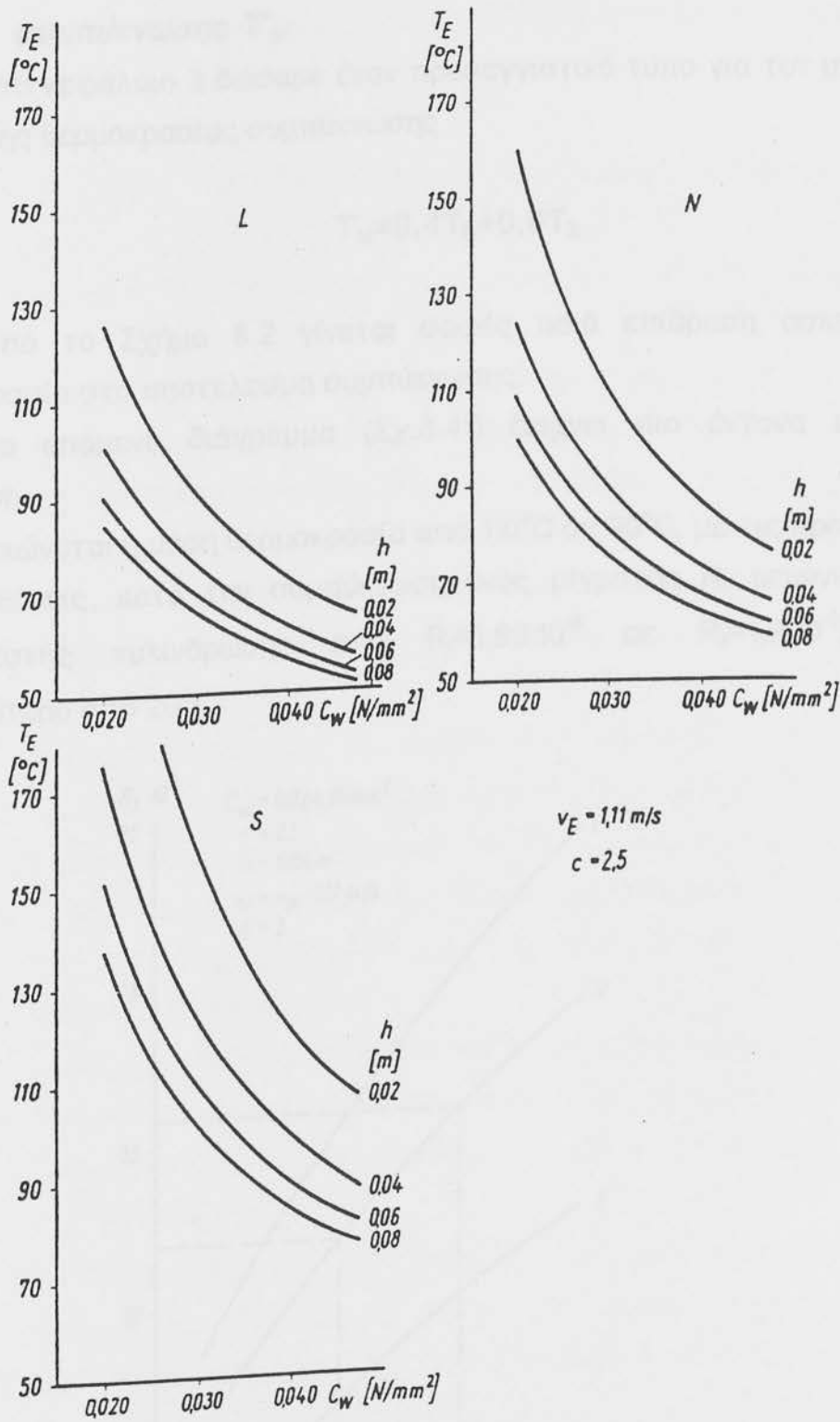
L m	t_F s	TE °C
40	676	106
50	845	99
60	1014	91
70	1183	87

Πίνακας 8.8: Τιμές -T σε σχέση με το μήκος κυλίνδρωσης.
(Μίγμα N, $t_0=0$, $h=0,04\text{m}$, $\rho=2350\text{ Kg/m}^3$, $T_0=160^\circ\text{C}$, $T_L=15^\circ\text{C}$, $\omega=5\text{ m/s}$, $e_0=665\text{ Pa}$, $b=5,0\text{m}$, $A=27,8\text{ Kg/s}$).

Δυστυχώς ο καθορισμός του μήκους του πεδίου κυλίνδρωσης στην πράξη αφήνεται συχνά στην κρίση του χειριστή χωρίς να του εξηγηθούν οι παραπάνω σχέσεις.

Μετά από αυτά το ότι δεν επιτυγχάνεται το καλύτερο αποτέλεσμα δεν πρέπει να μας εκπλήσει.

Για την τεχνική και οικονομική επιτυχία του εργοταξίου είναι απαραίτητο η ομάδα εργασίας να λάβει σαφείς οδηγίες από τη Διεύθυνση για το μήκος του πεδίου κυλίνδρωσης, τον αριθμό των ελαχίστων διελεύσεων και τέλος το πρόγραμμα κυλίνδρωσης.



Σχήμα 8.40: Τελική θερμοκρασία στρώσης ($R_f = 0,3 \cdot 10^{-5}$) ως συνάρτηση του δείκτη των χαρακτηριστικών του κυλίνδρου, του πάχους της στρώσης και της δυνατότητας συμπύκνωσης του ασφαλτομίγματος για έναν μεταλλικό κύλινδρο.

8.3.5 Η επιρροή και η επίδραση της μέσης θερμοκρασίας συμπύκνωσης T'_M

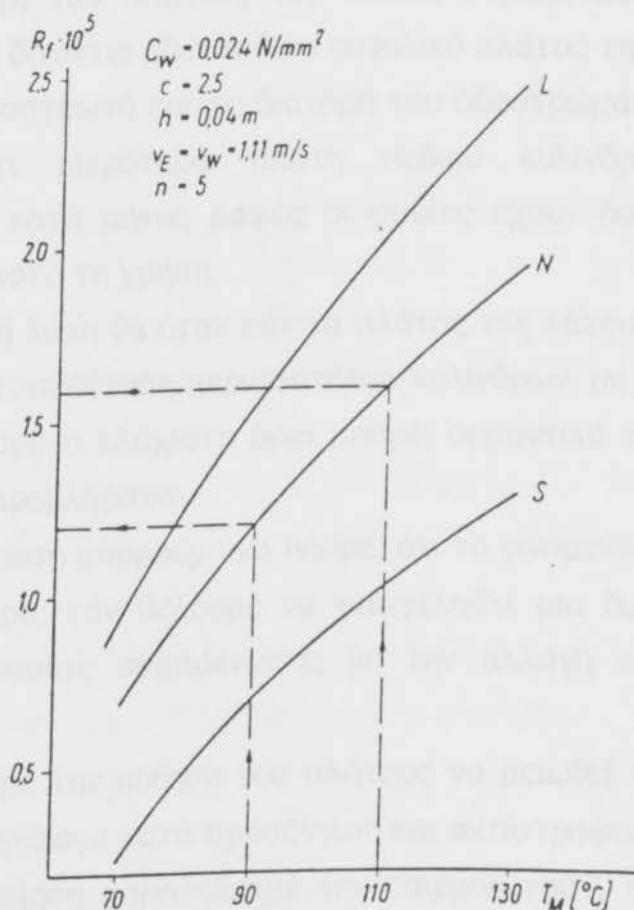
Στο κεφάλαιο 3 δώσαμε έναν προσεγγιστικό τύπο για τον υπολογισμό της μέσης θερμοκρασίας συμπύκνωσης

$$T'_M = 0,4T_B + 0,6T_E \quad (8.3)$$

Από το Σχήμα 8.2 γίνεται σαφές ποιά επίδραση ασκεί αυτή η θερμοκρασία στο αποτέλεσμα συμπύκνωσης.

Το επόμενο διάγραμμα (Σχ.8.41) δείχνει πιο έντονα αυτήν την επίδραση.

Όταν μειώνεται η μέση θερμοκρασία από 110°C σε 90°C , με τις προηγούμενες προϋποθέσεις, κατά την συμπύκνωση ενός μίγματος N, μειώνεται και ο συντελεστής κυλίνδρωσης από $R_f = 1,59 \cdot 10^{-5}$ σε $R_f = 1,2 \cdot 10^{-5}$, δηλαδή περισσότερο από 20%.



Σχήμα 8.41: Συντελεστής κυλίνδρωσης ως συνάρτηση της μέσης θερμοκρασίας συμπύκνωσης και της δυνατότητας συμπύκνωσης του μίγματος.

Εάν παραλειφθεί η επίδραση των καιρικών συνθηκών και του πάχους της στρώσης, τότε μπορεί από τον τύπο (8.16) να εξαχθεί ότι ο χρόνος ψύξης t_B (σε $t_0=0$) είναι:

- Ευθέως ανάλογος προς τις διαστάσεις του πεδίου κυλίνδρωσης (L και b) και
- Αντιστρόφως ανάλογος προς το πλάτος και την ταχύτητα του κυλίνδρου.

Όσο πιο μικρός είναι ο χρόνος ψύξης t_B , τόσο μεγαλύτερη γίνεται η μέση αρχική θερμοκρασία T_B κατά την κυλίνδρωση. Το t_0 έχει καθορισθεί με τις γνωστές ήδη προϋποθέσεις, δηλαδή ο κύλινδρος δεν επιτρέπεται να προξενεί παραμένουσες βλάβες στην επιφάνεια που συμπυκνώνεται.

Το μήκος του πεδίου κυλίνδρωσης L δεν επιτρέπεται να κατέλθει κάτω από μία ελάχιστη τιμή, διότι διαφορετικά δημιουργούνται προβλήματα στη διενέργεια της κυλίνδρωσης.

Η εκλογή του πλάτους του πεδίου συμπύκνωσης b είναι ελεύθερη. Πρακτικά όρια δίνονται εδώ από το συνολικό πλάτος της τροχιάς, το μέγιστο πλάτος του διαστρωτή και τη διατομή του οδοστρώματος. Πρέπει ακόμη να προσεχθεί ότι μικρότερα πλάτη πεδίου κυλίνδρωσης, προξενούνται περισσότερες κατά μήκος ραφές οι οποίες έχουν δυσμενή επίπτωση στη συμπεριφορά κατά τη χρήση.

Μια καλή λύση θα ήταν εάν το πλάτος της κατασκευαζόμενης τροχιάς επέτρεπε την τοποθέτηση περισσοτέρων κυλίνδρων, με παράλληλη διάταξη. Μέχρι ένα ορισμένο ελάχιστο όριο μπορεί σημαντικά το b χωρίς βέβαια τα αναφερόμενα προβλήματα.

Σε κάθε περίπτωση μπορούμε να πούμε, ότι το γινόμενο Lxb πρέπει να μείνει περίπου σταθερό, εάν θέλουμε να αποφευχθεί μια δυσμενής επιρροή της μέσης θερμοκρασίας συμπύκνωσης με την αλλαγή των διαστάσεων του πεδίου.

Πρέπει λοιπόν με την αύξηση του πλάτους να μειωθεί το μήκος του πεδίου συμπύκνωσης ανάλογα κατά προσέγγιση και αντίστροφα.

Εδώ για απλοποίηση παραλείψαμε την επιρροή του L στην μέση ταχύτητα κυλίνδρωσης.

Το διορθωμένο πλάτος του κυλίνδρου l' - εάν το δούμε θεωρητικά- είναι ελεύθερα εκλέξιμο. Η επιρροή αυτού φαίνεται έντονα στον επόμενο πίνακα (Πίνακα 8.9).

l' m	t_B s	T_B °C
1,0	180	134
1,3	138	138
1,7	108	142
2,0	90	144
2,2	84	145

Πίνακας 8.9 Η επίδραση του πλάτους l' του κυλίνδρου στη μέση αρχική θερμοκρασία

(Μίγμα $N, V_e=V_w=1,11$ m/s, $c=2,5$, $L=40$ m, $b=5,0$ m, $t_0=0$, $h=0,04$ m, $T_L=15^\circ\text{C}$, $\omega=5$ m/s, $e_0=665$ Pa, $T_0=160^\circ\text{C}$)

Μερικοί από τους προαναφερόμενους παράγοντες έχουν και μια συμμετοχή στο αποτέλεσμα του αριθμού των εφικτών διελεύσεων οδοστρωτήρα. Σύμφωνα με τον τύπο (8.8α) είναι ανάλογοι με το πλάτος και την ταχύτητα του κυλίνδρου. Έχουμε λοιπόν και τα δύο (πλάτος, ταχύτητα) μια διπλή επιρροή στο αποτέλεσμα συμπύκνωσης. Αυτό το συνολικό αποτέλεσμα θα εξετασθεί στη συνέχεια και ποσοτικά.

Η τελική θερμοκρασία της κυλίνδρωσης T_B είναι - κάτω από τις προαναφερόμενες προϋποθέσεις - σύμφωνα με τον τύπο (8.19):

- αντιστρόφως ανάλογη με το μήκος του πεδίου συμπύκνωσης
- ευθέως ανάλογη με την ταχύτητα του διαστρωτή

Για το ελάχιστο μήκος πεδίου συμπύκνωσης ισχύουν εδώ και οι παρατηρήσεις που διατυπώθηκαν κατά την ανάλυση του t_B .

Η ταχύτητα του διαστρωτή είναι ευθέως ανάλογη προς τη δυναμικότητα μεταφοράς, αντιστρόφως ανάλογη προς το πλάτος πεδίου κυλίνδρωσης b και προς την ποσότητα κατασκευής q (Kg/m^2).

Όσο πιο μεγάλη είναι η δυναμικότητα μεταφοράς A , τόσο υψηλότερη γίνεται - σε ίσο μήκος πεδίου κυλίνδρωσης (L) - η τελική θερμοκρασία T_E . Επειδή επηρεάζεται συγχρόνως και ο εφικτός αριθμός διελεύσεων κυλίνδρου από τη δυναμικότητα κατασκευής A , είναι σημαντικά περίπλοκη η πραγματική επίδραση της δυναμικότητας μεταφοράς. Η ποσοτική εξέταση αυτού του προβλήματος ακολουθεί αργότερα.

Η εκλογή του πλάτους του πεδίου b έγινε κάτω από τις ίδιες προϋποθέσεις οι οποίες έχουν ληφθεί υπόψη και στη σχέση του χρόνου ψύξης t_B .

Κατά την ενσωμάτωση της ποσότητας q καθοριστικό είναι κυρίως το πάχος της στρώσης.

Η επίδραση του πάχους της στρώσης στην τελική θερμοκρασία είναι μεγάλη. Η επίδραση όμως αυτή καλύπτεται εξ ολοκλήρου από την προϋπόθεση, ότι ο συντελεστής κυλίνδρωσης κατά την τελευταία διέλευση πρέπει να είναι $R_f \leq 0,3 \cdot 10^{-5}$.

Στον πίνακα 8.10 δίνεται ένα αριθμητικό παράδειγμα.

Εδώ δεν υπολογίζεται η επιρροή του L στην μέση ταχύτητα V_w του κυλίνδρου λόγω μικρής επίδρασης.

Όπως διαβάζουμε στις στήλες 14 και 15 η επιρροή του πάχους της στρώσης στο αποτέλεσμα της συμπύκνωσης είναι περίπλοκη. Η μέση θερμοκρασία συμπύκνωσης μειώνεται με το πάχος της στρώσης, αντίθετα όμως ο αριθμός των εφικτών διελεύσεων αυξάνεται.

Συνολικά λαμβάνει χώραν μια αξιόλογη αύξηση του αποτελέσματος συμπύκνωσης με την αύξηση του πάχους της στρώσης, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά από τις τιμές του R_f που υπολογίσθηκαν.

Τα αποτελέσματα συμφωνούν με τις συνθήκες που υποθέσαμε.

Εάν δεν τεθεί καμμία ή τεθούν, σημαντικά μικρές, απαιτήσεις στην ομαλότητα της επιφάνειας, τότε δεν παίζουν κανέναν ρόλο οι οριακές θερμοκρασίες, ή το πολύ μόνον έναν σημαντικό ρόλο. Έπειτα με τον τρόπο

αυτόν μπορεί να αυξηθεί και η μέση θερμοκρασία συμπύκνωσης με το πάχος της στρώσης. Μια τέτοια κατάσταση μπορεί να δημιουργηθεί ειδικά στη συνέχεια, εάν πρέπει να συμπυκνωθεί μια στρώση βάσης μεγάλου πάχους με λαστιχοφόρους οδοστρωτήρες. Από το αριθμητικό παράδειγμα φαίνεται πάλι πόσο περίπλοκη είναι η πλήρης διαδικασία συμπύκνωσης.

Διαπιστώσεις που στηρίζονται σε μεμονωμένα σημεία μπορούν να οδηγήσουν σε εσφαλμένα συμπεράσματα σχετικά με το συνολικό αποτέλεσμα της διαδικασίας συμπύκνωσης.

Στο επόμενο παράδειγμα έχουμε υπολογίσει την επιρροή του δείκτη των χαρακτηριστικών του κυλίνδρου (C_w) στο αποτέλεσμα συμπύκνωσης (Πίνακας 8.11).

Σε αντίθεση προς τα αναμενόμενα φθάνουμε εδώ σε εκπληκτικά αποτελέσματα:

ότι δηλαδή μόνον ο κύλινδρος με τον χαμηλότερο δείκτη χαρακτηριστικών παρέχει ένα άσχημο αποτέλεσμα συμπύκνωσης: οι κύλινδροι με $C_w=0,025$ έως $0,044 \text{ n/mm}^2$ επιτυγχάνουν όλοι την ίδια τιμή R_f .

Η διαπίστωση όμως είναι σωστή:

Εάν πρέπει να λάβουμε υπόψη τις απαιτήσεις της ομαλότητας της στρώσης, τότε με αυξανόμενο δείκτη των χαρακτηριστικών κυλίνδρου (C_w) θα μειώνεται η μέση θερμοκρασία συμπύκνωσης T_M . Τελικά θεωρήσαμε ως προϋπόθεση για τον υπολογισμό μας, ότι τα αποτελέσματα συμπύκνωσης κατά την πρώτη και την τελευταία διέλευση είναι ίσα για όλους τους κυλίνδρους:

Για την πρώτη διέλευση θεωρούμε ότι είναι το $R_f=0,5 \cdot 10^{-5}$ και για την τελευταία $R_f=0,3 \cdot 10^{-5}$.

Από αυτό βγαίνει ως συνισταμένη το πολύ σημαντικό συμπέρασμα ότι η αύξηση του δείκτη των χαρακτηριστικών του οδοστρωτήρα δεν οδηγεί πάντα στην καλύτερευση του αποτελέσματος της συμπύκνωσης, εάν ο κύλινδρος έχει βέλτιστη τοποθέτηση, ή με άλλα λόγια: για την επίλυση προβλημάτων συμπύκνωσης δεν είναι πάντα απαραίτητο, να χρησιμοποιούνται μόνον βαρείς και ως εκ τούτου ακριβοί οδοστρωτήρες. Συχνά μπορεί το επιθυμητό αποτέλεσμα συμπύκνωσης να επιτευχθεί μόνον με τη χρήση του βέλτιστου προγράμματος κυλίνδρωσης.

h m	q Kg/m ² [1]	T_E °C [2]	t_E s [3]	T_o °C [4]	t_o s [5]	u_F m/s [6]	L_o m [7]	L m [8]	L_{korr} m [9]	t_{Ekorr} s [10]	T_{Ekorr} °C [11]	t_B s [12]	T_B °C [13]	T_M °C [14]	n [15]	R_f *10 ⁵ [16]
0,02	47	130	80	»160	-	0,118	-	9	30	254	100	97	126	96	2	0,45
0,04	94	102	780	162	-	0,059	-	46	-	-	-	148	140	113	4	1,38
0,06	141	91	2000	138	340	0,039	13	65	-	-	-	549	129	106	7	2,67
0,08	188	85	3450	124	1030	0,03	31	72	-	-	-	1261	119	99	9	3,5

Πίνακας 8.10 Μέση θερμοκρασία συμπύκνωσης και συντελεστής κυλίνδρωσης ως συνάρτηση του πάχους της στρώσης
Μίγμα N, $\rho=2350$ Kg/m³, $C_w=0,025$ N/mm², $T_o=160^\circ\text{C}$, $T_L=15^\circ\text{C}$, $\omega=5$ m/s, $e_o=665$ Pa, $b=5,0$ m, $A=27,8$ Kg/s,
 $l'=1,40$ m, $V_E=V_W=1,11$ m/s, $c=2,5$ K=0,9

C_w N/mm ²	T_E °C	t_E s	T_o °C	t_o s	L_o m	L m	L_{korr} m	t_{Ekorr} s	T_{Ekorr} °C	t_B s	T_B °C	T_M °C	R_f *10 ⁵
0,020	123	360	»160	-	-	21	30	503	114	97	146	127	1,61
0,025	102	780	162	-	-	46	-	-	-	148	140	117	1,88
0,030	89	1110	135	220	13	52	-	-	-	387	121	102	1,88
0,035	80	1420	117	470	28	56	-	-	-	650	108	91	1,89
0,040	73	1720	104	730	43	58	-	-	-	916	96	82	1,88
0,045	68	1950	94	970	57	58	-	-	-	1156	87	76	1,89

Πίνακας 8.11: Μέση θερμοκρασία συμπύκνωσης και συντελεστής κυλίνδρωσης ως συνάρτηση του δείκτη
των χαρακτηριστικών του κυλίνδρου
Μίγμα N, $\rho=2350$ Kg/m³, $h=0,04$ m, $T_o=160^\circ\text{C}$, $T_L=15^\circ\text{C}$, $\omega=5$ m/s, $e_o=665$ Pa, $b=5,0$ m, $A=27,8$ Kg/s,
 $l'=1,04$ m, $V_E=V_W=1,11$ m/s, $c=2,5$, $q=94$ Kg/m², $V_F=0,059$ m/s, $n=5$.

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειώσουμε δυο εξαιρέσεις:

α) Το αναφερόμενο συμπέρασμα δεν ισχύει για δονητικό οδοστρωτήρα, διότι εάν τεθεί εκτός λειτουργίας ο μηχανισμός δόνησης τότε το C_W γίνεται μικρότερο, και έτσι η κρίσιμη θερμοκρασία και ακόμη η μέση θερμοκρασία συμπύκνωσης αυξάνονται. Ακριβώς αυτό είναι το μεγάλο πλεονέκτημα του δονητικού έναντι του στατικού κυλίνδρου με τα ίδια χαρακτηριστικά. Μια εντύπωση αυτού του αποτελέσματος μπορούμε να αποκομίσουμε από τον Πίνακα 8.12: Εδώ έχουμε υπολογίσει διαφορετικά με την δυναμική τιμή C_{CW} του κυλίνδρου στις παρακάτω περιπτώσεις: Στην πρώτη με την παραδοχή ότι η δόνηση τέθηκε σε λειτουργία στις πορείες εμπρός και πίσω ($K=1,6$), ενώ στην δεύτερη με την παραδοχή ότι ο κύλινδρος κινήθηκε προς τον διαστρωτή στατικά και προς τα πίσω με δόνηση ($K=1,3$).

Απο τον υπολογισμό συμπεραίνουμε ότι με τον δονητικό κύλινδρο μπορεί να επιτευχθεί μια επίδραση συμπύκνωσης κατά 30% έως 50% μεγαλύτερη, από ότι με τον ίδιο κύλινδρο εάν αυτός εργασθεί μόνον στατικά: Σύμφωνα με τον Πίνακα 8.11 με στατικά χαρακτηριστικά $C_W=0,02\text{N/mm}^2$ ενός μεταλλικού κυλίνδρου ο συντελεστής συμπύκνωσης είναι $R_F=1,9 \cdot 10^{-5}$. Εάν εργασθεί ο ίδιος κύλινδρος με δόνηση, τότε ο δείκτης των χαρακτηριστικών οδοστρωτήρα αυξάνεται κατά $K=1,3$ και $K=1$, σε μια δυναμική τιμή για $C_W=0,033\text{ N/mm}^2$ καθώς και $0,040\text{ N/mm}^2$ και έτσι μεγαλώνει ο συντελεστής κυλίνδρωσης σε $R_F=2,4 \cdot 10^{-5}$ και $3,0 \cdot 10^{-5}$ αντίστοιχα.

β) Σε πολύ λεπτές στρώσεις αξίζει να τοποθετήσουμε κυλίνδρους με καλά χαρακτηριστικά. Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 8.10 δεν επαρκεί γενικά η μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία για T_O και T_E σε μια στρώση πάχους $0,02\text{ m}$ διότι ο τοποθετηθείς κύλινδρος με $C_W=0,025\text{ N/mm}^2$ είναι τελείως ανεπαρκής.

Στον πίνακα 8.13 υπολογίσαμε την R_f κατά την συμπύκνωση μιας στρώσης πάχους $0,02\text{ m}$ με κυλίνδρους με $C_W=0,035$ και $0,045\text{ N/mm}^2$.

Οι τιμές του R_f που επιτυγχάνονται ακόμη και με τη χρήση κυλίνδρων με καλά χαρακτηριστικά είναι πολύ χαμηλές και όταν ακόμη προσεχθεί το αποτέλεσμα συμπύκνωσης του δεύτερου τροχού.

(Για λόγους απλοποίησης μέχρι τώρα υπολογίζαμε με έναν τροχό).

Το πρόβλημα της συμπύκνωσης δε λύνεται λοιπόν με την τοποθέτηση βαρέων κυλίνδρων. Γι' αυτό αργότερα θα υποδείξουμε τα απαραίτητα μέτρα, για το

C_w στατικό N/mm ²	C_w δυναμικό N/mm ²	T_E °C	t_E s	T_o °C	t_o s	L_o m	L m	t_B s	T_B °C	T_M °C	R_F *10 ⁵
0,025	0,033 ^α	102	780	162	-	-	46	148	140	117	2,42
0,025	0,040 ^β	102	780	162	-	-	46	148	140	117	2,96
0,030	0,048 ^β	89	1110	135	220	13	52	387	122	102	3,08

α. Πρός τα εμπρός στατικά, προς τα πίσω τίθεται σε λειτουργία η δόνηση (K=1,3)

β. Η δόνηση είναι συνεχώς σε λειτουργία (K=1,6)

Πίνακας 8.12 Ο συντελεστής κυλίνδρωσης ως συνάρτηση του δείκτη των χαρακτηριστικών ενός δονητικού οδοστρωτήρα
Μίγμα N, $\rho=2350 \text{ Kg/m}^3$, $h=0,04 \text{ m}$, $T_o=160^\circ\text{C}$, $T_L=15^\circ\text{C}$, $\omega=5 \text{ m/s}$, $e_o=665 \text{ Pa}$, $b=5,0 \text{ m}$, $A=27,8 \text{ Kg/s}$,
 $l'=1,40\text{m}$, $VE=VW=1,11 \text{ m/s}$, $c=2,5$, $q=94 \text{ Kg/m}^2$, $VF=0,059 \text{ m/s}$, $n=5$.

C_w N/mm ²	T_E °C	t_E s	T_o °C	t_o s	L_o m	L m	L_{korr} m	t_{Ekorr} s	T_{Ekorr} °C	t_B s	T_B °C	T_M °C	R_F *10 ⁵
0,035	96	290	152	<50	-	17	30	508	77	136	118	105	1,39
0,045	79	480	119	130	8	20	30	644	69	226	104	89	1,12

Πίνακας 8.13: Μέση θερμοκρασία συμπύκνωσης και συντελεστής κυλίνδρωσης ως συνάρτηση του δείκτη των
χαρακτηριστικών του κυλίνδρου κατά τη συμπύκνωση μιας λεπτής στρώσης

Μίγμα N, $\rho=2350 \text{ Kg/m}^3$, $h=0,02 \text{ m}$, $T_o=160^\circ\text{C}$, $T_L=15^\circ\text{C}$, $\omega=5 \text{ m/s}$, $e_o=665 \text{ Pa}$, $b=5,0 \text{ m}$, $A=13,9 \text{ Kg/s}$,
 $l'=1,40\text{m}$, $VE=VW=1,11 \text{ m/s}$, $c=2,5$, $q=47 \text{ Kg/m}^2$, $VF=0,059 \text{ m/s}$, $n=4$.

αν μπορούν να επιτευχθούν στην περίπτωση αυτή ακόμη παραδεκτά αποτελέσματα συμπύκνωσης.

8.3.6 Η βέλτιστη ταχύτητα κυλίνδρωσης

Όπως διαπιστώθηκε ήδη στο κεφάλαιο 8.2 η βέλτιστη ταχύτητα κυλίνδρωσης από τεχνική άποψη πρέπει να είναι εκείνη κατά την οποία με τη βέλτιστη σχέση ταχύτητας κυλίνδρου και χρόνου φόρτισης καθώς και ταχύτητας κυλίνδρου και αριθμού διελεύσεων, μπορεί να επιτευχθεί το μεγαλύτερο αποτέλεσμα συμπύκνωσης.

Εδώ πρέπει να προσεχθεί ακόμη η κατανομή των διελεύσεων κυλίνδρου. Η κυλίνδρωση του πεδίου πρέπει κατά το δυνατόν να θεωρηθεί περατωμένη μόνον αφού προηγουμένος ο κύλινδρος έχει κυλινδρώσει όλο το πλάτος της τροχιάς.

Αυτό εξαρτάται από το διαθέσιμο χρόνο κυλίνδρωσης (t_w), τη μέση ταχύτητα (V_w), τον αριθμό των διελεύσεων που πρέπει να πραγματοποιηθούν, για να κυλινδρωθεί μια φορά σε όλο της το πλάτος η κατασκευαζόμενη τροχιά (N') στο μήκος του πεδίου συμπύκνωσης (L). Για ένα δίτροχο κύλινδρο ισχύει η επόμενη εξίσωση:

$$M = \frac{t_w \cdot u_w}{2N' \cdot L} \quad (8.21)$$

όπου M είναι ο αριθμός που δίδει, πόσες φορές κυλινδρώνεται σε όλο το πλάτος η κατασκευαζόμενη τροχιά κατά τη διάρκεια του διαθέσιμου χρόνου κυλίνδρωσης.

Για τον τρίτροχο κύλινδρο ο τύπος τροποποιείται ελαφρά:

$$M = \frac{t_w \cdot u_w}{2(N'+1) \cdot L} \quad (8.21a)$$

Εδώ για τον υπολογισμό ξεκινάμε με την παραδοχή ότι ο κύλινδρος πρέπει να κινείται στα ίδια ίχνη εμπρός και πίσω.

Για την περαίωση της συμπύκνωσης στην εγκάρσια διεύθυνση, πρέπει το M να είναι ακέραιος αριθμός. Πρέπει λοιπόν αρχικά να καθορισθεί αυτός ο αριθμός με μια κατ' εκτίμηση ταχύτητα, όπου θα εκλεγεί μια τιμή V_w καπως μικρότερη, από αυτή που συνήθως χρησιμοποιείται.

Παίρνουμε για M' τον αμέσως επόμενο ακέραιο αριθμό, έπειτα η βέλτιστη μέση ταχύτητα του κυλίνδρου είναι:

$$u_{wopt} = \frac{2N' \cdot L \cdot M'}{t_w} \quad (\text{για δίτροχο κύλινδρο}) \quad (8.22)$$

$$u_{wopt} = \frac{(2N'+1) \cdot L \cdot M'}{t_w} \quad (\text{για τρίτροχο κύλινδρο}) \quad (8.22a)$$

Ένα αριθμητικό παράδειγμα:

Υποθέτουμε τα παρακάτω:

- Πλάτος Λωρίδας $b = 5,00 \text{ m}$
- Πλάτος τρίτροχου κυλίνδρου $l_w = 1,80 \text{ m}$
- Πλάτος του εργαζόμενου τροχού $l_t = 0,55 \text{ m}$
- Διαθέσιμος χρόνος κυλίνδρωσης $t_w = 840 \text{ s}$
- Μήκος πεδίου κυλίνδρωσης $L = 36 \text{ m}$

Αρχικά θα υπολογισθεί το N' :

$$6 > \frac{5,00 \cdot 1,80}{0,55} > 5$$

Σε περίπτωση που είναι $N'=6$ τότε $k' = \frac{3,20}{6} = 0,53\text{m}$ και

$$l_t - l'_t < 0,10 \text{ m}$$

Γι' αυτό πρέπει να ληφθεί $N'=7$ $k' = \frac{3,20}{7} \approx 0,53\text{m}$ και

$$l_t - l'_t = 0,10 \text{ m}$$

Παίρνουμε για $V_w = 1,00 \text{ m/s}$ έπειτα γίνεται (σύμφωνα με τον τύπο 8.21a)

$$M = \frac{840 \cdot l}{2 \cdot 8 \cdot 36} = 1,45 \quad \text{ως εκ τούτου είναι } M'=2 \text{ και}$$

σύμφωνα με τον τύπο 8.22a $t'w_{opt} = 1,37 \text{ m/s}$.

8.4 Μερικοί ακόμη παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν το έργο της συμπύκνωσης

8.4.1 Το πάχος της στρώσης

Από τον πίνακα 8.10 φαίνεται ότι το πάχος της στρώσης έχει πολύ μεγάλη επιρροή στο αποτέλεσμα της συμπύκνωσης.

Κατά τον NIJBOER⁽⁸⁾ ισχύει η ακόλουθη εξίσωση:

$$R_f = f(h^{0,4}) \quad (8.23)$$

Είναι όμως βέβαιο, ότι αυτή η επιρροή έχει περιορισμένο πεδίο ισχύος.

Σε ένα παλαιό δοκίμιο για την συμπύκνωση μιας ασφαλτικής βάσης πάχους από 0,06 έως 0,18 m τοποθετήθηκε ένας μέσους βάρους λαστιχοφόρος οδοστρωτήρας και ένας τρίτροχος. Με αυτόν τον συνδυασμό οδοστρωτήρων έχουν επιτευχθεί τα παρακάτω φαινόμενα βάρη (Πίνακας 8.14).

Πάχος στρώσης (m)	Φαινόμενο βάρος (Kg/m ³)
0,06	2333
0,09	2349
0,12	2364
0,18	2341

Πίνακας 8.14: Φαινόμενο βάρος μιας ασφαλτικής στρώσης βάσης ως συνάρτηση του πάχους της στρώσης

Τα φαινόμενα βάρη του πίνακα 8.14 είναι μέσες τιμές φαινόμενων βαρών από 2 έως 3 θέσεις όπου έχει πραγματοποιηθεί και μια ορισμένη συμπύκνωση μεταγενέστερα.

Ωστόσο και με τον περιορισμό αυτόν οι διαφορές είναι σοβαρές.

Ως βέλτιστο πάχος με τις προϋποθέσεις που ίσχυαν κατά τη δοκιμή φαίνεται να είναι το πάχος $h=0,12m$.

Το μέγεθος αυτού του βέλτιστου πάχους πιθανόν να εξαρτάται από τις ιδιότητες του κυλίνδρου, τη σύνθεση του μίγματος, την ψύξη της στρώσης (καιρικές συνθήκες, θερμοτεχνικές ιδιότητες του υποστρώματος) κ.α.

Σχετικά με το πάχος της στρώσης μερικοί ακόμη παράγοντες έχουν μια έμμεση επίδραση στο αποτέλεσμα συμπύκνωσης, η οποία ενδεχομένως μπορεί να είναι σημαντικά μεγαλύτερη, από ότι η ήδη αναφερθείσα άμμεση επιρροή του πάχους.

Τέτοιοι παράγοντες είναι:

- Ο αριθμός των διελεύσεων οδοστρωτήρα. Αυτός είναι γραμμικά ανάλογος με το πάχος της στρώσης [τύπος (8.8)] και
- Η ψύξη της στρώσης, η οποία επηρεάζεται πάρα πολύ από το πάχος της στρώσης.

Στην τελευταία περίπτωση - επειδή πρέπει να προσεχθεί η ομαλότητα - είναι αναγκαίο να γίνεται λελογισμένη χρήση των υψηλών θερμοκρασιών του μίγματος.

Για τη βελτίωση του αποτελέσματος της συμπύκνωσης η αύξηση του πάχους της στρώσης αποτελεί πάντα ένα πολύ δραστικό μέσο.

Ακόμη και εάν η ομαλότητα της στρώσης με αυξανόμενο πάχος, γενικά, δε γίνει αρκετά καλή, μπορεί η αύξηση του πάχους της στρώσης, και κυρίως σε στρώσεις βάσης και συνδετικής να είναι εξ ολοκλήρου η σοβαρή εναλλακτική λύση του προβλήματος της συμπύκνωσης.

Στην Γαλλία π.χ. σε οδούς με βαρεία κυκλοφορία (Αυτοκινητόδρομοι) κατασκευάζονται στρώσεις κυκλοφορίας με πάχος 0,08m.

Μολονότι είναι πολύ δύσκολη η συμπύκνωση αυτών των μιγμάτων ωστόσο έχουν επιτευχθεί ικανοποιητικά αποτελέσματα συμπύκνωσης.

Κατά την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων συμπύκνωσης πρέπει βασικά να εκτιμηθούν όχι μόνον οι μέσες τιμές του φαινομένου βάρους, αλλά και η κατανομή τους στο πάχος της στρώσης.

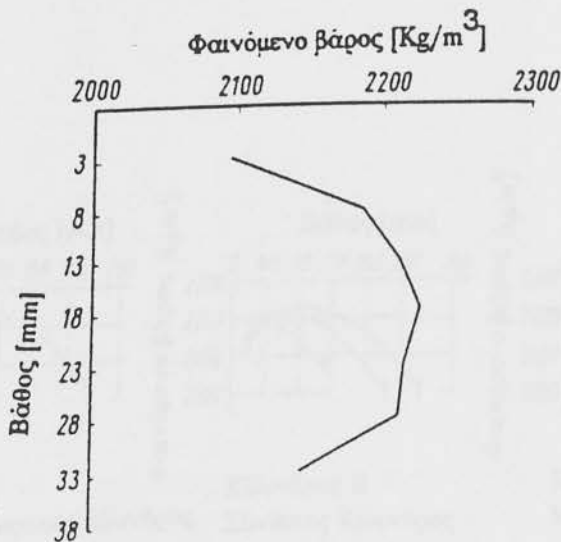
Γενικά δεν παρουσιάζεται εντελώς ομοιόμορφη κατανομή συμπύκνωσης σε εγκάρσια τομή κατά την έννοια του ύψους.

Στην επάνω και κάτω πλευρά το φαινόμενο βάρος είναι μικρότερο, ενώ στη μέση είναι μεγαλύτερο (Σχήμα 8.42).

Στο Σχήμα 8.43 δίνεται το φαινόμενο βάρος στρώσεων με διαφορετικά πάχη ως συνάρτηση του βάθους.

Η στρώση σε αυτήν τη δοκιμή συμπυκνώθηκε με τρεις διαφορετικούς κυλίνδρους. Το πάχος της ασφαλτικής βάσης ανέρχονταν σε 0,10-0,17-0,22 m αντίστοιχα. Το μικρότερο φαινόμενο βάρος μετρήθηκε στην κάτω πλευρά της στρώσης. Ακόμη διαπιστώθηκαν - ομολογουμένως με έκπληξη - μεγάλες διαφορές όσον αφορά στο βαθμό συμπύκνωσης, μεταξύ των χρησιμοποιηθέντων 3 κυλίνδρων. Αυτές οι διαφορές φαίνεται να εξαρτώνται από το πάχος της στρώσης. Ο κύλινδρος Β στη στρώση με πάχος 0,22m έχει πετύχει καλύτερα αποτελέσματα από ότι ο κύλινδρος C. Ο τελευταίος όμως συμπύκνωσε τη στρώση με πάχος 0,10m λίγο καλύτερα από ότι ο σύνθετος κύλινδρος Β.

Ο βαρύς δονητικός κύλινδρος Α έχει ξεχωρίσει πολύ καλά στη στρώση με πάχος 0,10m, όσο και σ' αυτήν με πάχος 0,22m.



Σχήμα 8.42: Φαινόμενο βάρος μιας στρώσης χονδρής διαβάθμισης ασφαλτοσκυροδέματος πάχους 0,04m ως συνάρτηση του βάθους.

Το εργαστήριο PONTS ET CHAUSSEES (LPCP) στο Παρίσι μέτρησε το φαινόμενο βάρος μιας σειράς καρότων, που προέρχονταν από Ολλανδικές δοκιμές συμπύκνωσης από το 1972, σε μια ατομική τράπεζα, σε φέτες πάχους 5 mm (βλέπε σχ. 8.42). Η πορεία του φαινομένου βάρους δόθηκε με το ακόλουθο αδιάστατο μέγεθος:

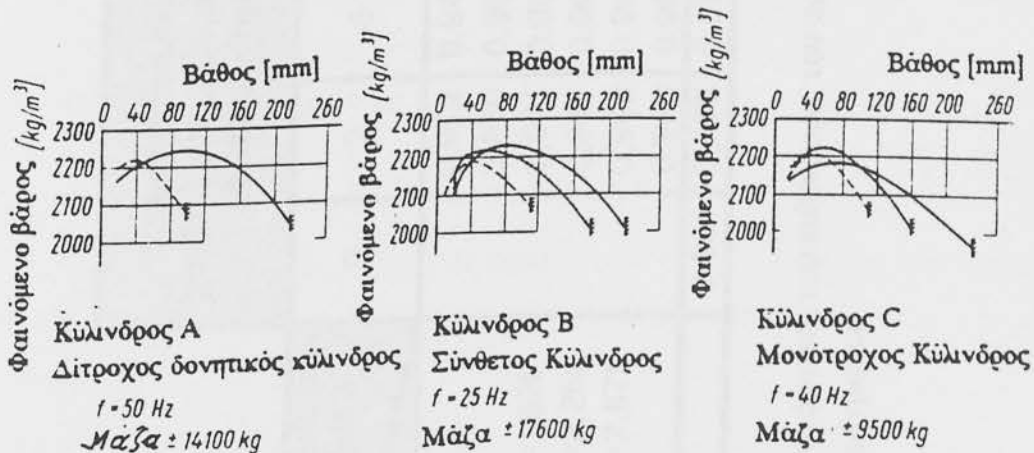
$$Y = \frac{3X_1}{X_3 + X_4 + X_5} \quad (8.24)$$

όπου $\chi_1 \dots \dots \chi_5$ είναι το φαινόμενο βάρος της 1.....5 φέτας από επάνω προς τα κάτω. Στο αναφερόμενο δοκίμιο το πάχος της στρώσης ήταν 0,04m, χ_4 ήταν επομένως το φαινόμενο βάρος της φέτας στο μέσο της στρώσης.

Ακόμη έχει υποθεθεί ότι η μέση τιμή του φαινόμενου βάρους από τις φέτες 3,4 και 5 αποτελεί μια ικανοποιητική εκτίμηση του φαινόμενου βάρους του ενδότερου τμήματος της στρώσης.

Όσο πιο μεγάλος είναι ο αριθμός γ τόσο πιο ομοιογενής είναι η συμπύκνωση της στρώσης.

Στον πίνακα 8.15 δίνονται οι τιμές σε συνάρτηση με τον κύλινδρο, τον αριθμό διελεύσεων και τη σύνθεση του μίγματος.



Σχήμα 8.43: Φαινόμενο βάρος μιας ασφαλτικής στρώσης χαλικοδέματος σε συνάρτηση με το βάθος και το είδος του κυλίνδρου σε διάφορα πάχη στρώσεων ($n=8$, $V_E=0,83 \text{ m/s}$).

		Ασφαλτοσκυρόδεμα χονδρής διαβάθμισης με φυσική άμμο				Ασφαλτοσκυρόδεμα χονδρής διαβάθμισης με προσθήκη θραυστής άμμου			
		0	2	5	13	0	2	5	13
Κύλινδρος	Αριθμός διελεύσεων Κυλίνδρου								
		0	2	5	13	0	2	5	13
	Δίτροχος κύλινδρος 5,2t		0,972	0,948	0,967		0,931	0,935	0,948
	Δονητικός κύλινδρος 5,2t		0,970	0,982	0,987		0,953	0,978	0,966
	Λαστιχοφόρος οδοστρωτ. P=1,52t		0,971	0,958	0,993		0,957	0,979	0,991
	Λαστιχοφόρος οδοστρωτ. P=2,25t		0,967	0,992	0,994		0,975	0,978	0,989
	Λαστιχοφόρος οδοστρωτ. P=2,87t		0,992	0,993	0,997		0,983	0,987	0,977
	Μονότροχος κύλινδρος		0,980	0,989	0,995		0,960	0,981	0,982
	Μέση τιμή	0,951	0,975	0,977	0,989	0,949	0,960	0,973	0,976

Πίνακας 8.15: Τιμές - Υ ως συνάρτηση του κυλίνδρου, του αριθμού των διελεύσεων κυλίνδρου και της σύνθεσης του μίγματος

Από τον πίνακα αυτό βγαίνουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

a) Λιγότερο ομοιογενής είναι η στρώση χωρίς κυλίνδρωση. Η διαφορά του φαινόμενου βάρους στο μέσο και στην επάνω πλευρά της στρώσης ανέρχεται σε 5%

b) Με την κυλίνδρωση αυξάνεται η ομοιογένεια

c) Η ομοιογένεια της στρώσης με λαστιχοφόρους κυλίνδρους είναι η καλύτερη. Η στρώση που συμπυκνώθηκε με δίτροχο κύλινδρο δείχνει τη μικρότερη ομοιογένεια.

Στο μίγμα με θραυστή άμμο οι διαφορές είναι, στατιστικά σημαντικές. Ο βαρύτερος λαστιχοφόρος οδοστρωτήρας έχει πετύχει ήδη με 2 διελεύσεις τη μεγαλύτερη ομοιογένεια.

d) Η ομοιογένεια σε εύκολα συμπυκνούμενα μίγματα με φυσική άμμο είναι μεγαλύτερη, από ότι σε μίγματα με θραυστή άμμο.

8.4.2 Προσυμπύκνωση της στρώσης με το διαστρωτή

Το ασφαλτόμιγμα ως επί το πλείστον διαστρώνεται σε λωρίδες με το διαστρωτή και προσυμπυκνώνεται.

Για το σκοπό αυτό οι διαστρωτές είναι εξοπλισμένοι με μια δονητική πλάκα, μια πλάκα κρούσης ή με ένα συνδυασμό αυτών των δυο εργαλείων συμπύκνωσης.

Με την προσυμπύκνωση του διαστρωτή μπορεί ο βαθμός συμπύκνωσης κατά MARSHALL να φθάσει σε 85 έως 92% ήδη πριν από την έναρξη της κυλίνδρωσης.

Ταχύτητα του διαστρωτή (m/s)	Ανύψωση (mm)	Βαθμός συμπύκνωσης κατά MARSHALL (%)
0,027	7	92,1
0,027	9	92,5
0,053	9	91,5

Πίνακας 8.16: Η προσυμπύκνωση μιας αμμοασφάλτου σε συνάρτηση με την ανύψωση της πλάκας κρούσης και την ταχύτητα του διαστρωτή.

Η στρώση που διαστρώνεται με χέρια έχει ένα βαθμό συμπύκνωσης περίπου μόνο 75%. Ο Vizi⁽⁴⁹⁾ έχει βρεί τις ακόλουθες τιμές (Πίνακας 8.16) κατά τη συμπύκνωση μιας αμμοασφάλτου πάχους 0,12 m με ένα διαστρωτή A B G TITAN 300 σε συνάρτηση με την ταχύτητα του διαστρωτή και το ύψος της ανύψωσης ($f_v = \max$) της πλάκας κρούσης.

Σε διάφορες ανακοινώσεις παλιότερα δόθηκαν συχνά μεγαλύτερες τιμές συμπύκνωσης. Σε μερικές μάλιστα περιπτώσεις επιτεύχθηκαν τιμές επάνω από 95% όπως έδειξαν τα αποτελέσματα δοκιμών του BOHMER⁽⁵⁰⁾, είναι δυνατόν στην πραγματικότητα σε ιδανικές συνθήκες, να επιτευχθεί με διαστρωτή ένας πολύ υψηλός βαθμός συμπύκνωσης.

Αυτές όμως οι προϋποθέσεις στην πράξη ισχύουν πολύ λίγο ή δεν παρουσιάζονται καθόλου.

Μια μεγάλη προσυμπύκνωση του ασφαλτομίγματος με το διαστρωτή μπορεί να είναι σπουδαία για την επίτευξη ενός υψηλού βαθμού συμπύκνωσης.

Στο επόμενο διάγραμμα (Σχ.8.44) υπολογίσθηκε με τη βοήθεια του τύπου:

$$H_A = H_{AO} - (H_{AO} - H_{AA}) \times 0.56^a \quad (8.25)$$

στον τύπο αυτό είναι $a = 10^5 \cdot R_f$

H_{AO} Τελική τιμή

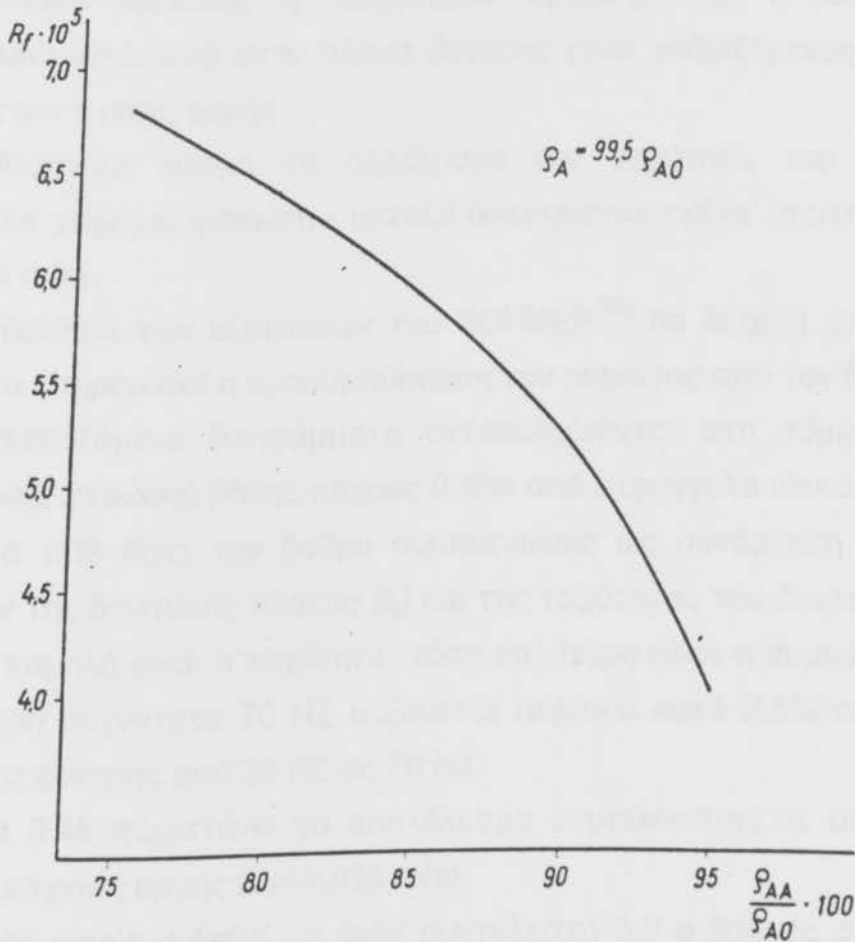
H_{AA} Αρχική τιμή του ποσοστού των κενών

ο συντελεστής (R_f) κυλίνδρωσης, ο οποίος είναι απαραίτητος - σε συνάρτηση με την προσυμπύκνωση του μίγματος - για την επίτευξη με κυλίνδρωση ενός απόλυτου βαθμού συμπύκνωσης 99,5%. (Απόλυτοι βαθμοί συμπύκνωσης αποδίδουν μια μεγαλύτερη πυκνότητα στρώσης από ότι βαθμοί συμπύκνωσης κατά MARSHALL).

Απο το διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι πρέπει να επιτευχθεί ένας συντελεστής κυλίνδρωσης της τάξεως του $6,4 \cdot 10^{-5}$ όταν ο διαστρωτής επιτελεί προσυμπύκνωση 80%. Σε μια προσυμπύκνωση 90% πρέπει να είναι το $R_f = 5,2 \cdot 10^{-5}$. Σε ένα βαθμό προσυμπύκνωσης 92% αρκεί μάλιστα ένας συντελεστής κυλίνδρωσης $R_f = 4,8 \cdot 10^{-5}$.

Ένας υψηλός βαθμός συμπύκνωσης κατά την προσυμπύκνωση είναι ιδιαίτερα σπουδαίος τότε όταν οι καιρικές συνθήκες είναι δυσμενείς (επειδή πρακτικά

η προσυμπύκνωση είναι ανεξάρτητη από αυτές) ή εάν στην διάθεσή μας υπάρχει μια χαμηλή δυναμικότητα κυλίνδρων.



Σχήμα 8.44: Ο απαιτούμενος συντελεστής κυλίνδρωσης (R_f) ως συνάρτηση της προσυμπύκνωσης του ασφαλτομίγματος.

Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα της υψηλής προσυμπύκνωσης της ασφαλτικής στρώσης είναι ότι ο κύλινδρος μπορεί να μπει νωρίτερα στην προς συμπύκνωση στρώση.

Το T_{okrit} στην περίπτωση αυτή είναι υψηλότερο, οι παραμορφώσεις από την κυλίνδρωση είναι πολύ μικρές και η ομαλότητα της στρώσης γίνεται καλύτερη.

Από την άποψη αυτή μπορεί να είναι πολύ βασικό ιδιαίτερα σε χοντρότερες στρώσεις.

Όπως αναφέρθηκε ήδη ένας καλός διαστρωτής διαθέτει την εποχή αυτή μια συσκευή συμπύκνωσης με διπλή δράση, δηλαδή μια πλάκα κρούσης και μια δονητική εγκατάσταση.

Στην πλάκα κρούσης η συχνότητα κρούσης και η ανύψωση είναι μεταβαλλόμενες, ενώ στην πλάκα δόνησης είναι ρυθμιζόμενες η συχνότητα δόνησης και η ροπή ορμής.

Μπορούμε ακόμα να αλλάξουμε την ταχύτητα του διαστρωτή - πρόσφατα χωρίς κλιμάκωση - μεταξύ διευρυμένων ορίων (περίπου 0,017 m/s έως 0,25 m/s).

Με την βοήθεια των εξετάσεων του BOHMER⁽⁵⁰⁾ θα δειχθεί με ποιό τρόπο μπορεί να επηρεασθεί η προσυμπύκνωση του μίγματος από τον διαστρωτή.

Τα παρουσιαζόμενα διαγράμματα ανταποκρίνονται στη συμπύκνωση μιας ασφαλτικής στρώσης βάσης πάχους 0,12m από στρογγυλά υλικά.

Το Σχήμα 8.18 δίνει τον βαθμό συμπύκνωσης ως συνάρτηση του αριθμού κρούσεων της δονητικής πλάκας (f_v) και της ταχύτητας του διαστρωτή.

Όσο πιο χαμηλή είναι η ταχύτητα, τόσο καλύτερη είναι η συμπύκνωση. Στην μεγαλύτερη συχνότητα 70 HZ αυξάνεται περίπου κατά 2,5% εάν αυξηθεί η συχνότητα δόνησης από 20 HZ σε 70 HZ.

Το Σχήμα 8.45 παριστάνει το αποτέλεσμα συμπύκνωσης σε συνάρτηση με την σχετική ροπή ορμής ($V_F=0,033$ m/s).

Εάν η ροπή ορμής αυξηθεί με έναν συντελεστή 3,9 ο βαθμός συμπύκνωσης βελτιώνεται περίπου κατά 3,5%.

Στο Σχήμα 8.46 δίνεται ο βαθμός συμπύκνωσης ως συνάρτηση της συχνότητας κρούσης και της ανύψωσης της πλάκας.

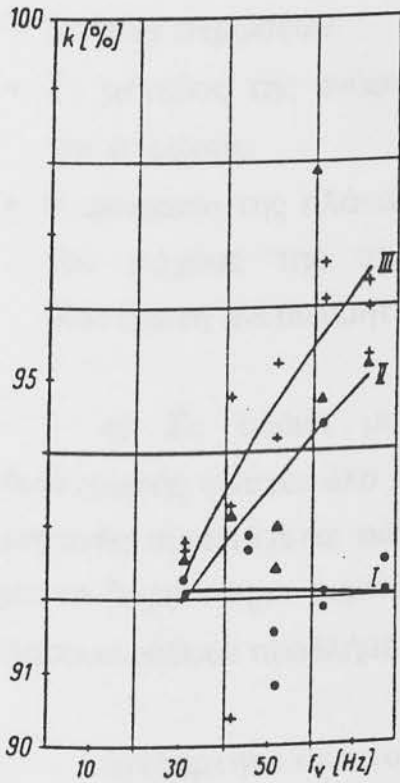
Σε μια μέγιστη ανύψωση 9 mm ήταν δυνατόν να ξεπεράσει μάλιστα έναν βαθμό συμπύκνωσης 100%.

($V_F=0,01$ m/s, $f_s=50$ HZ).

Αυτές οι τιμές μπορεί να οδηγήσουν σε υπερβολικά αισιόδοξα αποτελέσματα. Πάνω στο θέμα αυτό αξίζει να σημειώσουμε ότι στα μέσα του 1960 είχε διατυπωθεί η πρόβλεψη πως μελλοντικά θα ήταν δυνατόν να παραλείψουμε την τοποθέτηση κυλίνδρων επειδή η συμπύκνωση θα μπορούσε να επιτευχθεί μόνο με τον διαστρωτή. Αυτές βέβαια οι προσδοκίες δεν έχουν εκπληρωθεί μέχρι σήμερα και φαίνεται μάλλον απίθανο να εκπληρωθούν τουλάχιστον στο εγγύς μέλλον. Υπάρχουν διάφοροι λόγοι που συνηγορούν στην άποψη αυτή:

α) Σε μια συμκνούμενη, σε περιοχή υψηλών θερμοκρασιών, ασφαλτική στρώση παρουσιάζονται κατά την ψύξη σημαντικές ρωγμές οι οποίες μόνον με συνεχή κυλίνδρωση μπορούν να εξαλειφθούν.

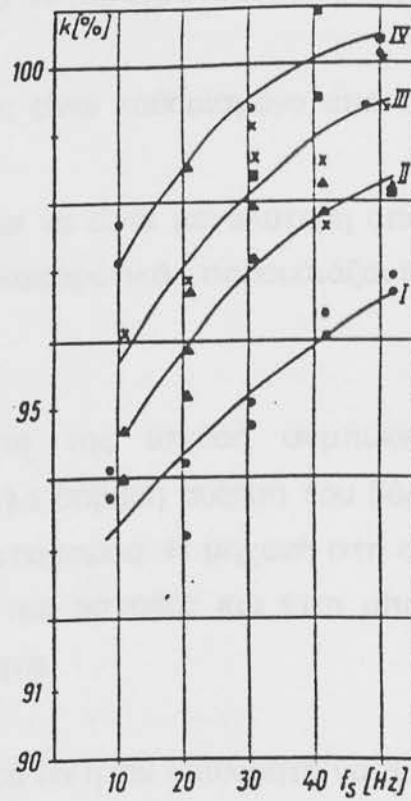
Για το λόγο αυτό η συμπύκνωση του ασφαλτομίγματος μόνον με το διαστρωτή δεν είναι ούτε επιθυμητή.



Σχήμα 8.45

Ο βαθμός συμπύκνωσης ως συνάρτηση της σχετικής δόνησης και της σχετικής ροπής ορμής της δονητικής πλάκας, $VF=0,033 \text{ m/s}$

- I. σχετική ροπή ορμής 1,0 •
- II. σχετική ροπή ορμής 2,3 ▲
- III. σχετική ροπή ορμής 3,9 +



Σχήμα 8.46

Ο βαθμός συμπύκνωσης ως συνάρτηση της συχνότητας κρούσης και της ανύψωσης $VF=0,010 \text{ m/s}$

- I. Ανύψωση πλάκας 2 mm •
- II. Ανύψωση πλάκας 4 mm ▲
- III. Ανύψωση πλάκας 7 mm ×
- IV. Ανύψωση πλάκας 9 mm ■

b) Στην πράξη υπάρχει μια ολόκληρη σειρά από παράγοντες οι οποίοι καθιστούν αδύνατη τη βέλτιστη τοποθέτηση του διαστρωτή. Ιδιαίτερα προβάλλονται από αυτούς οι παρακάτω δυο σπουδαίοι:

- Τίθενται οικονομικά όρια όσον αφορά στην ελάχιστη ταχύτητα του διαστρωτή, αφού πρέπει να έχει μια ελάχιστη ισχύ διάστρωσης. Γι' αυτό στην πράξη είναι συνήθως αδύνατο, ένας διαστρωτής να εργάζεται με μια ταχύτητα μικρότερη από 0,05 m/s για να πραγματοποιηθεί συμπύκνωση λεπτών στρώσεων.
- Το μέγεθος της ανύψωσης της πλάκας είναι καθορισμένο από το πάχος της στρώσης.
- Η ανύψωση της πλάκας δεν επιτρέπεται να είναι μεγαλύτερη από το 1/10 του πάχους της στρώσης, γιατί διαφορετικά παρουσιάζονται στον διαστρωτή ανεπιθύμητοι συντονισμοί.

c) Σε ακόμη μεγαλύτερη αύξηση της ισχύος συμπύκνωσης ο διαστρωτής γίνεται όλο και βαρύτερος. Μια σοβαρή αύξηση του βάρους της μηχανής συνεπάγεται αύξηση δαπάνης μεταφοράς. Η μηχανή στη συνέχεια, με το βαρύ τμήμα συμπύκνωσης γίνεται πιο ασταθής και έτσι μπορούν να παρουσιασθούν προβλήματα στην ομαλότητα.

Ανεξάρτητα από τα προαναφερθέντα θα ήταν επιθυμητό να αυξήσουμε ακόμη την ισχύ συμπύκνωσης του διαστρωτή.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.44 θα ήταν δυνατόν με μια βελτίωση μόνον κατά 1% της προσυμπύκνωσης, να μειώσουμε την απαιτούμενη ισχύ κυλίνδρωσης κατά 5% περίπου.

Παράλληλα, με μια κατά το δυνατόν υψηλότερη προσυμπύκνωση, πρέπει ο διαστρωτής να κατανέμει το μίγμα ομοιόμορφα σε όλο το πλάτος της τροχιάς που θα προσυμπυκνώσει.

Σε διαστρωτή με ρυθμιζόμενο πλάτος μπορεί να συμβεί στις θέσεις κάτω από τις κινούμενες προς τα έξω πλάκες να υπάρχει χαμηλότερος βαθμός συμπύκνωσης.

Συνήθως με την κυλίνδρωση δεν μπορεί να εξαλειφθεί τελείως η διαφορετική προσυμπύκνωση της στρώσης.

Σε μερικούς διαστρωτές το μέσο της πλάκας τροφοδοτείται με λιγότερο υλικό και έτσι προξενείται μια κατά κάποιο τρόπο ραφή η οποία δεν μπορεί να συμπυκνωθεί ικανοποιητικά.

Με τα ελαττώματα αυτά είναι δυνατόν μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα από την κατασκευή να παρουσιασθούν στη επιφάνεια του οδοστρώματος σοβαρές φθορές.

8.4.3 Αποτέλεσμα συμπύκνωσης και δυναμικότητα κατασκευής

Η εγκατεστημένη ισχύς του διαστρωτή επηρεάζει με διάφορους τρόπους το αποτέλεσμα της συμπύκνωσης.

- Η βέλτιστη μέση θερμοκρασία συμπύκνωσης εξαρτάται μεταξύ άλλων και από την εγκατεστημένη ισχύ A του διαστρωτή. Με αυξανόμενη ισχύ αυξάνεται η ταχύτητα του διαστρωτή, και μειώνεται η προσυμπύκνωση με τον διαστρωτή, το βέλτιστο μήκος πεδίου κυλίνδρωσης και η μέση αρχική θερμοκρασία κυλίνδρωσης.
- Ο αριθμός των εφικτών διελεύσεων κυλίνδρου είναι αντιστρόφως ανάλογος προς την εγκατεστημένη ισχύ του διαστρωτή.

Στον Πίνακα 8.17 έχει υπολογισθεί το αποτέλεσμα συμπύκνωσης ως συνάρτηση της εγκατεστημένης ισχύος του διαστρωτή κατά τη συμπύκνωση μιας ασφαλτικής στρώσης πάχους $0,04\text{m}$ με κανονικές ιδιότητες συμπύκνωσης. (Ο υπολογισμός έγινε για τον εργαζόμενο τροχό ενός βαρέος δίτροχου κυλίνδρου).

Η διαφορετική προσυμπύκνωση, που εξαρτάται από την ταχύτητα του διαστρωτή δεν έχει ληφθεί υπόψη.

Ο συντελεστής κυλίνδρωσης σύμφωνα με τον υπολογισμό αυτό είναι περίπου αντιστρόφος ανάλογος προς την εγκατεστημένη ισχύ του διαστρωτή. Στην πραγματικότητα οι διαφορές - με την επίδραση της προσυμπύκνωσης - είναι ακόμη μεγαλύτερες.

Υπάρχει ένας σπουδαίος συσχετισμός μεταξύ εγκατεστημένης ισχύος του διαστρωτή και αποτελέσματος συμπύκνωσης. Η ισχύς συμπύκνωσης των κυλίνδρων πρέπει να προσαρμοσθεί στην εγκατεστημένη ισχύ του διαστρωτή. Αυτό μπορεί ακόμη να σημαίνει ότι σε περιπτώσεις με πρόβλημα συμπύκνωσης θα πρέπει η εγκατεστημένη ισχύς να μειωθεί.

A	u_F	L	L _{korr}	t _{E_{korr}}	T _{E_{korr}}	t _B	T _B	T _M	n	RF
Kg/s	m/s	m	m	s	°C	s	°C	°C		105
13,9	0,030	18,6	30	1000	93	90	146	123	9	3,60
27,8	0,059	37	-	-	-	111	144	122	4	1,60
41,7	0,089	55	-	-	-	165	138	120	3	1,10
55,6	0,118	73	-	-	-	219	133	118	2	0,75

Πίνακας 8.17: Η επίδραση της εγκατεστημένης ισχύος A στο αποτέλεσμα συμπύκνωσης.

Μίγμα: N, $C_w=0.025$ N/mm², $c=2.5$, $l'=1.50$ m, $u_E=u_w 1.11$ m/s, $T_o=160^\circ\text{C}$, $h=0.04$ m, $b=5.0$ m, $q=94$ Kg/m², $T_L=15^\circ\text{C}$, $\omega=5$ m/s, $e_o=665$ Pa, $K=0.85$, $T_E=108^\circ\text{C}$, $t_E=620$ s.

8.4.4 Μεταγενέστερη συμπύκνωση της υποδομής κατά την κυλίνδρωση.

Κατά την διάρκεια συμπύκνωσης μιας ασφαλικής στρώσης παρουσιάζονται τάσεις ακόμη και στην υποδομή. Έτσι υπό ορισμένες προϋποθέσεις μαζί με τη συμπυκνούμενη ασφαλική στρώση συμπυκνώνεται και η στρώση υποδομής.

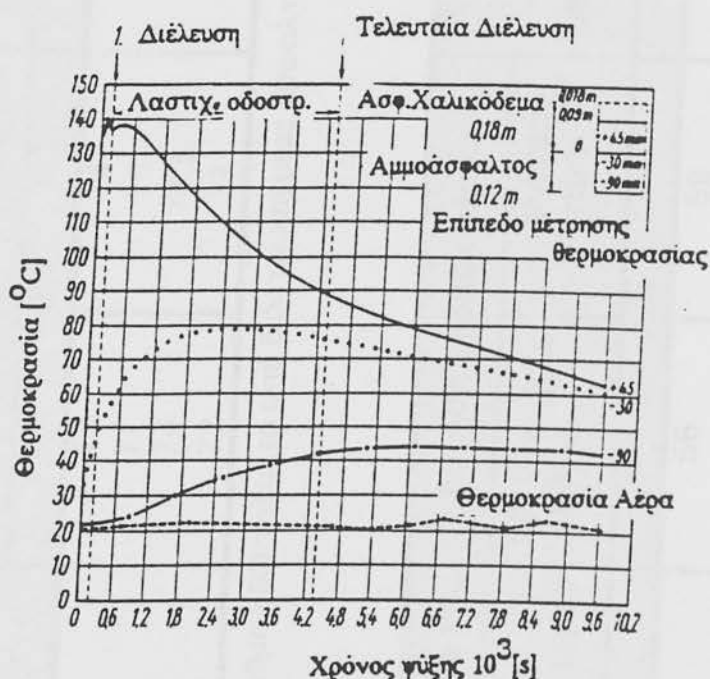
Σε μια ασφαλική υποδομή το μέτρο αυτής της μεταγενέστερης συμπύκνωσης εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

- την θερμοκρασία
- την θερμική αγωγιμότητα των ασφαλικών στρώσεων
- την ποσότητα θερμότητας (θερμοκρασία, ειδική θερμότητα, πάχος) της διαστρωνόμενης στρώσης
- τις καιρικές συνθήκες και τις ιδιότητες του κυλίνδρου.

Κάτω από βέλτιστες συνθήκες είναι δυνατή μια μεταγενέστερη συμπύκνωση μέχρι περίπου 2% πέραν του υπάρχοντος βαθμού συμπύκνωσης κατά MARSALL.

Από παλαιότερες δοκιμές που έγιναν στην Ολλανδία είναι γνωστά μερικά αποτελέσματα για την αύξηση της θερμοκρασίας της υποδομής.

Το Σχήμα 8.47 παριστάνει ένα παράδειγμα για την πορεία της θερμοκρασίας σε διάφορες ζώνες κατά την σταθεροποίηση του ασφαλτομίγματος.



Σχήμα 8.47: Η πορεία της θερμοκρασίας σε διάφορα επίπεδα μιας ασφαλτικής κατασκευής κατά τη διάρκεια διάστρωσης της επόμενης στρώσης.

Στον πίνακα 8.18 δίνονται οι τιμές της θερμοκρασίας μιας αμμοασφάλτου, που μετρήθηκαν 30 mm κάτω από την επιφάνεια, κατά την διάστρωση μιας ασφαλτικής στρώσης βάσης σε διάφορα πάχη.

Ακόμη διαπιστώθηκε μια αύξηση της θερμοκρασίας μεταξύ 44 και 50 K. Ο χρόνος για την επίτευξη της υψηλότερης θερμοκρασίας ανήλθε σε 45 έως 130 λεπτά.

Ο Πίνακας 8.19 δείχνει την αύξηση της θερμοκρασίας σε μια ασφαλτική υποδομή χαλικοδέματος. Η θέρμανση αυτής της στρώσης είναι σημαντικά χαμηλότερη και βρίσκεται σε 32 έως 41 K.

Ο χρόνος μέχρι την επίτευξη της υψηλότερης θερμοκρασίας ήταν από 40 έως 70 λεπτά.

Η διαφορά αυτή μεταξύ αμμοασφάλτου και ασφαλτικού χαλικοδέματος προκλήθηκε κατά κάποιο τρόπο από το διαφορετικό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας των δύο μιγμάτων. Επειδή οι παράμετροι, (θερμοκρασία του αέρα, θερμοκρασία της υποδομής) κατά τη διάρκεια διενέργειας της δοκιμής

Πάχος της κατασκευαζόμενης ασφαλτικής στρώσης βάσης	Μέση θερμοκρασία αέρα	Θερμοκρασία κατασκευαζόμενης ασφαλτικής στρώσης βάσης (εκτιμήθηκε)	Θερμοκρασία της αμμοασφαλτικής στρώσης στην αρχή (-30mm στάθμη)	Αύξηση θερμοκρασίας		Χρόνος για την επίτευξη της υψηλότερης τιμής
				μετά από 3600s	ανώτερη τιμή	
(m)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)		min
0,06	22	145	25	73	74	55
0,09	21	142	31	77	78	45
0,12	22	135	30	74	74,5	65
0,18	24	140	22	72	77	130

Πίνακας 8.18: Αύξηση θερμοκρασίας σε μια στρώση αμμοασφάλτου 0,12 m (στάθμη - 30mm) μετά από διάστρωση μιας ασφαλτικής στρώσης βάσης

Πάχος της ασφαλτικής στρώσης βάσης	Μέση θερμοκρασία αέρα	Θερμοκρασία κατασκευαζόμενης στρώσης (εκτιμήθηκε)	Θερμοκρασία της υποδομής στην αρχή (-30 mm στάθμη)	Αύξηση θερμοκρασίας		Χρόνος για την επίτευξη της υψηλότερης τιμής
				μετά από 1800 s	υψηλότερη τιμή	
(m)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)		(°C)
0,06	27	128	27	56	59	50
0,06	21	128	30	67	69	40
0,09	25	142	31*	63*	72*	70

Πίνακας 8.19: Θερμοκρασία σε μια ασφαλτική στρώση βάσης (-30 mm στάθμη) μετά από διάστρωση της επόμενης ασφαλτικής στρώσης βάσης

δεν ήταν πάντα οι ίδιοι, γι' αυτό δεν ήταν δυνατό να εξαχθεί μια ικανοποιητικής ακρίβειας, σχέση στην υποδομή μεταξύ της ανόδου της θερμοκρασίας και των άλλων μεγεθών επιρροής.

Στον πίνακα 8.20 δίνεται η αύξηση του φαινομένου βάρους ασφαλτικής στρώσης βάσης που προκλήθηκε από μεταγενέστερη συμπύκνωση. Αυτή η μεταγενέστερη συμπύκνωση έφτασε σε μια τιμή μεταξύ 0,7 έως 1,0 %.

Ωστόσο πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η αύξηση αυτή πιθανόν να πραγματοποιείται σχεδόν αποκλειστικά στο επάνω μέρος της στρώσης.

Γι' αυτό η μεταγενέστερη συμπύκνωση βελτιώνει κατά πρώτον την ομοιογένεια της στρώσης.

Πάχος της διαστρωμένης στρώσης m	Φαινόμενο βάρος της υποδομής	
	πρίν	μετά
	την συμπύκνωση της στρώσης Kg/m ³	
0,06	2312	2335
0,09	2333	2350

Πίνακας 8.20: Αύξηση του φαινομένου βάρους ενός ασφαλτικού χαλικοδέματος υποδομής ύστερα από τη μεταγενέστερη συμπύκνωση.

Κατά την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των δοκιμών που έγιναν στην Ολλανδία δεν πρέπει να αγνοήσουμε το γεγονός ότι οι δοκιμές αυτές έγιναν κάτω από πολύ ευνοϊκές συνθήκες.

Για να καταστεί δυνατή μια βέλτιστη μεταγενέστερη συμπύκνωση, πρέπει να ληφθεί υπόψη ο χρόνος που απαιτείται να διανυθεί έως ότου η υψηλότερη θερμοκρασία φτάσει στην υποδομή. Στην συνέχεια πρέπει να ακολουθήσει η συμπύκνωση ενδεχομένως με έναν βαρύ δονητικό κύλινδρο και με χαμηλή συχνότητα.

8.5 Πρακτική παρουσίαση της συμπύκνωσης

8.5.1 Γενικά

Κατά την κατασκευή ασφαλτικών οδοστρωμάτων μια βέλτιστη συμπύκνωση με κυλίνδρωση αποτελεί σπουδαία προϋπόθεση, για την κατασκευή ασφαλτικών στρωμάτων υψηλής ποιότητας και μεγάλης διάρκειας ζωής. Επειδή όμως ορισμένες ιδιότητες όπως μεγάλη πυκνότητα και ανθεκτικότητα σε καιρικές συνθήκες από τη μία, και υψηλή πρόσφυση και ακαμψία παραμόρφωσης από την άλλη, προκαλούν όχι σπάνια αλληλοαναιρούμενες επιδράσεις θα πρέπει κατά τη σύνθεση του ασφαλτομίγματος και κατά τη συμπύκνωση να ευρεθούν συμβιβαστικές λύσεις.

Έτσι π.χ. οι ασφαλτικές στρώσεις κυκλοφορίας παράλληλα με έναν υψηλό βαθμό συμπύκνωσης να διαθέτουν μια πολύ ικανοποιητική επιπεδότητα, να είναι απαλλαγμένες από ρωγμές και να παρουσιάζουν μια επιθυμητή πρόσφυση.

Σε ασφαλτικές στρώσεις βάσης και συνδετικής οι απαιτήσεις όπως είναι φυσικό αξιολογούνται διαφορετικά.

Σ' αυτές τις στρώσεις οι απαιτήσεις για ομαλότητα φθάνουν μόνο μέχρι το σημείο που είναι απαραίτητες για την εξασφάλιση ομαλότητας στη στρώση κυκλοφορίας. Κυματισμοί μεγάλου μήκους και οπές στην υποδομή, επιδρούν βλαπτικά στην ομαλότητα της επόμενης στρώσης κυκλοφορίας. Μερικές περιορισμένες ανωμαλίες, όπως π.χ. ένα ίχνος κυλίνδρου μπορούν με την επόμενη στρώση ή στρώσεις να εξαλειφθούν. Απαιτήσεις σε πρόσφυση μπορούμε να θέσουμε σε ασφαλτικές στρώσεις βάσεις και συνδετικής μόνο τότε, όταν αυτές δίδονται αμέσως και για μεγάλο χρονικό διάστημα στην κυκλοφορία.

Οι εργασίες κυλίνδρωσης ασφαλτικών πρέπει κατά προτεραιότητα να σχεδιάζονται και να διενεργούνται σε συνάρτηση με την διάρκεια του χρόνου κατασκευής των ασφαλτικών (διάστρωση).

Όμως χωρίς ανμφιβολία, εντελώς απαραίτητες προϋποθέσεις στη σύγχρονη κατασκευή ασφαλτικών, παράλληλα βέβαια με τις θεωρητικές γνώσεις για βασικά θέματα συμπύκνωσης, είναι η πρακτική είναι η πρακτική εμπειρία της ομάδας του συνεργείου, η αίσθηση και η αντίληψη όλων των μελών της

ομάδας για τα παρουσιαζόμενα κατά τη συμπύκνωση προβλήματα καθώς και η εν γένει εργασιακή τους πειθαρχία.

Η ομοιογένεια μιας στρώσης, η ίση κατανομή του φαινομένου βάρους, η ομαλότητα, η μη ύπαρξη ρωγμών σε μια στρώση με ικανοποιητική επιφανειακή υφή, εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις δυνατότητες και τις γνώσεις του οδηγού του οδοστρωτήρα.

Ακόμη εκτός από τη συνήθη εργασία κατά την επεξεργασία και συμπύκνωση ασφαλτομιγμάτων, υπάρχει μια σειρά από θέματα, τα οποία μπορούν να λυθούν μόνο με την πλήρη εμπειρία της ομάδας του συνεργείου και ιδιαίτερα του οδηγού του οδοστρωτήρα. Σ'αυτά ανήκουν μεταξύ άλλων, οι ραφές, οι συναρμογές, η εργασία με χέρια, οι επιφάνειες με δυσμενή γεωμετρικά στοιχεία, οι διαδρομές με μεγάλη κατωφέρεια ή ανωφέρεια.

Από τα προαναφερθέντα γίνεται σαφές, ότι κατά την κατασκευή κάθε στρώσης πρέπει να εφαρμοσθούν μια σειρά τρόπων εργασίας και μέθοδοι κυλίνδρωσης με διαφορετικούς κυλίνδρους, με την επίδραση πολλών μεγεθών επιρροής, όπως είναι οι ιδιότητες του μίγματος, το πάχος της στρώσης, το πλάτος της κατασκευαζόμενης οδού, οι καιρικές συνθήκες κ.λ.π. για την κατασκευή τμημάτων έργου που να ανταποκρίνονται στη σύμβαση. Παράλληλα με τον προσχεδιασμό των επί μέρους αποδόσεων και την οργάνωση της εργασίας κατά την κατασκευή, απομένουν στον πρακτικό τεχνικό εφαρμογής αρκετά προβλήματα τα οποία μπορούν να επιλυθούν μόνον κατά την κατασκευή από την εμπειρία και τη γνώση για το δομικό υλικό του ασφαλτικού μίγματος.

Η βιομηχανία κατασκευής μηχανημάτων προσφέρει πολυάριθμα μηχανήματα συμπύκνωσης για την κατασκευή ασφαλτικών στην Οδοποιία με πολυ διαφορετικές ιδιότητες και δυναμικότητες συμπύκνωσης. Ο κατασκευαστής πρέπει από το μεγάλο πλήθος προσφοράς να διαλέξει εκείνο το μηχάνημα που θα ανταποκρίνεται στη δυναμικότητα και γενικά στις απαιτήσεις της κατασκευής που πρέπει να φέρει εις πέρας.

Θα διευκόλυνε σημαντικά τον κατασκευαστή στη σωστή επιλογή εάν υπήρχε ένα ενιαίο πρότυπο μηχάνημα ελέγχου που να καθόριζε τα χαρακτηριστικά του κυλίνδρου και το συντελεστή κυλίνδρωσης διαφόρων κυλίνδρων, κάτω από τις ίδιες οριακές συνθήκες, όπως είναι ιδιότητες του μίγματος, θερμοκρασία μίγματος, ατμοσφαιρική θερμοκρασία κ.λ.π. και να

μπορούσε να χρησιμοποιηθεί από τον κατασκευαστή των κυλίνδρων για την τεχνική περιγραφή των προσφερόμενων απ' αυτόν μηχανημάτων.

Κατά τον προβληματισμό για εκλογή μηχανήματος παράλληλα με τις τεχνικές απαιτήσεις παίζουν όπως είναι φυσικό, εάν όχι ασήμαντο ρόλο τα οικονομικά ενδιαφέροντα του εργοταξίου και το ύψος των δαπανών.

Ακόμη τα υπάρχοντα ή τα διαθέσιμα στην εργοληπτική επιχείρηση μηχανήματα συμπύκνωσης καθορίζουν το σχέδιο τοποθέτησης μηχανημάτων και το πρόγραμμα συμπύκνωσης.

Το σχέδιο προμήθειας μηχανημάτων πρέπει να προσαρμοσθεί στα βασικότερα πεδία δραστηριότητας της επιχείρησης και τα προτεινόμενα για προμήθεια παραγωγικά μέσα πρέπει να ανταποκρίνονται σ' αυτές τις δραστηριότητες και παράλληλα να είναι οικονομικά. Από τους υπάρχοντες κυλίνδρους πρέπει να εκλεγούν βασικά οι σωστότεροι.

Εκεί όπου αναμένουμε ότι τα υπάρχοντα συστήματα συμπύκνωσης δεν θα μπορούν να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις που έχουμε θέσει τεχνικά και οικονομικά τότε είναι απαραίτητη η προμήθεια νέων μηχανημάτων.

Σε πολλές περιπτώσεις είναι πολύ σημαντικό για την Εθνική Οικονομία, ο εργοδότης και εργολήπτης να συμφωνήσουν από κοινού κατά την κατάρτιση του προγράμματος και του χρονοδιαγράμματος για το τι πρέπει να επιτευχθεί και με ποιο τρόπο πρέπει να επιτευχθεί ο κοινός σκοπός.

Δεν πρέπει πάντως να λησμονείται ότι μεγάλες αλλά και μικρές απαιτήσεις προκαλούν αντιοικονομικές λύσεις.

Για την επίτευξη μιας ικανοποιητικής συμπύκνωσης, καθώς και επίπεδης κλειστής επιφάνειας σε στρώση κυκλοφορίας, είναι δυνατόν να εφαρμοσθούν πολλοί συνδυασμοί μηχανημάτων και τρόποι εργασίας.

Επί πλέον για ασφαλτικά ισχύουν μερικοί ακόμη βασικοί κανόνες κατά τη συμπύκνωση με κυλίνδρωση, όπως είναι συγκεντρωμένοι στον πίνακα (8.21) για τη συμπύκνωση ασφαλτομιγμάτων που εκδόθηκε από την Εταιρία έρευνας για την Οδοποιία, έκδοση 73.

Τα ισχύοντα γενικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα είναι συγκεντρωμένα σε παρόμοιο πίνακα (8.22).

	Στατικός Δίτροχος Κύλινδρος	Στατικός τρίτροχος Κύλινδρος	Λαστιχοφόρος Κύλινδρος
Περιοχή εγκατάστασης			
Κυλίνδρωση χονδρών στρωμάτων	X (προσυμπύκνωση)	-	X
Κυλίνδρωση λεπτών στρωμάτων σε σταθερή υποδομή	X	-	X
Κυλίνδρωση λεπτών στρωμάτων σε εύκαμπτη υποδομή	X	X	X
Επίδραση σε βάθος	-	-	X
Τελικό έργο	(X)	X	X
Κάλυψη πόρων	-	-	X
Συμπύκνωση στην κατώτερη κρίσιμη περιοχή θερμοκρασίας	-	-	X
Συμπύκνωση στη ανώτερη κρίσιμη περιοχή θερμοκρασίας	X	-	X
Κυλίνδρωση ραφής	(X)	X	(X)
Χαρακτηριστικά			
Επιδράσεις συμπύκνωσης	Μάζα (κυλίνδρωσης)	Μάζα	Μάζα/ζύμωμα
Δυνατότητες επιρροής των επιδράσεων συμπύκνωσης	Αλλαγή Μάζας (Μεταλλική πλάκα, νερό)	Αλλαγή Μάζας (Μεταλλική πλάκα, νερό)	Αλλαγή Μάζας (Χάλικες ή παρόμοια, νερό) εσωτερική πίεση ελαστικών Διαστάσεις ελαστικών
Ομοιόμορφο γραμμικό φορτίο	X	-	(X)

Πίνακας 8.21: Σκοπός χρησιμοποίησης και Χαρακτηριστικά Κυλίνδρων

		Στατικοί Κύλινδροι			
		Δίτροχος Κύλινδρος	Τρίτροχος Κύλινδρος	Δονητικός Κύλινδρος	Λαστιχοφόροι Κύλινδροι
Πλεονεκτήματα	<p>Καλή ομαλότητα ίσο γραμμικό φορτίο σε όλο το πλάτος του Κυλίνδρου</p> <p>Νωρίτερο ξεκίνημα κυλίνδρωσης με ελαφρύτερο βάρος και σε μίγμα με μικρότερη φέρουσα ικανότητα</p> <p>Καλό και έγκαιρο τελικό αποτέλεσμα</p>	<p>Καλή ομαλότητα</p> <p>Καλό τελικό αποτέλεσμα σε μίγμα με σταθερή κατάσταση</p> <p>Καλή δυνατότητα εγκατάστασης κατά την δημιουργία ραφής</p>	<p>Καλή ομαλότητα. Ίσο γραμμικό φορτίο και επίδραση συμπύκνωσης σε όλο το πλάτος του κυλίνδρου</p> <p>Καλό τελικό αποτέλεσμα σε μίγμα με σταθερή κατάσταση</p> <p>Μεγάλο βάθος επίδρασης</p> <p>Δυνατότητα εγκατ/σης κατά τη συμπύκνωση σε περιοχή ραφής</p> <p>Καλύτερη ανακατάταξη κόκκων. Επίδραση συμπύκνωσης ακόμη και σε χαμηλότερες θερμοκρασίες</p>	<p>Ίσες πιέσεις επαφής στο πλάτος του Κυλίνδρου</p> <p>Κάλυψη των πόρων στην επιφάνεια της στρώσης κυκλοφορίας</p> <p>Επίδραση σε βάθος με μεγάλο φορτίο τροχού</p> <p>Καλύτερη ανακατάταξη κόκκων</p>	
	Μειονεκτήματα	<p>Μικρό βάθος επίδρασης</p> <p>Ανομοιόμορφη συμπύκνωση</p>	<p>Μικρό βάθος επίδρασης</p> <p>Ανομοιόμορφη συμπύκνωση</p>	<p>Μεγάλες απαιτήσεις από τον οδηγό Κυλίνδρου.</p> <p>Σε υψηλές θερμοκρασίες και με εντατική συμπύκνωση του μίγματος με ελάχιστα κενά, υπάρχει κίνδυνος δημιουργίας ολισθηρότητας (πολύ μικρή πρόσφυση)</p>	

Πίνακας 8.22: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Κυλίνδρων

8.5.2 Γενικοί κανόνες

Για τη συμπύκνωση των ασφαλτομιγμάτων υπάρχει μια σειρά κανόνων που ισχύουν γενικά, και οι οποίοι πρέπει να τηρούνται για να κατασκευασθούν ασφαλικές στρώσεις που να έχουν καλές ιδιότητες κατά τη χρήση.

Παρακάτω δίνονται οι τρόποι εργασίας κατά τη συμπύκνωση, οι οποίοι την εποχή αυτή μπορούν να θεωρηθούν ως αναγνωρισμένοι κανόνες της τεχνικής των κατασκευών.

Οι εργασίες συμπύκνωσης σε θερμά ασφαλτομίγματα πρέπει να πραγματοποιούνται σε συνάρτηση με το χρόνο εκτέλεσής τους διότι η θερμοκρασία της στρώσης που διαστρώνεται μειώνεται και έτσι αλλάζει το ιξώδες της ασφάλτου και της αμμοκονίας και επομένως η συμπύκνωση μόνο μέσα σε ορισμένα όρια θερμοκρασίας είναι δυνατόν να είναι αποτελεσματική

Πάντοτε ξεκινάμε την συμπύκνωση από την πλευρά της οδού που βρίσκεται χαμηλότερα

Ο κίνδυνος της πλευρικής απώθησης είναι μικρός. Σύμφωνα με την ανάλυση του παραλληλογράμμου των δυνάμεων, κατά τη συμπύκνωση κεκλιμένων επιφανειών, επενεργεί μια δύναμη με διεύθυνση προς τα κάτω, η οποία επιδρά στο μίγμα υπό ορισμένη γωνία. Με τη συμπύκνωση του μίγματος πρώτα στην πλευρά της οδού που βρίσκεται χαμηλότερα, (εσωτερική πλευρά καμπύλης), δημιουργείται μια σταθερότερη αντίσταση για την επόμενη διέλευση που βρίσκεται υψηλότερα. Ιδιαίτερα ο κανόνας αυτός πρέπει να τηρείται, σε περιπτώσεις υπερυψωμένων καμπυλών (με μεγάλη επίκλιση).

Ο άξονας του τροχού που εργάζεται να τοποθετείται πάντοτε προς τον διαστρωτή

Ένας τροχός που δεν εργάζεται παρουσιάζει το φαινόμενο της ώθησης του μίγματος προς τα εμπρός. Μια αξιοπρόσεκτη εξαίρεση από τον κανόνα αυτό παρατηρείται κατά τη συμπύκνωση ασφαλτομίγματος σε έντονες κλίσεις. Στις έντονες κλίσεις ο τροχός που εργάζεται μεταβιβάζει ιδιαίτερα ισχυρές διατμητικές δυνάμεις στην προς συμπύκνωση υποδομή. Αυτό δεν

αποτελεί μειονέκτημα για την ομαλότητα και είναι τόσο πιο απλό όσο πιο σταθερή είναι η κατάσταση, της προσυμπύκνωση στρώσης.

Ο κύλινδρος κινείται ελεύθερα πάνω σε μια υποδομή που προσυμπυκνώθηκε με τον εμπρόσθιο τροχό και δεν προκαλεί άλλες ανωμαλίες στη στρώση που μόλις διαστρώθηκε από το διαστρωτή.

Οι κύλινδροι του οδοστρωτήρα να διαβρέχονται με νερό κατά το δυνατόν λιγότερο ή με αραιωμένο διαχωριστικό υλικό.

Η διαστρωμένη στρώση έχει μια ορισμένη θερμική δυναμικότητα η οποία εναλλάσσεται με το περιβάλλον σύμφωνα με μια καμπύλη εξασθένησης. Κάθε ποσότητα νερού που χρησιμοποιείται επιτυγχάνει την απώλεια θερμότητας από το ασφαλτόμιγμα. Για κάθε χιλιόγραμμο νερού που χρησιμοποιείται επί πλέον, αφαιρείται από την προς συμπύκνωση στρώση μια ποσότητα θερμότητας 2.613,9 K πράγμα το οποίο λογικά πρέπει να οδηγεί σε μια γρηγορότερη ψύξη και επομένως σε μια δυσκολότερη συμπύκνωση της στρώσης.

Η χωρητικότητα της δεξαμενής νερού του κυλίνδρου είναι, λόγω δυνατότητας κατασκευής περιορισμένη.

Ακόμη και από την άποψη αυτή μια περιορισμένη χρήση νερού είναι επιθυμητή διότι έτσι δεν μειώνεται υπέρμετρα "ο πραγματικός χρόνος κυλίνδρωσης" ο οποίος αποτελεί καθοριστικό μέγεθος στον υπολογισμό της δυναμικότητας κυλίνδρωσης της επιφάνειας ανά μονάδα χρόνου, σε αντίθεση με τον "εγκατεστημένο χρόνο κυλίνδρωσης" ο οποίος εκφράζει το συνολικό χρόνο παραμονής του κυλίνδρου στο εργοτάξιο κατά τις εργάσιμες ώρες.

Η συχνότερη προμήθεια νερού μειώνει τον πραγματικό χρόνο κυλίνδρωσης οδηγώντας έτσι αναγκαστικά - επειδή στην πράξη οι υπόλοιπες εργασίες (διαστρωτής) συνεχίζονται κανονικά - σε μειωμένη εργασία συμπύκνωσης στην υπό κυλίνδρωση επιφάνεια και επομένως - αν δεν ληφθούν πρόσθετα μέτρα π.χ. δεύτερος οδοστρωτήρας - σε μικρότερο βαθμό συμπύκνωσης της κατασκευής.

Πολλές φορές στο νερό του κυλίνδρου προστίθεται διαχωριστικό υγρό, το οποίο έχει ως σκοπό, να εμποδίζει την επικόλληση του ασφαλτομίγματος στον κύλινδρο.

Για μια μεγάλη διάρκεια ζωής ενός ασφαλτομίγματος είναι απαραίτητη μια καλή σύνδεση των στρώσεων.

Υπολείμματα διαχωριστικού υγρού στην υποδομή, επηρεάζουν δυσμενώς σε κάθε περίπτωση τη συγκόλληση των στρώσεων.

Ο κινούμενος προς τα πίσω κύλινδρος προκαλεί ανωμαλίες

Ο κύλινδρος πρέπει κατά την αλλαγή κατεύθυνσης να σταματά σιγά και αμέσως πάλι να κινείται προς τα πίσω.

Εάν ο κύλινδρος φρενάρει πολύ γρήγορα ή κατά την αλλαγή κατεύθυνσης παραμένει για πολύ εν στάσει, δημιουργούνται βαθουλώματα στην στρώση, τα οποία με τις επόμενες διελεύσεις πολύ δύσκολα μπορούν να εξαφλειθούν.

Η παραμονή του κυλίνδρου σε ασυμπύκνωτο ή σε ζεστό ακόμη μίγμα προκαλεί εντυπώματα

Αυτές οι ανωμαλίες στο σχήμα του κυλίνδρου εξαλείφονται δύσκολα με τις επόμενες διελεύσεις του κυλίνδρου. Μια ανώμαλη επιφάνεια του οδοστρώματος που έχει ως συνέπεια την απώλεια της άνεσης κατά την οδήγηση καθώς και δυσμενείς επιπτώσεις στην διάρκεια ζωής του οδοστρώματος αποφεύγονται με την εφαρμογή αυτού του κανόνα.

Πρίν από το φρενάρημα του δονητικού οδοστρωτήρα πρέπει να τεθεί εκτός λειτουργίας η δόνηση

Δονητικοί κύλινδροι έχουν με την επίδραση της εκκεντρότητας σε σύγκριση προς το φορτίο τους, μια δυσανάλογα υψηλότερη ισχύ συμπύκνωσης. Γι' αυτό ο κύλινδρος βυθίζεται βαθύτερα όταν δεν τεθεί εκτός λειτουργίας η δόνηση κατά την αλλαγή κατεύθυνσης.

Κατά την εργασία με δονητικό κύλινδρο η έγκαιρη διακοπή της δόνησης κατά την επιστροφή, επαφίεται στον οδηγό του οδοστρωτήρα. Σε σύγχρονους όμως δονητικούς κυλίνδρους η δόνηση τίθεται εκτός λειτουργίας έγκαιρα και αυτόματα πριν την επιστροφή.

Λαστιχοφόρους οδοστρωτήρες χρησιμοποιούμε μόνον όταν τα λάστιχα είναι αρκετά ζεστά

Η απαίτηση αυτή, δηλαδή τα λάστιχα να είναι αρκετά ζεστά τίθεται για το λόγο ότι ο λαστιχοφόρος οδοστρωτήρας σήμερα χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον "ζεστός και ξηρός" και επομένως ο τρόπος αυτός εργασίας είναι εφικτός μόνον όταν οι επαπτόμενες επιφάνειες ελαστικών και ασφαλτομίγματος έχουν παρεμφερείς θερμοκρασίες.

Σε ένα εργοτάξιο πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον δύο κύλινδροι και στις στρώσεις κυκλοφορίας πρέπει τουλάχιστον να εργάζονται δύο. Ο προγραμματισμός ενός δεύτερου τουλάχιστον κυλίνδρου ανεξάρτητα από την ικανοποιητική δυναμικότητα του πρώτου θεωρείται σκόπιμος για τον λόγο ότι σε περίπτωση βλάβης στη λειτουργία του πρώτου κυλίνδρου, δεν θα ήταν δυνατόν να ολοκληρωθεί η κατασκευή στρώσης που έχει ήδη διαστρωθεί αλλά δεν έχει ακόμη συμπυκνωθεί. Σε στρώσεις κυκλοφορίας η συμπύκνωση γίνεται σε πολλές επάλληλες στρώσεις. Στην περίπτωση αυτή για να επιτευχθεί υψηλό φαινόμενο βάρος πρέπει να γίνει εντατική συμπύκνωση σε αρκετά ακόμη υψηλές θερμοκρασίες ώστε με την συνεχιζόμενη ψύξη της στρώσης η επιφάνεια της να κυλινδρωθεί και να επιτευχθεί έτσι μια υψηλής απαίτησης ομαλότητα. Για την ικανοποίηση όμως όλων των προαναφερομένων απαιτήσεων οι σχετικές λειτουργίες δεν είναι δυνατές να πραγματοποιηθούν συγχρόνως από τον ίδιο κύλινδρο.

Ακόμη πρέπει κατά διαστήματα να τροφοδοτείται με νερό. Εάν η τροφοδότηση αυτή δεν προγραμματισθεί να γίνει κατά τη διάρκεια διαλείμματος ή διακοπή εργασίας, τότε ο διαστρωτής πρέπει να σταματήσει ή να χρησιμοποιηθεί ένας ακόμη κύλινδρος, διότι διαφορετικά δεν εξασφαλίζεται μια ομοιογένεια στην στρώση με υψηλό φαινόμενο βάρος. Μια εξαίρεση μπορεί να αναφερθεί εδώ: Πρόκειται για την περίπτωση κατασκευής χονδρών στρώσεων με μεγάλη περιεκτικότητα θερμότητας και με ικανοποιητικά μεγάλη δυναμικότητα συμπύκνωσης ενός κυλίνδρου, διότι αυτές οι στρώσεις με μεγάλο πάχος ψύχονται αργά.

8.5.3 Δημιουργία και αποφυγή ρωγμών κατά την κυλίνδρωση

Κατά την κυλίνδρωση ασφαλτομιγμάτων είναι δυνατόν να παρουσιασθούν ρωγμές τόσο στην εγκάρσια όσο και στην κατά μήκος διεύθυνση της στρώσης του ασφαλτομίγματος. Οι ρωγμές αυτές είναι ως επί το πλείστον ανεπιθύμητες, διότι επηρεάζουν δυσμενώς την ευστάθεια της κατασκευής αφού μπορεί στη συνέχεια να γίνουν πρόξενοι εισχώρησης στην ασφαλική στρώση νερού και ακαθαρσιών. Ρωγμές σε μια στρώση κυκλοφορίας μπορεί να αποτελέσουν αφετηρία για επόμενες φθορές.

Οι εγκάρσιες ρωγμές είναι συνήθως τριχοειδείς και εισχωρούν στην επιφάνεια της στρώσης περίπου υπο γωνίαν 30° έως 45° και σε βάθος περίπου 10 έως 20 mm. Εάν στην κατάσταση αυτή συνεχισθεί η κυλίνδρωση, τότε οι τριχοειδείς ρωγμές γίνονται όλο και μεγαλύτερες και εισχωρούν όλο και βαθύτερα στην στρώση.

Σε στρώσεις βάσης και συνδετικής, οι οποίες καλύπτονται σχεδόν αμέσως με επόμενη στρώση, αυτές οι λεπτές τριχοειδείς ρωγμές δεν είναι άξιες ιδιαίτερης προσοχής και φροντίδας, διότι κατά την κατασκευή της επόμενης στρώσης, εφόσον δεν έχουν εισχωρήσει σ' αυτές ακαθαρσίες θα μαλακώσουν και κατά την κυλίνδρωση θα συμπυκνωθούν.

Διαφορετικά αξιολογούνται τριχοειδείς ρωγμές στις στρώσεις κυκλοφορίας. Σ' αυτές υπάρχει ο κίνδυνος της εσωτερικής ρύπανσης και ακόμη ο φόβος της έλειψης πρόσφυσης κατά την κυκλοφορία.

Οι κατά μήκος ρωγμές τρέχουν παράλληλα προς την διεύθυνση κυλίνδρωσης και παρουσιάζονται αμέσως σε όλο το πλάτος και βάθος.

Σε αντίθεση προς τις τριχοειδείς ρωγμές οι οποίες γίνονται ορατές ύστερα από πολλές διελεύσεις, οι κατά μήκος ρωγμές μπορεί να παρουσιασθούν σε όλο τους το μήκος αμέσως μετά την πρώτη διέλευση. Αιτία εμφάνισής τους είναι η υπερβολική παραμόρφωσή της στρώσης κατά τη κυλίνδρωση, πο προκαλείται από:

- Ανεπαρκή, βάσει της σύνθεσης του μίγματος, διατμητική τάση ιδιαίτερα σε περιπτώσεις συνθέσεως με στρογγυλούς κόκκους και μιγμάτων πλούσιων σε φυσική άμμο.
- Πολύ υψηλή θερμοκρασία της στρώσης.
- Πολύ υψηλή πίεση επαφής μεταλλικού κυλίνδρου με υψηλό δείκτη χαρακτηριστικών (C_w).

- Πολύ μεγάλο πάχος στρώσης.
- Ανομοιόμορφη κατανομή θερμότητας στη στρώση που διαστρώθηκε. Στην επιφάνεια και στην κάτω πλευρά το μίγμα, ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες, ψύχεται γρηγορότερα. Στη μέση παραμένει ακόμη ένας θερμός, εύκολα παραμορφούμενος πυρήνας, ενώ στις εξωτερικές ζώνες που έχουν ήδη κρυώσει, ιδιαίτερα κάτω από δυνατό άνεμο, η αμμοκονία χάνει γρήγορα την ελαστικότητα της και έτσι ρηγματώνεται στις θέσεις δίπλα στον μεταλλικό κύλινδρο.
- Ελαττωματική σύνδεση της στρώσης με την υποδομή.
- Στις ακραίες περιοχές που κρυώνουν πιο γρήγορα όταν δεν υπάρχει πλευρική αντίσταση.
- Μίγματα πλούσια ή φτωχά σε ασφαλτικό συνδετικό εμφανίζουν ιδιαίτερη τάση για δημιουργία κατά μήκος ρωγμών.

Τα επόμενα μέτρα είναι κατάλληλα, για την αποφυγή δημιουργίας κατά μήκος ρωγμών.

- Αύξηση της προσυμπύκνωσης με τον διαστρωτή
- Αλλαγή κατά τον δυνατόν της σύνθεσης του μίγματος.
- Αλλαγή του συνδετικού υλικού ή του ποσοστού παιπάλης.
- Ας αφεθεί να κρυώσει λίγο η στρώση ή να μειωθεί η θερμοκρασία του μίγματος.
- Τοποθέτηση μεταλλικών κυλίνδρων με μικρό δείκτη χαρακτηριστικών.
- Χρησιμοποίηση λαστιχοφόρων οδοστρωτήρων με χαμηλή πίεση ελαστικών.
- Χρησιμοποίηση συγκολλητικής επάλειψης ως μέσον σύνδεσης, η οποία καθιστά δυνατή τη σύνδεση των στρώσεων. Πολύ λεπτές ή πολύ χονδρές μεμβράνες συνδετικού υλικού, όπως επίσης και διαλύματα που δεν έχουν διασπασθεί, μπορεί να αποτελέσουν αιτία για μια μη λειτουργούσα σύνδεση στρώσεων.
- Φροντίδα για πλευρική αντιστήριξη σε περίπτωση απουσίας πλευρικού εγκιβωτισμού κατά της συμπύκνωσης, ή τη χρησιμοποίηση ιδιαίτερης τεχνικής στην εργασία.

Συνήθως πρέπει να περιμένουμε έως ότου κρυώσει κάπως η στρώση, στις άκρες, γιατί αυξάνεται η ακαμψία τους και γίνονται έτσι σταθερές σε παραμόρφωση, ούτως ώστε να μην μετακινούνται πλέον τόσο εύκολα προς τα πλάγια κατά την κυλίνδρωση. Πρέπει όμως να σημειώσουμε ότι δεν πρέπει να περιμένουμε και πολύ, διότι η στρώση στις άκρες ψύχεται γρηγορότερα και έτσι λόγω των διαφορετικών ακαμψιών είναι δυνατόν να παρουσιαστούν πάλι κατά μήκος ρωγμές.

8.5.4 Ομαλότητα και συμπύκνωση με κυλίνδρους

Η ομαλότητα μιας κυκλοφορούμενης επιφάνειας είναι μια ιδιότητα η οποία επηρεάζει άμεσα και σοβαρά την ασφάλεια κυκλοφορίας, την άνεση οδήγηση και τη διάρκεια ζωής της στρώσης.

Για το λόγο αυτό τίθενται για την ομαλότητα της στρώσης συγκεκριμένες απαιτήσεις, ανάλογα με τη στρώση, τον τρόπο κατασκευής και το είδος της επιφάνειας κυκλοφορίας. Επειδή στην οδοποιία η ομαλότητα της ασφαλικής υποδομής έχει επίδραση στην ομαλότητα των επόμενων στρώσεων, απαιτήσεις ομαλότητας και τυπικής διατομής τίθενται ακόμη και στις στρώσεις της βάσης και της συνδετικής.

Καθοριστικός παράγοντας για την αξιολόγηση των ανωμαλιών του οδοστρώματος είναι η επίδρασή τους στο όχημα και την ασφάλεια οδήγησης. Γι' αυτό κατά την κατασκευή και συμπύκνωση ασφαλτομιγμάτων με κύλινδρο πρέπει να προσεχθούν ιδιαίτερα όχι μόνον η μορφή και το μέγεθος (ύψος, βάθος, μήκος) των ανωμαλιών αλλά ακόμη και η διαδοχική τους σειρά (αριθμός, κατανομή) καθώς και η διεύθυνσή τους ως προς τον άξονα κυκλοφορίας.

Γενικά έχουν διαπιστωθεί τα ακόλουθα:

- Ανωμαλία < 2mm δεν γίνεται από το όχημα
- Η επίδραση των ανωμαλιών στο όχημα εξαρτάται από την ταχύτητα του και πολλαπλασιάζεται εάν αυτή ανέλθει από 69 ΧΛΜ/ΩΡ
- Βραχύτεροι κυμματισμοί του οδοστρώματος επενεργούν εντονότερα στο όχημα από ότι μακρύτεροι.
- Ανωμαλίες σε οδοντωτή μορφή επηρεάζουν ιδιαίτερα οδόστρωμα και όχημα και επενεργούν αρνητικά στη συμπεριφορά και την άνεση της

οδήγησης, στην ασφάλεια της κυκλοφορίας και προκαλούν γενικά δυσάρεστη αίσθηση στον οδηγό και στους επιβάτες.

Αίτια για ανώμαλη επιφάνεια στρώσης μπορεί να είναι:

- Διακύμανση της σύνθεσης του μίγματος
- Άνιση θερμοκρασία του προμηθευόμενου μίγματος
- Συχνό σταμάτημα του διαστρωτή
- Άνιση ταχύτητα κίνησης του διαστρωτή
- Πολύ γρήγορη ή πολύ συχνή αλλαγή στην ρύθμιση του πάχους στον διαστρωτή.
- Ασταθής τροφοδοσία με μίγμα στη πλάκα του διαστρωτή
- Λοξή τοποθέτηση ή πρόσκρουση των φορτηγών στον διαστρωτή
- Μεγαλύτερες ανωμαλίες στην υποδομή.
- Ανωμαλίες από τη συμπύκνωση.

Μπορούμε να ξεκινήσουμε από το γεγονός ότι η ομαλότητα που έχει επιτευχθεί με το διαστρωτή είναι κάθε φορά η βέλτιστη και που με τη συνέχιση συμπύκνωσης της στρώσης δεν επιτρέπεται να αλλοιωθεί προς το χειρότερο. Διότι κατά την συμπύκνωση του μίγματος σε διαφορετικά πάχη στρώσης στον ίδιο βαθμό συμπύκνωσης, ή σε μεγαλύτερο, όταν πρόκειται για χονδρές στρώσεις που συνήθως εξ αιτίας της μεγαλύτερης δυναμικότητας θερμοκρασίας συμπυκνώνονται σε μεγαλύτερο βαθμό συμπύκνωσης, έχουν ως αποτέλεσμα να αλλάζει το πάχος της συμπυκνούμενης στρώσης εντονότερα έναντι του πάχους της στρώσης που έχει διαστρωθεί από τον διαστρωτή.

Γι' αυτό μια υψηλή προσυμπύκνωση με τον διαστρωτή αποτελεί την καλύτερη προϋπόθεση για μια επιδιωκόμενη ομαλότητα. Μ' αυτή βελτιώνεται στη συνέχεια ακόμη και η σταθερότητα της διαστρωνόμενης στρώσης και έτσι μειώνεται η πιθανότητα δημιουργίας πρόσθετων ανωμαλιών κατά τη συμπύκνωση. Μια υψηλή προσυμπύκνωση στο διαστρωτή πρέπει να προτιμηθεί σε κάθε περίπτωση από τους ελαφρείς κυλίνδρους, διότι οι ανωμαλίες της υποδομής καλύπτονται με συμπύκνωμένο υλικό που είναι λιγότερο διαθέσιμο κάτω από την πλάκα του διαστρωτή και έτσι αλλοιώνεται λιγότερο η ομαλότητα της κατασκευαζόμενης στρώσης.

Κατά τη συμπύκνωση με δόνηση, η χρησιμοποίηση υψηλών συχνοτήτων είναι προτιμότερη για την ομαλότητα σε ευαίσθητες περιοχές έναντι χαμηλότερων συχνοτήτων.

Για το λόγο αυτό πρέπει κατά κανόνα να τοποθετούνται κατά την κατασκευή στρώσεων κυκλοφορίας μόνο δονητικά μηχανήματα συμπύκνωσης συχνότητας 50 HZ περίπου.

Κατά τη συμπύκνωση με δονητικούς κυλίνδρους πρέπει να προσεχθεί η ταχύτητα του κυλίνδρου διότι μπορούν να προκληθούν με μια μεγάλη ταχύτητα του κυλίνδρου κυματισμοί σε ευαίσθητη περιοχή, και ιδιαίτερα με χαμηλότερη συχνότητα επειδή με αυτήν προκαλείται αύξηση της απόστασης των κτύπων.

Χονδρές στρώσεις συμπιέζονται περισσότερο κατά τη συμπύκνωση. Για το λόγο αυτό οι χοντρές στρώσεις μετά τη συμπύκνωση δεν παρουσιάζουν γενικά ικανοποιητική ομαλότητα συγκρινόμενες με λεπτές στρώσεις.

Σχετικά με το θέμα αυτό είναι λοιπόν δυνατόν, η βελτίωση της ομαλότητας της στρώσης, να επιτυγχάνεται με την κατασκευή μικρότερου πάχους. Με τη λύση όμως αυτή είναι συνδεδεμένα πολλά άλλα μειονεκτήματα που επιβάλλουν την εκλογή λεπτών στρώσεων αντί χονδρών μόνον σε περίπτωση που τεθούν ιδιαίτερα υψηλές απαιτήσεις στην ομαλότητα όπως π.χ. σε κατασκευή αθλητικών εγκαταστάσεων.

8.5.5 Κυλίνδρωση με λαστιχοφόρους οδοστρωτήρες

Οι λαστιχοφόροι οδοστρωτήρες για την κατασκευή ασφαλτικών στην οδοποιία έχουν πάρει μια καλή θέση στο πρόγραμμα χρησιμοποίησης μηχανημάτων για τη συμπύκνωση ασφαλτομιγμάτων και για το κλείσιμο των κενών σε στρώσεις κυκλοφορίας.

Ο τρόπος επίδρασης τους έχει αντιστοιχία με τον τρόπο επίδρασης της βαρειάς κυκλοφορίας.

Κατά την κύλιση τα ελαστικά παρουσιάζουν μια κλίση προς την επιφάνεια έδρασης και προκαλούν έτσι οριζόντιες κινήσεις οι οποίες υποχρεωτικά μεταβιβάζονται στην επιφάνεια της στρώσης που πρόκειται να συμπυκνωθεί.

Αυτή η συνάντηση κατακορύφων πιέσεων και οριζοντίων δυνάμεων από όλες τις κατευθύνσεις, κάτω από την επίδραση των ελαστικών, προκαλεί ζύμωμα

του μίγματος ιδιαίτερα στην επάνω ζώνη της στρώσης και καθιστά τις στρώσεις κυκλοφορίας που τυχόν είναι φτωχές σε συνδετικό υλικό και σε κονίαμα, σε στρώσεις με κλειστά τα κενά σε επιθυμητό βαθμό.

Θραύση των κόκκων, όπως παρουσιάζεται κατά την τοποθέτηση βαρέων στατικών μεταλλικών κυλίνδρων ή δονητικών κυλίνδρων, δεν προκαλείται με βαρείς λαστιχοφόρους κυλίνδρους ακόμη και με μεγάλο φορτίο τροχού και πίεση επιφάνειας από 5 έως 9 bar.

Οι πολλές τριχοειδείς ρωγμές που συχνά παρουσιάζονται σε χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά τη συμπύκνωση με μεταλλικούς κυλίνδρους, κλείνουν με επιτυχία, όταν για τη συμπύκνωση στρώσεων κυκλοφορίας τοποθετηθούν παράλληλα με τους στατικούς κυλίνδρους και λαστιχοφόροι οδοστρωτήρες.

Επιφάνειες κυκλοφορίας σε καμπύλα τμήματα με μικρές ακτίνες, με μεγάλες κλίσεις και με χονδρές στρώσεις βάσης, είναι δυνατόν να συμπυκνωθούν χωρίς ρωγμές ως επί το πλείστον, γενικά μόνον με τη χρησιμοποίηση συγχρόνως και λαστοχοφόρων κυλίνδρων. Ακόμη η τοποθέτηση λαστιχοφόρων κυλίνδρων ευνοεί σύμφωνα με την υπάρχουσα εμπειρία, το δέσιμο της στρώσης.

Πρόσθετα πλεονεκτήματα των λαστιχοφόρων κυλίνδρων αποτελούν οι υψηλές αποδόσεις σε επιφάνεια συμπύκνωσης και η ικανότητα εργασίας σε επιφάνειες με μεγάλη κλίση.

Λαστιχοφόροι κύλινδροι στη σύγχρονη οδοποιία για κύρια συμπύκνωση με τη μέθοδο "εν θερμώ και ξηρώ" τοποθετούνται για τη συμπύκνωση αμέσως πίσω από το διαστρωτή. Το αποτέλεσμα συμπύκνωσης, μέσα σε ορισμένα όρια, που καθορίζονται από την ευστάθεια της ζεστής στρώσης, είναι ανάλογο με το φορτίο κάθε τροχού.

Τα ελαστικά κατά την τοποθέτησή τους με τη μέθοδο "εν θερμώ και ξηρώ" πρέπει με την έναρξη της κυλίνδρωσης, να θερμανθούν όσο γίνεται πιο γρήγορα σε μια θερμοκρασία 60°C.

Σε μια τέτοια θερμοκρασία το ζεστό μίγμα δεν κολλά πλέον στην στεγανή επιφάνεια των ελαστικών. Γι' αυτό με την έναρξη της εργασίας συμπύκνωσης πρέπει να καταβληθεί προσπάθεια, ώστε η θερμοκρασία αυτή των ελαστικών σε άνεμο και χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος να επιτευχθεί όσο είναι δυνατόν γρηγορότερα. Για το σκοπό αυτό ο λαστιχοφόρος οδοστρωτήρας πρέπει στην αρχή να ακολουθεί σιγά σιγά τον διαστρωτή, έως ότου ανέβει η

θερμοκρασία των ελαστικών. Έπειτα μπορεί να αυξήσει την ταχύτητά του. Επειδή η επιφάνεια των ελαστικών κρυώνει πάλι γρήγορα, συνίσταται ο λαστιχοφόρος κύλινδρος να είναι καλυμμένος με "ποδιά" η οποία περιορίζει την απώλεια θερμότητας. Η θέρμανση των ελαστικών κατά την έναρξη της εργασίας γίνεται συνήθως στο ζεστό ασφαλτόμιγμα.

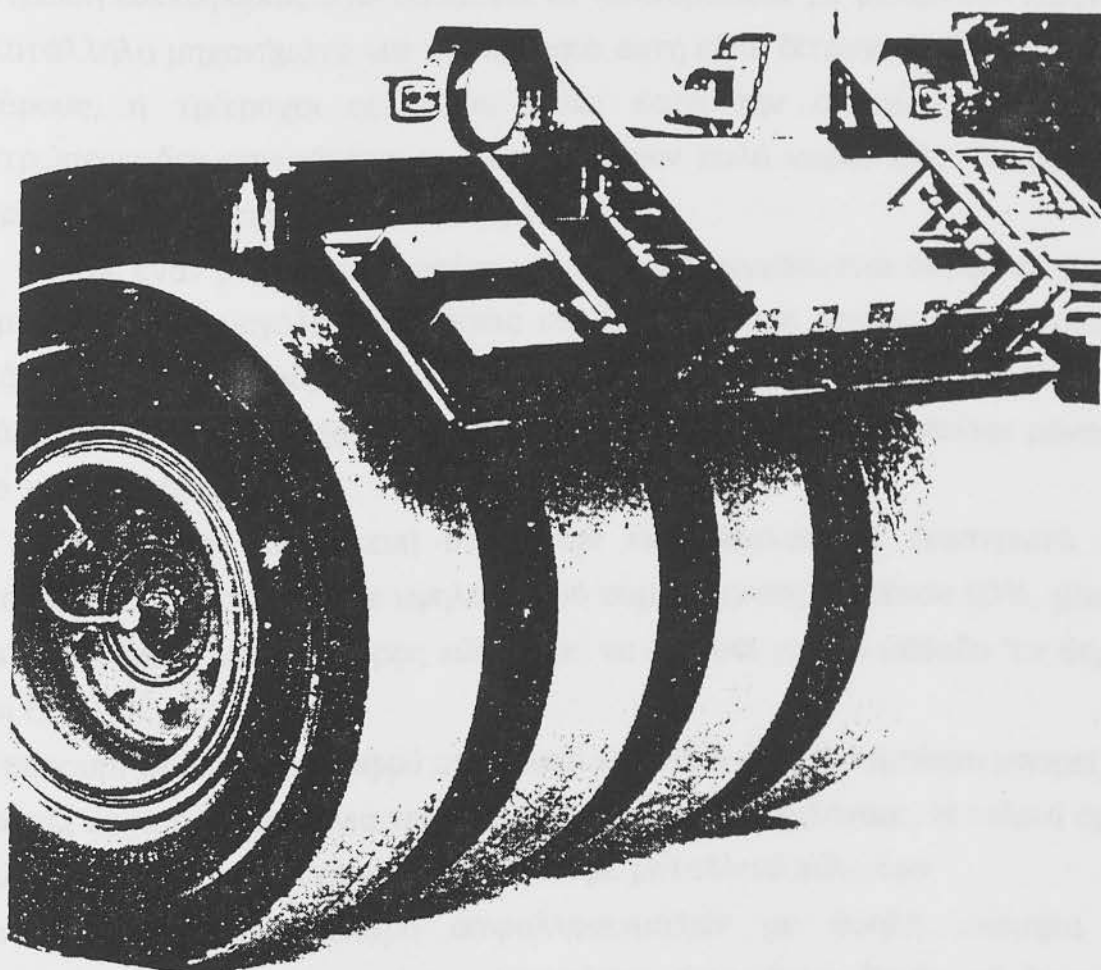
Υπάρχουν επίσης συσκευές με υπέρυθρες ακτίνες που θερμαίνουν τα ελαστικά και τα διατηρούν ζεστά. Είναι εφοδιασμένες με αυτόματο πυροδότη και τίθενται εκτός λειτουργίας κατά το σταμάτημα του κυλίνδρου. (Σχήμα 8.48)

Για την αποφυγή της ψύξης των ελαστικών είναι απαραίτητο ο διαστρωτής να εργάζεται χωρίς διακοπή, για να μπορεί ο οδοστρωτήρας να κινείται μόνιμα στη ζεστή επιφάνεια που διαστρώνεται.

Θα ήταν ευχής έργο κατά τη διάρκεια της συμπύκνωσης η πίεση επαφής του εδάφους, να μπορούσε να προσαρμόζεται με συνεχή αλλαγή της εσωτερικής πίεσης των ελαστικών, στη μεταβαλλόμενη, λόγω ψύξης, ακαμψία της συμπυκνούμενης στρώσης. Με τις εφικτές και ακόμη αξιοποιήσιμες υψηλές ταχύτητες εργασίας των λαστιχοφόρων οδοστρωτήρων, ανάλογα βέβαια με το είδος του μίγματος και την κατάσταση ψύξης, δεν είναι ακόμη δυνατόν τεχνικά από απόψεως μηχανιμάτων να προσαρμόζουμε με τις υφιστάμενες συσκευές τις εσωτερικές πιέσεις των ελαστικών σε μικρά χρονικά διαστήματα. Η δυνατότητα όμως πολλών διελεύσεων παρέχει το πλεονέκτημα της συμπύκνωσης της ασφαλικής στρώσης με λεπτομέρεια και με ομοιογένεια και της αποτροπής σοβαρών σφαλμάτων εργασίας.

Σε ορισμένα έργα όπως π.χ. για την κατασκευή μη σημαντικών οδικών επιφανειών σε επαρχιακό και δασικό δίκτυο, με χαλαρές σχέσεις υποδομής θα χρησιμοποιηθούν σκόπιμα λαστιχοφόροι κύλινδροι με μικρότερη επίδραση σε βαθύτερα στρώματα για να αποκλισθεί έτσι μια ενεργοποίηση του ύδατος των κενών στο υπέδαφος, και αποσύνδεση των επιφανειακών στρώσεων από την υποδομή.

Ελαφρείς λαστιχοφόροι οδοστρωτήρες έως περίπου 12 τόνων είναι χωρίς αμφιβολία τα ιδανικά μηχανήματα συμπύκνωσης για τις περιπτώσεις αυτές και επιτυγχάνουν σε επιφάνειες με πολύ μικρή κυκλοφορία μια ικανοποιητικά υψηλή συμπύκνωση, αντίστοιχο χαμηλό ποσοστό κενών και κάτι ιδιαίτερα σοβαρό, που είναι το κλείσιμο της επιφανειακής υψής, στην οποία με τον τρόπο αυτόν δεν μπορούν να εισχωρήσουν ακαθαρσίες.



Σχήμα 8.48: Λαστιχοφόρος Κύλινδρος με υπέρυθρη ακτινοβολία

Συνιστούνται οι ακόλουθες πιέσεις επαφής:

- Για λεπτές στρώσεις κυκλοφορίας: Εσωτερική πίεση ελαστικών 3 έως 5 bar.
- Για χονδρές στρώσεις βάσης: Εσωτερική πίεση ελαστικών 2 έως 5 bar.

Όπως έχει ήδη διαπιστωθεί από τα προηγούμενα θεωρητικώς περιμένουμε καλά αποτελέσματα συμπύκνωσης με λαστιχοφόρους κυλίνδρους κατά τη συμπύκνωση χονδρών στρώσεων βάσης, ιδιαίτερα τότε όταν αυτοί τοποθετηθούν με τη μέθοδο “εν θερμώ και ξηρώ”. Τα πρώτα βαθιά εντυπώματα των ελαστικών με τις συνεχείς διελεύσεις σχεδόν

αξαλείφονται τελείως. Και όμως συνίσταται τουλάχιστον η συνδετική και η στρώση κυκλοφορίας στο τελείωμα να κυλινδρωθούν με μεταλλικό κύλινδρο. Κατάλληλα μηχανήματα για την εργασία αυτή είναι δίτροχοι κύλινδροι μέσου βάρους, ή τρίτροχοι οι οποίοι όμως κατά την συμπύκνωση χονδρών στρώσεων δεν επιτρέπεται να τοποθετηθούν πολύ νωρίς διότι διαφορετικά προξενούν τριχοειδείς ρωγμές στη στρώση.

Με έναν βαρύ λαστιχοφόρο κύλινδρο επιτυγχάνονται σύμφωνα με την εμπειρία πολύ μεγάλες αποδόσεις σε επιφάνεια, οι οποίες σε στρώση με πάχος 0,06 m, μπορεί να φθάσουν μέχρι 1.700 m² /ώρα. Ο δεύτερος κύλινδρος στο εργοτάξιο, στη περίπτωση αυτή, θα χρησιμοποιείται μόνο για το τελικό σιδέρωμα.

Κατά την κατασκευή στρώσεων κυκλοφορίας με διαστρωτή που διαστρώνει την στρώση με υψηλό βαθμό συμπύκνωσης, περίπου 93%, μπορεί κατά κανόνα ο λαστιχοφόρος κύλινδρος να αρχίσει με την μέθοδο "εν θερμώ και ξηρώ".

Η προσυμπύκνωση με ελαφρύ μεταλλικό κύλινδρο για τη συμπίεση μπορεί και πρέπει να παραλειφθεί για τεχνικούς και οικονομικούς λόγους. Η τελική όμως κυλινδρωση πρέπει να πραγματοποιηθεί με μεταλλικό κύλινδρο.

Κατά τον προγραμματισμό ασφαλτομιγμάτων με υψηλή ακαμψία σε παραμόρφωση πρέπει να χρησιμοποιούνται συγχρόνως δονητικοί δίτροχοι κύλινδροι για τη συμπύκνωση αυτών των δύσκολα συμπυκνούμενων μιγμάτων, όπως έχουν δείξει ο FORSSBLAD⁽⁵⁴⁾ ο FORTMANN⁽⁵⁵⁾ και ο TAPPERT⁽⁵⁵⁾ για την κύρια συμπύκνωση στρώσεων κυκλοφορίας.

Ένα μεγάλο πλεονέκτημα των λαστιχοφόρων οδοστρωτήρων κατά τη συμπύκνωση στρώσεων κυκλοφορίας είναι το καλό κλείσιμο των πόρων της επιφάνειας. Ιδιαίτερα σε στρώσεις κυκλοφορίας που είναι φτωχές σε κονίαμα και ασφαλτικό συνδετικό, θα πρέπει να δοθεί μεγάλη αξία για τον λόγο ότι δημιουργείται μια υψηλή σταθερότητα σε επιδράσεις καιρικών συνθηκών.

Πολλές διελεύσεις με υψηλές θερμοκρασίες σε στρώσεις κυκλοφορίας που είναι πλούσιες σε κονίαμα μπορούν μερικές φορές να οδηγήσουν σε περίσσεια κονιάματος στην επιφάνεια, με αποτέλεσμα η στρώση κυκλοφορίας να παρουσιάζει μειωμένη αρχική ταχύτητα.

Προληπτικά μέτρα όπως είναι η διάστρωση, πριν από τη συμπύκνωση, περίπου 1 έως 2 Kg θραυστών 2/5 mm ή θραυστής άμμου φτωχής σε παιπάλη

αμέσως μετά τον διαστρωτή, μπορούν να οδηγήσουν πάλι σε μια ικανοποιητικά υψηλή αρχική ταχύτητα.

8.5.6 Κυλίνδρωση με δονητικούς Οδοστρωτήρες

Από το 1960 οι δονητικοί κύλινδροι άρχισαν να παίρνουν ένα όλο και μεγαλύτερο μερίδιο στην εργασία συμπύκνωσης κατά τη συμπύκνωση ασφαλτομιγμάτων, ένεκα της καλής και οικονομικής τους απόδοσης σε συμπύκνωση με δονητικούς κύλινδρους καθορίζεται κατά χρονικά διαστήματα από τους οδηγούς των κυλίνδρων. Σύμφωνα με την εμπειρία μερικές διελεύσεις με σύγχρονους δονητικούς κύλινδρους είναι αρκετές για την εξασφάλιση της απαιτούμενης συμπύκνωσης.

Τα πλεονεκτήματα των δονητικών κυλίνδρων παρουσιάζονται κυρίως σε μίγματα που είναι πλούσια σε θραυστά και φτωχά σε κονιάματα δηλαδή σε δυσκόλως συμπυκνούμενα. Επειδή με δονητικούς κύλινδρους είναι αρκετές μερικές διελεύσεις για την επίτευξη της απαιτούμενης συμπύκνωσης, μπορούν να αξιοποιηθούν καλύτερα οι υψηλές θερμοκρασίες του μίγματος οι οποίες συχνά περιορίζονται σε μικρά χρονικά διαστήματα. Γι' αυτό η τοποθέτηση κατάλληλων δονητικών κυλίνδρων είναι πάντα ενδεδειγμένη, όταν παρουσιασθεί η ανάγκη χρησιμοποίησης ενός μίγματος, που συμπυκνώνεται δύσκολα σε λεπτές στρώσεις.

Βασικά όμως συνίσταται, αυτά τα σύγχρονα μηχανήματα συμπύκνωσης, τα οποία σε μικρό χρονικό διάστημα επιτυγχάνουν μια γρήγορη μείωση του ποσοστού κενών αέρα, στο σύστημα τριών υλικών, αδρανές-άσφαλτος-αέρας, το οποίο συχνά μπορεί να περιέχει σαν υπόλοιπο υγρασίας ποσότητα νερού από 0,1 έως 0,5%, να ελέγχονται σε πεδία δοκιμαστικών συμπυκνώσεων με το προβλεπόμενο ασφαλτόμιγμα, προτού καταστρωθεί η σχεδίαση τοποθέτησης και το πρόγραμμα κυλίνδρωσης. Κατά τη γρήγορη συμπύκνωση του μίγματος που είναι ζεστό ακόμη, είναι δυνατόν, φυσικά σε υψηλές θερμοκρασίες, να παρουσιάζονται πρόσκαιρα καταστάσεις κενών αέρα και έτσι προσωρινά χαμηλές διατμητικές τάσεις, οι οποίες οδηγούν σε πρόσκαιρη αστάθεια και σε δημιουργία κατά μήκος ρωγμών δίπλα στην θέση του κυλίνδρου, ή σε δημιουργία πολλών εγκάρσιων ρωγμών.

Ιδιαίτερα σε συνθέσεις μιγμάτων σύμφωνα με την (TV_{bit}3) τεχνική προδιαγραφή ασφαλτικών 3 για στρώσεις κυκλοφορίας, μερικές φορές μετά

από 2 έως 4 διελεύσεις κυρίως με κύλινδρο διπλής δόνησης σε ζεστή ακόμη κατάσταση, έχουν προκληθεί κατά μήκος ρωγμές δίπλα στον δονούμενο κύλινδρο.

Γι' αυτό σε στρώσεις κυκλοφορίας πρέπει το προβλεπόμενο σύστημα συμπύκνωσης με δόνηση ή ο συνδιασμός συστημάτων συμπύκνωσης και η θερμοκρασία του μίγματος κατά την προμήθεια, ή καλύτερα η θερμοκρασία αμέσως μετά την πλάκα του διαστρωτή, για κάθε μίγμα και η ακαμψία του σε ζεστή κατάσταση να συντονισθούν μεταξύ τους.

Το διατιθέμενο κάθε φορά χρονικό διάστημα για τη συμπύκνωση εξαρτάται από τη θερμοκρασία εγκατάστασης, το πάχος κατασκευής και τις καιρικές συνθήκες.

Με την τεχνική της συμπύκνωσης με δόνηση μπορούν να επιτευχθούν ακόμη και σε χαμηλά όρια θερμοκρασίας υψηλά φαινόμενα βάρη. Εδώ όμως πρέπει να προσεχθεί ότι η συμπύκνωση με δόνηση σε σχεδόν κρύες ή σε τελείως κρύες στρώσεις μπορεί να οδηγήσει σε επιβλαβείς χαλαρώσεις. Εάν πρέπει να ευρεθεί άλλη τεχνική εργασίας κατά τη συμπύκνωση στην περιοχή της ραφής, μιας γειτονιάζουσας κρύας στρώσης αυτό πρέπει να καθορισθεί με περαιτέρω δοκιμές.

Στη συνέχεια παρατηρήσεις από την πράξη οδηγούν σε υποψία, ότι η δόνηση δυσκολεύει τη σύνδεση των στρώσεων. Ιδιαίτερα κατά τη συμπύκνωση ασφαλτομιγμάτων που συμπυκνώνονται δύσκολα και σε μίγματα που είναι φτωχά σε κονίαμα, και πλούσια σε χονδρόκοκκα υλικά, ακόμη και κατά την κατασκευή της στρώσης σε καθαρή "νέα" ασφαλτική βάση ως επί το πλείστον δε διαπιστώνεται αρκετά ικανοποιητική σύνδεση των στρώσεων.

Όπως έδειξαν ο BRECKEN⁽⁵⁶⁾ και ο METELMANN⁽⁵⁶⁾ καθώς και ο EISENMANN⁽⁵⁷⁾, η εφικτή διάρκεια ζωής ενός ασφαλτομίγματος είναι σημαντικά χαμηλή, όταν υπάρχει εσφαλμένη σύνδεση στρώσεων. Στην πράξη κατά την κατασκευή με το σημερινό γνωστικό επίπεδο και κατά τη χρησιμοποίηση αυτών των συστημάτων συμπύκνωσης, πρέπει να γίνουν δοκιμές συγκόλλησης της υποδομής με ψεκασμό - δηλαδή με επάλειψη της επιφάνειας με συνδετική ύλη - για την ικανοποιητική επίλυση του προβλήματος της σύνδεσης των στρώσεων ακόμη και όταν η συμπύκνωση γίνει μόνο με δόνηση. Εδώ ασφαλώς θα είναι απαραίτητες ακόμη και άλλες βασικές έρευνες.

Διαφορετικά είναι να κρίνουμε το θέμα της συμπύκνωσης κατά την κατασκευή χονδρόκοκκων ασφαλτικών στρώσεων βάσης και συνδετικής, το οποίο έχει ανατεθεί στην ομάδα εργασίας. Για συμπύκνωση των στρώσεων αυτών με πάχος κατασκευής από 4 έως 35 εκ. με 2 έως 6 διελεύσεις με δόνηση δίνεται λύση τόσο τεχνική, σε ότι αφορά τον βαθμό συμπύκνωσης, όσο και οικονομική.

Δονητικοί οδοστρωτήρες με δόνηση και στους δύο κυλίνδρους έχουν μια καλή κινητικότητα και μειώνουν την πιθανότητα μιας επιφανειακής ανωμαλίας σε μέγεθος χιλιοστού, η οποία ανωμαλία μειώνει την άνεση της οδήγησης.

Σε ανάλογο έδαφος και σε δυσμενείς κατασκευαστικές συνθήκες δεν μπορεί να είναι πραγματοποιήσιμη η τοποθέτησή τους. Η στάθμιση των τεχνικών απαιτήσεων με τις οικονομικές δυνατότητες θα πρέπει φυσικά να οδηγεί πάντα σε συμβιβασμούς μεταξύ εργοδότη και εργολήπτη.

Η βέλτιστη ταχύτητα για το προβλεπόμενο πρόβλημα συμπύκνωσης υπολογίζεται και ο υπολογισμός της αυτός οδηγεί στην κατάρτιση προγράμματος συμπύκνωσης.

Στην πράξη σε κανονικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται στους δονητικούς κυλίνδρους παρόμοιες ταχύτητες με αυτές που χρησιμοποιούνται και στους στατικούς. Αυτές κυμαίνονται μεταξύ 1 έως 8, και κανονικά μεταξύ 3 έως 6 χιλιομέτρων ανά ώρα.

Γενικά με την ταποθέτηση ενός βαρέος δονητικού κυλίνδρου απαιτούνται αναλογικά λιγότερες διελεύσεις.

Ο μικρός όμως αριθμός των διελεύσεων κρύβει και κινδύνους διότι σε έναν μικρότερο αριθμό διελεύσεων κυλίνδρου, μία ή δύο εσφαλμένες διελεύσεις, αναλογικά δίνουν μεγάλο ποσοστό στην λανθασμένη ενέργεια συμπύκνωσης. Εμπειρίες από την πράξη βεβαιώνουν το γεγονός αυτό. Σε ασφαλτομίγματα που έχουν συμπυκνωθεί κατά προτίμηση ή αποκλειστικά με δονητικούς κυλίνδρους, με λίγες διελεύσεις, διαπιστώνονται στατιστικώς μεγάλες μεμονωμένες αποκλίσεις στον βαθμό συμπύκνωσης από μια ικανοποιητικά υψηλή μέση τιμή. Το γεγονός αυτό πιέζει τον κατασκευαστή κατά τη συμπύκνωση με δονητικούς κυλίνδρους, με λίγες απαιτούμενες διελεύσεις, να προβλέπει ένα ικανοποιητικά μεγάλο περιθώριο για βέβαιες αποκλίσεις και ένα συντελεστή μεταβολής κατά το σχεδιασμό και τον καθορισμό του έργου συμπύκνωσης.

Η εκλογή της χρησιμοποιούμενης συχνότητας εξαρτάται από τις ιδιότητες του μίγματος και από το πάχος της στρώσης.

Έχει αποδειχθεί ότι είναι σκόπιμο να χρησιμοποιείται σε χονδρές στρώσεις και σε μίγματα που συμπυκνώνονται εύκολα μικρή συχνότητα.

Το έργο συμπύκνωσης επηρεάζεται από την ταλάντωση με συντονισμό στο σύστημα κύλινδρος - στρώση ασφαλτομίγματος - υποδομή.

Σε ασφαλτικά που βρίσκονται σε κατάσταση υψηλού βαθμού συμπύκνωσης ή σε κατάσταση που προκλήθηκε από γρήγορη ψύξη της στρώσης, μπορούν να παρουσιασθούν στο σύστημα υψηλές συχνότητες συντονισμού οι οποίες οδηγούν στην καταστροφή της στρώσης, στη θραύση των αδρανών, στη χαλάρωση ή αποκόλληση της σύνδεσης της στρώσης και τελικά στη βλάβη του ίδιου του κύλινδρου.

Γι' αυτό συνίσταται προς το τέλος της διαδικασίας συμπύκνωσης η δόνηση να τίθεται εκτός λειτουργίας και η τελευταία διέλευση να διεξάγεται μόνον στατικά.

8.5.7 Κυλίνδρωση χονδρών στρώσεων

Η κυλίνδρωση χοντρών στρώσεων λόγω της μεγάλης θερμικής χωρητικότητας παρέχει προτερήματα και ιδιαίτερα τότε, όταν η κατασκευή πρέπει να διενεργηθεί κάτω από δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Συγχρόνως ευνοείται ακόμη και η οικονομία της κατασκευής, επειδή έτσι μπορεί να γίνει επεξεργασία μεγαλύτερων ποσοτήτων μίγματος με τις ίδιες δαπάνες εγκατάστασης. Κατά κανόνα η δυναμικότητα παραγωγής, κατά την κατασκευή χονδρών στρώσεων, καθορίζει τον ρυθμό της κατασκευής.

Η κατασκευή χονδρών ασφαλτικών στρώσεων βάσης και συνδετικής, αλλά και στρώσεων κυκλοφορίας κυριαρχεί ακόμη σήμερα στους κατασκευαστές και ανήκει μάλιστα στους αναγνωρισμένους κανόνες της τεχνικής.

Παράλληλα με τους λαστιχοφόρους κυλίνδρους, οι οποίοι παλαιότερα εργάζονταν μόνον αυτοί ως μηχανήματα συμπύκνωσης, χρησιμοποιούνται σήμερα κατά προτίμηση δονητικοί δίτροχοι κύλινδροι.

Η κατά το δυνατόν υψηλή προσυμπύκνωση με το σύστημα συμπύκνωσης από την πλάκα του διαστρωτή είναι πιο πλεονεκτική διότι με τον τρόπο αυτόν επιτυγχάνεται μια νωρίτερη κυκλοφορία της στρώσης από τα μηχανήματα

συμπύκνωσης, αλλά ακόμη και μια καλύτερη ομαλότητα στην επιφάνεια των στρώσεων.

Προυπόθεση για την επίτευξη αυτή είναι να υπάρχει σταθερή ποιότητα και κανονική θερμοκρασία του μίγματος καθώς και πρόγραμμα συμπύκνωσης που να ανταποκρίνεται στο είδος του μίγματος και στους όρους κατασκευής με κατάλληλα μηχανήματα συμπύκνωσης.

Ένας περιορισμός προς τα πάνω του πάχους της στρώσης καθορίζεται από:

- Την επίδραση του μηχανήματος συμπύκνωσης.
- Την ευστάθεια του μίγματος.
- Την προσυμπύκνωση από τον διαστρωτή με την οποία επιτυγχάνεται η σταθερότητα σε παραμόρφωση του ζεστού ακόμη μίγματος.
- Την επιδιωκόμενη ομαλότητα

Η κατασκευή χονδρών στρώσεων με υψηλή χωρητικότητα θερμότητας και κατά συνέπεια αργής ψύξης επιτρέπει, αλλά ακόμη και απαιτεί χαμηλότερη θερμοκρασία μίγματος λόγω της τελικής απαίτησης για ομαλότητα της στρώσης και έτσι καθιστά δυνατή μια οικονομία σε ενέργεια κατά την παραγωγή του ασφαλτομίγματος.

Αναμένονται δηλαδή μεγάλα χρονικά διαστήματα επεξεργασίας για την κατασκευή και συμπύκνωση. Σε ιδιαίτερα χοντρές ασφαλτικές στρώσεις και σε υψηλές εξωτερικές θερμοκρασίες μπορεί να είναι απαραίτητοι, χρόνοι ψύξης μέχρι 2 ώρες, έως ότου η χονδρή στρώση μπορεί να συμπυκνωθεί μέχρι την τελική συμπύκνωση.

Με την χρήση λαστιχοφόρων οδοστρωτήρων για την συμπύκνωση χονδρών στρώσεων βάσης η συμπύκνωση μπορεί να αρχίσει αμέσως πίσω από τον διαστρωτή.

Η κύρια συμπύκνωση με βαρείς δονητικούς κυλίνδρους και ιδιαίτερα σε στρώσεις πάχους 0,15 έως 0,25 m μπορεί να γίνει ύστερα από ένα χρόνο αναμονής 30 έως 70 λεπτών, ανάλογα με την εξωτερική θερμοκρασία και το είδος του ασφαλτομίγματος.

Γι' αυτό είναι κατάλληλοι οι δονητικοί κύλινδροι για τη συμπύκνωση ασφαλτικών στρώσεων, διότι αυτοί με το χαμηλό δείκτη χαρακτηριστικών

σταθεροποιούν αρχικά στατικώς και έπειτα με τη δόνηση με υψηλό δείκτη μπορούν να τη συμπυκνώσουν.

Η συμπύκνωση χονδρών στρώσεων με δονητικούς κυλίνδρους απαιτεί ακόμη και από τον οδηγό μεγάλη προσοχή και αυξημένη συναίσθηση για την εκτέλεση της συμπύκνωσης στην κανονική θερμοκρασία.

Εάν συμπυκνωθεί σε υψηλές θερμοκρασίες, τότε η επιφάνεια της στρώσης γίνεται ανώμαλη, και ακόμη μπορεί να παρουσιασθούν διατμητικές ρωγμές δίπλα στους κυλίνδρους και στη δυσμενέστερη περίπτωση να εισχωρήσει ο κύλινδρος μέσα στο μίγμα. Εάν η συμπύκνωση γίνει σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία τότε το φαινόμενο βάρος καθώς και ο βαθμός συμπύκνωσης θα είναι ανεπαρκή.

Με την εκλογή του σωστού χρόνου για τη συμπύκνωση χονδρών στρώσεων, παράλληλα με την επίτευξη καλής συμπύκνωσης, θα είναι κατορθωτή ακόμη και μια ικανοποιητική ομαλότητα της επιφάνειας.

Η συμπύκνωση χονδρών στρώσεων με βαρείς λαστιχοφόρους οδοστρωτήρες θέτει λιγότερο υψηλές απαιτήσεις στις δυνατότητες του χειριστή, αλλά οδηγεί κατά κανόνα σε δυσμενέστερη ομαλότητα της επιφάνειας της στρώσης.

Ιδιαίτερα δύσκολη είναι η συμπύκνωση στην άκρη της λωρίδας κατά την κατασκευή χονδρών στρώσεων χωρίς εγκιβωτισμό.

Για τη συμπύκνωση αυτών των περιοχών απαιτείται από τον οδηγό, μεγάλη επιτηδειότητα, φροντίδα, καθώς και εμπειρία, διότι χωρίς εγκιβωτισμό το μίγμα ρέει προς τα έξω. Σε επιφάνεια που έχει ήδη ψυχθεί, αλλά διατηρεί ακόμη ζεστό πυρήνα, παρουσιάζονται συχνά κατά μήκος ρωγμές.

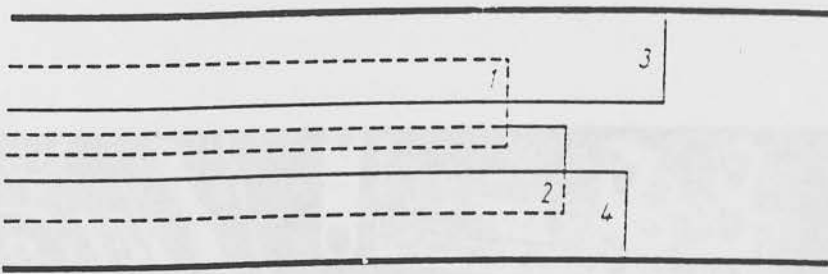
Για το λόγο αυτό με την σημερινή τεχνική στη συμπύκνωση δυστυχώς δεν είναι ακόμη δυνατόν, χωρίς εγκιβωτισμό, να συμπυκνώνουμε στις άκρες, ακριβώς τόσο καλά, όπως τα υπόλοιπα μέρη της κατασκευαζόμενης λωρίδας.

Μια ικανοποιητική λύση της συμπύκνωσης στις άκρες, σε στρώσεις που είναι χωρίς εγκιβωτισμό είναι δυνατή μόνον με αυξημένες δαπάνες και δεν παρέχει καμμία παράλληλη εξυπηρέτηση σύμφωνα με τις απαιτήσεις των προδιαγραφών.

Για την αποφυγή της ροής του μίγματος προς τα έξω, οι πρώτες διελεύσεις αρχίζουν σε απόσταση περίπου 30 έως 40 εκ. από την οριακή περιοχή.

Έτσι το ασφαλτόμιγμα μπορεί να ψύχεται ακόμη, και η επιφάνεια να γίνεται σταθερότερη, έως ότου καταστεί τελικά δυνατή η συμπύκνωση της ζώνης στην άκρη (Σχήμα 8.49).

Ένας περιορισμός στην άκρη, με πολύ καλή πλευρική στήριξη της στρώσης, είναι δυνατόν να επιτευχθεί με την κατασκευή ασφαλτικής πλευρικής πλάκας. Αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί με λιγότερη εντατική εργασία, αλλά όχι και χωρίς δαπάνη.



Σχήμα 8.49: Η σειρά των διελεύσεων του κυλίνδρου κατά τη συμπύκνωση χονδρών ασφαλτικών στρώσεων

Αυτές σχηματίζουν σε μια αρχική ασφαλτική υποδομή, κατασκευασμένες με καλή ομαλότητα, μια τελείως χρήσιμη αντιστήριξη για τις στρώσεις που κατασκευάζονται στη συνέχεια.

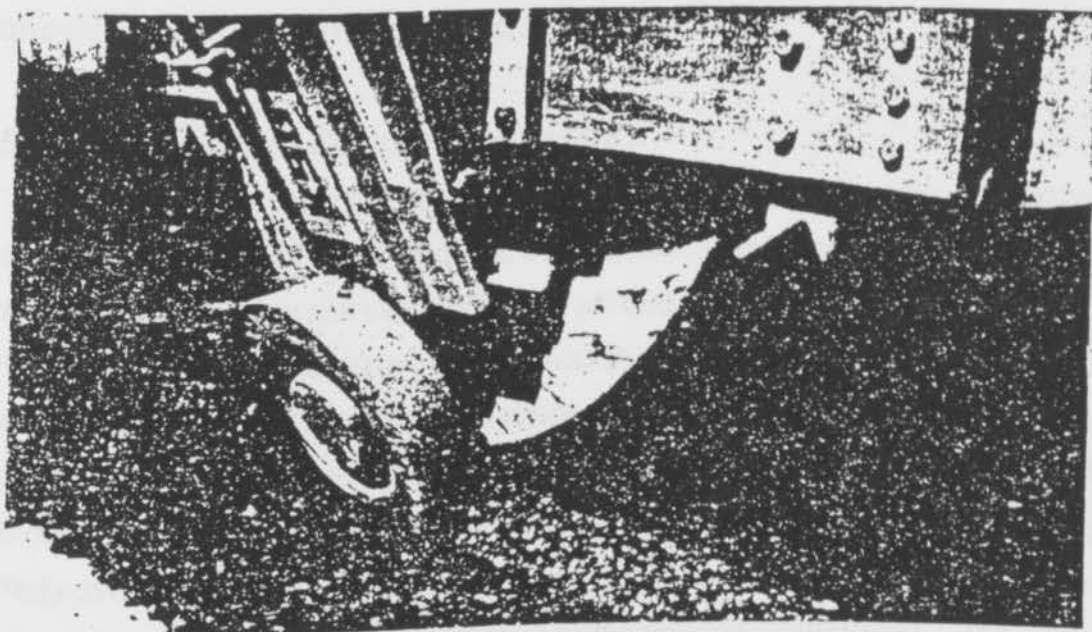
Κατά την κατασκευή χονδρών στρώσεων με σωστή εκτέλεση πραγματοποιείται ένεκα της μεγάλης θερμικής χωρητικότητας μια συγκόλληση της στρώσης με την ασφαλτική πλάκα.

Στην Ελβετία χρησιμοποιούνται ποικιλοτρόπως δονητικές πλάκες στο διαστρωτή, και επειδή η δυναμικότητά τους για συμπύκνωση δεν επαρκεί, το μίγμα συμπυκνώνεται με μια επιπρόσθετη συρόμενη πλάκα που αναρτάται στο διαστρωτή.

Σύμφωνα με την υπάρχουσα εμπειρία η σταθερότητα της στρώσης σε παραμόρφωση, που έχει προσυμπυκνωθεί με τις δύο δονητικές πλάκες, είναι αρκετή για να αποκλείσει παραμορφώσεις. Έτσι φαίνεται ότι μια συνεχιζόμενη εξέλιξη αυτού του τρόπου εργασίας να είναι δυνατή ακόμη και σε κατασκευή χονδρών στρώσεων.

Για τους τρίτροχους και δίτροχους κυλίνδρους προσφέρονται από τις βιομηχανίες κατασκευής μηχανημάτων τροχοί ακμών σε διάφορα σχήματα, με τη βοήθεια των οποίων είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί η συμπύκνωση των ακμών. Συγχρόνως εξασφαλίζεται ακόμη και η στήριξη της άκρης σε ολίσθηση προς τα έξω (Σχήμα 8.50).

Στην πράξη όμως ο τρόπος επίδρασης αυτών των πρόσθετων συσκευών είναι ακόμη πολύ αμφισβητήσιμος, διότι η ανάρτησή τους στα μηχανήματα συμπύκνωσης δεν βρήκε ακόμη ικανοποιητική πρακτική λύση.



Σχήμα 8.50: Δίτροχος κύλινδρος εφοδιασμένος με κωνικό τροχό για τη συμπύκνωση των ακραίων περιοχών

Η κατασκευή του οδοστρώματος σε μεγαλύτερο πλάτος, κατά μια ορισμένη ζώνη η οποία δεν βρίσκεται στην περιοχή της κυκλοφορίας, αλλά αποτελεί μια ικανοποιητική αντίσταση και μπορεί να κατασκευασθεί με λοξότητα στην άκρη, θεωρείται για την ώρα η οικονομικότερη λύση, εάν αυτές οι περιοχές σφραγισθούν πρόσθετα με ασφαλτικό διάλυμα.

Λαστιχοφόροι κύλινδροι με ταλαντευόμενους ή βυθιζόμενους αναρτημένους τροχούς, στους οποίους το ακραίο ελαστικό εργάζεται με χαμηλότερη εσωτερική πίεση, είναι δυνατόν να συμπυκνωθούν στρώσεις με πάχος $< 0,08\text{m}$ στην ακραία περιοχή. Αλλά και εδώ παρουσιάζονται μεταξύ των ακραίων περιοχών και των υπολοίπων λωρίδων έντονες διαφορές πυκνότητας, διότι όπως στους μεταλλικούς κυλίνδρους έτσι και εδώ το μίγμα πιέζεται προς τα έξω. Γι' αυτό στις ακραίες περιοχές δεν αποφεύγονται αποκλίσεις ως προς την εγκάρσια τομή.

8.5.8 Κυλίνδρωση λεπτών στρώσεων

Το πρόβλημα της κυλίνδρωσης λεπτών ασφαλτικών στρώσεων με μικρή θερμική χωρητικότητα όπως είναι φυσικό και με γρηγορότερη ψύξη της στρώσης, είναι δυνατόν να λυθεί μόνο με αυστηρή οργάνωση εργοταξίου. Η καθαρή δυναμικότητα συμπύκνωσης των μηχανημάτων είναι πολύ μικρότερης σημασίας, στην πραγματικότητα, διότι η συμπύκνωση των λεπτών στρώσεων πρέπει να ολοκληρωθεί μέσα σε μικρά χρονικά περιθώρια. Ακόμη σε ευνοϊκές συνθήκες κατασκευής υπάρχουν στη διάθεσή μας χρόνοι επεξεργασίας μόνο μερικών λεπτών και είναι απαραίτητος ένας πολύ καλός συντονισμός της πορείας των μεμονωμένων εργασιών, για να μην παραβιασθούν οι χρόνοι αυτοί σε εργασίες πριν από την συμπύκνωση. Αυτά τα χρονικά περιθώρια που μπορούμε να τα αναγνώσουμε από την καμπύλη εξασθένησης θερμοκρασίας είναι πολύ σύντομα, για την περαίωση μιας κανονικής εργασίας με υψηλή και καλή συμπύκνωση.

Αυτό ισχύει τόσο περισσότερο, όσο πιο δύσκολα συμπυκνώνεται το μίγμα. Για μια κατά το δυνατόν υψηλή συμπύκνωση πλεονέκτημα αποτελούν, η προσυμπύκνωση με το διαστρωτή και η εγκατάσταση ικανής δυναμικότητας μηχανημάτων συμπύκνωσης με ανάλογη επιφάνεια, οι οποίες επιτρέπουν την ολοκλήρωση της εργασίας συμπύκνωσης σε ένα χρονικό διάστημα που κατά κανόνα δεν υπερβαίνει 15 λεπτά.

Είναι φανερό ότι λεπτές ασφαλτικές στρώσεις οδοστρώματος που να έχουν ικανοποιητική διάρκεια ζωής και καλή αντοχή σε καιρικές επιδράσεις, μπορούν να πραγματοποιηθούν μόνο με ειδικές συνθέσεις που συμπυκνώνονται πολύ εύκολα, ή πολλές φορές ακόμη μόνο με ειδικές συνδετικές ύλες.

Η συμπύκνωση λεπτών ασφαλτικών στρώσεων δεν είναι πάντα μια αδύνατη υπόθεση. Απαιτεί όμως πολύ καλή οργάνωση εργοταξίου, συνεχή προμήθεια του μίγματος, καλό σχεδιασμό της πορείας της εργασίας των επί μέρους δυναμικοτήτων, βέλτιστη εκλογή των μηχανημάτων και του προγράμματος συμπύκνωσης καθώς και υψηλό βαθμό σε εργατική πειθαρχία και ευνοϊκές συνθήκες περιβάλλοντος.

Συνίσταται να μην εκλεγεί πάχος στρώσης κάτω από 0,03m - εξαιρουμένων ορισμένων επιστρώσεων.

Η κατασκευή ακόμη λεπτών στρώσεων οδηγεί σε πολλούς κινδύνους, διότι ακόμη και με επιλεγμένη κατασκευή, σε ψυχρό καιρό λόγω της γρήγορης ψύξης, δεν μπορούσε να αναμέσουμε ικανοποιητική συμπύκνωση.

Το ότι το ποσοστό των χονδρόκοκκων, σε ασφαλτομίγματα λεπτών στρώσεων, πρέπει να παρουσιάζεται με ομοιογένεια στις στρώσεις, αναφέρεται παρεπιπτόντως και μόνο χάριν πληρότητας.

Για την κατασκευή πολλών στρώσεων κυκλοφορίας προτείνεται για λόγους γεωμετρίας η κατασκευή τους να διαστρωτή. Πιο απλές μέθοδοι εργασίας ή κατασκευή με χέρια, με ανάλογα μεγάλα χρονικά διαστήματα επεξεργασίας, αποκλείουν μεγάλους βαθμούς συμπύκνωσης, σε σταθερά κατά κάποιο τρόπο, σε παραμόρφωση ασφαλτομίγματα.

Ανθεκτικά σε καιρικές συνθήκες ασφαλτομίγματα και με καλή διάρκεια ζωής είναι δυνατόν να γίνουν μόνον τότε, όταν η σύνθεσή τους είναι προσαρμοσμένη στις δυνατές συνθήκες συμπύκνωσης.

Για την κάθε φορά απαιτούμενη αλλά ακόμη και για την κατά το δυνατόν επιτυγχανόμενη κατάσταση συμπύκνωσης, πρέπει η ποσότητα του κονιάματος να επιμετράται πάντα έτσι, ώστε ο υπόλοιπος κενός χώρος της σύνθεσης του μίγματος να ευρίσκεται μεταξύ 2 και το πολύ 5% του όγκου.

Ως κατάλληλα μηχανήματα συμπύκνωσης για την κατασκευή λεπτών, δύσκολα συμπυκνούμενων στρώσεων, θεωρούνται στατικοί κύλινδροι, ιδιαίτερα τρίτροχοι και δονητικοί κύλινδροι. Οι τελευταίοι αναφερόμενοι δεν επιτρέπεται να τοποθετηθούν με μεγάλο βάρος εργασίας. Σε σκληρή

υποδομή για λεπτές επιστρώσεις, οι δονητικοί κύλινδροι οδηγούν σε θραύση των κόκκων εάν το πάχος της στρώσης δεν εκλεγεί τουλάχιστον διπλάσιο του μεγαλύτερου κόκκου.

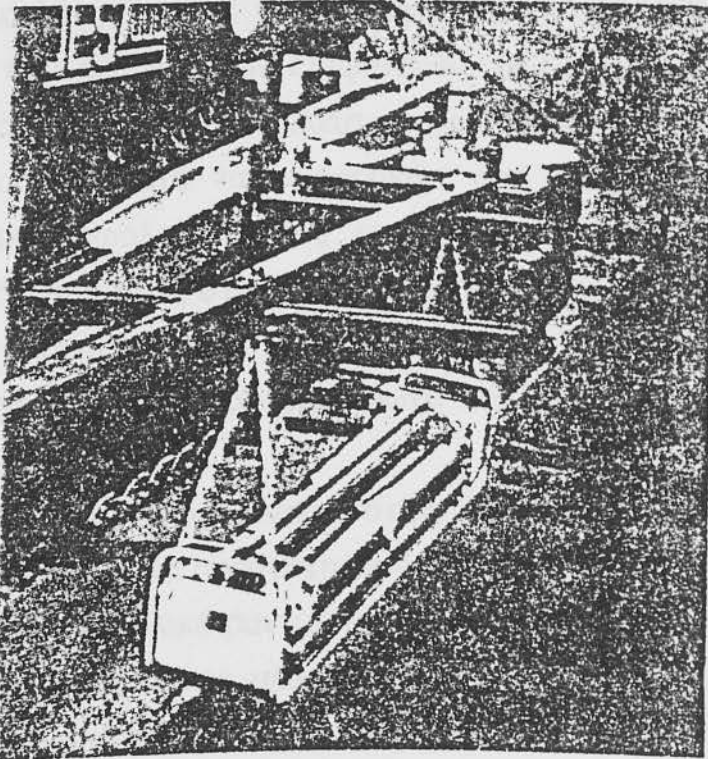
8.5.9 Συμπύκνωση ραφής

Η κατασκευή ασφαλικών σε οδούς με πολύ μεγάλη κυκλοφορία και με μεγάλο ποσοστό σε φορτηγά οχήματα, με την ανάλογη μελέτη συνθέσεως του μίγματος είναι ποιοτικά τέλεια, μόνον τότε, όταν η κατασκευή πραγματοποιείται χωρίς ραφή, διότι στην επιφάνεια επαφής από τα κατασκευαστικά μέτρα δε δημιουργείται ομοιογενής περιοχή μεταξύ ζεστής και κρύας επιφάνειας, στην κατασκευή των επιστρώσεων. Επειδή όμως κατασκευές μπορεί να είναι μόνον τόσο καλές, όσο το αδύνατό τους στοιχείο, και επειδή δεν μπορεί μια ραφή να παρέχει την ίδια ποιοτική εγγύηση, όπως η επιφάνεια που κατασκευάζεται με ομοιογένεια, γι' αυτό η πραγματοποίηση ραφών πρέπει πάντα να επιδέχεται έναν συμβιβασμό.

Συνεπώς τις επόμενες διαδικασίες για τη συμπύκνωση ραφών πρέπει να τις δούμε μόνον κάτω από αυτό το πρίσμα. Ακολουθούν γενικοί κανόνες:

- Η καλύτερη ραφή είναι εκείνη που δεν πρέπει να κατασκευασθεί. Εάν είναι αναπόφευκτο, τότε πρέπει να καθορισθούν εκ των προτέρω, η πορεία κατασκευής, η εγκατάσταση και συμπύκνωση των λωρίδων, η θέση των ραφών βάσει των στοιχείων του σχεδιασμού.
- Ραφές ποτέ δεν πρέπει να βρίσκονται στην περιοχή διελεύσεως τροχών και πρέπει να έχουν μια παράθεση περίπου 0,20m μεταξύ τους από μια στρώση στην άλλη.
- Η κατά μήκος ραφή της στρώσης κυκλοφορίας σε οδόστρωμα με δύο ή περισσότερες λωρίδες πρέπει πάντα να καθορίζεται στην άκρη της λωρίδας και εάν είναι δυνατόν να ευρίσκεται κάτω από την διαγράμμιση.
- Να σχεδιάζουμε και να κατασκευάζουμε κατά το δυνατόν λιγότερες λωρίδες.

- Με την εγκατάσταση διαστρωτών στους οποίους κινούνται με τηλεσκοπικό τρόπο προς τα έξω, η κατασκευή με χέρια μπορεί να μειωθεί όσον είναι δυνατόν.
- Οι ραφές πρέπει να συνδέουν τις λωρίδες της κατασκευής χωρίς ανισοσταθμίες και αρμούς.
- Αυτό επιτυγχάνεται καλύτερα κατά την εγκατάσταση ζεστού σε ζεστό, διότι έτσι οι λωρίδες με κοινή συμπύκνωση μπορούν ακόμη να συγκολληθούν καλά. Γι' αυτό κατά κανόνα απαραίτητο είναι το κλείσιμο του δρόμου.
- Εάν η ακραία ζώνη της πρώτης λωρίδας έχει ήδη ψυχθεί πρέπει να καταβληθεί προσπάθεια θέρμανσή τους με υπέρυθρες ακτίνες τόσο ώστε να είναι δυνατή μια συγκόλληση (Σχήμα 8.51).



Σχήμα 8.51α: Συσσκευή υπέρυθρης ακτινοβολίας για θέρμανση της ακμής μιας ασφαλτικής στρώσης

Όπως προκύπτει από την υπάρχουσα εμπειρία οι δυναμικότητες θέρμανσης με υπέρυθρες ακτίνες των προσφερομένων σήμερα στη αγορά μηχανημάτων υπέρυθρων συσκευών, δεν επαρκούν για να φέρουν μέσα στη στρώση στις ακραίες περιοχές θερμοκρασία 120° έως 140°C , η οποία θα ήταν επιθυμητή για μια καλή συμπύκνωση, με δεδομένη ταχύτητα προώθησης του διαστρωτή. Η θέρμανση ασφαλτικών - δηλαδή η μεταφορά θερμότητας - κινείται σε αντίθετη κατεύθυνση με την ψύξη και είναι επίσης μια χρονική συνάρτηση.

Με απλή αύξηση της θερμοκρασίας δεν είναι δυνατή μια γρήγορη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων θερμότητας, όπως είναι γνωστό από τα προηγούμενα, αλλά μόνο με ανάλογη μεγάλη επιφάνεια θέρμανσης. Αυτό όμως συχνά δε μπορεί να πραγματοποιηθεί για λόγους γεωμετρικών δεδομένων της κατασκευής. Κατά κανόνα κατά τη θέρμανση της ακραίας ζώνης οι θερμοκρασίες δεν ξεπερνούν τους 70 έως 90°C .

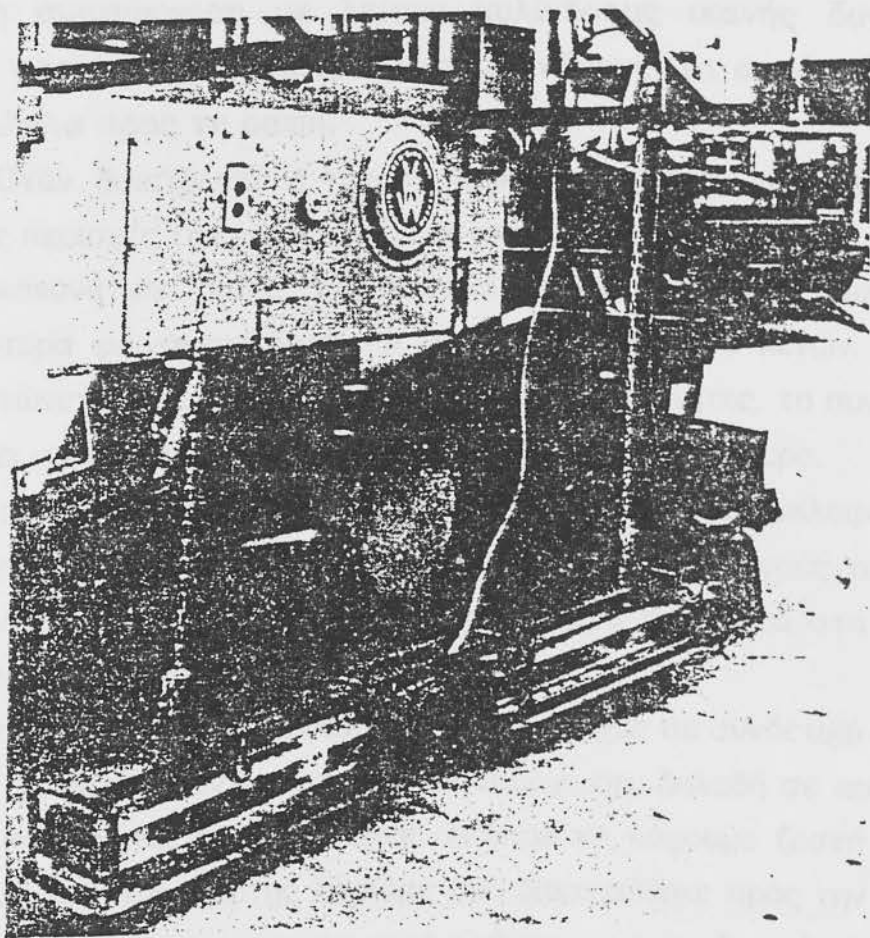
Μια τέλεια συγκόλληση με την έννοια ίδιας ομοιογένειας όπως είναι η στρώση κυκλοφορίας, δε μπορούμε να αναμένουμε. Μια θέρμανση όμως της ψυχρής ακραίας ζώνης μπορεί χωρίς αμφιβολία να συμβάλλει στη βελτίωση της σύνδεσης των δύο ακραίων επιφανειών, εάν η χρήση των υπέρυθρων ακτίνων πραγματοποιηθεί με επιμέλεια και σε συνδυασμό με άλλα μέτρα.

Πρέπει όμως οπωσδήποτε να αποφευχθεί από υπερθέρμανση η θερμική καταστροφή του ασφαλτομίγματος στην επάνω επιφάνεια της ακραίας ζώνης με αποτέλεσμα αυτή στη συνέχεια να χάσει συγκολλητική δύναμη και ικανότητα ελαστικότητας.

Κατά τη διακοπή εργασίας του διαστρωτή δεν πρέπει να γίνεται καμμία θέρμανση.

Με εμπλουτισμό συνδετικού υλικού στην ακραία επιφάνεια μπορεί να καταβληθεί προσπάθεια με πρόσθετη συγκόλληση για την εξασφάλιση της περιοχής της ραφής. Ως υλικά ραντίσματος χρησιμοποιούνται ανάλογα με το πρόβλημα, κόλλες με πρόσθυση, υλικά προραντίσματος χωρίς νερό (Βάση για πρόσφυση) ή ασφαλτικά γαλακτώματα όπως V 60.

Και αν ακόμη οι ραφές δε βρίσκονται στις περιοχές διέλευσης των τροχών θεωρείται σκόπιμος ένας μεγάλος εμπλουτισμός συνδετικού υλικού στην περιοχή της ραφής ($0,3$ έως $0,8 \text{ Kg/M}$ Ραφής).



Σχήμα 8.51β: Συσσκευή υπέρυθρης ακτινοβολίας σε έναν διαστρωτή για τη θέρμανση της κατά μήκος ραφής.

Πρίν από το ράντισμα πρέπει οι περιοχές της ραφής να καθαρισθούν πολύ καλά. Ακαθαρσίες, άμμος, υπολείμματα ασφάλτου καθώς επίσης και νερό πρέπει να απομακρυνθούν διότι εμποδίζουν μια ικανοποιητική συγκόλληση. Ακόμη πρέπει να σκεφθούμε ότι με τα συνηθισμένα μηχανικά σάρωθρα δεν επιτυγχάνεται όπως είναι γνωστό από εμπειρία ικανοποιητικό καθάρισμα, γι' αυτό πρέπει να χρησιμοποιηθούν πρόσθετα μέσα για τον καθορισμό των ραφών.

Οι ραφές πρέπει να συμπυκνώνονται τόσο καλά ώστε να δημιουργείται μια κλειστή και ισοϋψής σύνδεση. Κατά την κυλίνδρωση της ραφής, όσο πιο ζεστό είναι το μίγμα, τόσο ευκολότερα μαλακώνει η ραφή. **Για το σκοπό**

αυτό η ραφή πρέπει να συμπυκνώνεται κατά το δυνατό νωρίτερα για πρώτη συμπύκνωση με λείους κυλίνδρους ικανής δυναμικότητας (κατά προτίμηση με τρίτροχους κυλίνδρους) οι οποίοι να κινούνται παράλληλα προς τη ραφή.

Όταν διαστρωθεί η πρώτη λωρίδα, ακολουθεί η συμπύκνωση στις ακραίες περιοχές της χωρίς πλευρική στήριξη.

Κατά κανόνα σε αυτές τις εξωτερικές στενές ζώνες παρουσιάζονται χαμηλότερα φαινόμενα βάρη και υψηλότερα ποσοστά κενών. Η ζώνη που συμπυκνώνεται λιγότερο έχει άλλες μηχανικές ιδιότητες, το συνδετικό υλικό γηράσκει νωρίτερα και το ποσοστό κόπωσης είναι υψηλότερο.

Γενικά η περιοχή αυτή είναι το μέρος της στρώσης κυκλοφορίας με τη μικρότερη αντοχή σε εφελκυσμό, όπου ακόμη και ρωγμές από θερμικές καταπονήσεις παρουσιάζονται για πρώτη φορά πρόσθετα στα γεωμετρικά δεδομένα στις περιοχές της ραφής.

Σε στρώσεις κυκλοφορίας που είναι φτωχές σε συνδετικό υλικό και σε κονίαμα, με μεγάλη αντίσταση σε παραμόρφωση, δηλαδή σε ασφαλτόμιγμα που συμπυκνώνεται δύσκολα, είναι σκόπιμο να κόψουμε ζεστή ή κρύα την εξωτερική ζώνη της πρώτης λωρίδας που διαστρώθηκε προς την πλευρά της μεσαίας ραφής, έπειτα να την εμπλουτίσουμε με συνδετικό υλικό και πρίν από την κατασκευή της επόμενης λωρίδας να την θερμάνουμε όσο γίνεται περισσότερο. Κατά την κατασκευή και τη συμπύκνωση της επόμενης λωρίδας παρουσιάζεται μια πλευρική ώθηση με την οποία επιτυγχάνεται μια καλή συμπύκνωση.

Παρ' όλα αυτά η κατανομή των φαινόμενων βαρών είναι άνιση στο πλάτος της οδού λόγω των αποτελεσμάτων κατά μήκος της μεσαίας ραφής.

Η συμπύκνωση ξεκινά από την τελειωμένη λωρίδα που είναι σταθερή και ο κύλινδρος κατ' αρχήν καλύπτει μόνον 10 έως 20 εκ. μετά την ραφή από την νέα επιφάνεια (Σχήμα 8.52).

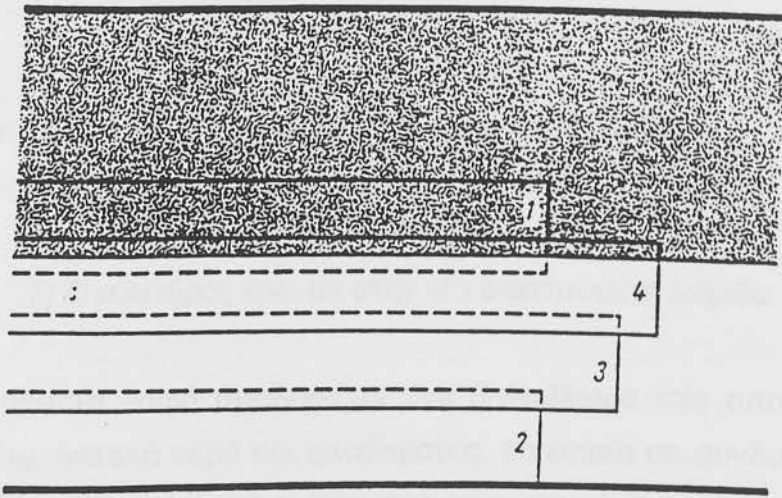
Η ραφή πρέπει να κυλινδρωθεί τόσο με λείο κύλινδρο, έως ότου συμπυκνωθεί καλά σε ισοϋψή επιφάνεια.

Το μέτρο υπερύψωσης της νέας ασυμπύκνωτης επιφάνειας στην περιοχή της ραφής πρέπει να ανταποκρίνεται με ιδιαίτερη φροντίδα και ακρίβεια στην σύνθεση του μίγματος και στο πάχος της στρώσης.

Κατά την κατασκευή μισού κλάδου συμπυκνώνεται κα' αρχήν πάντοτε η ραφή. Ο κύλινδρος κινείται σε μικρά διαστήματα πίσω από τον διαστρωτή

στην πρώτη λωρίδα που έχει ήδη συμπυκνωθεί και καλύπτει περίπου μόνον 15 εκ. στο ασυμπύκνωτο μίγμα της δεύτερης λωρίδας. Επειτα θα κινηθεί στα ίδια ίχνη με μικρή παράθεση δεξιά και αριστερά έως ότου δημιουργηθεί μια ίση επιφανειακή συναρμογή και κλειστή ραφή.

Πρόσκαιρα συμπυκνώνεται αμέσως η περιοχή της ραφής με δόνηση. Εφιστάται η προσοχή στην πρόκληση ζημιών στην ψυχρή στρώση με την δημιουργία μικρών ή μεγάλων κατά μήκος ρωγμών και τη διαταραχή της συναρμογής.

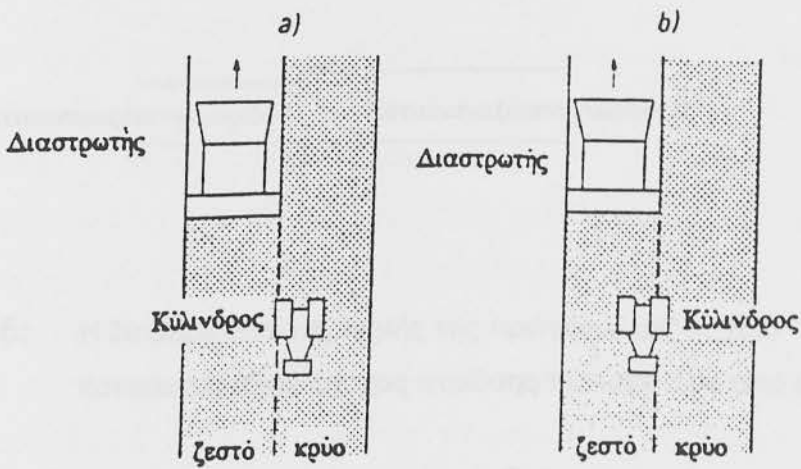


Σχήμα 8.52: Πρόγραμμα κυλίνδρωσης για στρώσεις δίπλα σε άλλες που έχουν κατασκευασθεί και συμπυκνωθεί παλαιότερα.

Έχει αναφερθεί από τις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ολλανδία μια διαφορετική μέθοδος συμπύκνωσης της ραφής. Ο κύλινδρος κινείται στην ακραία ζώνη της νέας επιφάνειας που διαστρώθηκε με μια επικάλυψη μόνον 10 έως 20 εκ. της ψυχρής επιφάνειας (Σχήμα 8.53).

Σύμφωνα με τις υπάρχουσες δημοσιεύσεις τα αποτελέσματα συμπύκνωσης είναι ισάξια. Με τη νέα μέθοδο συμπύκνωσης επιτυγχάνεται μια μεγαλύτερη απόδοση σε επιφάνεια κυλίνδρωσης και ακόμη με την μέθοδο αυτή η επίδραση στη γειτονική κυκλοφορία είναι λιγότερο ενοχλητική.

Η συμπύκνωση με λαστιχοφόρους οδοστρωτήρες της ακραίας ζώνης προς την εσωτερική πλευρά της πρώτης λωρίδας που κατασκευάσθηκε μπορεί να προξενήσει απάλυνση της ακμής (κοίλη ραφή).



Σχήμα 8.53: Δυο τρόποι εργασίας για συμπύκνωση ραφής με έναν τρίτροχο κύλινδρο "ζεστό πρὸς κρύο"

- a) Ο κύλινδρος κινείται στην κρύα λωρίδα
- β) Ο κύλινδρος κινείται στην νέα διαστρωμένη λωρίδα

Γι' αυτό στη μεσαία ραφή προξενείται ένα βαθούλωμα στο οποίο αργότερα μαζεύονται επιφανειακά νερά και ακαθαρσίες, τα οποία σε συνδυασμό με την κακή συμπύκνωση που συναντάμε πάντοτε στην περιοχή της ραφής, μπορούν να εισχωρήσουν σ' αυτήν και να μειώσουν έτσι τη συνοχή του ασφαλτομίγματος, να καταστρέψουν τη μεμβράνη του συνδετικού υλικού και να προξενήσουν ισχυρή φθορά στην περιοχή της ραφής.

Γι' αυτό πρέπει οι λαστιχοφόροι κύλινδροι να τοποθετηθούν στην περιοχή της ραφής μόνον τότε, όταν οι ακμές είναι αρκετά σταθερές και δεν μπορούν πια να παρουσιαστούν στρογγυλέματα.

Είναι γνωστό ότι η ποιότητα της κατά μήκος ραφής επηρεάζεται εκτός από την καλή συμπύκνωση από την τροφοδοσία και την ομοιόμορφη κατανομή του μίγματος στην περιοχή της ραφής. Το μίγμα στις ακμές πρέπει να αλφαδιάζεται με επιμέλεια και να διαστρώνεται με σταθερή πυκνότητα, ώστε να διατηρείται και κατά μήκος της ραφής μια επίπεδη επιφάνεια.

Γενικά η ακραία περιοχή προς την ραφή, πρέπει εάν δεν αποκοπεί να προσυμπυκνωθεί με την τοποθέτηση σανίδας ακμής στο διαστρωτή και να αποκτήσει σταθερό σχήμα και μια επίπεδη επιφάνεια (Σχήμα 8.54).

Ο τρόπος αυτός διαμόρφωσης της ακμής μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλα τα πάχη στρώσεων που είναι επάνω από 0,03m.

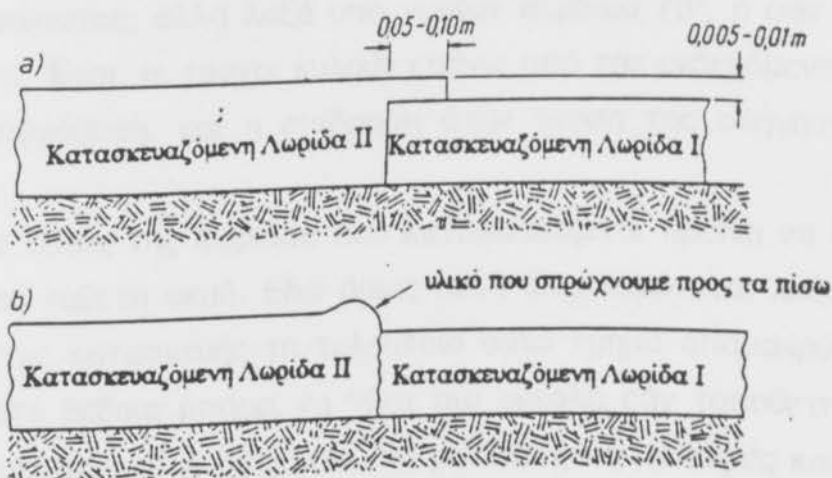


Σχήμα 8.55: Η διαμόρφωση της ακμής της πρώτης λωρίδας που κατασκευάστηκε (πάχος στρώσης περισσότερο από 0,03m)

Σε λεπτές στρώσεις και με συμμετοχή χονδροκόκκων έως περίπου 8mm η ραφή μπορεί να κατασκευασθεί με υπερκάλυψη (Σχ. 8.55α). Στην συνέχεια το υλικό της υπερκάλυψης θα συσσωρευθεί με τα χέρια προς τη ραφή. Έτσι στην περιοχή της ραφής υπάρχει ένα επιθυμητό πλεόνασμα υλικού (Σχ.8.55β).

Κατά τη συμπύκνωση της ραφής με μεταλλικό κύλινδρο κατ' αρχήν το σώμα του κυλίνδρου τοποθετείται επάνω στην ραφή και προξενεί μια υψηλή τάση θλίψης και έτσι επιτυγχάνει ένα καλό αποτέλεσμα συμπύκνωσης. Η υπερκάλυψη όπως είναι αυτονόητο πρέπει να εκλεγεί έτσι, ώστε μετά το πέρας της συμπύκνωσης στην περιοχή της ραφής να μην υπάρχουν ανισοσταθμίες μεταξύ των δύο λωρίδων.

Εάν είναι εφικτό να θερμάνουμε αρκετά, στο βαθμό που απαιτείται, την περιοχή της ακμής της πρώτης λωρίδας και να συμπυκνώσουμε τη



Σχήμα 8.55: Η διαμόρφωση της ραφής σε λεπτές στρώσεις με υπερκάλυψη

ραφή χωρίς θραύση των κόκκων, τότε μπορεί να κατασκευασθεί ακόμη και σε ασφαλτοσκυρόδεμα 0/11mm μια υπερκάλυψη 2 έως 5 εκ. Έτσι αποκτούμε καλά συμπυκνωμένες περιοχές ραφής.

Κατακόρυφα ενωμένες ραφές όπως αυτές που κατασκευάζονται σε χονδρά και πλούσια σε χονδρόκοκκα μίγματα, εγκυμονούν κινδύνους δημιουργίας μιας ραφής με πολλά κενά αέρα.

Κατά την κατασκευή μιας οδού σε όλο το πλάτος με κινούμενες σχεδόν παράλληλα διαστρωτές οι κύλινδροι τοποθετούνται από τις εξωτερικές ακμές προς το μέσον και αφήνουν μια ζώνη περίπου 15 εκ. ελεύθερη.

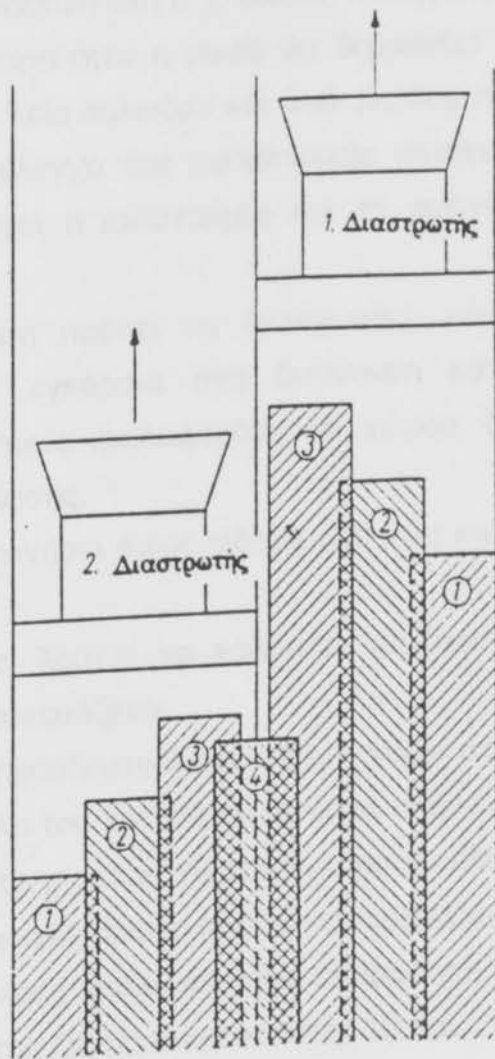
Εάν συμπιεσθεί το μίγμα από την εξωτερική ακμή έως πλησίον της ραφής, κατά τη συμπύκνωση της υπόλοιπης ζώνης που δεν κυλινδρώθηκε μπορεί να μην υποστεί πλευρική μετατόπιση με την πίεση του κυλίνδρου. Έτσι προκαλείται μια οικεία σύνδεση των δυο λωρίδων που διαστρώνονται.

Η τελευταία ζώνη συμπυκνώνεται με τον κύλινδρο όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.56.

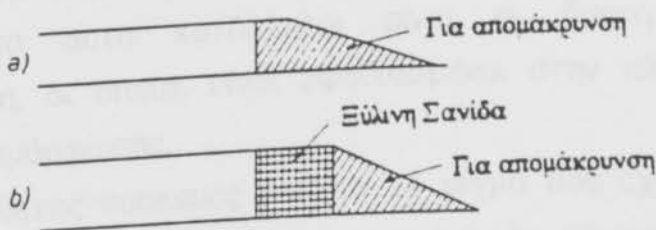
Εγκάρσιες ραφές εργασίας πρέπει να διαμορφώνονται, εάν η κατασκευή διακοπεί για μεγάλο χρονικό διάστημα, ή εάν πρέπει να γίνει σύνδεση σε υφιστάμενη επιφάνεια που κυκλοφορήθηκε.

Για μια άνετη οδήγηση οι αρμοί εργασίας πρέπει να είναι κατά το δυνατόν επίπεδοι. Επειδή όμως δεν αποκλείονται ανωμαλίες, οι ραφές της στρώσης κυκλοφορίας δεν πρέπει να διαμορφώνονται κάθετα στον άξονα του οδοδοστρώματος, αλλά λοξά υπό γωνία περίπου 70° , ή σαν την ουρά του χελιδονιού. Έτσι, οι τροχοί κυλούν επάνω από την ενδεχόμενη ανωμαλία σε χρονική παράθεση, και η επίδραση στην άνεση της οδήγησης παραμένει μικρή.

Στο τέλος της λωρίδας που κατασκευάζεται πρέπει να δημιουργείται μια καθαρή κάθετη ακμή. Εδώ όμως αυτή διαμορφώνεται λοξά και πρίν τη συνέχιση της κατασκευής το τελευταίο αυτό τμήμα απομακρύνεται (Σχήμα 8.57α). Αυτό βέβαια μπορεί να γίνει πιο εύκολα εάν τοποθετηθεί μπροστά από την λοξότητα στην ασφαλτο ένα μαλακό ξύλο με ακμές και η επιφάνεια της υποδομής κάτω από το ασφαλτόμιγμα που σχηματίζει την λοξότητα διαστρωθεί με ένα διαχωριστικό υλικό όπως π.χ. με άμμο (Σχήμα 8.57β).



Σχήμα 8.56: Η συμπύκνωση της μεσαίας ραφής κατά τη διαδοχική κατασκευή δυο λωρίδων



Σχήμα 8.57: Η διαμόρφωση εγκάρσιων ραφών εργασίας

Πριν από τη συνέχιση της εργασίας πρέπει οι ακμές της ραφής να επαλειφθούν με συνδετική ύλη π.χ. κόλλα, U 60(γαλάκτωμα) ή παρόμοια.

Εάν είναι απαραίτητο η ραφή θα θερμανθεί και θα προσυμπυκνωθεί κατ' αρχήν με βαρύ λείο κύλινδρο και από τις δύο πλευρές στην κατά μήκος διεύθυνση για τον έλεγχο της υψομετρικής ισοσταθμίας. Στη συνέχεια θα ελεγχθεί εάν υπάρχει η ισοσταθμία και εν ανάγκη ακόμη θα πρέπει να διορθωθεί.

Η κύρια συμπύκνωση πρέπει να διενεργηθεί, εάν είναι δυνατόν με ένα δονητικό κύλινδρο, εγκάρσια στη διεύθυνση κατασκευής εφ' όσον το επιτρέπουν οι συνθήκες κυκλοφορίας και χώρου, διότι βελτιώνεται έτσι η ομαλότητα της σύνδεσης.

Η κυλίνδρωση θα ξεκινήσει όπως είδαμε και στις κατά μήκος ραφές από την κρύα λωρίδα.

Ο κύλινδρος πρέπει λοιπόν να καλύπτει περίπου 10 έως 20 εκ. τη νέα επιφάνεια που κατασκευάζεται.

Ύστερα προχωρεί προοδευτικά κάθε φορά γύρω στα 15 έως 20 εκ. στη νέα στρώση έως ότου όλο του το πλάτος κινείται πλέον στη νέα στρώση.

Για να μην ωθείται το μίγμα κατά την εγκάρσια κυλίνδρωση έξω από τα όρια του αρμού, πρέπει η κυλίνδρωση αυτή να σταματά περίπου 15 έως 20 εκ. πρίν από την άκρη. Οι μικρές υπολειπόμενες επιφάνειες θα συμπυκνωθούν έπειτα με τη συμπύκνωση της ζώνης που κατασκευάζεται.

8.5.10 Ακμές οδοστρώματος

Ασφαλτικά οδοστρώματα κατασκευάζονται σήμερα για λόγους οικονομίας ως επί το πλείστον χωρίς στερεά εγκιβωτισμού.

Οι ακμές του οδοστρώματος γίνονται συνήθως σύμφωνα με RSTO-75 με κλίση 2:1.

Για λόγους ασφαλείας είναι επιθυμητή μια συμπυκνωμένη ζώνη στις άκρες.

Για το σκοπό αυτό κατάλληλοι είναι οι διαστρωτές με υψηλή προσυμπύκνωση, οι οποίοι είναι εφοδιασμένοι στην πλάκα με πρόσθετα εξαρτήματα διαμόρφωσης.

Αυτές οι πρόσθετες συσκευές πιέζουν το μίγμα που έχει φθάσει ήδη στο τέλος της πλάκας, προς τα πίσω, κάτω από τη δονούμενη πλάκα, έτσι ώστε να πραγματοποιείται μια ακόμη συμπύκνωση. Με ανάλογο τρόπο διαμορφώνεται η λοξότητα της ακμής. Από μια πρόσθετη συμπύκνωση της

ζώνης στην άκρη κατά κανόνα μπορούμε να παραιτηθούμε. Θα μπορούσε βέβαια να πραγματοποιηθεί αυτή αλλά μόνον με δυσκολία.

Λαστιχοφόροι κύλινδροι με ταλαντευόμενους ή βυθιζόμενους αναρτημένους τροχούς με μικρή εσωτερική πίεση των ελαστικών στους ακραίους τροχούς πάχους κάτω από 8 εκ. Αλλά και μ' αυτούς ακόμη όπως και με τους λείους ή δονητικούς κυλίνδρους κατά την εντατική συμπύκνωση, μια πλευρική ολίσθηση του μίγματος είναι αναπόφευκτη με αποτέλεσμα στην ακραία αυτή ζώνη να μην είναι δυνατόν να αποφευχθούν αποκλίσεις από την εγκάρσια τομή, όπως έχει ήδη δειχθεί στο κεφάλαιο 8.5.9.

Η τοποθέτηση κινούμενων ακμών και κωνικών τροχών ως πρόσθετων συσκευών στους κυλίνδρους, τεχνικά είναι τόσο λίγο δοκιμασμένη από ότι η τοποθέτηση χειροκίνητων μικροσυσκευών σε ανεκτά οικονομικά πλαίσια. Η κατασκευή λίγο πλατύτερου οδοστρώματος κατά μια ζώνη, η οποία δε βρίσκεται στην περιοχή της κυκλοφορίας και η μεταγενέστερη σφραγιστική επάλειψη της ζώνης αυτής, συμπεριλαμβανομένης και της κεκλιμένης, με συνδετικό υλικό, θεωρείται ως οικονομικότερη λύση την εποχή αυτή.

9. ΟΛΙΣΘΗΡΟΤΗΤΑ - ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ

9.1 Λεία επιφάνεια οδοστρώματος

Η λεία επιφάνεια είναι μια φθορά του οδοστρώματος η οποία, σε αντίθεση με τους άλλους τύπους φθορών, δεν επιδρά στην επιδείνωση της δομικής κατάστασης του οδοστρώματος αλλά στο επίπεδο ασφάλειας και εξυπηρέτησης αυτού και είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ολισθηρότητα της επιφάνειας.

Η λεία επιφάνεια του οδοστρώματος οφείλεται κυρίως στη λείανση των επιφανειακών αδρανών. Επίσης, μπορεί να οφείλεται και στην ανάδυση της ασφάλτου στην επιφάνεια του οδοστρώματος, ή στη βύθιση των χονδρόκοκκων αδρανών ή ακόμη και στη χρήση λείων και σφαιρικών αδρανών (αμμοχάλικο χειμάρρων κλπ.). Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις επέρχεται μείωση ή εκμηδένιση της μικρο-και μακρο-υφής της επιφάνειας του οδοστρώματος και κατά συνέπεια μείωση του συντελεστή τριβής μεταξύ των ελαστικών και της επιφάνειας. Η παρουσία νερού επιδεινώνει την κατάσταση και παράλληλα είναι αιτία ανάπτυξης του φαινομένου της υδρολίστεσης (ιδιαίτερα στα σημεία παρακράτησης ύδατος). Επιδείνωση της ολισθηρότητας μπορεί επίσης να επέλθει με την παρουσία λαδιών ή χώματος (κυρίως αργιλικών υλικών) πάνω στην επιφάνεια, καθώς επίσης και με εναπόθεση ελαστικών (στις περιοχές που παρατηρείται έντονη πέδηση των οχημάτων).

Η ολισθηρότητα συνδέεται άμεσα με τα τροχαία ατυχήματα. Έτσι λοιπόν, θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή για την άμεση αποκατάσταση της αντιολισθηρής ικανότητα της επιφάνειας.

9.1.1 Λείανση των αδρανών-Ολισθηρότητα

Αίτια

Η λείανση των αδρανών της επιφάνειας οφείλεται αποκλειστικά μόνο στη χρήση ακατάλληλων σκληρών αδρανών. Τέτοια υλικά είναι όλα τα ασβεστολιθικά υλικά που παράγονται και χρησιμοποιούνται, δυστυχώς μέχρι και σήμερα, σχεδόν σε όλους του τάπητες κυκλοφορίας στην Ελλάδα!

Θεραπεία

Η συντήρηση της επιφάνειας και η αποκατάσταση της αντιολισθηρής ικανότητας αυτής, δηλαδή αύξηση του συντελεστή αντίστασης σε ολίσθηση, γίνεται με μια από τις παρακάτω μεθόδους:

- α) Διάστρωση νέου τάπητα από κατάλληλο θερμό ασφαλτόμιγμα με σκληρά αδρανή
- β) Διάστρωση πορώδους τάπητα
- γ) Μέθοδος προεπαλλειμμένων ψηφίδων
- δ) Κατασκευή ψυχρού αντιολισθηρού λεπτοτάπητα τύπου slurry
- ε) Ασφαλτική επάλειψη (απλή ή διπλή στρώση)
- στ) Κατασκευή θερμών λεπτοταπήτων
- ζ) Απόξεση της επιφάνειας με ειδική φρέζα.

Σε όλες τις παραπάνω μεθόδους, πλην της (ζ), απαραίτητη προϋπόθεση είναι η χρήση κατάλληλων σκληρών αδρανών, μη ασβεστολιθικών. Η καταλληλότητα των αδρανών αυτών ελέγχεται με τους ελέγχους Αντίστασης σε λείανση (συντελεστής PSV) και Αντίστασης σε απότριψη (συντελεστής AAV) συμπεριλαμβανομένων και όλων των άλλων απαιτήσεων για την καταλληλότητα αυτών για ασφαλτομίγματα, όπως απώλεια κατά Los Angeles, ισοδύναμου άμμου, υδροφιλία, αντίσταση σε κρούση και θλίψη, έλεγχος υγείας και απορροφητικότητας σε νερό.

α) Διάστρωση νέου τάπητα από κατάλληλο θερμό ασφαλτόμιγμα με σκληρά αδρανή

Η κατασκευή νέου τάπητα από θερμό ασφαλτόμιγμα για την αντιμετώπιση της ολισθηρότητας προϋποθέτει τη χρήση κατάλληλης κοκκομετρικής διαβάθμισης των σκληρών αδρανών, έτσι ώστε να είναι δυνατόν να επιτυγχάνεται επιφάνεια με άριστη μακροϋφή. Περισσότερες λεπτομέρειες δίνονται στο Κεφάλαιο 4 και στις Τεχνικές Οδηγίες ΥΠΕΧΩΔΕ⁽⁵⁸⁾. Βασικό μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι διαστρώνεται τάπητας παχους 40mm-50mm και συνεπώς χρησιμοποιούνται μεγάλες ποσότητες σκληρών αδρανών (περίπου 70-110Kg/m²). Το πρώτο έχει σαν αποτέλεσμα τη δίχως αιτία αύξηση της στάθμης της οδού με όλα τα αποτελέσματα τη δίχως αιτία αύξησης της στάθμης της οδού με όλα τα συνεπακόλουθα μειονεκτήματα, ενώ το δεύτερο έχει σαν αποτέλεσμα την

αύξηση του κόστους κατασκευής. Η τιμή των σκληρών αδρανών είναι πέντε φορές περίπου υψηλότερη αυτής των ασβεστολιθικών αδρανών (τιμές 1995).

β) Διάστρωση πορώδους τάπητα

Η διάστρωση πορώδους τάπητα εκμηδενίζει παράλληλα και την πιθανότητα ανάπτυξης υδρολίσθησης, καθώς επίσης μειώνει και την ανάπτυξη σταγονιδίων ύδατος που εκτοξεύονται από τα ελαστικά των αυτοκινήτων. Πλήν όμως, η κατασκευή πορώδους τπητα προϋποθέτει την ύπαρξη καλής εγκάρσιας κλίσης και στεγανότητας της υποκείμενης στρώσης. Έτσι, σε περίπτωση αποκάταστασης της αντιολισθηής ικανότητας του οδοστρώματος, θα πρέπει απαραίτητως να διασφαλίζονται οι παραπάνω δύο προϋποθέσεις. Βεβαίως, και στην περπτωση αυτή επέρχεται υπερύψωση της στάθμης του οδοστρώματος όσο παχος της στρώσης (40-50mm). Περισσότερες πληροφορίες δίνονται στην παράγραφο 4.2.6.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η διάστρωση πορώδους τάπητα δε συμβάλλει αποτελεσματικά στην ενίσχυση του οδοστρώματος και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από μόνη της σε περιπτώσεις όπου απαιτείται και παράλληλη ενίσχυση του τάπητα. Το τελευταίο επιτυγχάνεται με την επιπρόσθετη διάστρωση ασφαλτοτάπητα πυκνής υφής.

γ) Μέθοδος προεπαλειμμένων ψηφίδων

Παρόμοιο μειονέκτημα, δηλαδή αύξηση της στάθμης του οδοστρώματος, έχει και η μέθοδος των προεπαλλειμμένων ψηφίδων, δεδομένου ότι προαπαίτηση είναι η κατασκευή τάπητα πάχους συνήθως 40mm για την έμπηξη των ψηφίδων.

Ένα επίσης βασικό μειονέκτημα της μεθόδου των προεπαλειμμένων ψηφίδων είναι η δυσκολία δημιουργία και διατήρησης ομοιόμορφης επιφάνειας εξαιτίας είτε της κακής αρχικής ανισοκατανομής, είτε της σταδιακής αποκόλλησης των ψηφίδων, είτε ακόμη λόγω της βύθισης των ψηφίδων. Όλες σχεδόν οι εφαρμογές προεπαλειμμένων ψηφίδων στην Ελλάδα, μέχρι σήμερα, παρουσιάζουν τα παραπάνω προβλήματα.

Η μέθοδος των προεπαλειμμένων ψηφίδων συνίσταται στη διασπορά (κατανομή) συγκεκριμένης ποσότητας μονόκοκκων αδρανών (ψηφίδων) τα οποία έχουν προεπαλειφθεί με μικρή ποσότητα ασφάλτου (τύπου 40/50 ή 60/70pen). Οι ψηφίδες που χρησιμοποιούνται έχουν, συνήθως, δύο

ονομαστικά μεγέθη: 10-14mm και 14-20mm, αναλόγως της μακροϋφής που επιδιώκεται να επιτευχθεί. Οι κοκκομετρικές διαβαθμίσεις των ψηφίδων δίνονται στον Πίνακα 9.1.

Κόσκινο τετραγωνικής οπής (British Standard)	Ονομαστικό μέγεθος ψηφίδων	
	10-14mm	14-20mm
	Διερχόμενο ποσοστό (%)	
28mm	-	100
20	100	90-100
14	90-100	0-15
10	0-15	-
6.3	0-3	0-3
0.6	0-1	0-1
0.075	0-0.5*	0-0.5*

* 'Ο προσδιορισμός του κλάσματος αυτού πρέπει να γίνεται με έκπλυση σύμφωνα τη μέθοδο ASTM C-117

Πίνακας 9.1 Κοκκομετρική διαβάθμιση ψηφίδων για προεπάλειψη

Για τα δύο ονομαστικά μεγέθη, οι ποσότητες που συνιστώνται να κατανέμονται, από τις Ελληνικές τεχνικές οδηγίες⁽⁵⁹⁾, είναι: για 10-14mm, 7 ± 1 Kg/m², ενώ για 14/20mm, 10 ± 1 Kg/m². Το ποσοστό ασφάλτου που χρησιμοποιείται για την προεπάλειψη των ψηφίδων κυμένεται από 1-1.5%, για αδρανή υλικά με ειδικό βάρος 2.6-2.8 gr/cm³ και κανονικό πορώδες.

Η κατανομή των προεπαλειμμένων ψηφίδων γίνεται από ειδικό αυτοκινούμενο μηχάνημα-κατανομέα που ακολουθεί το διαστρωτήρα (finisher) σε απόσταση 10 περίπου μέτρων.

Το ασφαλτόμιγμα υποδοχής των προεπαλειμμένων ψηφίδων θα πρέπει να έχει κοκκομετρική διαβάθμιση εντός των προδιαγραφόμενων ορίων που δίνονται στον Πίνακα 9.2. Περισσότερες πληροφορίες δίνονται στις Τεχνικές Οδηγίες του ΥΠΕΧΩΔΕ⁽⁵⁹⁾.

Κόσκινο τετραγωνικής οπής (ASTM)	Διερχόμενο ποσοστό (%)
12.5mm (1/2")	100
9.5 (3/8")	80-100
4.75 (No. 4)	55-75
2.36 (No.8)	35-50
0.6 (No.30)	18-29
0.3 (No.50)	13-23
0.15 (No.100)	8-16
0.075 (No.200)	4-10

Πίνακας 9.2 Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης ασφαλτομίγματος υποδοχής προεπαλειμμένων ψηφίδων⁽⁵⁹⁾

δ) Μέθοδος *Slurry Seal*

Η κατασκευή ψυχρού αντιολισθηρού λεπτοτάπητα με τη μέθοδο *slurry sealing* προϋποθέτει και αυτή τη χρήση κατάλληλων σκληρών αδρανών, πλην όμως οι απαιτούμενες ποσότητες ανά τετραγωνικό μέτρο είναι κατά πολύ μικρότερες, περίπου το 10%-15%, της ποσότητας που απαιτείται στη μέθοδο (α). Συνεπώς, με τη μέθοδο αυτή αφενός μειώνεται το κόστος της κατασκευής και αφετέρου γίνεται εξικονόμηση των φυσικών αποθέσεων σκληρών αδρανών.

Η εξικονόμηση των φυσικών αποθέσεων δεν οφείλεται μόνο στο γεγονός ότι χρησιμοποιούνται μικρές ποσότητες αδρανών αλλά και στο ότι χρησιμοποιείται όλο το φάσμα των λεπτόκοκκων (σε αντίθεση με τις προεπαλειμμένες ψηφίδες που είναι μονόκοκκα αδρανή).

Άλλα βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι η μη αισθητά αύξηση της υψομετρικής στάθμης του οδοστρώματος (πάχος περίπου 10mm), η ταχύτητα κατασκευής και η εύκολη αποκατάσταση των τυχόν τοπικών κατασκευαστικών αστοχιών, ή της μελλοντικής τοπικής επιδιόρθωσης. Περισσότερες πληροφορίες για τη μέθοδο αυτή δίνονται στο Κεφάλαιο 5 και στη βιβλιογραφία⁽⁶⁰⁾.

Ο λεπτοτάπητας που κατασκευάζεται με τη μέθοδο αυτή είναι όχι μόνο για την επίτευξη αντιολισθηρής και σφραγιστικής επιφάνειας και όχι για

την αύξηση της φέρουσας ικανότητας του οδοστρώματος (αύξηση του αριθμού ισοδυνάμων αξόνων που μπορεί να παραλάβει το οδόστρωμα).

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται εδώ και δέκα περίπου χρόνια στην Ελλάδα, με πολύ καλά αποτελέσματα⁽⁶¹⁾⁽⁶²⁾.

ε) Μέθοδος ασφαλτικών επαλείψεων

Η μέθοδος των ασφαλτικών επαλείψεων συνίσταται στον ψεκασμό συνδετικού υλικού (άσφαλτος, ή ασφαλτικό ελαστομερές γαλάκτωμα ή ελαστομερής άσφαλτος) και στη διασπορά μονόκοκκων αδρανών συγκεκριμένου μεγέθους σε μία ή δύο στρώσεις. Οι ποσότητες του συνδετικού υλικού και των αδρανών ανά μον'άδα επιφάνειας, καθώς επίσης και το κατάλληλο μέγεθος των αδρανών εξαρτάται από το είδος του συνδετικού υλικού, τη σκληρότητα της επιφάνειας και τον κυκλοφοριακό φόρτο.

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι το σχετικά χαμηλό κόστος κατασκευής και η ευκολία της κατασκευής. Το μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η περιοδική αποκόλληση των αδρανών, ιδιαίτερα σε δρόμους υψηλών ταχυτήτων και με μεγάλο κυκλοφοριακό φόρτο. Η μέθοδος αυτή, αν και χρησιμοποιείται ευρέως στο εξωτερικό, δεν έχει μέχρι σήμερα εφαρμοστεί στην Ελλάδα (πλήν μιας μικρής πειραματικής έκτασης στην περιοχή των Ιωαννίνων).

στ) Λεπτοτάπητες από θερμό ασφαλτόμιγμα

Η τεχνική των θερμών λεπτοτάπητων άρχισε να εφαρμόζεται τα τελευταία δέκα περίπου χρόνια για να αντιμετωπίσει το πρόβλημα της αποκατάστασης της αντισθηρότητας δίχως να σπαταλούνται μεγάλες ποσότητες σκληρών αδρανών. Η τεχνική συνίσταται στη χρήση θερμών ασφαλτομιγμάτων που δύναται να διαστρωθούν σε λεπτές (20-30mm) έως πολύ λεπτές (15-20mm) στρώσεις. Τετοια μίγματα είναι το SMA και ορισμένα πατενταρισμένα ασφαλτομίγματα τα οποία προϋποθέτουν τη χρήση ειδικών μηχανημάτων διάστρωσης (παράγραφος 4.2.8).

ζ) Επαναδημιουργία υφής με μηχανικά μέσα

Η επαναδημιουργία υφής με κατάλληλα μηχανικά μέσα αποσκοπεί στην προσωρινή αποκατάσταση της αντισθηρής ικανότητας και όχι στη

μονιμότερη αποκατάσταση που επέρχεται με όλες τις άλλες μεθόδους. Τα μηχανικά μέσα που χρησιμοποιούνται είναι: εκτοξευτήρες θερμού συμπιεσμένου αέρα, ειδικές φρέζες και ειδικά κρουστικά μηχανήματα. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονισθεί το γεγονός ότι τα συνήθη μηχανήματα που χρησιμοποιούνται για την αποξήλωση του φθαρμένου τάπητα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν, διότι αυτά συνήθως αφήνουν διαμήκεις συνεχείς ραβδώσεις. Οι ραβδώσεις αυτές είναι πολύ επικίνδυνες για την οδήγηση και δε συμβάλλουν καθόλου στην επίτευξη αντιολισθηρής επιφάνειας. Τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται δημιουργούν τυχαία μακροϋφή στο οδόστρωμα.

Η τεχνική αυτή, εάν χρησιμοποιηθεί, προϋποθέτει ότι ο τάπητας κυκλοφορίας θα είναι σε καλή κατάσταση και δε παρουσιάζει άλλες φθορές. Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου αυτής σε χώρες με θερμό κλίμα όπως η Ελλάδα αμφισβητείται, εκτός από την περίπτωση αντιμετώπισης του φαινομένου ανάδυσης της ασφάλτου.

Παρατηρήσεις επί των μεθόδων αντιμετώπισης της ολισθηρότητας

Οι μέθοδοι (α) και (γ) θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο στην περίπτωση κατά την οποία συνυπάρχουν και άλλες φθορές στο οδόστρωμα και ιδιαίτερα όταν επιζητείται και παράλληλη ενίσχυση του οδοστρώματος ή όταν πρόκειται για καινούργιο οδόστρωμα. Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου (γ), των προεπαλειμμένων ψηφίδων, στην Ελλάδα δεν ήταν η αναμενόμενη. Για το λόγο αυτό συνίσταται να αποφεύγεται, εκτός εάν διασφαλίζεται από τον κατασκευαστή η ποιότητα της κατασκευής.

Η μέθοδος του πορώδους τάπητα έχει δώσει πολλά καλά αποτελέσματα σε χώρες όπου έχει χρησιμοποιηθεί, που κατά κανόνα είναι χώρες της βόρειας Ευρώπης. Σε ορισμένες μάλιστα χώρες, όπως η Αγγλία, είναι μια από τις επίσημα αναγνωρισμένες μεθόδους παροχής αντιολισθηρής επιφάνειας σε νέες κατασκευές, ενώ στην Ολλανδία συνιστάται ως η πρώτη επιλογή κυρίως σε αυτοκινητοδρόμους εντός κατοικημένων περιοχών. Σε περίπτωση χρήσης της μεθόδου αυτής σε παλαιό τάπητα θα πρέπει να διασφαλίζεται η επαρκής εγκάρσια κλίση της οδού και η στεγανότητα της υποκείμενης επιφάνειας. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις θα πρέπει να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα διευθέτησης των επιφανειακών υδάτων που απορρέουν από την στρώση.

Στην Ελλάδα η μέθοδος του πορώδους τάπητα βρίσκεται ακόμα στο στάδιο της δοκιμασίας. Τα πρώτα αποτελέσματα είναι θετικά, όμως η αποτελεσματική λειτουργία της σε ξηρό και θερμό περιβάλλον με πολύ σκόνη όπως της Ελλάδος, είναι υπό κρίση.

Η μέθοδος των ψυχρών λεπτοταπήτων έχει δώσει πολύ καλά αποτελέσματα μετά από δεκαετή εφαρμογή στην Ελλάδα και συνίσταται να χρησιμοποιείται αεσε όλες τις περιπτώσεις αποκατάστασης αντιολισθηρής ικανότητας των παλαιών οδοστρωμάτων. Σε περίπτωση νέων κατασκευών, συνίσταται η χρήση της να γίνεται κατόπιν τεχνο-οικονομικής σύγκρισης με άλλες ενδεδειγμένες μεθόδους, όπως οι (α), (β) και (στ).

Οι ασφαλτικές επαλείψεις είναι μια τεχνική που δίνει και αυτή πολύ καλά αποτελέσματα και χρησιμοποιείται ευρέως στο εξωτερικό. Η χρήση της αρχικά περιοριζόταν σε όλες τις κατηγορίες δρόμων εκτός από τους αυτοκινητοδρόμους. Πλην όμως σήμερα, με την ραγδαία ανάπτυξη των τροποποιημένων ασφάλτων, ο περιορισμός αυτός τείνει να εξαλειφθεί. Στην Ελλάδα οι ασφαλτικές επαλείψεις δεν έχουν ακόμη εφαρμοσθεί. Συνίσταται να χρησιμοποιηθούν τουλάχιστον σε όλους τους δρόμους εκτός από τους αυτοκινητοδρόμους, δεδομένου ότι παρέχουν μια αποδεδειγμένα καλή και οικονομική εναλλακτική λύση.

Οι λεπτοτάπητες με θερμό ασφαλτόμιγμα, παρ' όλη την περιορισμένη εμπειρία από τη χρήση τους και στο εξωτερικό (πλην του μίγματος SMA) φαίνεται ότι παρέχουν μια καλή λύση αντιμετώπισης της ολισθηρότητας των οδοστρωμάτων. Στην Ελλάδα δεν έχουν ακόμη εφαρμοσθεί, ούτε σε πειραματικό στάδιο.

Η επαναδημιουργία υφής με μηχανικά μέσα συνίσταται να χρησιμοποιείται μόνο σε περιπτώσεις προσωρινής αποκατάστασης της αντιολισθηρότητας ή τοπικής αποκατάστασης αυτής στην περίπτωση ανάδυσης της ασφάλτου.

9.2 Μέτρηση της τραχύτητας του οδοστρώματος

Roadmeter

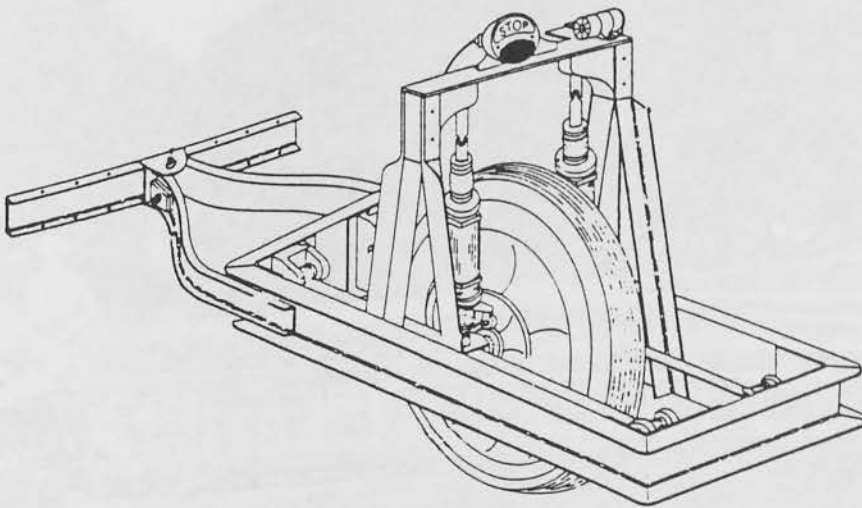
Το Roadmeter της PCA, που δημιουργήθηκε το 1965, εξασφαλίζει ένα γρήγορο απλό και όχο ακριβό τρόπο μετρήσεως της τραχύτητας του οδοστρώματος, που είναι ένα κύριο στοιχείο του RSI.

Το Roadmeter PCA, είναι ένα ηλεκτρομηχανολογικό μηχάνημα, που είναι τοποθετημένο σε ένα κανονικό επιβατικό όχημα, και μετρά τον αριθμό και το μέγεθος των κατακορύφων αποκλίσεων μεταξύ του σώματος του οχήματος και του κέντρου στεγάσεως του πίσω άξονα.

Roughometer

Το Roughometer είναι ένα ρυμουλκούμενο με έναν τροχό καταγραφής τοποθετημένο στο κέντρο (σχ 9.1).

Μια ειδική συσκευή στην κορυφή του συστήματος αναρτήσεως καταγράφει σε in την κατακόρυφη κίνηση του άξονα, ενώ μια άλλη συσκευή καταγράφει τις περιστροφές του τροχού έτσι, ώστε να μπορεί να καταγραφεί, για κθε τμήμα του οδοστρώματος, η τραχύτητα (in/mi ή cm/Km).



Σχήμα 9.1

Slope profilometer

Είναι μια συσκευή, που υιοθετήθηκε, κατασκευάστηκε και χρησιμοποιήθηκε στο Οδικό Πείραμα AASHO.

Αυτή η συσκευή μετρά την “ διακύμανση κυλίσεως” (SV) του οδοστρώματος. Η παρακάτω εξίσωση δίνει την διακύμανση κυλίσεως σε σχέση με την υψομετρική διαφορά, που μετριέται από την συσκευή.

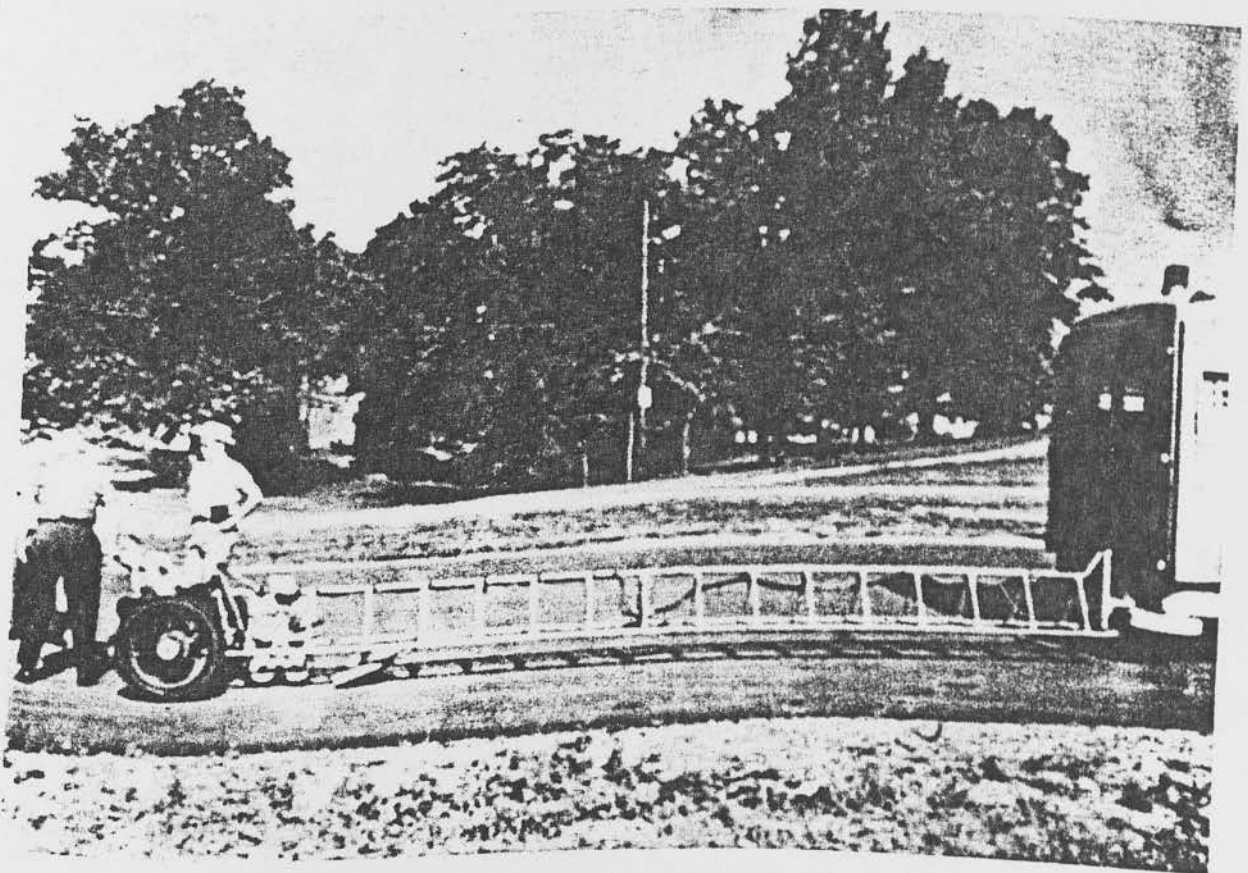
Οι μετρήσεις γίνονται με ταχύτητα 3-5 mph.

$$SV = \Sigma \psi^2 - (1/n) \cdot (\Sigma \psi)^2 / n - 1$$

ψ = Διαφορά υψομέτρων δυο διαδοχικών, κατά την έννοια του μήκους, σημείων της επιφάνειας κυλίσεως, που απέχουν μεταξύ τους απόσταση μοναδιαία (1 ft).

n = Αριθμός αναγνώσεων της συσκευής.

Μια τροποποίηση του Slope profilometer είναι γνωστή σαν CHLOE profilometer (σχ. 9.2).



Σχήμα 9.2

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΔΟΠΟΙΑΣ Α.Π.Θ., ΤΕΕ/ΤΚΜ,
ΚΕΔΕ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΚΑΙ ΔΗΜΟΤΙΚΗΣ ΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΣΦΑΛΤΙΚΗ ΥΛΙΚΩΝ & ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ (ΕΛΑΣ)

**2ο ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ
ΑΣΦΑΛΤΙΚΩΝ ΜΙΓΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ**

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ
ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΣΦΑΛΤΙΚΗ ΥΛΙΚΩΝ & ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ (ΕΛΑΣ)

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ ΑΠΡΙΛΙΟΣ 1996

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

**ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡ/ΝΤΟΣ-ΧΩΡ/ΞΙΑΣ & ΔΗΜ.ΕΡΓΩΝ
ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ
Δ/ΝΣΗ ΑΣΦΑΛΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ & ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ (ΕΚ2)**

**ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΝΤΙΟΛΙΣΘΗΡΗΣ
ΑΣΦΑΛΤΙΚΗΣ ΣΤΡΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΕΜΠΗΞΗΣ
ΠΡΟΕΠΑΛΕΙΜΕΝΩΝ ΨΗΦΙΔΩΝ**

Αθήνα Ιούλιος 1986

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΓΕΝΙΚΑ
 - 1.1. Ορισμοί
 - 1.2. Αντικείμενο - Εφαρμογές
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ
 - 2.1. Ψηφίδες
 - 2.1.1. Κοκκομετρική διαβάθμιση
 - 2.1.2. Καθαρότης και σχήμα κόκκων
 - 2.1.3. Μηχανικές ιδιότητες
 - 2.1.4. Ασφαλτικό συνδετικό για την επάλειψη των ψηφίδων
 - 2.2. Ασφαλτικό σκυρόδεμα - υπόστρωμα για την έμπηξη των ψηφίδων
 - 2.2.1. Αδρανή Υλικά
 - 2.2.2. Ασφαλτικό συνδετικό
 - 2.2.3. Μελέτη συνθέσεως
3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
 - 3.1. Προεπάλειψη και αποθήκευση των ψηφίδων
 - 3.2. Παραγωγή και διάστρωση ασφαλτικού σκυροδέματος
 - 3.3. Κατανομή των προεπαλειμμένων ψηφίδων
 - 3.4. Συμπύκνωση
 - 3.5. Απόδοση στην κυκλοφορία
4. ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ
 - 4.1. Έλεγχοι υλικών
 - 4.2. Έλεγχοι κατά την κατασκευή
 - 4.3. Έλεγχοι και απαιτήσεις για την τελική στρώση

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΝΤΙΟΛΙΣΘΗΡΗΣ ΑΣΦΑΛΤΙΚΗΣ ΣΤΡΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΕΜΠΗΞΗΣ ΠΡΟΕΠΑΛΕΙΜΕΝΩΝ ΨΗΦΙΔΩΝ

1. ΓΕΝΙΚΑ

1.1. Ορισμοί

Η μέθοδος κατασκευής αντιολισθηρής στρώσης με "έμπηξη ψηφίδων" συνίσταται, βασικά, στην ομοιόμορφη κατανομή και ενσωμάτωση στην επιφανειακή στρώση του οδοστρώματος προεπαλειμένων με άσφαλτο και σχεδόν ισόκοκκων ψηφίδων από κατάλληλο σκληρό αδρανές υλικό.

Οι ψηφίδες κατανέμονται ομοιόμορφα από ειδική μηχανή που ακολουθεί το διαστρωτήρα (FINISHER) και ενσωματώνονται στο θερμό ασφαλτόμιγμα-υπόστρωμα κατά την τελική συμπύκνωση δημιουργώντας έτσι την απαραίτητη μακροτραχύτητα της επιφάνειας κυλίσεως και καλύπτοντας σημαντικό μέρος της με αδρανές ανωτέρας ποιότητας.

1.2 Αντικείμενο - Εφαρμογές

Οι τεχνικές οδηγίες αυτές αφορούν στην κατάσκευή αντιολισθηρής στρώσης με "έμπηγμένες ψηφίδες" δηλαδή, μιας στρώσης ασφαλτικό σκυροδέματος πυκνής σύνθεσης από κοινά, συνήθως ασβεστολιθικά, αδρανή υλικά στην επιφάνεια του οποίου κατά την φάση αμέσως μετά τη διάστρωση και πριν από τη συμπύκνωση κατανέμονται ομοιόμορφα και τελικά ενσωματώνονται με τη συμπύκνωση προεπαλειμένες με άσφαλτο και σχεδόν ισόκοκκες ψηφίδες από σκληρό αδρανές υλικό.

Επειδή με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται εξοικονόμηση στις απαιτούμενες ποσότητες σκληρών αδρανών υλικών γι αυτό επιλέγεται, συνήθως, στις περιοχές όπου η δαπάνη μεταφοράς των υλικών θα επιβαρύνει το συνολικό κόστος της κατασκευής.

Μειονέκτημα της μεθόδου "έμπηξης ψηφίδων", σε σύγκριση με τις αντιολισθηρές στρώσεις από ασφαλτικό σκυρόδεμα είναι, αφενός το ότι ποσοστό μόνο της επιφάνειας του οδοστρώματος καλύπτεται με αδρανές

υλικό ανώτερης ποιότητας και αφετέρου η δυσκολία δημιουργίας και διατήρησης ομοιόμορφης επιφάνειας κύλισης εξ αιτίας είτε αρχικής ανισοκατανομής είτε σταδιακής αποκόλλησης των ψηφίδων. Προϋπόθεση για την επιτυχία της κατασκευής αυτής είναι η σχολαστική τήρηση των απαιτήσεων (βάψιμο ψηφίδας, καθαριότητα, τήρηση θερμοκρασιών κλπ.) και ο συστηματικός ποιοτικός έλεγχος.

Πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η δυνατότητα επίτευξης επαρκούς μακροϋφής σε μια επιφανειακή στρώση στεγανή και με υψηλή φέρουσα ικανότητα.

2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

2.1 Ψηφίδες

Στις αντλιοσθηρές στρώσεις με εμπηγμένες ψηφίδες σε τάπητα από ασβεστολιθικά, συνήθως, αδρανή υλικά η δημιουργία και η διατήρηση με το χρόνο των επιφανειακών χαρακτηριστικών του οδοστρώματος (μικροϋφής και μακροϋφής) εξαρτάται αποκλειστικά σχεδόν από τις ιδιότητες των ψηφίδων οι οποίες θα πρέπει να προέρχονται από θραύση πετρώματος με εξαιρετικά μηχανικά χαρακτηριστικά να έχουν μεγάλη καθαρότητα και κατάλληλο σχήμα κόκκου.

2.1.1 Κοκκομετρική διαβάθμιση

Οι ψηφίδες θα ακολουθούν μία από τις δύο κοκκομετρικές διαβαθμίσεις του επόμενου πίνακα:

Άνοιγμα κοσκίνου τετραγωνικής οπής (BS)	Όνομαστικό μέγεθος ψηφίδων	
	10 - 14 MM	14 - 20 MM
	Διερχόμενο ποσοστό % (κατά βάρος)	
28MM	100	100
20MM	90-100	90-100
14MM	0-15	0-15
10MM	0-3	.....
6,3MM	0-1*	0-3
0,6MM	0-1*	0-1*
0,075MM (No 200)	0-0,5	0-0,5

Η επιλογή του ονομαστικού μεγέθους εξαρτάται από το επιδιωκόμενο μέσο βάθος υψής της επιφάνειας του οδοστρώματος.

(*) Ο έλεγχος του ποσοστού των μικρότερων από 0.6MM κόκκων και το διερχόμενο από το N° 200 έχει σημασία γιατί η παρουσία τους εμποδίζει τη σωστή προεπάλειψη των ψηφίδων. Ο προσδιορισμός του κλάσματος του διερχόμενου από το κόσκινο 0.075MM (N° 200) πρέπει να γίνεται με έκπλυση σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM C-117.

2.1.1 Καθαρότης και σχήμα κόκκων

Οι ψηφίδες θα πρέπει να προέρχονται από θραύση πετρώματος με τα παρακάτω προδιαγραφόμενα μηχανικά χαρακτηριστικά και να είναι απαλλαγμένες από επιβλαβείς προσμίξεις (βώλους ή παιπάλη αργίλου, οργανικά ή άλλα μαλακά εύθρυπτα υλικά). Στη περίπτωση που προέρχονται από φυσικές αποθέσεις ποταμών ή χειμάρων θα πρέπει οι προς θραύση κροκάλες να συγκρατούνται σε κόσκινο με άνοιγμα οπής τριπλάσιο του άνω ορίου του ονομαστικού μεγέθους των ψηφίδων ώστε να εξασφαλίζεται ότι τουλάχιστον το 90% των κόκκων που συγκρατούνται στο κόσκινο 6.3 MM (1/4") να έχει μία τουλάχιστον θραυσιγενή επιφάνεια και το 75% των κόκκων δύο ή περισσότερες.

Το σχήμα των κόκκων θα πρέπει να είναι κατά το δυνατόν κυβοειδούς μορφής και θα ελέγχεται με τον προσδιορισμό, κατά τη πρότυπη μέθοδο BS 812/1985 (§105.1) του "δείκτη πλακοειδούς" (FLAKINESS INDEX) ο οποίος θα πρέπει να μην υπερβαίνει το 25.

2.1.3. Μηχανικές ιδιότητες

Οι απαιτήσεις για τις χαρακτηριστικές μηχανικές ιδιότητες του χονδρόκοκκου αδρανούς υλικού δίνονται σε συνάρτηση με τον προβλεπόμενο κυκλοφοριακό φόρτο ο οποίος καθορίζεται είτε με τη μελέτη οδοστρώματος, όταν πρόκειται για νέες κατασκευές, είτε από τις υφιστάμενες συνθήκες κυκλοφορίας, όταν πρόκειται για συντήρηση παλαιών οδοστρωμάτων.

Τα όρια "ημερήσιου κυκλοφοριακού φόρτου ανά λωρίδα" που δίνονται στους παρακάτω Πίνακες αναφέρονται σε συνήθεις συνθέσεις κυκλοφορίας (μέχρι 15% φορτηγά με ωφέλιμο φορτίο πάνω από 5 TONS). Σε δρόμους με

ειδική σύνθεση κυκλοφορίας θα πρέπει να προσαρμόζεται ανάλογα η κατάταξη.

Δείκτης αντίστασης σε στίλβωση PSV (Polished Stone Value) κατά BS 812/1975

Ελάχιστες τιμές "Δείκτη αντίστασης σε στίλβωση" (PSV) σε σχέση με την επικινδυνότητα της θέσης και την κυκλοφορία.

Κατηγορία θέσης	Κυκλοφορία	Ελαφρά	Μέση	Βαρειά	Πολύ βαρειά
	Ημερήσιος κυκλοφορι-ακός φόρτος ανά λωρίδα	μέχρι 500	500-3000	3000-8000	Πάνω από 8000
A	Επικίνδυνες θέσεις	50	55	60	65
B	Συνήθεις θέσεις	45	50	55	60
Γ	Εύκολες θέσεις	.....	45		

Οι θέσεις χαρακτηρίζονται σε κατηγορίες κινδύνου ως εξής:

A *Επικίνδυνες θέσεις*

- Προσεγγίσεις σε σηματοδότες, διαβάσεις πεζών και διασταυρώσεις.
- Κυκλικοί κόμβοι και προσεγγίσεις σε κόμβους
- Καμπύλες σε οριζοντιογραφία με ακτίνα μικρότερη από 150 m ή ακτίνα μεγαλύτερη από 150 m και μέχρι 300 m αν συνδυάζεται με κυρτή κατακόρυφη καμπύλη με ακτίνα μέχρι 800 m, σε δρόμους με όριο ταχύτητας πάνω από 65 m.

Τμήματα με κλίση πάνω από 5% και μήκους πάνω από 100 m

B *Συνήθεις θέσεις*

Τμήματα ευθύγραμμα ή με ακτίνα καμπυλότητας μεγαλύτερη από 150m με κλίσεις όχι μεγαλύτερες από 5% σε :

- Αυτοκινητοδρόμους

- Κεντρικές αστικές αρτηρίες και κύριους υπεραστικούς δρόμους
- Άλλους δρόμους με κυκλοφορία βαρεία ή πολύ βαρεία.

Γ Εύκολες θέσεις

Τμήματα γενικά ευθύγραμμα σε δρόμους με ελαφρά ή μέση κυκλοφορία, με ελαφρές κλίσεις και καμπύλες μεγάλης ακτίνας, χωρίς επικίνδυνες διασταυρώσεις και άλλα χαρακτηριστικά που θα μπορούσαν να δημιουργήσουν επικίνδυνες συνθήκες.

Δείκτης αντίστασης σε απότριψη AAV (Aggregate abrasion Value) κατά BS 812/1975

Κυκλοφορία	Ελαφρά	Μέση	Βαρεία	Πολύ βαρεία
Ημερήσιος κυκλοφοριακός φόρτος ανά λωρίδα	μέχρι 500	500-3000	3000-8000	Πάνω από 8000
Max. AAV	14	12	10	8

Οι μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές δείκτη αντίστασης σε απότριψη (AAV) σε σχέση με τη κυκλοφορία είναι :

Αντίσταση σε τριβή και κρούση κατά Los Angeles κατά ASTM C 131

Το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό φθοράς κατά τη μέθοδο Los Angeles (ASTM C 131) σε σχέση με την κυκλοφορία είναι :

Κυκλοφορία	Ελαφρά	Μέση	Βαρεία	Πολύ βαρεία
Ημερήσιος κυκλοφοριακός φόρτος ανά λωρίδα	μέχρι 500	500-3000	3000-8000	Πάνω από 8000
Μέγιστο ποσοστό φθοράς κατά Los Angeles	30%	28%	26%	24%

ΣΗΜΕΙΩΣΗ - Οι απαιτήσεις ως προς τις μηχανικές ιδιότητες είναι οι ελάχιστες απαιτήσεις και αν από τεchnοοικονομική άποψη είναι εφικτά υλικά με καλύτερες ιδιότητες, η Υπηρεσία μπορεί να προδιαγράψει στους συμβατικούς όρους αυστηρότερα όρια επιδιώκοντας διατήρηση για μεγαλύτερο χρόνο των επιφανειακών χαρακτηριστικών του οδοστρώματος.

2.1.4. Ασφαλτικό συνδετικό για την επάλειψη των ψηφίδων

Η επάλειψη των ψηφίδων θα γίνεται σε μόνιμη εγκατάσταση, εν θερμό, με καθαρή άσφαλτο τύπου 40/50 ή 60/70 για τις ψυχρότερες περιοχές με υψόμετρο πάνω από 500Μ

Η άσφαλτος θα πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις της Προδιαγραφής ASTM D 946.

Το ποσοστό ασφάλτου θα καθορίζεται από το εργαστήριο. Σαν βέλτιστο ποσοστό ασφάλτου που επιτρέπει τη δημιουργία λεπτού αλλά συνεχούς υμένα ασφάλτου για όλες τις ψηφίδες ενώ συγχρόνως δεν συνεπάγεται κινδύνους δημιουργίας συσσωμάτων ψηφίδων κατά την παραγωγή και αποθήκευση. Συνήθως το ποσοστό αυτό για τα υλικά με ειδικό βάρος 2.6-2.8 και κανονικό πορώδες κυμαίνεται από 1-1.5% ενώ για υλικό με χαμηλό ειδικό βάρος και αυξημένο πορώδες μπορεί να φθάσει μέχρι 2%.

Η προσθήκη βελτιωτικού προσφήσεως στην άσφαλτο θα γίνεται στις περιπτώσεις χρησιμοποίησης αδρανών που παρουσιάζουν υδροφιλία, ή σε ειδικές περιπτώσεις που θα καθορίζει η Υπηρεσία. Ο τύπος και το ακριβές ποσοστό του αντιυδροφίλου θα καθορίζεται από το Εργαστήριο.

Οδηγίες για την σωστή επάλειψη και αποθήκευση των ψηφίδων καθώς επίσης μέθοδος εργαστηριακού ελέγχου και απαιτήσεις για την ποιότητα της προεπάλειψης δίνονται παρακάτω (βλ. § 3.1).

2.2 Ασφαλτικό σκυρόδεμα- υπόστρωμα για την έμπηξη των ψηφίδων

2.2.1 Αδρανή Υλικά

Για την κατασκευή του ασφαλτομίγματος υποδοχής των ψηφίδων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ασβεστολιθικά αδρανή υλικά, είναι όμως προτιμότερο στην περίπτωση βαρείας κυκλοφορίας να χρησιμοποιούνται αδρανή με καλύτερα μηχανικά χαρακτηριστικά.

Το χονδρόκοκκο αδρανές υλικό θα πρέπει να προέρχεται από θράυση πετρώματος, να είναι κυβοειδούς σχήματος και μεγάλης καθαρότητας (απουσίας βόλων αργίλου, οργανικών και άλλων εύθραπτων κόκκων). Στην περίπτωση που προέρχεται από θράυση κροκάλων ποσοστό τουλάχιστον 50% των κόκκων που συγκρατούνται στο κόσκινο 4.75 MM (N° 4) να έχει τουλάχιστον θραυσιγενή επιφάνεια.

Κοκκομετρική διαβάθμιση (συνολικού μίγματος αδρανών)	
Κόσκινο τετραγ. οπής (ASTM)	Διερχόμενο % ποσοστό
12,5 MM (1/2'')	100
9,5 MM (3/8'')	80-100
4,75 MM (No 4)	55-75
2,36 MM (No 8)	35-50
0,6 MM (No 30)	18-29
0,3 MM (No 50)	13-23
0,15 MM (No 100)	8-16
0,075 MM (No 200)	4-10

Αντίσταση σε τριβή και κρούση κατά Los Angeles (ASTM C-131)				
Κυκλοφορία	Ελαφρά	Μέση	Βαρεία	Πολύ βαρεία
Ημερήσιος κυκλοφοριακός φόρτος ανά λωρίδα	μέχρι 500	500-3000	3000-8000	Πάνω από 8000
Μέγιστος δείκτης φθοράς κατά Los Angeles	30%	28%	26%	24%

2.2.2. Ασφαλτικό συνδετικό

Για την παραγωγή του ασφαλτομίγματος θα χρησιμοποιείται καθαρή άσφαλτος τύπου 40/50 ή 60/70 για τις ψυχρότερες περιοχές με υψόμετρο πάνω από 500M.

Η άσφαλτος θα πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις της Προδιαγραφής ASTM D 946.

Το ποσοστό ασφάλτου για ασδρανή με τη παραπάνω κοκκομετρική διαβάθμιση και φαινόμενο ειδικό βάρος 2.65 κυμαίνεται, συνληθως, από 6-6.5%.

Το ακριβές ποσοστό καθορίζεται κατά την μελέτη συνθέσεως του ασφαλτομίγματος από το εργαστήριο

2.2.3. Μελέτη συνθέσεως

Οι αναλογίες συνθέσεως των αδρανών υλικών (χονδρόκοκκου, λεπτόκοκκου), το ακριβές ποσοστό ασφάλτου και αντιυδροφίλου υλικού (αν χρειάζεται) καθώς και τα μηχανικά χαρακτηριστικά του ασφαλτομίγματος θα προσδιορίζονται από το εργαστήριο σύμφωνα με τα ισχύοντα για τα συνήθη ασφαλτικά σκυροδέματα των στρώσεων κυκλοφορίας (Π.Τ.Π. Α265).

3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

3.1. Προεπάλειψη και αποθήκευση των ψηφίδων

Η επάλειψη των ψηφίδων γίνεται σε ειδικό αναμικτήρα ο οποίος θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα ελέγχου με ακρίβεια της πασότητας της ασφάλτου και των θερμοκρασιών.

Οι ψηφίδες μετά τον ξηραντήρα θα τροφοδοτούνται στον αναμικτήρα με μια θερμοκρασία μεταξύ 130°C και 170°C.

Η άσφαλτος θα προστίθεται σε θερμοκρασία όχι πάνω από 165°C και η μέγιστη θερμοκρασία των επαλειμένων ψηφίδων κατά την έξοδο τους από τον αναμικτήρα δεν θα πρέπει να είναι πάνω από 170°C.

Ο χρόνος ανάμιξης κυμαίνεται συνήθως από 40 sec μέχρι 1 min.

Πρόσθετα μέτρα που λαμβάνονται για την αποφυγή αφενός οξειδωσης της ασφάλτου και αφετέρου συσσωμάτωσης των ψηφίδων είναι :

- α) Διαβροχή των ψηφίδων με νερό αμέσως μετά το άδειασμα από τον αναμικτήρα και αναμόχλευση τους με την βοήθεια ενός φορτωτή.
- β) Αποθήκευση σε καθαρή επιφάνεια και σε σωρούς ύψους μικρότερου από 1 μέτρο.

Η εργασία της προεπάλειψης των ψηφίδων θα πρέπει να εκτελείται δύο τουλάχιστον ημέρες πριν από την έναρξη εφαρμογής της έμπηξης τους και δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην αποφυγή ρύπανσης (με σκόνη, παιπάλη, λεπτή άμμο κλπ.), κατά την αποθήκευση και μεταφορά των ψηφίδων, που θα έχουν σαν αποτέλεσμα την ανεπαρκή συγκόλληση και συγκράτηση τους στο ασφαλτικό υπόστρωμα.

3.1.1. Έλεγχος ποιότητας προεπάλειψης

Για την εξασφάλιση επαρκούς συγκολλητικότητας των επαλειμένων ψηφίδων θα ελέγχεται αφενός η κατάσταση του ασφαλτικού συνδετικού για

πιθανή υπερθέρμανση και "κάψιμο" της ασφάλτου και αφετέρου η επάρκεια της επικάλυψης.

Ο έλεγχος αυτός γίνεται με τη μέθοδο της θερμής άμμου, όπως περιγράφεται στην πρότυπη μέθοδο BS 598 :PART 3 / 1995 (παρ. 5) και θα πρέπει κατά τον προσδιορισμό αυτό το βάρος της συγκρατούμενης άμμου, σε γραμμάρια (G) ανά χιλιόγραμμο (KG) ψηφίδων, να είναι

Για τις ψηφίδες 14/20 MM : 40 G/KG

Για τις ψηφίδες 10/14 MM : 50 G/KG

Επί πλέον κατά την οπτική εκτίμηση της επικάλυψης με άμμο το ποσοστό των κόκκων με λιγότερο από 50% επικάλυψη δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 7.5 %.

3.2. Παραγωγή και διάσπρωση του ασφαλτομίγματος

Τα ασφαλτομίγματα που προορίζονται για την έμπηξη ψηφίδων παράγονται στις ειδικές κεντρικές εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούνται και για τα συνληθη ασφαλτομίγματα, σύμφωνα με τις συνθήκες και τους περιορισμούς που αναφέρονται στην Π.Τ.Π. Α265.

Επειδή τα ασφαλτομίγματα αυτά περιέχουν αυξημένο σχετικά ποσοστό άμμου (κάτω από 2 MM) θα πρέπει να δίνεται προσοχή στην περιεχόμενη φυσική υγρασία της άμμου και να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα (κάλυψη) ώστε οι αυξομειώσεις της υγρασίας να είναι οι ελάχιστες.

Επισημαίνεται η ανάγκη τήρησης των θερμοκρασιών.

Πρέπει να αποφεύγεται η απερίσκεπτη αύξηση της θερμοκρασίας κατά την ανάμειξη για τον κίνδυνο αλλοίωσης της ασφάλτου, πρέπει όμως συγχρόνως να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα για την μείωση των θερμικών απωλειών κατά την μεταφορά του ασφαλτομίγματος ώστε κατά την διάσπρωση να τηρούνται οι ελάχιστες θερμοκρασίες που θα επιτρέψουν και την επαρκή συμπίκνωση αλλά και τη συγκόλληση των ψηφίδων.

Οι ελάχιστες θερμοκρασίες που πρέπει να τηρούνται κατά την διάσπρωση εξαρτώνται από τον τύπο της ασφάλτου, το πάχος της στρώσης καθώς και από τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες. Για τις συνήθεις περιπτώσεις όπου το πάχος της στρώσης είναι 3-4 CM οι ελάχιστες θερμοκρασίες διάσπρωσης που πρέπει να τηρούνται είναι οι εξής :

130°C για την άσφαλτο τύπου 80/100

135°C για την άσφαλτο τύπου 60/70

140°C για την άσφαλτο τύπου 40/50

Σε περίπτωση βροχής, δυνατού ανέμου και χαμηλών θερμοκρασιών (κάτω από 10°C) οι εργασίες θα διακόπτονται.

3.3 Κατανομή των προεπαλειμένων ψηφίδων

Η κατανομή των επαλειμένων ψηφίδων γίνεται από ειδικό αυτοκινούμενο μηχάνημα-κατανομέα που ακολουθεί τον διαστρωτήρα (FINISHER) σε απόσταση περίπου 10 μέτρων. Από τους διάφορους τύπους κατανομένων προτιμώτεροι είναι οι τύποι των οποίων οι τροχοί κινούνται έξω από τη λωρίδα που διαστρώνεται (π.χ. BRISTOWES SPREADER).

Επίσης θα πρέπει το ύψος πτώσης των ψηφίδων να είναι μικρό, ώστε να κατανέμεται ομοιόμορφα, και η ταχύτητα προώθησης του κατανομέα να είναι περίπου ίση με αυτήν του διαστρωτήρα του ασφαλτομίγματος.

Η εργασία αυτή απαιτεί μεγάλη επιμέλεια για να εξασφαλιστεί η ομοιόμορφη κατανομή των ψηφίδων. Ιδιαίτερα επίσης προσοχή χρειάζεται στους διαμήκεις αρμούς όπου συνήθως παρατηρείται και η μεγαλύτερη ανομοιομορφία.

Όσον αφορά τους εγκάρσιους αρμούς θα πρέπει ο διαστρωτήρας του ασφαλτομίγματος όταν τελειώσει από τη λωρίδα που διαστρώνεται για να γίνει έγκαιρα η κατανομή των ψηφίδων.

3.3.1 Πυκνότητα κατανομής

Για τα δυο ονομαστικά μεγέθη ψηφίδων 10-14 και 14-20 και για αδρανές υλικό φαινομένου ειδικού βάρους 2,60-2,70 η βέλτιστη ποσότητα κατανομής ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας είναι:

Ονομαστικό μέγεθος ψηφίδων (MM)	Πυκνότητα κατανομής (KG/M ²)
10-14	7±1
14-20	10±1

Σε περίπτωση υλικών διαφορετικού ειδικού βάρους, σχήματος, ή μέγεθους κόκκων η ακριβής αναλογία κατανομής ανά τετραγωνικό μέτρο θα προσδιορίζεται από το Εργαστήριο κατά τη πρότυπη μέθοδο BS 598: PART 3: 1985.

Με τη μέθοδο αυτή καθορίζεται η πυκνότητα "πυκνή" κατανομής κατά την οποία οι ψηφίδες εφάπτονται η μία της άλλης σε μία μονόκοκη στρωση. Η πυκνότητα κατανομής στο έργο δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από το 70 % της "πυκνής" κατανομής.

3.3.2. Έλεγχος πυκνότητας κατανομής

Ο προσδιορισμός της πυκνότητας κατανομής των προεπαλειμένων ψηφίδων για μεν την περίπτωση χρησιμοποίησης μηχανικού κατανομέα θα γίνεται σύμφωνα με την διαδικασία που περιγράφεται στην πρότυπη μέθοδο BS 598 :PART 3 : 1985 για δε την περίπτωση κατανομής με το χέρι η πυκνότητα θα υπολογίζεται από το βάρος των ψηφίδων που χρησιμοποιήθηκαν ως προς την επιφάνεια του οδοστρώματος που καλύφθηκε με αυτές.

3.4 Συμπύκνωση

Με την συμπύκνωση το θερμό ασφαλτόμιγμα με τις κατανεμημένες στην επιφάνεια ψηφίδες πρέπει αφενός μεν να αποκτήσει την απαιτούμενη πυκνότητα και μηχανική αντοχή, για την ολοκλήρωση της δομής του οδοστρώματος, αφετέρου δε να επιτευχθούν τα επιδιωκόμενα επιφανειακά χαρακτηριστικά και η ασφαλής αγκύρωση των ψηφίδων.

Για την εξασφάλιση των παραπάνω στόχων απαιτείται σωστή επιλογή των μηχανημάτων συμπύκνωσης, σχολαστική τήρηση των θερμοκρασιών και απόλυτος συντονισμός της παραγωγής και μεταφοράς του ασφαλτομίγματος και των συνεργείων διάστρωσης, κατανομής ψηφίδων και συμπύκνωσης.

3.4.2. Έμψη των ψηφίδων στο ασφαλτόμιγμα υποδοχής

Η εργασία αυτή ακολουθεί την κατανομή των ψηφίδων και γίνεται με οδοστρωτήρα με λείους κυλίνδρους βάρους 8-10 TONS με διάταξη διαβροχής των τροχών για την αποφυγή κολλήματος των κόκκων σ' αυτούς.

Συνήθως αρκεί μία διέλευση για την επαρκή έμψη.

Έχει σημασία η θερμοκρασία κατά τη φάση της έμπηξης να μην είναι μεγαλύτερη από 140 °C για τον τύπο ασφάλτου 40/50 ή 135 °C για τον τύπο 50/60, ώστε να αποφεύγεται η ολοκληρωματική βύθιση των ψηφίδων και όχι χαμηλότερη από 120 °C γιατί τότε δεν θα είναι επαρκής η συγκόλληση με το ασφαλτόμιγμα υποδοχής.

3.4.3. Τελική Συμπύκνωση

Μετά την αρχική κυλίνδρωση για την έμπηξη των ψηφίδων ακολουθεί η εντατική συμπύκνωση του ασφαλτικού σκυροδέματος, σύμφωνα με τους κανόνες και τις απαιτήσεις για τα συνήθη ασφαλτομίγματα κλειστού τύπου (βλ.Π.Τ.Π. Α265). Για την εξασφάλιση ικανοποιητικού βαθμού συμπύκνωσης μπορεί να χρησιμοποιηθούν οδοστρωτήρες με λείους κυλίνδρους (απλοί ή δονητικοί) ή ακόμα οδοστρωτήρες με ελαστικούς τροχούς αρκεί οι τελευταίοι να μην δημιουργούν σημαντική αποκόλληση των ψηφίδων.

Για την επίτευξη ομαλής επιφάνειας κυλίσεως και την τακτοποίηση όσων ψηφίδων μετατοπίστηκαν θα πρέπει στην τελική φάση και πριν η θερμοκρασία πέσει κάτω από τους 80-50°C να χρησιμοποιείται οδοστρωτήρας με λείους κυλίνδρους βάρους 8-10 TONS.

3.5 Απόδοση στη κυκλοφορία

Για την αποφυγή εκτόξευσης των ψηφίδων που δεν έχουν εμπεχθεί στο ασφαλτόμιγμα υποδοχής θα πρέπει να γίνεται καθαρισμός της επιφάνειας πριν αποδοθεί στη κυκλοφορία. Σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να επιτραπεί κυκλοφορία της οδού πριν η θερμοκρασία πέσει κάτω από τους 50°C. Για να επιτευχθεί αυτό σε επείγουσες περιπτώσεις, μπορεί να γίνει ψεκασμός της επιφάνειας του οδοστρώματος με νερό.

Επίσης συνίσταται κατά τις πρώτες μέρες κυκλοφορίας να μειώνεται το όριο ταχύτητας γιατί υπάρχει κίνδυνος ζημιών από την αποκόλληση και εκτόξευση των χαλαρά συγκρατημένων ψηφίδων.

4. ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

4.1 Έλεγχοι υλικών

Για τον έλεγχο κατασκευής του ασφαλτικού σκυροδέματος ισχύουν οι γενικές αρχές που εφαρμόζονται και για τα συνήθη ασφαλτομίγματα (βλ. Π.Τ.Π Α 265).

Ιδιαίτερα εφίσταται η προσοχή για τα μηχανικά χαρακτηριστικά και τις υπόλοιπες ιδιότητες των ψηφίδων από την ποιότητα των οποίων εξαρτώνται τα επιφανειακά χαρακτηριστικά της αντιολισθηρής στρώσεως.

Συνοπτικά οι εκτελούμενοι εργαστηριακοί έλεγχοι είναι οι εξής:

α) Ασφαλτικό συνδετικό

Ότι προβλέπεται στην Π.Τ.Π. Α200 σε συνδυασμό με τις Προδιαγραφές ASTM D 946 και ASTM D 3381.

β) Ψηφίδες:

- κοκκομετρική διαβάθμιση S812:PART103/1985
- παιπάλη (Υλικό λεπτότερο από 0,075MM) ASTM C-117
- σχήμα κόκκων (FLAKINESS INDEX) BS812:PART105.1:1985
- δείκτης αντίστασης σε στίλβωση (PSV) BS812:PART 3 : 1975
- δείκτης φθοράς σε απότριψη (AAV) BS812:PART 3 : 1975
- φθορά κατά LOS ANGELES (L.A.) ASTM C - 131

γ) Ασφαλτικό σκυρόδεμα:

Οι έλεγχοι των υλικών κατασκευής του ασφαλτικού σκυροδέματος θα γίνονται σύμφωνα με τα ισχύοντα για τα συνήθη ασφαλτομίγματα (Π.Τ.Π. Α 265).

4.2 Έλεγχοι κατά την κατασκευή

Ψηφίδες:

- ποιότητα προεπάλειψης BS 598 : PART 3 : 1985
- ποσοστό ασφάλτου AASHO T - 164
- πυκνότητα κατανομής BS 598 : PART 3 : 1985

Ασφαλτικό σκυροδέμα:

- Ο έλεγχος καλής λειτουργίας της κεντρικής εγκατάστασης παραγωγής, των μηχανικών χαρακτηριστικών και της ομοιομορφίας του παραγόμενου ασφαλτικού σκυροδέματος θα γίνεται σύμφωνα με τα προβλεπόμενα για τα συνήθη ασφαλτομίγματα στο Π.Τ.Π. Α265.
- Εφιαστάται η προσοχή στον έλεγχο των θερμοκρασιών κατά την προεπάλειψη των ψηφίδων την παραγωγή του ασφαλτικού σκυροδέματος και κατά τις φάσεις διάστρωση - έμπηξη ψηφίδων συμπίκνωση. Για τον έλεγχο των θερμοκρασιών συνίσταται η διαδικασία της πρότυπης μεθόδου BS 598 : PART 3/1985 (APPENDIX A).

4.3 Έλεγχοι και απαιτήσεις για την τελική στρώση

Μετά την τελική συμπίκνωση η ασφαλτική στρώση θα ελέγχεται αν ικανοποιεί τις παρακάτω γενικές απαιτήσεις ή τις ιδιαίτερες απαιτήσεις που περιλαμβάνει η σύμβαση του έργου.

- Στάθμη
Η τελική επιφάνεια πρέπει να ανταποκρίνεται προς την "ερυθρά" της μελέτης σε συνδυασμό με τη προβλεπόμενη εγκάρσια επίκλιση και δεν πρέπει να παρουσιάζει αποκλίσεις μεγαλύτερους από + 6MM.
- Ομαλότης
Οι κυματισμοί ή άλλες τοπικές ανωμαλίες που ελέγχονται με την 4μετηπήχου παράλληλα προς τον άξονα του δρόμου δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα 5MM.

Κατά την εγκάρσια προς τον άξονα διεύθυνση οι αποκλίσεις δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερες από 3 MM όταν ελέγχονται με την τρίμερη πήχυ.

Οι μεγαλύτερου μήκους κυματισμοί και η συνολική άνεση κυκλοφορίας στις περιπτώσεις σημαντικών έργων, θα ελέγχονται με το ομαλόμετρο τύπου BUMP - IXTERGRATOR. Ο δείκτης ανωμαλιών με τη μέθοδο αυτή θα πρέπει να είναι μικρότερος από 140 GM/KM.

- Πάχος

Το πάχος της στρώσης θα ελέγχεται με τη λήψη καρώτων σε πυκνότητα τρία τουλάχιστον ανά 4000 τετραγωνικά μέτρα.

Ο αριθμητικός μέσος όρος όλων των μετρήσεων του πάχους πρέπει να είναι ίσος ή μεγαλύτερος από το πάχος που καθορίζει η σύμβαση του έργου.

Καμία μεμονωμένη τιμή δεν πρέπει να διαφέρει πάνω από + 10 % από το προδιαγραφόμενο πάχος, εκτός αν αλλιώς καθορίζει η Υπηρεσία προκειμένου για επιστρώσεις σε παλιό ασφαλτικό υπόστρωμα.

- Βαθμός συμπύκνωσης

Η μέση τιμή του βαθμού συμπύκνωσης για τους τύπους 1 και 2 δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 98% και καμία μεμονωμένη τιμή δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 95%.

Ο έλεγχος γίνεται με τη μέθοδο ASTM D 1188 στα ίδια δοκίμια που κόπηκαν για τον έλεγχο του πάχους και αφού απομακρυνθούν οι προεπαλειμμένες ψηφίδες.

- Επιφανειακή υφή

Το μέσο βάθος της τελικής επιφάνειας θα ελέγχεται είτε με τη μέθοδο της άμμου κατά BS 598: PART 3 / 1985 ή κατά ASTM E 965 - 83 είτε με άλλη εγκεκριμένη μέθοδο 7 ημέρες το πολύ μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής και πριν ο δρόμος δοθεί στην κυκλοφορία.

Ο έλεγχος για κάθε λωρίδα θα γίνεται σε σημεία απέχοντα, τουλάχιστον: 50M μεταξύ τους και 30 CM από το άκρο του καταστρώματος του δρόμου.

Το συνιστώμενο ελάχιστο μέσο βάθος υφής για δρόμους με μέση ταχύτητα κυκλοφορίας πάνω από 80 KM/H είναι: 1,5 MM.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

ΠΟΡΩΔΕΙΣ ΤΑΠΗΤΕΣ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑ

ΑΘ. ΦΩΤ. ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ
Αναπλ. Καθηγητής Α.Π.Θ.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι πορώδεις τάπητες αναπτύχθηκαν την τελευταία εικοσιπενταετία στην Αγγλία, αρχικά για τάπητες κυκλοφορίας σε οδοστρώματα αεροδρομίων με σκοπό να απομακρύνουν γρήγορα το νερό της βροχής από την επιφάνεια του οδοστρώματος 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 σ βρεγμένο οδόστρωμα. Έτσι, από το 1967 μέχρι και το 1986 κατασκευάστηκαν στην Αγγλία δοκιμαστικά τμήματα, πλήρους κλίμακας, για να διερευνηθεί η συμπεριφορά τους γενικότερα. Τα θετικά αποτελέσματα οδήγησαν σύντομα και άλλες χώρες στην εφαρμογή των μιγμάτων αυτών. Μέχρι το 1991 είχαν διασταυρωθεί στην Αυστρία και την Ιταλία ($>5 \times 10^6 \text{ m}^2$) με δεύτερη και τρίτη χώρα τη Γαλλία και τη Σουηδία ($>3.5 \times 10^6 \text{ m}^2$ και $> 2.6 \times 10^6 \text{ m}^2$, αντίστοιχα). Άλλες ευρωπαϊκές χώρες μέχρι το 1991 κάλυψαν επιφάνειες μέχρι και δύο εκατομμύρια τετραγωνικά μέτρα. Στην Ελλάδα η εφαρμογή των πορώδων ταπήτων είναι ακόμη στο πειραματικό στάδιο.

Η παρούσα εργασία αρχικά δίνει κάποια γενικά χαρακτηριστικά στοιχεία των πορώδων ταπήτων και κατόπιν περιγράφει τη δοκιμαστική εφαρμογή αυτών στην περιοχή της Θεσσαλονίκης.

2. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΠΟΡΩΔΩΝ ΤΑΠΗΤΩΝ

Η χαρακτηριστική ιδιότητα των ασφαλτομιγμάτων που συνθέτουν ένα πορώδη τάπητα είναι το μεγάλο ποσοστό κενών αέρως (>18%) που επιτρέπει την γρήγορη αποστράγγιση των επιφανειακών βρόχινων υδάτων.

Η επιφάνεια των οδοστρωμάτων έχει πολύ καλή μακρο-υφή και καλό συντελεστή αντιολίσθησης ακόμη και όταν η επιφάνεια είναι υγρή. Επίσης, λόγω της επιφανειακής τους υφής, μειώνεται α) ο θόρυβος που δημιουργείται από τα ελαστικά και την επιφάνεια του οδοστρώματος και β) το θάμπωμα από την ανάκλαση της δέσμης φωτός των οχημάτων επί της επιφανείας του οδοστρώματος.

Η γρήγορη απομάκρυνση του νερού της βροχής έχει ως αποτέλεσμα την εκμηδένιση του φαινομένου της υδρολίσθησης και την δραματική μείωση των σταγονιδίων ύδατος που εκτοξεύονται από τα ελαστικά των οχημάτων και δημιουργούν έντονο πρόβλημα ορατότητας κατά την προσπέραση.

Οι αδυναμίες ή μειονεκτήματα των μιγμάτων αυτών είναι: η μεγαλύτερη οξειδωση 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 την χειμερινή συντήρηση προς αποφυγή δημιουργίας πάγου.

Τα τρία πρώτα μειονεκτήματα επιλύονται, κατά ένα μεγάλο βαθμό, με την χρήση τροποποιημένης ασφάλτου ενώ τα υπόλοιπα δε θεωρούνται τόσο σοβαρά ώστε να μειώσουν την αποτελεσματικότητα και την χρησιμότητα των μιγμάτων αυτών. Η στεγανότητα της υποκείμενης στρώσης διασφαλίζεται με την διάστρωση κλειστού τύπου ασφαλτομίγματος.

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

Το συνιστώμενο πάχος του πορώδους τάπητα είναι 30 έως 40mm. Βασικότερη προϋπόθεση στην κατασκευή πορώδων ταπήτων, όπως και για οποιοδήποτε τάπητα κυκλοφορίας είναι η χρήση σκληρών αδρανών, μη ασβεστολιθικών, κατάλληλων για αντιολισθηρές στρώσεις. Άλλως, τα αδρανή θα θραυστούν με αποτέλεσμα να κλείσουν τα κενά του μίγματος ενώ η γρήγορη λείανση αυτών θα μειώσει επικίνδυνα το συντελεστή αντιολίσθησης.

3. ΠΟΡΩΔΕΙΣ ΤΑΠΗΤΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Στην Ελλάδα η χρήση των πορωδών ταπήτων είναι πολύ περιορισμένη και σχεδόν ανύπαρκτη. Μέχρι σήμερα έχουν κατασκευασθεί πειραματικά μόνο τμήματα στην περιοχή των Ιωαννίνων και της Θεσσαλονίκης. Λεπτομέρειες για την εφαρμογή πορωδών ταπήτων στην περιοχή της Θεσσαλονίκης δίδονται παρακάτω.

Οι κοκκομετρικές διαβαθμίσεις του μίγματος των αδρανών που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα είναι αυτές που προτείνονται από Τεχνικές Οδηγίες και δίνονται στον Πίνακα 3.1. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι διαβαθμίσεις αυτές είναι όμοιες με αυτές της προδιαγραφής ASTM D 3515 για αντιολισθηρές στρώσεις και διαφορετικές από αυτές που ορίζονται από τις Βρετανικές, και Βελγικές. Η διαφορά τους έγκειται στο ότι οι δύο τελευταίες δίνουν μίγματα με περισσότερα κενά αέρος (>20%) έναντι των Ελληνικών (συνήθως 16-20%).

4. ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

4.1 Το δοκιμαστικό τμήμα

Το δοκιμαστικό τμήμα, συνολικού μήκους περίπου 1,3km, επί του οποίου κατασκευάστηκε πορώδης τάπητας ήταν επί της αριθμ. 1Ν.Ε.Ο στο τμήμα Θεσσαλονίκης - Κατερίνης, θέση "Κλειδί". Πριν την διάστρωση του πορώδους τάπητα διασταυρώθηκε ισοπεδωτική στρώση από ασφαλτικό σκυρόδεμα με σκοπό να συντηρήσει τις μικροφθορές που παρουσίαζε ο υφιστάμενος τάπητας και να αποκατασταθούν οι κατάλληλες κλίσεις του

Μέγεθος κοσκίνου τετραγωνικής οπής (mm)	Πορώδεις τάπητες	
	Ονομαστικό μέγεθος μεγίστου κόκκου	
	12.5mm-Τύπος 1	9.5mm-Τύπος 2
	Διερχόμενα ποσοστά (%)	
19.0 (3/4")	100	100
12.5 (1/2")	90-100	100
9.5 (3/8")	60-100	90-100
4.75 (No.4)	15-40	30-50
2.36 (No.8)	4-12	5-15
1.18 (No.16)	-	-
0.30 (No.50)	-	-
0.07 (No.200)	2-5	2-5
Ποσοστό ασφάλτου κ.β. ασφαλτομίγματος	4.5 - 8	5 - 8.5

Πίνακας 3.1. Όρια κοκκομετρικών διαβαθμίσεων αδρανών για πορώδεις τάπητες, σύμφωνα με τις Ελληνικές Τεχνικές Οδηγίες.

οδοστρώματος. Το πάχος της ισοπεδωτικής στρώσης ήταν μεταβλητό ενώ του πορώδους τάπητα 40mm. Η κατασκευή έγινε τον Αύγουστο του 1994.

Ο ημερήσιος κυκλοφοριακός φόρτος στην θέση αυτή, κατά το έτος της κατασκευής εκτιμάται ότι ήταν 27.540 οχήματα ή 15.914 ισοδύναμοι τυπικοί άξονες.

4.2 Υλικά

(α) Αδρανή

Τα αδρανή που χρησιμοποιήθηκαν ήταν δύο ειδών γρανιτικό Λήμνου και ασβεστοπυριτικό Λιτοχώρου. Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες των αδρανών δίνονται στον Πίνακα 4.1. Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκαν και ασβεστοπυριτικά αδρανή ήταν για να αξιολογηθεί η συμπεριφορά τους σε πορώδεις τάπητες.

Ιδιότητες	Αδρανές Λήμνου	Αδρανές Λιτόχωρου	Μίγμα αδρανών Λιτόχωρου / Λήμνου
Δείκτης αντίστασης σε στίλβωση (PSV), %	58	38	-
Δείκτης αντίστασης σε απότριψη (AAV) %	4.5	5.1	-
Φθορά κατά Los Angeles (LA) %	20	25%	-
Δείκτης πλακοειδούς, % (Flakiness Index)	-	24%	25%
Ισοδύναμο άμμου (SE), %	-	82	98%
Απορροφητικότητα σε νερό, %	2.35	0.75	-
Ειδικό Βάρος, gr/cm^3	2.622	2.780	2.699

Πίνακας 4.1. Ιδιότητες αδρανών

Στο έργο χρησιμοποιήθηκαν δύο συνθέσεις αδρανών. Η μία από μίγμα χονδρόκοκκων αδρανών Λήμνου και λεπτόκοκκων Λιτοχώρου (μίγμα Α) και η άλλη από χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα αδρανή Λιτοχώρου (μίγμα Β). Οι κακκομετρικές διαβαθμίσεις των μιγμάτων δίδονται στον Πίνακα 4.2.

β) Ασφαλτικό συνδετικό υλικό

Το ασφαλτικό συνδετικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν κοινή ασφαλτος 60/70pen και τροποποιημένη με ελαστομερές SBS. Οι ιδιότητες των ασφαλτικών συνδετικών υλικών δίνονται στον Πίνακα 4.3.

Κόσκινο (mm)	Μίγμα αδρανών Λήμνου / Λιτοχώρου	Αδρανή Λιτοχώρου
	Διερχόμενα ποσοστά (%)	
19.0	100	100
12.5	94	92
9.5	90	88
4.75	20	37
2.36	9	10
1.18	6	5
0.300	4	4
0.075	3	3

Πίνακας 4.2. Κοκκομετρικές διαβαθμίσεις μιγμάτων αδρανών

Χαρακτηριστικές Ιδιότητες	Κοινή Ασφαλτος 60/70pen	Τροποποιη- μένη με ελαστομερές SBS
Διεισδυτικότητα (pen)	61	56
Σημείο Μάλθωσης (R&B), °C	47	55.5
Σημείο θραύσης Fraass (°C)	-	-30
Ολκιμότητα τους 13 °C	-	>100
Ελαστική επαναφορά στους 13 °C, (%)	-	82
Ολκιμότητα στους 13 °C μετά από θέρμανση στους 163 °C	-	65
Ελαστική επαναφορά στους 13 °C μετά από θέρμανση στους 163 °C	-	78

Πίνακας 4.3. Ιδιότητες ασφαλτικών συνδετικών υλικών.

γ) Σύνθεση ασφαλτομιγμάτων

Η σύνθεση των ασφαλτομιγμάτων έγινε στο Εργαστήριο Οδοποιίας χρησιμοποιώντας την Βρετανική μεθοδολογία. Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν για τα τρία μίγματα που χρησιμοποιήθηκαν δίνονται στον Πίνακα 4.4. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι το μίγμα Α, παρήχθη με κοινή άσφαλτο και αδρανή Λιτοχώρου, το μίγμα Β παρήχθη με τροποποιημένη άσφαλτο και αδρανή Λιτοχώρου και το μίγμα Γ παρήχθη με κοινή άσφαλτο και μίγμα αδρανών Λήμνου / Λιτοχώρου.

Χαρακτηριστικά μίγματος	Ασφαλτομίγματα			Απαιτήσεις
	Α	Β	Γ	
Βέλτιστο % ασφάλτου κ.β. αδρανών, (%)	4.2±0.3	4.7±0.3	5.0±0.3	4.7-8.7
Κενά αέρος, (%)	21.0	18.0	21.5	15min
Ελάχιστος λόγος αντοχών στην δοκιμή εμβάπτισης - θλίψης, (%)	0.9	0.9	0.7	0.5min
Φαινόμε. Βάρος συμπ/νου ασφαλτ/τος (Kg/m ³)	2.057	2.125	1.950	-

Πίνακας 4.4. Χαρακτηριστικά μιγμάτων για πορώδεις τάπητες.

5. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΡΩΣΗ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΩΝ

Η παραγωγή των ασφαλτομιγμάτων έγινε σε συμβατικό συγκρότημα παραγωγής ασφαλτικού σκυροδέματος, τύπου παραγωγής ανά παρτίδες. Το συγκρότημα ήταν του εργολάβου Γ. Παπανικολάου ο οποίος εκτέλεσε και την εργασία κατασκευής των πορωδών ταπήτων.

Η διαδικασία παραγωγής δεν διέφερε από αυτήν που ακολουθείται στα συμβατικά ασφαλτομίγματα. Η μόνη διαφορά στην προκειμένη περίπτωση ήταν η θερμοκρασία θέρμανσης της ασφάλτου και η θερμοκρασία ανάμιξης. Οι θερμοκρασίες αυτές ήταν : 165-175 °C για την θέρμανση της ασφάλτου και 170 °C περίπου για την ανάμιξη.

Το παραχθέν ασφαλτόμιγμα μεταφέρθηκε στο έργο, το οποίο ευρίσκετο σε απόσταση 60km περίπου, και διασταυρώθηκε με συμβατικό διαστρωτήρα (finisher), Φωτογραφία 5.1. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι λόγω των υψηλών θερμοκρασιών αέρος που επικρατούσαν κατά την διάρκεια της κατασκευής (26-28 °C περίπου - μήνας Αύγουστος) δεν παρατηρήθηκε καμμιά ουσιαστική πτώση στην θερμοκρασία του ασφαλτομίγματος όταν αυτό έφτασε στο έργο (απώλειες της τάξεως των 5-10 °C).

Το μίγμα αφού διασταυρώθηκε αφέθηκε να χάσει άλλους επιπλέον 10-15 °C, οπότε άρχισε και η συμπίκνωση. Ο αριθμός των διελεύσεων του οδοστρωτήρα (8-10 τόννων) καθορίστηκε στο έργο και ήταν 5 διελεύσεις στον αρμό και 4 διελεύσεις στην υπόλοιπη λωρίδα διάστρωσης.

6. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ

Κατά την διάρκεια των εργασιών, σε αντιπροσωπευτικά δείγματα, εκτελέστηκαν εργαστηριακοί έλεγχοι για τον καθορισμό: α) της κοκκομετρικής καμπύλης του παραχθέντος ασφαλτομίγματος, β) της περιεκτικότητας σε άσφαλο, γ) του ποσοστού των κενών αέρος και δ) της διεισδυτικότητας και σημείου μάλθωσης της χρησιμοποιηθείσης ασφάλτου.

Η κοκκομετρική καμπύλη και το ποσοστό της ασφάλτου έγινε μετά από εκχύλιση του μίγματος. Η δειγματοληψία έγινε από το φορτηγό αμέσως μετά την πληρωσή του με ασφαλτόμιγμα. Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν δίνονται στον Πίνακα 6.1.

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 6.1 τεκμηριώνεται ότι τα μίγματα που παρήχθησαν και διαστρώθηκαν ήταν σύμφωνα με την σύνθεση που προτάθηκε να χρησιμοποιηθεί. Χαρακτηριστικό όλων των μιγμάτων ήταν το μικρότερο ποσοστό κενών αέρα που επιτεύχθηκε από αυτό της συνθέσεως. Ιδιαίτερα χαμηλό ήταν το ποσοστό κενών αέρα στο μίγμα Β. Αυτό οφείλετο στο γεγονός ότι η κοκκομετρική καμπύλη του μίγματος βρέθηκε να είναι ελαφρώς εκτός των προδιαγραφομένων ορίων στα κόσκινα 4.76mm και 2.36mm κατά +0.5 και + 3%, αντίστοιχα).

Ιδιότητα	Μίγμα Α	Μίγμα Β	Μίγμα Γ
Κοκκομετρική καμπύλη	(α)	(β)	(γ)
Ποσοστό ασφάλτου κ.β. αδρανών, %	4.10	4.61	4.95
Ποσοστό κενών, %	19,2	15,1	17,5
Διεισδυτικότητα, rep			
- κοινής ασφάλτου	53	-	53.5
- τροποπ. ασφάλτου	-	51	-
Σημ. Μάλθωσης, °C			
- κοινής ασφάλτου	48,5	-	48
- τροποπ. ασφάλτου	-	58	-

(α) Εντός των προδιαγραφών

(β) Η καμπύλη που εξήχθηκε ήταν ελαφρώς εκτός των προδιαγραφών στα κόσκινα 4,76mm (+0.5% και +3%, αντίστοιχα)

Πίνακας 6.1. Εργαστηριακά αποτελέσματα μετά από δειγματοληψία παραχθέντων ασφαλτομιγμάτων

7. ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΠΟΡΩΔΩΝ ΤΑΠΗΤΩΝ

Από τον Αύγουστο του 1994 μέχρι και σήμερα, δηλαδή 30 μήνες, οι κατασκευασθέντες τάπητες συμπεριφέρονται πολύ καλά. Δεν έχει παρατηρηθεί αποκόλληση αδρανών ή άλλη κάκωση, και η αποστραγγιστική τους ικανότητα είναι ακόμη πολύ ικανοποιητική. Το τελευταίο τεκμηριώνεται από οπτικές μόνο παρατηρήσεις κατά την διάρκεια βροχής.

Εργαστηριακοί έλεγχοι για να εξετασθούν, κυρίως, η μεταβολή της κοκκομετρικής διαθμίσης, του σημείου μάλθωσης και της διεισδυτικότητας, της διαπερατότητας και της αντιολισθηρής ικανότητας, επί του παρόντος δεν έχουν εκτελεσθεί. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι παραπάνω, κατ'ελάχιστο, έλεγχοι θα πρέπει να γίνουν μετά το πέρας τριών, τεσσάρων και πέντε ετών έτσι ώστε να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα.

7. ΚΡΙΤΙΚΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η δοκιμαστική εφαρμογή των πορωδών ταπήτων στην Βόρεια Ελλάδα κρίνεται επιτυχής και η συμπεριφορά αυτών, επί του παρόντος, πολύ ικανοποιητική. Για να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα θα πρέπει να γίνουν απαραίτητως οι κατάλληλοι έλεγχοι.

Τα κυριότερα συμπεράσματα που θα πρέπει να εξαχθούν είναι : α) η τεκμηρίωση της καταλληλότητας ή μη στη χρήση μίγματος σκληρών και "ημίσκληρων" πετρωμάτων, ή και ημίσκληρων μόνον αδρανών, β) ο καθορισμός της χρονικής διάρκειας διατήρησης ικανοποιητικής αποστραγγιστικής ικανότητας των ταπήτων, κάτω από τις συνθήκες της κυκλοφορίας και των κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν, γ) ο καθορισμός του χρόνου εμφάνισης και του βαθμού της οξειδωσης της κοινής και της τροποποιημένης ασφάλτου, έτσι ώστε να τεκμηριωθεί η αναγκαιότητα αποκλειστικής χρήσης τροποποιημένης ασφάλτου σε πορώδεις τάπητες.

Όλα τα παραπάνω συμπεράσματα θα είναι χρησιμότερα σε μελλοντικές εφαρμογές για την βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς των πορωδών ταπήτων στην Ελλάδα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΟΣ ΠΟΥ ΤΟΠΟΘΕΤΕΙΤΑΙ ΣΤΗ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ - ΕΔΑΦΟΥΣ

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ Γ. ΚΟΚΚΑΛΗΣ

Επίκουρος Καθηγητής Δ.Π.Θ.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωυφάσματα εφαρμόζονται όλο και περισσότερο σε έργα οδοποιίας. Για το 1994 η χρήση τους στην κατηγορία αυτή των έργων ξεπέρασε το ένα δισεκατομμύριο τετραγωνικά μέτρα. Από τις βασικές εφαρμογές τους είναι η τοποθέτηση γεωυφασμάτων στην διεπιφάνεια οδοστρώματος - εδάφους. Στην περίπτωση αυτή τα γεωυφάσματα επιτελούν σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό τις λειτουργίες της ενίσχυσης, του διαχωρισμού, της διήθησης και της αποστράγγισης.

Αλληλένδετο με την διάδοση των γεωυφασμάτων είναι και το πλήθος των προϊόντων που κυκλοφορεί στο εμπόριο. Ο βασικότερος διαχωρισμός των γεωυφασμάτων στηρίζεται στην τεχνική που ακολουθείται για την σύνδεση των νημάτων πολυμερούς, ώστε να αποκτήσει το προϊόν δομική οντότητα.

Τα υφασμένα προϊόντα (woven geotextiles) είναι τα πρώτα που εμφανίσθηκαν χρονικά και ο τρόπος παραγωγής τους είναι παρόμοιος με την παραδοσιακή ύφανση: σύνδεση νημάτων πολυμερούς του στημονιού και του υφαδιού. Τα μη υφασμένα γεωυφάσματα (non-woven geotextiles) αποτελούν πολυμερούς αλληλοσυνδέονται με θερμική, χημική ή μηχανική κατεργασία. Ο προσανατολισμός των νημάτων είναι σε κάθε σημείο τυχαίος, με επακόλουθο το προϊόν να είναι ισότροπο.

Κυκλοφορούν, επίσης, πλήθος προϊόντων συγγενών με τα γεωυφάσματα (πολυμερή διδιάστατα υλικά για γεωτεχνικές εφαρμογές, όπως τα geogrids, geomats, geowebbs, geonets, geomeshes κ.λ.π.) με τα οποία δεν ασχολείται το παρόν άρθρο. Αντικείμενο του άρθρου αποτελεί η πρόταση

κάποιας μεθόδου επιλογής του καταλληλότερου γεωϋφάσματος, που τοποθετείται στην διεπιφάνεια οδοστρώματος - εδάφους, για την κάθε συγκεκριμένη περίπτωση.

Στην γενικότερή της μορφή μια τέτοια διαδικασία επιλογής θα πρέπει να περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

- Καθορισμός της ιδιότητας του γεωτεχνικού συστήματος που επιδιώκεται να αποκτηθεί ή να βελτιωθεί με την τοποθέτηση σε αυτό γεωϋφάσματος / ορισμός, κατά συνέπεια, της λειτουργίας του γεωϋφάσματος στο σύστημα.
- σύνδεση της λειτουργίας που θα εκτελεί το γεωϋφασμα, με τις ιδιότητες που πρέπει να κατέχει, για την επιτυχή εκπλήρωσή της και καθορισμός της βαρύτητας της κάθε ιδιότητας,
- καθορισμός λοιπών παράλληλων, είτε δευτερευουσών λειτουργιών και συσχέτιση των απαιτούμενων ιδιοτήτων από το γεωϋφασμα,
- συσχέτιση των απαιτούμενων ιδιοτήτων του γεωϋφάσματος με κατάλληλες εργαστηριακές μεθόδους προσδιορισμού αντιστοίχων παραμέτρων του,
- σύνταξη πίνακα με τις απαιτούμενες ελάχιστες τιμές συγκεκριμένων εργαστηριακών παραμέτρων, που θα πρέπει να έχουν τα προς επιλογή γεωϋφάσματα,
- επιλογή του γεωϋφάσματος εκείνου, που συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις του πίνακα και ταυτόχρονα εκπληρεί και άλλες παραμέτρους επιλογής (όπως τοπική διαθεσιμότητα, ύπαρξη εμπειρίας χρήσης σε παρόμοια έργα, κόστος κ.λ.π.)

Η προτεινόμενη μέθοδος επιλογής του καταλληλότερου γεωϋφάσματος βασίζεται σε πειράματα εργαστηριακάφ και υπαίθρου, σε παρατήρηση εκσκαφθέντων γεωϋφασμάτων που είχαν τοποθετηθεί στην διεπιφάνεια

οδοστρώματος - εδάφους και, σε σημαντικό βαθμό, σε βιβλιογραφική ανασκόπηση και σύνθεση. Μέθοδοι με αρκετές ομοιότητες έχουν προταθεί στο παλιότερο και πρόσφατο παρελθόν από αρκετούς ερευνητές.

2. ΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΩΝ ΓΕΩΨΦΑΣΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ

Τα γεωψάσματα τοποθετούνται στην διεπιφάνεια οδοστρώματος - εδάφους με σκοπό να παρέμβουν στην μηχανική και υδραυλική οντότητα του γεωτεχνικού συστήματος εκτελώντας σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό τις λειτουργίες της ενίσχυσης, του διαχωρισμού, της διήθησης και της αποστράγγισης. Συνήθως οι λειτουργίες αυτές συνεπιτελούνται ταυτόχρονα και διακρίνονται, κατά περίπτωση, σε πρωτεύουσες και δευτερεύουσες. Το πρώτο βήμα στο μοντέλο επιλογής του πλέον κατάλληλου γεωψάσματος είναι η αναγνώριση της (των) λειτουργικών που εκπληρεί το γεωτεχνικό σύστημα στην θέση που τοποθετείται, καθώς και της συγκριτικής σημασίας της κάθε λειτουργίας. Οι λειτουργίες αναπτύσσονται επιγραμματικά ως εξής:

Ενίσχυση, όπου το γεωψάσμα επηρεάζει το πεδίο τάσεων - παραμορφώσεων του γεωτεχνικού συστήματος. Λόγω συμβιβαστού των παραμορφώσεων, το γεωψάσμα παραμορφώνεται, ακολουθώντας τη διεπιφάνεια του συστήματος, με συνέπεια να επιμηκύνεται. Η εξισορρόπηση της εφελκυστικής εντατικής κατάστασης, που αναπτύσσεται έτσι στο γεωψάσμα, γίνεται με την ανάπτυξη διατμητικών τάσεων στις διεπιφάνειές του, οι οποίες οφείλονται σε δυνάμεις τριβής και συνάφειας με το περιβάλλον υλικό. Η ενισχυτική δράση του γεωψάσματος έχει τις εξής συνιστώσες:

- λειτουργία περιορισμού (constrain function): η τοποθέτηση γεωψάσματος περιορίζει την πλευρική εκτόπιση κόκκων αδρανούς οδοστρωσίας εξαιτίας της δράσης των τροχών των οχημάτων και παρεμποδίζει την διατμητική ροή μαζών του υπεδάφους. Επίσης, παρέχοντας στερεότερο υπόβαθρο έδρασης, διευκολύνει την αρτιότερη συμπύκνωση των αδρανών, οδοστρωσίας.

- λειτουργία μεμβράνης (membrane action): οι κατακόρυφες συνιστώσες των εφελκυστικών τάσεων του γεωϋφάσματος έχουν διεύθυνση προς τα πάνω στην περιοχή κάτω από τα φορτία κυκλοφορίας, με αποτέλεσμα να εξισορροπούν κάποιο μικρό τμήμα τους και προς τα κάτω, στις παρακείμενες περιοχές με αποτέλεσμα να επιφορτίζουν το έδαφος και συνεπώς να αυξάνουν την φέρουσα ικανότητά του.

Διαχωρισμός (Separation), όπου το γεωϋφασμα παρεμποδίζει την ανάμιξη του υψηλής ποιότητας διαβαθμισμένου αδρανούς οδοστρωσίας με τα λεπτόκοκκα φορτίων κυκλοφορίας ωθεί βαθμιαία τους ευμεγεθείς κόκκους των αδρανών οδοστρωσίας μέσα στο υπέδαφος. Αυτό μεταφράζεται τελικά σε απώλεια πάχους και υποβάθμιση της δομής της στρώσης αδρανών οδοστρωσίας, με αποτέλεσμα την γρηγορότερη αστοχία της.

Ο διαχωρισμός είναι η περισσότερο διαδεδομένη λειτουργία των γεωϋφασμάτων σε έργα οδοστρωσίας. Σπάνια όμως αποτελεί την αποκλειστική αιτία της απόφασης χρησιμοποίησης γεωϋφασμάτων και, όπως θα προκύψει και στη συνέχεια του άρθρου αυτού, επειδή απαιτεί λιγότερο αυστηρές προδιαγραφές από το προϊόν, σπάνια καθορίζει και τα κριτήρια επιλογής του καταλληλότερου γεωϋφάσματος. Η λειτουργία του διαχωρισμού συνδυάζεται σχεδόν πάντα με την λειτουργία της διήθησης και πολύ συχνά με την λειτουργία της ενίσχυσης.

Διήθηση (Filtration), όπου το γεωϋφασμα επιτρέπει την ελεύθερη κίνηση του εδαφικού νερού εμποδίζοντας όμως ταυτόχρονα τα λεπτόκοκκα εδαφικά συστατικά, που παρασύρονται από τις κινήσεις του νερού, να διέλθουν διαμέσου του επιπέδου του και είτε να αποπλυθούν (αποδυνάμωση και διάβρωση του εδάφους), είτε να επικαθήσουν στην επιφάνεια των κόκκων της στρώσης οδοστρωσίας. Είναι γνωστό ότι η αύξηση του ποσοστού λεπτόκοκκων (ιδίως όταν αυτά είναι πλαστικά), υποβαθμίζει τις μηχανικές και υδραυλικές ιδιότητες των κοκκωδών υλικών, (γι'αυτό άλλωστε, υπάρχει και σχετική πρόβλεψη στις προδιαγραφές). Τα επιρρεπή σε διάβρωση εδάφη συχνά προστατεύονταν από κοκκώδες αναβαθμισμένο φίλτρο, το οποίο μπορεί να αντικατασταθεί με γεωϋφασμα.

Αποστράγγιση (Drainage), όπου το γεωϋφασμα απομακρύνει το πλεονάζον νερό του συστήματος με ροή διαμέσου του επιπέδου του, σε συνεργασία πάντα με την στρώση αδρανών οδοστρωσίας. Με τον τρόπο αυτό διατηρείται ελεγχόμενη η υγρασία του συστήματος και εκτονώνονται οι

τυχόν αναπτυσσόμενες τοπικά υψηλές πιέσεις πόρων. Η λειτουργία της αποστράγγισης δεν αποτελεί συνήθως από μόνη της την αιτία χρησιμοποίησης γεωϋφασμάτων. Συνδυάζεται κατά κανόνα με την λειτουργία του διαχωρισμού και την λειτουργία της διήθησης.

3. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΑ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΑ ΠΟΥ ΤΟΠΟΘΕΤΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ

Το δεύτερο βήμα στο μοντέλο επιλογής του πλέον κατάλληλου γεωϋφάσματος αφορά στη συσχέτιση των λειτουργιών που καλείται να εκπληρώσει το γεωϋφασμα και των ιδιοτήτων που πρέπει να παρουσιάζει.

3.1 Οι Ιδιότητες των Γεωϋφασμάτων

Οι σημαντικότερες ιδιότητες των γεωϋφασμάτων, οι οποίες και κυρίως θα εξετασθούν και θα συσχετισθούν με τις διάφορες λειτουργίες - δράσεις τους είναι:

- από τις φυσικές ιδιότητες: το πάχος, το βάρος ανά μονάδα επιφάνειας και η πομετρία,
- από τις μηχανικές ιδιότητες: η εντατική και παραμορφωσιακή συμπεριφορά τους σε εφελκυστικά φορτία που δρουν στο επίπεδο των γεωϋφασμάτων, σε φορτία που δρουν κάθετα στο επίπεδό τους, η αντίστασή τους στην δημιουργία και επέκταση τοπικών αστοχιών και η συμπεριφορά των γεωϋφασμάτων σε ερπυσμό και
- από τις υδραυλικές ιδιότητες: η υδροδιαπερατότητα και η υδροαγωγιμότητα των γεωϋφασμάτων.

Σημειώνεται ότι είναι σημαντική η επιρροή στις διάφορες ιδιότητες, του εγκλεισμού του γεωϋφάσματος στο σύστημα στο οποίο δρα και η συμπίεσή του από τα φορτία λειτουργίας. Σημαντική είναι, επίσης και η συνάφεια και τριβή που μπορεί να αναπτυχθεί μεταξύ γεωϋφάσματος και περιβάλλοντος υλικού. Τέλος, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και η υποβάθμιση

που υφίστανται οι ιδιότητες του γεωϋφάσματος με το πέρασμα των χρόνων και την επιρροή των διαφόρων φυσικοχημικοβιολογικών παραγόντων του περιβάλλοντος εφαρμογής του.

Οι παράγοντες που ουσιαστικά καθορίζουν τις ιδιότητες των γεωϋφασμάτων είναι η χημική σύσταση της πολυμερούς πρώτης ύλης παρασκευής τους, και η ακολουθούμενη μέθοδος παραγωγής τους.

Επιγραμματικά θα αναφερθεί ότι όσον αφορά στην πρώτη ύλη παρασκευής, ο πολυεστέρας έχει συγκριτικά πολύ μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας και πολύ μικρότερη παραμόρφωση θραύσης έναντι των άλλων πολυμερών, καθώς επίσης και μικρότερη ευπάθεια σε ερπυσμό. Όσον αφορά στη μέθοδο παραγωγής, τα υφασμένα γεωϋφάσματα, έχοντας αυστηρή γεωμετρική δομή (νήματα στημονιού και υφαδιού), παρουσιάζουν έντονη μεταβολή των ιδιοτήτων τους ανάλογα με την εξεταζόμενη διεύθυνση, σε αντίθεση με τα μη υφασμένα προϊόντα, που ο τυχαίος προσανατολισμός των δοκιμών τους νημάτων εξασφαλίζει την ισότροπη συμπεριφορά τους.

Επιγραμματικά, επίσης, αναφέρονται οι σημαντικότερες διαφοροποιήσεις μεταξύ των υφασμένων και μη υφασμένων προϊόντων : Τα υφασμένα γεωϋφάσματα έχουν κατά κανόνα σε σύγκριση με τα μη υφασμένα:

- μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας
- μικρότερη παραμόρφωση θραύσης
- μεγαλύτερη ευπάθεια σε συγκεντρωμένα φορτία
- περιορισμένη ικανότητα παρεμπόδισης επέκτασης των τοπικών αστοχιών σε γενικές,
- ισομεγέθεις διαμπερείς πόρους και
- μικρή υδροαγωγιμότητα

3.2 Η Συσχέτιση Λειτουργιών και Ιδιοτήτων των Γεωϋφασμάτων

Η συσχέτιση των λειτουργιών που επιτελεί το γεωϋφασμα στο οδόστρωμα με τις ιδιότητες που οφείλει να παρουσιάζει έχει ως εξής:

Για την ικανοποιητική εκτέλεση της λειτουργίας της ενίσχυσης το γεωϋφασμα, που τοποθετείται στην διεπιφάνεια οδοστρώματος - εδάφους, θα πρέπει να παρουσιάζει:

- μεγάλο μέτρο ελαστικότητας, σημαντική αντοχή στη γήρανση και μικρό ερπυσμό, έτσι ώστε να συμμετέχει διαχρονικά και σε αξιόλογο βαθμό στην ευνοϊκή για την ευστάθεια του συστήματος, ανακατανομή του εσωτερικού εντατικού - κινηματικού πεδίου του,
- υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό και μεγάλη παραμόρφωση θραύσης, για να μπορεί να παραλαμβάνει τις τοπικά πολύ μεγάλες παραμορφώσεις χωρίς τον κίνδυνο αστοχίας,
- σημαντική τριβή με το περιβάλλον υλικό, ώστε αφενός μεν η τοποθέτηση γεωϋφάσματος να μην δημιουργεί ασθενές επίπεδο προσφερόμενο για διολισθήσεις, αφετέρου, να επιτρέπει την γρήγορη ανάπτυξη των εφελκυστικών τάσεων στο επίπεδο του γεωϋφάσματος (οι οποίες εξισορροπούνται από τις δυνάμεις τριβής και συνάφειας με το περιβάλλον υλικό),
- μεγάλη αντίσταση στην δημιουργία και κυρίως στην επέκταση τοπικών αστοχιών. Στην διεπιφάνεια οδοστρώματος - εδάφους οι τοπικές αστοχίες είναι αναπόφευκτες (πίεση αιχμηρών κόκκων αδρανούς). Είναι σημαντικό οι διατρήσεις και τα σχισίματα αυτά να μην επηρεάσουν συνολικότερα τη δομική οντότητα του γεωϋφάσματος.

Οι απαιτήσεις που ζητούνται από το γεωϋφασμα που τοποθετείται στη διεπιφάνεια οδοστρώματος - εδάφους με κυρίαρχο σκοπό την διαφύλαξη της ακεραιότητας της στρώσης αδρανών οδοστρωσίας, είναι, ουσιαστικά, η μεγάλη αντίσταση στην δημιουργία και κυρίως στην επέκταση των τοπικών αστοχιών και η μεγάλη παραμόρφωση θραύσης, με προφανή εξήγηση την διαφύλαξη της συνέχειας του προϊόντος, αφού το αντίθετο θα είχε επιπτώσεις στην εκπλήρωση της λειτουργίας του διαχωρισμού.

Όσον αφορά στην λειτουργία της διήθησης, είναι προφανές ότι η πρωταρχική απαίτηση που τίθεται στο γεωϋφασμα είναι η κατάλληλη πορομετρία του και η σημαντική υδροδιαπερατότητά του, ώστε να μην επηρεάζεται η δίαυτα των κινήσεων του νερού και ταυτόχρονα να παρεμποδίζεται η παράσυρση εδαφικών λεπτόκοκκων συστατικών κατά τις κινήσεις αυτές. Σημαντική είναι, επίσης, και η αντίσταση στη δημιουργία και

επέκταση τοπικών αστοχιών, αφού η δημιουργία τους συνεπάγεται την αντίστοιχη καταστροφή της λειτουργίας της διήθησης.

Στον Πίνακα 1 δίνονται τα κριτήρια ικανοποιητικής εκτέλεσης της λειτουργίας διήθησης των γεωϋφασμάτων, ανάλογα με το έδαφος στο οποίο εφαρμόζονται. Σημειώνεται ότι O_a είναι η διάσταση των πόρων του γεωϋφάσματος από την οποία το $a\%$ του συνόλου των πόρων του έχει μικρότερες διαστάσεις και D_b είναι αντίστοιχα το άνοιγμα κοσκίνου από το οποίο διέρχεται το $b\%$ των εδαφικών κόκκων.

Είδος Εδάφους	Κριτήρια διήθησης
Αμμώδες	$O_{50} = (1.7 \text{ ως } 2.7) D_{50}$ $O_{95} < 0.2 \text{ mm}$
Ιλυώδες	$O_{50} < 0.2 D_{15}$ $O_{85} < D_{85}$
Αργιλικό	$O_{50} = (25 \text{ ως } 37) D_{50}$ $O_{90} < 2 D_{90}$

Πίνακας 1. Κριτήρια λειτουργίας διήθησης των γεωϋφασμάτων.

Όσον αφορά, τέλος, στη λειτουργία της αποστράγγισης, η ιδιότητα της υδροαγωγιμότητας (η ευκολία δηλαδή απομάκρυνσης με ροή μέσα στο επίπεδο του γεωϋφάσματος του πλεονάζοντος νερού) είναι πρωταρχική. Σημαντική είναι, επίσης, και η περιορισμένη επιρροή της συμπίεσης του γεωϋφάσματος από τα φορτία του συστήματος στην υδροαγωγιμότητά του. Επιπρόσθετα, χρήσιμο είναι να συνυπάρχουν και οι ιδιότητες που αναφέρθηκαν στην λειτουργία της διήθησης.

Συνοψίζοντας, η σημασία των διαφόρων ιδιοτήτων των γεωϋφασμάτων σε συσχετισμό με τις λειτουργίες που καλούνται να επιτελέσουν, όταν τοποθετούνται στην διεπιφάνεια οδοστρώματος - εδάφους, δίνεται στον Πίνακα 2. Στον πίνακα αυτόν με 1 έχει αξιολογηθεί κάποια ιδιότητα που

θεωρείται μικρής σημασίας για την λειτουργία για την οποία εφαρμόζεται το γεωϋφασμα, με 2 κάποια ιδιότητα που θεωρείται σημαντική και με 3 κάποια ιδιότητα που θεωρείται πρωταρχική.

4. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ

Το επόμενο βήμα αφορά στο συσχετισμό των ιδιοτήτων που απαιτούνται από τα γεωϋφάσματα με τα καταλληλότερα εργαστηριακά πειράματα προσδιορισμού τους. Ως καταλληλότερα έχουν επιλεγεί εκείνα τα πειράματα τα οποία είναι απλά, γίνονται σε εύχρηστες συσκευές, διέπονται από σαφείς προδιαγραφές εκτέλεσης, παρουσιάζουν υψηλή επαναληπτικότητα και αναπαραγωγιμότητα και προσομοιάζουν κατά το δυνατόν τις πραγματικές συνθήκες εφαρμογής του γεωϋφάσματος μέσα στο γεωτεχνικό σύστημα εφαρμογής τους.

εφαρμογή	2	2	2	2
απλότητα	2	2	2	1
εργαστηριακότητα	2	2	2	2
εργαστηριότητα	1	1	1	3
παραμετροποίηση	1	2	2	2
απλοποίηση μετρήσεων	2	2	2	1
απλότητα στη χρήση (απαιτήσεις)	2	1	1	2
απλότητα	1	1	2	3
έμφαση από μετρήσιμα ποσότητες	2	1	1	1

Πίνακας 2: Συσχέτιση της σημασίας των ιδιοτήτων των γεωϋφασμάτων με τις μετρήσιμες παραμέτρους και επιλέγεται να υποβληθούν όταν αξιολογείται στη διατήρηση υδροδυναμικού στρώματος.

Ιδιότητες	Λειτουργίες			
	ενίσχυση	διαχωρισμός	διήθηση	αποστράγγιση
μέτρο ελαστικότητας	3	1	1	1
εφελκυστική αντοχή	3	2	1	1
επιμήκυνση θραύσης	3	3	1	1
συνάφεια και τριβή με περιβάλλον υλικό	3	1	1	1
αντίσταση στη δημιουργία τοπικών αστοχιών (διάρρηξη, διάτρηξη, διάτρηση, σχίσσιμο, δράση συγκεντρωμένων φορτίων)	2	3	2	2
αντίσταση στην επέκταση τοπικών αστοχιών	3	3	2	
ερπυσμός	3	1	1	1
υδροδιαπερατότητα	2	2	3	3
υδροαγωγιμότητα	1	1	1	3
πορομετρία - πορώδες	1	2	3	2
ισοδύναμο μέγεθος πόρων: O_{95}	1	2	3	1
αντοχή στη γήρανση (υπεριώδης ακτινοβολία, φυσικοχημικοβιολογικές προσβολές)	2	1	1	1
πάχος	1	1	2	3
βάρος ανά μονάδα επιφάνειας	2	1	1	1

Πίνακας 2 Συσχέτιση της βαρύτητας των ιδιοτήτων των γεωϕασμάτων με τις διάφορες λειτουργίες που καλούνται να εκπληρώσουν, όταν τοποθετούνται στην διεπιφάνεια οδοστρώματος - εδάφους.

Στον Πίνακα 3 δίνονται τα πλέον γνωστά και αντιπροσωπευτικά πειράματα σε γεωϋφάσματα, οι προδιαγραφές εκτέλεσής τους (Γερμανικές: DIN, Ηνωμένων Πολιτειών: ASTM, Γαλλικές: AFNOR, Βρετανικές: BS και Βελγικές: RILEM), καθώς και οι χαρακτηριστικές τιμές που αναμένεται να συναντηθούν στα συνήθη προϊόντα.

επιβεβαίωση στήριξη (R ₀)		
DIN 52057, ASTM D714, EN 924 AFNOR G07-001, G21-001, R09N G07-001	100%	100%
επιβεβαίωση στήριξη (R ₁₀)		
DIN 52057, ASTM D714, EN 924 AFNOR G07-001, G21-001, R09N G07-001	100%	100%
επιβεβαίωση στήριξη (R ₂₀)		
DIN 52057, ASTM D714, EN 924 AFNOR G07-001, G21-001, R09N G07-001	100%	100%
συνάρτηση με κλίση με κλίση 10% (R ₁₀)		
μετρήσιμα 10% της συνάρτησης, κλίση 10% (R ₁₀)	10-20%	75-100%
συνάρτηση με κλίση με κλίση 20% (R ₂₀)		
μετρήσιμα 20% της συνάρτησης, κλίση 20% (R ₂₀)	10-20%	75-100%
συνάρτηση με κλίση με κλίση 30% (R ₃₀)		
μετρήσιμα 30% της συνάρτησης, κλίση 30% (R ₃₀)	10-20%	75-100%
συνάρτηση με κλίση με κλίση 40% (R ₄₀)		
μετρήσιμα 40% της συνάρτησης, κλίση 40% (R ₄₀)	10-20%	75-100%
συνάρτηση με κλίση με κλίση 50% (R ₅₀)		
μετρήσιμα 50% της συνάρτησης, κλίση 50% (R ₅₀)	10-20%	75-100%
συνάρτηση με κλίση με κλίση 60% (R ₆₀)		
μετρήσιμα 60% της συνάρτησης, κλίση 60% (R ₆₀)	10-20%	75-100%
συνάρτηση με κλίση με κλίση 70% (R ₇₀)		
μετρήσιμα 70% της συνάρτησης, κλίση 70% (R ₇₀)	10-20%	75-100%
συνάρτηση με κλίση με κλίση 80% (R ₈₀)		
μετρήσιμα 80% της συνάρτησης, κλίση 80% (R ₈₀)	10-20%	75-100%
συνάρτηση με κλίση με κλίση 90% (R ₉₀)		
μετρήσιμα 90% της συνάρτησης, κλίση 90% (R ₉₀)	10-20%	75-100%
συνάρτηση με κλίση με κλίση 100% (R ₁₀₀)		
μετρήσιμα 100% της συνάρτησης, κλίση 100% (R ₁₀₀)	10-20%	75-100%

Ιδιότητες	Υφασμένα γεωϋφάσματα	Μη υφασμένα γεωϋφάσματα
μέτρο ελαστικότητας (για $\epsilon=10\%$, KPa) DIN 53857, ASTM D751, D1682 AFNOR G07-001, G38-014, RILEM SM-G-11	70-1000	10-300
εφελκυστική αντοχή (KN/m) DIN 53857, ASTM D751, D1682 AFNOR G07-001, G38-014, RILEM SM-G-11	10-150	3-60
επιμήκυνση θραύσης (%) DIN 53857, ASTM D751, D1682 AFNOR G07-001, G38-014, RILEM SM-G-11	10-30	20-100
συνάφεια και τριβή με περιβάλλον υλικό (ποσοστό % της εσωτερικής τριβής του υλικού) RILEM SM-G-13	70-100	75-100
αντίσταση στη δημιουργία και επέκταση τοπικών αστοχιών: εφελκυστική αντοχή σε συγκεντρωμένο φορτίο (KN) DIN 53858, ASTM D1682, AFNOR G-07-120	0.5-8	0.3-5
αντίσταση στη δημιουργία και επέκταση τοπικών αστοχιών: επιμήκυνση θραύσης από συγκεντρωμένο φορτίο (KN) DIN 53858, ASTM D1682, AFNOR G-07-120	10-30	30-150
αντίσταση στη δημιουργία και επέκταση τοπικών αστοχιών: αντοχή διάρρηξης (MPa) DIN 53861, ASTM D3786, AFNOR G-07-112, BS 4768	2-30	0.4-9
αντίσταση στην δημιουργία και επέκταση τοπικών αστοχιών: αντοχή διάσχισης (Nt) DIN 53363, ASTM D2263, D1117, AFNOR G38-015, BS 4303, RILEM SM-G-12	>200	50-800

Πίνακας 3. συνέχεια

Ιδιότητες	Υφασμένα γεωϋφάσματα	Μη υφασμένα γεωϋφάσματα
αντίσταση στη δημιουργία και επέκταση τοπικών αστοχιών: αντοχή σε διείσδυση εμβόλου συσκευής CBR (Nt) DIN 54307	200-5000	200-5000
ερπισμός ASTM D2990	εξάρτηση από πρώτη ύλη	εξάρτηση από πρώτη ύλη & μέθοδο σταθεροποίησης
υδροδιαπερατότητα σε πίεση 2 KPa (mm/sec) AFNOR G38-016, RILEM SM-G-9	ευρεία μεταβολή	0.01-10
υδροαγωγιμότητα σε πίεση 2 KPa (mm ² /sec) AFNOR G38-017, RILEM SM-G-10	δεν έχει εφαρμογή	0.1-10
πορομετρία - πορώδες (%) AFNOR G38-017, RILEM SM-G-8	<70	65-93
ισοδύναμο μέγεθος πόρων: O_{95} (mm) AFNOR G38-017, RILEM SM-G-8	0.1-1	0.03-0.5
αντοχή στην γήρανση (υπεριώδης ακτινοβολία, φυσικοχημικοβιολογικές προσβολές) DIN53389, ASTM D1175, D543, D1435, D4355	βασικό ρόλο παίζει η πρώτη ύλη	βασικό ρόλο παίζει η πρώτη ύλη
πάχος σε πίεση 2KPa (mm) DIN 53855, ASTM D1777, AFNOR G38-012, RILEM SM-G-7	>0.3	0.4-10
βάρος ανά μονάδα επιφάνειας (gr/m ²) DIN 53854, ASTM D1990, BS 2576, AFNOR G38-013, G07-104	>150	70-1000

Πίνακας 3: Όρια τιμών των διαφόρων ιδιοτήτων των γεωυφασμάτων και προδιαγραφές εκτέλεσης των πειραμάτων προσδιορισμού τους.

5. ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΓΕΩΨΦΑΣΜΑΤΟΣ ΠΟΥ ΤΟΠΟΘΕΤΕΙΤΑΙ ΣΤΗΝ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ - ΕΔΑΦΟΥΣ

Το επόμενο βήμα στην διαδικασία επιλογής του πλέον κατάλληλου γεωψφάσματος είναι η διαβάθμιση της σπουδαιότητας των λειτουργιών, που οφείλει κατά περίπτωση να επιτελεί το γεωψφασμα. Σημειώνεται και πάλι ότι, όταν το γεωψφασμα τοποθετείται στην διεπιφάνεια οδοστρώματος - εδάφους, σπάνια εκτελεί μία και μοναδική λειτουργία. Συνήθως επιτελεί σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό, όλες τις λειτουργίες (ενίσχυση, διαχωρισμός, διήθηση και αποστράγγιση) οι οποίες και διακρίνονται σε πρωτεύουσες και δευτερεύουσες.

Στον Πίνακα 4 δίνεται η κλίμακα αξιολόγησης των χαρακτηριστικών των γεωψφασμάτων ανάλογα με την σπουδαιότητα της λειτουργίας που επιτελούν στο σύστημα οδόστρωμα - έδαφος και την σπουδαιότητα που έχει η κάθε ιδιότητα σε κάθε λειτουργία. Οι τιμές μέσα στις παρενθέσεις αναφέρονται στην αξιολόγηση που είχε γίνει στον Πίνακα 2.

Ιδιότητα	Λειτουργία	
	σημαντική	συνοδευτική
πρωταρχική (3)	3	2
σημαντική (2)	3	1
μικρής σημασίας (1)	2	1

Πίνακας 4 Αξιολόγηση σπουδαιότητας των χαρακτηριστικών των γεωψφασμάτων, ανάλογα με την σπουδαιότητα της συγκεκριμένης λειτουργίας τους στο σύστημα και την σπουδαιότητα της κάθε ιδιότητας σε αυτή τη λειτουργία.

Την ολοκλήρωση του προτεινόμενου μοντέλου επιλογής του καταλληλότερου γεωψφάσματος αποτελεί ο Πίνακας 5. Σ' αυτόν, ανάλογα με

την σπουδαιότητα των χαρακτηριστικών των γεωϋφασμάτων, όπως αυτά καθορίστηκαν στον Πίνακα 4, προδιαγράφονται οι οριακές τιμές γνωστών και δοκιμασμένων εργαστηριακών πειραμάτων, που οφείλει να έχει το επιλεγόμενο γεωϋφασμα για να ανταποκριθεί στην σχεδιαζόμενη εφαρμογή του. Έχει καταβληθεί ιδιαίτερη προσπάθεια να καλυφθεί μεγάλος αριθμός ιδιοτήτων. Έχει επίσης, καταβληθεί προσπάθεια να μην δοθούν ιδιαίτερα χαλαρές προδιαγραφές, οι οποίες καταλήγουν, τελικά, να μην απορρίπτουν κανένα από τα διατιθέμενα γεωϋφάσματα.

Τα γεωϋφάσματα που ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις που θέτει ο πίνακας αυτός είναι και εκείνα που εγγυώνται την επιτυχή εκπλήρωση της απόφασης χρησιμοποίησης γεωϋφάσματος στο συγκεκριμένο γεωτεχνικό σύστημα. Όπως έχει αναφερθεί, από τα γεωϋφάσματα αυτά θα επιλεγεί τελικά εκείνο που ανταποκρίνεται και στους λοιπούς παράγοντες επιλογής, (οικονομικός, τοπικών παραγόντων, εμπειρίας εφαρμογής παρόμοιων προϊόντων, διαθεσιμότητας προϊόντων). Από τους παράγοντες αυτούς μόνο η οικονομική ανάλυση μπορεί να υπεισέλθει σε κάποιο μοντέλο επιλογής του βέλτιστου γεωϋφάσματος.

Ιδιότητες	Αξιολόγηση σπουδαιότητας χαρακτηριστικών γεωϋφάσματος (Πίνακας 4)		
	3	2	1
μέτρο ελαστ/τητας (για $\epsilon=10\%$, KPa)	100	50	10
Εφελκυστική αντοχή (KN/m)	15	8	3
επιμήκηση θραύσης (%)	50	30	10
συνάφεια και τριβή με περιβάλλον υλικό (ποσοστό % της εσωτερικής τριβής του υλικού)	90	-	70
αντίσταση στην δημιουργία και επέκταση τοπικών αστοχιών: εφελκυστική αντοχή σε συγκεκριμένο φορτίο (KN)	1.5	0.5	0.2

Συνέχεια πίνακα 5

Ιδιότητες	Αξιολόγηση σπουδαιότητας χαρακτηριστικών γεωφάσματος (Πίνακας 4)		
	3	2	1
αντίσταση στην δημιουργία και επέκταση τοπικών αστοχιών: επιμήκυνση θραύσης από συγκεντρωμένο φορτίο (%)	60	3.5	15
αντίσταση στην δημιουργία και επέκταση τοπικών αστοχιών: αντοχή διάσχισης (Nt)	500	200	100
αντίσταση στην δημιουργία και επέκταση τοπικών αστοχιών: αντοχή σε διείδυση εμβόλου συσκευής CBR (Nt)	2000	1000	500
ερπυσμός: επιτρεπόμενη (%) μείωση παραλαμβανόμενου φορτίου για παραμορφώσεις 10%	20	40	60
υδροδιαπερατότητα σε πίεση 2 KPa (mm/sec)	4	1	0.1
υδροαγωγιμότητα σε πίεση 2KPa (mm ² /sec)	2	-	-
πορομετρία - πορώδες (%)	75	85	-
ισοδύναμο μέγεθος πόρων: O_{95} (mm)	0.12	0.22	0.3
πάχος σε πίεση 2KPa (mm)	2.0	0.7	-
βάρος ανά μονάδα επιφανείας (gr/m ²)	-	200	100

Πίνακας 5 Ελάχιστες απαιτήσεις από τα γεωφάσματα που τοποθετούνται στην διεπιφάνεια οδοστρώματος εδάφους, ανάλογα με την αξιολόγηση σπουδαιότητας των χαρακτηριστικών τους του Πίνακα 4.

6. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΤΙΑΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΟΥ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΕΡΟΥ ΓΕΩΨΦΑΣΜΑΤΟΣ

Ο οικονομικός παράγοντας επιλογής του βέλτιστου γεωψφάσματος παίζει κατά κανόνα πρωταρχικό ρόλο στην επιλογή του προϊόντος. Τα γεωτεχνικά έργα διακρίνονται για την έκτασή τους και τις μεγάλες ποσότητες υλικών που απαιτούν κι έτσι κάθε νεωτερισμός σε υλικά και μεθόδους κατασκευής, χρειάζεται επισταμένη οικονομική ανάλυση. Οι παράγοντες που υπεισέρχονται σε μία ανάλυση οικονομικής σκοπιμότητας είναι πολλοί και η σχετική τους βαρύτητα εξαρτάται από τις συγκεκριμένες συνθήκες και ιδιομορφίες της καθε εφαρμογής.

Τονίζεται συνεπώς ότι είναι ανέφικτη οποιαδήποτε γενικευμένη οικονομική αξιολόγηση, με συνέπεια να μην είναι δυνατό να εξαχθούν στο τέλος του κεφαλαίου κατηγορηματικά συμπεράσματα.

Οποιαδήποτε συγκριτική οικονομική αξιολόγηση της λύσης "μ" και "άνευ" γεωψφάσματος θα πρέπει να βασίζεται στην ισοδύναμη βραχυχρόνια και μακροχρόνια μηχανική και υδραυλική συμπεριφορά των δύο συστημάτων. Η ισοδυναμία αυτή εκφράζεται οικονομικά κυρίως με την δυνατότητα αντικατάστασης από το γεωψφασμα τμήματος του επιλεγμένου εδαφικού ή αδρανούς υλικού, που χρησιμοποιείται στο έργο. Σημειώνεται ότι η μακροχρόνια ισοδυναμία συμπεριφοράς των δύο συστημάτων είναι δύσκολο να ελεγχθεί, με αποτέλεσμα σημαντικές δυσκολίες στην όλη σύγκριση. Η τοποθέτηση γεωψφασμάτων σε οδοστρώματα βελτιώνει κυρίως τη μακροχρόνια συμπεριφορά τους, μειώνει δηλαδή σημαντικά το κόστος επισκευών και συντήρησης του οδοστρώματος, καθώς και το λειτουργικό κόστος χρήσης του (τα οποία συνολικά και όλο το χρονικό διάστημα ζωής του έργου, είναι μεγαλύτερα από το κόστος κατασκευής). Μια συνήθης όμως οικονομική ανάλυση λαμβάνει υπόψη της μόνο το άμεσο κόστος κατασκευής κι έτσι "μεροληπτει" σε βάρος της επιλογής χρησιμοποίησης γεωψφασμάτων στο γεωτεχνικό σύστημα.

Με βάση την ισοδυναμία των προσφερομένων ιδιοτήτων στο σύστημα μπορούν να αναγνωρισθούν οι παρακάτω περιπτώσεις όπου η λύση τοποθέτησης γεωψφασμάτων μπορεί να αποκτήσει οικονομικό προβάδισμα:

- Τα γεωϋφάσματα υπερτερούν των ανταγωνιστικών τους δομικών (συνήθως εδαφικών) υλικών στο κόστος μεταφοράς και τοποθέτησης. Συμφέρει, συνεπώς, να χρησιμοποιηθούν εκεί όπου αντικαθιστούν μεγάλες ποσότητες μεταφερόμενων δομικών - εδαφικών υλικών, καθώς και όπου, λόγω του προσφερόμενου "δεσίματος" του γεωτεχνικού συστήματος, καθίστανται δυνατές κάποιες ανοχές στις προδιαγραφές αποδοχής εδαφικών υλικών και συνεπώς εφικτή η χρήση τοπικά διαθέσιμων ευτελέστερων υλικών (μείωση του κόστους αγοράς και μεταφοράς μεγάλων ποσοτήτων καλής ποιότητας υλικών από απομακρυσμένες πηγές).
- Εκεί όπου το άμεσο κόστος κατασκευής του έργου είναι σχετικά μικρό ενώ παράλληλα αναμένεται ότι κατά την διάρκεια λειτουργίας του τα κονδύλια που θα δαπανηθούν θα είναι σημαντικά.
- Εκεί όπου βελτιώνονται σημαντικά οι συνθήκες βατότητας και εργασίας. Όπου δηλαδή το έδαφος ή οι κλιματολογικές συνθήκες είναι άσχημες, η διάστρωση γεωϋφάσματος αναμένεται να διευκολύνει την εκτέλεση εργασιών προσφέροντας και στερεότερο υπόβαθρο κίνησης ανθρώπων και μηχανημάτων και επεκτείνοντας την ωφέλιμη περίοδο εκτέλεσης των χωματουργικών εργασιών σε περιόδους σχετικά αυξημένης υγρασίας. (Σημειώνεται ότι η χρησιμοποίηση γεωϋφασμάτων δεν απαιτεί ιδιαίτερο μηχανολογικό εξοπλισμό, ούτε ιδιαίτερη εξειδίκευση προσωπικού).

Το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει από παρόμοιες οικονομικές αναλύσεις είναι ότι σε έργα οδοποιίας, τουλάχιστον, αλλά και σε λοιπά γεωτεχνικά έργα, όταν είναι ξεκάθαρο ότι το γεωϋφάσμα θα προάγει την μηχανική και υδραυλική συμπεριφορά του συστήματος, η απόφαση χρησιμοποίησής του σε καμία περίπτωση δεν συνεπάγεται αξιολογη οικονομική επιβάρυνση του έργου, ενώ συχνά οδηγεί σε σαφή άμεσα και κυρίως έμμεσα οικονομικά ωφέλη.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΕ ΚΟΠΩΣΗ ΘΕΡΜΟΥ ΚΥΛΙΝΔΡΟΥΜΕΝΟΥ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΟΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ SE ZOOROB AND J G VABRERA

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το Θερμό Κυλινδρούμενο Ασφαλτόμιγμα Χαμηλής Ενέργειας (Low Energy Hot Rolled Asphalt-LEHRA) είναι ένα Θερμό Κυλινδρούμενο Ασφαλτόμιγμα (Hot Rolled Asphalt-HRA) που περιέχει τέφρα. Αυτό το νέο, φιλικό προς το περιβάλλον ασφαλτόμιγμα αναπτύχθηκε στα Εργαστήρια Πολιτικών Μηχανικών-Μονάδων Υλικών του Πανεπιστημίου του Leeds. Σε συνέχεια μιας μελέτης η οποία απέδειξε ότι αυτό το νέο μίγμα μπορεί να παραχθεί και να συμπυκνωθεί σε πολύ χαμηλότερες θερμοκρασίες από ότι το συμβατικό HRA, κατασκευάστηκε ένα δοκιμαστικό τμήμα δρόμου και ελέγχθηκε επί 5 έτη. Τα αποτελέσματα των ελέγχων αυτών παρουσιάζονται σε άλλη ανακοίνωση αυτού του συνεδρίου. Για την αξιολόγηση της απόδοσης του LEHRA διερευνήθηκε η συμπεριφορά του σε κόπωση με την διενέργεια δοκιμών δυναμικής φόρτισης υπό σταθερή τάση.

Η δοκιμή κόπωσης εκτελέστηκε σε δοκούς με διάφορες περιεκτικότητες συνδετικού υλικού. Οι δοκοί φορτίζονται δυναμικά ενώ στηρίζονταν πλήρως σε βάση από ελαστικό. Οι αναπτυσσόμενες τάσεις συνεχώς ελέγχονταν κατά την φόρτιση. Πολυάριθμες δοκιμές έδειξαν ότι η κόπωση δεν οδηγεί σε ρηγμάτωση και ψαθυρότητα των LEHRA υπό φυσιολογικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος και συνήθη κυκλοφοριακό φόρτο. Όταν μεταβλήθηκαν οι συνθήκες ελέγχου σε ψυχρότερο περιβάλλον το δοκίμιο ρηγματώθηκε και τέλος η κόπωση οδηγεί σε θραύση.

Από τα παραπάνω πειράματα συμπεραίνεται ότι ο καλύτερος τρόπος εκτίμησης της συμπεριφοράς του κοινού Θερμού Κυλινδρούμενου Ασφαλτομίγματος (HRA) και του νέου χαμηλής ενέργειας (LEHRA) είναι όχι μόνο ο υπολογισμός της ενέργειας που εκλύεται από τη δυναμική φόρτιση. Οι σχέσεις που εξήχθησαν έδειξαν ότι ο αριθμός των κύκλων φόρτισης που απαιτείται για να εκλυθεί δεδομένη ποσότητα ενέργειας ήταν ο ίδιος για τα

Τύπος φίλλερ	Ονομαστική διάμετρος	Ειδικό βάρος	Εμβαδό επιφάνειας	Υπολογιζόμενο εμβαδό επιφάνειας	Παράγων σχήματος	Κενά ξηρού συμπιεσμένου φίλλερ	Πυκνότητα μάζας Toluene
Drax PFA	14	2.179	0.196	0.215	2	0.211	0.450
Blyth PFA	10	2.412	0.248	0.213	3	0.275	0.638
Thorpe Marsh PFA	11	2.249	0.242	0.218	3	0.281	0.344
West Burton PFA	9	2.384	0.279	0.233	3	0.235	0.422
Ballidon Limestone	7	2.773	0.309	0.217	3	0.255	0.612
Marsden Limestone	7.4	2.824	0.287	0.171	3	0.243	0.625
Scottish Limestone	5.4	2.725	0.407	0.180	3	0.248	0.638

Πίνακας 1: Ιδιότητες φίλλερ

Figure 1 Particle Size Distribution of PFA fillers used in the investigation

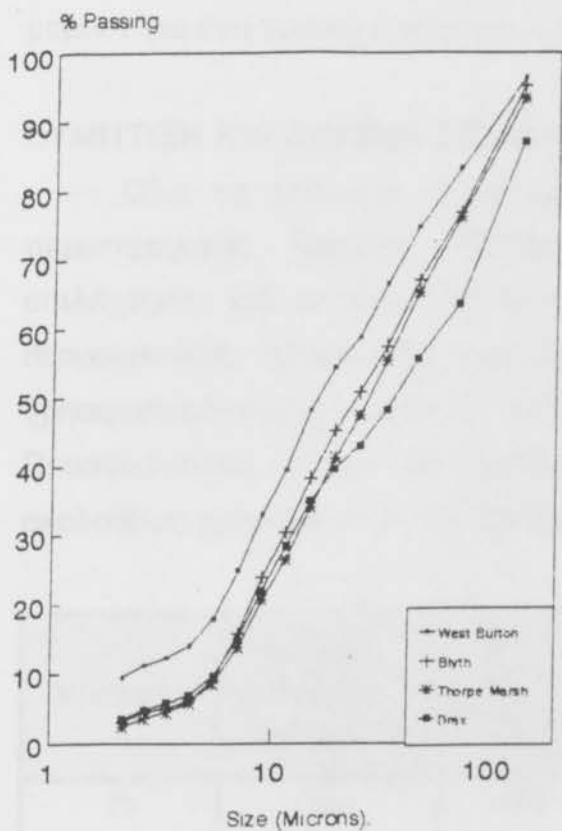


Figure 2 Particle Size Distribution of Limestone fillers used in the investigation

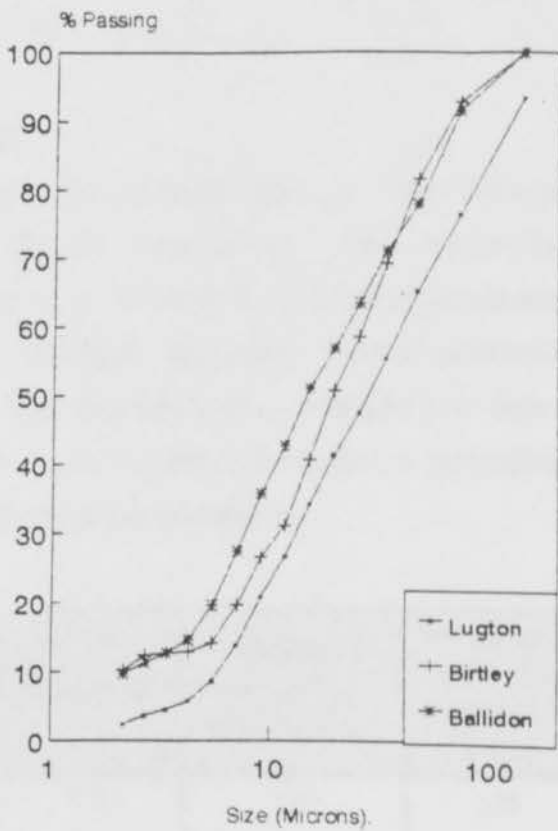
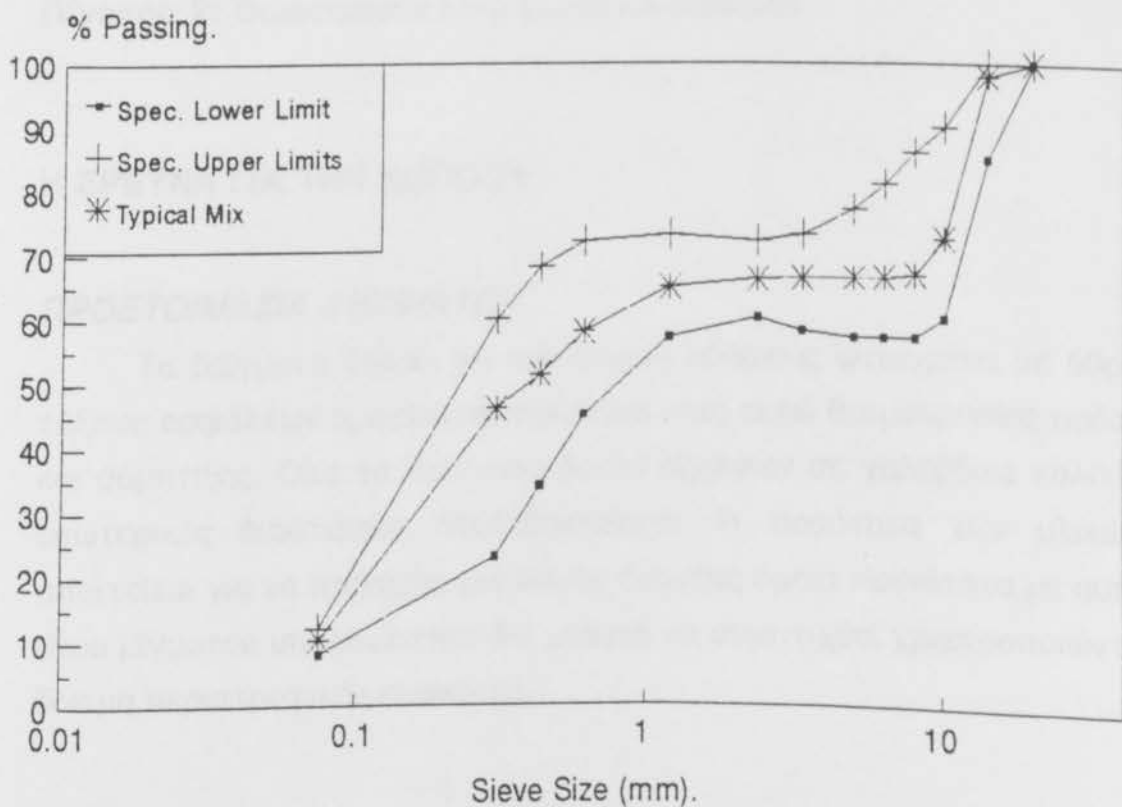


Figure 3 Particle Size Distribution for a Typical Mix
Coarse & Fine aggregates = Birtley, Filler = Birtley Limestone.



50 ρεφ ασφάλτου με χαμηλότερο σημείο τους 53°C και με P.I. της τάξης του -0,2. Το βέλτιστο ικανοποιητικό σημείο για όλα τα μίγματα, που μελετήθηκαν, ήταν 7%. Ένα παράδειγμα της διανομής των μεγεθών των επακολούθων μορίων για ένα τυπικό μίγμα φαίνεται στην εικόνα 3.

ΣΥΜΠΤΙΞΗ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Όλα τα δείγματα συμπίχθηκαν στο εργαστήριο με την συσκευή περιστροφικής δοκιμής (G.T.M.). Οκτώ προσμίξεις και συμπίξεις επιλέχθηκαν για την έρευνα όπως δείχνει ο πίνακας 2. Για κάθε συνδιασμό θερμοκρασίας πρόσμειξης-σύμπτυξης, τέσσερα δείγματα προετοιμάστηκαν χρησιμοποιώντας την συσκευή G.T.M. για σύμπτυξη και μέτρηση του δείκτη Πλαστικότητας. Η διαπερατότητα των συμπτυγμένων δειγμάτων μετρήθηκε ακολούθως χρησιμοποιώντας τον διεισδυτή αέρα μολύβδου.

Κωδικός	Θερμοκρασία ανάμειξης	Θερμοκρασία συμπίεσης	Κωδικός	Θερμοκρασία ανάμειξης	Θερμοκρασία συμπίεσης
T1	140	125	T5	120	105
T2	140	115	T6	120	95
T3	130	115	T7	110	95
T4	130	105	T8	110	85

Πίνακας 2: Θερμοκρασίες κατά τη μίξη και συμπίεση

Η ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΟΠΩΣΗ

ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Τα δείγματα δοκού για την δοκιμή κόπωσης φτιαγμένα με 50ρεφ της τάξεως ασφάλτων προετοιμάστηκαν και στις οκτώ θερμοκρασίες πρόσμειξης και σύμπτυξης. Όλα τα δείγματα δοκού ρίχθηκαν σε χαλύβδινα καλούπια με εσωτερικές διαστάσεις 500x100x100mm. Η ποσότητα των υλικών που απαιτείται για να παραχθεί μια δοκός έχοντας όμοια πυκνότητα με αυτήν του ίδιου μίγματος υπολογίστηκε ότι μπορεί να συμπτυχθεί χρησιμοποιώντας την δοκιμή περιστροφικής συσκευής.

Όλα τα δείγματα δοκού συμπίχθηκαν στο εργαστήριο με το συμπτυχτή δονήσεων τσεκουροειδούς μορφής Kango 638 σε δύο στρώσεις. Έγινε κατανοητό ότι 20 κτυπήματα σε κάθε στρώμα ήταν επαρκή να παράγουν δείγματα με πυκνότητες συγκριτές με αυτές που αποκτήθηκαν από το G.T.M. Μετά την αποπεράτωση το συμπτυγμένο δείγμα αφέθηκε στον παγωμένο αέρα. Οι δοκοί τότε στιγματίστηκαν (μαρκαρίστηκαν) και φυλάχθηκαν σε επίπεδη σε θερμοκρασία δωματίου για περισσότερο από 24 ώρες πριν προιονιστούν στις τελικές τους διαστάσεις.

Από τότε που χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος δεν είναι η πρώτη φορά του είδους της να κατασκευαστούν δείγματα δοκών HRA στο πανεπιστήμιο Μολύβδου CEMY θεωρήθηκε μη απαραίτητο να ελεγχθεί η ομοιομορφία της κατανομής των αδρανών και η ποικιλομορφία στην πυκνότητα μέσα σε κάθε δοκό που παράχθηκε. Γι αυτό το σχέδιο έρευνας, η τελική διάσταση της δοκού για την δοκιμή κόπωσης μετά την λείανση των ανώμαλων κορυφών και της κοπής της δοκού στην μέση κατά μήκος ήταν: 500x50x8mm π.χ. δύο ημιτελής ταυτόσημες δοκοί που παράχθηκαν από το ίδιο καλούπι.

ΑΡΧΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΔΟΚΙΜΗΣ ΚΟΠΩΣΗΣ

Θεωρώντας τις συνθήκες δοκιμής ότι είναι εφαρμόσιμες σε παχιά ασφαλτόστρωση εφαρμόζοντας βαρύ φορτίο και επιτρέποντας την διαθεσιμότητα του εξοπλισμού στο εργαστήριο, η αρχική διαμόρφωση της δοκιμής που επιλέχθηκε για δοκιμή κόπωσης των δειγμάτων δοκού είναι ως εξής:

- Συνεχής πίεση ημιτονοειδούς σχηματισμού κυκλικής φόρτισης
- Συχνότητα φόρτισης τεσσάρων κύκλων ανά δευτερόλεπτο
- Όλες οι δοκοί έχουν λιπανθεί στο κάτω μέρος ώστε να ελατώσουν την τριβή μεταξύ της δοκού και της ελαστικής (λαστιχένιας) βάσης και αφεξής να ελατωθούν οι ανεπιθύμητες διατμητικές δυνάμεις
- Δοκιμή θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

Δοκιμές κόπωσης συνεχούς τάσης φόρτισης επιλέχθηκαν αρχικά γιατί πιστεύεται ότι οι τάσεις δεν πρέπει να υπολογίζονται από την απόκλιση των συνθηκών των δοκιμών ελέγχου αφού οι αλλαγές του δυναμικού πρότυπου πλαισίου κατά την διάρκεια του αρχικού μέρους της δοκιμής παραταύτα

αλλάζουν την σχέση μεταξύ της απόκλισης του δείγματος και επιφέρουν το επίπεδο πίεσης. Δευτερεύων , είναι πιο δύσκολο να παρακολουθήσουμε την αλλαγή δύναμης που χρειάζεται να εφαρμοστεί ώστε να διατηρηθεί η ίδια απόκλιση επιπέδου για ένα δείγμα που γίνεται σταδιακά αδύναμο με τον καιρό.

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ

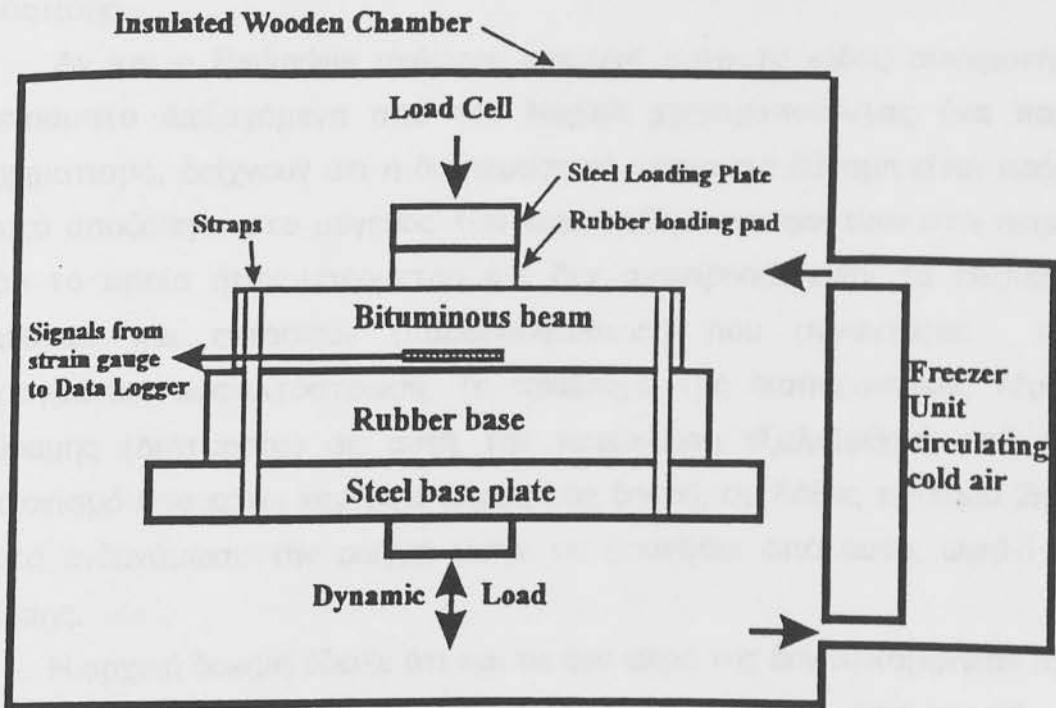
Σε αυτό το σχέδιο, μια μηχανή Υδρο-Δυναμικού Ελέγχου Instron 8033 χρησιμοποιήθηκε για να παράγει έναν ημιτονοειδούς σχήματος παλμό φόρτισης στο δείγμα δοκού. Αφού ο έλεγχος διεξάχθηκε κάτω από την μέθοδο συνεχούς τάσης φόρτισης, η συσκευή προγραμματίστηκε να εφαρμόσει το ίδιο σχέδιο φορτίου κατά την διάρκεια ολόκληρου του ελέγχου. Το σχέδιο και η συχνότητα των φορτίων που παράχθηκαν στις δοκούς ελέγχθηκε από μια συσκευή προγραμματικού ελέγχου που ήταν προσκολλημένη στη μηχανή.

Η μηχανή ήταν επίσης εξοπλισμένη με ένα ταλαντευτή ώστε να βοηθήσει στην παρακολούθηση του σχήματος των εφαρμοσμένων φορτίων και στο σχέδιο ανταπόκρισης. Τα διεξαγόμενα στοιχεία που αποτελούνται από το μέγεθος του εφαρμοσμένου φορτίου, την κατά προσέγγιση κορυφαία θέση του εμβόλου και τον αριθμό των κινήσεων, εκσυγχρονίστηκαν και εκτελέστηκαν στη συσκευή οπτικής παρακολούθησης Instron.

Για να μετρήσουμε τα αποτελέσματα των πιέσεων σε μια δοκό, ένας καλωδιωμένος δείκτης πίεσης αντίστασης RL-60 που έχει 60mm μήκος, έχει επικολληθεί σε δύο τοποθεσίες της μιας μεριάς της δοκού. Ο κεντρικός δείκτης πίεσης βρίσκεται σε μια τοποθεσία περίπου 25mm πάνω από το τέλος της δοκού. Οι πιέσεις που παράχθηκαν από την επαναλαμβανόμενη φόρτιση στο κέντρο της δοκού προκάλεσαν την αλλαγή της αντίστασης του δείκτη πίεσης το οποίο είχε καταμετρηθεί από την συγκέντρωση της γέφυρας Wheatstone (Wheatstone Bridge) και έπειτα ενισχύθηκε από ένα ενισχυτή διαφορικής πίεσης. Τα σινιάλα, τότε, εκπέμπονται στον λήπτη πληροφοριών ο οποίος είναι συνδεδεμένος με ένα IBM 286 συμβατό Computer. Ένα πρόγραμμα γραμμένο και τοποθετημένο στο Computer, λαμβάνει τα σινιάλα από τον λήπτη πληροφοριών και τα μεταφράζει σε ένταση. Τα στοιχεία που αποκτήθηκαν για κάθε δοκό μεταφέρονται σε ένα spreadsheet έτοιμο για ανάλυση.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ

Η δοκιμή κόπωσης εκτελέστηκε τοποθετώντας τις ορθογώνιες δοκούς σε μια λαστιχένια βάση, ενώ το φορτίο επαναλαμβανόμενα εφαρμόζονταν κεντρικά. Το φορτίο εφαρμόστηκε πάνω από το πλάτος της δοκού διαμέσου μιας λαστιχένιας τροχαλίας πλάτους 60mm, που τοποθετήθηκε ώστε να μειώσει τα αιχμηρά σημεία της επαφής μεταξύ της τέλει επίπεδης πλάκας φόρτισης και της όχι τόσο τέλει επιφάνειας της ασφαλτικής δοκού. Ο σχηματισμός του δοκιμαστικού εξοπλισμού φαίνεται στην εικόνα 4.



Σχήμα 4: Μορφή φόρτισης σε κόπωση

Σε μια απλά υποστηριγμένη δοκό στη δοκιμή κόπωσης είναι φανερό ότι το βάρος της ίδιας της δοκού μπορεί να επηρεάσει τα αποτελέσματα της δοκιμής εξαιτίας του ερπυσμού. Από την άλλη μια δοκός σφισμένη εξίσου στα άκρα υποφέρει επιπλέον σε ερπυσμό και σε διατμητικές τάσεις στα υποστηρίγματα. Για να εξαλειφθεί αυτό κάποιος μπορεί να εφαρμόσει μια φόρτιση με ελατήριο (πλήρους ημιτονοειδούς κύματος) κεντρικά στο ακρο μιας σφισμένης δοκού. Αλλά σε μια τέτοια περίπτωση, τα αποτελέσματα της παραμόρφωσης στις ακραίες ίνες της δοκού που κυμαίνονται ανάμεσα στη συμπίεση και στην ένταση, εξαρτώνται από το κατά πόσο το έμβολο

προωθείται ή απελκύεται στην κορυφή και στη βάση της δοκού καθώς κυρίως η συμπίεση στη κορυφή αντιτίθεται με την ενταση στη βάση. Εντούτοις, με το να επιτρέψουμε στις δοκούς να εδραστούν σε ένα λαστιχένιο υπόβαθρο, τότε το πρόβλημα μπορεί να εξαλειφθεί.

Ένα λαστιχένιο στήριγμα πάχους 50mm χρησιμοποιήθηκε σαν υπόβαθρο και είχε συντελεστή ελαστικής τιμής 4,3MPa, όπως δόθηκε από τους κατασκευαστές. Ολοκληρω το συγκρότημα αποτελούμενο από την δοκό και τα λαστιχένια στήριγματα φτάνει με δυσκολία τα 25mm πυκνής χαλύβδινης πλάκας, η οποία εδράστηκε κατευθείαν στη βάση του πλαισίου (σκελετού) φόρτισης.

Αν και ο Barksdale ανέφερε επιτυχή αυτό το είδος συγκροτήματος, πειράματα διεξαγόμενα από τον Nariiah χρησιμοποιώντας ένα παρόμοιο σχηματισμό, δείχνουν ότι η διαπεραστική τέμνουσα δύναμη είναι πρόβλημα. Αυτό αποδόθηκε στο μέγεθος των εφαρμοζόμενων φορτίων στα πειράματα του τα οποία ήταν υπέρμετρα και δεν αντιπροσώπευαν τα επίπεδα των πιέσεων και εντάσεων (παραμορφώσεων) που συναντάται σε μια πραγματική ασφαλτόστρωση. Το πρόβλημα της διαπεραστικής τέμνουσας δύναμης (Διάτμησης) σε αυτή την περίπτωση εξαλείφθηκε από τεχνητό πριονισμό στο κάτω κεντρικό μέρος της δοκού, σε βάθος περίπου 2mm, και αυτό ενδυνάμωσε την ρωγμή ώστε να ξεκινήσει από αυτό, υψηλό σημείο πίεσης.

Η αρχική δοκιμή έδειξε ότι και τα δυο ακρα της δοκού κάμφηκαν προς τα πάνω κατά την διάρκεια της δοκιμής, ώσπου έχασαν την επαφή με την ελαστική βάση. Αυτή η μερική υποστήριξη, η οποία ποικίλει και κατά την διάρκεια της κυκλικής φόρτισης και κατά το ιστορικό της φόρτισης κάνει μια εγγύς σχηματική ανάλυση των τάσεων μέσα στη δοκό και επομένως ελλοτώνει την πιθανότητα της συσχέτισης των τάσεων με τον αριθμό των κύκλων, στην αποτυχία. Για να αποφύγουμε αυτό το πρόβλημα και οι δύο άκρες της δοκού, δέθηκαν στην ελαστική βάση με αυτοκόλλητη ταινία.

Η εφελκυστική τάση μετρημένη σε 1000 επαναλήψεις έχει χρησιμοποιηθεί στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων έτσι ώστε να επιτρέψουν αρχικά να συμβεί σταθεροποίηση της δοκού. Αλλά με προσεκτική εξέταση ενός διαγράμματος σχετικό με την εφελκυστική παραμόρφωση και του αριθμού των κύκλων δυο σαφής τάσεις φαίνονται να υπάρχουν. Ένα αρχικό απότομο ευθύγραμμο τμήμα της καμπύλης η οποία αντιπροσωπεύει την

αρχική περίοδο μεγάλων ελαστικών παραμορφώσεων και το επόμενο τμήμα το οποίο αντιπροσωπεύει ένα σταθερό ρυθμό αύξησης του πλάτους της παραμόρφωσης με μια ήπια κλίση. Το σημείο τομής των εφαπτομένων στα δύο μέρη του διαγράμματος θεωρήθηκε ότι θα είναι η πιο αντιπροσωπευτική τιμή της αρχικής παραμόρφωσης.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ

Ένα σύνολο από 65 δοκούς δοκιμάστηκαν σε διάφορες συνθήκες από τέσσερις μίξεις. Δοκοί οι οποίοι έχουν χαραχθεί από χειροπρίονο έχουν χάραγμα πλάτους 2mm άσχετα με το καθορισμένο πλάτος. Όλες οι δοκοί είχαν μια αναλογία παραμόρφωσης στο κέντρο τους, 1cm από κάτω προς τα πάνω, δηλαδή (0, 1cm). Αν μια επιπρόσθετη αναλογία παραμόρφωσης ρυθμιστεί, η θέση της καταγράφεται σχετικά με το κέντρο της κάτοψης της δοκού, δηλαδή θέση (0, 0cm). Η εικόνα 5 επιλέχθηκε για να παρουσιάσει ένα τυπικό προφίλ παραμόρφωσης που έχει καταγραφεί κατά την διάρκεια δοκιμών κόπωσης.

Τριάντα δοκοί δοκιμάστηκαν σε δύο κυκλικά επίπεδα φόρτισης. Η πρώτη ομάδα σχετίζονταν με μέγιστη τιμή φορτίου 95N και ελάχιστη 15N και η δεύτερη με μέγιστο 150N και ελάχιστο 33N περίπου. Οι φορτίσεις επιλέχθηκαν κατόπιν δοκιμών και λαθών τέτοια που το αποτέλεσμα των παραμορφώσεων θα ήταν συγκρινόμενο με εκείνες τις επακόλουθες προλύπτουσες παραμορφώσεις κάτω από ένα κινούμενο όχημα. Όλες οι δοκιμές εκτελέστηκαν σε θερμοκρασία δωματίου $\approx 25^{\circ}\text{C}$. Πιστεύαμε γενικότερα ότι οι μικρορωγμές οι οποίες είναι αναπόφευκτα παρούσες στην επιφάνεια όλων των ασφαλούχων δοκών, θα μπορούσαν να είναι επαρκής για την ένδειξη μεγάλων ρωγμών, σε εκτεταμένους χρόνους θα μπορούσαν να προκαλέσουν αποτυχία κόπωσης και ως εκ τούτου οι δοκοί δεν ήταν χαραγμένες.

Σε όλες τις περιπτώσεις οι προκύπτουσες παραμορφώσεις που προκλήθηκαν από ένα συγκεκριμένο δυναμικό φορτίο ήταν πολύ όμοιες στο σχήμα και στο μέγεθος εκτός από τον τύπο του μίγματος, την ανάμειξη και την θερμοκρασία συμπίεσης, το συνδετικό υλικό που περιείχαν και το βάθος της χάραξης (άνω των 6mm ήταν προκληθείσα). Ήταν πολύ δύσκολο να ανακαλυφθούν οποιεσδήποτε οριστικές τάσεις και αποτυχίες από ξαφνική θραύση και δεν θα μπορούσε να ανακαλυφθεί σε καμιά περίπτωση ακόμα και

σε ένα υψηλό αριθμό φορτίων εφαρμογής (πάνω από ένα εκατομμύριο κύκλους) ή μέγεθος φορτίου. Η δυναμική φόρτιση αυξήθηκε συστηματικά σε διάφορες δοκούς πάνω από 1400N η οποία προκάλεσε τις καταγραφόμενες παραμορφώσεις συνεπώς την αύξηση της τιμής (παραμορφώσεις πάνω από 3500μs καταγράφησαν) αλλά σε καμία περίπτωση δεν παρατηρήθηκε αποτυχία από ολική καταστροφή. Σε κάθε περίπτωση οι παραμορφώσεις πλησίαζαν την υψηλότερη τιμή πέρα από την οποία παρέμειναν ανεπηρέαστες από τον αριθμό των στροφών κόπωσης.

Ένα πρόβλημα το οποίο προέκυψε από την τόσο μακροχρόνια δοκιμή ήταν ότι η θερμοκρασία του χώρου όπου το Instron ήταν εγκατεστημένο, ήταν αυξημένη στους 5°C περίπου στο τέλος των δοκιμών και αυτό μπορούσε να προκαλέσει προβλήματα στην εφαρμογή των δειγμάτων. Πάντως γεγονός είναι ότι δεν υπήρχε μεγάλη διαφορά στην εκτέλεση μεταξύ των δοκών HRA και LEHRA.

Για να λύσουμε το πρόβλημα της αύξησης της θερμοκρασίας και του περιβάλλοντος δοκιμών, αποφασίστηκε ότι μια μονάδα ψύξης πρέπει να εγκατασταθεί στα μίγματα κατά την διάρκεια των δοκιμών. Ένα βαριά επενδυμένο ξύλινο κουτί που να ταιριάζει γύρω από το δείγμα χωρίς να εμπλέκεται στη φόρτιση, κατασκευάστηκε γι αυτό το σκοπό. Το κουτί συνδέθηκε με ένα μεγάλο ψύκτη μέσω δύο μεγάλων μονωμένων σωλήνων. Παγωμένος αέρας από τον ψύκτη περνούσε από το εσωτερικό του σωλήνα, μέσα στη κατασκευή και μετά κυκλοφορούσε οδηγούμενος πάλι πίσω στον ψύκτη. Χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο, ήταν δυνατόν να διατηρηθούν θερμοκρασίες γύρω στους 4°C κατά την διάρκεια των δοκιμών.

Περαιτέρω δοκιμές κοπώσεως έδειξαν ότι το να παγώνουμε τα δείγματα δεν ήταν λύση και έτσι αποφασίστηκε να προχωρήσουν σε μεγαλύτερες χαράξεις κατασκευάζοντας τριγωνικά σχήματα (βάση 6mm) από το κέντρο κάτοψης της δοκού. Οι δοκοί που απέμειναν χαράχθηκαν από μηχανήματα και δοκιμάστηκαν με τον ίδιο τρόπο όπως πριν, αλλά αυτή την φορά απέτυχαν. Στις περισσότερες περιπτώσεις η αποτυχία συναντήθηκε σε μια λογική ποσότητα στροφών.

Ήταν αδύνατον να σχεδιαστούν νοητές γραμμές κόπωσης χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες που ήδη υπάρχουν. Οι ανώτεροι πιστεύουν ότι οι καταγραμμένες γραμμές κόπωσης συγκεκριμένων αναμίξεων εξαρτώνται άμεσα από την δομή των δοκιμών, την ταχύτητα και την

θερμοκρασία των δοκιμών και δεν περιλαμβάνουν γενικά το αποτέλεσμα των στρώσεων στην κορυφή όπου βρίσκεται η μίξη.

ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΜΙΞΗΣ

Από τότε που η ξαφνική αποτυχία λόγω έλλειψης αναπαραγωγής στην εύθραυστη μορφή δεν αποκαλέσθαι μορφή αποτυχίας στη διαμόρφωση της δοκιμής οι υπολογισμοί της εύθραυστης θραύσης και της θραύσης αντοχής δεν είναι εφαρμόσιμοι. Έτσι η θερμική κόπωση ή εύπλαστη αποτυχία και πλαστική παραμόρφωση στην περιοχή των ρηγμάτων λόγω της σταδιακής αύξησης της θερμότητας είναι η πιο πραγματική βλάβη μηχανισμού. Η θερμική αστοχία περιλαμβάνει την συσσώρευση ενέργειας κατά την διάρκεια κάθε κύκλου φόρτισης και αφού αυτή η ενέργεια είναι καταναλωμένη στην θερμότητα η αστοχία προϋποθέτει την αναγνώριση της από παχύρευστα υγρά.

Η εξίσωση παραγωγής θερμότητας και ο ρυθμός κατανάλωσης ενέργειας και η αύξηση της θερμοκρασίας πράγματι υπάρχουν στην θεωρία αλλά για να μπορέσει κανείς να τα χρησιμοποιήσει απαιτείται το πείραμα να έχει αρχικά σχεδιαστεί, να παρατηρηθούν προσεκτικά οι αλλαγές των δυναμικών μοντέλων, η απώλεια τάσης, η γωνία φάσης και η περιεκτικότητα υγρασίας του υλικού κατά την διάρκεια των δοκιμών. Ένα μεγάλο μειονέκτημα των μη χαραγμένων δειγμάτων που σχετίζεται με την θερμική αστοχία είναι ότι το σχήμα και το μέγεθος του δείγματος και ο βαθμός κλίσης της τάσης θα επηρεάσουν τα αποτελέσματα των δοκιμών.

Με την εκμετάλλευση της δαπανούμενης ενέργειας βρισκόμαστε πολύ κοντά σε αποτελέσματα διαφορετικών τύπων δυναμικών δοκιμών που διαξάγονται υπό διαφορετικά σετ συνθηκών και με διάφορους τύπους ασφαλτικών μιγμάτων, μπορεί να περιγραφεί απλά ως σχέση ειδικού-μίγματος. Η εμφάνιση των υπολοίπων περιόδων, η χρήση της ελεγχόμενης τάσης ή ελεγχόμενης παραμόρφωσης, τα αποτελέσματα της συχνότητας και της θερμοκρασίας δεν επηρεάζουν σημαντικά την σχέση της καταναλισκόμενης ενέργειας.

Η συνολική δαπανούμενη ενέργεια στην κόπωση είναι μια λειτουργία κατά την διάρκεια της κόπωσης και αυτή η λειτουργία είναι μοναδική για κάθε μίγμα. Η δαπανούμενη ενέργεια ανά κύκλο ανά μονάδα έντασης μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$= \pi \times \sigma \times \varepsilon \times \sin\varphi$$

όπου σ και ε τα πλάτη της τάσης και παραμόρφωσης αντίστοιχα και φ η γωνία φάσης μεταξύ των κυματοειδών σημείων τάσης και παραμόρφωσης σε αυτό τον κύκλο φόρτισης.

Κατά την διάρκεια μιας ελεγχόμενης δοκιμής παραμόρφωσης το πλάτος της τάσης και η γωνία φάσης αλλάζουν. Αυτό σημαίνει ότι για τον υπολογισμό της συνολικής δαπανούμενης ενέργειας είναι απαραίτητο να ενοποιηθούν οι λειτουργίες της τάσης και της γωνίας φάσης επί του αριθμού των κύκλων φόρτισης. Αυτή η ενοποίηση είναι σχετική της ενέργειας μέσα σε συγκεκριμένες παύσεις σταθερών κύκλων, δηλαδή σε κύκλους στους οποίους μπορεί να θεωρηθεί ότι η τάση και η γωνία φάσης σε αυτή την παύση είναι σχεδόν σταθερές. Από την σχέση ενέργειας προκύπτει ότι σε μια μακρύτερης διάρκειας κόπωσης του μίγματος μπορεί να δαπανηθεί πιο πολύ ενέργεια ανά μονάδα όγκου.

Δεν είναι δυνατόν να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα της ενέργειας που παράχθηκαν θεωρητικά με τα αποτελέσματα που αποκτήθηκαν εδώ με οποιοδήποτε βαθμό ακριβείας λόγω των διαφορετικών διαμορφώσεων δοκιμών (δοκών σε ελαστική βάση), μέγεθος δείγματος και μέθοδος εφαρμογής φορτίου (Ημί-ημιτονοειδής). Η έρευνα σχεδιάστηκε προκειμένου να οριστικοποιήσει (καθορίσει) την συμβατή κόπωση. Ο σκοπός ήταν να εκτιμηθεί η σχετική συμπεριφορά της LEHRA συγκρινόμενη με την συμβατική HRA. Συγκρίνοντας τιμές παραμόρφωσης χαμηλής ενέργειας και συμβατικών μιγμάτων ήταν δυνατό κατά την διάρκεια της διασποράς των δεδομένων η αλλαγή του σχήματος της γραφικής παράστασης και η αλλαγή του περιβάλλοντος και των συνθηκών φόρτισης για κάθε σετ δοκιμών.

Προκειμένου να μορφοποιήσουμε την μέθοδο σύγκρισης η οποία θα μπορούσε να τροφοδοτεί όλες τις διαφορετικές συνθήκες φόρτισης και θερμοκρασίας του πειραματικού προγράμματος, αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί η προσέγγιση Ενέργειας από την σχέση:

$$i = \pi \times N_i \times \varepsilon_i \times \sin\varphi_i$$

η οποία αφορά συγκεκριμένες παύσεις των κύκλων φόρτισης για την συνολική δαπάνη ενέργειας ανά μονάδα όγκου σε κόπωση:

$$FAT = \sum_{i=1}^{N_{fat}} W_i$$

π = σταθερή

N_i = 160 κύκλοι επιλεγμένοι να συμπέσουν με τον μικρότερο δυνατό αριθμό κύκλων που το πρόγραμμα του Ηλεκτρονικού Υπολογιστή μπορεί να αναλύσει ανεξάρτητα, κατά την διάρκεια της έρευνας δεδομένων

σ_i = Σταθερή τάση, η οποία εξαρτάται από το εφαρμοζόμενο φορτίο και υπολογίζεται από την ελαστική θεωρία

ε_i = Καταγραφόμενες τάσεις

φ_i = Γωνία φάσης η οποία είναι μια λειτουργία του τύπου του μίγματος και της ακαμψίας του μίγματος χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις που παρέχονται από τον Van Dijk

$$0^9 \leq S_{mix} \leq 3 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$$

$$\varphi = 410 - 40 \log S_{mix}$$

$$0^8 < S_{mix} < 10^9 \text{ N/m}^2$$

$$\varphi = 230 - 20 \log S_{mix}$$

ακρίβεια της γωνίας φ : $\varphi \pm 10^\circ$

Τελικά τα δύο πρώτα μέρη του τύπου ήταν για να βρούμε την τιμή της τάσης για ένα εφαρμοσμένο φορτίο και την ακαμψία του μίγματος.

S_{mix} Υπολογισμοί

Για να υπολογίσουμε την ακαμψία δημιουργήθηκαν οι ακόλουθες πιθανές μέθοδοι:

- Θερμοκρασία δοκιμής 5°C , Πορώδης επιφάνεια 5 έως 8%, όγκος της ασφαλτικής ζώνης 14,6 έως 15,1%.

- Χρησιμοποιώντας τα προγράμματα του Ηλεκτρονικού Υπολογιστή Bands (Shell ασφαλικό), οι τιμές του Sbit υπολογίστηκαν για χρόνο φόρτισης από 0,02 έως 0,24 δευτερόλεπτα.

Ένας πολύ μεγάλος αριθμός τιμών Smix που ήταν ως αποτέλεσμα, χάρην της διαύγειας, παρουσιάζονται εδώ μόνο τέσσερις τιμές για να καλύψουν το φάσμα της μελέτης:

$$\text{Sbit } 50 \text{ Mpa} \quad \text{Smix} \approx 4000 \text{ MPa}$$

$$\text{Sbit } 100 \text{ Mpa} \quad \text{Smix} \approx 6500 \text{ MPa}$$

$$\text{Sbit } 150 \text{ Mpa} \quad \text{Smix} \approx 8000 \text{ MPa}$$

$$\text{Sbit } 200 \text{ Mpa} \quad \text{Smix} \approx 9300 \text{ MPa}$$

Ως εκ τούτου οι τιμές της ζώνης Smix από 4000 έως 9300MPa, εξαρτούνται πολύ από τον χρόνο φόρτισης .

Η ροπή της δοκού είναι:

$$M = \frac{P}{4\lambda}$$

όπου p = εφαρμοζόμενη δύναμη σε N

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{K}{4EI}}$$

k = δείκτης υποστήριξης (support system) 4,3 MPa

E = μέτρο ελαστικότητας (beam modulus)= Smix

Χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες συμπληρωματικές προϋποθέσεις:

1. Ομογενές υλικό
2. Διατομή επιπέδου πριν την εφαρμογή της φόρτισης εξακολουθεί και μετά την φόρτιση
3. Η σχέση τάσης - παραμόρφωσης είναι γραμμική για την φόρτιση όπως αναφέραμε.

4. Το E έχει την ίδια τιμή στην θλίψη όπως και στον εφελκυσμό

Οι ακόλουθες εξισώσεις από την θεωρία των δοκών μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

$$\frac{M}{I} = \frac{E}{R} = \frac{\sigma_z}{\psi}$$

όπου:

M είναι η ροπή που υπολογίστηκε από τα παραπάνω

$\psi = 35\text{mm}$ είναι η απόσταση της θέσης παραμόρφωσης από το κεντρικό μέρος της δοκού

ως εκ τούτου η τιμή του σ , καθώς και η τάση στην θέση της παραμόρφωσης μπορούν να υπολογιστούν.

Ο πίνακας 3 δίνει τις τιμές των υπολογισμένων πιέσεων για τις τέσσερις τιμές της ακαμψίας του S_{mix} . Η τελευταία σειρά του πίνακα παρέχει τις έννοιες ελέγχου της ακρίβειας του υπολογισμού της έντασης. Οι υπολογισμοί εκτελούνται βασιζόμενοι με την παραδοχή της ελαστικής συμπεριφοράς και γι αυτό οι τιμές της τάσεις που λήφθηκαν ισχύουν για το τμήμα της παραμόρφωσης όπου οι δοκοί κυρίως παραμορφώνονται ελαστικά κάτω από την επίδραση του δυναμικού φορτίου. Με προσεκτική παρατήρηση κάθε καμπύλη κόπωσης είναι εύκολο να παρατηρήσουμε το ευθύγραμμο τμήμα κοντά στην εκκίνηση που ακολουθείται από μια καμπύλη η οποία καταλήγει σε ένα μεγάλο αριθμό κύκλων. Μεγεθυνόντας αυτό το ευθύγραμμο τμήμα μπορεί να σημειωθεί ο αριθμός των κύκλων όταν η καταγραφή των παραμορφώσεων αρχίζει να παρεκκλίνει από την ευθυγραμμία (γραμμικότητα).

Βρέθηκε ότι κατά την μεγαλύτερη πλειοψηφία των δοκών που υπέστησαν δοκιμή στους 5°C χρησιμοποιώντας το υψηλότερο φορτίο των 1400N , οι παραμορφώσεις παρέμειναν γραμμικές πάνω από $500\mu\text{s}$. Ως εκ τούτου, αυτή η τιμή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εισαγωγή στην ακόλουθη εξίσωση:

$$S_{mix} = E_{beam} = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

δηλαδή όταν 500μs χωρίζονται από την τιμή τάσης που έχει υπολογισθεί από την δοκό σε ελαστική βάση η τιμή του S_{mix} θα πρέπει να είναι κοντά στην τιμή που έχει αρχικώς εισαχθεί στο BANDS πρόγραμμα του Ηλεκτρονικού Υπολογιστή, αλλιώς οι υπολογισμοί δεν είναι ακριβείς. Αφού η τιμή της παραμόρφωσης των 500μs δεν έχει χρησιμοποιηθεί στους προηγούμενους υπολογισμούς στις ροπές και τάσεις στην δοκό σε ελαστική βάση για αυτό γίνονται αυτές οι πράξεις (ενέργειες) ως έλεγχος ακρίβειας των παραδοχών και των υπολογισμών.

S_{mix} από BANDS (MPa)	4000	6500	8000	9300
Ροπή που οφείλεται σε φόρτιο 1400N	104	118	124	129
Υπολογισμός τάσης σ (MPa)	1.71	1.93	2.03	2.11
S_{mix} για $500\mu s = \sigma : 500\mu s$ (MPa)	3400	3900	4100	4200

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Τιμές τάσης κόπωσης για διάφορες τιμές ακαμψίας

Από τον πίνακα 3 μπορεί κανείς να δει ότι ο υπολογισμός της τάσης είναι αποδεκτός για τις τιμές του S_{mix} γύρω στα 400MPa. Αυτό ανταποκρίνεται στον μέγιστο χρόνο φόρτισης εισαγωγής στο BANDS πρόγραμμα το οποίο ήταν 0,24 δευτερόλεπτα. Αυτός ο χρόνος συμφωνεί με την ταχύτητα δοκιμής η οποία ήταν $4\text{Hz} \approx 0,25 \text{ secs}$ χρόνος φόρτισης (χωρίς να δεκτούμε το μετατοπισμένο ημίτονο κυματοειδούς μορφής)

Από την ανωτέρω ανάλυση υιοθετήθηκε η τιμή τάσης $1,7 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ μαζί με την τιμή S_{mix} 4000MPa ως αρχική κατάσταση δοκιμής.

Κοντά στο τέλος μιας τυπικής δοκιμής κόπωσης με 1400N, κατεγράφησαν παραμορφώσεις περίπου 4000μs, οι οποίες έδειξαν την πτώση της τιμής S_{mix} καθώς η δοκιμή ήταν εν εξελίξει, δηλαδή $S_{mix} = \sigma \div \epsilon = 1,7 \times 10^6 \div 4000\mu s \approx 430 \text{ MPa}$.

Αυτή η μεταχείριση δεν είναι ακριβής λόγω του ότι σε αυτό το σημείο η ελαστική συμπεριφορά δεν ισχύει. Αλλά όλα αυτά υποχρεούνται ένα πρόχειρο υπολογισμό (κατά προσέγγιση) της πτώσης του S_{mix} έτσι ώστε η αλλαγή της γωνίας φάσης, η οποία εξαρτάται από το S_{mix} μπορεί να υπολογιστεί.

Από την εμπειρική σχέση της γωνίας φ με το S_{mix} όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, καταγράφησαν οι ακόλουθες τιμές:

$$\varphi_{\text{αρχικό}} = 26^\circ \text{ και } \varphi_{\text{τελικό}} = 57^\circ$$

Για την ευκολία των υπολογισμών παίρνουμε ως δεδομένο ότι η γωνία φάσης κυμαίνεται από 26° έως 57° με γραμμικό τρόπο καθώς ο αριθμός των κύκλων φόρτισης αυξάνονται.

Έχοντας αποκτήσει όλες τις απαραίτητες παραμέτρους για την εξίσωση Ενέργειας είναι δυνατόν να υπολογίσουμε την δαπανούμενη ενέργεια κατά την διάρκεια της δοκιμής κόπωσης.

Χρησιμοποιώντας την πραγματική παραμόρφωση ενάντια του αριθμού των δεδομένων κύκλων που έχουν αποθηκευτεί στα φύλλα εργασίας, η συσσωρευμένη ενέργεια που δαπανήθηκε για κάθε δοκό, υπολογίστηκε ως το σημείο που ολοκληρώθηκε η δοκιμή.

Η παραπάνω διαδικασία έπρεπε να επαναληφθεί για τις άλλες τρεις κύριες συνθήκες φόρτισης των 260N, 150N και 95N και οι αντίστοιχες τιμές S_{mix} , διακυμάνσεις γωνίας φάσης και συσσωρευμένης ενέργειας να επαναυπολογιστούν για κάθε δοκό.

Ήταν σκόπιμο ότι η συγκεκριμένη τιμή Ενέργειας E_1 από την θεωρία η οποία μπορούσε να αντιστοιχεί σε παρόμοιο μίγμα που υφίσταται την δοκιμή κόπωσης. Για ένα συγκεκριμένο επίπεδο τάσης, ο αριθμός κύκλων που μια συγκεκριμένη δοκός θα χρειαζόταν για να πετύχει την τιμή E_1 θα μπορούσε τότε να χρησιμοποιηθεί για την σύγκριση των ικανοτήτων της κόπωσης των μιγμάτων LEHRA και HRA. Η E_1 αρχικά πάρθηκε για να είναι κοντά στο $100 \times 10^6 \text{ J/m}^3$ ήταν εκτός φάσματος δοκιμής. Μια τιμή της τάξης $60 \times 10^6 \text{ J/m}^3$ επιλέχθηκε για αυτό τον σκοπό προκειμένου να περιλαμβάνει την πλειοψηφία των αποτελεσμάτων των δοκιμών.

Τα αποτελέσματα που είδαμε δεν είναι τα ιδανικότερα γιατί όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, η δοκιμή δεν ήταν ειδικά σχεδιασμένη για υπολογισμό Ενέργειας. Το σχήμα 6 απεικονίζει την σχέση των αριθμών των κύκλων σε μια συσσωρευμένη δαπανούμενη Ενέργεια με τιμή $60 \times 10^6 \text{ J/m}^3$ ενάντια στην αρχική παραμόρφωση στα τέσσερα κύρια επίπεδα φόρτισης. Τα σημεία στην εικόνα 6 εκπροσωπούν τον μέσο αριθμό των κύκλων των δοκών με παρόμοια χαρακτηριστικά. Είναι φανερό ότι οι δοκοί τύπου LEHRA και του συμβατικού

HRA συμπεριφέρονται με τον ίδιο τρόπο και γι αυτό η ιδιότητα της κόπωσης είναι παρόμοια.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

- Η μορφή της δοκιμής, δοκός σε ελαστική βάση πλησιάζει πιο κοντά στις συνθήκες φόρτισης οι οποίες λαμβάνουν χώρα στον δρόμο
- Συνειδητοποιήθηκε ότι παρόλο που η φόρτιση εφαρμόστηκε δυναμικά και το δείγμα βρισκόταν σε ελαστική βάση, ο συσσωρευμένος ερπυσμός ήταν ακόμα μια πολύ μεγάλη μορφή καταπόνησης
- Η αστοχία της κόπωσης με θραύση αποκτήθηκε μόνο αφού η δοκός είχε ψυχθεί στους 4°C και η μηχανή χαράχθηκε με τριγωνικές χαραγματιές βάθους τουλάχιστον 5mm
- Κάτω από φυσιολογικές συνθήκες (παραμορφώσεις και θερμοκρασίες αντιπροσωπευτικές των συνθηκών) κόπωσης δεν είναι βασικοί μηχανισμοί καταπόνησης για το HRA, ειδικά όταν εντός πεδίου η θερμοκρασία μπορεί να είναι υψηλή ή να σταθεροποιείται κατά το περισσότερο χρονικό διάστημα. Υψηλότερες θερμοκρασίες και υψηλότερο περιεχόμενο ασφάλτου επίσης ενεργούν προσθετικά στα παχύτερα υγρά και επουλώνουν ενδεχομένως τις άκρες της ρωγμής στην κόπωση, Χρησιμοποιώντας την προσέγγιση ενέργειας για την εξάλειψη του αποτελέσματος της θερμοκρασίας, αποδείχθηκε συμπερασματικά ότι οι δοκοί LEHRA συμπεριφέρθηκαν με ένα παρόμοιο τρόπο με τους συμβατούς δοκούς HRA κάτω από σχετικά καμπυλωτά φορτία. Κάτω από ένα συγκεκριμένο επίπεδο τάσης και οι δύο τύποι μιγμάτων που απαιτούν τους ίδιους αριθμούς κύκλων να δαπανούν μια επιλεγμένη ποσότητα ενέργειας.

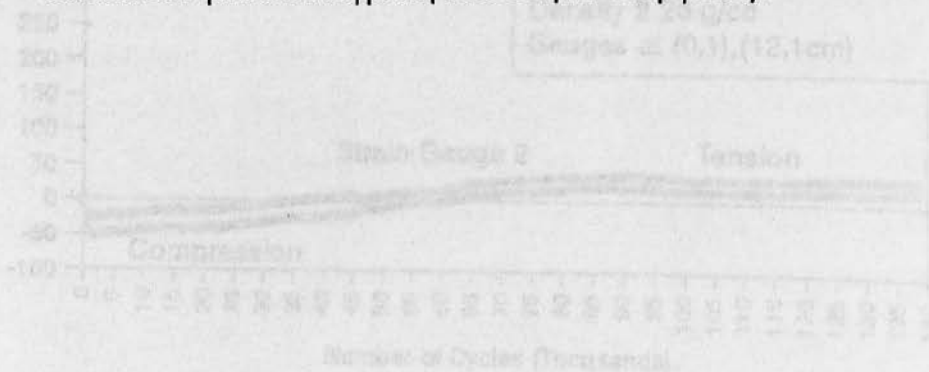


Figure 6 Number of cycles to dissipate 60 million J/m³ per unit volume v.s. initial strain for all beams.

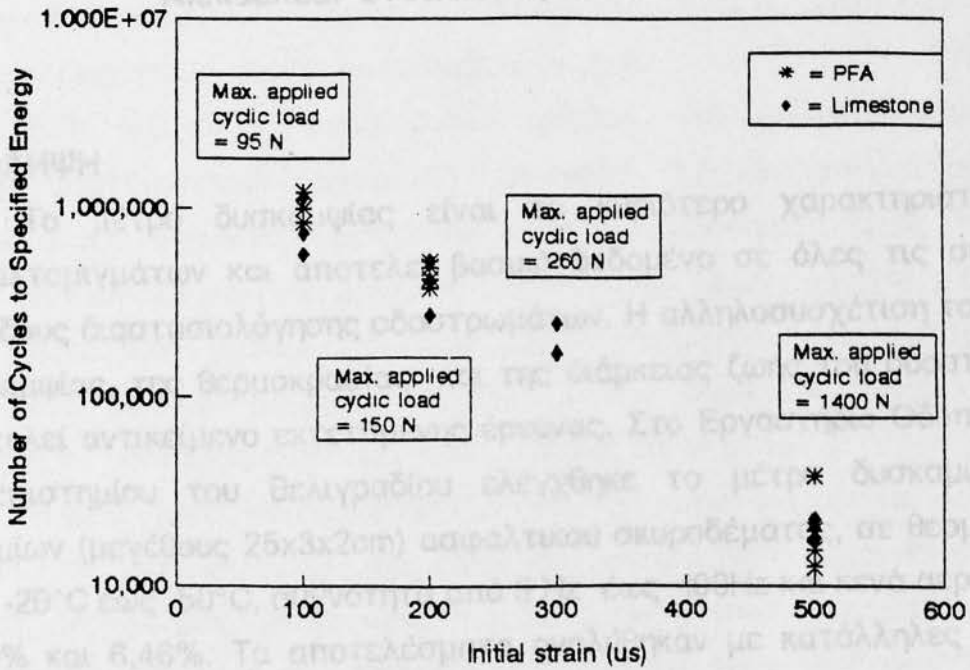
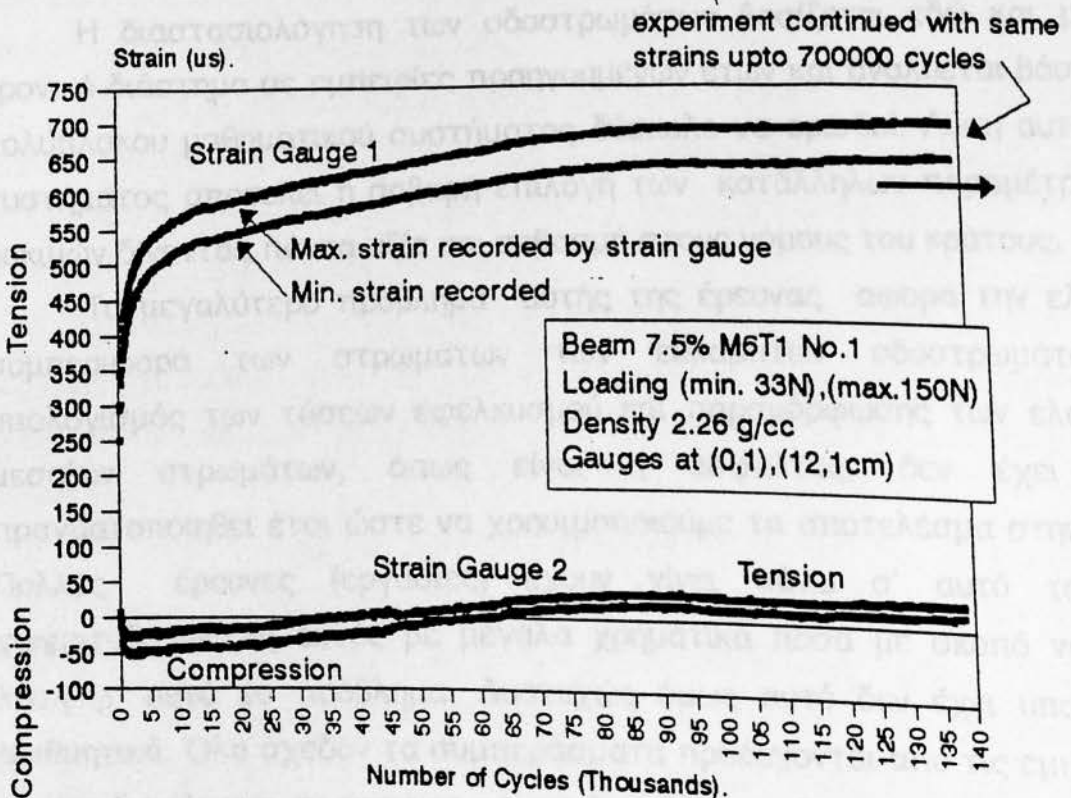


Figure 5 Typical strain profile for a fatigue test



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V

ΜΕΤΡΟ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ ΑΣΦΑΛΤΙΚΩΝ ΜΙΓΜΑΤΩΝ

Aleksandar Cvetanovic, Goran Mladenovic

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το μέτρο δυσκαμψίας είναι το κυριότερο χαρακτηριστικό των ασφαλτομιγμάτων και αποτελεί βασικό δεδομένο σε όλες τις σύγχρονες μεθόδους διαστασιολόγησης οδοστρωμάτων. Η αλληλοσυσχέτιση του μέτρου δυσκαμψίας, της θερμοκρασίας και της διάρκειας ζωής του οδοστρώματος αποτελεί αντικείμενο εκτεταμένης έρευνας. Στο Εργαστήριο Οδοποιίας του Πανεπιστημίου του Βελιγραδίου ελέγχθηκε το μέτρο δυσκαμψίας 250 δοκιμίων (μεγέθους 25x3x2cm) ασφαλτικού σκυροδέματος, σε θερμοκρασίας από -20°C έως 50°C, συχνότητα από 5 Hz έως 100Hz και κενά αέρος 3,73%, 4,53% και 6,46%. Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν με κατάλληλες μεθόδους στατιστικής και χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό οδοστρωμάτων στη Γιουγκοσλαβία.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαστασιολόγηση των οδοστρωμάτων βασίζεται εδώ και μεγάλο χρονικό διάστημα σε εμπειρίες προηγούμενων ετών και αναλύεται βάση ενός πολύπλοκου μαθηματικού συστήματος δύσκολο να ορισθεί. Λύση αυτού του συστήματος αποτελεί η σοβαρή επιλογή των κατάλληλων παραμέτρων και δοκιμών δίνοντας πάντα αξία και σεβασμό στους νόμους του κράτους.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα αυτής της έρευνας αφορά την ελαστική συμπεριφορά των στρωμάτων των εύκαμπτων οδοστρωμάτων. Ο υπολογισμός των τάσεων εφελκυσμού και παραμόρφωσης των ελαστικών μεσαίων στρωμάτων, όπως είναι η άσφαλτος, δεν έχει ακόμη πραγματοποιηθεί έτσι ώστε να χρησιμοποιούμε τα αποτελέσματα στην πράξη. Πολλές έρευνες (εργασίες) έχουν γίνει πάνω σ' αυτό το θέμα, χρηματοδοτώντας αυτές με μεγάλα χρηματικά ποσά με σκοπό να βρεθεί λύση γι' αυτό το πρόβλημα. Δυστυχώς όμως αυτό δεν έχει υπολογισθεί αριθμητικά. Όλα σχεδόν τα συμπεράσματα προέρχονται από τις εμπειρίες οι οποίες βασίζονται σε έρευνες και σε δοκιμές που έχουν γίνει σε εργαστήρια πάνω σ' αυτό το θέμα.

Στο κείμενο αυτό του Συνεδρίου έχει γίνει προσπάθεια παρουσίασης μερικών συμπερασμάτων, με σκοπό να ευρύνουμε τις γνώσεις μας πάνω στις τάσεις και στη καταπόνηση σε θλίψη και παραμόρφωση των ασφαλικών οδοστρωμάτων, βάση ενός μεγάλου αριθμού δοκιμών.

Αυτά που πρέπει ιδιαίτερα να προσεχθούν είναι:

Η σχέση μεταξύ μεταφορικού μέσου και οδοστρώματος, τα χαρακτηριστικά των υλικών, η κατανομή της θερμοκρασίας και οι βασικές αρχές για τη διαστασιολόγηση των οδοστρωμάτων. Το κείμενο αυτό αποτελεί μέρος μιας μεγάλης έρευνας μηχανικών με μεγάλη εμπειρία.

Η σχέση μεταξύ μεταφορικών οχημάτων και οδοστρώματος σχετίζεται με την ταχύτητα αυτών και των δονήσεων (κραδασμοί) που δέχεται το οδόστρωμα υπο την επίδραση της ταχύτητας.

Η συχνότητα ταλάντωσης των οδοστρωμάτων κυμαίνεται μεταξύ 1 και 40 Hz. Η ταλάντωση γενικά μας είναι αδιάφορη, αλλά η αρμονική ταλάντωση με ίση ένταση μας ενδιαφέρει και είναι αυτή που χρησιμοποιείται στις δοκιμές που γίνονται στα εργαστήρια διότι αυτή είναι που συναντάμε στην πραγματικότητα.

Πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν αλλαγές στη συχνότητα ταλάντωσης της τάξεως των 10 Hz μεταβάλλοντας το μέτρο δυσκαμψίας κατά 2%. Κατά συνέπεια η επιρροή της ταχύτητας των οχημάτων στο μέτρο δυσκαμψίας μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα.

Το μέτρο δυσκαμψίας ενός μίγματος ασφαλικού σκυροδέματος εξετάστηκε με πρότυπο εξοπλισμό και συγκεκριμένη διαδικασία έχοντας θερμοκρασία από -20°C σε 50°C , συχνότητα ταλάντωσης από 5-100 Hz και κενά αέρος 3,73%, 4,53% και 6,46%.

Η εκλογή της διακύμανσης της θερμοκρασίας για τα πειράματα γίνεται με βάση το κλίμα που έχει η χώρα μας και τα συμπεράσματα που προκύπτουν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανεπιφύλακτα σε όλα τα μέρη της χώρας μας.

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων δείχνουν ότι η θερμοκρασία επιρρεάζει σημαντικά το μέτρο δυσκαμψίας μεταβάλλοντάς το από 200-20.000 MPa σε αντίστοιχες θερμοκρασιακές μεταβολές από -20°C σε 50°C .

Μεγάλες διακυμάνσεις της συχνότητας ταλάντωσης, της τάξεως των 5-100 Hz μας καθιστά αναγκαία την παρακολούθηση των οχημάτων που

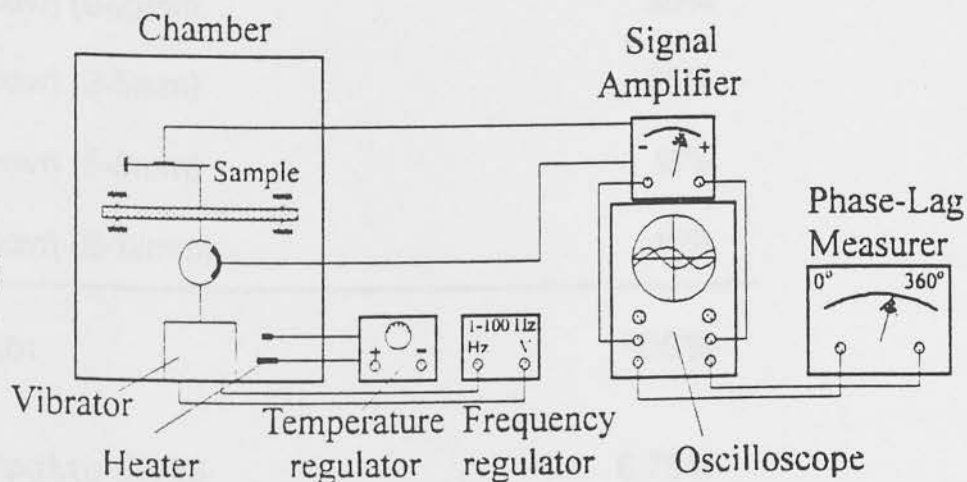
κινούνται στο συγκεκριμένο οδόστρωμα ακόμη και των όχι συνηθισμένων μεταφορικών μέσων.

Εκλογή των κενών στα ασφαλτικά μίγματα δεν γίνεται για πρακτικούς λόγους, αλλά ακόμη και μια μικρή διακύμανση αυτών επιρραάζει σημαντικά το μέτρο δυσκαμψίας.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ

Συνήθως, τα αποτελέσματα που λαμβάνουμε από το εργαστήριο έχουν μικρή σημασία σε σχέση με αυτά που λαμβάνουμε επί τόπου στο εργοτάξιο. Αυτό οφείλεται στη δυσκολία να υπάρξουν πρότυπα στο εργαστήριο που να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.

Μια συσκευή εξέτασης της δυναμικότητας των ασφαλτικών δοκών, που κατασκευάστηκαν στο Εργαστήριο Οδοποιίας του Πανεπιστημίου του Βελιγραδίου, καθιστά ικανή την εξέταση των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων της ασφάλτου όπως είναι το μέτρο δυσκαμψίας, το μέτρο ελαστικότητας, κόπωσης κ.λ.π. υπό τη λειτουργία αυτής (της μηχανής) σε καθορισμένη φόρτιση συχνότητα και θερμοκρασία. Το σκαρίφημα της μηχανής φαίνεται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1: Συσκευή για έλεγχο αντοχής ασφαλτικών δοκών

Τα βασικότερα τμήματα αυτής της συσκευής είναι τα ακόλουθα:

- Ένας παλμογράφος (καταγράφει τη φόρτιση, που δέχεται η δοκός, και το βέλος κάμψης)

- Συσκευή για την επιλογή των συχνοτήτων της δοκιμής
- Μέτρητή φάσεως
- Μετατροπέας δύναμης
- Μετατροπέας μετατόπισης
- Δονητής
- Ρυθμιστής θερμοκρασίας
- Ρολόι
- Απομονωμένος θάλαμος
- Ενισχυτής

Το ασφαλτικό μίγμα που χρησιμοποιείται για την κατασκευή 250 δειγμάτων (διαστάσεων 25x3x2) κατασκευάζεται από:

* Φίλλερ	10%
* Άμμο	5%
* Αδρανή (0-2)mm	30%
* Αδρανή (2-5mm)	25%
* Αδρανή (5-8mm)	15%
* Αδρανή (8-12mm)	15%

Σύνολο: **100%**

και ασφαλτο 50/55 **6.75%**

με τις ακόλουθες προδιαγραφές:

* Ευστάθεια κατά Marshall	0.1 KN
* Ροή κατά Marshall	3.75 mm
* Μάζα ανά μονάδα βάρους με δείγματα βάση της μεθόδου Marshall	2330Kg/m ³

- * Κενά στο ασφαλτόμιγμα 4.11%
- * Κενά στα ασφαλτικά δείγματα (δοκοί) 4.53%

Όλες οι συσκευές μετρήσεως πρέπει να ελεγχθούν πριν τα πειράματα. Στη περίπτωση που τα όργανα μετρήσεως είναι ηλεκτρικά όπως π.χ. ο παλμογράφος στον οποίο πρέπει να ελεγχθεί η ηλεκτρική τάση πριν την λειτουργία του. Διαφορετικές θερμοκρασίες στα πειράματα ζητούνται για χαλύβδινους δακτύλιους διαφορετικού πάχους (λόγω της μεταβολής του μέτρου δυσκαμψίας σε διαφορετικές θερμοκρασίες). Η μετατόπιση καταγράφεται στο καντράν του οργάνου μετρήσεως της παραμόρφωσης (μηκηνσιόμετρο) με σταμάτημα της μηχανής τη στιγμή του συντονισμού, όταν δηλαδή έχουμε μέγιστη αύξηση του βάλους κάμψης. Οι τιμές της φόρτισης που δέχεται η δοκός και του βέλους κάμψης δίνονται από τη μηχανή σε Volt/cm και αργότερα τις μετατρέπουμε σε N και σε mm.

Το μέτρο δυσκαμψίας υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο:

$$S_m = \frac{Pl^3}{4bh^3f}$$

όπου:

- P = ασκούμενη φόρτιση (N)
- f = βέλος κάμψης (m)
- l = απόσταση μεταξύ των στηρίξεων (0,23 m)
- h = ύψος δοκού (0,02m)

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Οι δοκιμές του μέτρου δυσκαμψίας εκτελούνται στις ακόλουθες θερμοκρασίες και συχνότητες.

Θερμοκρασία:	-20°C	-10 °C	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C
Συχνότητα:	5Hz	10Hz	20Hz	30Hz	40Hz	50Hz		

60Hz 70Hz 80Hz 90Hz 100Hz

Η επίδραση των κενών στο μέτρο δυσκαμψίας του ασφαλτικού τσιμέντου δοκιμάστηκε για κενά, μέσα σε δοκούς από άσφαλο, από 3,73%, 4,53% και 6,46% και για θερμοκρασίες: -10 °C 0°C 10°C 20°C και 30°C.

Ένας πλήρης στατικός υπολογισμός έχει γίνει με σκοπό να ορισθεί η εξίσωση του μέτρου δυσκαμψίας συναρτήση της θερμοκρασίας, της συχνότητας, και των κενών.

Οι υπολογισμοί και οι γραφικές παραστάσεις των δοκιμών δίνονται στο πίνακα 1 και στο σχήμα 2.

Θερμο- κρασία °C	Αποτελέσματα του μέτρου δυσκαμψίας (MPa) σε 5 Hz						
-20	17103	18024,3	18521,6	17921,6	16215,6	15721,6	16305,6
-10	15321,4	15584,6	15821,6	16028	15121,4	14810,5	14721,3
0	13011,6	14021,3	14128,6	13221,8	12005,6	11905,6	12805,6
10	104101,1	11028,1	10628,1	11021,8	9705,6	10205,3	9705,8
20	7826,1	8251,6	8321,6	8121,6	7481,3	7305,3	7505,6
30	5251,6	5681,4	5514,3	5632,1	4803,1	4911,8	4806,7
40	2634	3014,5	3109,6	2728,5	2205,6	2105,6	2503,5
50	158	162,8	172,8	158,5	141,8	132,1	156,5

Εξίσωση του μέτρου δυσκαμψίας:

$$Y=(250 - (A(X+20)**B+C))*1000$$

Παράμετροι εξίσωσης

$$A=0.1620663187 \quad E 01$$

$$B=0.1098265298 \quad E 01$$

$$C=0.7768688878 \quad E 02$$

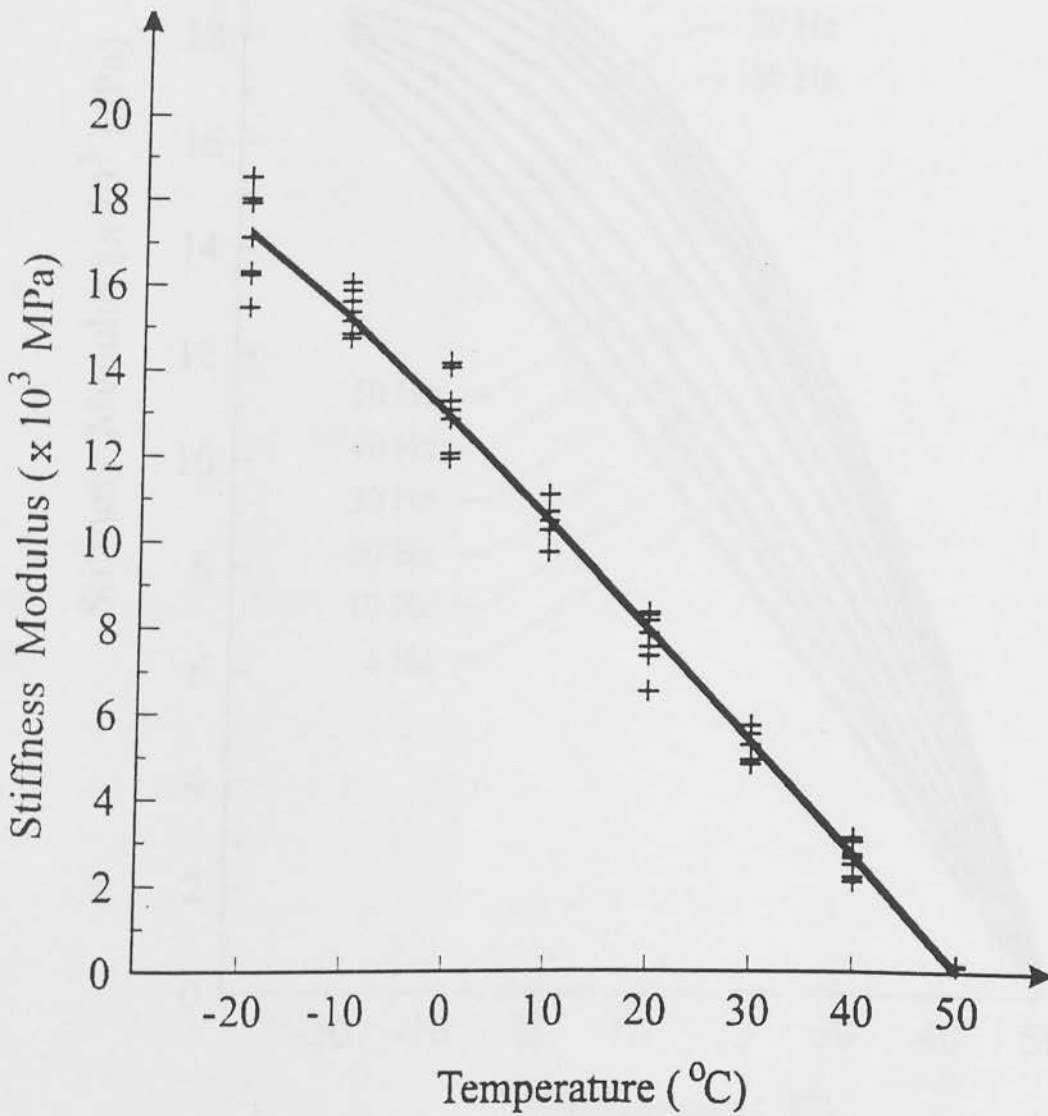
$$REZIDIJUMSKA \text{ VARIJANSA} = 0.3261691643E 02$$

$$REZIDIJUMSKA \text{ DEVIJACIJA} = 0.5711122171E 01$$

$$REZIDIJUMSKI \text{ VAR.KOFF.} = 0.3561003541E 01 \text{ PROCENATA}$$

Θερμοκρασία (°C)	Μέτρο δυσκαμψίας
-20	17231,3
-10	15199,1
0	12880,5
10	10439,8
20	7916,3
30	5329,5
40	2690,9
50	8,6

Πίνακας 1: Υπολογισμοί από κομπιούτερ για συχνότητα 5Hz

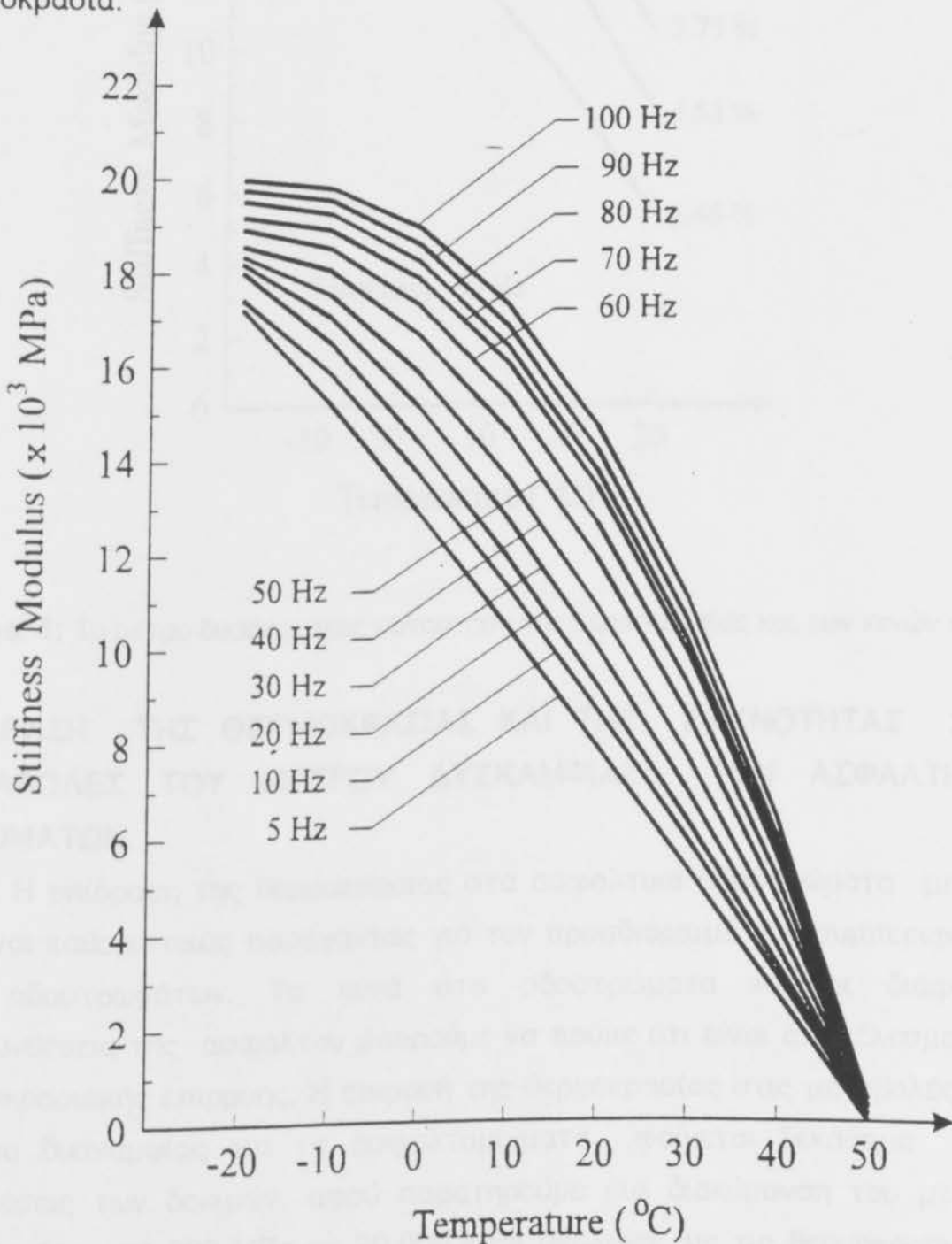


Σχήμα 2: Το μέτρο δυσκαμψίας συνάρτηση της θερμοκρασίας σε συχνότητα 5 Hz

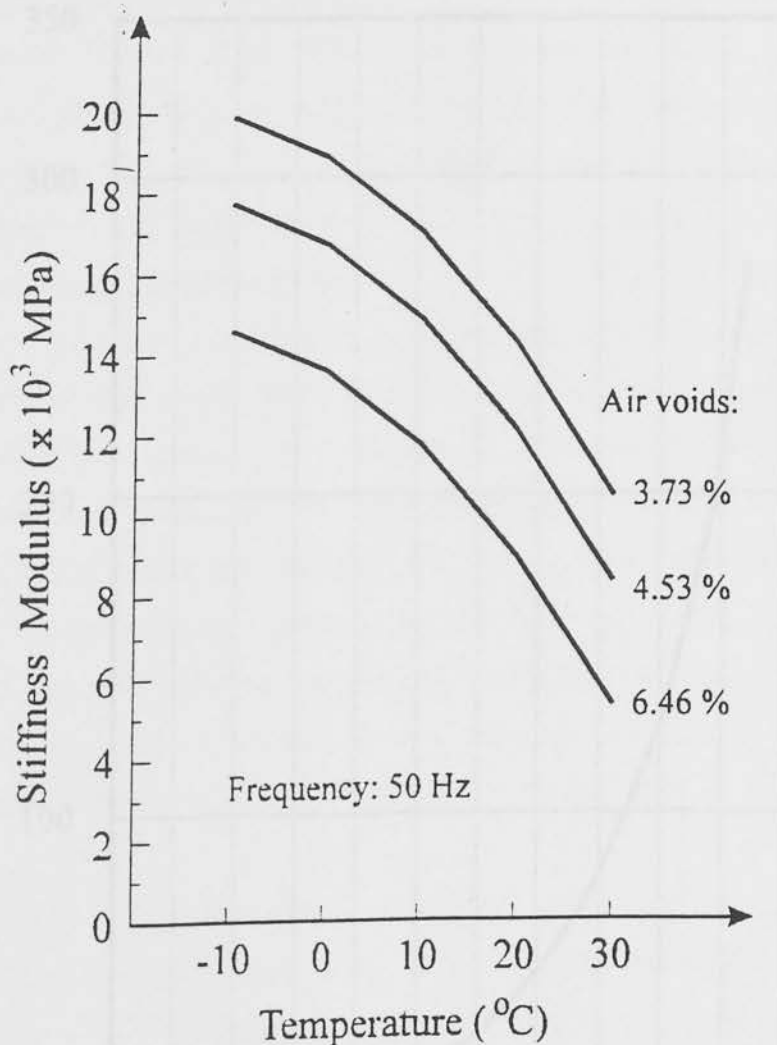
Ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα των μεταβολών του μέτρου δυσκαμψίας του ασφαλτικού σκυροδέματος σε διαφορετικές θερμοκρασίες και συχνότητες φαίνεται στο σχήμα 3.

Ένα συνοπτικό διάγραμμα των μεταβολών του μέτρου δυσκαμψίας του ασφαλτικού σκυροδέματος συναρτήση των κενών και της θερμοκρασίας διατηρώντας τη συχνότητα σταθερή βλέπουμε στο σχήμα 4.

Τα αποτελέσματα συμπληρώνονται στο σχήμα 5. Στο διάγραμμα φαίνεται το μέτρο δυσκαμψίας των ασφαλτικών αδρανών σε σχέση με τη θερμοκρασία.



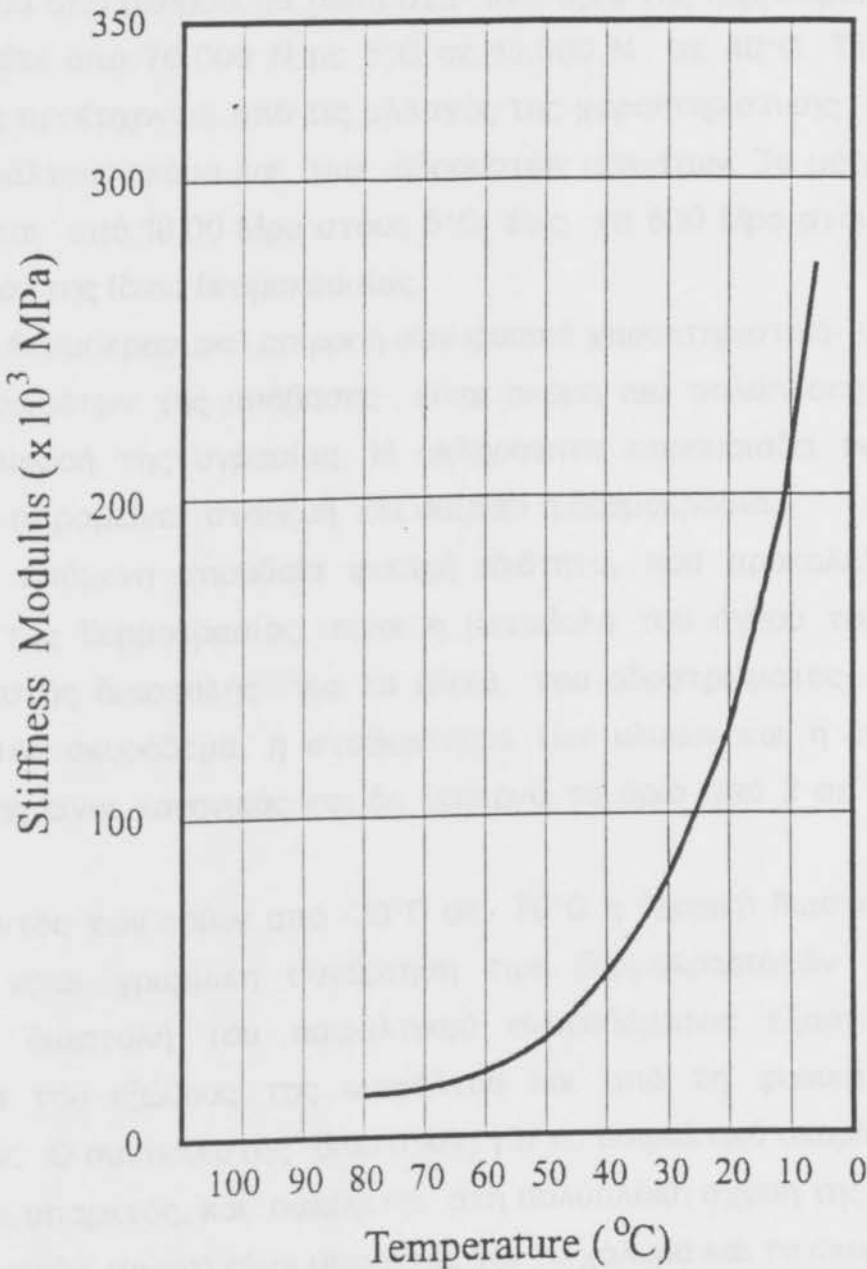
Σχήμα 3: Το μέτρο δυσκαμψίας συναρτήση της θερμοκρασίας σε διαφορετικές συχνότητες



Σχήμα 4: Το μέτρο δυσκαμψίας συναρτήση της θερμοκρασίας και των κενών αέρα.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ ΤΩΝ ΑΣΦΑΛΤΙΚΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ.

Η επίδραση της θερμοκρασίας στα ασφαλτικά οδοστρώματα μπορεί να είναι καθοριστικός παράγοντας για τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς των οδοστρωμάτων. Τα κενά στα οδοστρώματα και οι διάφορες αποσυνθέσεις της ασφάλτου μπορούμε να πούμε ότι είναι αποτέλεσμα της θερμοκρασιακής επιρροής. Η επιρροή της θερμοκρασίας στις μεταβολές του μέτρου δυσκαμψίας για τα ασφαλτομίγματα φαίνεται ξεκάθαρα στις εκτελέσεις των δοκιμών, αφού παρατηρούμε μια διακύμανση του μέτρου δυσκαμψίας από 200 MPa σε 20.000 MPa ανάλογα με τις θερμοκρασιακές μεταβολές.



Σχήμα 5: Το μέτρο δυσκαμψίας των αδρανών σκυροδέματος για διαφορετικές θερμοκρασίες

Οι μετρήσεις που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια των δοκιμών δείχνουν ότι οι θερμοκρασιακές μεταβολές προκαλούν σκλήρυνση των οδοστρωμάτων από σκυρόδεμα όταν αυτές κυμαίνονται από 5°C σε 40°C , επιτρέποντας έτσι μια πτώση, σε σχέση με τη σκληρότητα, της πίεσης και της κάμψης από 1,25 σε 0,80. Από αυτό συνεπάγεται ότι η σκληρότητα του σκυροδέματος μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Είναι δηλαδή αντιστρόφως ανάλογα. Μια παρόμοια αλλά πιο πολύπλοκη περίπτωση είναι οι μεταβολές των οδοστρωμάτων από ασφαλτό. Η σταθερότητα της

ασφάλτου από σκυρόδεμα μέσα στα ίδια όρια της θερμοκρασίας μπορεί να μεταβληθεί από 70.000 N με 5°C σε 13.000 N σε 40°C. Τέτοιες μεγάλες αλλαγές προέρχονται από τις αλλαγές της χαρακτηριστικής ελαστικότητας της ασφάλτου ακόμα και των άθραυστων μιγμάτων. Το μέτρο δυσκαμψίας κυμαίνεται από 18,00 Mpa στους 5°C έως τα 600 Mpa στους 40°C εντός των ορίων της ίδιας θερμοκρασίας.

Η θερμοκρασιακή επιρροή σαν φυσικό χαρακτηριστικό της επιφάνειας των στρωμάτων της υπόβασης είναι ακόμη πιο πολύπλοκη και οφείλεται στην επιρροή της υγρασίας. Η σκληρότητα παρουσιάζει ύφεση όταν η υγρασία παραμείνει σταθερή και αυξηθεί η θερμοκρασία.

Η επόμενη σπουδαία φυσική ιδιότητα, που προκαλείται από την αύξηση της θερμοκρασίας, είναι η μεταβολή του όγκου του μίγματος. Ο συντελεστής διαστολής για τα υλικά του οδοστρώματος, όπως είναι το ασφαλικό σκυρόδεμα, η σταθερότητα των υλικών και η επιφάνεια της υπόβασης είναι κανονικός και δε ξεπερνά τα όρια από 2 σε 8×10^{-6} cm/(cm) (°C).

Εντός των ορίων από -20°C σε 70°C η θερμική διαστολή αυτών των υλικών είναι γραμμική συνάρτηση των θερμοκρασιακών μεταβολών. Η θερμική διαστολή του ασφαλικού σκυροδέματος εξαρτάται από την ιδιότητα του ιξώδους της ασφάλτου και από τη φυσική ιδιότητα των αδρανών. Ο συντελεστής διαστολής για το ασφαλικό σκυρόδεμα πρακτικά δεν είναι υπαρκτός, και οφείλεται στη πολύπλοκη σχέση της ασφάλτου και των αδρανών, παρότι είναι υπαρκτός για το χάλυβα και το σκυρόδεμα.

Έχουν γίνει πάρα πολλές έρευνες πάνω σ' αυτό το θέμα και η θερμική συμπεριφορά των μιγμάτων από ασφαλικό σκυρόδεμα μας δίνει το ερέθισμα για ακόμη περισσότερες, αλλά δεν έχει τεθεί καμμία σοβαρή βάση, διότι είναι απίθανο να λάβουμε στους υπολογισμούς μας όλες τις κατάλληλες παραμέτρους.

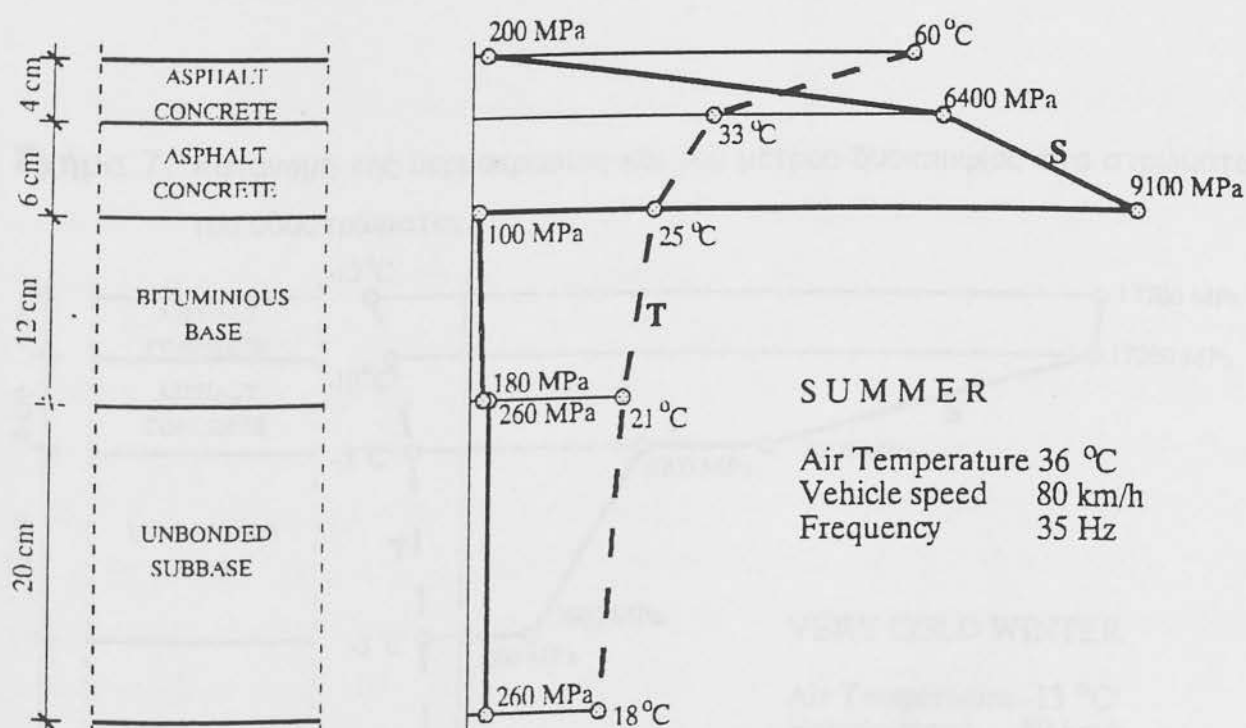
Επειδή η τάση του μέτρου δυσκαμψίας επιρρεάζεται από τη θερμοκρασία, οι πραγματικές θερμοκρασίες που λαμβάνουμε στους υπολογισμούς μας μετριούνται σε διαφορετικά στρώματα, και σε διαφορετικές περιόδους, και ανάλογα των μιγμάτων και της ταχύτητας (συχνότητας) των οχημάτων λαμβάνουμε τις τιμές του μέτρου δυσκαμψίας από το διάγραμμα του σχήματος 4.

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων δείχνει μεγάλες διαφορές στις τιμές του μέτρου δυσκαμψίας των οδοστρωμάτων ασφαλτικού σκυροδέματος και των ασφαλτικών στρωμάτων με επίστρωση από χαλίκια.

Η παρατηρούμενη ασυνέχεια ($\Delta S = 1.200 - 9.000 \text{ Mpa}$) είναι σίγουρα ένας από τους πιο σπουδαίους παράγοντες που προκαλούν ζημιές στα ασφαλτικά οδοστρώματα.

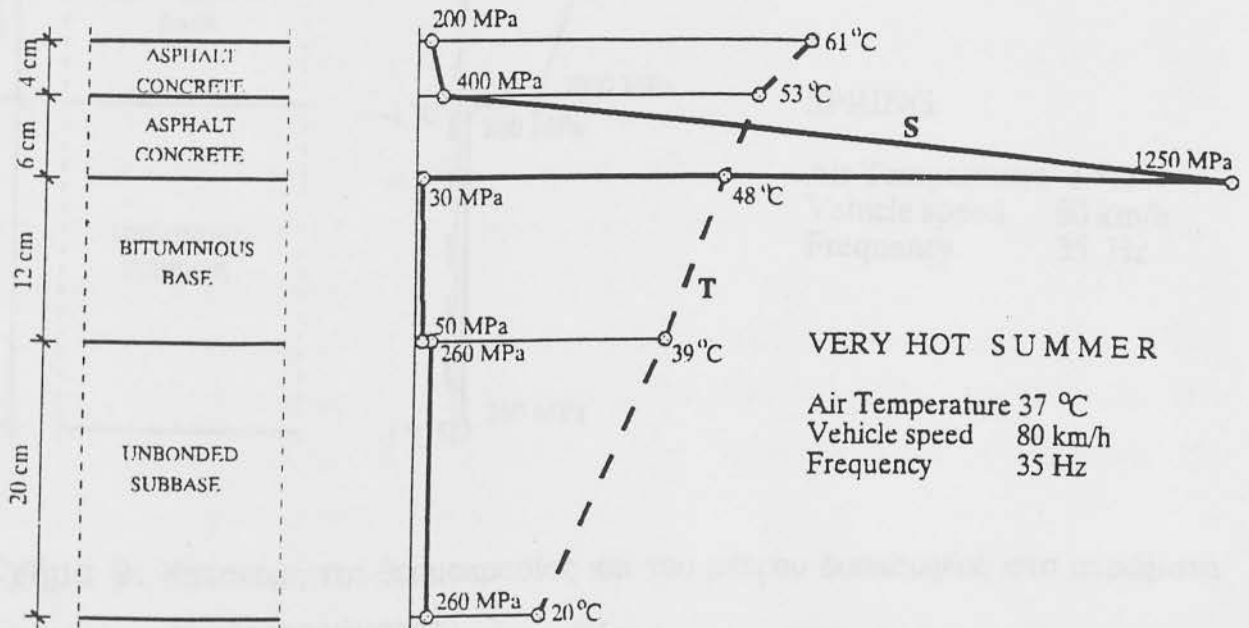
Τα διαγράμματα που βλέπουμε καθιστούν ικανή την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των οδοστρωμάτων στις πιο κρίσιμες φάσεις έτσι ώστε να μπορούμε να καθορίσουμε τον τρόπο διαστασιολόγησης των οδοστρωμάτων.

Εκτός από τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω μας απασχολούν και η διαφορετική συμπεριφορά του μέτρου δυσκαμψίας στα διαγράμματα 7,8,9 και 10 για διαφορετικές περιόδους και συνθήκες. Για παράδειγμα μια ιδιαίτερη περίπτωση και συνεπώς ένα πρόβλημα είναι το φαινόμενο της ακραίας θερμοκρασίας.

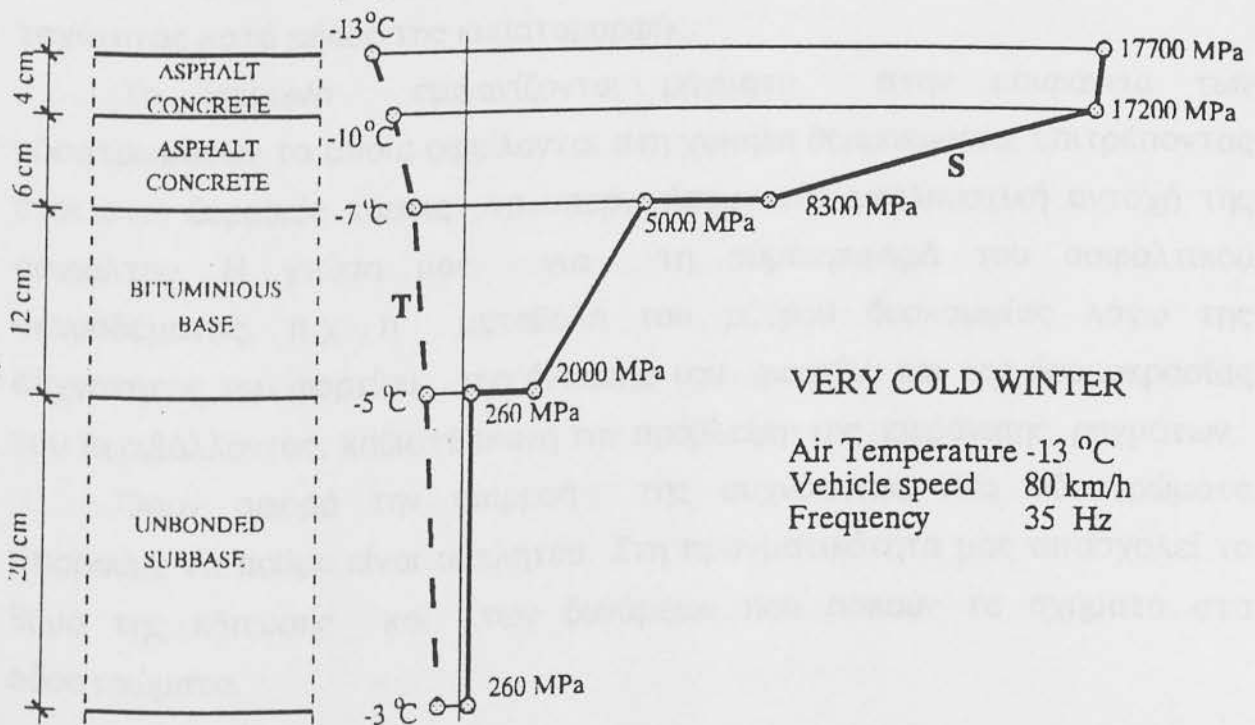


Σχήμα 6: Η θερμοκρασία και το μέτρο δυσκαμψίας όπως κατανέμεται στα στρώματα των οδοστρωμάτων

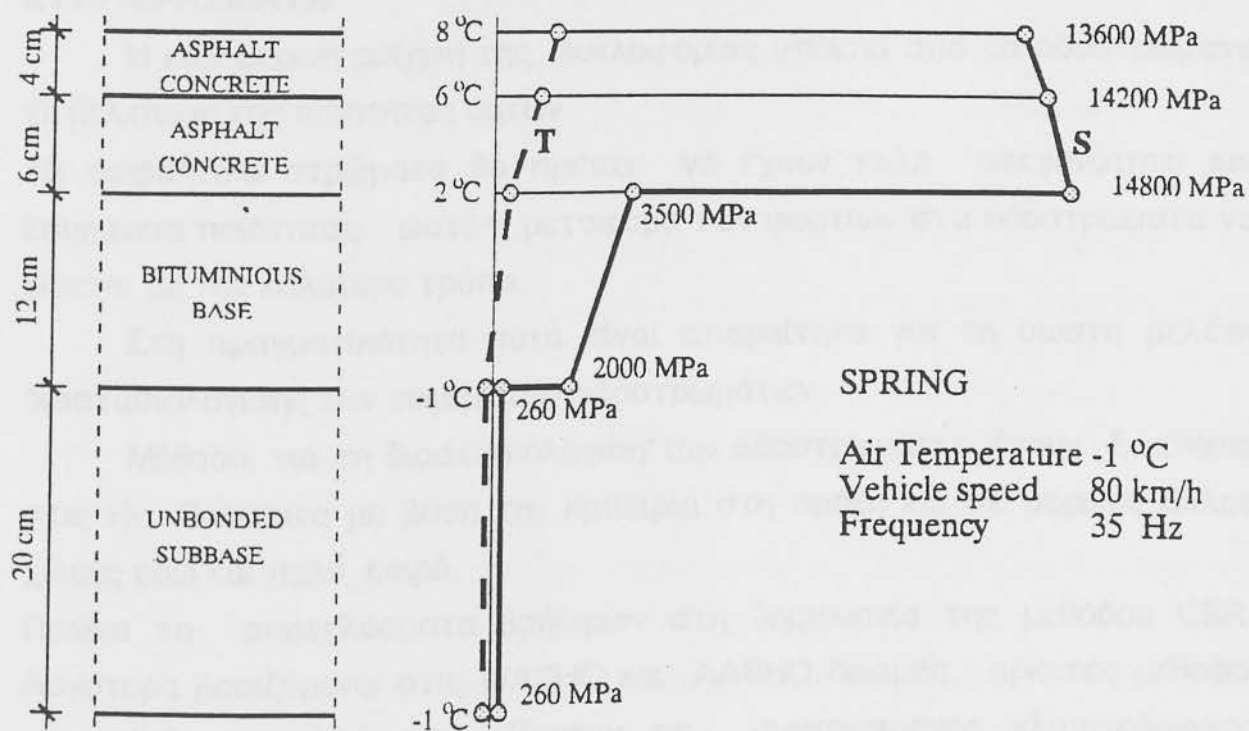
Η «όπλιση» των οδοστρωμάτων πάνω από 50°C και 60°C (30°C περισσότερο από τη μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος) το καλοκαίρι, έχει ως αποτέλεσμα, επειδή το μέτρο δυσκαμψίας είναι τότε πολύ χαμηλό, η



Σχήμα 7: Κατανομή της θερμοκρασίας και του μέτρου δυσκαμψίας στα στρώματα του οδοστρώματος.



Σχήμα 8: Κατανομή της θερμοκρασίας και του μέτρου δυσκαμψίας στα στρώματα του οδοστρώματος



Σχήμα 9: Κατανομή της θερμοκρασίας και του μέτρου δυσκαμψίας στα στρώματα του οδοστρώματος

αντοχή του οδοστρώματος και η αντίστασή του σε παραμόρφωση να μειώνεται. Τα αποτελέσματα αναπαρίστανται με επαναλαμβανόμενα επιμήκη σταθερά τμήματα και σημεία που δείχνουν ξαφνικές μεταβολές της ταχύτητας κατά μήκος της κυματομορφής.

Το χειμώνα εμφανίζονται ρήγματα στην επιφάνεια των οδοστρωμάτων τα οποία οφείλονται στη χαμηλή θερμοκρασία, επιτρέποντας έτσι στις θερμικές τάσεις να υπερνικήσουν την εφελκυστική αντοχή της ασφάλτου. Η γνώση μας για τη συμπεριφορά του ασφαλτικού σκυροδέματος, π.χ. η μεταβολή του μέτρου δυσκαμψίας λόγω της συχνότητας του φορτίου, της έντασης του φορτίου και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, καθιστά ικανή την πρόβλεψη της εμφάνισης ρηγμάτων.

Όσον αφορά την επιρροή της συχνότητας στα οδοστρώματα μπορούμε να πούμε είναι αμελητέα. Στη πραγματικότητα μας απασχολεί το θέμα της κόπωσης και των δυνάμεων που ασκούν τα οχήματα στα οδοστρώματα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η καθημερινή αύξηση της κυκλοφορίας απαιτεί από τα οδοστρώματα τη βελτίωση της ποιότητας αυτών.

Τα ασφαλτικά στρώματα θα πρέπει να έχουν καλή στεγανότητα και επιφάνεια ποιότητας ώστε η μεταφορά των φορτίων στα οδοστρώματα να γίνεται με τον καλύτερο τρόπο.

Στη πραγματικότητα αυτά είναι απαραίτητα για τη σωστή μελέτη διαστασιολόγησης των εύκαμπτων οδοστρωμάτων.

Μέθοδοι για τη διαστασιολόγηση των οδοστρωμάτων έχουν ξεκινήσει στις Ην. Πολιτείες με βάση την εμπειρία στη πράξη και σε μερικές άλλες χώρες εδώ και πολύ καιρό.

Πρώτα τα αποτελέσματα βοήθησαν στη δημιουργία της μεθόδου CBR. Αργότερα βασιζόμενοι στις WASHO και AASHO δοκιμές, αρκετές μέθοδοι αναπτύχθηκαν, αλλά περιορίζονταν σε συγκεκριμένες κλιματολογικές συνθήκες και σε τοπικές κυκλοφορίες.

Η εξαγωγή συμπερασμάτων, από τα αποτελέσματα άλλων τύπων οδοστρωμάτων σε διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες, και σε άλλους τύπους κυκλοφορίας, είναι γενικά ακατόρθωτη.

Συνεπώς είναι απαραίτητο να συλλέξουμε στοιχεία για τοπικές συνθήκες η οποίες παρουσιάζουν κάποια ιδιαιτερότητα.

Τα ακριβά τεστ έχουν γίνει απαραίτητα για μια κατάλληλη θεωρητική βάση και για μια ορθολογιστική μελέτη κάποιας μεθόδου η οποία να μπορεί να προσφέρει με τον οικονομικότερο τρόπο τις πιο αποτελεσματικές λύσεις για τη διαστασιολόγηση των οδοστρωμάτων.

Όπως το ασφαλτικό σκυρόδεμα δεν είναι ούτε ελαστικό ούτε ιξώδες, έτσι και η δυσκαμψία του είναι συνδεδεμένη με τη θερμοκρασία και τη διάρκεια φόρτισης. Υπάρχουν 3 μέθοδοι για την εξέταση των υλικών των οδοστρωμάτων, με έμμεσες και άμεσες μετρήσεις.

Τελικά όμως όλα σχεδόν τα συμπεράσματα και αυτά που ελέχθησαν σ' αυτό το συνέδριο και αυτά που δεν ελέχθησαν είναι βασισμένα σε άμεσες μετρήσεις.

Τα σημαντικότερα συμπεράσματα μετά από δοκιμές που έγιναν σε ασφαλτικούς δοκούς σκυροδέματος είναι τα ακόλουθα:

1. Η θερμοκρασία, η συχνότητα και τα κενά παίζουν σημαντικό ρόλο στο καθορισμό του μέτρου δυσκαμψίας του ασφαλτικού σκυροδέματος.

2. Η θερμοκρασία είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επιρραάζουν το μέτρο δυσκαμψίας (Η θερμοκρασία σε διάστημα από -20°C - 50°C μεταβάλλει το μέτρο δυσκαμψίας από 20.000 Μρα σε 150 Μρα).
3. Η παρεμβολή και η εξαγωγή των συμπερασμάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον αριθμητικό καθορισμό του μέτρου δυσκαμψίας σε σχέση με τη θερμοκρασία.

Εφαρμογές οι οποίες οφείλονται στην απόκτηση ποικίλων αποτελεσμάτων.

- a) Το μέτρο δυσκαμψίας στον υπολογισμό του πρέπει να αντικατασταθεί από το συντελεστή της ελαστικότητας στη περίπτωση μελέτης διαστασιολόγησης των ασφαλικών οδοστρωμάτων και ακόμη θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν σύγχρονες μέθοδοι για την απόκτηση άμεσων αποτελεσμάτων.
- b) Τα ρήγματα στις χαμηλές θερμοκρασίες και η αντίσταση σε κόπωση του ασφαλικού σκυροδέματος εξαρτάται άμεσα από το μέτρο δυσκαμψίας σε όλες τις διαδικασίες υπολογισμού τους αριθμητικά.
- c) Η επιρροή των οχημάτων π.χ. πρέπει οποσδήποτε να σχολιασθούν προβλήματα που παρουσιάζονται απο τους κραδασμούς των οχημάτων στα οδοστρώματα δίνοντας ιδιαίτερη σημασία στους δρόμους βαρείας κυκλοφορίας.
- d) Η επίδραση - επιρροή των μεγάλων κενών στα ασφαλικά στρώματα μπορεί να αναλυθεί σε ικανοποιητικό βαθμό από τα διαγράμματα απο τα οποία μπορούμε να λάβουμε ικανοποιητικές μετρήσεις.

Τα αποτελέσματα που αναφέρθηκαν παραπάνω αντιπροσωπεύουν μόνο ένα κρίκο της αλυσίδας για τον καθορισμό της συμπεριφοράς των ασφαλικών οδοστρωμάτων διότι αυτό δεν είναι ούτε η αρχή ούτε το τέλος της έρευνας σ' αυτόν τον τομέα. Το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι η ανάγκη μιας πολυδιάστατης έρευνας και αυτό οφείλεται στη πολυπλοκότητα αυτού του φαινομένου.

Το δεύτερο πρόβλημα βρίσκεται στην ανάγκη απόκτησης μιας σύνθετης ηλεκτρονικής μηχανής, και η μεγάλη επένδυση σε μια σειρά από μακροχρόνιες έρευνες. Ένα επιπλέον βήμα μπορεί να είναι η σύγκριση των

αποτελεσμάτων που λαμβάνουμε στο εργαστήριο με αυτά που παίρνουμε επί τόπου, η καθορισμός αξιόπιστων αποτελεσμάτων από τις δοκιμές, ο καθορισμός άλλων παραμέτρων που αναφέρονται σε ροή, εκτός από το μέτρο δυσκαμψίας, και τέλος, η αναζήτηση μιας αριθμητικής διαδικασίας για τη λύση της διαστασιολόγησης των εύκαμτων οδοστρωμάτων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αναγκαιότητα αυτή οφείλεται με τις ιδιότητες σκυροδέτων των ασφαλτικών υλικών οι οποίες πρέπει να είναι γνωστές για να διαστασιολογηθεί ένα υδοστρώμα. Αυτές οφείλουν να είναι "βασικές" ή "μεταβασικές" ιδιότητες. Δε γίνεται ανόητο στο θέμα των τεχνολογικών υδοστρώματων των ασφαλτικών υλικών, όπως η επίσταση σε κλίμα.

Το υδροστρώμα είναι πολύτιμο υλικό και ο προσδιορισμός των ιδιοτήτων τους είναι δύσκολο, οφείλουν όμως να είναι γνωστές και οι ιδιότητες υλικών υδροστρώματων. Μια από τις κύριες λειτουργίες αυτής της μελέτης είναι να καθορίσει τις απαιτήσεις για υδροστρώματα.

- * Την προσέγγιση αυτού του θέματος στην Ελλάδα και τις απαιτήσεις
- * Το σκελετό της υδροστρώματων υλικών και την κοινή σχέση στα υλικά
- * Το σχήμα της υδροστρώματων υλικών, την δυνατότητα απορρόφησης του νερού και των υδρατμών
- * Τη διαμόρφωση των υδροστρώματων
- * Το δομικό σκελετό υλικών
- * Τη διαμόρφωση της διαμόρφωσης της υδροστρώματων και την υδροστρώματων υλικών
- * Την όγκο, τον ποσοστό και το μέγεθος των υδροστρώματων υλικών

Επειδή από αυτούς τους παραγόμενες υδροστρώματα, για παράδειγμα, η υδροστρώματων υλικών του υδροστρώματων υλικών στην παρασκευασμένη σε εργαστήριο είναι χαμηλά, τα υδροστρώματων υλικών υδροστρώματων υλικών

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VI

ΟΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΩΝ ΚΑΙ Η ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥΣ

ΚΕ Cooper

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανακοίνωση αυτή ασχολείται με τις ιδιότητες εκείνες των ασφαλικών υλικών οι οποίες πρέπει να είναι γνωστές για να διαστασιοποιηθεί ένα οδόστρωμα. Αυτές συχνά ορίζονται σαν “βασικές” ή “μηχανικές” ιδιότητες. Δε γίνεται αναφορά στο θέμα των τροποποιητικών ασφάλτου και των επιφανειακών χαρακτηριστικών, όπως η αντίσταση σε ολίσθηση.

Τα ασφαλτομίγματα είναι σύνθετα υλικά και ο προσδιορισμός των ιδιοτήτων τους είναι δυσχερής, συχνά αμφισβητούμενη υπόθεση και αποτελεί θέμα πολλών συζητήσεων. Μια από τις κύριες δυσκολίες έγκειται στην ύπαρξη πολυάριθμων μεταβλητών οι οποίες περιλαμβάνουν:

- Την προέλευση, ποιότητα, ευαισθησία στη θερμοκρασία, κλπ. της ασφάλτου
- Τις αναλογίες της ασφάλτου, των αδρανών και των κενών αέρος στο μίγμα
- Το σχήμα, τις επιφανειακές ιδιότητες, την ικανότητα απορρόφησης, την αντοχή κλπ. των αδρανών
- Τη διαβάθμιση των αδρανών
- Το βαθμό συμπίκνωσης
- Τη θερμοκρασία, τη διακύμανση της θερμοκρασίας και την παρουσία νερού
- Τον όγκο, την ταχύτητα και το μέγεθος των φορτίων των τροχών

Μερικοί από αυτούς τους παράγοντες συσχετίζονται, για παράδειγμα, η καταστροφική επίδραση του νερού είναι πιο έντονη όταν η περιεκτικότητα σε συνδετικό είναι χαμηλή, τα αδρανή έχουν μεγάλη ικανότητα

απορρόφησης, η διαβάθμιση είναι ανοικτή ή το μίγμα δεν είναι καλά συμπυκνωμένο.

Μια άλλη δυσκολία είναι η ανάπτυξη δοκιμών για τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων. Αν στη δοκιμή πρόκειται να προσομοιωθούν οι μεταβολές στη φόρτιση και το περιβάλλον που το οδόστρωμα υφίσταται στον κατασκευασμένο δρόμο, τότε απαιτούνται πολύπλοκες τεχνικές και μηχανήματα που τα χειρίζεται καλά εκπαιδευμένο προσωπικό, ενώ η ταχύτητα ελέγχου των δοκιμών είναι χαμηλή. Η ανακοίνωση αυτή σχολιάζει μερικές από τις δοκιμές που χρησιμοποιούνται ευρέως.

ΑΚΑΜΨΙΑ

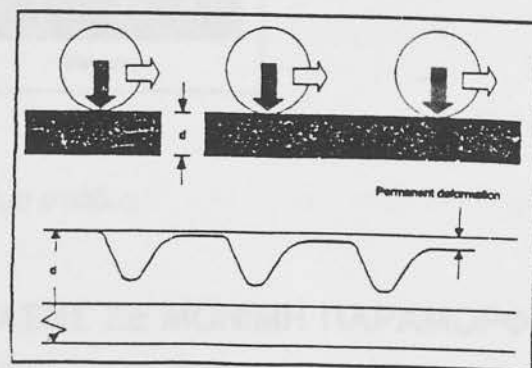
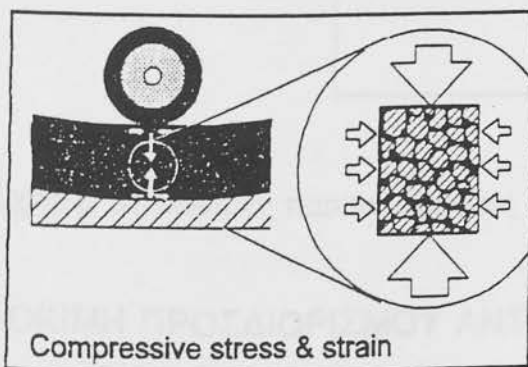
Η ακαμψία η οποία είναι μία από τις πιο σημαντικές ιδιότητες του μίγματος αντικατοπτρίζει την ιδιότητα μεταφοράς των φορτίων της ασφαλτόστρωσης. Αυτό είναι η σχέση μεταξύ τάσης και παραμόρφωσης. Η ακαμψία του ασφαλτικού μίγματος εξαρτάται από την ταχύτητα με την οποία η τάση εφαρμόζεται και την θερμοκρασία του υλικού. Στις υψηλές ταχύτητες και χαμηλές θερμοκρασίες το μίγμα περισσότερο αντιδρά όπως ένα ελαστικό υλικό και το μέτρο ακαμψίας δίδεται με το σύμβολο "Sme". Στις χαμηλές ταχύτητες και υψηλές θερμοκρασίες η αντίδραση του μίγματος γίνεται όπως εκείνη των παχύρευστων υλικών και το σύμβολο που χρησιμοποιείται είναι "Smv".

Θερμοκρασία	Χρόνος φόρτισης	Μέτρο ακαμψίας
Υψηλή	Μεγάλος	Χαμηλό (Smv)
Χαμηλή	Μικρός	Υψηλό (Sme)

ΜΟΝΙΜΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ

Το σχήμα 1 δείχνει, διαγραμματικά την επίδραση των κατακόρυφων θλιπτικών τάσεων πάνω σε ασφαλτικό υλικό κάτω από τη ρόδα. Εκτός από τις άμεσες κατακόρυφες τάσεις θα υπάρχουν ακόμα οριζόντιες τάσεις που μπορούν να μεταβάλλουν από θλίψη στη κορυφή του οριακού στρώματος σε εφελκυσμό στο κάτω μέρος. Το μέγεθος αυτών των τάσεων εξαρτάται από ένα αριθμό παραγόντων ο οποίος περιλαμβάνει την ακαμψία και το λόγο του POISSON. Στο σχέδιο 1 απεικονίζεται ότι το μέγεθος των κατακόρυφων παραμορφώσεων είναι ισχυρά εξαρτόμενο από παράγοντες που έχουν να

κάνουν με τον σκελετό του αδρανές δομή των μορίων, την επιφανειακή σύνθεση της κατασκευής και την πυκνότητα. Το επίπεδο των οριζόντιων τάσεων μπορεί να έχει μια σημαντική επίδραση, ιδιαίτερα στα υλικά όπως οι πόροι του ασφαλτικού οι οποίοι χωρίς την υποστήριξη από το περιβάλλον υλικό μπορεί να παραμορφωθεί απότομα. Αν οι τροχοί κινούνται αργά και η θερμοκρασία είναι σχετικά υψηλή η ακαμψία θα είναι χαμηλή. Για μια σίγουρη τάση επομένως η παραμόρφωση θα είναι υψηλή. Όταν το όχημα έχει περάσει και το φορτίο από τους τροχούς έχει μετατοπιστεί ουσιαστικά, όλες οι κατακόρυφες παραμορφώσεις, θα έχουν εξαληφθεί.

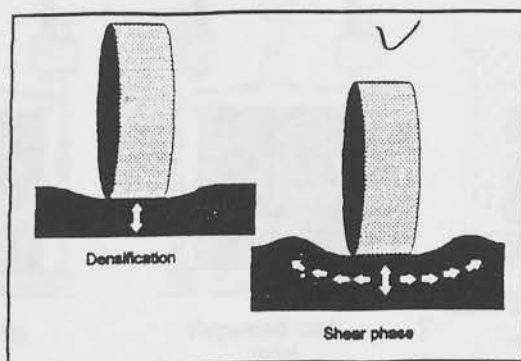


Σχήμα 1: Κατακόρυφες τάσεις κάτω από φορτίο τροχού

Σχήμα 2: Δημιουργία μόνιμης παραμόρφωσης

Ωστόσο μια μικρή μόνιμη παραμόρφωση θα παραμείνει. Με εφαρμογή πρόσθετου φορτίου τροχού η μόνιμη παραμόρφωση θα αυξηθεί και θα εμφανισθεί ένα αυλάκι. Το πάνω μέρος του σχήματος 2 απεικονίζει το ασφαλτικό στρώμα με μια σειρά από φορτία τροχού να περνούν πάνω από ένα σημείο. Το κάτω μέρος του σχήματος απεικονίζει διαγραμματικά την ανακτήσιμη και μόνιμη παραμόρφωση που προκύπτει από κάθε φορτίο τροχού. Έχει λεχθεί ότι η μόνιμη παραμόρφωση θα μπορούσε να συμβεί σε δύο στάδια (φάσεις) όπως απεικονίζει το σχήμα 3. Το πρώτο στάδιο είναι η αύξηση της πυκνότητα (**densification**) το οποίο μπορεί να μελετηθεί ως δευτερευόντος σημασίας στάδιο κατά το οποίο η δομή των αδρανών γίνεται πιο συμπιεσμένη. Το δεύτερο στάδιο ονομάζεται ως " Διατμητική φάση" όπου τα υλικά μετακινούνται με πιο αργούς ρυθμούς εξαιτίας της ανάπτυξης ερείσματος. Κατά πόσο το ένα από αυτά τα στάδια λαμβάνουν χώρα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο του μίγματος. Έχει παρατηρηθεί ότι το με πυκνό ασφαλτικό σκυρόδεμα χρησιμοποιείται σε ζεστά κλίματα που

αρχικά ο σκελετός των αδρανών είναι συμπιεσμένος μέχρι τα κενά του αέρα να είναι ουσιαστικά μηδέν και το συνδετικό υλικό, να καταλαμβάνει όλα τα διαστήματα μεταξύ των μορίων του αδρανούς. Η εσωμοριακή επαφή είναι τότε μειωμένη, η φάση διάτμησης αρχίζει και το υλικό αποτελεσματικά ρέει.



Σχήμα 3: Μόνιμες παραμορφώσεις σε δυο στάδια

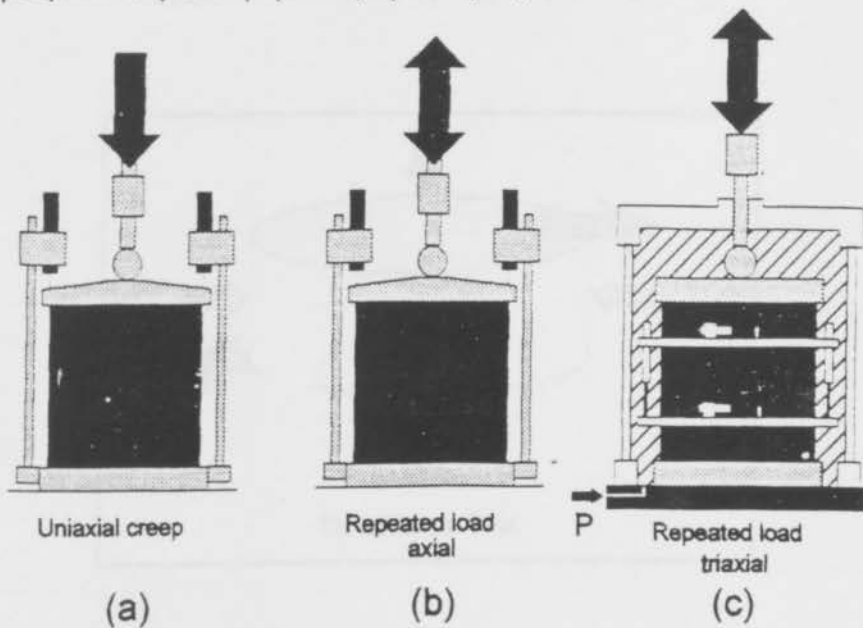
ΔΟΚΙΜΗ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΜΟΝΙΜΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ

Αν και υπάρχουν προβλεπόμενες μέθοδοι για απόδοση σε κόπωση και μέτρου ακαμψίας που χρησιμοποιούν παραμέτρους που βασίζονται στις ιδιότητες του συνδετικού υλικού και στη σύνθεση του μίγματος δεν υπάρχει γενικά αποδεκτή μέθοδος πρόβλεψης της εξελίξεως της μόνιμης παραμόρφωσης σε ασφαλτικά υλικά. Αυτό κυρίως συμβαίνει γιατί η μόνιμη παραμόρφωση είναι εξαρτώμενη από ένα σχετικά μεγάλο αριθμό παραγόντων. Η μόνη ικανοποιητική μέθοδος προσδιορισμού της αντίστασης σε μόνιμη παραμόρφωση είναι με την εκτέλεση εργαστηριακής δοκιμής.

ΜΟΜΟΑΞΟΝΟΚΗ ΚΑΙ ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ

Η μονοαξονική και τριαξονική δοκιμή έχει το πλεονέκτημα ότι μπορούν να πραγματοποιηθούν (εκτελεσθούν) πάνω σε άλλους πυρήνες κομμένους από ασφαλτόστρωση ή από εργαστηριακώς κατασκευασμένες πλάκες τόσο καλά όσο από χυτό δείγμα. Το σχήμα 4α απεικονίζει την δοκιμή του μονοαξονικού ερπυσμού η οποία έχει χρησιμοποιηθεί για πολλά χρόνια και προσδιορίζει την αντίσταση σε μόνιμη παραμόρφωση. Αυτή η απλή δοκιμή έχει να κάνει με την εφαρμογή της στατικής αξονική τάσης στο δείγμα για μια σταθερή χρονική περίοδο όπου η αξονική παραμόρφωση είναι παρακολουθήσιμη. Το σχήμα 4β απεικονίζει την δοκιμή της

επαναλαμβανόμενης αξονικής φόρτισης. Αυτός ο τύπος της δοκιμής καλείται πολλές φορές και ως διατμητικός ερπυσμός.



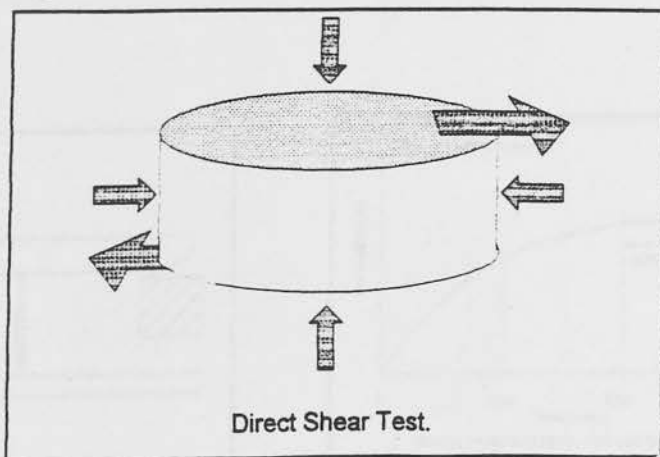
Σχήμα 4: Μονοαξονική και τριαξονική δοκιμή για τον προσδιορισμό της αντίστασης σε μόνιμη παραμόρφωση.

Το θέμα της δοκιμής είναι η επαναλαμβανόμενη στο δείγμα εφαρμογή της αξονικής τάσης και η παρακολούθηση του αποτελέσματος της αξονικής παραμόρφωσης. Η δοκιμή της Ε.Α.Φ. είναι περισσότερο αντιπροσωπευτική σε κυκλοφοριακή φόρτιση και γίνεται προτιμότερη στο Ηνωμένο Βασίλειο. Το σχέδιο προδιαγραφής και για τις δύο δοκιμές μονοαξονικού ερπυσμού Ε.Α.Φ. είναι τώρα διαθέσιμο. Το σχήμα 4γ απεικονίζει την δοκιμή της επαναλαμβανόμενης Αξονικής φόρτισης όπου το τριαξονικό στοιχείο (μόριο) είναι διαμορφωμένο να εφαρμόζει περιορισμένη τάση σε ένα δείγμα ενώ το δείγμα είναι εκτεθειμένο σε επαναλαμβανόμενη εφαρμογή σε αξονική τάση. Για ακριβή αξονική και ακτινική μέτρηση τάσης η παραμόρφωση transucer είναι προσαρμοσμένη στο δακτύλιο, που είναι τοποθετημένο πάνω στο δείγμα. Αυτός ο τύπος της δοκιμής, απαιτεί εξοπλισμό που είναι σχετικά ακριβός και περίπλοκος (σύνθετος) στην τοποθέτηση και χρήση.

ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

Όπως συζητήσαμε παραπάνω η ανάπτυξη της μόνιμης παραμόρφωσης σε ένα ασφαλτικό μίγμα θα εξαρτάται σε συνδυασμό διάτμησης και κανονικών τάσεων. Η διάτμηση σε κανονική αναλογία και οι αποκλίσεις με το πέρασμα των τροχών έχει εφαρμοσθεί στο δείγμα σε εργαστηριακή δοκιμή. Αυτό

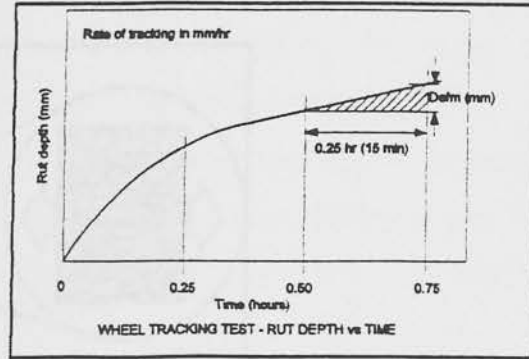
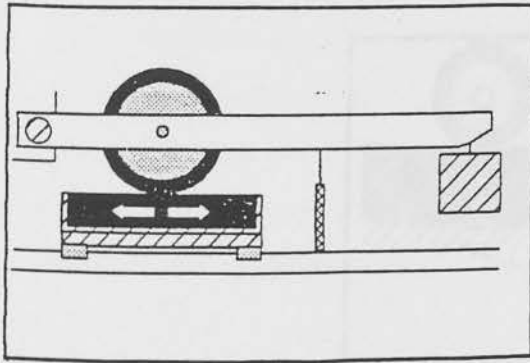
μπορεί να γίνει σε μόριο διάτμησης που αναπτύχθηκε από τον Monismith και την ομάδα του σαν τμήμα του SHRP προγράμματος.



Σχήμα 5: Παραμόρφωση σε διάτμηση

ΔΟΚΙΜΗ ΙΧΝΟΥΣ ΤΡΟΧΟΥ (Wheel tracking tests)

Εξ' αιτίας των δυσκολιών αναπαραγωγής σε καταστάσεις πιέσεων σε στοιχεία δοκιμών όπως έδειξαν οι εικόνες 4 και 5 η δοκιμή **Wheel tracking tests** είναι γενικά αποδεκτή για τον προσδιορισμό της αντίστασης του αυλακιού. Στη Γαλλία η δοκιμή *Wheel tracking* χρησιμοποιείται σε βάση για τον προσδιορισμό του ασφαλτικού μίγματος. Ο εξοπλισμός είναι εξεζητημένος και ακριβός. Μια σχετικά μεγάλη πλάκα ιχνηλαείται με μεγάλου μεγέθους ελαστικό τροχό με πεπιεσμένο αέρα και μια πλατιά γραμμή (ζώνη) του μίγματος μπορεί να ελεγχθεί. Η πλάκα είναι κανονικά κατασκευασμένη στο εργαστήριο και η συσκευή *Wheel tracking* μπορεί να διαμορφωθεί για να εκτελέσει την συμπίεση. Στο Ηνωμένο Βασίλειο η συσκευή *Wheel tracking* είναι σχετικά απλή (σχήμα 6). Η συσκευή έχει σχεδιασθεί για τον προσδιορισμό των επιφανειακών υλικών και το κανονικό μίγμα που ελέγχεται είναι ζεστό (θερμό) κυλινδρούμενο ασφαλτικό στρώμα. Ένα πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι το δείγμα της δοκιμής μπορεί να κοπεί από τον πυρήνα της ασφαλτόστρωσης. Μια εξειδικευμένη δοκιμή έχει δημοσιευτεί στο σχέδιο ανάπτυξης. Η μέθοδος εμπλέκει κινούμενα το δείγμα της δοκιμής πέρα δώθε κάτω από το φορτίο του τροχού με απλή αρμονική κίνηση.



Σχήμα 6: Συσκευή Weel tracking

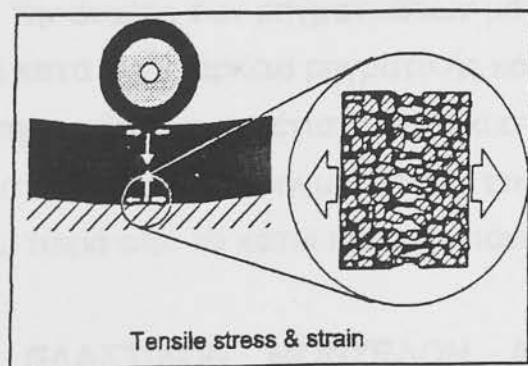
Σχήμα7: Διάγραμμα παραμόρφωσης-χρόνου στη δοκιμή Weel tracking

Η θερμοκρασία της δοκιμής είναι +45°C. Η δοκιμή ολοκληρώνεται όταν θα έχουν περάσει 45 λεπτά ή όταν το κέντρο της παραμόρφωσης ξεπερνά τα 15mm. Η αντίσταση της μόνιμης παραμόρφωσης προσδιορίζεται ως ο ρυθμός (βαθμός-αναλογία) αυλάκωσης που είναι η κλίση της παραμόρφωσης vs χρόνου σε σχέση με το τελευταίο τρίτο της δοκιμής. Αυτό ορίζεται σε χιλιοστά του μέτρου ανά ώρα.

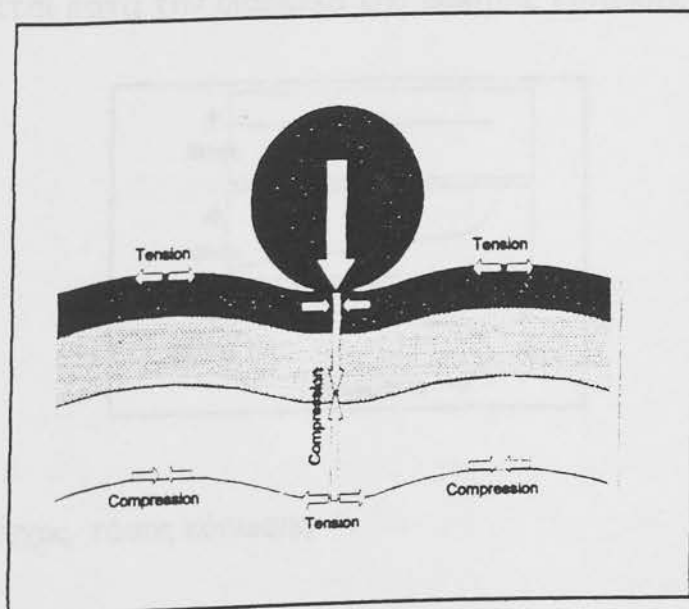
ΚΟΠΩΣΗ

Η κόπωση μπορεί να ορισθεί ως: το φαινόμενο της θραύσης υπό επαναλαμβανόμενη ή κυμαινόμενη τάση έχοντας γενικά μια μέγιστη τιμή μικρότερη από την μέγιστη αντοχή σε εφελκυσμό του υλικού. Το σχήμα 8 είναι μια μεγένθυση της τάσης σε ένα ασφαλτικό στρώμα κάτω από ένα φορτίο τροχού. Η τάση εφελκυσμού στο κάτω μέρος του ασφαλτικού στρώματος θα καταλήξει σε εφελκυστική παραμόρφωση. Η εφελκυστική

τάση κυρίως επενεργεί στην άσφαλτο ενώνοντας τα αδρανή μόρια μεταξύ τους. The stiffer το συνδετικό υλικό και ο μεγαλύτερος συνολικός αριθμός επαφής σημείων (μίγμα υψηλής πυκνότητας-χαμηλής VMA) η υψηλότερη ακαμψία του μίγματος και η χαμηλότερη εφελκυστική παραμόρφωση για



Σχήμα 8: Εφελκυστικές τάσεις κάτω από το φορτίο τροχού



Σχήμα 9: Αντιστροφή τάσεων-παραμορφώσεων

για μια κύρια τάση. Το σχήμα 9 δείχνει τις τάσεις και τις παραμορφώσεις στο πάνω και στο κάτω μέρος ενός ασφαλτικού στρώματος όταν το φορτίο του τροχού περνά. Μπορεί να διαπιστωθεί ότι οι τάσεις ποικίλουν μεταξύ εφελκυσμού και θλίψης. Με συνεχιζόμενη κυκλοφορία συνεχίζεται η

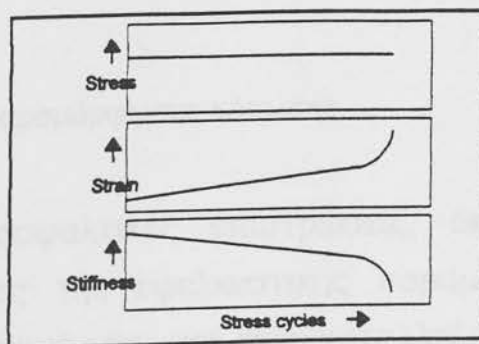
επανάληψη της καταστροφικής εφελκυστικής παραμόρφωσης θα καταλήξει τελικά στην έναρξη των ρωγμών. Με περισσότερη κυκλοφορία η ρωγμή θα αναπαραχθεί (πολλαπλασιασθεί) διαμέσου του στρώματος και η ασφαλόστρωση τελικά θα χαλάσει. Έτσι ο χρόνος κόπωσης μπορεί να διακριθεί σε δύο στάδια, δηλαδή

1. Χρόνος μέχρι την έναρξη των ρηγματώσεων
2. Χρόνος από την έναρξη των ρηγματώσεων μέχρι την ολοκληρωτική καταστροφή κατά την διάρκεια ρηγματικής κόπωσης.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η μέγιστη εφελκυστική τάση θα συμβεί στο κάτω μέρος του στρώματος, οι ρηγματώσεις επεκτείνονται μάλλον από πάνω προς τα κάτω παρά από το κάτω προς το πάνω μέρος του στρώματος.

ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΩΝ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΑΚΑΜΨΙΑΣ (S_{ME}) ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΤΙΣ ΡΩΓΜΕΣ ΚΟΠΩΣΗΣ

Η μέτρηση του S_{me} και της αντίστασης στις ρωγμές κόπωσης έχουν να κάνουν σε αυτό το τμήμα καθώς οι διαμορφώσεις (μορφές) της δοκιμής είναι συχνά το ίδιο και για τις δύο δοκιμές και η μέτρηση του S_{me} συνήθως πραγματοποιείται κατά την διάρκεια της δοκιμής κόπωσης.

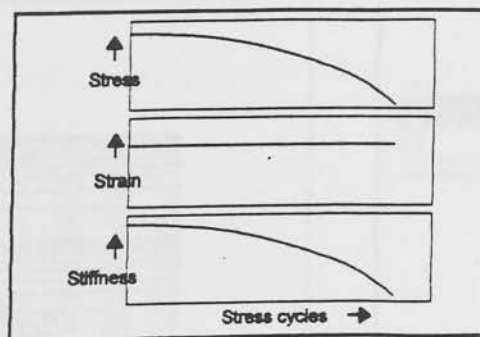


Σχήμα 10: Έλεγχος τάσης κόπωσης

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΣΕΩΣ Ή ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Εάν απαιτείται να υπολογιστεί η αντίσταση κόπωσης ενός υλικού που θα χρησιμοποιηθεί σε βαρείες κατασκευές όπου η υψηλότερη τιμή S_{me} η χαμηλότερη εφελκυστική παραμόρφωση που προκαλεί η κόπωση τότε η δοκιμή ελέγχου τάσης είναι κατάλληλη. Σε αυτό το είδος δοκιμής τα δείγματα υπόκεινται σε επαναλαμβανόμενες εφαρμογές μιας τάσης σταθερού παλμού. Το μέγεθος της τελικής παραμόρφωσης εξαρτάται από

τον συντελεστή ακαμψίας (Sme) του υλικού με αποτέλεσμα οι υψηλές τιμές του Sme γενικώς καταλήγουν στην μεγάλη αντίσταση κατά την έναρξη των ρωγμών κόπωσης. Καθώς η δοκιμή εξελίσσεται η παραμόρφωση αυξάνεται και το Sme ελαττώνεται (σχήμα 10). Με αυτό τον τύπο δοκιμής η πλήρη αστοχία του δείγματος συμβαίνει αμέσως μετά την έναρξη των ρωγμών και η διάρκεια της κόπωσης είναι ο αριθμός των κύκλων τάσης που οδηγούν στην αστοχία.

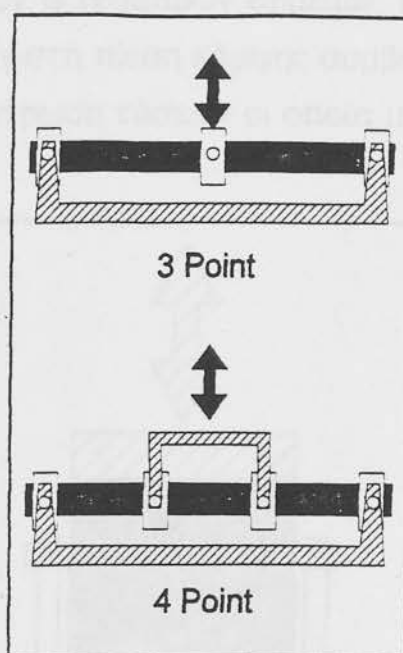
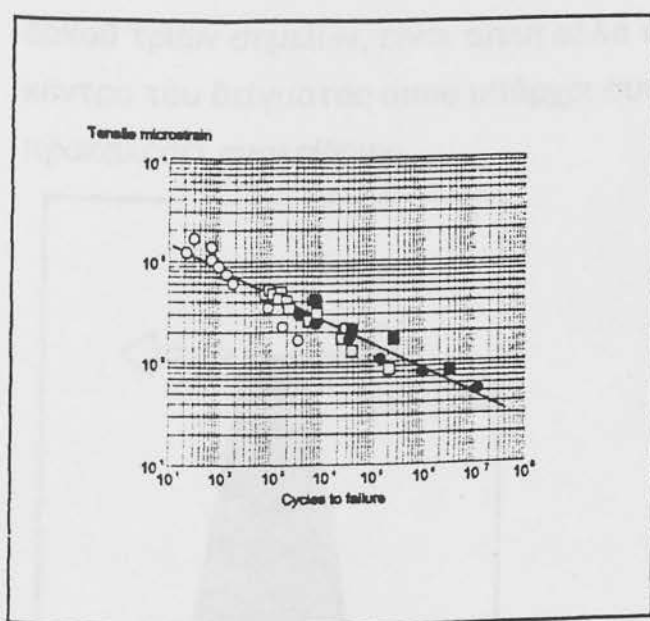


Σχήμα 11: Έλεγχος παραμόρφωσης κόπωσης

Για λεπτές ασφατικές επιστρώσεις, όπου το Sme επηρεάζει ελάχιστα το μέγεθος της εφελκυστικής παραμόρφωσης, η ελεγχόμενη παραμόρφωση στη δοκιμή κόπωσης είναι καταλληλότερη. Σε αυτή την δοκιμή το δείγμα υπόκειται σε επαναλαμβανόμενες εφαρμογές ενός επιλεγμένου επιπέδου παραμόρφωσης. Καθώς η δοκιμή εξελίσσεται, το υλικό (δείγμα) γίνεται πιο ασθενές και το Sme ελαττώνεται. Αυτό σημαίνει ότι η εφαρμοζόμενη τάση απαιτεί να προκληθεί (παραχθεί) η επιλεγμένη παραμόρφωση που ακόμη μειώνεται και γενικότερα δεν θα συμβεί καμία φαινομενική αστοχία ακόμη και όταν οι ρωγμές μπορεί να έχουν αρχίσει. Η αποτυχία του δείγματος λαμβάνεται γενικώς από τον αριθμό των κύκλων να μειωθεί το Sme σε συγκεκριμένο ποσοστό (πχ. 50%) της αξίας του στο ξεκίνημα της δοκιμής.

Ο σκοπός της δοκιμής κόπωσης είναι να αποκτηθεί (ληφθεί) η σχέση μεταξύ της εφελκυστικής παραμόρφωσης και ο αριθμός των κύκλων σε αποτυχία ενός συγκεκριμένου υλικού. Απεικονίζοντας αυτές τις σχέσεις σε γραφική παράσταση με λογαριθμική βάση, όπως φαίνεται στην εικόνα 12, είναι σε γενικές γραμμές ευθύγραμμες και παρέχουν μια αφετερία προσδιορισμού του χρόνου ζωής της δοκιμής κόπωσης για την κατασκευή ασφαλτόστρωσης.

Μετά από πολλές διαμορφώσεις της δοκιμής η ένταση απεδείχθει ότι κινείται μεταξύ εφελκυσμού και θλίψης σε ημιτονοειδή μορφή (καμπύλη).



Σχήμα 12: Τυπική σχέση παραμόρφωσης-διάρκειας κόπωσης

Σχήμα 13: Δοκιμή κάμψης δοκών

Αυτή η ημιτονοειδής καμπύλη είναι κατάλληλη καθώς καθίσταται σχετικά εύκολο να δημιουργηθεί ηλεκτρονικά και αντικατοπτρίζει (αντανακλά) αρκετά κοντά την ποικιλομορφία σε πίεση και παραμόρφωση με την χρονική διάρκεια ενός στοιχείου σε ασφαλτόστρωση καθώς περνά ο τροχός. Προκειμένου να πετύχουμε μια κατάσταση κατά την οποία η ελαστική αντίδραση είναι επικρατέστερη και η ταχύτητα της κυκλοφοριακής φόρτισης είναι ψεύτικη επιλέγεται συνήθως μια συχνότητα φόρτισης μεταξύ 10 έως 50 Hz (κύκλου/δευτερόλεπτο)

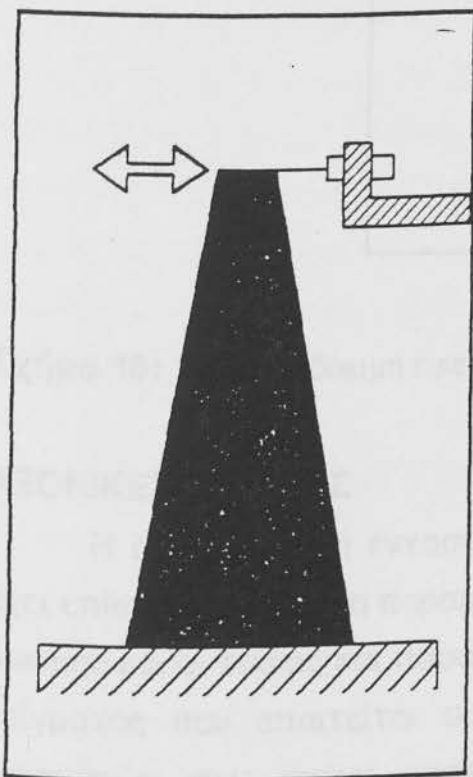
Ο εξοπλισμός που γενικά χρησιμοποιείται είναι είτε υδραυλικός μηχανισμός, μηχανισμός αέρος, ηλεκτρομαγνητικό ή συμβατικό μηχανικό

σύστημα για την εφαρμογή του απαιτούμενου φορτίου. Το πρόβλημα με το συμβατό μηχανικό σύστημα είναι ότι είναι δύσκολο να ελέγχεται κατά την διάρκεια της δοκιμής.

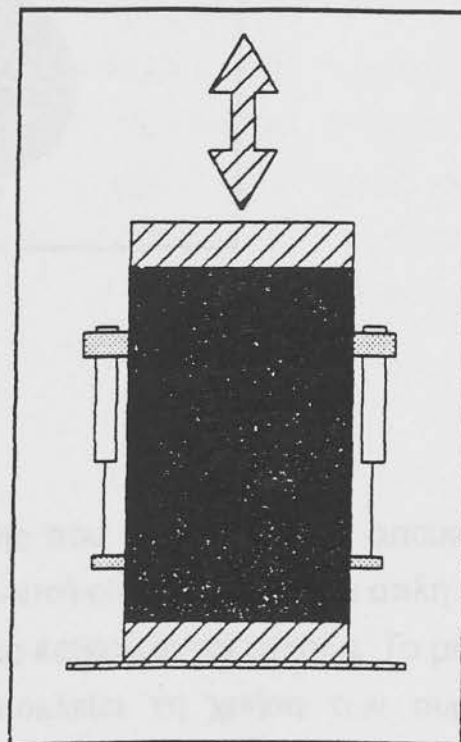
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ ΔΟΚΩΝ

Οι δοκιμές δοκών είναι διαδεδομένες μέθοδοι για την μέτρηση του Sme καθώς θεωρούνται κατάλληλες στο ασφαλτόστρωμα όπου η κατασκευή είναι πραγματικά ένα δείγμα και υπάρχει αντίστροφη τάση ανάμεσα στον εφελκυσμό και στη θλίψη καθώς περνά το φορτίο του τροχού.

Η εικόνα 13 απεικονίζει δοκιμές τριών ή τεσσάρων σημείων. Η δοκιμή δοκού τριών σημείων, είναι απλή αλλά η μέγιστη πίεση κάμψης συμβαίνει στο κέντρο του δείγματος όπου υπάρχει συγκέντρωση τάσεων οι οποία μπορεί να προκαλέσει ανακρίβειες.



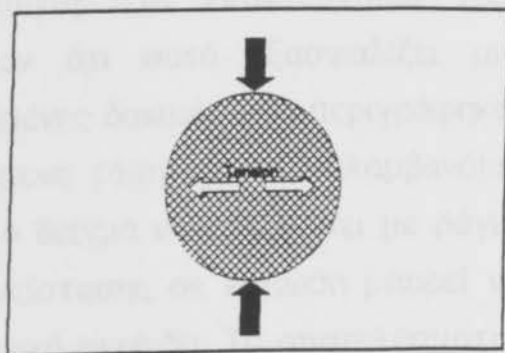
Σχήμα 14: Δοκιμή τραπεζοειδούς προβόλου



Σχήμα 15: Άμεση δοκιμή έντασης-θλίψης

Η δοκιμή των τεσσάρων σημείων παρέχει μια συνεχή τάση κάμψης πάνω από την μέση των τριών τετάρτων του δείγματος αλλά ο εξοπλισμός είναι περισσότερο πολύπλοκος και οι τάσεις συμπύκνωσης θα συνεχίσουν να συμβαίνουν στα σημεία φόρτισης και στήριξης. Τα δείγματα μπορούν να

Η εικόνα 14 δείχνει την δοκιμή τραπεζοειδούς προβόλου κατά την οποία το δείγμα είναι τοποθετημένο ως κάθετος πρόβολος ο οποίος είναι πακτωμένος στη βάση και φορτίζεται οριζοντίως στη κορυφή. Το σχήμα του προβόλου εγγυάται (εξασφαλίζει) ότι η μέγιστη τάση κάμψης λαμβάνει χώρα περίπου στη μέση του ύψους μακριά από τις τάσεις συμπίεσης στη κορυφή και στη βάση. Αυτή η διαμόρφωση χρησιμοποιείται ευρέως στη Γαλλία για την αξιολόγηση των υλικών χρησιμοποιώντας την μέθοδο ελεγχόμενης παραμόρφωσης. Στο πανεπιστήμιο Nottingham η δοκιμή τραπεζοειδούς προβόλου έχει χρησιμοποιηθεί για δοκιμές ελεγχόμενης τάσης. Τα δείγματα εδράζονται κανονικά πάνω στη πλάκα η οποία έχει κατασκευασθεί στο εργαστήριο.



Σχήμα 16: Έμμεση δοκιμή εφελκυσμού

ΑΞΟΝΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ

Η άμεση δοκιμή ένταση-συμπίεσης που φαίνεται στην αποικόνιση 15 έχει επίσης αντίστροφη παραμόρφωση. Αυτή είναι μια σχετικά απλή μέθοδος δοκιμής και οι τάσεις και παραμορφώσεις καθορίζονται εύκολα. Το μήκος του δείγματος που απαιτείται συνήθως αποκλείει τη χρήση των πυρήνων ή πρισμάτων που έχουν κοπεί από την ασφαλτόστρωση και κανονικά χρησιμοποιούνται εργαστηριακώς προπαρασκευασμένα δείγματα.

ΕΜΜΕΣΗ ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ

Η έμμεση δοκιμή έχει χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση των μοντέλων για ένα αριθμό ετών ιδιαίτερα στις Η.Π.Α. όπου η μέθοδος δοκιμής έχει αναφερθεί στο Ετήσιο ASTM Βιβλίο των Προδιαγραφών. Τώρα χρησιμοποιείται ευρέως στην Μ. Βρετανία και έχει αναφερθεί λεπτομερώς στο Προσχέδιο Ανάπτυξης (Draft for Development).

Η αρχή της δοκιμής απεικονίζεται στην εικόνα 16.

Ένας κυλινδρικός πυρήνας ή χυτό δείγμα υπόκειται σε παλλόμενο φορτίο κατά μήκος της οριζόντιας διαμέτρου.

Η δυσκαμψία του μοντέλου είναι μία συνάρτηση του εφαρμοζόμενου φορτίου, οριζόντιας παραμόρφωσης, αναλογία POISSON και πυκνότητας δείγματος. Η δοκιμή έχει το προτέρημα ότι είναι σύντομη και εύκολη να διεξαχθεί με σχετικά φθινό εξοπλισμό. Η δοκιμή Έμμεσης Εφελκυστικής Δυσκαμψίας Μοντέλων (Indirect Tensile Stiffness Modulus I.T.S.M.) είναι μη καταστροφική και τα δείγματα μπορούν ακολούθως να χρησιμοποιηθούν και σε άλλες δοκιμές.

Η Έμμεση Εφελκυστική Δοκιμή Κόπωσης (Indirect Tensile Fatigue Test ITFT) έχει υφισταθεί εκτίμηση στο Πανεπιστήμιο του Nottingham και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι αυτό εξασφαλίζει μια καλή εκλογή στις περισσότερες εξεζητημένες δοκιμές που περιγράφηκαν παραπάνω. Η δοκιμή εκτελείται με ελεγχόμενη τάση και επαναλαμβανόμενο παλλόμενο φορτίο εφαρμόζονται μέχρι το δείγμα να αστοχήσει με ράγισμα. Αναφέρεται ότι ο προσδιορισμός της αντίστασης σε κόπωση μπορεί να πραγματοποιηθεί σε μια σχετικά μικτή χρονική περίοδο. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται καλά με αυτά που λήφθηκαν χρησιμοποιώντας τη δοκιμή του τραπεζοειδούς προβόλου.

ΑΛΛΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΜΙΓΜΑΤΩΝ

Άλλες ιδιότητες που έχουν επίδραση στην απόδοση των ασφαλικών μιγμάτων είναι η αυθεντικότητα και η εργασιμότητα. Σε ορισμένες χώρες αυτά τα χαρακτηριστικά θεωρούνται σημαντικά αλλά σχετικά λίγη δουλειά πραγματοποιήθηκε στη Μ. Βρετανία.

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

Μέσα στο πλαίσιο των ασφαλικών μιγμάτων, ανθεκτικότητα γενικά σημαίνει αντίσταση στις περιβαλλοντικές επιρροές όπως το νερό το οποίο μπορεί να προκαλέσει αδυναμία του δεσμού ασφάλτου-αδρανών και την σκλήρυνση και την ευθραστότητα της ασφάλτου με τον καιρό. Παρότι υπάρχουν πολλοί παράγοντες που μπορούν να έχουν επίδραση στην ανθεκτικότητα όπως οι τύποι των αδρανών και της ασφάλτου είναι γενικώς

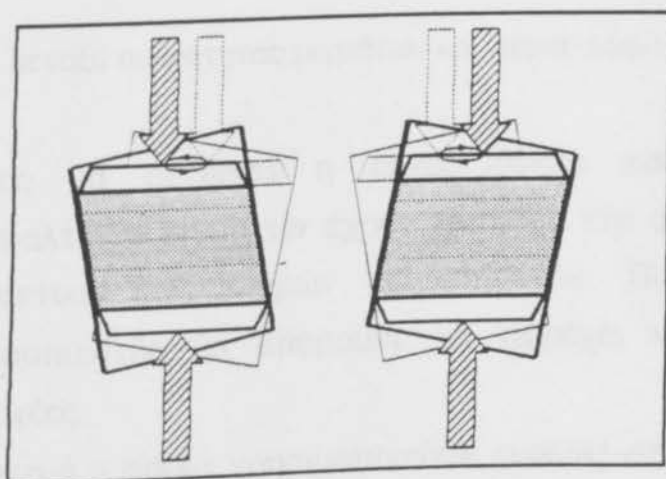
αποδεκτό ότι τα μίγματα με υψηλό περιεχόμενο κενών και χαμηλού περιεχομένου σε συνδετικό υλικό είναι λιγότερο ανθεκτικά.

Ο προσδιορισμός της ανθεκτικότητας συχνά εμπλέκει τις δοκιμές "πριν και μετά" όπου το υλικό υπόκειται σε ξήρανση το οποίο είναι σχεδιασμένο να επιταχύνει τις αλλαγές σε θεμελιώδης ιδιότητες οφειλόμενες στις επιδράσεις του νερού, στις ακρότατες θερμοκρασίες και στην οξειδωση. Αυτές οι δοκιμές περιλαμβάνουν δοκιμές θλίψης μέχρι την καταστροφή όπως η δοκιμή Marshall και τη μη καταστροφική δοκιμή του Έμμεσου Εφελκυστικού Μοντέλου Δυσκαμψίας (ITSM). Η δοκιμή ITSM είναι ιδανική καθώς είναι μη καταστροφική και επίσης παρέχουν ένα μέτρο της θεμελιώδους ιδιότητας.

Το αποτέλεσμα της ασφαλτικής σκλήρυνσης μπορεί να αξιολογηθεί με παρόμοιο τρόπο. Σε αυτή την περίπτωση η ξήρανση μπορεί να εμπλέκει την συγκράτηση του χαλαρού μίγματος ή του συμπαγούς δείγματος σε αυξανόμενη θερμοκρασία για χρονική περίοδο τόση ώστε να αξιολογηθεί η διαδικασία σκλήρυνσης.

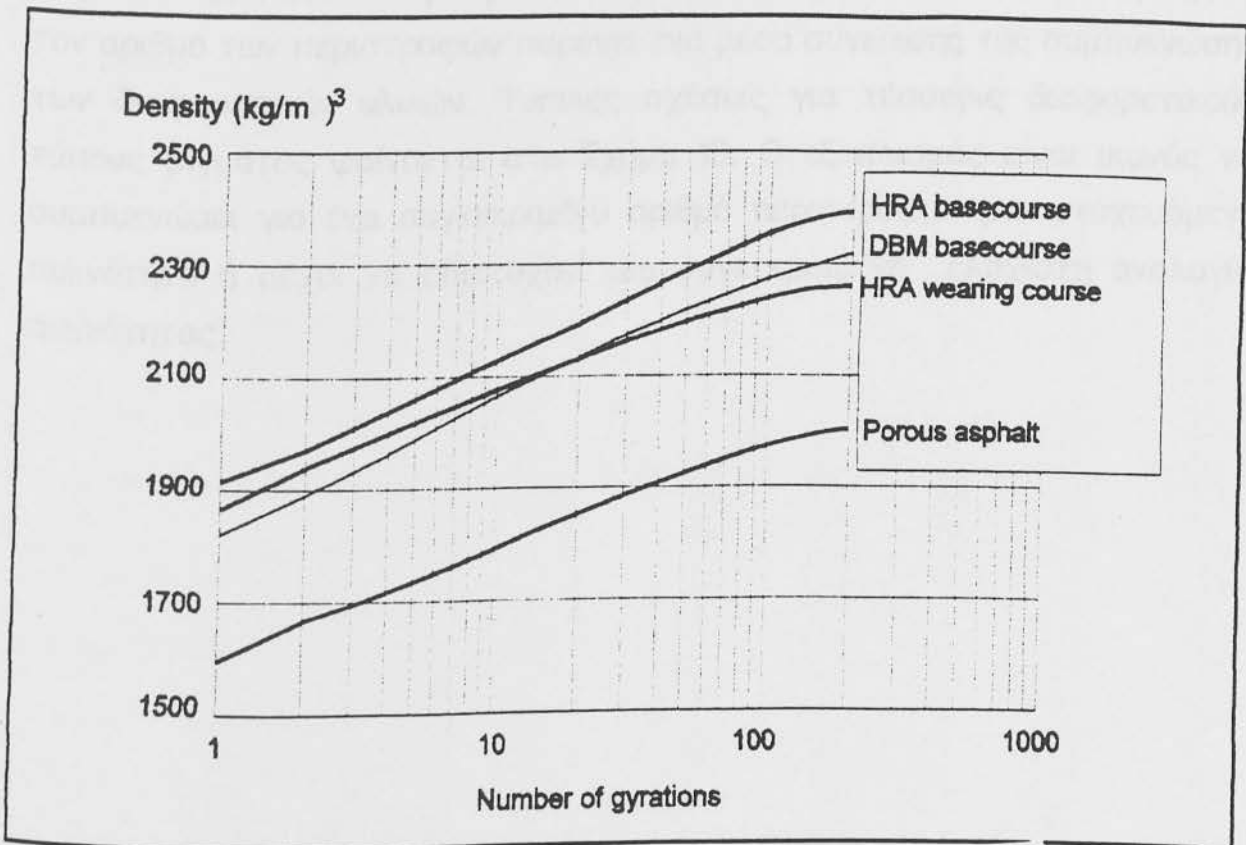
ΕΡΓΑΣΙΜΟ (WORKABILITY)

Ο όρος "εργάσιμο" σχετίζεται με τον αριθμό (την ποσότητα) των προσπαθειών που απαιτούνται για την ανάμιξη, επίστρωση και συμπύκνωση, έτσι ώστε ένα ασφαλτικό μίγμα να παρέχει πυκνότητα μη διαχωριζόμενου μίγματος. Μέσα στο γενικό πλαίσιο των κύριων ιδιοτήτων το επίπεδο της συμπύκνωσης είναι πολύ σημαντικό και γι αυτό ο όρος "συμπτιξημότητα" είναι πιο κατάλληλος.



Σχήμα 17: Περιστροφική συμπίεση

Μείγματα τα οποία είναι δύσκολο να γίνουν συμπαγή μπορεί να έχουν καλύτερη αντίσταση σε μόνιμη παραμόρφωση (Υψηλό S_{mv}) καθώς ο ίδιος μηχανισμός ο οποίος αντιστέκεται στα αποτελέσματα του οδοστρωτήρα θα αντισταθεί ακολούθως στην επίδραση της κυκλοφορίας. Μείγματα όπως η κυλινδρούμενη άσφαλτος τα οποία είναι πιο επιρρεπή στη μόνιμη παραμόρφωση. Αντίστροφα υλικά τα οποία γίνονται συμπαγή με σχετικά χαμηλή περιεκτικότητα κενών και χαμηλό VMA θα έχουν γενικά αντίσταση σε ρωγμές κόπωσης και υψηλότερο S_{me} .



Σχήμα 18: Σχέση μεταξύ πυκνότητας μιγμάτων και περιστροφών.

Προσπάθειες να μετρηθεί η εργασιμότητα και η δυνατότητα συμπύκνωσης ασφαλτικών μιγμάτων έχουν εμπλέξει την ανάπτυξη έξυπνων και σχετικά πρακτικών εξοπλισμών και τεχνικών. Παρ' όλα αυτά ο περιστροφικός συμπίεστής θα μπορούσε να παρέχει κάποιες ιδιαίτερα χρήσιμες πληροφορίες.

Αυτή η συσκευή η οποία χρησιμοποιείται ευρέως στις Η.Π.Α. και στη Γαλλία, εφαρμόζει μια στατική αξονική τάση σε ένα δείγμα καυτού μίγματος εντός μιας κυλινδρικής μήτρας. Η μήτρα υπόκειται σε περιστροφική κίνηση η

οποία παράγει οριζόντιες διατμητικές τάσεις στο υλικό (Σχήμα 17). Αυτό σκοπεύει να προσεγγίσει την επιρροή του οδοστρωτήρα στην πράξη. Είναι γενικά αποδεκτό ότι η περιστροφική συμπύκνωση παράγει δείγματα των υλικών των αυτοκινητοδρόμων τα οποία είναι περισσότερο αντιπροσωπευτικά άλλων εργαστηριακών μεθόδων συμπύκνωσης.

Ο περιστροφικός συμπυκνωτής (GYROCOMP: gyratory compactor) που αναπτύχθηκε κατά την διάρκεια του σχεδίου Link-Bitutest στο Nottingham είναι ικανός να καταγράφει την αλλαγή στη πυκνότητα του υλικού κατά την διάρκεια της διαδικασίας συμπύκνωσης. Η σχέση μεταξύ της πυκνότητας και τον αριθμό των περιστροφών παρέχει ένα μέσο σύγκρισης της συμπύκνωσης των διαφορετικών υλικών. Τυπικές σχέσεις για τέσσερις διαφορετικούς τύπους μίγματος φαίνονται στο Σχήμα 18. Ο εξοπλισμός είναι ικανός να συμπυκνώσει για ένα συγκεκριμένο αριθμό περιστροφών μια στοχευόμενη πυκνότητα ή μέχρι να επιτευχθεί μια συγκεκριμένη ελάχιστη αναλογία πυκνότητας.



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. – ΓΕΝ. ΓΡΑΜ. ΔΗΜ. ΕΡΓΩΝ
Δ/ΝΣΗ

ΔΕΛΤΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ MARSHALL

1. Αποστολέας
2. Ανάδοχος
3. Έργο
4. Τμήμα
5. Θέση δειγματοληψίας
6. Ημερομηνία δειγματοληψίας
7. Π.Τ.Π. που ισχύει Τύπος Στρώση

Στοιχεία από δοκιμές	Αποτελέσματα					
	No 1	No 2	No 3	No 4	No 5	No 6
Βάρος δοκιμίου σε g						
Ύψος δοκιμίου σε cm						
Ένδειξη συσκευής MARSHALL						
Συντελεστής διορθ. ένδειξης MARSHALL						
Διορθωμένη ένδειξη MARSHALL						
Ευστάθεια σε Lbs ή N (Νιούτον)						
Υποχώρηση δοκιμίου σε 0.01"	*	*	*	*	*	*
Όγκος δοκιμίου σε cm ³						
Φ.Ε. Βάρος δοκιμίου σε kg/m ³						
Άσφαλτος στο ασφαλτόμιγμα. %						
Βάρος ασφάλτου σε kg/m ³ ασφαλτομίγματος						
Βάρος αδρανών/m ³ ασφαλτομίγματος συμπίεσμένου						
Όγκος συμπίεσμένων αδρανών/m ³ ασφαλτομίγματος						
Συνολικός όγκος ασφάλτου, αδρανών/ m ³ συμπίεσμένου ασφαλτομίγματος						
Κενά συμπίεσμένου ασφαλτομίγμ. %						
Κενά συμπίεσμένων αδρανών %						
Κενά συμπίεσμένων αδρανών, που γεμίσθηκαν με άσφαλτο. %						
Θερμοκρασία διαστρώσεως						
Ειδικό βάρος αδρανών						

ΔΕΛΤΙΟΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ MARSHALL

1. Άκροστολεύς
2. Αναδοχος
3. Έργον
4. Τμήμα
5. Θέσις δειγματοληψίας
6. Ήμερομηνία δειγματοληψίας
7. Ίσχύουσα Π. Τ. Π. Δ 265 Τύπος A Έτρώσις ΚΥΚΛΟΔΡΟΜΙΑΣ

Στοιχεία εκ δοκιμών		Αποτελέσματα					
		No 1	No 2	No 3	No 4	No 5	No 6
A	Βύρος δοκιμίου εις gr.	1240,0	A=	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΖΕΤΑΙ ΔΙΑ ΖΥΓΙΣΕΩΣ			
B	Ύψος δοκιμίου εις cm.	6,40	B=	ΛΑΜΒΑΝΕΤΑΙ ΟΣ Ο ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ 4 ΑΝΤΙΣΤΑΣΤΡΩΜΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ			
Γ	Ένδειξις MARSHAL	238	Γ=	ΜΑΝΑΓΙΡΙΣΚΕΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΡΑΥΣΙΑ ΔΙΑ ΤΗΝ ΔΥΣΚΕΤΗΝ MARSHALL			
Δ	Συντελεστής διορθ. ένδειξως MARSHAL	0,987	Δ=	ΛΑΜΒΑΝΕΤΑΙ ΕΚ ΠΙΝΑΚΟΥ			
E	Διορθωμένη ένδειξις MARSHAL	235	E=	ΓΧΔ			
Z	Ευστάθεια εις LBS	2350	Z=	ΛΑΜΒΑΝΕΤΑΙ ΕΚ ΠΙΝΑΚΟΥ (ΝΟΜΟΓΡΑΦΗΜΑ) ΒΡΕΤΤΙ ΤΟΥ Ε			
		26 | 27 14 | 15		ΜΕΤΡΗΣΕΩΣ ΚΑΙ ΕΣΤΙΝ ΤΗΝ ΕΡΑΥΣΙΑ ΤΗΝ ΔΟΚΙΜΙΟΥ			
H	Ύποχώρησις δοκιμίου εις 0,01"	0,12	H=	ΛΑΜΒΑΝΕΤΑΙ ΟΣ Ο ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΤΩΝ ΔΕ ΑΝΤΙΣΤΡΩΜΩΝ (ΣΙΧΝΕ ΒΙΝΑΙ ΤΟ ΕΡΑΥΣΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ MARSHALL)			
Θ	Όγκος δοκιμίου εις cm ³	518,4	Θ=	BX81			
K	Φ.Ε. Βύρος δοκιμίου εις Kg/m ³	2392,0	K=	$\frac{A}{B} \times 1000$			
Λ	Άσφαλτος % άσφαλτομίγματος	5,0476	Λ=	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΖΕΤΑΙ ΚΑΤΟΧΗΝ ΕΙΣΥΛΛΕΓΕΤΟΙ ΤΟΥ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΟΣ			
M	Βύρος άσφάλτου εις Kg/m ³ άσφαλτομίγματος	113,9	M=	$\frac{K \times \lambda}{100}$			
N	Βύρος άδρανών /m ³ άσφαλτομίγματος συμπερισμένου	2279,1	N=	K-M			
E	Όγκος συμπερισμένων άδρανών /m ³ άσφαλτομίγματος	0,8469	E=	ΕΙΣ ΒΑΡΟΥΣ ΑΔΡΑΝΩΝ			
Π	Συνολικός όγκος άσφάλτου άδρανών m ³ συμπερισμένου άσφαλτομίγματος	0,9608	Π=	$\frac{E + N}{1000}$			
P	Κενά συμπερισμένου άσφαλτομίγμ. %	3,92	P=	$(10000 - \Pi) \times 100$			
Σ	Κενά συμπερισμένων άδρανών %	15,31	Σ=	$(10000 - E) \times 100$			
T	Κενά συμπερισμένων άδρανών πληρωθέντων υπ' άσφάλτου %	74,4	T=	$\frac{\Sigma - P}{\Sigma} \times 100$ ή $\frac{E \times 10}{\Sigma}$			
Υ	Θερμοκρασία ουστροφωσής; BIE °C		Υ=	ΜΕΤΡΑΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΣΤΡΑΒΙΣ			
Ω	Ειδ.κόν βύρος άδρανών ΕΙΣ GR/G ³	2,69	Ω=	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΖΕΤΑΙ ΔΙΑ ΠΑΡΕΤΗΝ			

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΙΣ: 1.0000= ΜΟΝΗ ΟΓΚΟΥ ΝΤΟΙ ΕΝΟΣ Μ³

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

Υ.Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε. - ΓΕΝ. ΓΡΑΜ. ΔΗΜ. ΕΡΓΩΝ
Δ/ΝΣΗ Δ.14 ΤΜΗΜΑ Β

ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΕΩΣ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΟΣ

ΑΠΟΣΤΟΛΕΑΣ ΑΠΟ ΛΑΤΟΜΕΙΟ ΜΗ ΚΑΤΑΝΟΜΑΖΟΜΕΝΟ

ΑΝΑΔΟΧΟΣ

ΕΡΓΟ

ΤΜΗΜΑ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Προέλευση αδρανών υλικών ΔΕΝ ΑΝΑΦΕΡΕΤΑΙ - ΠΡΟΜΕΥΣΗ.
(ΣΥΝΤΑΞΗ ΠΕΤΡΕΜΑΤΟΣ = ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ)
Κατηγορία ασφαλτομίγματος ΠΤΠ 265 ΤΥΠΟΣ Α ΣΤΡΩΣΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Αναλογία υλικού ασφ. αδρανών υλικών

1- ΧΑΛΙΚΙ = 25% κατά βάρος
2- ΨΗΦΙΔΑ = 15%
3- ΑΜΜΟΣ = 60%

ΚΟΣΚΙΝΑ	ΧΑΛΙΚΙ 25%	ΨΗΦΙΔΑ 15%	ΑΜΜΟΣ 60%	ΠΟΣΟΣΤΑ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΑ %	ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΑ ΜΕΙΩΝ ΦΙΛΤΡ	ΠΟΣΟΣΤΑ ΣΤΕΡΑΙΟΥΜ %	ΒΑΡΗ ΚΑΤΑ ΚΟΣΚΙΝΟ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΔΟΚΙΜΙΟ Marshall	ΒΑΡΗ ΚΑΤΑ ΚΟΣΚΙΝΟ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΔΟΚΙΜΙΟ ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ
							19000	18000
1"	+ 25x100 100	+ 15x100 100	+ 60x100 100	100	-			
3/4"	+ 25x84 100	+ 15x100 100	+ 60x100 100	96.0	4.0		48.0	42.0
3/8"	+ 25x8 100	+ 15x94 100	+ 60x100 100	78.6	17.4		808.8	313.2
N:4	+ 25x2 100	+ 15x23 100	+ 60x95 100	61.0	17.6		211.2	316.8
N:8	+ 25x1 100	+ 15x10 100	+ 60x81 100	50.4	-	-	66.0	99.0
N:10	+ 0	+ 15x4 100	+ 60x74 100	45.0	16.0		192.0	288.0
N:40	+ 0	+ 15x1 100	+ 60x32 100	19.4	25.6		307.2	460.8
N:80	+ 0	+ 0	+ 60x18 100	10.8	8.6		103.2	154.8
N:200	+ 0	+ 0	+ 60x12 100	4.2	3.6		43.2	64.8
ΦΙΛΤΡ				0	7.2		86.4	129.6

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΑ MARSHALL

1.- Βέλτιστο ποσοστό ασφάλτου επί των αδρανών κατά βάρος	= 5.5
2.- Ευστάθεια σε lb	= 3250
3.- Υποχώρηση δοκιμίου ασφαλτομίγματος %	= 0.12"
4.- Κενά συμπεπιεσμένου ασφαλτομίγματος %	= 3.9
5.- Κενά συμπεπιεσμένων αδρανών %	= 16.3
6.- Φαιν. Ειδ. βάρος δοκιμίου σε Kg/m ³	= 2383

ΔΟΚΙΜΗ ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ - ΘΛΙΨΩΣ

Λόγος αντοχών = $\frac{\text{αντοχή υγρών δοκιμίων}}{\text{αντοχή ξηρών δοκιμίων}} = \frac{2750}{3430} = 0.80$

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- 1.-
- 2.- ΕΙΔ ΒΑΡΟΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΑΔΡΑΝΕΣ = 2.70
- 3.-

ΑΘΗΝΑ
Ο Εκπαιδευτής Συμμετέχων 198...
ΔΗΜ. ΓΙΑΛΙΤΣ

ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΔΗΜ. ΕΡΓΩΝ
Δ/ΝΣΗ 14 ΤΜΗΜΑ Β

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

ΔΕΝ ΑΝΗΦΕΡΕΤΑΙ (ΕΚΠΑΙΔΕΥΓΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ)

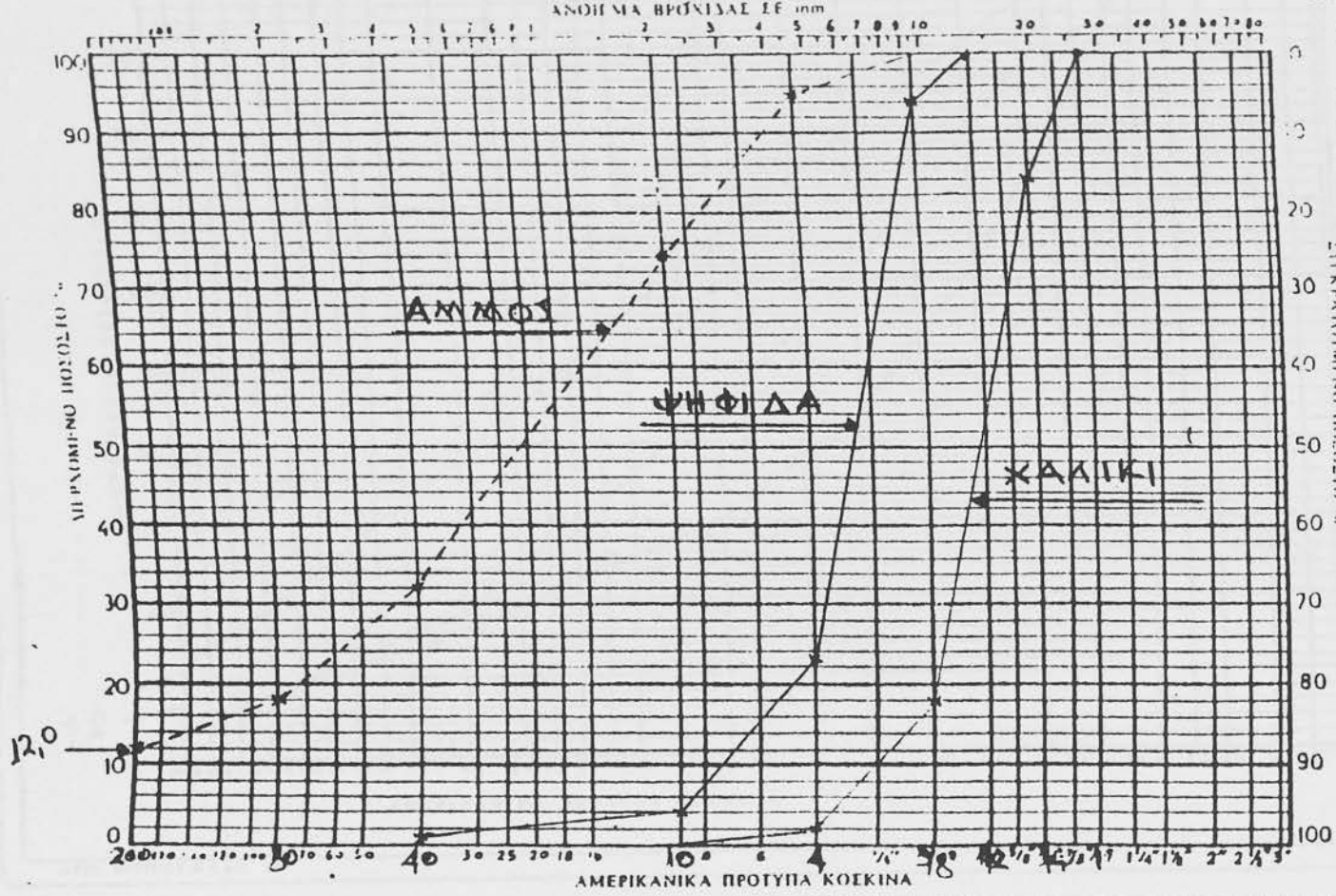
ΕΡΓΟ
ΘΕΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ
ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΥΣΗ ΥΛΙΚΟΥ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ/ΗΜΕΡΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

ΤΡΙΑ ΑΔΡΑΝΗ ΥΔΙΚΑ

ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ Π.Τ.Π.:
265/4' ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΔΡΑΝΩΝ
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- 1.- ΣΕΦΑ ΚΑΤΑ LOS ANGELES
28% Β' ΔΙΣΤΑΘΜΙΣΤΗ
- 2.- ΕΙΣΤΡΑ ΒΑΡΗ ΣΕ ΟΡ.
α. ΧΩΝΟΡΟΚΕΚΟΥ 2,698
β. ΔΕΠΙΟΡΟΚΕΚΟΥ 2,702
- 3.- ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΣΥΜΜ.
SE = 76%



ΑΘΗΝΑ
Ο ΕΚΤΕΛΕΣΙΑΣ
ΤΗ ΔΟΚΙΜΗ
ΔΗΜ. ΓΙΑΛΙΤΣΑΚΙ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΕΩΣ

2

ΕΡΓΟΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

ΘΕΣΙΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΕΛΕΥΣΙΣ ΥΛΙΚΟΥ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ/ΗΜΕΡΟΜ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ Π.Τ.Π.:
9265/4 ΚΥΚΛΟΦΟΡΟΥΣΑ

ΣΥΝΘΕΣΗ ΥΔΡΑΝΣΩΝ

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

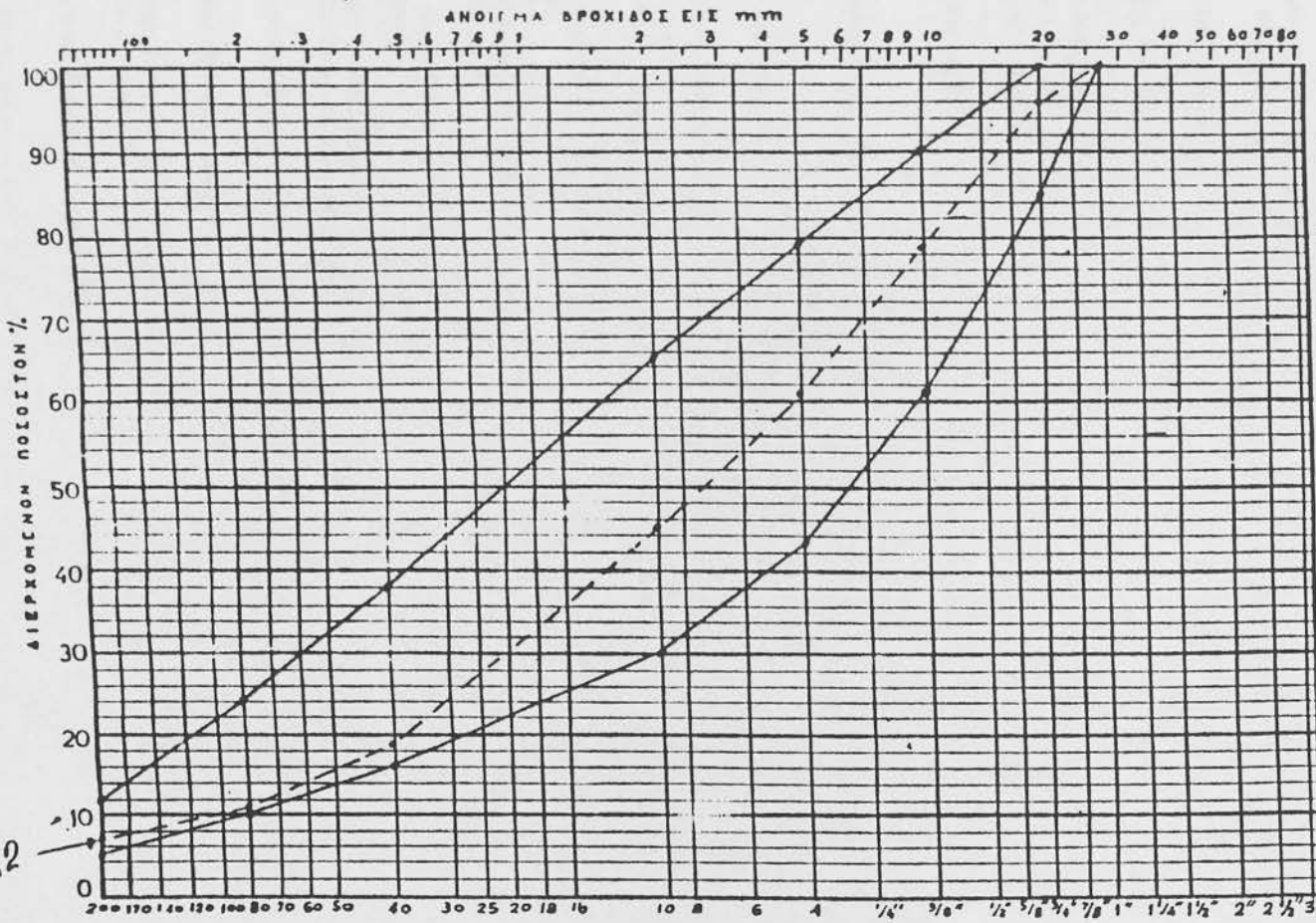
ΟΡΙΑ Π.Τ.Π.
9265/4 ΚΥΚΛΟΦΟΡΟΥΣΑ

--- ΔΙΑΒΑΘΝΙΣΗ
ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΥΔΡΑΝΣΩΝ
ΥΛΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ

Εν Αθήναις 19...

Ο ΕΚΤΕΛΕΣΑΣ
ΤΗΝ ΔΟΚΙΜΗΝ

ΔΗΜ. ΓΙΑΛΙΤΣΑΣ



ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΟΣΚΙΝΑ

ΔΕΛΤΙΟΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ MARSHALL

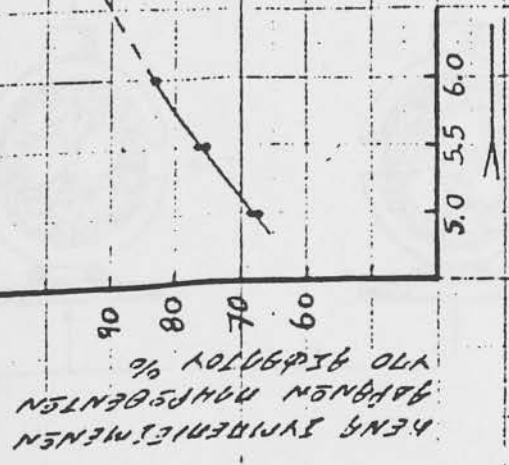
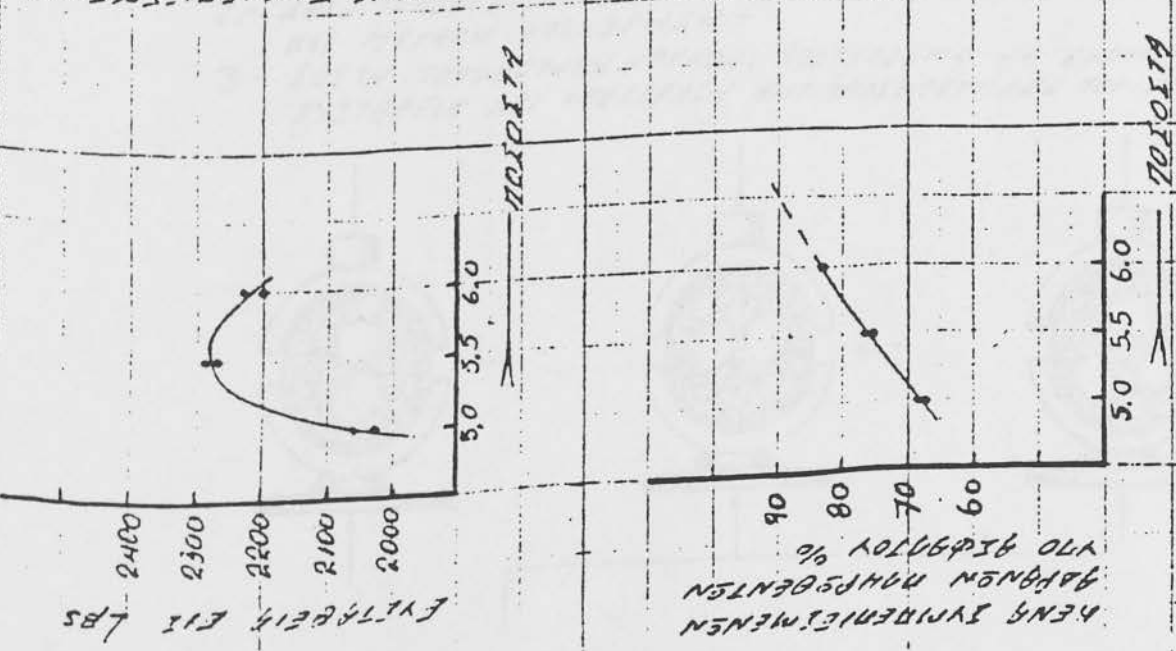
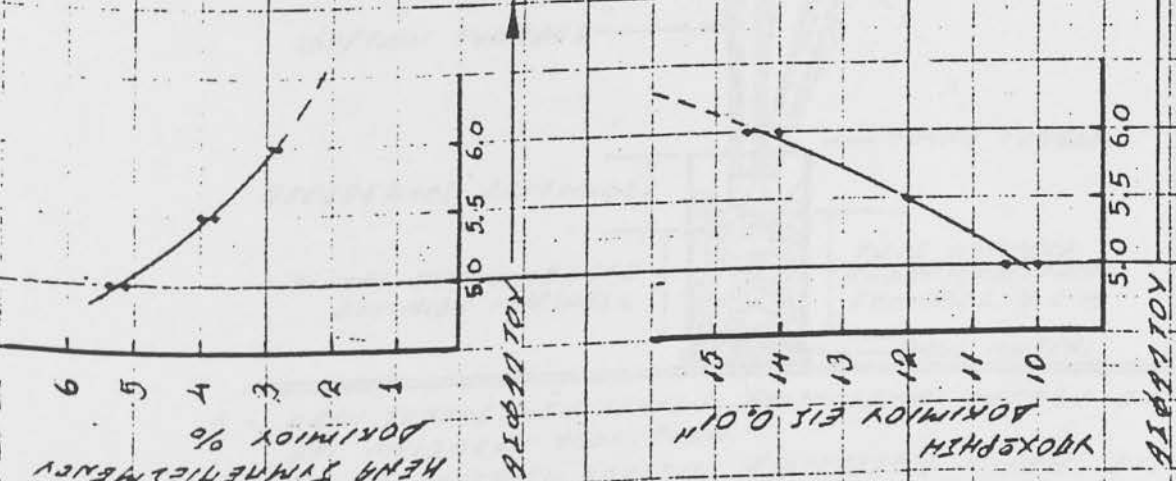
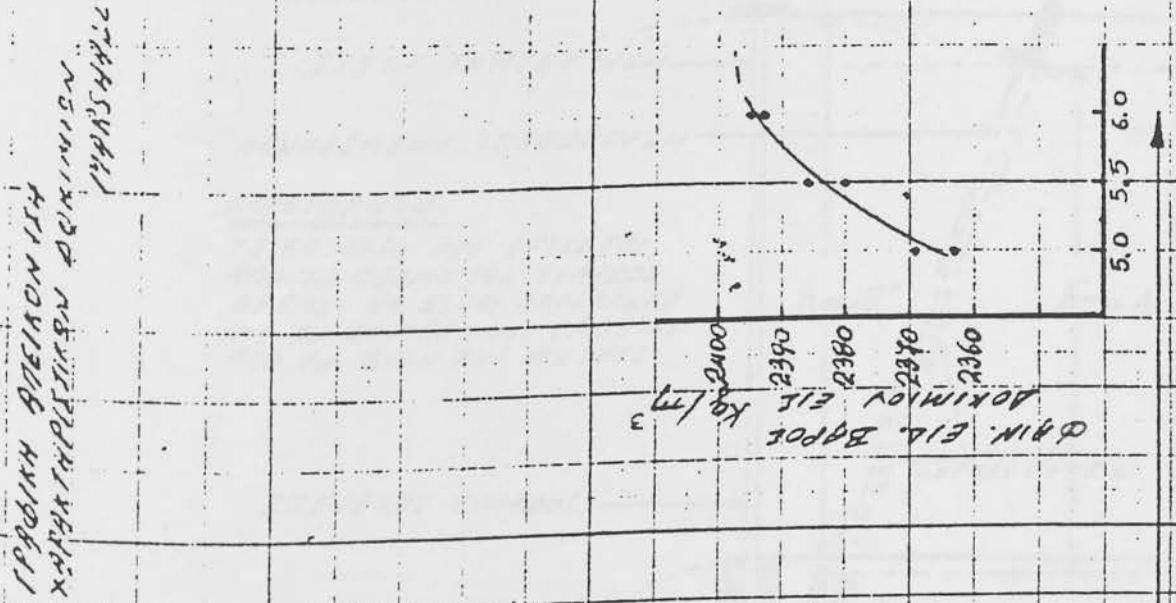
1. Άποστολεύς
2. Ανάδοχος
3. Έργον *ΕΚΠΗΡΕΑΣΤΙΚΟ ΕΡΓΟΝ*
4. Τμήμα
5. Θέσις δειγματοληψίας
6. Ημερομηνία δειγματοληψίας
7. Ίσχύουσα Π. Τ. Π. *9265*

Τύπος *A'*

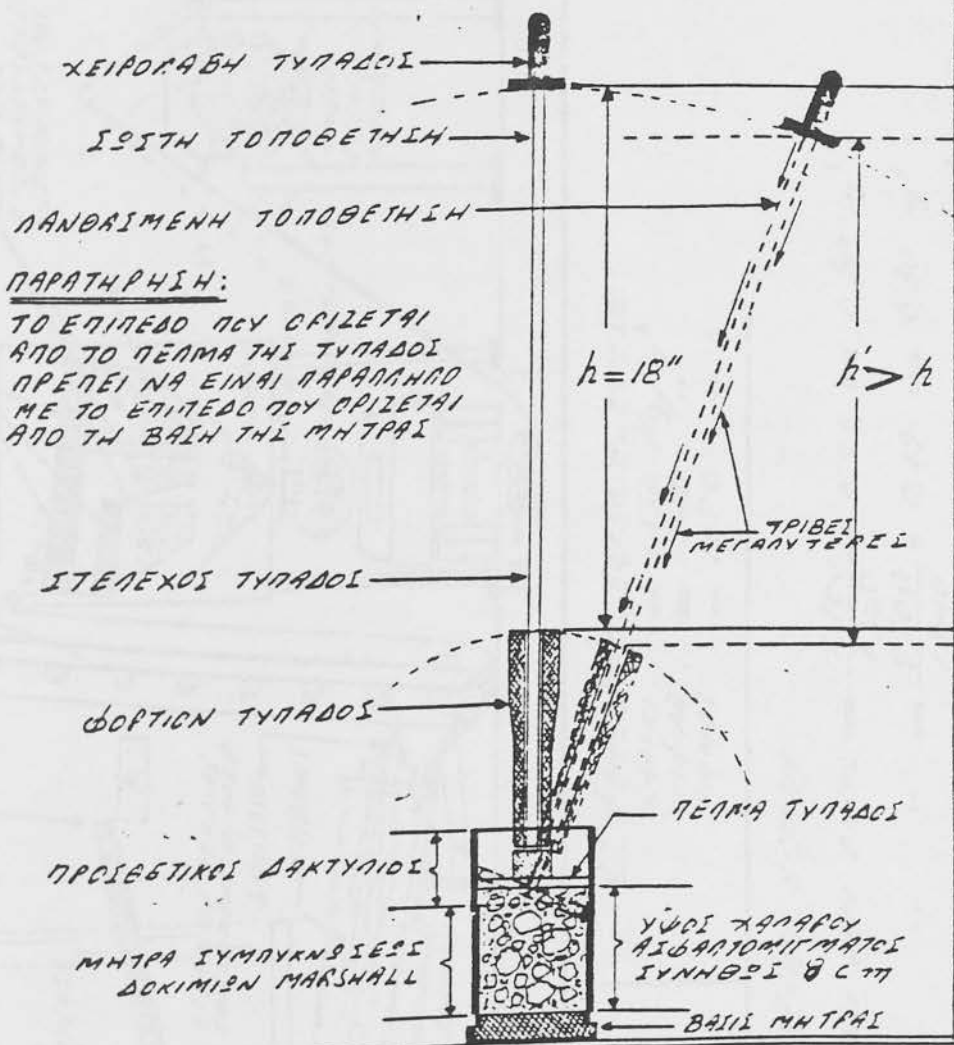
Στρώσι, *Ανακωστήριον*

Στοιχεία εκ δοκιμών	Άποτελέσματα					
	No 1	No 2	No 3	No 4	No 5	No 6
Βυρος δοκιμίου εις μτ.	12500	12510	12560	1254	12650	12640
Ύψος δοκιμίου εις cm.	6.53	6.52	6.50	6.53	6.52	6.52
Ένδειξις MARSHAL	216	212	238	237	250	233
Συντελεστής διορθ. ένδειξως MARSHAL	0,956	0,958	0,963	0,956	0,952	0,958
Διορθωμένη ένδειξις MARSHAL	206	203	229	227	250	223
Εύσταθεια εις LBS	2060	2050	2290	2270	2200	2230
	24 | 25 14 | 15	23 | 25 14 | 15	26 | 27 14 | 15	26 | 27 14 | 15	28 | 29 14 | 15	29 | 29 14 | 15
Ύποχώρησις δοκιμίου εις 0.01"	10	10,5	12	12	14	14,5
Όγκος δοκιμίου εις cm ³	528,93	528,12	526,50	528,93	528,12	528,15
Φ.Ε. Βαρος δοκιμίου εις Kg/m ³	2363,3	2368,6	2385,6	2380,3	2395,3	2395,4
Άσφαλτος, % άσφαλτομίγματος	5,0 4,76	5,0 4,76	5,5 5,21	5,5 5,21	6,0 5,66	6,0 5,66
Βαρος άσφάλτου εις Kg/m ³ άσφαλτομίγματος	112,5	112,8	124,3	124,0	135,6	135,5
Βαρος άδρανών /m ³ άσφαλτομίγματος συμπερισμένου	2250,6	2256,0	2261,3	2256,3	2259,7	2257,9
Όγκος συμπερισμένων άδρανών /m ³ άσφαλτομίγματος	0,8336	0,8356	0,8375	0,8337	0,8369	0,8363
Συνολικός όγκος άσφάλτου άδρανών /m ³ συμπερισμένου άσφαλτομίγματος	0,9461	0,9484	0,9618	0,9397	0,9425	0,9415
Κενά συμπερισμένου άσφαλτομίγματος	5,39	5,16	3,82	4,03	2,75	2,82
Κενά συμπερισμένου άδρανών	16,64	16,44	16,25	16,43	16,81	16,37
Κενά συμπερισμένου άδρανών πληροφάντων εις άσφαλτομίγματος	67,6	68,6	76,5	75,5	83,1	82,8
Θερμοκρασία διατήρησεως <i>27,2 °C</i>						
Επίδικον βαρος άδρανών <i>27,2 Kg/m³</i>	27					

Συνολικά



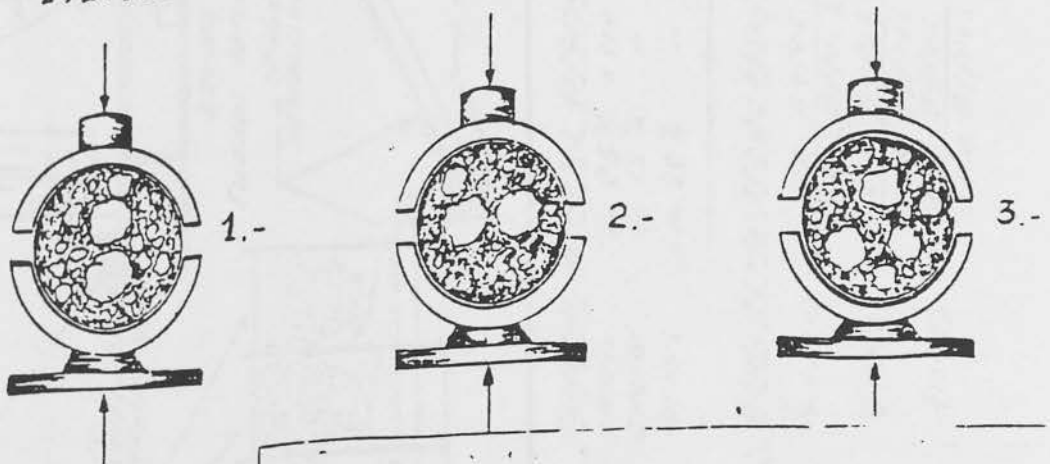
ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑ MARSHALL
 ΣΩΣΤΗ ΤΕΧΝΙΚΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΕΩΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ



ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ:

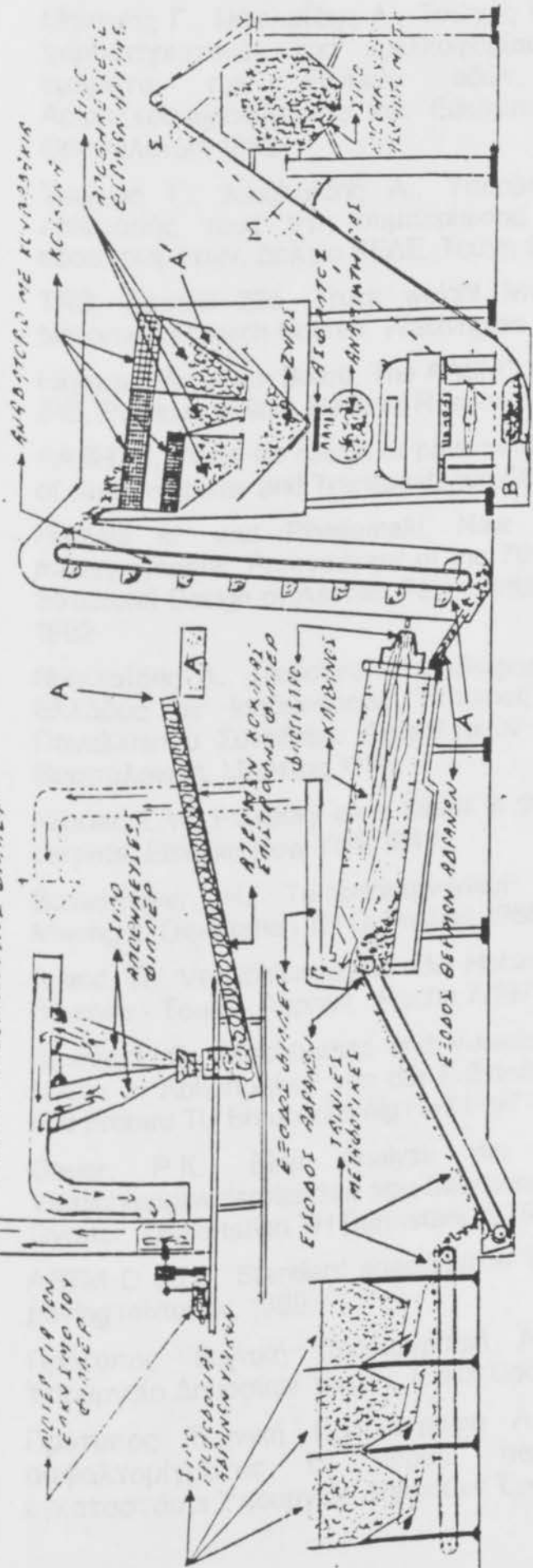
ΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΟΥ ΟΡΙΖΕΤΑΙ
 ΑΠΟ ΤΟ ΠΕΔΙΜΑ ΤΗΣ ΤΥΠΑΔΟΣ
 ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΕΙΝΑΙ ΠΑΡΑΛΛΗΛΟ
 ΜΕ ΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΟΥ ΟΡΙΖΕΤΑΙ
 ΑΠΟ ΤΗ ΒΑΣΗ ΤΗΣ ΜΗΤΡΑΣ

- 1.- ΚΑΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΟΚΚΩΝ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΜΕΓΑΛΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ.-
- 2.- ΚΑΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΟΚΚΩΝ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΜΙΚΡΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΓΑΛΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ.-
- 3.- ΣΩΣΤΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΟΚΚΩΝ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΝΑ ΕΧΟΥΜΕ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΚΑΙ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΕΣ ΤΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ



Α-Α' = ΣΗΜΕΙΑ ΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ ΦΩΝΕΩΝ
 Β = ΑΝΑΒΑΤΟΡΙΟ ΕΣΤΙΜΩΝ ΑΙΘΑΝΟΜΙΣΜΑΤΟΣ
 Σ = ΙΣΤΙΑ ΒΛΗΜΕΝΟ ΑΙΘΑΝΟΜΙΣΜΑΤΩΝ
 Μ = ΜΕΡΟΣ ΒΛΗΜΕΝΟ ΑΙΘΑΝΟΜΙΣΜΑΤΩΝ

Α-Α' = ΣΗΜΕΙΑ ΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ ΦΩΝΕΩΝ
 Β = ΑΝΑΒΑΤΟΡΙΟ ΕΣΤΙΜΩΝ ΑΙΘΑΝΟΜΙΣΜΑΤΟΣ



1. ΑΝΑΒΑΤΟΡΙΟ ΜΕ ΚΥΛΙΟΒΑΛΙΣΤΗ
 ΧΑΛΚΙΝΟ = 25% ΑΥΤΩΝ ΑΝΩΤΕΡΩ
 ΨΑΦΙΔΙΑ = 15% " " " " " "
 ΑΥΤΟΙΣ = 60% " " " " " "

2. ΦΑΝ. ΒΑΡΗ ΒΑΡΩΝ ΥΛΙΚΩΝ
 ΧΑΛΚΙΝΟ = 1350 Kg/m³
 ΨΑΦΙΔΙΑ = 1320 " " "
 ΑΥΤΟΙΣ = 1620 " " "

3. ΦΑΝ. ΟΛΙΚΟ ΤΙΣΦΟΡΑΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ ΒΑΡΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

ΧΑΛΚΙΝΟ	=	ΕΙΔ. ΒΑΡΟΣ	X	ΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟΝ ΚΑΤΩ ΑΝΩΤΕ	=	$\frac{2700 \times 0.25}{1350}$	=	0.50 m ³
ΨΑΦΙΔΙΑ	=	ΕΙΔ. ΒΑΡΟΣ	X	" "	=	$\frac{2700 \times 0.15}{1320}$	=	0.30 m ³
ΑΥΤΟΙΣ	=	ΕΙΔ. ΒΑΡΟΣ	X	" "	=	$\frac{2700 \times 0.60}{1620}$	=	1.00 m ³

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- (1) Μήντσης Γ., Νικολαΐδης Α., Τσώχος Γ., Καταγραφή και ανάλυση των χαρακτηριστικών της κυκλοφορίας των βαρέων οχημάτων σε τμήματα των Εθνικών οδών, 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ασφαλτοσκυροδέματος και Εύκαμπτων Οδοστρωμάτων, σελ. 134, Θεσσαλονίκη 1992.
- (2) Τσώχος Γ., Νικολαΐδης Α., Υπέρβαρα Οχήματα: Διερεύνηση της επίδρασής τους στη συμπεριφορά και τη διαστασιολόγηση των οδοστρωμάτων, Δελτίο ΚΕΔΕ, Τεύχη 103-104, σελ. 149, 1989.
- (3) TRB, Special 225, Truck weight limits, Transport Research Board, National Research Council, Washington D.C., 1990.
- (4) Highway Research Board, The AASHO road test Report 5, Special Report 61E, Publication 954, National Research Council, Washington D.C., 1962.
- (5) AASHTO, Guide for design of pavement structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., 1986.
- (6) Huhtala M. and Pihlajamaki, New concepts on load equivalency measurement, Proceedings of the 7th International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Vol. 3, p.194, Nottingham, U.K., 1992
- (7) Νικολαΐδης Α., Μετατροπή κυκλοφοριακού φόρτου Εθνικού δικτύου Ελλάδος σε Ισοδύναμους Τυπικούς άξονες (ITA), Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου Ασφαλτικών Μιγμάτων και Οδοστρωμάτων, Θεσσαλονίκη, Μάρτιος 1996.
- (8) Nijboer, L.W, Plasticity as a factor in the design of dense bituminous road carpets. Elsevier New York 1948.
- (9) Bossemeyer, H., Temperaturverlauf beim Eindau von bituminosem Mischgut. Dissertation TH Darmstadt 1966.
- (10) Arand, W., Verdichtungsgrad oder Hohlraumgehalt als Abnahmekriterium? Bitumen - Teere - Asphalt - Peche 7/1972.
- (11) Steinhoff, G., Mischbarkeit und Verarbeitbarkeit von Asphaltmortel und Mastix in Abhängigkeit von der Fullstoffart. Lehrstuhl für Strassenwesen und Erdbau TU Braunschweig Heft I 1977.
- (12) Gauer, P.K., Eine Analyse der Verdichtungswilligkeit und des Verdichtungswiderstandes von bituminosem Mischgut bei Verdichtung im Gyrator. Dissertation TH Darmstadt 1975.
- (13) ASTM D 3515, Standard specification for Hot-mixed, Hot-laid bituminous paving mixture, 1989.
- (14) Πρότυπος Τεχνική Προδιαγραφή Α-265, Ασφαλτικό σκυρόδεμα, Υπουργείο Δημοσίων Έργων, Εγκύκλιος Γ-22/1966
- (15) Πρότυπος Τεχνική Προδιαγραφή Α-260, Ασφαλτικές βάσεις δι' ασφαλτομίγματος εν θερμώ παρασκευαζομένου εν μονίμω εγκαταστάσει, Υπουργείο Δημοσίων Έργων, Εγκύκλιος Γ-24/1966

- (16) British Standards Institution, BS 4987: Part 1: Coated macadam for roads and other paved areas, Specification for constituent materials and for mixtures, London, 1993.
- (17) Colwill D.M., Daines M.E. and Nicholls J.C., Trials of porous asphalt, 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ασφαλτομιγμάτων και Εύκαμπτων Οδοστρωμάτων, Εργαστήριο Οδοποιίας ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 1992.
- (18) Δ/νση Αδρανών Υλικών και Οδοστρωμάτων (ΕΚ2), ΚΕΔΕ, Τεχνικές οδηγίες για την κατασκευή αντιολισθηρών στρώσεων από ασφαλτικό σκυρόδεμα, ΕΚ2Οικ.8532/1100, Νοεμ. 1985
- (19) British Standards Institution, BS 594, Hot Rolled Asphalt for roads other areas, Specification for constituent materials and asphalt mixtures, Part 1, London, 1992
- (20) German Asphalt Pavement Association, Splittmastixasfalt, DAV e.v., Bonn, 1992
- (21) British Standards Institution, BS 598:Part 107, Sampling and examination of bituminous mixtures for roads and other paved areas, Methods of test for the determination of the composition of design wearing coarse rolled asphalt, London, 1990
- (22) ASTM D 2041, Standard test method for Theoretical maximum Specific Gravity of bituminous paving mixtures, 1978 (ή AASHTO T 209-82)
- (23) ASTM D 2726, Standard test method for, Bulk specific gravity and density of compacted bituminous mixtures using saturated surface-dry specimens, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.03, 1990
- (24) ASTM D 1188, Standard test method for Bulk specific gravity and density of compacted bituminous mixtures using paraffin-coated specimens, Annual Book of ASTM Standards, Vol.04.03,1990.
- (25) Πρότυπος Τεχνική Προδιαγραφή Α 260, Ασφαλτικές βάσεις δι' ασφαλτομίγματος εν θερμώ παρασκευαζομένου εν μονίμω εγκαταστάσει, Υπουργείο Δημοσίων Έργων, Εγκύκλιος Γ-24/1966, Αθήνα 1966
- (26) ASTM D 1074-83, Standard Test Method for Compressive strength of bituminous mixtures, 1983.
- (27) Heinemann R., Mathematische Ansätze zur Berechnung verdichtungsabhaigiger Grossen. Bitumen-Teere-Asphalt-Peche 6/1972
- (28) Lefebvre G., Belgian specifications for pervious coated macadam, 4th Eurobitume, p.767, Mardid, 1989.
- (29) Brien D.A., A design method for gap-graded asphalt mixes, Shell Bitumen Review 56, p. 9, September 1977.
- (30) Less G., Asphalt mix design for optimum structural and type interaction purposes, Proceeding of the 6th International Conference of the Structural Design of Asphalt Pavements, Ann Arbor, Michigan, Vol. 1, p.414, 1987
- (31) ΥΠΕΧΩΔΕ, Γεν. Γραμματεία, Δημοσίων Έργων, Διεύθυνση ΕΚ2, Εγκύκλιος Ε96/ΕΚ2/6077/643/3.9.87, Τεχνικοί όροι για την κατασκευή λεπτοτάπητων με τη μέθοδο σφραγιστικού ασφαλτοπολτού (Slurry Seal), Αθήνα 1987.

- (32) ΥΠΕΧΩΔΕ, Γεν. Γραμματεία, Δημοσίων Έργων, Διεύθυνση Δ14, Εγκύκλιος Δ14β/οικ. 7042/707/23.11.1990, Ενημερωτικές τεχνικές οδηγίες που αφορούν τον ποιοτικό και εργαστηριακό έλεγχο αντιολισθηρού λεπτοτάπητα Slurry Seal, Αθήνα 1990
- (33) ΥΠΕΧΩΔΕ, Γεν. Γραμματεία, Δημοσίων Έργων, Διεύθυνση Δ14, Εγκύκλιος Δ14β/2352/215/27.5.1994, Τεχνικοί όροι κατασκευής στρώσεων οδοστρωμάτων από ψυχρό ασφαλτόμιγμα παραγόμενο σε μόνιμο ή αυτοκινούμενο συγκρότημα, Αθήνα 1994
- (34) Α. Νικολαΐδης, Κλειστού τύπου ψυχρά ασφαλτομίγματα: Προτεινόμενη μελέτη σύνθεσης, 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ασφαλτοσκυροδέματος και ευκάμτων οδοστρωμάτων, Θεσσαλονίκη, 1993
- (35) AASHTO T164-86, Standard method of test for Quantitative extraction of bitumen from bituminous paving mixtures, 1986 (ή ASTM D 2172)
- (36) AASHTO T30-84, Standard method of test for mechanical analysis of extracted aggregate, 1989 (ή ASTM D 136)
- (37) ASTM D 3910-84, Standard practice for Design, testing and construction of slurry seal, 1993
- (38) ASTM D 1461-85, Standard test method for Moisture or volatile distillates in bituminous paving mixtures, 1993.
- (39) Nikolaides A.F., Proposed design method for cold dense graded mixtures, 5th Eurobitume Congress, Stockholm, Session 3, p.616, 1993
- (40) Van der Poel, A general system describing the visco-elastic properties of bitumen and its relation to routine test data, Journal of Applied Chemistry, Vol.4, p.221,1954.
- (41) AASHTO T 168-82(1986), Standard method of Sampling bituminous paving mixtures, (ASTM D 979-74(1979)).
- (42) BS: 598: Part 102: Sampling and examination of bituminous mixtures for roads and other paved areas: Analytical test methods, British Standard Institution, London, 1989.
- (43) AASHTO T 170-84, Standard method of test for Recovery of asphalt from solution by Abson method, (ASTM D 1856-79).
- (44) BS 2000: Part 105: Petroleum and its products: Recovery of bituminous binders by dichloromethane extraction, British Standards Institution, London, 1991.
- (45) Klein, R., Warmeaustausch I m Strassenkorper. Strasse und Autobahn 11/1960.
- (46) Kucera, K., Zur Frage der geeigneten Warmedämmung von Fahrbahnbefestigungen. Bitumen 1/1973.
- (47) Arbatli, A., Temperaturabfall des Mischgutes auf dem Wege von der Aufbereitung bis zum Eindau. Dissertation TH Berlin.
- (48) Holl, A., Die Verdichtung von Asphalten. Bitumen/eere/Asphalte/Peche 1/1969
- (49) Vizi, L./Hansen, F. / Jonker, C., Vibratory Roller Compaction of Asphalt Pavements in the Netherlands. Asphalt Paving Technology 1997. Proc. AAPT San Antonio Texas.

- (50) Bohmer, P., Neue Erkenntnisse uder die Verdichtungswirkung von Schwarzdeckenfertigern. Strasse und Autobahn 26/1975.
- (51) Banaschek, K. / Fischer, F., Vergleichende Verdichtung bituminoser Belage mit Cumminradwalzen, Vibrationswalzen und statischen Walzen. Strasse und Autobahn, 5/1996.
- (52) Potschka, V., Weiterentwicklung und Einbautechnik bituminoser Dechken. Strasse und Autobahn, 1/1978.
- (53) Lister, N.W. / Powell, W.D., The compaction of bituminous base and basecourse materials und its relation to pavement performance. TRRL Supplementary Rapport 260.
- (54) Forssblad, L., Vibrationsverdichtung von Asphaltmischungen in Theorie und Praxis. Asphaltstrassenbau. Shell, Austria, 1975.
- (55) Fortmann, J., /Tappert, A., Gezielte Verdichtung auf der Baustelle. Teerbau Veroffentlichungen Nr. 24.
- (56) Metelmann, P. / Beecken, G., Uder die Verwendung von Anspritzmitteln im Strassenbau. Strasse und Autobahn 5/1979.
- (57) Eisenmann, J., Beanspruchung von bituminosen Strassendecken unter besonderer Berücksichtigung des Zustandes Sommer. Strasse und Autobahn 5/1979.
- (58) Υ.Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε., Δ/νση 14, ΚΕΔΕ, Τεχνικές οδηγίες για την κατασκευή αντιολισθηρής ασφαλτικής στρώσης από ασφαλτικό σκυρόδεμα, Εγκύκλιος ΕΚ2/8532/1100/8.11.1985, Αθήνα.
- (59) Υ.Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε., Δ/νση 14, ΚΕΔΕ, Τεχνικές οδηγίες για την κατασκευή αντιολισθηρής ασφαλτικής στρώσης με την έμπηξη προεπαλειμμένων ψηφίδων, Αθήνα. 1986.
- (60) Υ.Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε., Δ/νση Δ14, ΚΕΔΕ, Τεχνικές οδηγίες για την κατασκευή αντιολισθηρού λεπτοτάπητα με τη μέθοδο Slurry sealing, Εγκύκλιος Ε96/ΕΚ2/6077/643/3.9.87, Αθήνα.
- (61) Υ.Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε., Δ/νση 14, ΚΕΔΕ, Έλεγχος αντιολισθηρών λεπτοταπήτων (Slurry seal) και μετρήσεις αντιολοσθηρότητας, Τεχνική έκθεση, ΕΚ2/6722/876/26.11.85, Αθήνα.
- (62) Υ.Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε., Δ1-Δ3-Δ12, Κατασκευή αντιολισθηρών ασφαλτικών στρώσεων, Εγκύκλιος Δ13α/36/6-Ω/30.3.1995, Αθήνα.
- (63) Υ.Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε., Κατάλογος φθορών εύκαμπτων οδοστρωμάτων.
- (64) ΚΟΦΙΤΣΑΣ: Στοιχεία οδοστρωμάτων.

10. ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΦΘΟΡΩΝ ΕΥΚΑΜΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

1. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ

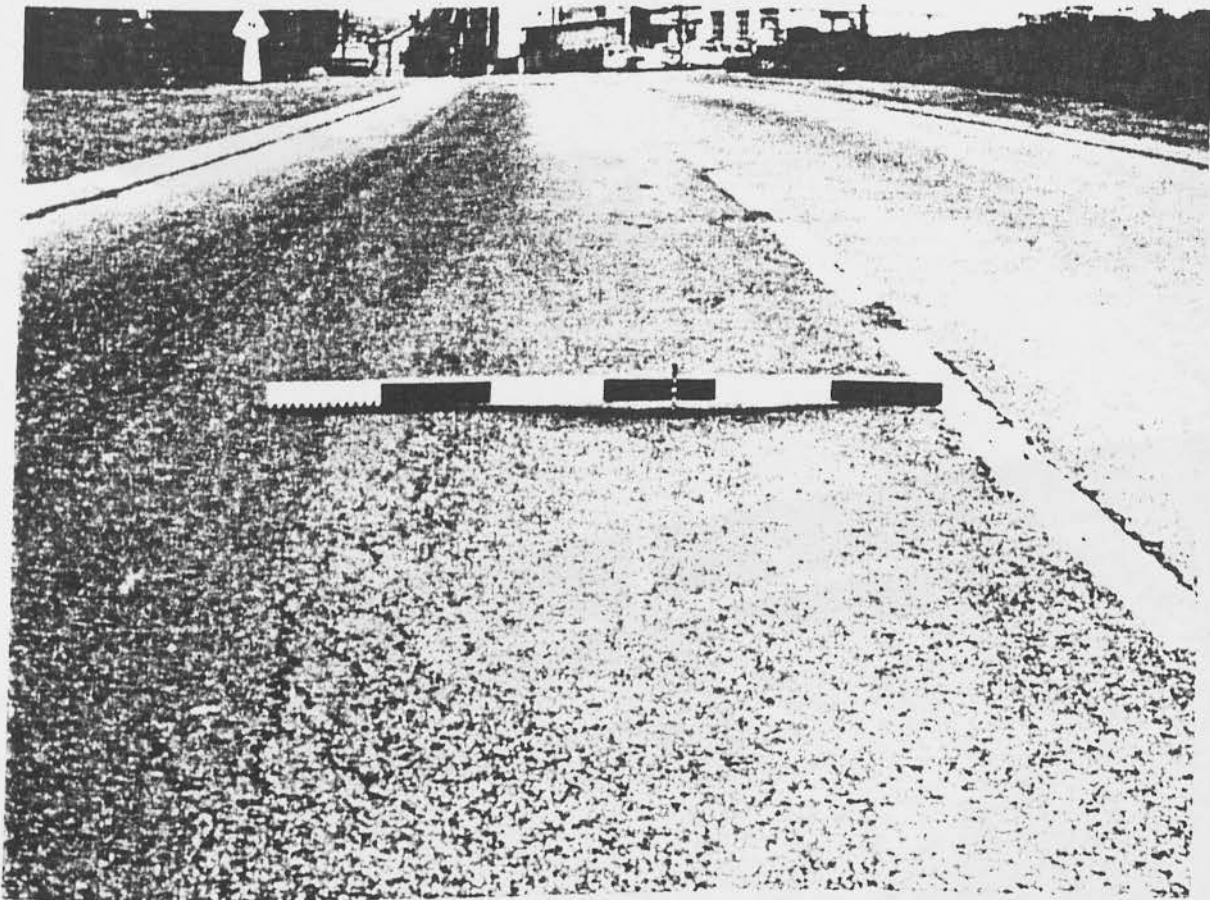
(DEFORMATIONS - DEFORMATIONS)

Π 1. Ίχνη τροχών μεγάλου εύρους

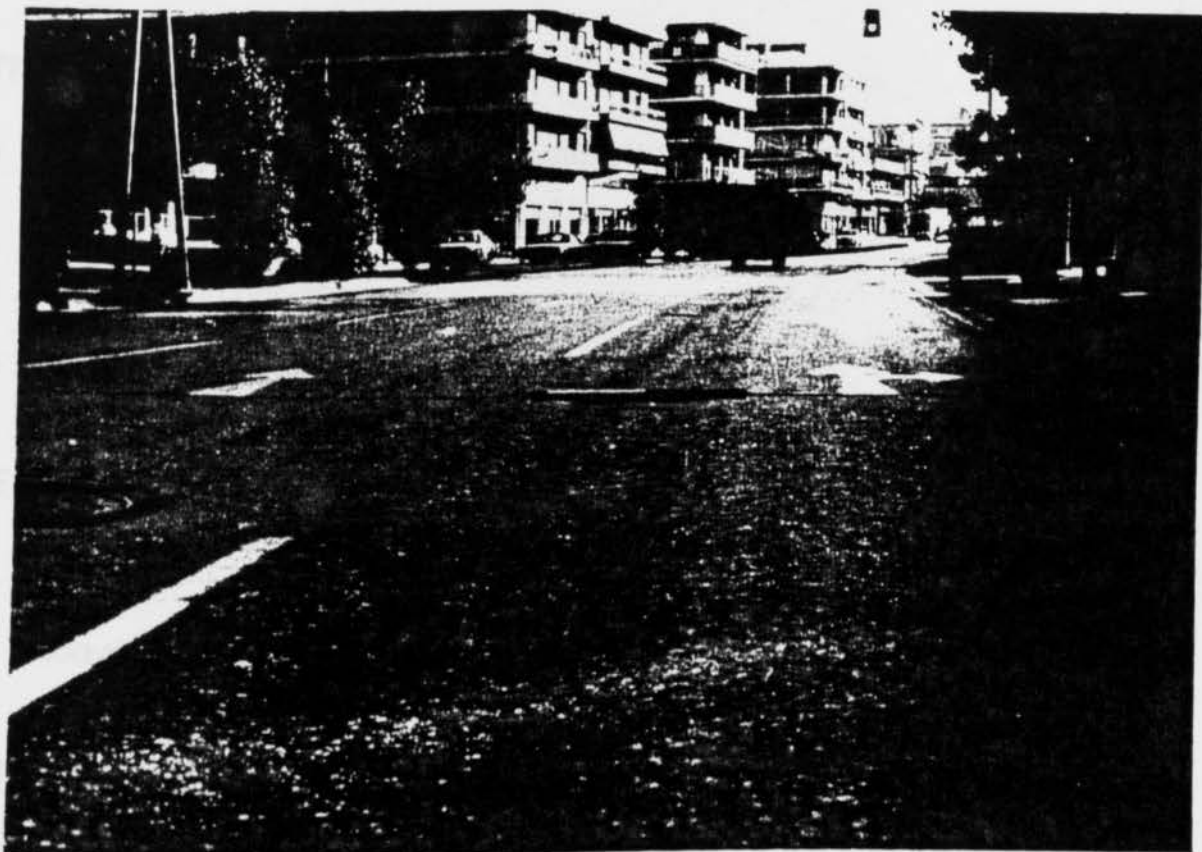
(RUTTING - ORNIERAGE A GRAND RAYON)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

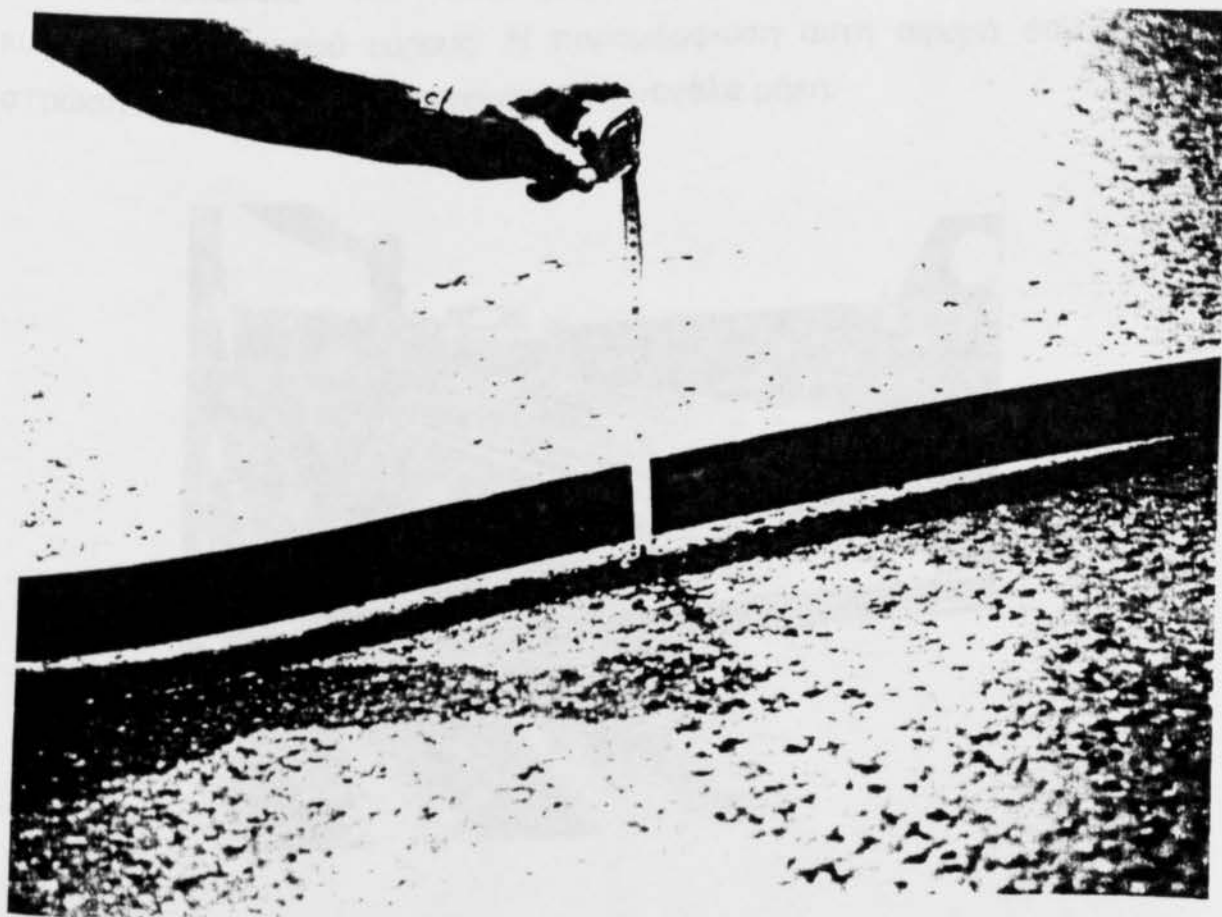
Αυλακώσεις του οδοστρώματος, κατά την κατεύθυνση της κυκλοφορίας μεγάλου εύρους, που εμφανίζεται στα ίχνη των τροχών των οχημάτων. Αφορά το σύνολο των στρώσεων του οδοστρώματος και εκτείνεται συνήθως σε μεγάλα μήκη.



Αυλάκωση που συνοδεύεται από ρηγμάτωση



Γενική άποψη αυλακώσεων



Αυλάκωση 15 χιλιοστών (φαίνεται μόνο με κανόνα)

ΠΙΘΑΝΑ ΑΙΤΙΑ

- Καθίζηση μιας ή περισσότερων υποκείμενων στρώσεων του οδοστρώματος κάτω από την επίδραση των φορτίων της κυκλοφορίας.
- Κόπωση του οδοστρώματος.
- Κακή συμπύκνωση κατά την κατασκευή.

ΕΞΕΛΙΞΗ

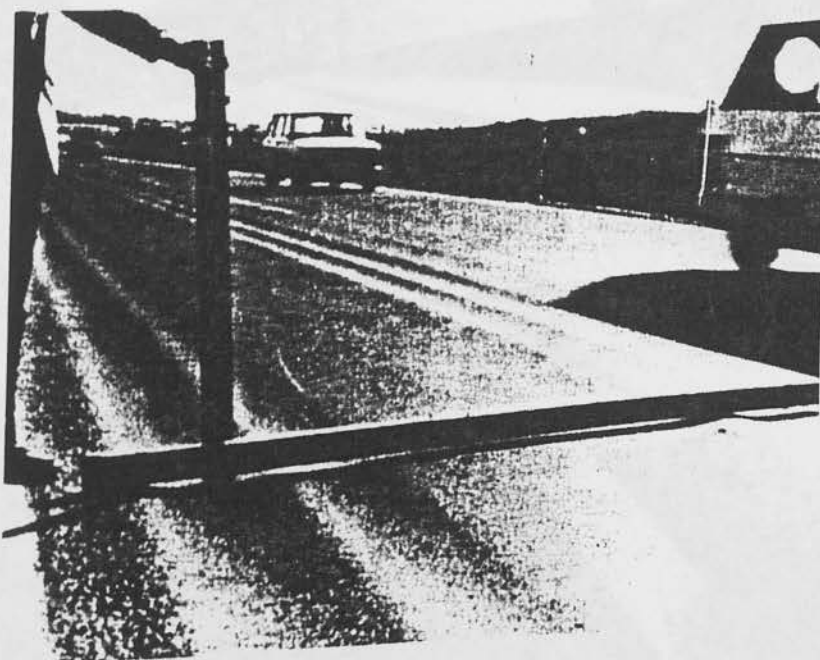
- Χαρακτηρίζεται από αύξηση του βάθους του ίχνους.
- Πιθανή εμφάνιση και άλλων φθορών (ρωγμές μέσα στις τροχιές κ.λ.π.)

Π 2. Ίχνη τροχών μικρού εύρους

(RUTTING - ORNIERAGE A PETIT RAYON)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Αυλακώσεις του οδοστρώματος κατά την κατεύθυνση της κυκλοφορίας, μικρού εύρους. Η παραμόρφωση αυτή αφορά συνήθως την στρώση κυκλοφορίας και εκτείνεται σε μεγάλα μήκη.



Ίχνη τροχών κοντά στο έρεισμα



Γενική όψη βλάβης



ΠΙΘΑΝΑ ΑΙΤΙΑ

- Ολήσθιση μιας στρώσης κυκλοφορίας που έχει συμπυκνωθεί υπερβολικά, κάτω από την επίδραση των φορτίων της κυκλοφορίας, ή παρέχει πολύ μαλακή ασφαλτο.
- Κακή σύνθεση του ασφαλτομίγματος
- Ανεπαρκής πλευρική στήριξη του οδοστρώματος από τα ερείσματα
- Σημαντικές κυκλοφοριακές επιπονήσεις (βαριά κυκλοφορία, περιοχές διοδίων, σηματοδοτών κ.λ.π.) σε περιόδους με μεγάλες θερμοκρασίες περιβάλλοντος

ΕΞΕΛΙΞΗ

- Συνοδεύεται από εξίδρωση (ανάδυση ασφάλτου κ.λ.π.)
- Δημιουργία τοπικών ανυψώσεων

Π 3. Τοπικά βυθίζματα

(DEPRESSIO/BIRD PATH - DEPRESSION/FLACHE)

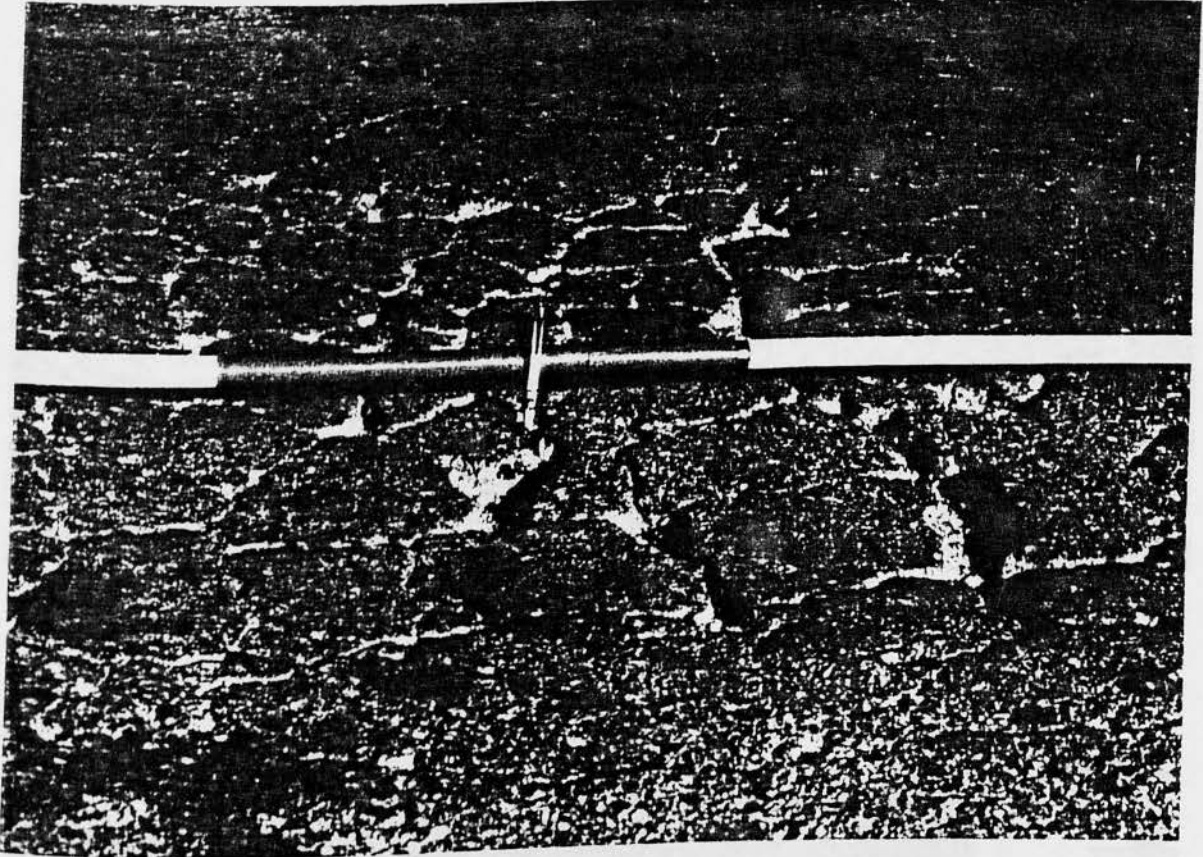
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Καθίζηση μικρής έκτασης της επιφάνειας του οδοστρώματος συνήθως κυκλικής μορφής. Συνοδεύεται συχνά και από ρηγματώσεις. Δημιουργούνται λεκάνες βάθους δύο ή περισσότερων εκατοστών που συγκρατούν νερό με αποτέλεσμα, πέρα από την καταστροφή του οδοστρώματος, να υπάρχει κίνδυνος στην κυκλοφορία των οχημάτων (υδρολίσθηση, παγετός).

ΠΙΘΑΝΑ ΑΙΤΙΑ

- Ελλιπής συνάφεια ασφαλτικού σκυροδέματος και βάσης του οδοστρώματος

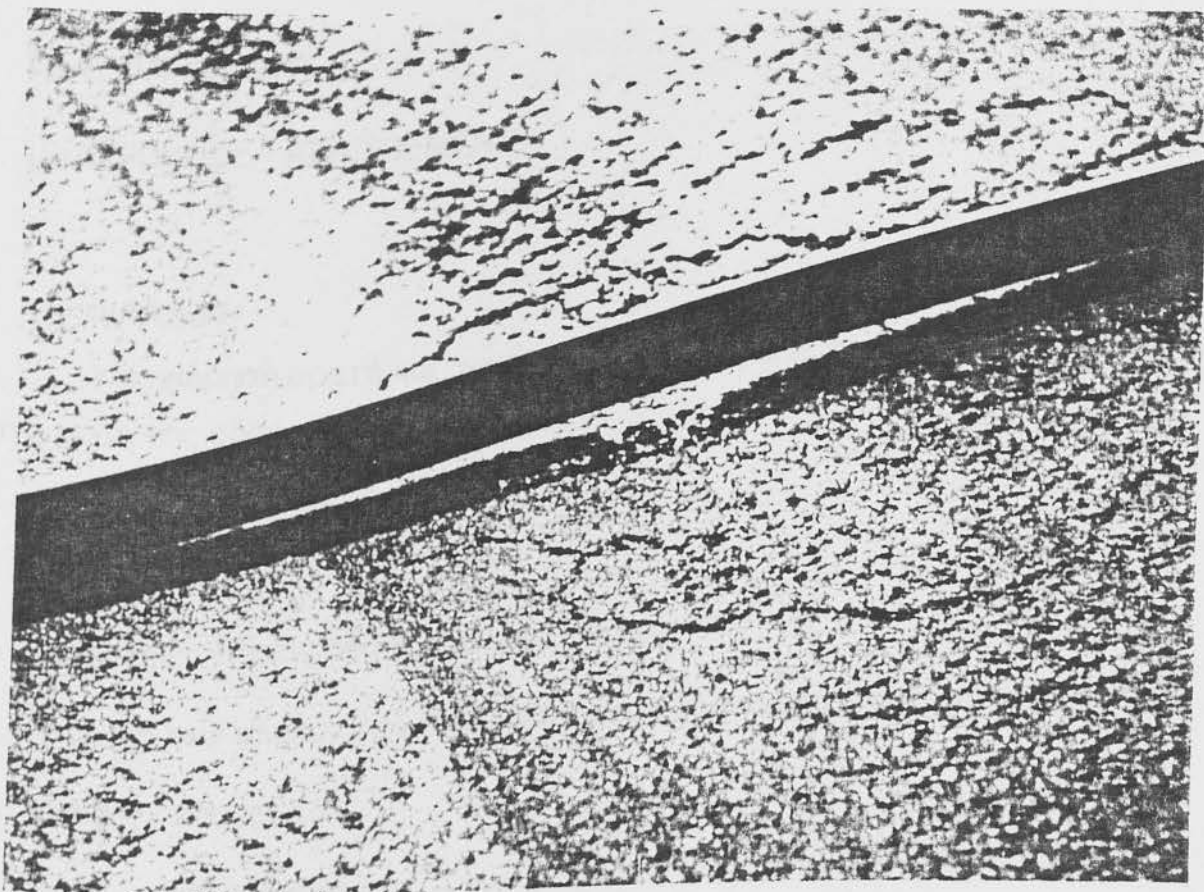
- Τοπική απώλεια συνοχής της στρώσης της βάσης (κακή ποιότητα υλικών, ανεπαρκές πάχος)
- Χαμηλή αντοχή υπεδάφους



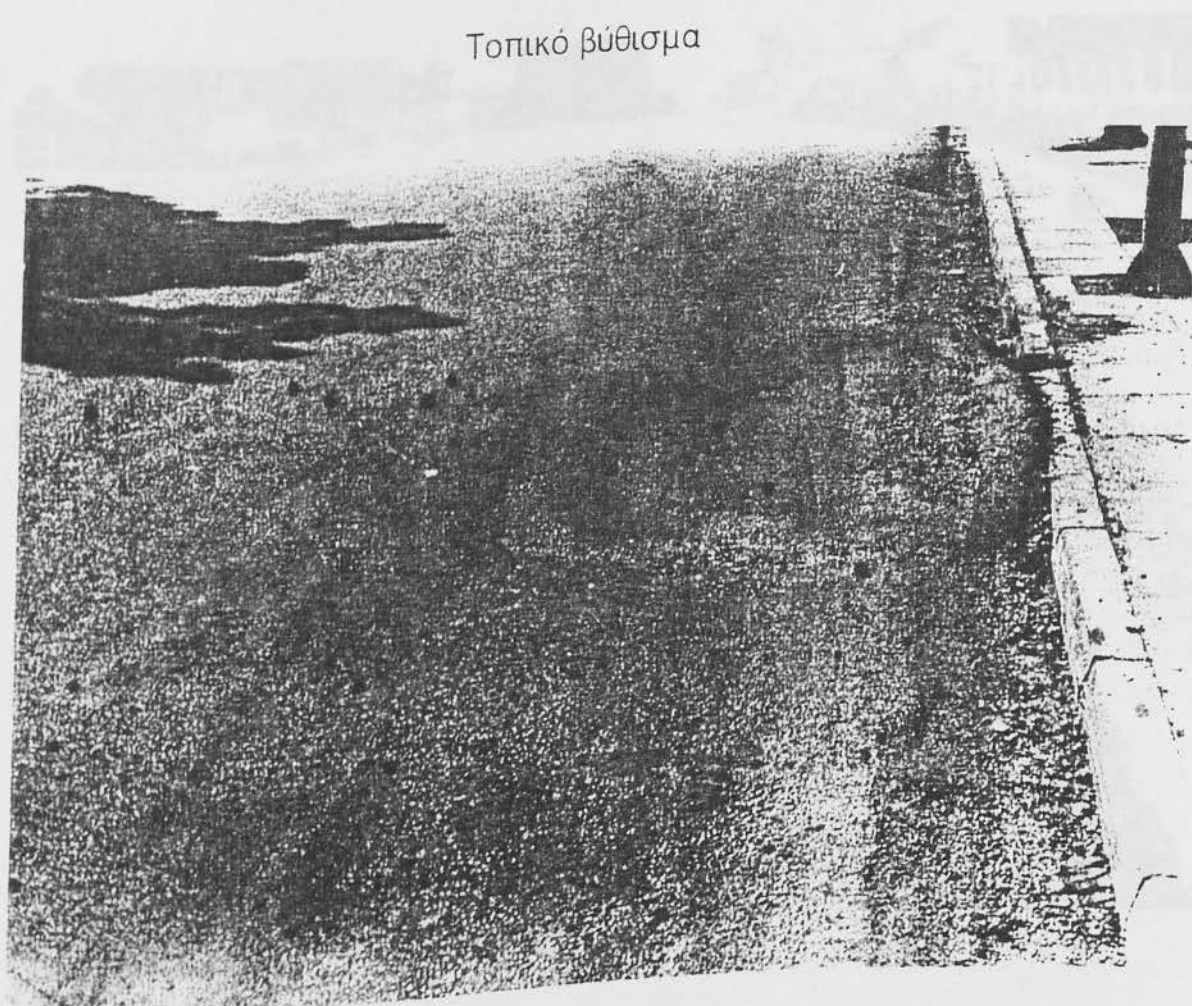
Τοπικό βύθισμα ρηγματωμένο

ΕΞΕΛΙΞΗ

- Εξελίσσεται σε ρηγμάτωση τύπου αλλιγάτορα και στη συνέχεια σε λάκκο με απόσταση υλικών.



Τοπικό βύθισμα



Έντονο τοπικό βύθισμα

Π 4. Καθίζηση

(SUBSIDENCE - AFAISSEMENT)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

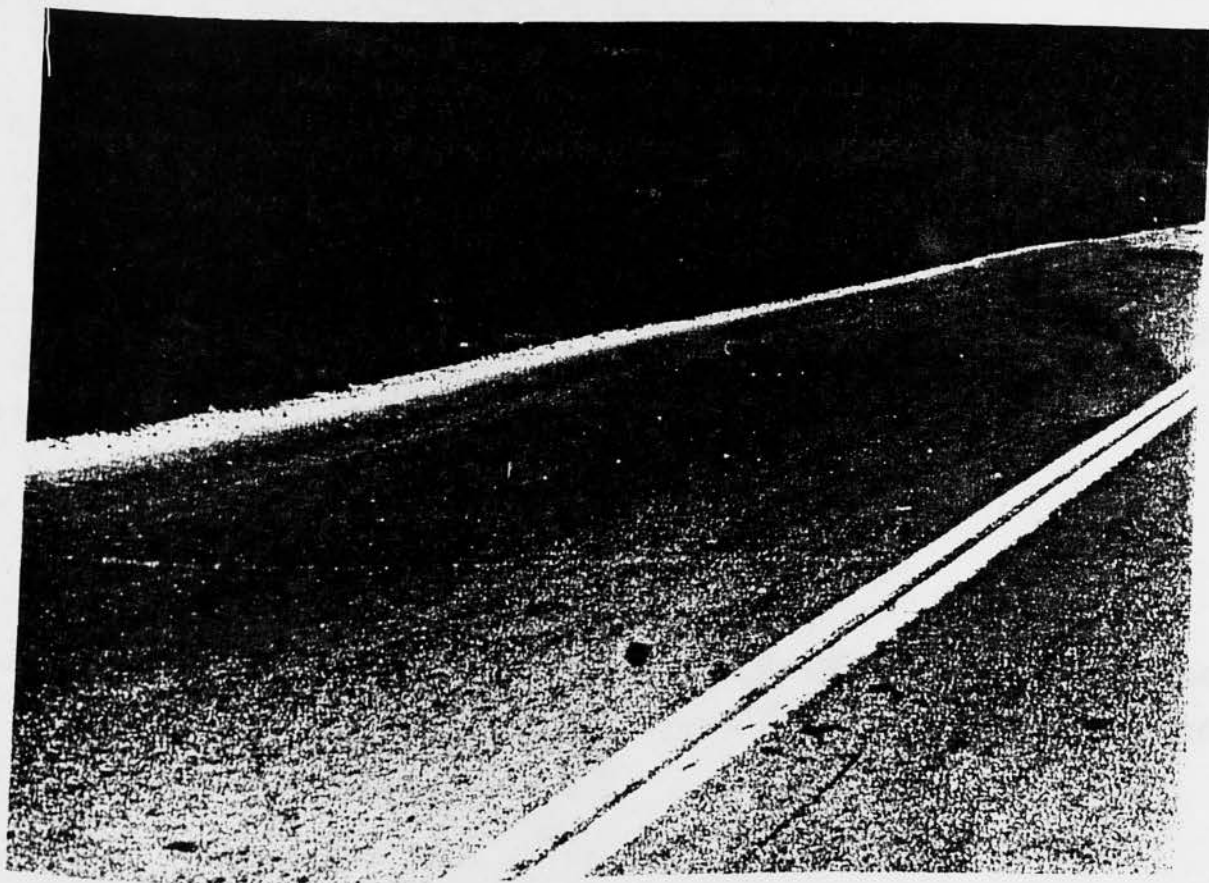
Υποχώρηση ορατή και αρκετά εκτεταμένη είτε κοντά στο έρεισμα, είτε στη μέση της οδού.

ΠΙΘΑΝΑ ΑΙΤΙΑ

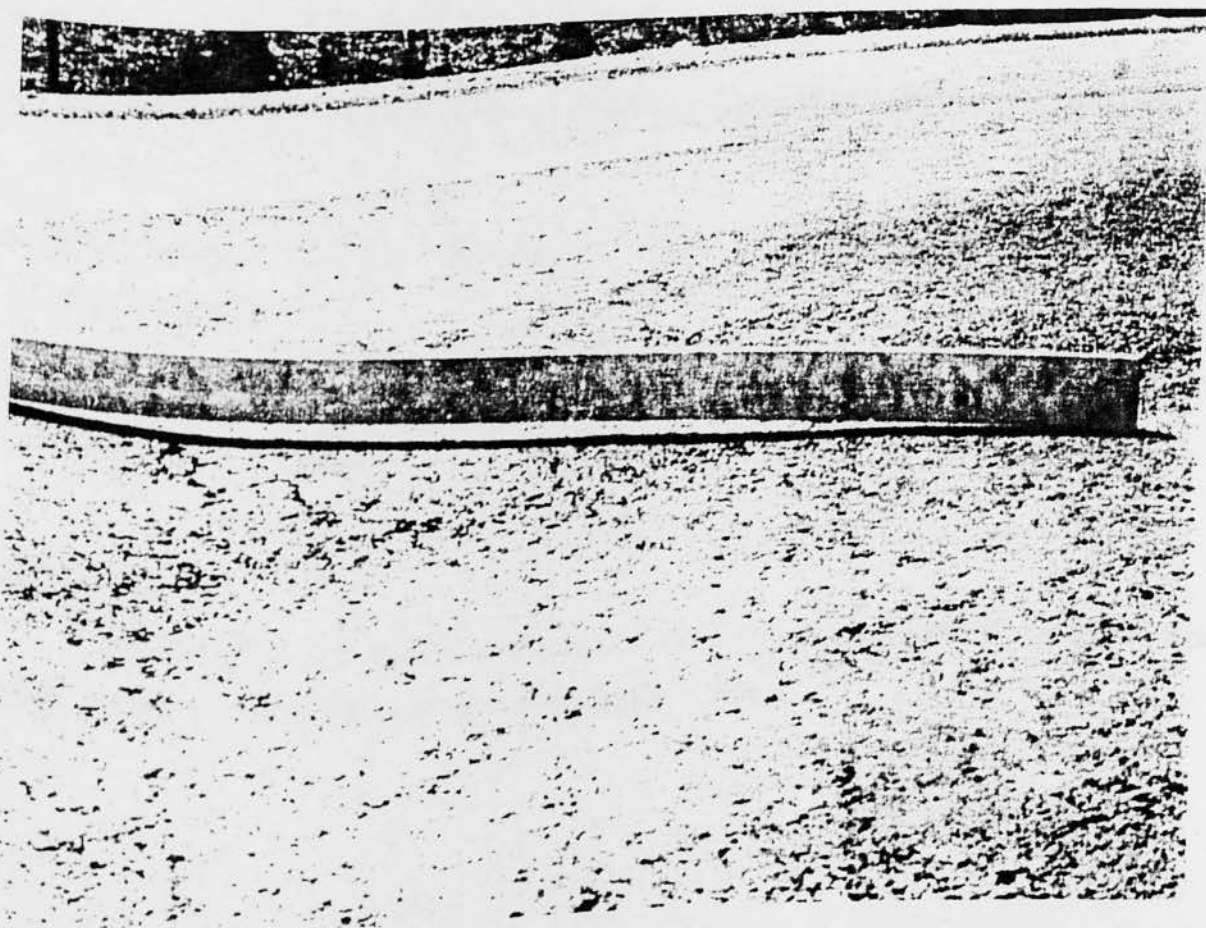
- Ανεπαρκές πάχος οδοστρώματος τοπικά
- Ανάμιξη των υλικών των στρώσεων του οδοστρώματος με αργλικές γαίες
- Τοπική κακοτεχνία
- Κακή αποστράγγιση



Καθίζηση στο άκρο του οδοστρώματος



Καθίζηση



Καθίζηση στο μέσον της οδού

ΕΞΕΛΙΞΗ

Ακολουθούν σύντομα και άλλες βλάβες (κύρια τοπικές ανυψώσεις, ρωγμές τύπου αλλιγάτορα κ.λ.π.)

Π 5. Διόγκωση οδοστρώματος κατά την κατεύθυνση της κυκλοφορίας

(SHOVING ALONG - BOURRELET LONGITUDINAL)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Ανύψωση ασφαλτικού υλικού κατά την κατεύθυνση της κυκλοφορίας που συνοδεύεται από παραμόρφωση του τύπου Π1 ή Π2 (ίχνη τροχών) ή από άλλη παραμόρφωση του οδοστρώματος.

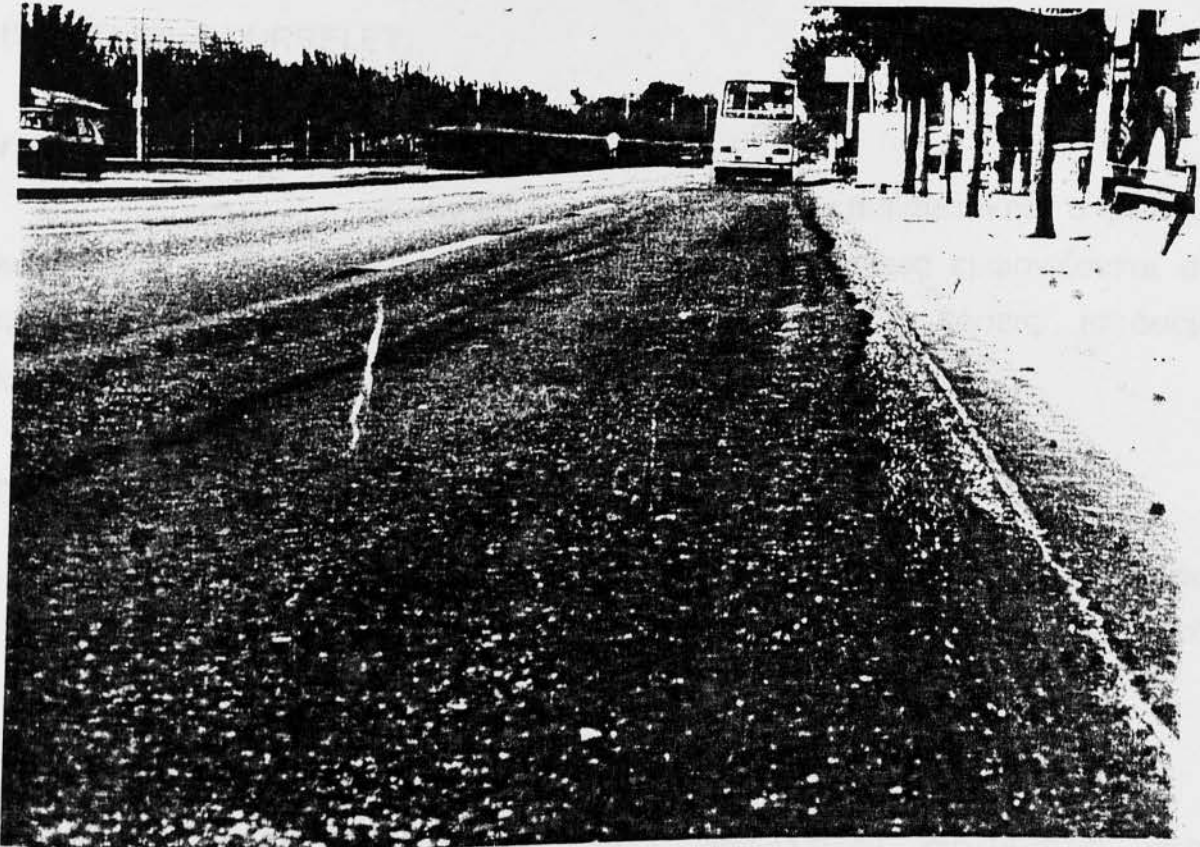
ΠΙΘΑΝΑ ΑΙΤΙΑ

- Καθίζηση των κατώτερων στρώσεων του οδοστρώματος
- Κακή συμπίκνωση κατά τη κατασκευή
- Τοπική κακοτεχνία του οδοστρώματος (ανεπαρκές πάχος, μόλυνση υλικού κ.λ.π.).
- Παγοπληξία της υποδομής ή των κατωτέρων στρώσεων του οδοστρώματος
- Δυνατόν επίσης να προέρχεται από διαστολή, λόγω υγρασίας, διογκουμένων εδαφών

ΕΞΕΛΙΞΗ

Εξελισσεται σε μπακλαβάδιασμα των παραμορφώσεων, αύξηση του βάθους των ιχνών ή των τοπικών καθιζήσεων κ.λ.π.

Π. 6. Εγκόμισες πηλώσεις



Διόγκωση και καθίζηση κοντά στο έρεισμα



Διόγκωση και καθίζηση στο μέσον της οδού

Π 6. Εγκάρσιες πτυχώσεις

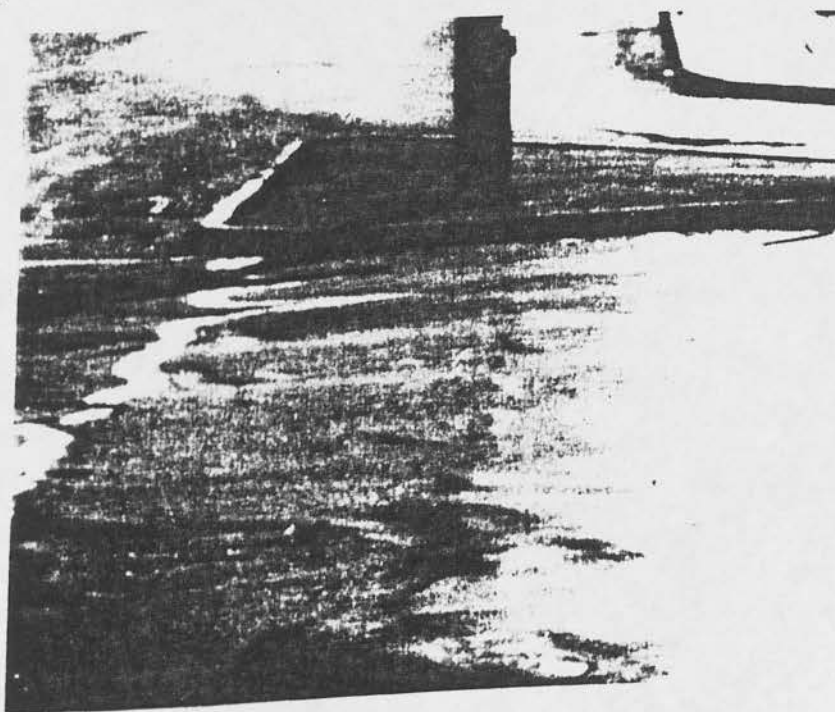
(SHOVING - BOURRELET)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Οριζόντιες μετακινήσεις των υλικών της επιφανειακής στρώσης, κυρίως προς την κατεύθυνση της κυκλοφορίας. Συνήθως εμφανίζονται σε περιοχές που αναπτύσσονται μεγάλες διατμητικές τάσεις (στάσεις λεωφορείων, διασταυρώσεις, σταθμούς διοδίων κ.λ.π.).

ΠΙΘΑΝΑ ΑΙΤΙΑ

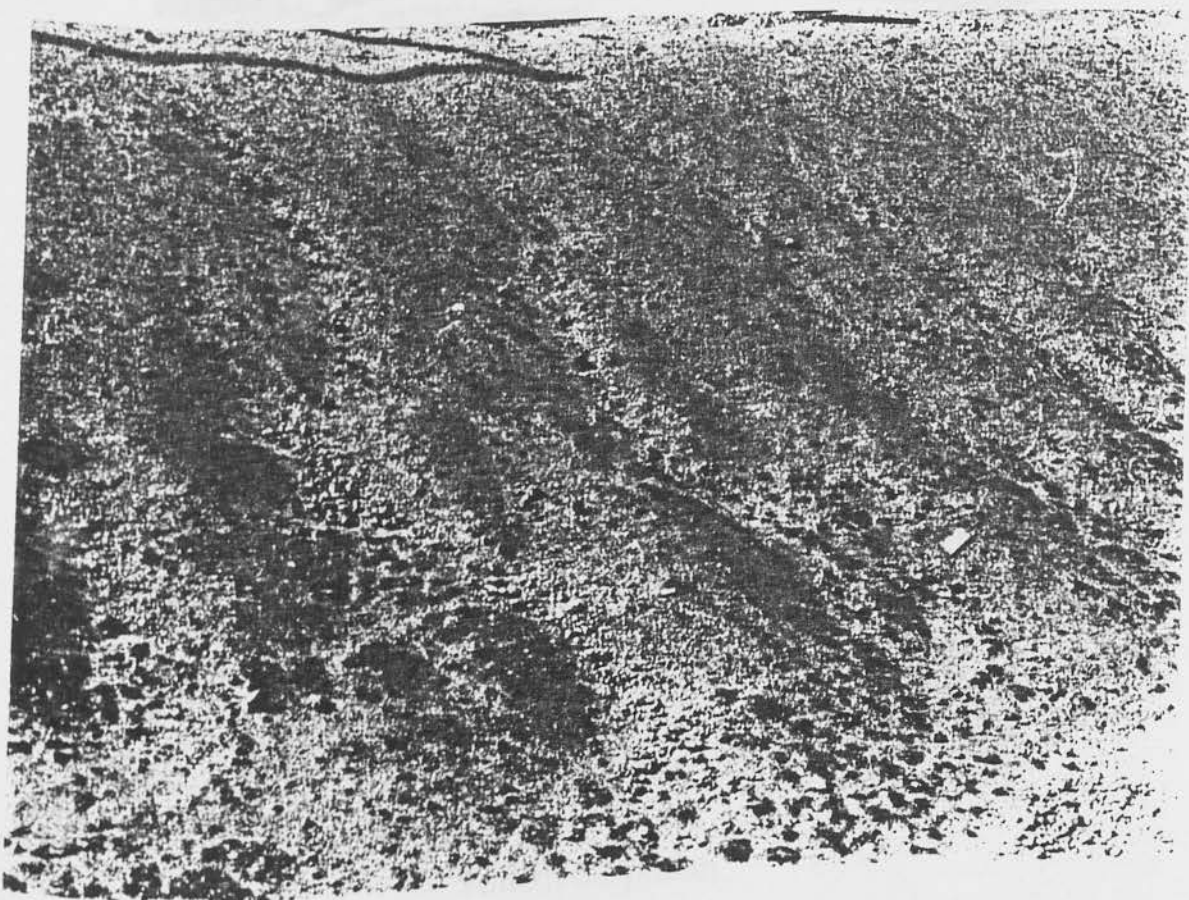
- Ανεπαρκής ευστάθεια του ασφαλτομίγματος της στρώσης κυκλοφορίας (αυξημένο ποσοστό ασφάλτου, μαλακή άσφαλτος, μεγάλο ποσοστό λεπτόκοκκων αδρανών, στρογγυλεμένα αδρανή κ.λ.π.).
- Ρύπανση της στρώσης κυκλοφορίας από ορυκτέλαια
- Κακή εξατμισμό των πτητικών του ασφαλτικού διαλύματος στο ασφαλτόμιγμα
- Κακή σύνδεση μεταξύ της επιφανειακής ασφαλτικής στρώσης και της υποκείμενης στρώσης του οδοστρώματος (κακότεχνη συγκολλητική επάλειψη).



Οδοστρωμα που έχει μετακινηθεί



Εγκάρσιες πτυχώσεις



Λεπτομέρεια

ΕΞΕΛΙΞΗ

Αύξηση του ύψους της πτύχωσης, ρηγμάτωση του ασφαλτικού στα σημεία των σημαντικότερων ανυψώσεων.

Π 7. Τοπικές διογκώσεις

(BUMP - BOSSE)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

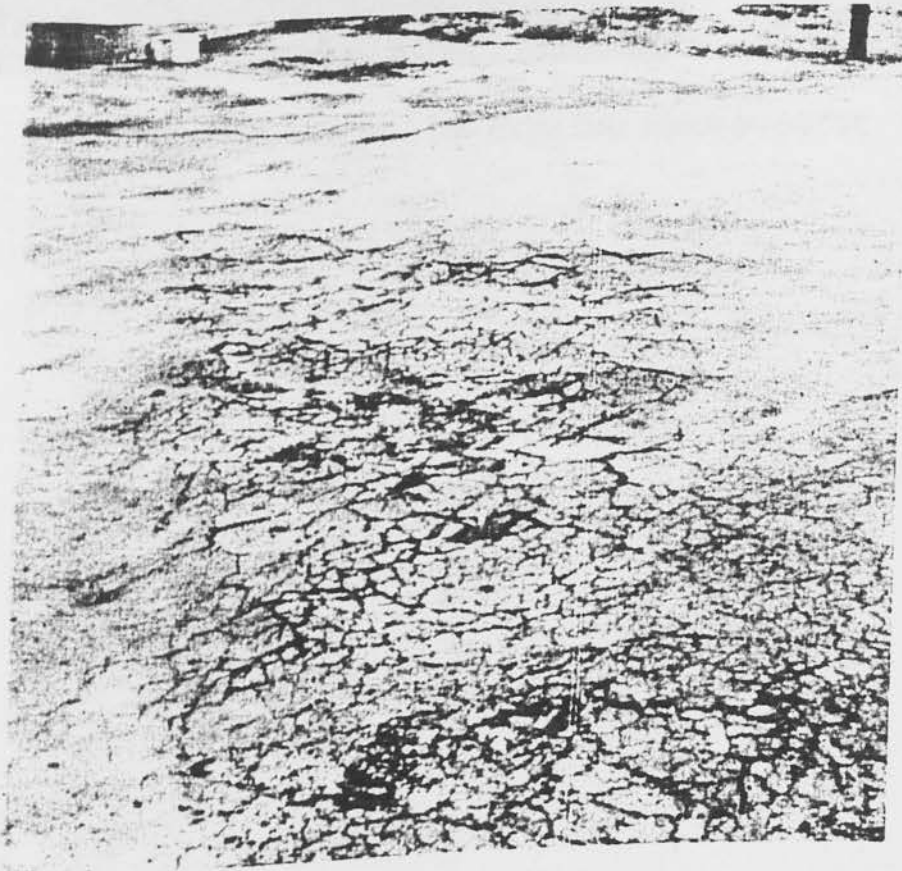
Τοπική ανύψωση του οδοστρώματος που συνοδεύεται με θραύση του στην ανυψωμένη περιοχή.

ΠΙΘΑΝΑ ΑΙΤΙΑ

Αύξηση υγρασίας σε εδάφη με μεγάλη πλαστικότητα, δράση παγετού.

ΕΞΕΛΙΞΗ

Προοδευτική επιδείνωση της παραμόρφωσης του οδοστρώματος μέχρι θραύσης.



Τοπική διογκωση

Π. 8. Στραβάδικας της επιφάνειας
ΠΕΤΡΟΣΑΚΤΩΝ - ΔΙΣΤΡΩΣΗ



Τοπική διόγκωση στην άκρη του οδοστρώματος

Π 8. Στρεβλώσεις της επιφάνειας

(DISTORSION - DISTORSION)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

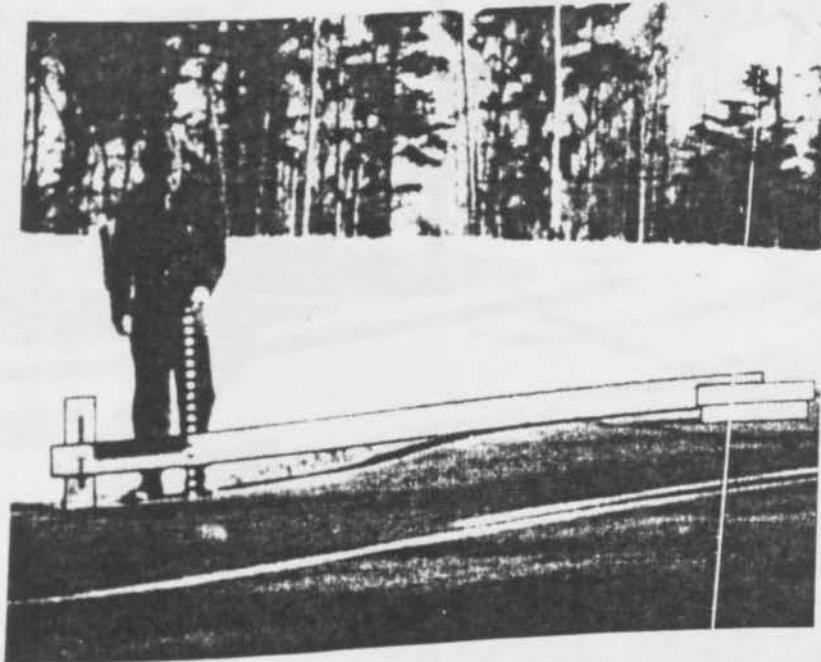
Παραμορφώσεις της επιφάνειας του οδοστρώματος με πολύ μεγάλες και ακανόνιστες αποκλίσεις από το αρχικό της σχήμα.

ΠΙΘΑΝΑ ΑΙΤΙΑ

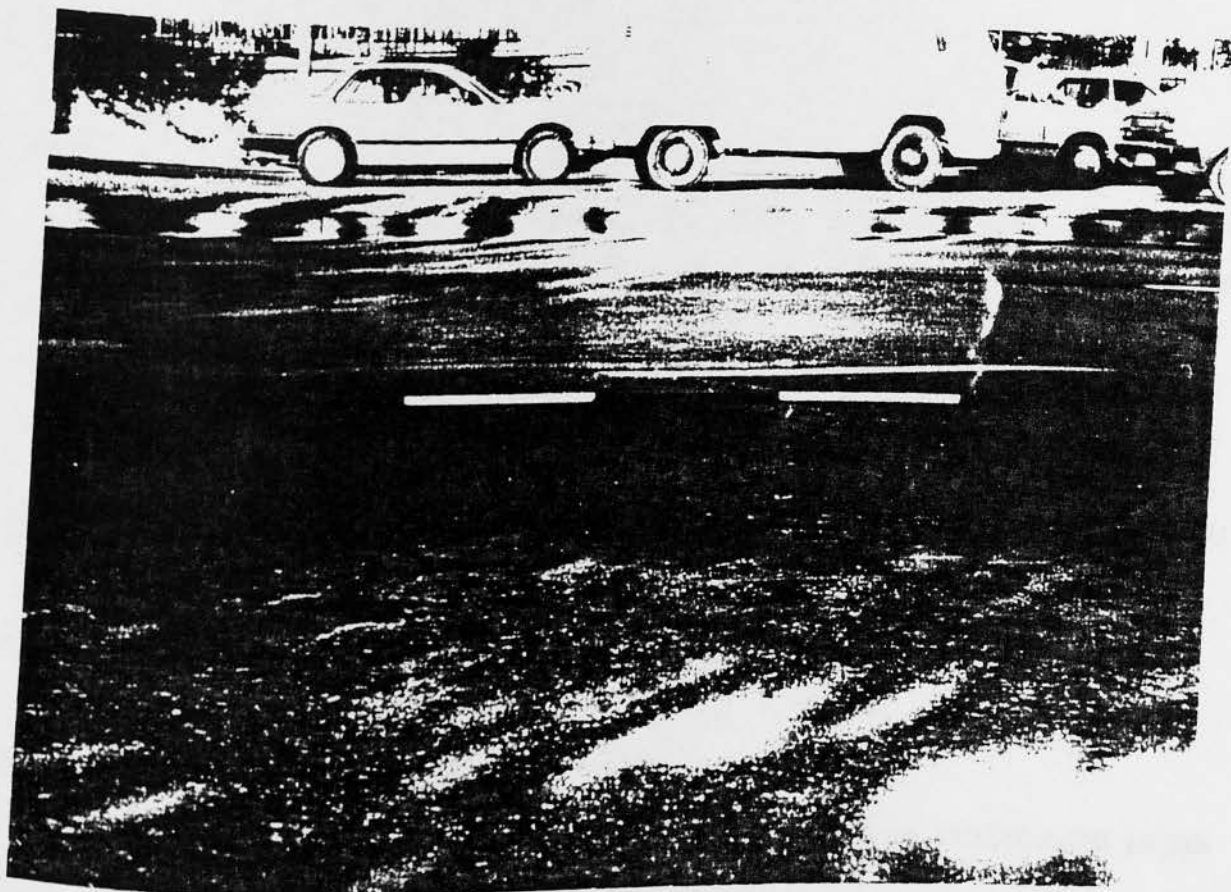
- Διαφορικές καθιζήσεις των κατωτέρων στρώσεων του οδοστρώματος
- Καθίζηση των άκρων του δρόμου, λόγω θραύσης του επιχώματος
- Κακή αποστράγγιση του δρόμου σε περιοχές ορυγμάτων

ΕΞΕΛΙΞΗ

Εξελίσσεται σύντομα (αύξηση των παραμορφώσεων, μπακλαβάδιασμα κ.λ.π.) με την επίδραση της κυκλοφορίας μέχρι θραύσης του οδοστρώματος.



Στρέβλωση επιφάνειας οδού



Στρέβλωση οδοστρώματος. Φαίνεται η εγκάρσια παραμόρφωση



Γενική άποψη της βλάβης σε καμπύλη

Π 9. Κατά μήκος κυματισμοί

(WAVE - ONDULATION)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

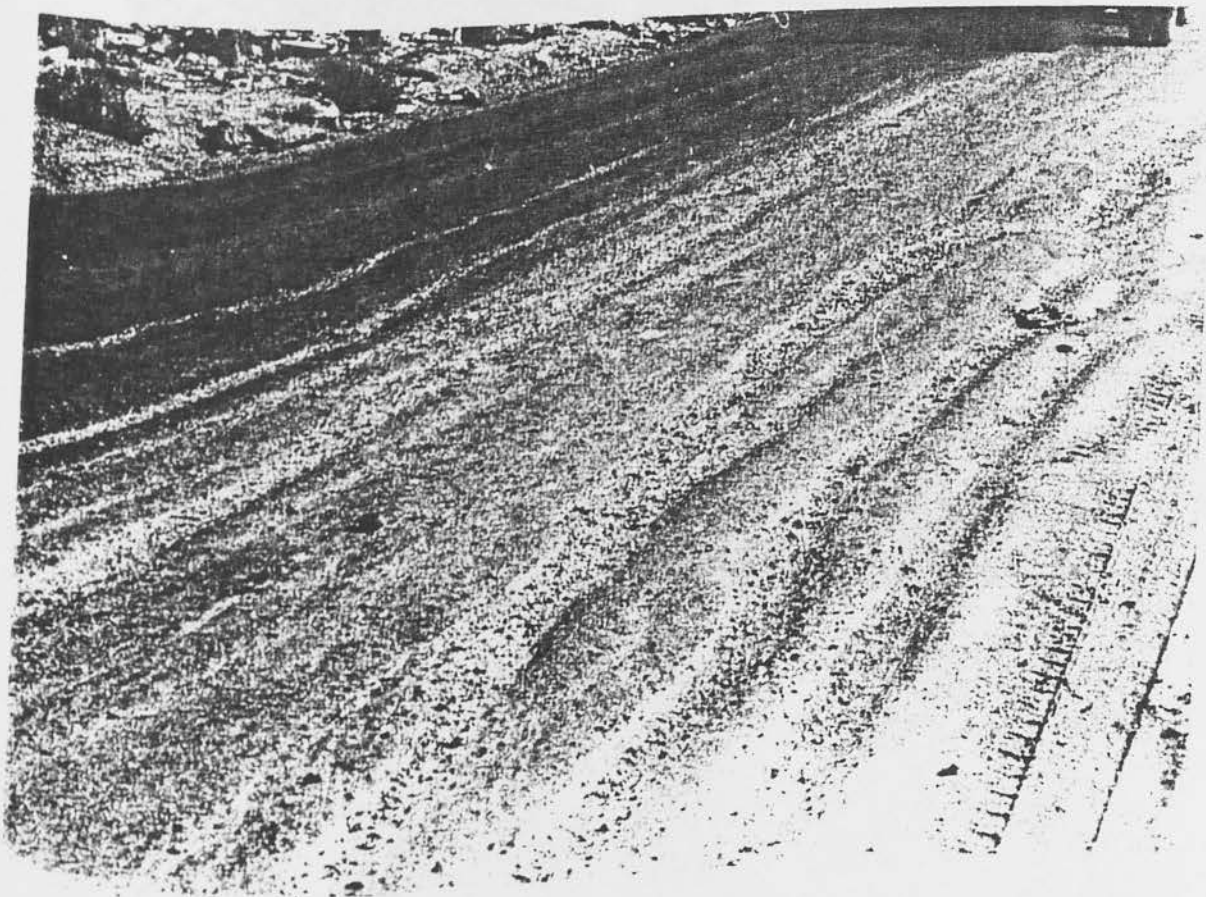
Παραμόρφωση της επιφάνειας του οδοστρώματος από την ύπαρξη μεγάλων κυματισμών με ανυψώσεις και βυθίσματα σε αποστάσεις συνήθως μεγαλύτερες από 60 εκ. κατά μήκος του δρόμου.

ΠΙΘΑΝΑ ΑΙΤΙΑ

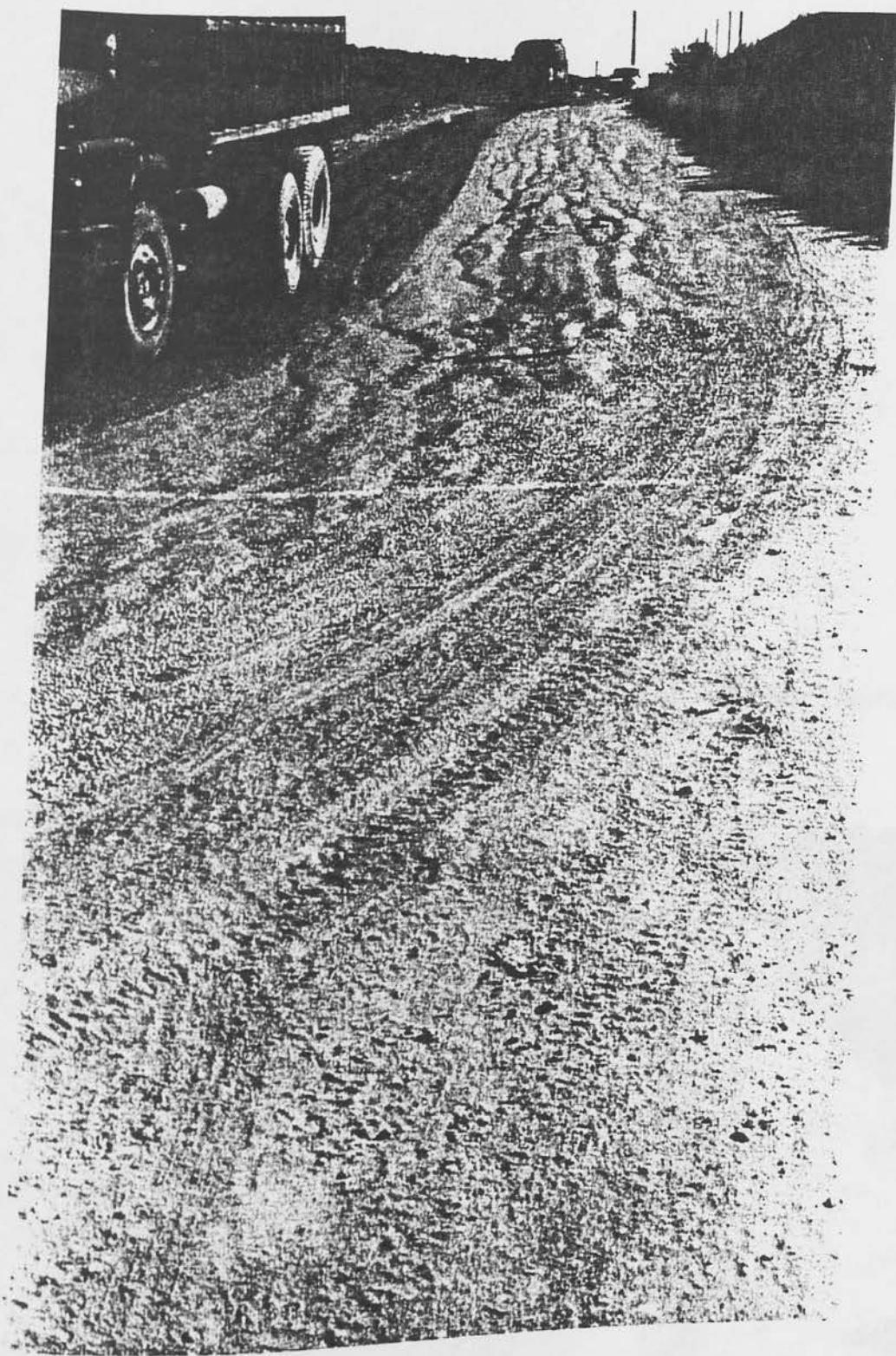
- Ανάπτυξη μεγάλων τάσεων στην υποδομή λόγω ανεπαρκούς πάχους του οδοστρώματος με αποτέλεσμα υποχωρήσεις και ανυψώσεις
- Κακή συμπύκνωση της υποδομής ή και των στρώσεων του οδοστρώματος

ΕΞΕΛΙΞΗ

Παραμόρφωση του οδοστρώματος με προοδευτική επιδείνωση μέχρι θραύσεως.



Κατά μήκος κυματισμοί



Γενική άποψη της βλάβης

2. ΡΗΓΜΑΤΩΣΕΙΣ

(CRACKS - FISSURES)

P 1. Ρηγματώσεις στην άκρη του οδοστρώματος

(PAVEMENT EDGE CRACKING - FISSURE EN RIVE)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

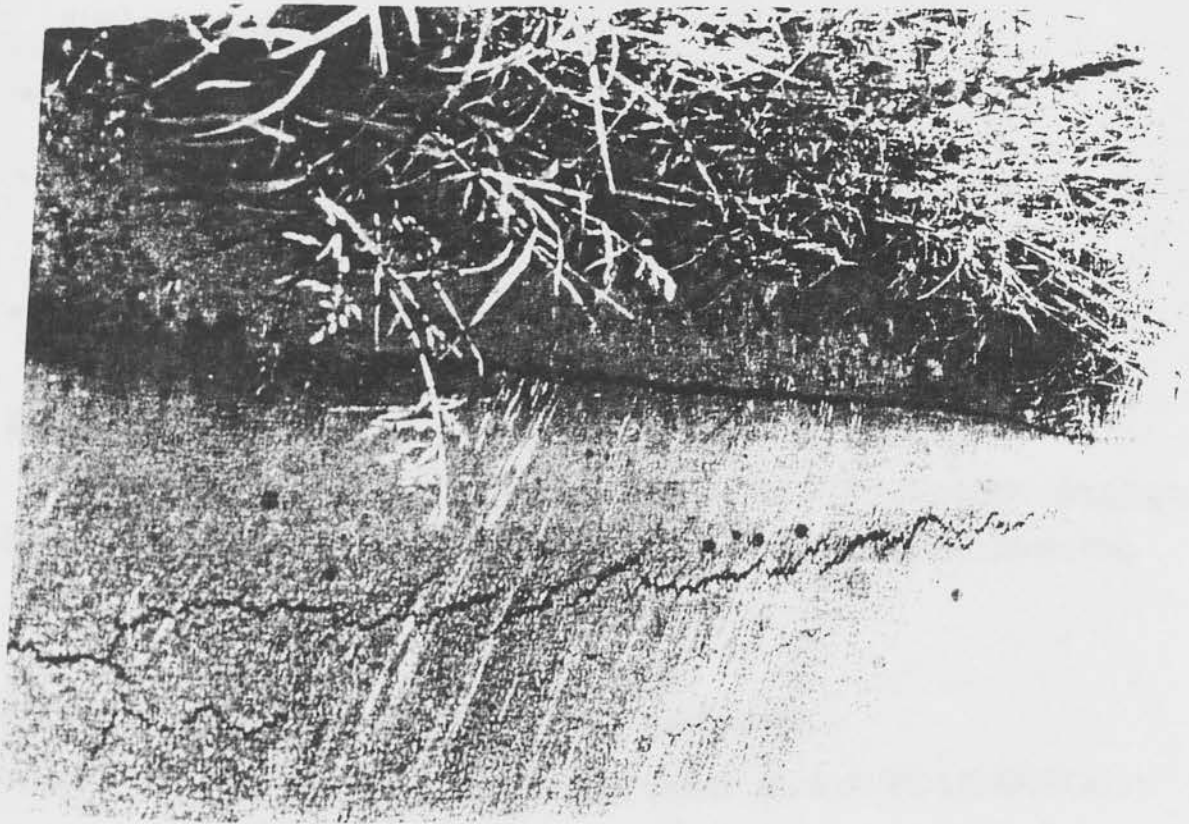
Επιμήκειες ρωγμές παράλληλες στον άξονα του δρόμου στα άκρα του οδοστρώματος.

ΠΙΘΑΝΑ ΑΙΤΙΑ

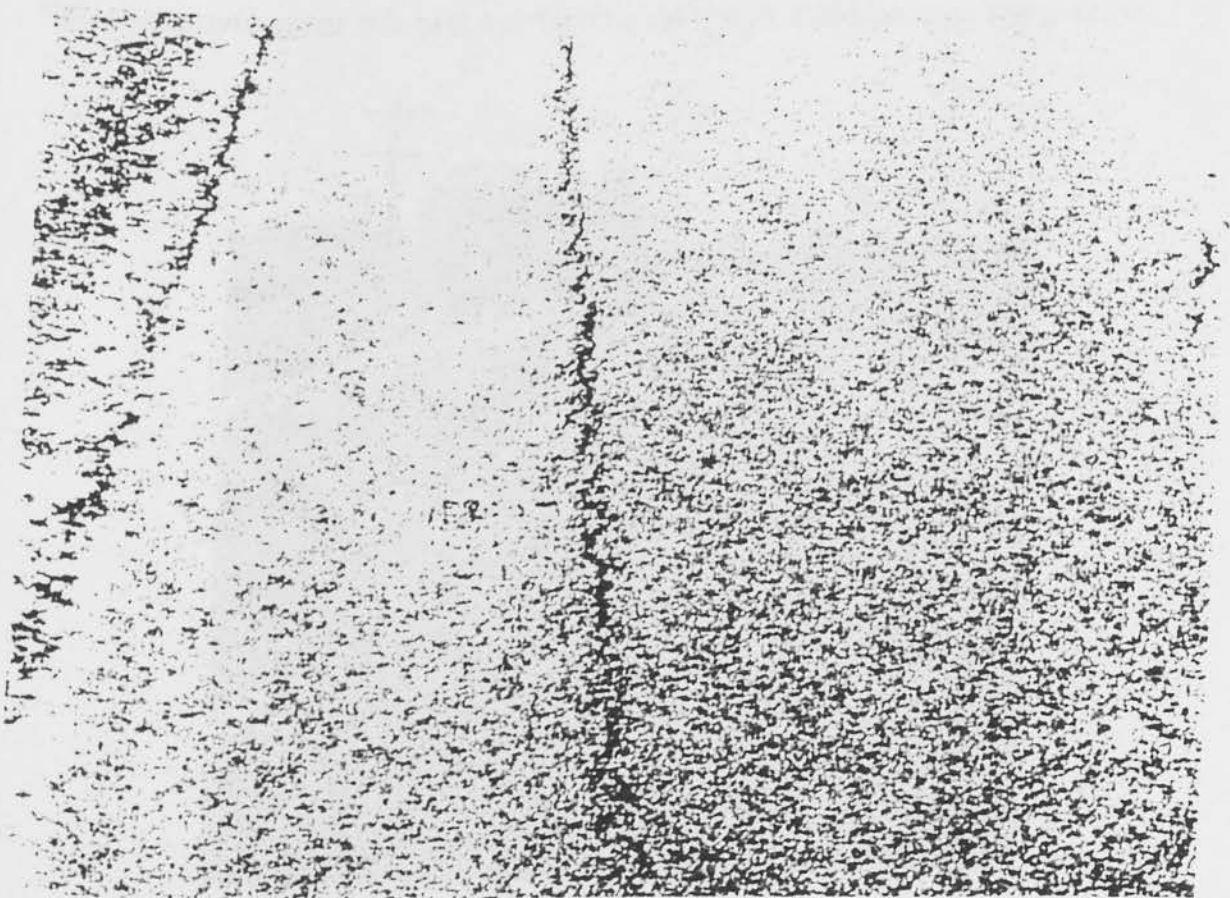
- Έλλειψη πλευρικής αντιστήριξης του οδοστρώματος
- Υποχώρηση των υποκειμένων στρώσεων, λόγω ανεπαρκούς συμπίκνωσης (συνήθως σε διαπλατύνσεις επιχωμάτων)



Ρηγμάτωση σε προχωρημένο στάδιο



Γενική άποψη της ρωγμής



Λεπτές ρωγμές χωρίς διακλαδώσεις

- Ανεπαρκές πλάτος οδοστρώματος που αναγκάζει τα οχήματα να κυκλοφορούν στην άκρη του
- Μικρό πάχος οδοστρώματος στα άκρα
- Κακή απορροή του νερού της βροχής στο άκρο του οδοστρώματος και στο έρεισμα, δράση παγετού
- Δράση της βλάστησης που βρίσκεται πολύ κοντά στην οδό

ΕΞΕΛΙΞΗ

Αύξηση του μήκους και του ανοίγματος των ρωγμών, δημιουργία δικτύου ρωγμών τύπου αλλιγάτορα, απόσπαση τεμαχίων οδοστρώματος.

P 2. Ευθύγραμμες ρηγματώσεις κόπωσης

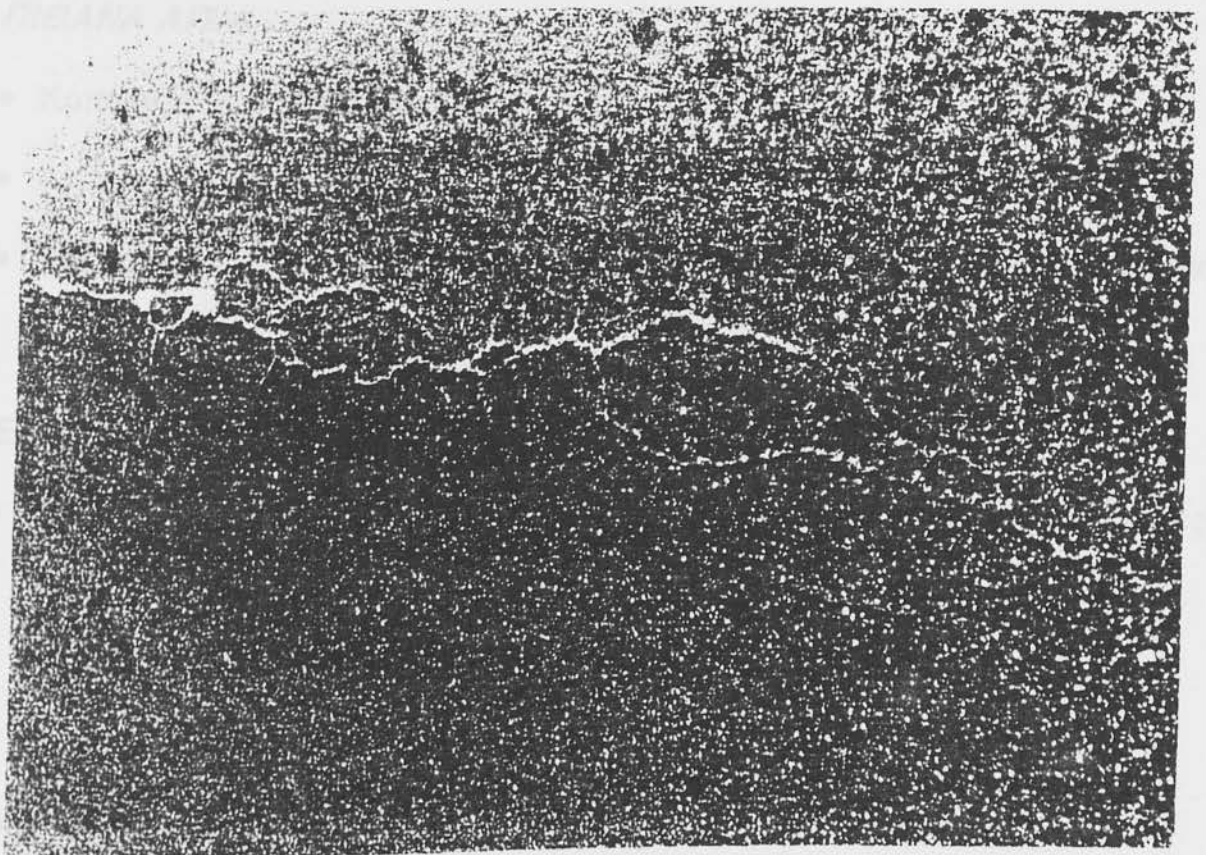
(WHEEL TRACK CRACKING - FISSUREW LONGITUDINALES DE FATIGUE)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Λεπτές ρωγμές επιμήκεις, παράλληλες προς τον άξονα του δρόμου που εμφανίζονται πάνω ή κοντά στα ίχνη των τροχών των οχημάτων.



Ρωγμή κόπωσης



Ρωγή στο τελευταίο στάδιο πριν την ρηγμάτωση τύπου αλιγάτορα.



Λεπτές ρωγμές χωρίς διακλαδώσεις

ΠΙΘΑΝΑ ΑΙΤΙΑ

- Κόπωση του οδοστρώματος
- Ανεπαρκής φέρουσα ικανότητα του οδοστρώματος ή του εδάφους
- Υποχώρηση της στρώσης κυκλοφορίας κάτω από την επίδραση βαριάς κυκλοφορίας (κυρίως την άνοιξη)

ΕΞΕΛΙΞΗ

- Το μήκος τους μεταβάλλεται από μερικά εκατοστά μέχρι μερικές δεκάδες μέτρα
- Εξελισσονται σε ρηγμάτωση τύπου αλλιγάτορα (P3)

P 3. Ρωγμές τύπου αλλιγάτορα (μπακλαβάδιασμα)

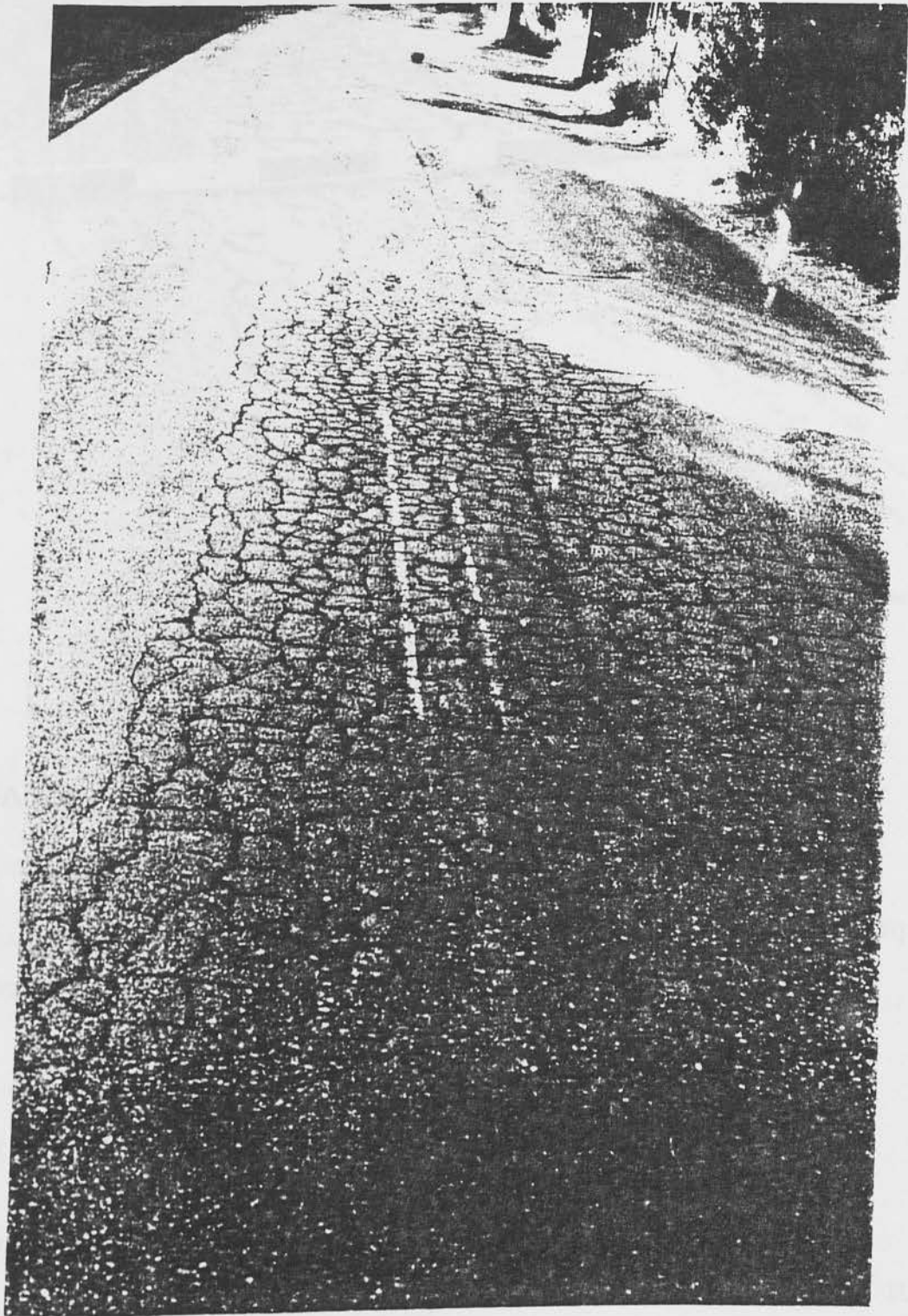
(ALLIGATOR CRACKS - FAÏENCAGE)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

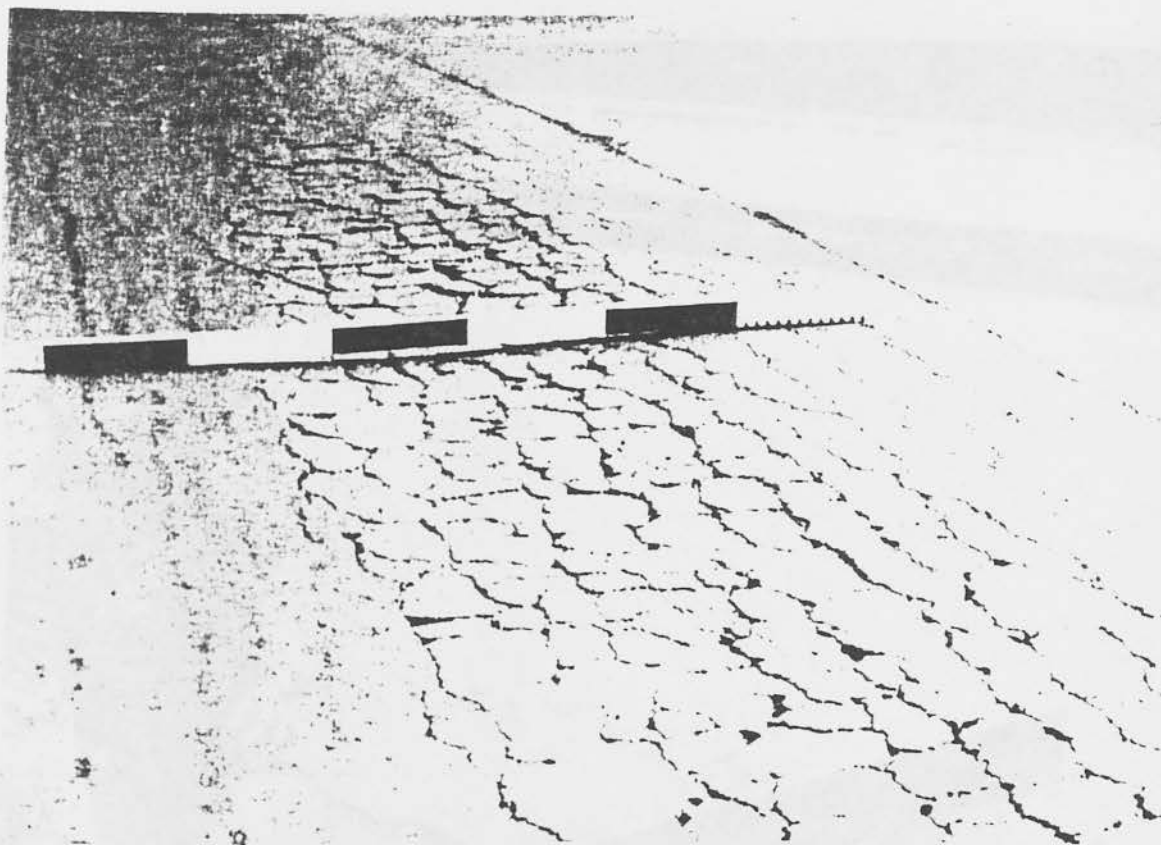
Σύνολο ρωγμών περισσότερο ή λιγότερο πυκνών που σχηματίζουν μικρά πολυγωνικά τμήματα μεγέθους 10-15 εκ. και έχουν την όψη δέρματος αλλιγάτορα

ΠΙΘΑΝΑ ΑΙΤΙΑ

- Κακή αποστράγγιση της βάσης και της υπόβασης ενός δρόμου
- Υπερβολική κόπωση του οδοστρώματος που οφείλεται σε ανεπαρκές πάχος των στρώσεων οδοστρωσίας ή της στρώσης κυκλοφορίας
- Στρώσεις οδοστρωσίας με μεγάλο δείκτη πλαστικότητας
- Εξέλιξη άλλου τύπου ρωγμών (συνήθως ρωγμών των άκρων του οδοστρώματος ή ρωγμών πολυγωνικού τύπου).



Γενική άποψη της βλάβης



Τελικό στάδιο φθοράς

ΕΞΕΛΙΞΗ

- Προοδευτική επέκταση του φαινομένου στην επιφάνεια της οδού
- Τελευταίο στάδιο ρηγμάτωσης - ακολουθεί αποσύνθεση του οδοστρώματος).

P 4. Ρωγμές από ανάκλαση

(REFLECTION CRACKS - FISSURE PAR REFLEXION)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Ρωγμές στην στρώση κυκλοφορίας παράλληλες, κάθετες ή σε τυχαίες γωνίες με τον άξονα του δρόμου. Τα χείλη της ρωγμής βρίσκονται συχνά σε διαφορετικές στάθμες.

ΠΙΘΑΝΑ ΑΙΤΙΑ

- Διαφορική καθίζηση του εδάφους έδρασης του οδοστρώματος (μικτές διατομές, μεταβατικά επιχώματα κ.λ.π.).



Ρωγή από ολίσθηση ποδιού επιχώματος
(ο κανόνας δείχνει την ανισοσταθμία των άκρων της)



Ρωγμή από μεταβολή της υδροαπορροφητικότητας αργιλώδους εδάφους

- Ολίσθηση του ποδιού επιχώματος
- Κίνηση μερικών εδαφών σε συνάρτηση με την υδροαπορροφητικότητά τους (συστολή - διόγκωση) και την καταπόνησή τους από την επίδραση των φορτίων της κυκλοφορίας.

ΕΞΕΛΙΞΗ

- Αύξηση ανοίγματος της ρωγμής και αύξηση της ανισοσταθμίας των άκρων της μέχρι την σταθεροποίηση της καθίζησης (όταν οφείλεται στις 2 πρώτες αιτίες).
- Μεταβολή του ανοίγματος της ρωγμής ανάλογα με την υδροαπορροφητικότητα του εδάφους (τρίτη αιτία).

P 5. Ρωγμές συστολής

(MAP CRACKING - FISSURATION EN BLOC)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

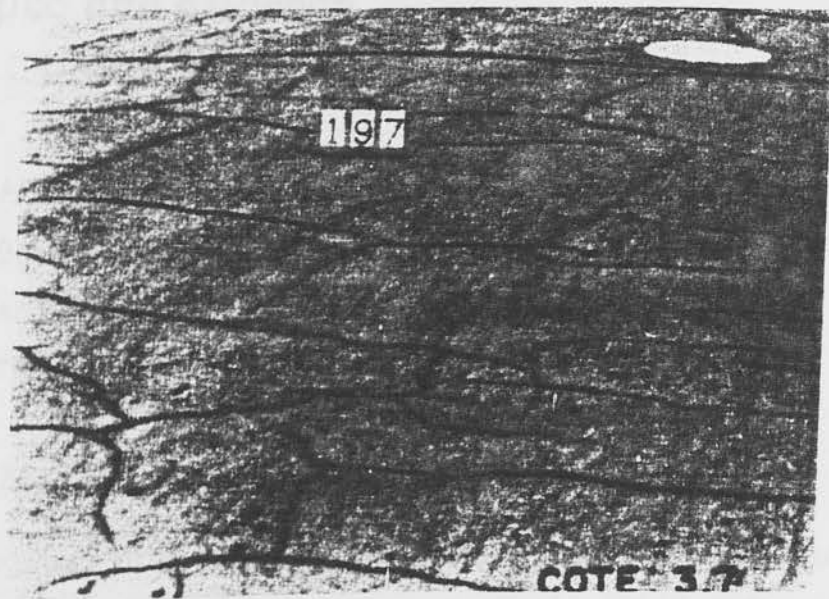
Μεμονομένες ή αλληλοσυνδεόμενες εγκάρσιες ρωγμές στο οδόστρωμα. Αυτές που εκτείνονται σε όλο το πλάτος του οδοστρώματος εμφανίζονται συνήθως σε ίσες αποστάσεις περίπου, ενώ αυτές που εκτείνονται σε ένα μέρος μόνο του πλάτους του οδοστρώματος εμφανίζονται σε μικρότερες και συνήθως σε άνισες αποστάσεις.

ΠΙΘΑΝΑ ΑΙΤΙΑ

- Μεταβολή του όγκου ασφαλτομίγματος που περιέχει λεπτόκοκκα αδρανή και πολύ άσφαλτο χαμηλού βαθμού διείσδυσης.
- Έλλειψη επαρκούς σύνδεσης της στρώσης κυκλοφορίας με τις υποκείμενες στρώσεις του οδοστρώματος
- Συστολή των στρώσεων του οδοστρώματος ή της υποδομής της οδού

ΕΞΕΛΙΞΗ

Διεύρυνση της ρωγμής, δημιουργία διακλαδώσεων, απόσπαση τεμαχίων του οδοστρώματος.



Γενική άποψη οδοστρώματος που έχει υποστεί ρηγμάτωση από συστολή



Ρωγμές συστολής. Λεπτομέρεια.

P 6. Ρωγμές από ολίσθηση

(SLIPPAGE CRACKS - FISSURE DE GLISSEMENT)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

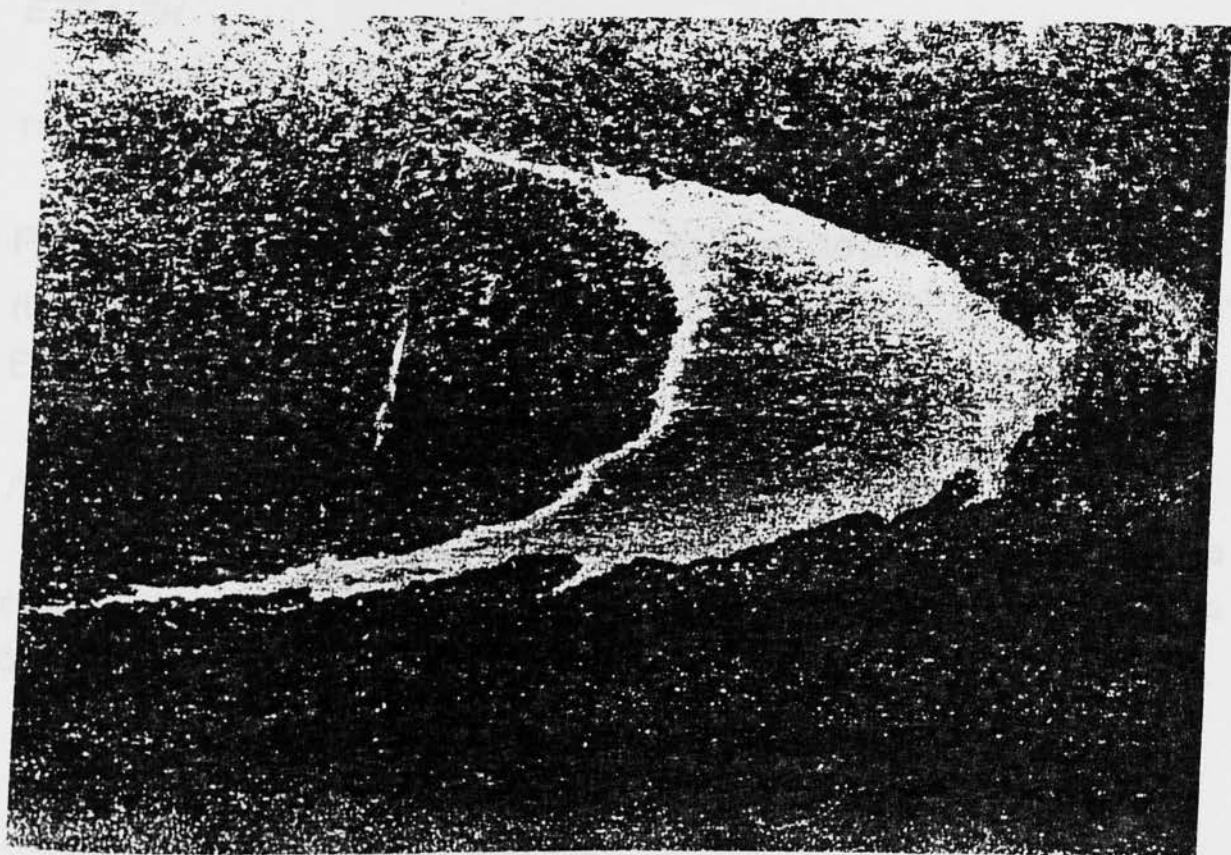
Παραβολική ρωγμή (σχήματος μισοφέγγαρου) με το κυρτό μέρος προς την κατεύθυνση ώθησης των τροχών των οχημάτων (σε περίπτωση τροχοπέδησης η κατεύθυνση ώθησης των τροχών αντιστρέφεται).

ΠΙΘΑΝΑ ΑΙΤΙΑ

- Έλλειψη καλής σύνδεσης μεταξύ της στρώσης κυκλοφορίας και των υποκείμενων στρώσεων (παράληψη ή κακή κατασκευή συγκολλητικής επάλειψης, ύπαρξη μεταξύ των στρώσεων σκόνης, χωμάτων, νερού, ορυκτελαίων κ.λ.π.).
- Κακή συμπίκνωση της στρώσης κυκλοφορίας
- Μεγάλη περιεκτικότητα του ασφαλτομίγματος σε άμμο.



Λεπτομέρεια ρωγμής ολίσθησης



Ρωγμή ολίσθησης



ΕΞΕΛΙΞΗ

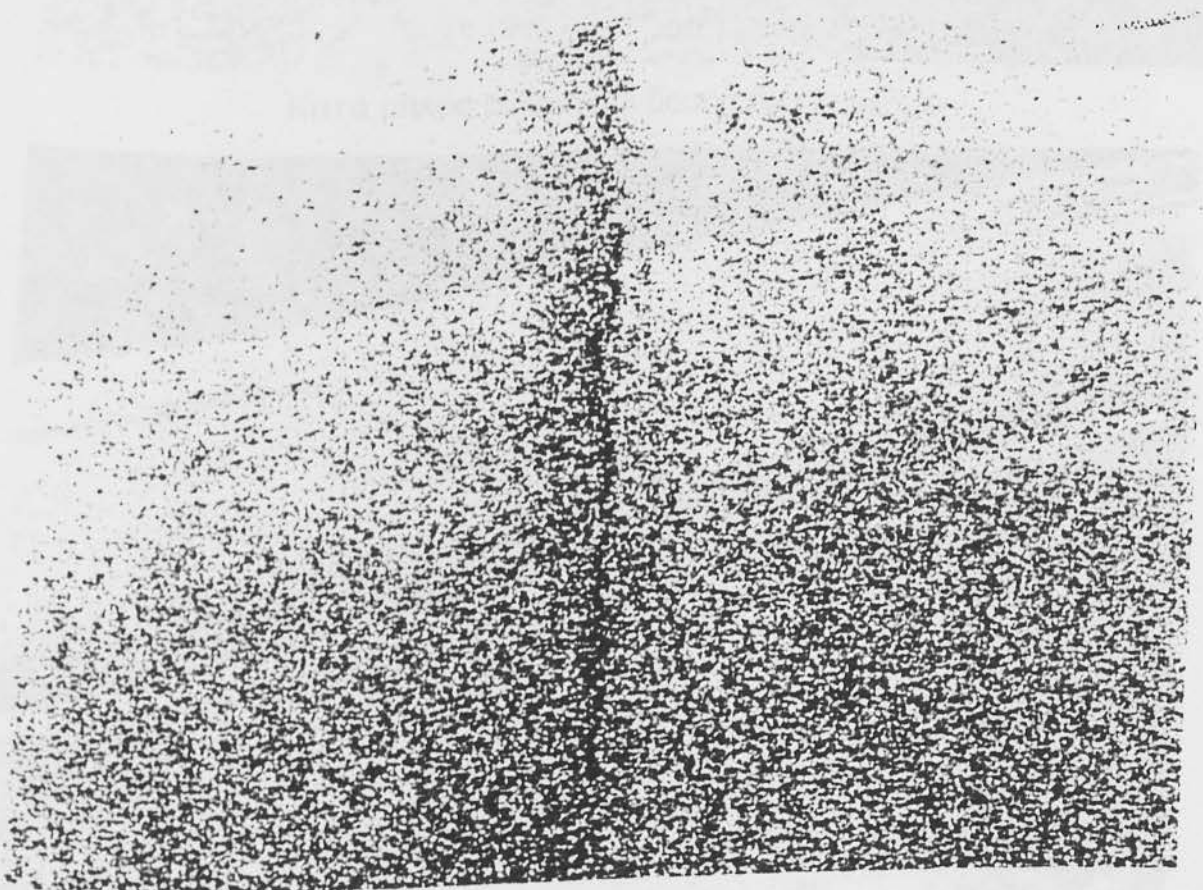
Διεύρυνση της ρωγμής, δημιουργία διακλαδώσεων, απόσπαση τεμαχίων του οδοστρώματος.

P 7. Ρωγμές στη σύνδεση δυο λωρίδων ασφαλτομίγματος

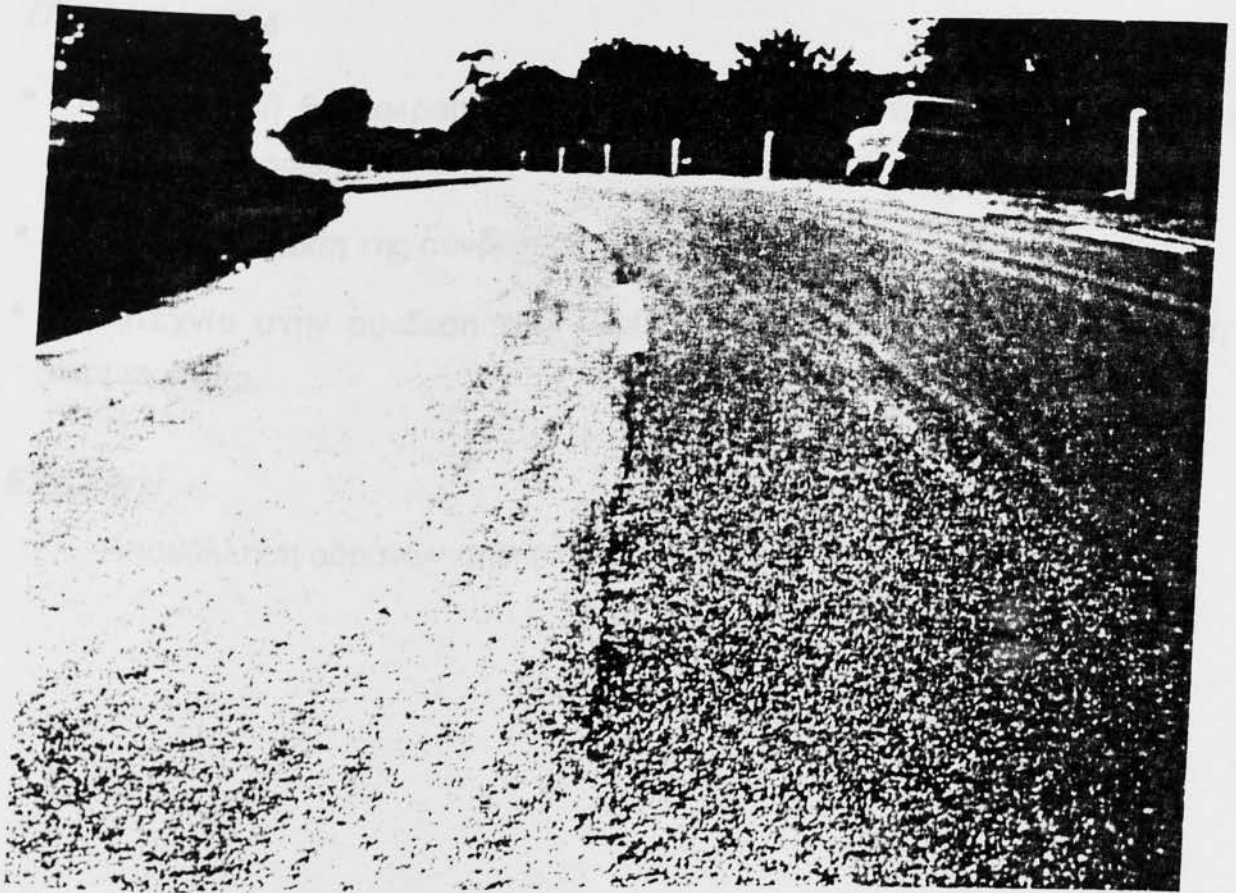
(LANE JOINT CRACK - RACCORDEMENT DEFECTUEUX DE DEUX BANDES D' ENROBES)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Ευθύγραμμη ρωγή με ελεύθερα άκρα που εμφανίζεται στα σημεία ένωσης δυο λωρίδων ασφαλτομίγματος (κακή συρραφή) ή στα σημεία διακοπής της εργασίας τοποθέτησης ασφαλτοτάπητα (εγκάρσια ρωγή).



Λεπτομέρεια



Κατά μήκος ρωγμή σύνδεσης δυο λωρίδων



Εγκάρσια ρωγμή διακοπής εργασίας

ΠΙΘΑΝΑ ΑΙΤΙΑ

- Πολύ χαμηλή θερμοκρασία του ασφαλτομίγματος που στρώθηκε πρώτο (στο σημείο ραφής).
- Κακή συμπύκνωση της σύνδεσης.
- Κακοτεχνία στην σύνδεση των λωρίδων που κάθε μια έχει διαφορετική θερμοκρασία.

ΕΞΕΛΙΞΗ

Αποκόλληση αδρανών από τα χείλη της ρωγμής.

3. ΑΠΟΣΥΝΘΕΣΕΙΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ - ΑΝΑΔΥΣΕΙΣ

(SURFACE DEFICIENCIES - BLEEDINGS ARRACHEMENTS - REMONTEES)

A 1. Λάκκοι (φωλιές)

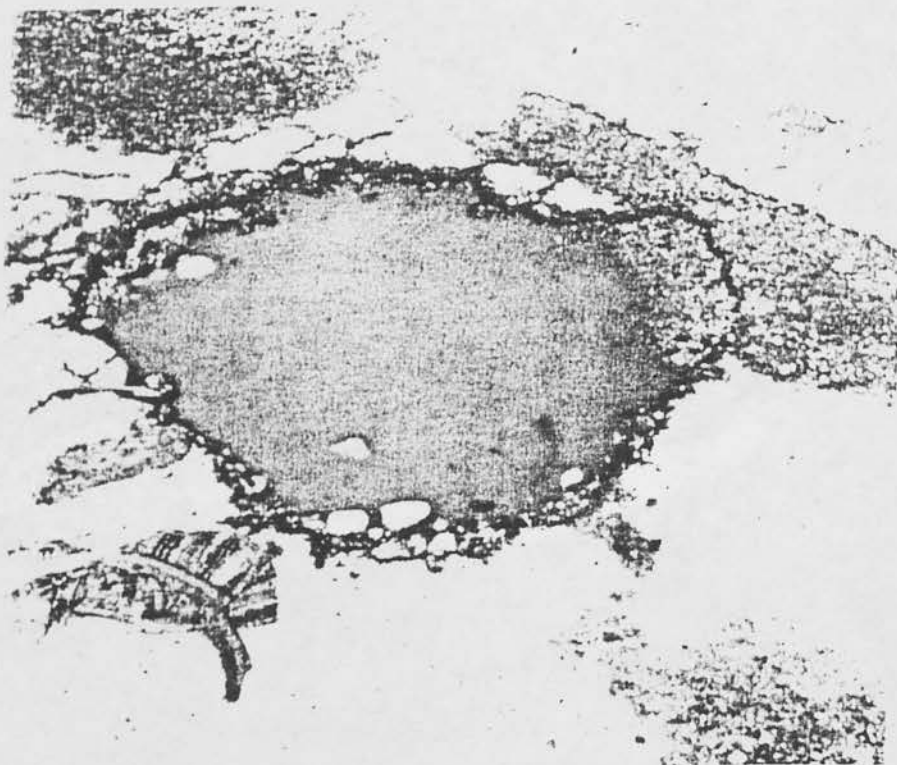
(POTHOLE - NID DE POULE)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Είναι τρύπες διαφόρων μεγεθών στο οδόστρωμα σε σχήμα μικρής λεκάνης. Προέρχονται από τοπική αποσύνθεση του οδοστρώματος.

ΠΙΘΑΝΑ ΑΙΤΙΑ

- Ανεπαρκής αντοχή του οδοστρώματος (μειωμένο πάχος ασφαλτικής στρώσης, μικρή περιεκτικότητα σε άσφαλτο, έλλειψη ή υπερβολική ποσότητα παιπάλης).
- Ανεπαρκής αποστράγγιση της οδού.
- Εξέλιξη άλλων φθορών (ρωγμές τύπου αλλιγάτορα, καθίζηση κ.α.)



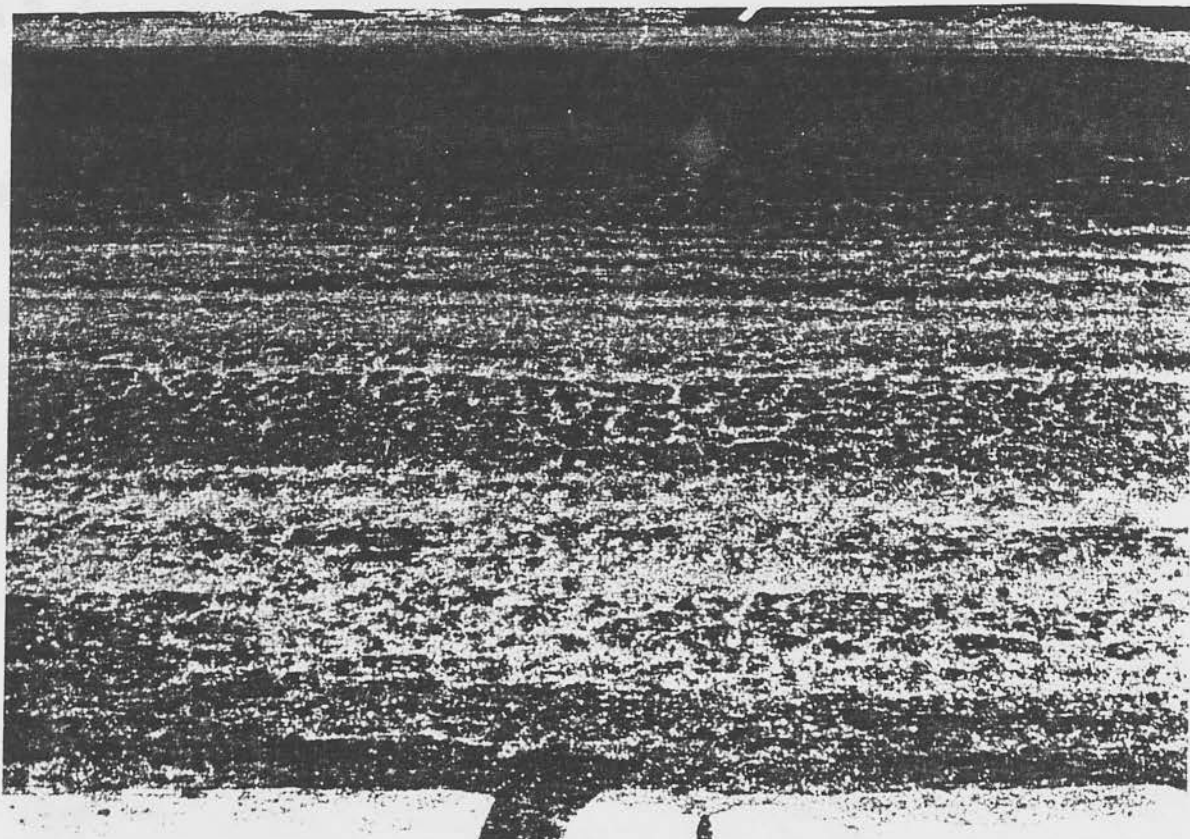
Λάκκος με νερό



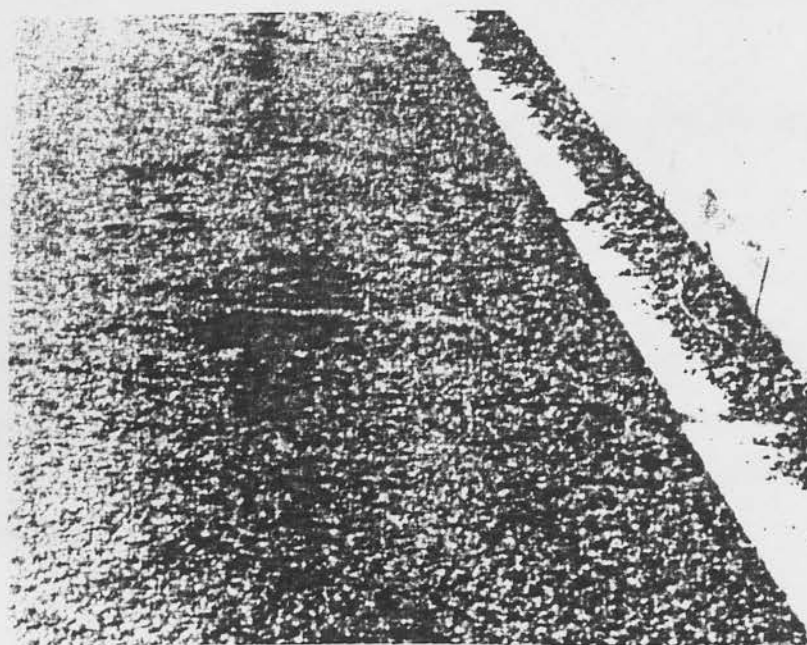
Γενική άποψη οδοστρώματος με λάκκους



Λεπτομέρεια: διακρίνεται η υποκείμενη στρώση



Απόσπαση αδρανών



A 3. Απόσπαση αδρανών ασφαλτικών επαλείψεων

(STREAKING, PEIGNAGE)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Απόσπαση των αδρανών, ιδιαίτερα των χονδροκόκκων, από την επιφάνεια της ασφαλτικής επάλειψης ή από τάπητα στον οποίο έχουν εμπηχθεί σκληρά αδρανή

ΠΙΘΑΝΑ ΑΙΤΙΑ

- Μικρή περιεκτικότητα ασφάλτου ή κακή συνοχή του ασφαλτικού συνδετικού
- Ανεπαρκής συμπύκνωση (ιδιαίτερα όταν πρόκειται για έμπηξη ψηφίδων) ή όχι έγκαιρη συμπύκνωση (αμέσως μετά την διάστρωση των σκληρών αδρανών).
- Παράδοση του δρόμου σε κυκλοφορία προτού επιτευχθεί η συγκόλληση της ασφάλτου με τις ψηφίδες.
- Κατασκευή των ασφαλτικών επαλείψεων με κακές καιρικές συνθήκες (βροχές, χαμηλές θερμοκρασίες κ.λ.π.)
- Μεγάλες εφραπτομενικές καταπονήσεις (καμπύλες, ανακάμποντες ελιγμοί με μεγάλες κλίσεις κ.λ.π.)
- Κακοτεχνία στη διάστρωση της συγκολλητικής επάλειψης (κλειστά μπέκ, μικρή πίεση στο σύστημα άντλησης και ψεκασμού).

ΕΞΕΛΙΞΗ

Με την πάροδο του χρόνου έχουμε αποσύνθεση της επιφάνειας του οδοστρώματος με την δημιουργία λάκκων. Το τελευταίο αίτιο δημιουργεί εναλλαγή λεπτών και παχειών λωρίδων ασφάλτου παράλληλων προς τον άξονα του δρόμου.



Απόσπαση αδρανών ασφαλτικών επαλλείψεων



A 4. Απογύμνωση αδρανών

(PROTRUSION OF AGGREGATES, DESENROBAGE)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

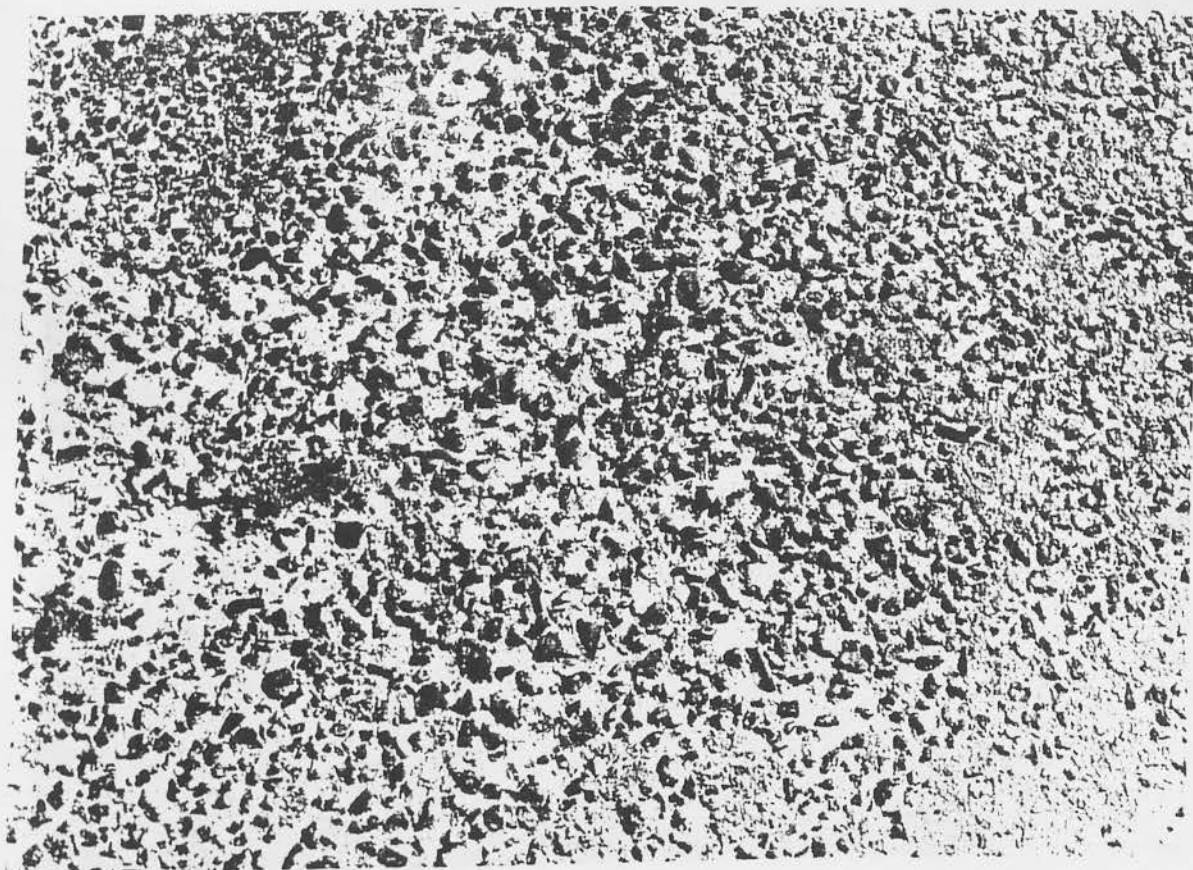
Απώλεια λεπτόκοκκων αδρανών και ασφαλτικού υλικού γύρω από τα αδρανή μιας στρώσης κυκλοφορίας.

ΠΙΘΑΝΑ ΑΙΤΙΑ

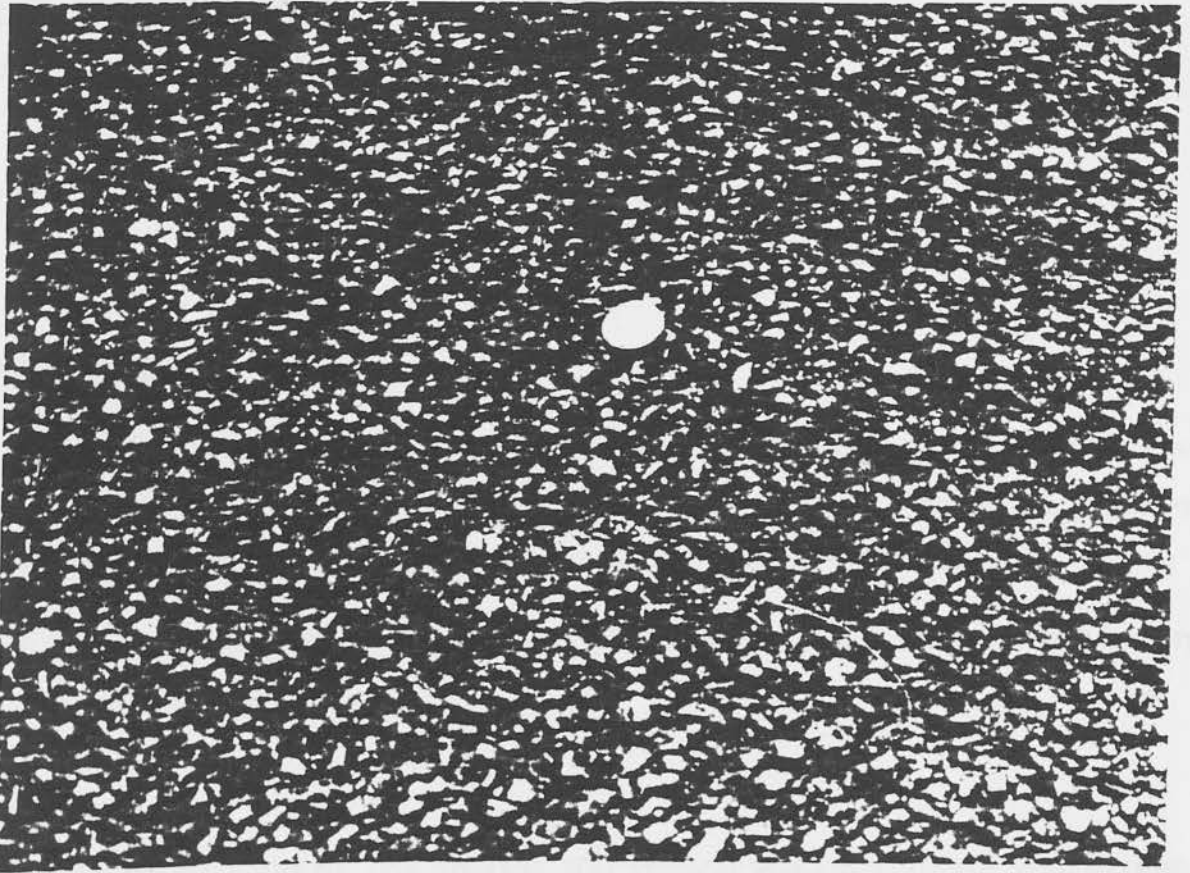
- Ανεπαρκής συνάφεια συνδετικού υλικού, αδρανών
- Κατασκευή τάπητα με κακές καιρικές συνθήκες
- Συγκέντρωση νερών στο οδόστρωμα

ΕΞΕΛΙΞΗ

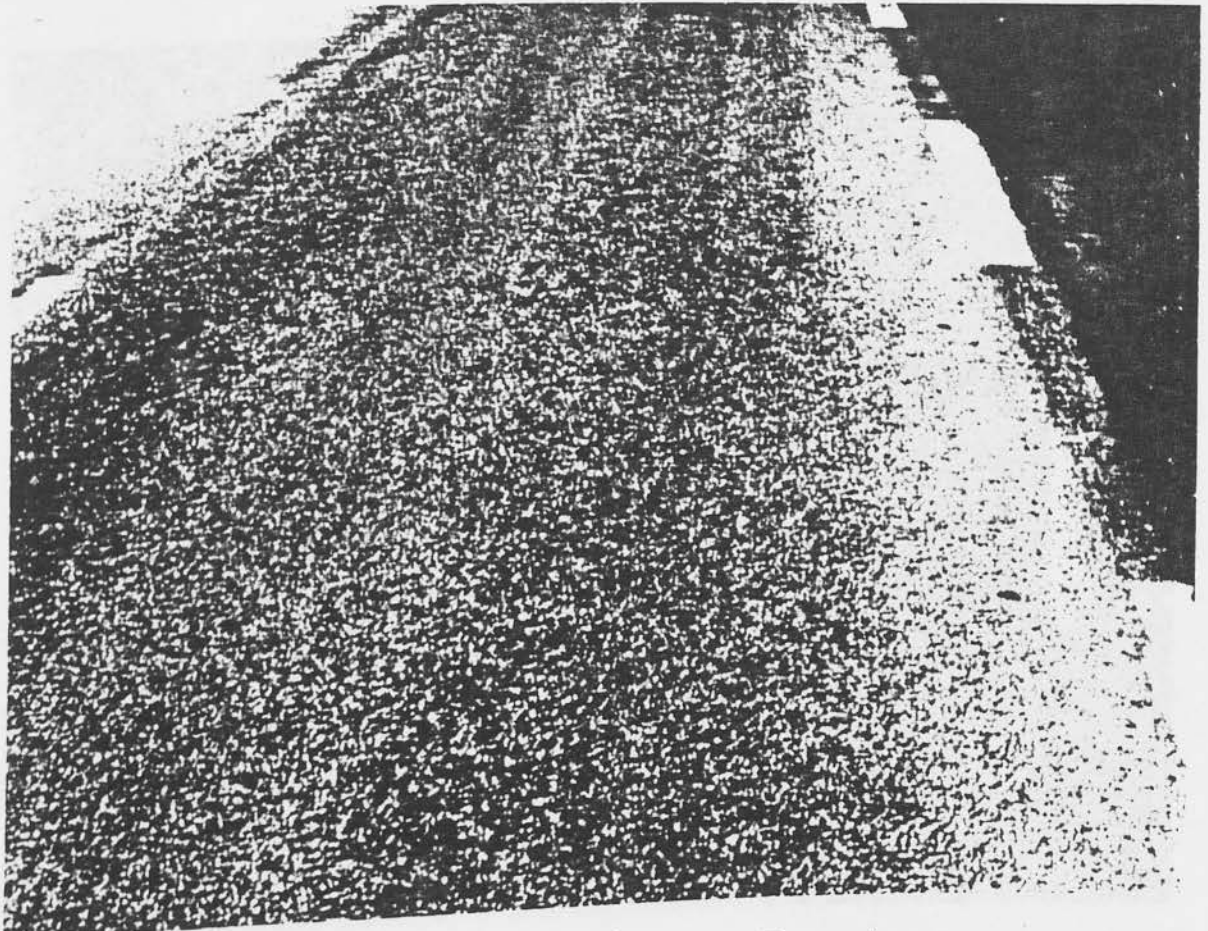
Αύξηση της διαπερατότητας του ασφαλτομίγματος με σύγχρονη απώλεια σκύρων που δεν συγκρατούνται μετά την απογύμνωσή τους.



Ασφαλτοτάπητας που έχει απογυμνωθεί



Λεπτομέρεια απογυμνομένου ασφαλτοτάπητα



Γενική άποψη απογυμνωμένου οδοστρώματος

A 5. Λείανση αδρανών (στίλβωση)

(POLISHED AGGREGATE, GRANULATS POLIS)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

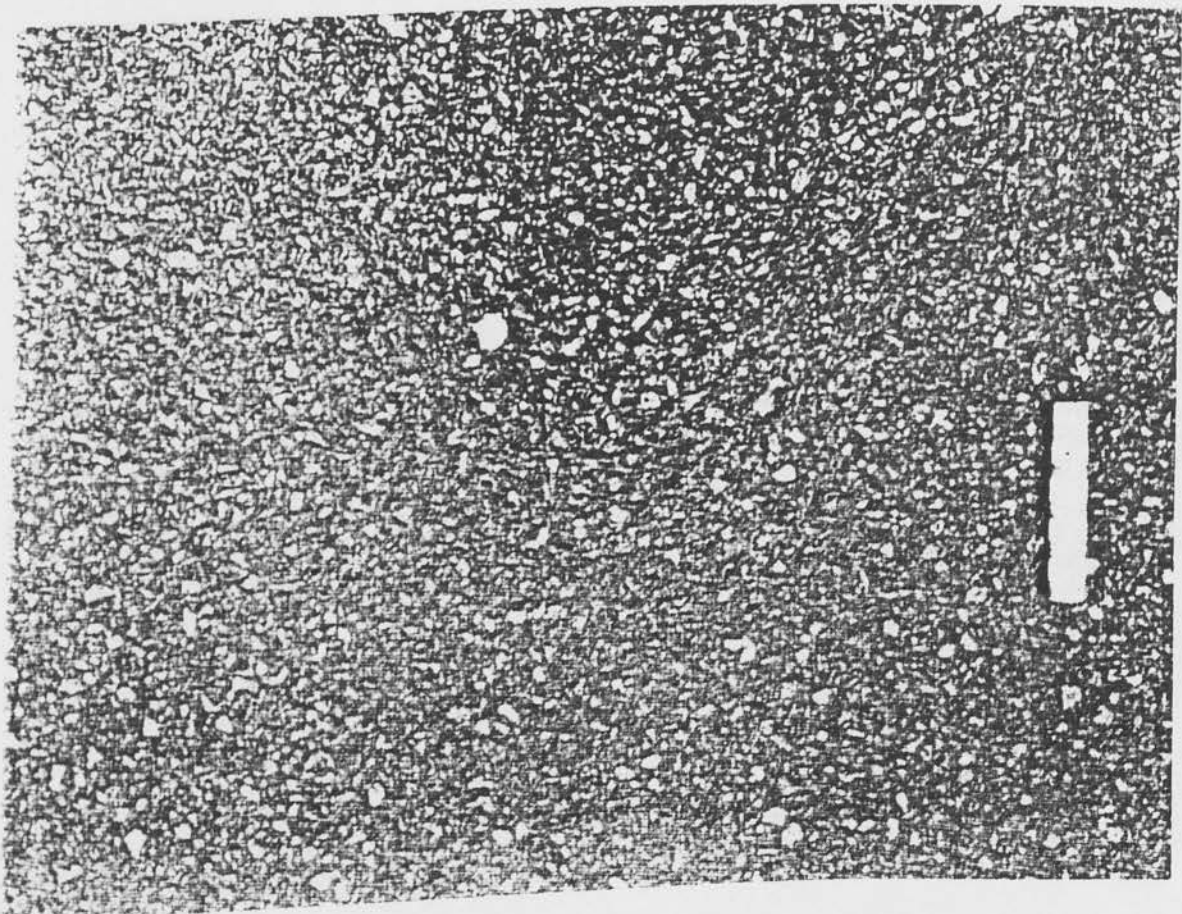
Λεία και ολισθηρή επιφάνεια κύλισης με γυαλιστερή όψη

ΠΙΘΑΝΑ ΑΙΤΙΑ

- Λείανση των αδρανών της επιφανειακής ασφαλτικής στρώσης από την επίδραση της κυκλοφορίας (συνήθως πρόκειται για αδρανή με μεγάλο συντελεστή φθοράς σε τριβή και κρούση κατά LOS ANGELES).
- Βύθιση των χονδροκόκκων αδρανών στο ασφατόμιγμα από την επίδραση της κυκλοφορίας

ΕΞΕΛΙΞΗ

Το οδόστρωμα με την πάροδο του χρόνου γίνεται λείο και γυαλιστερό με αποτέλεσμα την αύξηση της ολισθηρότητάς του.



Λεπτομέρεια ασφαλτοτάπητα που έχει υποστεί λείανση

A 6. Αποκόλληση υλικού κατά πλάκες

(PEELING - PELADE)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

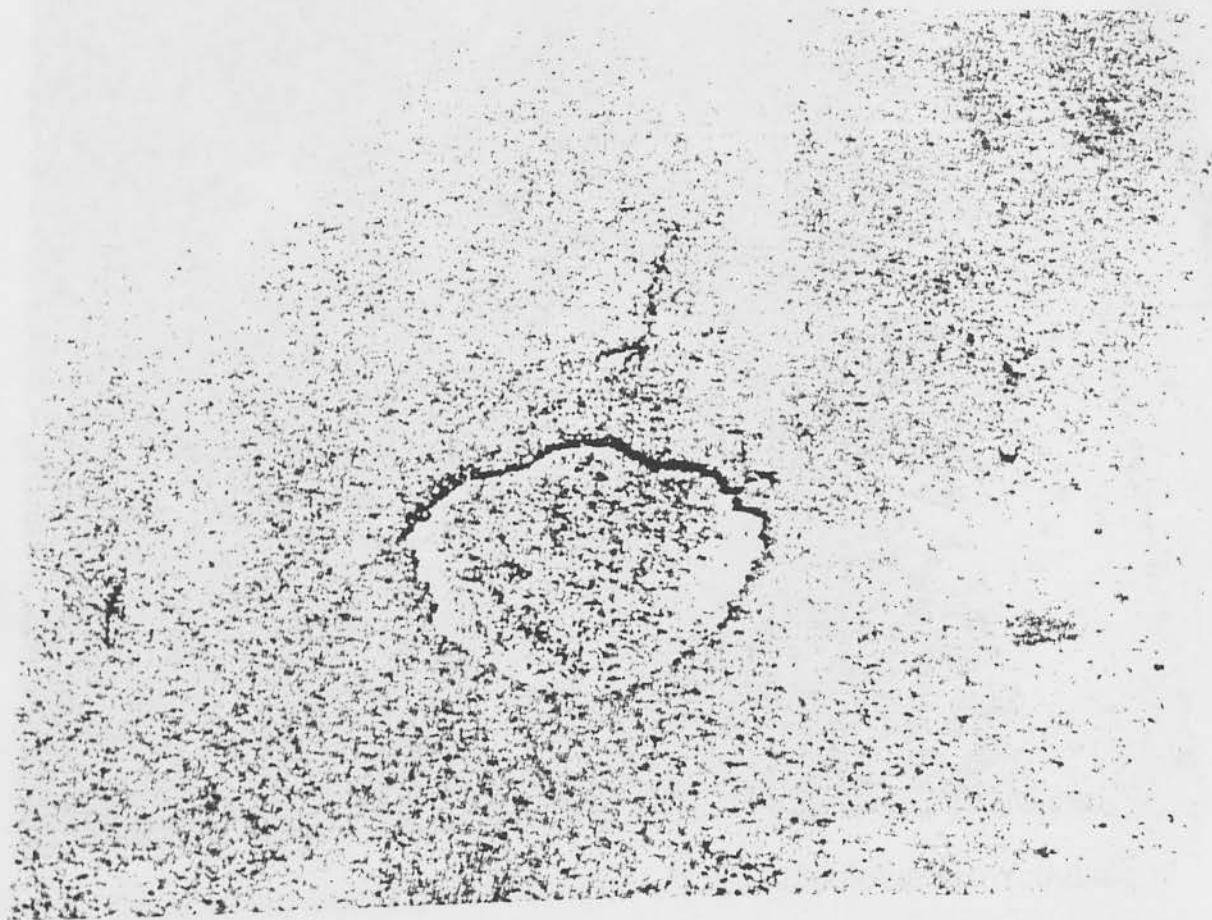
Αποκόλληση της στρώσης κυκλοφορίας κατά πλάκες.

ΠΙΘΑΝΑ ΑΙΤΙΑ

- Μικρό πάχος της στρώσης κυκλοφορίας
- Κακή συγκόλληση της στρώσης κυκλοφορίας με την υποκείμενη στρώση (π.χ. απουσία συγκολλητικής).

ΕΞΕΛΙΞΗ

Επέκταση σε αριθμό και έκταση των τμημάτων που έχουν υποστεί την υπόψη βλάβη.



Λεπτομέρεια: αποκόλληση υλικού κατά πλάκες



Οδόστρωμα που παρουσιάζει πολλές αποκολλήσεις κατά πλάκες

A 7. Ανάδυση ασφάλτου

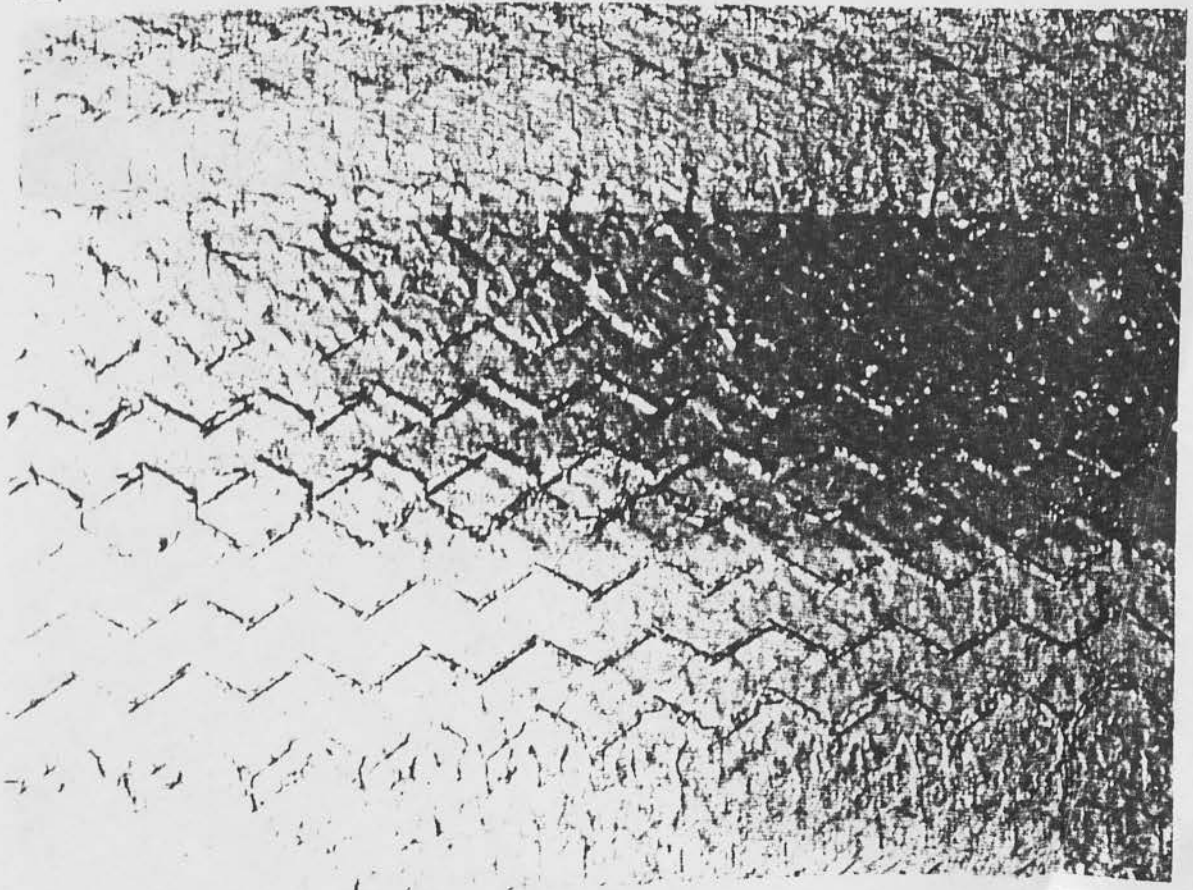
(FLUSHING - RESSUAGE)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

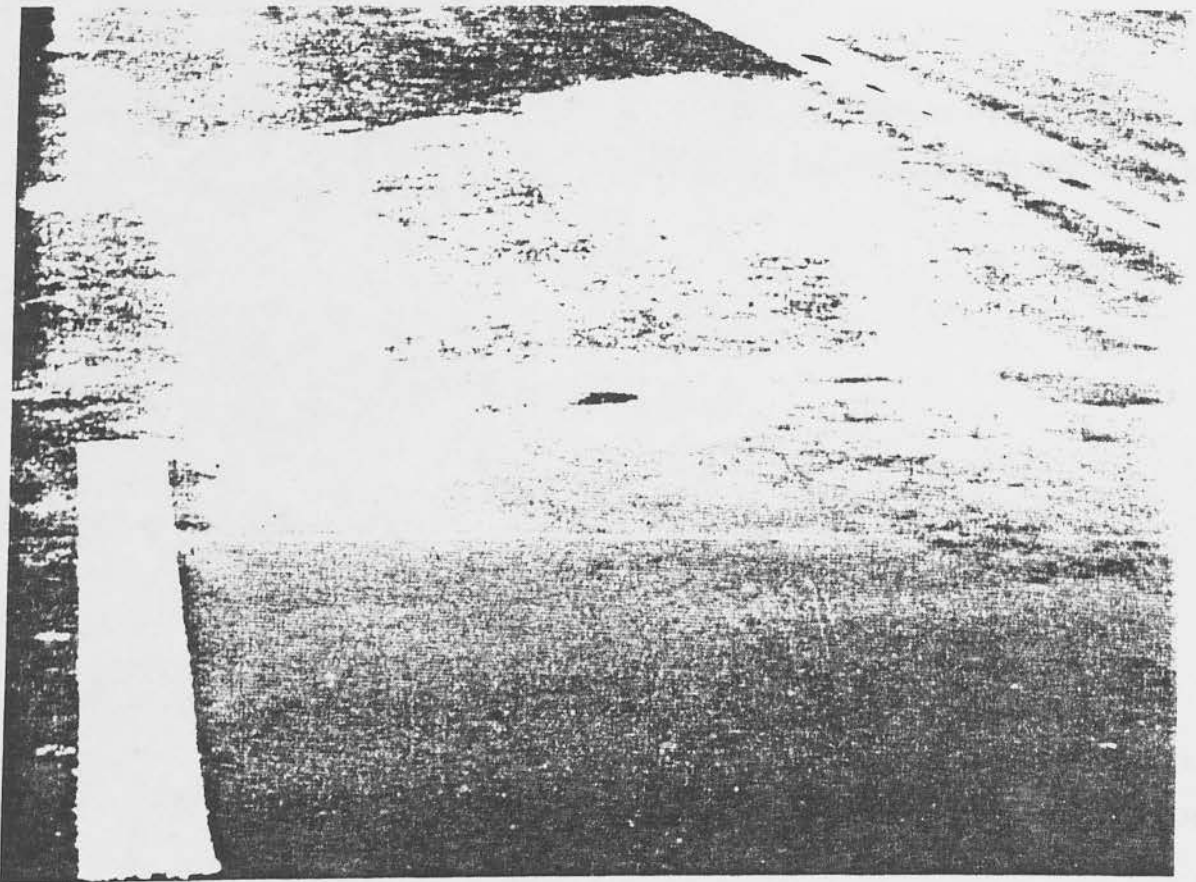
Παρουσία ασφάλτου στην επιφάνεια του οδοστρώματος που του δίνει μαύρη και γυαλιστερή όψη

ΠΙΘΑΝΑ ΑΙΤΙΑ

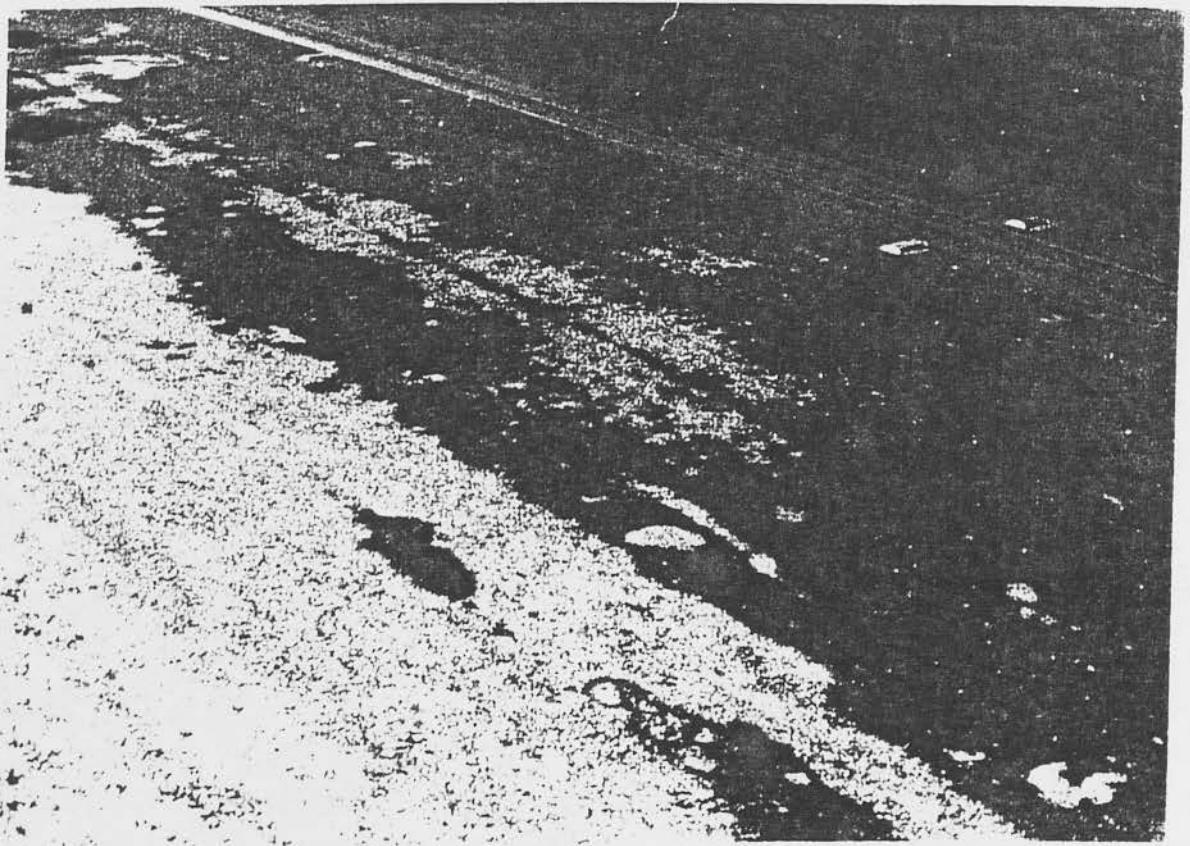
- Μεγάλη περιεκτικότητα ασφάλτου στο ασφαλτόμιγμα
- Χρήση μαλακής ασφάλτου
- Κακοτεχνία στην κατασκευή σφραγιστικής επάλειψης
- Μεγάλη ποσότητα ασφαλτικού υλικού στην προεπάλειψη ή στην συγκολλητική επάλειψη (σε εποχές με υψηλή θερμοκρασία).
- Βαριά κυκλοφορία, που συμπυκνώνει υπερβολικά το ασφαλτόμιγμα. Η περίσσεια ασφάλτου αναδύεται στην επιφάνεια



Λεπτομέρεια ανάδυσης ασφάλτου όπου φαίνεται και το αποτύπωμα ελαστικού



Γενική άποψη ανάδυσης σε ασφαλτοτάπητα



Ανάδυση ασφάλτου

ΕΞΕΛΙΞΗ

Εμφάνιση της ασφάλτου στις τροχιές των οχημάτων σε περιόδους που έχουμε υψηλές θερμοκρασίες. Συνοδεύεται με παραμόρφωση της στρώσης κυκλοφορίας.

A 8. Ανάδυση νερού

(BLEEDING OF WATER, REMONTEES D' EAU)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

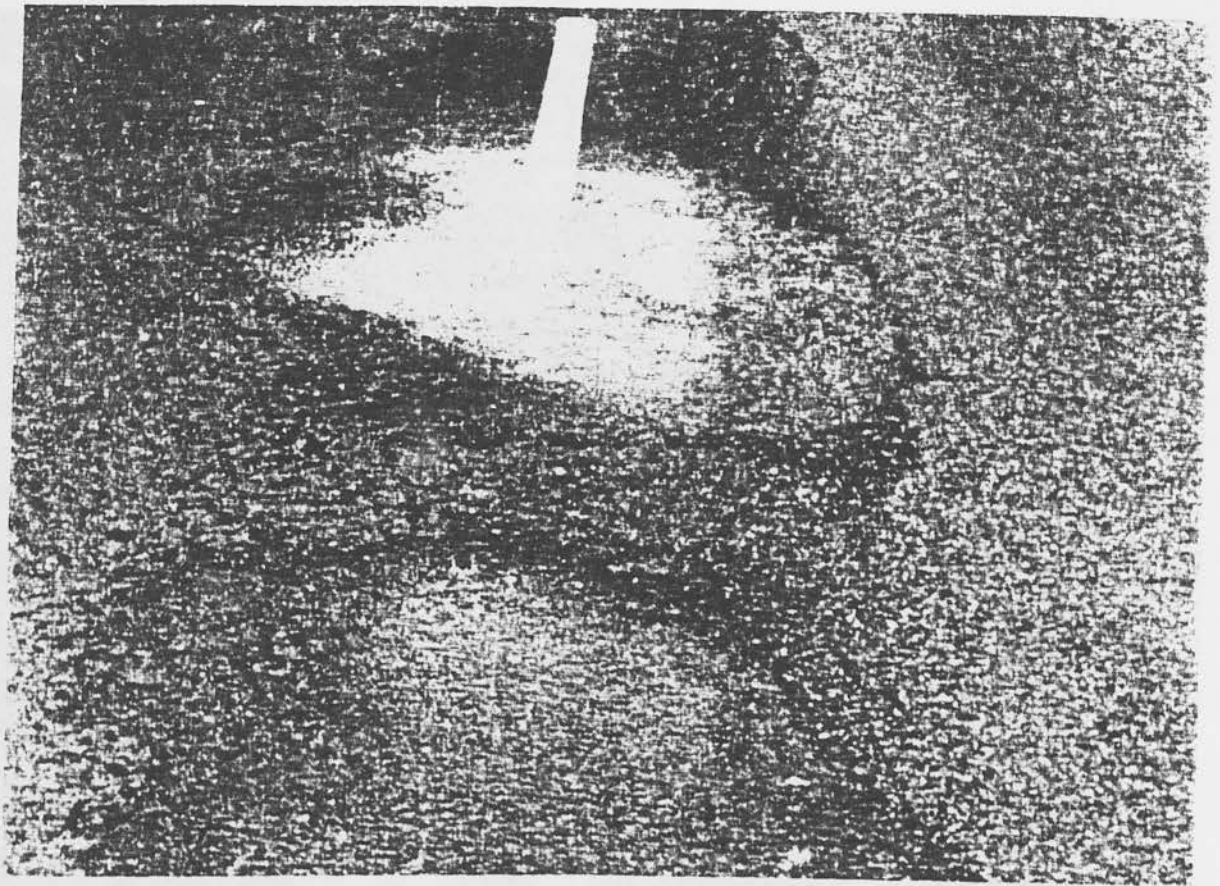
Ανάδυση νερού από σημεία ασυνέχειας της στρώσης κυκλοφορίας

ΠΙΘΑΝΑ ΑΙΤΙΑ

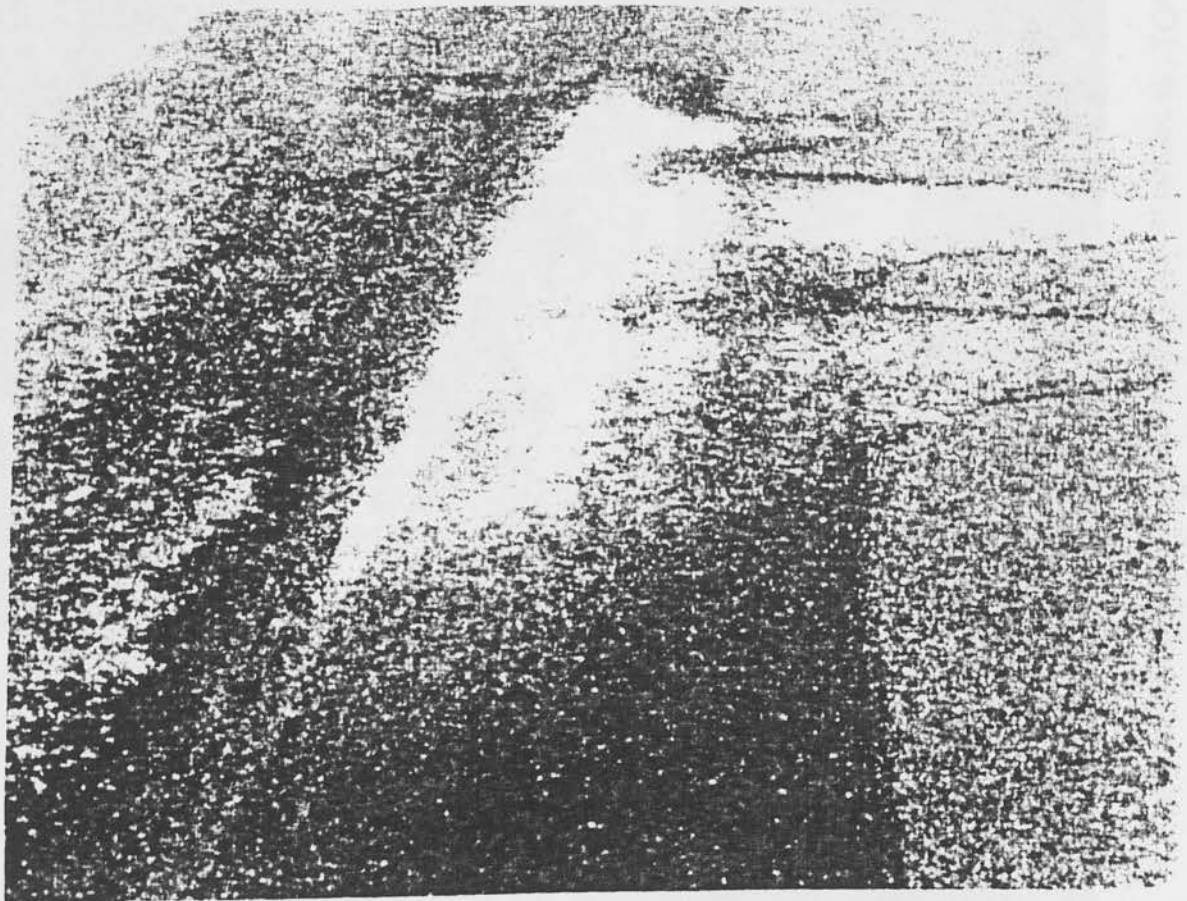
Ύπαρξη υψηλού οριζοντα ή νερού που δεν αποστραγγίζεται και αναδύεται με το τριχοειδές φαινόμενο στην επιφάνεια της στρώσης κυκλοφορίας από σημεία κακής συμπύκνωσης.

ΕΞΕΛΙΞΗ

- Προοδευτική καταστροφή του οδοστρώματος από το νερό.
- Απογύμνωση του ασφαλτικού υλικού



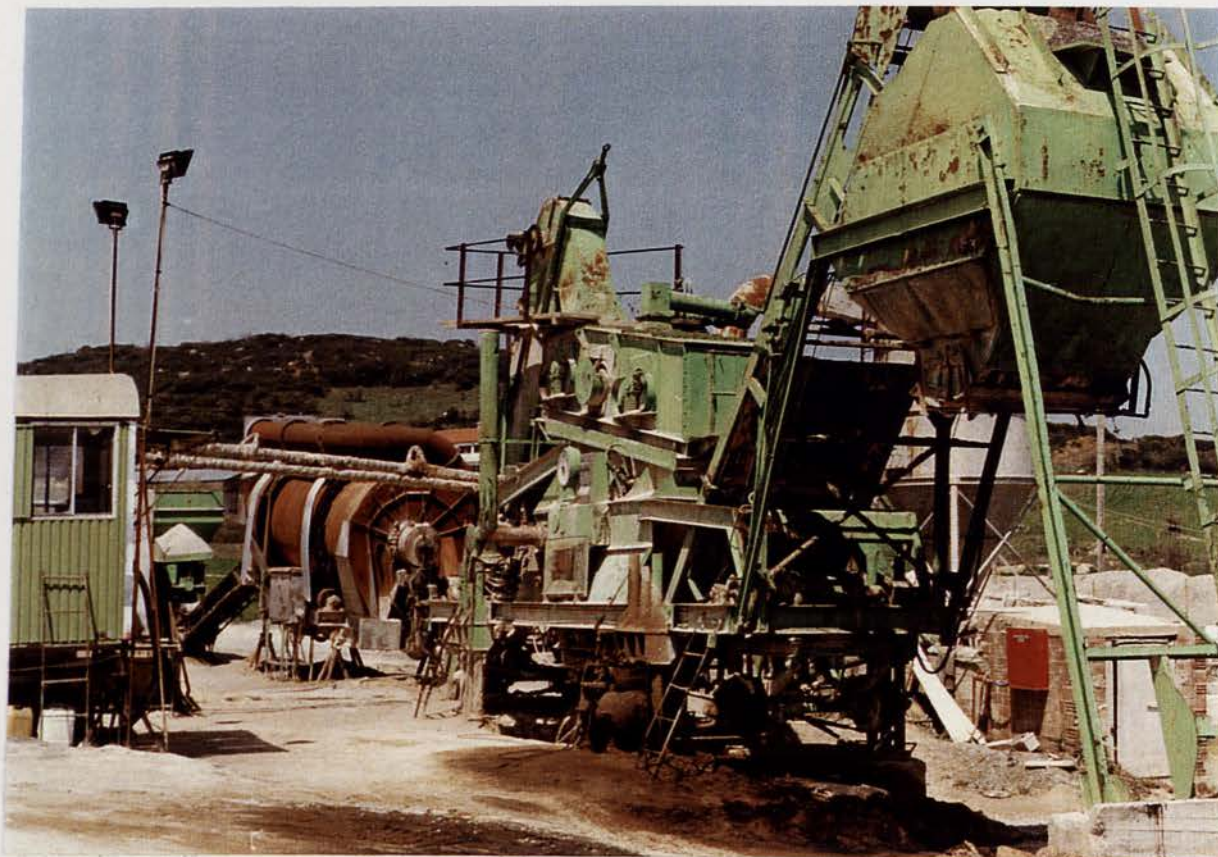
Γενική όψη ανάδυσσης νερού



Ανάδυση νερού από κατά μήκος ρωγμή



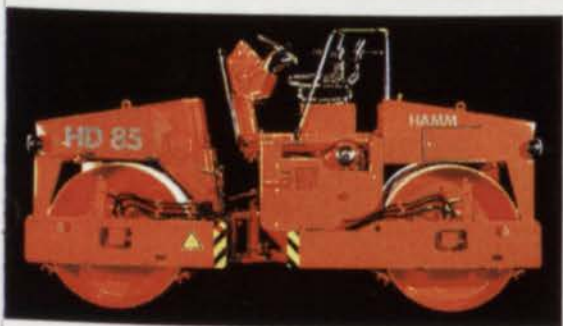
Φωτογραφία 1. Διαμορφωτήρας (GRADER) τύπου CHAMPION MOTOR GRADERS 720/720A/726A



Συγκρότημα παραγωγής ασφαλτομίγματος συνεχούς ροής



Διαστρωτής (FINNISHER)



Διάφοροι τύποι οδοστρωτήρων



Φωτογραφία 7. Δονητικός οδοστρωτήρας διπλού τυμπάνου τύπου CATERPILLAR CB-534B



Φωτογραφία 8. Ελαστιχοφόρος οδοστρωτήρας τύπου CATERPILLAR PS-300B



Φωτογραφία 9. Δονητικός οδοστρωτήρας με ένα κύλινδρο



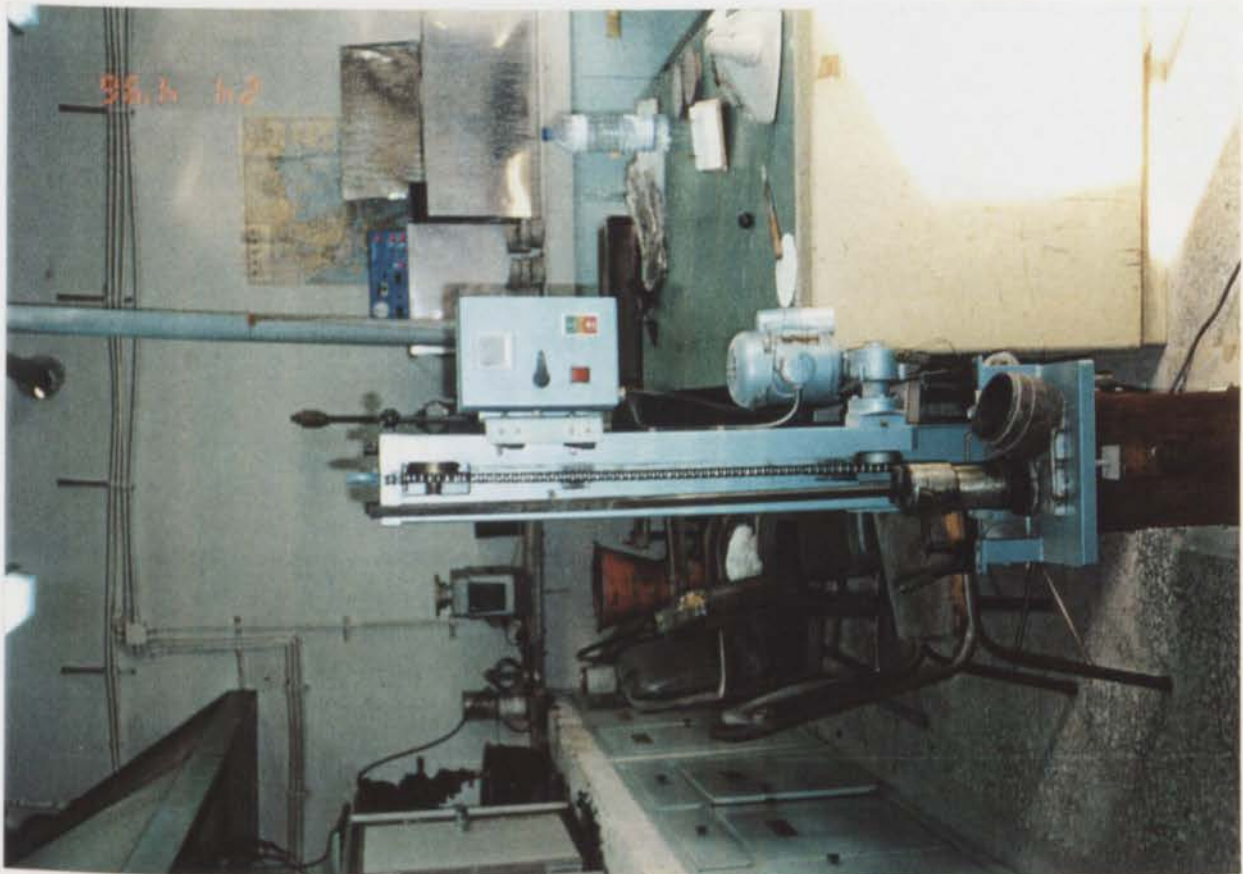
Φωτογραφία 10. Οδοντωτός δονητικός οδοστρωτήρας τύπου CATERPILLAR CP-563 C



Φωτογραφία 11. Διασπορέας αντιολισθηρής ψηφίδας



Φωτογραφία 12. Αυτοκινούμενος Ασφαλτοδιανομέας (FEDERAL)



Φωτογραφία 13. Συσσκευή συμπίκνωσης δοκιμών Marshall (Στο εργαστήριο)



Φωτογραφία 14. Χειροκίνητη συσκευή συμπίκνωσης δοκιμών Marshall (Στο εργοτάξιο)



Φωτογραφία 15. Διαστρωτής (FINNISHER) με ελαστικούς τροχούς



Φωτογραφία 16. Ερπυστιοφόρος διαστρωτής (FINNISHER)