

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ : ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ
ΤΗΣ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ-
ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ**

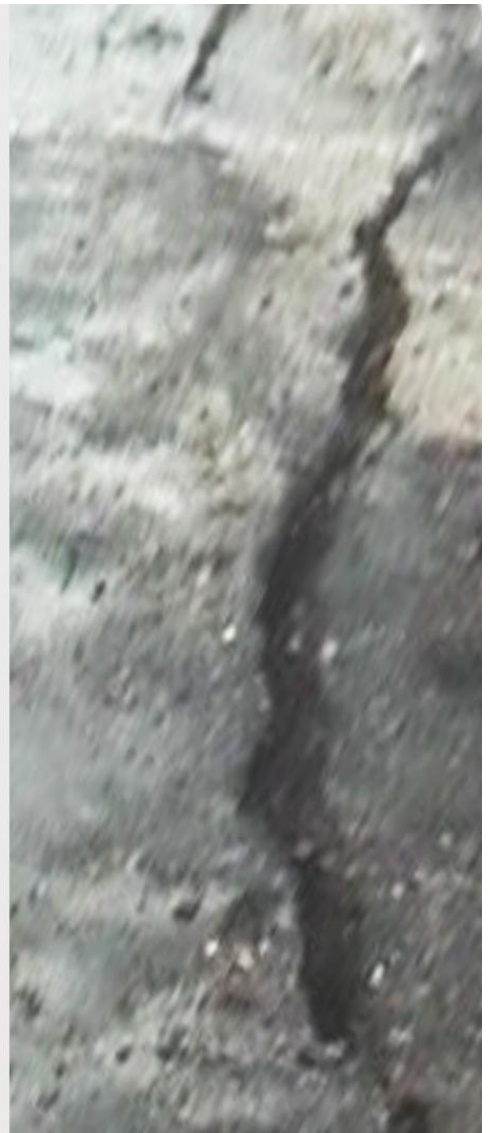
ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΩΝ :

**ΓΖΙΜΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ
ΤΣΟΡΩΝΗ ΑΓΓΕΛΙΚΗ**

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ :

**ΛΑΜΠΙΑΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ MSc**

ΠΑΤΡΑ 23/2/2012



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Εξ' αρχής θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή και υπεύθυνο της πτυχιακής εργασίας κ. Λαμπάκη Νικόλαο, για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε και την πολύτιμη καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης αυτής.

Η εργασία αυτή δε θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί χωρίς τη στενή συνεργασία με τον κ. Λαμπρόπουλο Ανδρέα, εργαστηριακό συνεργάτη του εργαστηρίου Οδοποιίας II.

Καθοριστική ήταν η συμβολή και υποστήριξη του κ. Ρέζου Σπυρίδωνα, οι συμβουλές του οποίου, σε συγκεκριμένα θέματα που ανέκυψαν κατά την εξέλιξη της εργασίας μας, βοήθησαν στη συνέχιση και ολοκλήρωση αυτής με την παροχή βιβλιογραφικού υλικού και υποδείξεων.

Τζίμας Κωνσταντίνος

Τσορώνη Αγγελική

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ύστερα από συζητήσεις με τον υπεύθυνο καθηγητή της πτυχιακής μας εργασίας κ. Νικόλαο Λαμπάκη αποφασίσαμε μετά από την παρότρυνσή του να ασχοληθούμε με το θέμα αυτό. Το κύριο θέμα της πτυχιακής μας εργασίας είναι η «Διερεύνηση του φαινομένου της γήρανσης της ασφάλτου – τρόποι αντιμετώπισης». Η επιλογή του θέματος έγινε με τη σκέψη ότι η εργασία είναι ένα σύνολο από γνώσεις που λάβαμε κατά τη φοίτησή μας στο τμήμα. Πιο συγκεκριμένα από θεωρητικές και εργαστηριακές γνώσεις οδοποιίας – ασφαλτικών – εδαφομηχανικής. Με βάση λοιπόν το γνωστικό μας υπόβαθρο και την καθοδήγηση των καθηγητών μας συγκεντρώσαμε τις απαραίτητες πληροφορίες για την δόμηση της εργασίας μας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η διερεύνηση του φαινομένου της γήρανσης της ασφάλτου και οι τρόποι αντιμετώπισης αυτού.

Αρχικά στο 1ο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στα οδοστρώματα και στην ασφαλτο καθώς επίσης και στον παράγοντα γήρανση και πως αυτός υπεισέρχεται στο στάδιο παραγωγής του ασφαλτομίγματος.

Ακολουθεί το σημαντικότερο κεφάλαιο στο οποίο αναλύεται εκτενώς το φαινόμενο της γήρανσης και οι αιτίες που την προκαλούν. Πιο συγκεκριμένα, επισυνάπτονται δύο μελέτες, στις οποίες εξετάζεται η ικανότητα γήρανσης και αντιγήρανσης δύο ξένων τύπων ασφάλτων επίστρωσης. Με βάση την αλλαγή των ιδιοτήτων τους πριν και μετά την υποβολή τους σε διάφορες δοκιμές γήρανσης, εξάγονται διάφορα συμπεράσματα για την αντοχή των δύο αυτών ασφάλτων.

Στο κεφάλαιο 3 αναφέρονται οι διάφορες κατηγορίες φθορών του οδοστρώματος καθώς και οι τρόποι-έλεγχοι ανίχνευσης αυτών.

Η εργασία μας ολοκληρώνεται με ένα εξίσου σημαντικό κεφάλαιο όπου αναφέρονται αναλυτικά οι τρόποι αντιμετώπισης του φαινομένου της γήρανσης, που δεν είναι άλλος από την τροποποιημένη ασφαλτο, δηλαδή την προσθήκη σε αυτήν διαφόρων βελτιωτικών-προσθετικών τα οποία αυξάνουν την αντοχή της ασφάλτου και την θωρακίζουν έναντι στη γήρανση.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	i
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	ii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	iv
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ & ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ.....	vii
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	viii

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
ΑΣΦΑΛΤΟΣ ΚΑΙ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ	1

1.1 ΓΕΝΙΚΑ	1
1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ	2
1.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ	4
1.4 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ	10
1.5 ΑΣΦΑΛΤΟΣ	12
1.5.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ.....	12
1.6 ΑΣΦΑΛΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ.....	13
1.6.1 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ.....	14
1.6.2 ΦΥΣΙΚΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ	15
1.6.3 ΑΣΦΑΛΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΡΩΣΕΙΣ.....	16
1.6.4 ΑΣΦΑΛΤΟΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	17
1.6.5 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΑΣΦΑΛΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	18
1.6.6 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΑΣΦΑΛΤΟΥ ΩΣ ΣΥΝΔΕΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ.....	19
1.7 ΣΥΝΗΘΙΣΜΕΝΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ	21
1.7.1 ΔΟΚΙΜΗ ΟΛΚΙΜΟΤΗΤΑΣ	21
1.7.2 ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ ΤΩΝ ΑΣΦΑΛΤΙΚΩΝ.....	23
1.7.3 ΔΟΚΙΜΗ ΜΑΛΘΩΣΗΣ ΤΩΝ ΑΣΦΑΛΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	24
1.7.4 ΔΟΚΙΜΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΤΩΝ ΑΣΦΑΛΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	25
1.8 ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΑ ΓΙΑ ΑΣΦΑΛΤΙΚΕΣ ΣΤΡΩΣΕΙΣ.....	28
1.8.1 ΔΟΚΙΜΗ ΚΥΛΙΟΜΕΝΟΥ ΥΜΕΝΑ ΑΣΦΑΛΤΟΥ (RTFO).....	29
1.8.2 ΔΟΚΙΜΗ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΣΚΑΦΩΝ ΠΙΕΣΗΣ (PAV)	31

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	34
ΓΗΡΑΝΣΗ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ.....	34

2.1 ΓΕΝΙΚΑ	34
2.1.1 ΒΡΑΧΥΠΡΟΘΕΣΜΗ ΓΗΡΑΝΣΗ	35
2.1.2 ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΗ ΓΗΡΑΝΣΗ	35
2.2 ΑΙΤΙΕΣ ΓΗΡΑΝΣΗΣ	36
2.3 ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΤΙΚΗΣ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗΣ	41
2.3.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΣΦΑΛΤΟΥ	42
2.3.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΗΡΑΣΜΕΝΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ	43
2.3.3 ΡΥΘΜΟΣ ΓΗΡΑΝΣΗΣ	45
2.3.4 ΚΙΝΗΤΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΑΣΦΑΛΤΩΝ ΒΑΣΙΣΜΕΝΑ ΣΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΜΑΛΘΩΣΗΣ	49
2.4 ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ ΑΝΤΙΓΗΡΑΝΣΗΣ ΔΥΟ ΑΣΦΑΛΤΩΝ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗΣ	52
2.4.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΟΚΙΜΙΩΝ	54
2.4.2 ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΚΙΝΗΤΙΚΕΣ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ	54
2.4.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΑΠΟ ΔΥΟ ΑΣΦΑΛΤΟΥΣ.....	57
2.4.3.1 ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗΣ.....	57
2.4.3.2 ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΙΞΩΔΟΥΣ	59
2.4.4 ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΑΣΦΑΛΤΩΝ	59
2.4.4.1 ΑΛΛΑΓΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ GASTEL ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΓΗΡΑΝΣΗΣ.....	63

2.4.4.2 ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	66
ΦΘΟΡΕΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ.....	66
3.1 ΓΕΝΙΚΑ	66
3.1.1 ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΗ ΦΘΟΡΩΝ.....	67
3.1.2 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΦΘΟΡΩΝ.....	67
3.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΘΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ.....	69
3.2.1 ΡΗΓΜΑΤΩΣΕΙΣ	69
3.2.1.1 ΡΗΓΜΑΤΩΣΕΙΣ (CRACKING).....	69
3.2.1.2 ΡΩΓΜΕΣ ΤΥΠΟΥ ΑΛΙΓΑΤΟΡΑ (ALIGATOR CRACKS) Ή ΡΩΓΜΕΣ ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗΣ (SHRINKAGE CRACKS)	69
3.2.1.3 ΡΩΓΜΕΣ ΣΤΑ ΑΚΡΑ ΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ (EDGE CRACKS).....	70
3.2.1.4 ΡΩΓΜΕΣ ΜΕΤΑΞΥ ΛΩΡΙΔΩΝ ΔΙΑΣΤΡΩΣΗΣ Ή ΔΙΑΠΛΑΤΥΝΣΗΣ (LANE AND WIDENING CRACKS)	70
3.2.1.5 ΡΩΓΜΕΣ ΑΠΟ ΑΝΑΚΛΑΣΗ (REFLECTION CRACKS).....	71
3.2.1.6 ΡΩΓΜΕΣ ΑΠΟ ΟΛΙΣΘΗΣΗ ΤΑΠΗΤΩΝ (SLIPPAGE CRACKS).....	72
3.2.1.7 ΡΩΓΜΕΣ ΣΤΗΝ ΤΡΟΧΙΑ ΤΩΝ ΤΡΟΧΩΝ (WHEEL PATH CRACKS).....	73
3.2.1.8 ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΕΣ ΡΗΓΜΑΤΩΣΕΙΣ ΚΟΠΩΣΗΣ (WHEEL TRACK CRACKING).....	74
3.2.2 ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ	75
3.2.2.1 ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ (ΣΤΡΕΒΛΩΣΕΙΣ) ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (SURFACE DISTORTION).....	75
3.2.2.2 ΤΟΠΙΚΑ ΒΥΘΙΣΜΑΤΑ (DEPRESSIONS/BIRD PATH-DEPRESSION)	75
3.2.2.3 ΚΑΘΙΖΗΣΗ (SUBSIDENCE-AFAISSEMENT)	76
3.2.2.4 ΔΙΟΓΚΩΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ (SHOVING ALONG-BOURRELET LONGITUDINAL)	76
3.2.2.5 ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΚΥΜΑΤΟΕΙΔΟΥΣ ΜΟΡΦΗΣ (ΠΤΥΧΩΣΕΙΣ Ή ΡΥΤΙΔΩΣΕΙΣ) (CORRUGATIONS) Ή ΕΓΚΑΡΣΕΙΣ ΠΤΥΧΩΣΕΙΣ (SHOVING-BOURRELET).....	77
3.2.2.6 ΑΥΛΑΚΩΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΤΡΟΧΙΕΣ ΤΩΝ ΤΡΟΧΩΝ (CHANNEL OR RUTS) Ή ΙΧΝΗ ΤΡΟΧΩΝ ΜΙΚΡΟΥ ΕΥΡΟΥΣ (RUTTING ORNIERAGE).....	78
3.2.3 ΑΠΟΣΥΝΘΕΣΕΙΣ	79
3.2.3.1 ΑΠΟΣΥΝΘΕΣΗ.....	79
3.2.3.2 ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗ ΑΔΡΑΝΩΝ ΑΠΟ ΑΣΦΑΛΤΟΤΑΠΗΤΕΣ (RAVELING DESTINEGRATION).....	79
3.2.3.3 ΑΠΟΓΥΜΝΩΣΗ ΑΔΡΑΝΩΝ (PROTRUSION AGGREGATES).....	80
3.2.3.4 ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΤΑ ΠΛΑΚΕΣ (PEELING)	81
3.2.3.5 ΛΑΚΚΟΙ (ΦΩΛΙΕΣ) (POTHOLES).....	81
3.3 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΦΘΟΡΩΝ	82
3.4 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ	85
3.5 ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΕΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ- ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΥΠΕΡΥΘΡΗΣ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑΣ	87
3.5.1 ΓΕΝΙΚΑ	87
3.5.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΣΕ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ	88
3.5.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	96
ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ–ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΣΦΑΛΤΟΣ.....	96
4.1 ΓΕΝΙΚΑ	96
4.2 ΧΡΗΣΗ ΚΑΙ ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ	97
4.3 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΤΕΣ, ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΚΥΡΙΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ	98
4.4 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΑΣΦΑΛΤΟΥ ΜΕ ΕΛΑΣΤΟΜΕΡΗ	100
4.4.1 ΈΛΕΓΧΟΣ ΘΕΡΜΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ (HOT STORAGE TEST)	103
4.4.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΣΤΟΜΕΡΟΥΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΟΣ ΜΕ ΕΛΑΣΤΟΜΕΡΗ ΑΣΦΑΛΤΟ	104

4.4.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ – ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΟΣ.....	106
4.5 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ ΜΕ ΘΕΡΜΟΠΛΑΣΤΙΚΑ	108
4.5.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΘΕΡΜΟΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΟΣ ΜΕ ΘΕΡΜΟΠΛΑΣΤΙΚΗ ΑΣΦΑΛΤΟ.....	109
4.6 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΑΣΦΑΛΤΟΥ ΜΕ ΘΕΡΜΟΣΚΛΗΡΥΝΟΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ (ΡΗΤΙΝΕΣ)	111
4.7 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΑΣΦΑΛΤΟΥ ΜΕ ΙΝΕΣ	114
4.8 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΑΣΦΑΛΤΟΥ ΜΕ ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΑ	115
4.9 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΑΣΦΑΛΤΟΥ ΜΕ ΠΑΙΠΑΛΕΣ ΦΥΣΙΚΩΝ Ή ΧΗΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	116
4.10 ΆΛΛΑ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΑ	117
4.11 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΑΣΦΑΛΤΩΝ	117
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	119

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ & ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

- RTFO : Rolling Thin-Film Oven (test)
- TFO : Thin-Film Oven (test)
- PAV : Pressure Aging Vessel
- ΑΗ-70 : ΑΣΦΑΛΤΟΣ ΤΥΠΟΥ 70
- ΑΗ-90 : ΑΣΦΑΛΤΟΣ ΤΥΠΟΥ 90
- EVA : Ethylene Vinyl Acetate
- PVC : Polyvinyl Chloride
- SBS : Styrene Butadiene Styrene

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το οδόστρωμα είναι ένα από τα σημαντικότερα πάγια περιουσιακά στοιχεία για τους φορείς διαχείρισης ενός οδικού δικτύου. Παράλληλα, η κατάσταση του οδοστρώματος αφορά άμεσα στους χρήστες της οδού δεδομένου ότι συνδέεται με την ποιότητα κύλισης, την ασφάλεια της κυκλοφορίας, το λειτουργικό κόστος του οχήματος, την ταχύτητα των οχημάτων, τους χρόνους μετακίνησης και γενικά με το κόστος που επιβαρύνει τους χρήστες της οδού. Κατά συνέπεια, είναι ιδιαίτερης σημασίας ο ορθός σχεδιασμός ενός οδοστρώματος, ο έλεγχος των παραμέτρων σύνθεσης των μιγμάτων των επιμέρους στρώσεων του με ιδιαίτερη έμφαση να δίνεται στην κατασκευή και την ποιοτική εξέλιξη της ασφάλτου έτσι ώστε να καθίσταται ανθεκτική σε επιβλαβείς για αυτήν παράγοντες.

Η ασφαλτος είναι ένα σύνθετο μίγμα διαφορετικών μεγέθους μορίων. Εν καιρώ, η σύνθεση της αλλάζει. Συχνά παρατηρείται το φαινόμενο της γήρανσης της ασφάλτου. Η ασφαλτος για να διατηρεί τις συνδετικές της ικανότητες πρέπει να παραμένει πλαστική. Μέρος της πλαστικότητάς της χάνεται όταν η ασφαλτος με μορφή λεπτού υμένα εκτίθεται σε καιρικές επιδράσεις. Τότε λέμε ότι η ασφαλτος «γέρασε». Η γήρανση της ασφάλτου και η προοδευτική σκλήρυνσή της μέσα στην επίστρωση του οδοστρώματος προκαλεί ρωγμές με τριχοειδή μορφή, που με τη πάροδο του χρόνου ανοίγουν και επιτρέπουν την διόδο του νερού στο οδόστρωμα, με αποτέλεσμα την μείωση της φέρουσας ικανότητας της βάσεως του οδοστρώματος. Επίσης σε χαμηλές θερμοκρασίες το νερό, που εισήλθε μέσα στο σώμα της οδού, πήζει και προκαλεί θραύση του οδοστρώματος.

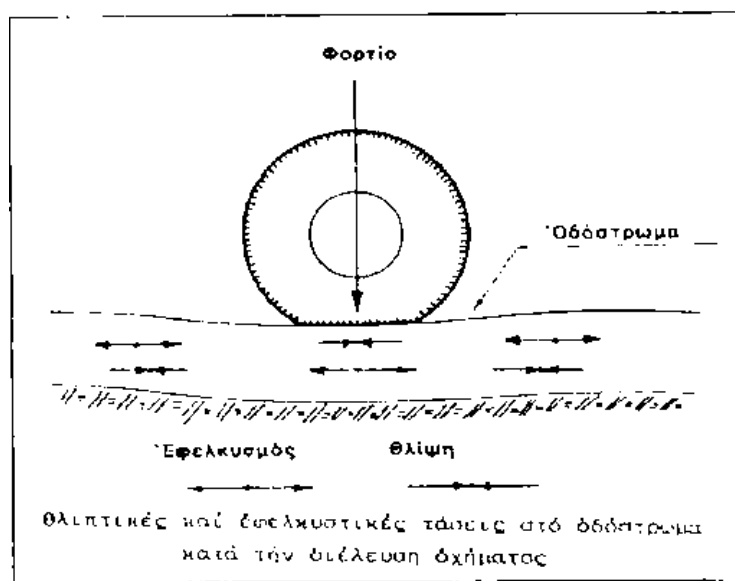
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΣΦΑΛΤΟΣ ΚΑΙ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το φυσικό έδαφος στη μορφή που βρίσκεται δεν είναι ικανό να φέρει τις προερχόμενες από την κυκλοφορία καταπονήσεις και δεν έχει την απαιτούμενη λεία επιφάνεια για την ομαλή κίνηση επ' αυτού των τροχών. Επιπλέον δεν αντέχει στις κλιματολογικές διακυμάνσεις, την υγρασία, την βροχή κλπ όταν επάνω του κινούνται οχήματα. Ως λύση, για να παρακάμψουμε αυτά τα μειονεκτήματα, είναι το οδόστρωμα.

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. Είναι γνωστό ότι οι δρόμοι στην αρχαιότητα συνήθως δεν έφεραν οδόστρωμα, ήταν απλοί χωματόδρομοι, όπου όλο το βάρος δινόταν στην ομαλότητα της χάραξης. Οι χωματόδρομοι όμως είναι ευπαθείς τόσο στις καιρικές επιδράσεις, όσο και στη φθορά από τα φορτία κυκλοφορίας. Η δράση του νερού της βροχής κυρίως είναι εκείνη που μαλακώνει και διαβρώνει την επιφάνεια τους. Αντίστοιχα, οι τροχοί των οχημάτων, αλλά και η δράση ανθρώπων και ζώων, διαταράσσει και φθείρει την επιφάνεια των χωματόδρομων. Η συνδυασμένη δε επιρροή των παραπάνω παραγόντων (βροχή και φορτία κυκλοφορίας) θεωρείται ιδιαίτερα δυσμενής και φθοροποιός.



Σχήμα 1.1 Το φορτίο του οχήματος ασκεί τάσεις στο οδόστρωμα.

Είναι προφανές ότι, όσο αυξάνει η χρήση ενός δρόμου, τόσο μεγαλώνει και η φθορά του, αλλά παράλληλα αυξάνονται και οι απαιτήσεις που οι χρήστες έχουν από αυτόν. Έτσι από τους αρχαίους ακόμα χρόνους κατέστη αναγκαία κάποια μορφή προστασίας και ενίσχυσης της επιφάνειας κίνησης. Σήμερα είναι προφανές ότι, η επίστρωση των οδών με σύγχρονα οδοστρώματα είναι αναγκαία για να επιτευχθεί ένα αποδεκτό επίπεδο ασφαλούς, άνετης, οικονομικής και γρήγορης μετακίνησης των οχημάτων. Το οδόστρωμα έχει σαν κύριο λόγο να διανέμει τις πιέσεις, ώστε, η καταπόνηση του εδάφους θεμελίωσης να μην υπερβαίνει τα όρια. Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε τις θλιπτικές και εφελκυστικές τάσεις που αναπτύσσονται σ' ένα οδόστρωμα από τον τροχό ενός οχήματος (Σχήμα 1.1).

1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ

Μέχρι το 18ο αιώνα το οδικό δίκτυο της Ευρώπης ήταν υποτυπώδες. Από την κατάλυση της δυτικής ρωμαϊκής αυτοκρατορίας και μετά δεν συντηρήθηκαν οι παλιοί ρωμαϊκοί δρόμοι και δεν κατασκευάστηκαν σε μεγάλη κλίμακα νέοι, γιατί δεν υπήρχε ανάγκη διακίνησης εμπορικών προϊόντων ή μετακινήσεων στρατιωτικών δυνάμεων στην έκταση που αυτό γινόταν την παλιά εποχή. Σε Γαλλία και Αγγλία αρμόδιος φορέας κατασκευής και συντήρησης δρόμων ήταν η κοινότητα και η εμβέλειά της έφθανε το πολύ στα μέσα της διαδρομής μέχρι το επόμενο χωριό. Στη Γερμανία αρμόδιος για έργα υποδομής ήταν ο τοπικός φεουδάρχης ή ηγεμόνας. Οι τεχνικοί στην Ευρώπη δεν γνώριζαν πια τις τεχνικές κατασκευής οδοστρωμάτων και όπου ήταν απαραίτητο να κατασκευαστεί κάποια μεγαλύτερη οδική σύνδεση, αυτό γινόταν εμπειρικά και σε κάθε περιοχή με διαφορετικά πρότυπα.

Στην Αγγλία οι μεταφορές γίνονταν σε σημαντικό βαθμό με την παράκτια ναυσιπλοΐα και οι μονάδες παραγωγής βρίσκονταν κοντά σε λιμάνια. Οι εσωτερικές εμπορικές μεταφορές, μικρής εμβέλειας κατά κανόνα, γίνονταν με άμαξες που σύρονταν από 2, 4, 6 ή και 8 άλογα. Οι ταξιδιώτες, εφόσον δεν πήγαιναν με τα πόδια ή δεν διέθεταν ιδιωτική άμαξα, χρησιμοποιούσαν, οι ευπορότεροι τις ταχυδρομικές άμαξες (μέχρι 7 επιβάτες και ένας οπλισμένος φρουρός) ή τις εμπορικές άμαξες, στοιβαγμένοι μαζί με τα εμπορικά προϊόντα στο χώρο που τυχόν περίσσευε. Τα ζώα μεταφέρονταν στις εμποροπανηγύρεις και στα σφαγεία στις ίδιες οδικές αρτηρίες που χρησιμοποιούσαν οι άμαξες και οι πεζοί. Με βροχή, οι δρόμοι αυτοί μετατρέπονταν σε βούρκο, ο οποίος αναδευόταν από τα πατήματα των αλόγων και τους τροχούς των διερχόμενων αμαξών, ενώ με την ξηρασία γέμιζε η ατμόσφαιρα στην ευρύτερη περιοχή με σκόνη.

Στη Γερμανία και τη Γαλλία δεν έπαιξε αντίστοιχα σημαντικό ρόλο η παράκτια ναυσιπλοΐα, αξιοποιούνταν όμως εντατικά οι μεγάλοι ποταμοί που διασχίζουν αυτές τις χώρες και κατασκευάζονταν κανάλια για την εγκάρσια διασύνδεση των ποταμών. Και στην Αγγλία κατασκευάζονταν βέβαια κανάλια, με αποτέλεσμα στην αλλαγή από το 18ο στο 19ο αιώνα να υπάρχει στην Ευρώπη ένα σημαντικό δίκτυο καναλιών. Έτσι, έγινε δυνατόν να δημιουργηθούν μονάδες παραγωγής και μακρύτερα από τα λιμάνια, όπου τις συμπληρωματικές διαδρομές μέχρι την αυλή των εργοστασίων κάλυπταν πάλι άμαξες. Με αυξανόμενο ρυθμό διάδοσης του σιδηροδρόμου, απλώθηκαν κατά το 19ο αιώνα ακόμα περισσότερο οι βιομηχανίες της εποχής, αφού τώρα έφτανε το τραίνο μέχρι την πύλη τους.

Το 1716 συγκροτήθηκε στη Γαλλία ένα τεχνικό σώμα για την κατασκευή δρόμων και γεφυρών. Αυτό το σώμα αποτέλεσε πόλο έλξης των καλύτερων μηχανικών, εκτός του στρατού. Έτσι, εκτός από τους στρατιωτικούς μηχανικούς, απέκτησε η Γαλλία και πολιτικούς μηχανικούς και έκτοτε υπάρχει αυτός ο τίτλος για τους μηχανικούς των κάθε μορφής δομικών κατασκευών.

Ο John Metcalfe (1717-1810), ένας γεννημένος τυφλός Σκοτσέζος μηχανικός, άρχισε στη δεκαετία του 1760 τη μελέτη και εφαρμογή σχεδίων για την κατασκευή δρόμων στο Yorkshire. Συνολικά κατασκευάστηκαν τότε σχεδόν 300 χιλιόμετρα οδοστρώματος με καλή αποχέτευση, το οποίο οδόστρωμα αποτελείτο από τρία στρώματα: Πρώτα μία βάση από μεγάλες πέτρες, μετά γέμισμα με το υλικό εκσκαφής και τέλος ένα στρώμα από χαλίκια σταθεροποιημένα με χώμα. Η εξασφάλιση της απορροής των νερών της βροχής από τους δρόμους επιτεύχθηκε με την επινόηση του Thomas Telford (1757-1834) να κάνει το οδόστρωμα κυρτό, με κλίση προς τις πλευρές!



Βελτιωμένη λύση του προβλήματος ήρθε όμως από το Σκοτσέζο τοπογράφο John Loudon McAdam (1756-1836) ο οποίος, μετά από πολύχρονες μελέτες και δοκιμές κατέληξε σε ένα τύπο οδοστρώματος που ονομάζεται έκτοτε προς τιμήν του «Macadam». Αυτό το πρότυπο δρόμων που διαδόθηκε σταδιακά σε όλη την Ευρώπη, προέβλεπε αφενός υπερύψωση του οδοστρώματος για εύκολη αποχέτευση των υδάτων και αφετέρου επάλλληλες επιστρώσεις, μία με μεγάλες πέτρες και από μία με χοντρό και λεπτό χαλίκι, το οποίο σταθεροποιείτο με άμμο. Αργότερα στη θέση της άμμου ως συνδετικού μέσου χρησιμοποιήθηκε άσφαλτος. Οι δρόμοι που κατασκευάζονταν έκτοτε με τις προδιαγραφές του Μακάνταμ απαιτούσαν λιγότερο υλικό και μικρότερο κόστος συντήρησης.

Πρώτος δρόμος που επιστρώθηκε στην Ευρώπη με άσφαλτο ήταν το 1824 η Champs-Elyse στο Παρίσι. Στη Γερμανία επιστρώθηκε με άσφαλτο για πρώτη φορά το έτος 1838 ένας κεντρικός δρόμος στο Αμβούργο. Στη δεκαετία του 1840 είχε κατασκευαστεί στην Ευρώπη ήδη ένα αξιόλογο δίκτυο δρόμων, πάνω στο οποίο μεταφέρονταν πολύ ευκολότερα τα εμπορικά προϊόντα με άμαξες, μέχρι που άρχισε η ραγδαία ανάπτυξη του σιδηροδρομικού δικτύου, το οποίο αξιοποιήθηκε στις χειρσαίες μεταφορές και συγκοινωνίες. Το οδικό δίκτυο των μεγαλύτερων ευρωπαϊκών κρατών βελτιώθηκε και επεκτάθηκε πάλι από το τέλος του 19ου αιώνα και μετά, με την εφεύρεση των μηχανών εσωτερικής καύσης και την κατασκευή αυτοκίνητων οχημάτων με δυνατότητα ελεύθερης διαδρομής.

1.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Ανάλογα με την ελαστικότητα τους, τα οδοστρώματα διακρίνονται κατά κανόνα, σε 'εύκαμπτα' και 'δύσκαμπτα' .

Σαν εύκαμπτα θεωρούνται:

- Τα ασφαλτικά
- Τα κυκλοφοριόπηκτα
- Τα σταθεροποιημένα
- Τα σκυρωτά

Σαν δύσκαμπτα θεωρούνται:

- Τα από σκυρόδεμα
- Τα λιθόστρωτα

ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΟΠΗΚΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ

Από απόψεως εξυπηρέτησεως των συγκοινωνιών, τα κυκλοφοριόπηκτα οδοστρώματα κατατάσσονται αμέσως μετά τα οδοστρώματα με ασφαλτική επάλειψη, είναι δε πιο οικονομική. Πρέπει να δώσουμε μεγάλη προσοχή στην εξεύρεση των αδρανών υλικών για την κατασκευή του κυκλοφοριόπηκτου οδοστρώματος. Τα αδρανή είναι ο κυριότερος παράγοντας για την επιτυχία του οδοστρώματος.

ΥΔΑΤΟΠΗΚΤΑ ΣΚΥΡΩΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ (MAC-ADAM)

Τα σκυρωτά οδοστρώματα MAC - ADAM αποτελείται:

Από μια κάτω στρώση (θεμελίωση)

Από μια πάνω στρώση (επιφάνεια κυλίσεως)

Η κάτω στρώση έχει χαρακτηριστικά που εξαρτώνται από την φύση του

εδάφους (επιφάνεια εδράσεως).

Πάχη πάνω στρώσεως.

Πάνω στρώση (με κάτω στρώση) 10 - 15 εκ

Πάνω στρώση (χωρίς κάτω στρώση) 20 - 25 εκ

ΛΙΘΟΣΤΡΩΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ

Λιθόστρωτα οδοστρώματα καλούνται όλες οι στρώσεις κυκλοφορίας της οδού από φυσικούς λίθους που τοποθετούνται με το χέρι και που εφαρμόζονται ο ένας δίπλα στον άλλο. Έντεχνα λιθόστρωτα μπορούν να κατασκευασθούν μόνο με τα χέρια και με έμπειρο προσωπικό. Απαγορεύεται στην κατασκευή των λιθόστρωτων να χρησιμοποιείται πέτρωμα ή υλικό που μπορεί να γίνει λείο από την κυκλοφορία.

ΕΜΠΟΤΙΣΤΑ ΣΚΥΡΩΤΑ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Στα εμπότιστα σκυρωτά με τσιμέντο, σαν συνδετική ύλη χρησιμοποιούμε μίγμα τσιμέντου, άμμου και νερού. Το οδόστρωμα αποτελείται από μια στρώση αδρανών υλικών σκληρών και καθαρών) με διαστάσεις 2,5 -7,5 εκ. που διαστρώνονται στην σκάφη ή στην υποθεμελίωση. Κατά αυτόν τον τρόπο δημιουργούμε ένα σκυρωτό οδόστρωμα με συνδετική ύλη τσιμέντου - άμμου - νερού. Το μίγμα (τσιμεντοκονίαμα) εκτοξεύεται στο οδόστρωμα από την αντλία του αναμκτήρα.

ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (ΑΟΠΛΟ)

Αυτά τα οδοστρώματα ανήκουν στην κατηγορία των δύσκαμπτων. Από στατικής συμπεριφοράς, διαφέρουν από τα εύκαμπτα στο ότι συμπεριφέρονται υπό το βάρος του φορτίου σαν ένα στατικό δύσκαμπτο στοιχείο που εδράζεται σε ελαστικό υπόστρωμα ενώ τα εύκαμπτα διανέμουν το φορτίο με τον μηχανισμό των στρώσεων.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Τα απαιτούμενα υλικά (άμμος, χαλίκια , τσιμέντο και νερό) βρίσκονται παντού και πολλές φορές κοντά στο έργο. Είναι οικονομικό διότι χρησιμοποιούμε μηχανές.
- Έχει επιφάνεια ομαλή, κανονική όχι ολισθηρή και με μεγάλο βαθμό συνάφειας.
- Σε περίπτωση που φθείρεται η επιφάνεια, είναι δυνατή η εφαρμογή ασφαλικής επιστρώσεως.
- Μεγάλη διάρκεια ζωής (20 - 30 χρόνια) .

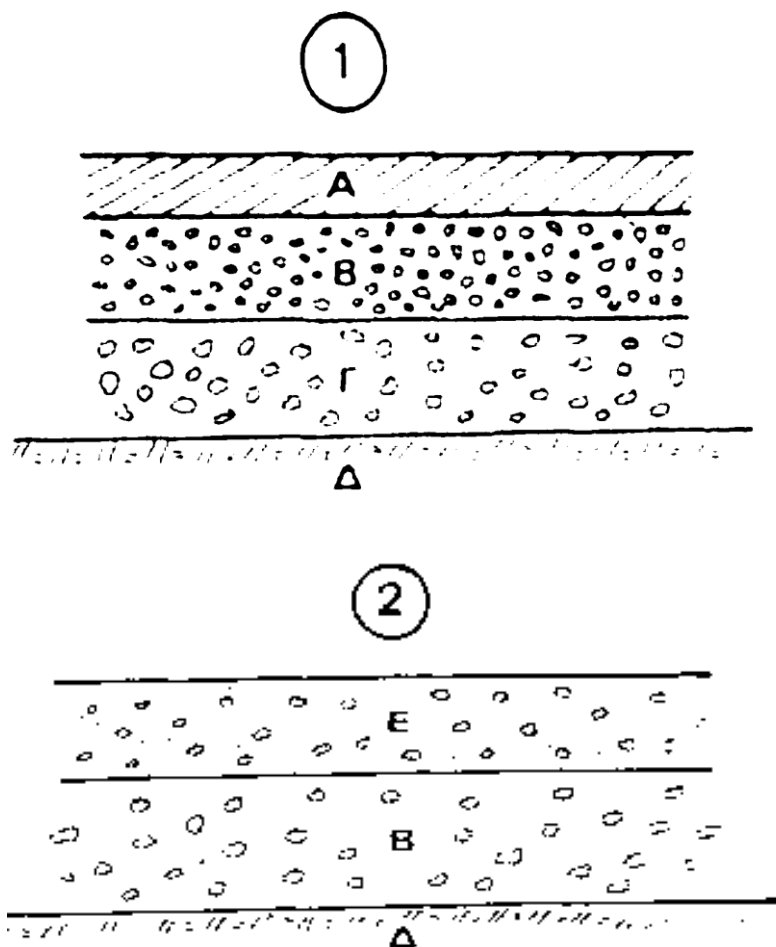
ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Στερείται ελαστικότητας (δύσκαμπτο οδόστρωμα), η δε επιφάνεια του τρίβεται ευκολότερα από τα άλλα οδοστρώματα.

- Οι μεταβολές της θερμοκρασίας και η κακή ποιότητα του εδάφους προκαλούν ρήγματα σε αυτό.
- Προκαλείται θόρυβος από την διέλευση των οχημάτων.
- Παρουσιάζει δυσχέρειες κατασκευής στα σημεία διαβάσεως από έγχωμα σε επίχωμα

ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Τα δύσκαμπτα οδοστρώματα είναι συνήθως άοπλα όταν οι πλευρές κάθε πλάκας έχουν λόγο μικρότερο του 1,25 . Αν ο λόγος των πλευρών δεν έχει την τιμή αυτή ή αν οι πλάκες δεν είναι ορθογωνικές τότε χρειάζεται οπλισμός και κατά τις δύο διευθύνσεις.



1. Εύκαμπτο οδόστρωμα

Α: Επιφανειακή στρώση

Β: Βάση

Γ: Υπόβαση

2. Δύσκαμπτο οδόστρωμα

Δ: Έδαφος εδράσεως

Ε: Σκυρόδεμα

Σχήμα 1.2 Δομές οδοστρωμάτων και τα διάφορα στρώματα που αποτελούνται

Κατά κανόνα τα εύκαμπτα οδοστρώματα αποτελούνται από (Σχήμα 1.2):

- Υπόβαση
- Βάση
- Επιφανειακή στρώση

Η βάση / υπόβαση είναι η στρώση από ασύνδετα διαβαθμισμένα αδρανή υλικά (μερικές φορές τα υλικά είναι σταθεροποιημένα-κατεργασμένα με τσιμέντο) που μπορεί να αποτελείται από δύο στρώσεις: τη βάση και την υπόβαση. Σκοπός της είναι να μειώσει περαιτέρω τα κατακόρυφα φορτία της κυκλοφορίας που μεταβιβάζονται στο υπέδαφος. Προσφέρει μια καλή επιφάνεια για τη διάστρωση και συμπύκνωση της ασφαλικής βάσης. Κατά την κατασκευή, προσφέρει επίσης καλή επιφάνεια για την κυκλοφορία των μηχανημάτων οδοποιίας. Έμμεσα λειτουργεί επίσης ως αντιπαγετική στρώση.

Η εξυγιαντική στρώση σκοπό έχει τη βελτίωση της φέρουσας ικανότητας του ασθενούς υπεδάφους και την προστασία αυτού από καταστροφή κατά τη διάρκεια της κατασκευής αλλά και καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος. Κατασκευάζεται από σχετικά φθηνά κατάλληλα αδρανή υλικά ή από σταθεροποιημένα επί του έργου κοκκώδη ή λεπτόκοκκα συνεκτικά εδαφικά υλικά (εξυγίανση εδάφους). Κατασκευάζεται μεταξύ του φυσικού εδάφους και της βάσης/υπόβασης, σαν υποκατάστατο του φυσικού εδάφους (δηλ. έστω απαιτούνται 600mm εξυγιαντικής στρώσης, 600mm φυσικού εδάφους αντικαθίστανται με καλύτερης ποιότητας υλικό ή εξυγιαίνονται με τσιμέντο ή υδράσβεστο).

Οι στρώσεις της υπόβασης και της βάσης αντιμετωπίζονται σαν μία στρώση ασύνδετου υλικού. Για πρακτικούς λόγους, το πάχος της στρώσης από ασύνδετα αδρανή επιλέχθηκε να έχει τρεις διακεκριμένες τιμές: 400mm, 300mm και 200mm. Επομένως ο μελετητής πρέπει να επιλέξει ένα από τα τρία προτεινόμενα πάχη για να προχωρήσει στη διαστασιολόγηση των ασφαλικών στρώσεων. Ωστόσο, το πάχος της βάσης/υπόβασης και ο καθορισμός απαίτησης εξυγιαντικής στρώσης συνδέεται άμεσα με το είδος του υπεδάφους.

Υπέδαφος

Η αντοχή του υπεδάφους είναι ουσιαστικής σημασίας στη διαστασιολόγηση του οδοστρώματος. Ασθενές υπέδαφος απαιτεί μεγαλύτερο πάχος υπερκείμενων στρώσεων, σε σύγκριση με υψηλής αντοχής υπέδαφος, για να παραλάβει τα αναπτυσσόμενα από την κυκλοφορία φορτία. Η αντοχή του υπεδάφους στη μεθοδολογία αυτή καθορίζεται με βάση τον Καλιφορνιακό δείκτη (CBR).

Το CBR πρέπει να ελέγχεται εργαστηριακά σύμφωνα με την προδιαγραφή E 105-86, αλλά μετά από τετραήμερο υδρεμποτισμό, και σε όλες τις περιπτώσεις σαν αντιπροσωπευτική τιμή CBR για τη διαστασιολόγηση πρέπει να λαμβάνεται αυτή που αντιστοιχεί στο 90% της μέγιστης ξηρής πυκνότητας που καθορίζεται από την τροποποιημένη μέθοδο Proctor.

Εξυγιαντική στρώση απαιτείται όταν το CBR του υπεδάφους είναι μικρότερο από 5%. Το πάχος της εξυγιαντικής στρώσης καθορίζεται από το CBR του υπεδάφους. Η μεθοδολογία αυτή διακρίνει δύο τιμές CBR και επομένως δύο πάχη εξυγιαντικής στρώσης. Ειδικότερα, όταν:

- το CBR είναι μικρότερο ή ίσο με 2,5% το πάχος της εξυγιαντικής στρώσης πρέπει να είναι 600mm.
- το CBR είναι μεγαλύτερο από 2,5% και μικρότερο ή ίσο με 5% το πάχος της εξυγιαντικής στρώσης πρέπει να είναι 300mm.

Τα προαναφερόμενα πάχη της εξυγιαντικής στρώσης συνδυάζονται με το πάχος της βάσης και υπόβασης. Επομένως η επιλογή πάχους βάσης/υπόβασης γίνεται σύμφωνα με τον πίνακα 1.1.

CBR Υπεδάφους(%)	Εξυγιαντική στρώση (mm)	Πάχος βάσης/υπόβασης (mm)
≤ 2,5 2,6 - 5,0 5,1 – 10,0	Απαιτούμενο πάχος	
	600	400
	300	400
	0	400
10,1 – 20,0 > 20,0	Συνιστώμενο πάχος	
	0	300
	0	200

Πίνακας 1.1 Απαιτούμενα και συνιστώμενα πάχη βάσης/υπόβασης

Το κοκκώδες υλικό που χρησιμοποιείται στην κατασκευή της βάσης/υπόβασης πρέπει να είναι σύμφωνο με την προδιαγραφή ΠΤΠ Ο-155 και το άρθρο 67 της ΤΣΥ. Όταν το πάχος της βάσης/υπόβασης είναι 400mm επιτρέπεται η κατασκευή των πρώτων 200mm, σε επαφή με το υπέδαφος, να είναι από φυσικό αμμοχάλικο, σύμφωνα με την προδιαγραφή ΠΤΠ Ο-150 και το άρθρο 66 της ΤΣΥ. Τα υπόλοιπα όμως 200mm θα πρέπει να είναι από θραυστό αδρανές υλικό ή θραυστό αμμοχάλικο, σύμφωνα με την προδιαγραφή ΠΤΠ Ο-155 και το άρθρο 67. Πλην όμως, όταν η διάρκεια ζωής σε ΙΤΑ είναι μεγαλύτερη από 1×10^7 , ή σε έργα όπου αναμένονται κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών θερμοκρασίες υπό του μηδενός, ανεξάρτητα του κυκλοφοριακού φόρτου, συνιστάται η αποκλειστική χρήση υλικού σύμφωνα με την ΠΤΠ Ο-155 και το άρθρο 67 της ΤΣΥ.

Τα δύσκαμπτα οδοστρώματα κατασκευάζονται από σκυρόδεμα (άοπλο, οπλισμένο ή προεντεταμένο) και εδράζονται σε κατάλληλη βάση (Σχήμα 1.2). Ο

σκοπός και η λειτουργία των στρώσεων ποικίλει, ανάλογα με την ελαστικότητα του οδοστρώματος.

Στα εύκαμπτα οδοστρώματα οι στρώσεις υπόβασης και βάσης κατασκευάζονται, επειδή:

- Αποτρέπουν την άνοδο του ύδατος λόγω τριχοειδών
- Δίνουν μια πρόσθετη προστασία από τον παγετό
- Συντελούν στην αποστράγγιση
- Αυξάνουν τη φέρουσα ικανότητα
- Βοηθούν την κατανομή των φορτίων με το σύστημα των στρώσεων

Στα δύσκαμπτα οδοστρώματα η στρώση βάσης κατασκευάζεται, επειδή:

- Αποτρέπει την άνοδο του ύδατος λόγω τριχοειδών
- Προστατεύει από τον παγετό
- Συντελεί στην αποστράγγιση.
- Αποτρέπει τις καθιζήσεις του εδάφους
- Αυξάνει την αντοχή του οδοστρώματος
- Διευκολύνει την κατασκευή



Σχήμα 1.3 Τυπική διατομή οδοστρώσας

Στο εύκαμπτο οδόστρωμα η μεταφορά των φορτίων στο έδαφος γίνεται δια μέσου των στρώσεων του. Το ολικό πάχος του ευκάμπτου οδοστρώματος πρέπει να είναι τόσο, ώστε οι δυνάμεις που μεταβιβάζονται σε μεγαλύτερη συνεχώς

επιφάνεια να μειωθούν μέχρι να γίνονται ανεκτές από το έδαφος έδρασης του οδοστρώματος.

Στο δύσκαμπτο οδόστρωμα, όπου το υλικό του είναι μεγάλης αντοχής, το κύριο μέρος των τάσεων μεταβιβάζεται στο φορέα, ενώ το έδαφος θεμελίωσης απλώς αντιδρά στην παραμόρφωση του οδοστρώματος. Έτσι το πρόβλημα του υπολογισμού των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων είναι η στατική επίλυση πλάκας σκυροδέματος, που εδράζεται σε άπειρα ελαστικά σημεία.

1.4 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Στα παραπάνω σχήματα είχε σχεδιασθεί σκαριφηματικά η διαφορά στη δομή ευκάμπτων και άκαμπτων οδοστρωμάτων. Στα άκαμπτα οδοστρώματα, είναι προφανής η κυριαρχία της πλάκας σκυροδέματος. Πρόκειται συνήθως για οπλισμένη πλάκα πάχους 20 - 30 cm η οποία εδράζεται πάνω σε επιλεγμένο υλικό, στρώση η οποία θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι αντιστοιχεί στην υπόβαση των ευκάμπτων οδοστρωμάτων.

Στην Ελλάδα κατασκευάζονται αποκλειστικά εύκαμπτα οδοστρώματα για τους δρόμους. Ο βασικός λόγος για αυτό είναι ότι τα άκαμπτα οδοστρώματα είναι ακριβότερα. Κατ' εξαίρεση σε ορισμένες περιπτώσεις, αλλά και στα αεροδρόμια, μπορεί να προκριθεί η κατασκευή άκαμπτων οδοστρωμάτων.

Πέραν του κόστους τα εύκαμπτα με τα άκαμπτα οδοστρώματα παρουσιάζουν μια ακόμα σειρά διαφοροποιήσεων:

- Τα εύκαμπτα οδοστρώματα παραμορφώνονται περισσότερο από τη διέλευση ενός βαρέως φορτηγού. Γι' αυτό άλλωστε ονομάζονται και εύκαμπτα. Θα μπορούσε να αναφερθεί ότι μια τέτοια διέλευση προκαλεί βύθιση της τάξης των 2 mm, ενώ στα άκαμπτα οδοστρώματα η βύθιση είναι ανεπαίσθητη.
- Η πίεση στη διεπιφάνεια οδοστρώματος - εδάφους, κάτω από το φορτίο κυκλοφορίας είναι υψηλότερη στα εύκαμπτα οδοστρώματα. Θα μπορούσε να αναφερθεί ότι είναι της τάξης του 15% των φορτίων κυκλοφορίας, ενώ στην ίδια θέση στα άκαμπτα οδοστρώματα είναι της τάξης του 2-3%.
- Τα οδοστρώματα σκυροδέματος θεωρούνται καταλληλότερα όπου τα φορτία είναι ισχυρά. Για αυτό και χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη και στις Η.Π.Α. και στους κεντρικούς αυτοκινητόδρομους και λεωφόρους (αν και όχι συχνά). Χρησιμοποιούνται όμως συχνότερα στα οδοστρώματα αεροδρομίων, αφού τα φορτία των αεροσκαφών είναι μια τάξη μεγαλύτερα από τα αξονικά φορτία των φορτηγών. Τα οδοστρώματα σκυροδέματος θεωρούνται καταλληλότερα σε ορισμένες ειδικές περιπτώσεις καταπόνησης, όπως, όπου βαριά οχήματα σταθμεύουν ή κινούνται πολύ αργά (σε χώρους στάθμευσης

φορτηγών, αεροσκαφών, πριν από διόδους ή σε μεγάλες ανηφόρες, σε χώρους στάσης λεωφορείων, σε προβλήτες λιμανιών, σε τελωνεία κλπ. Αυτό οφείλεται στο ότι η ασφαλτος έχει ρεολογική συμπεριφορά, οι παραμορφώσεις της δηλαδή εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου, οπότε μακροχρόνια δράση ισχυρών φορτίων θα προκαλούσε τοπικές παραμορφώσεις). Προτιμούνται επίσης όπου υπάρχει κίνδυνος να πέσουν λάδια ή καύσιμα στο οδόστρωμα (τα καύσιμα και λιπαντικά, ως παραπλήσιας χημικής σύστασης με την ασφαλτο την προσβάλλουν και την διαλύουν. Έτσι, σε χώρους μακροχρόνιας στάθμευσης, σε πρατήρια καυσίμων, σε συνεργεία, προτιμώνται οδοστρώματα σκυροδέματος). Θεωρούνται, τέλος, καταλληλότερα όπου οι αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες θα μπορούσαν να επηρεάσουν τα εύκαμπτα οδοστρώματα.

Χαρακτηριστική θέση ανάπτυξης υψηλών θερμοκρασιών είναι η αρχή των αεροδιαδρόμων, εξ αιτίας των θερμών αερίων που εκβάλλουν οι κινητήρες των αεροσκαφών.

- Τα οδοστρώματα σκυροδέματος θεωρείται ότι φθείρονται λιγότερο, έχουν δηλαδή μεγαλύτερη διάρκεια ζωής (έως και 40 χρόνια αντί για 25 των ισχυρών ευκάμπτων οδοστρωμάτων).

- Η επιρροή της θερμοκρασίας στους δύο τύπους οδοστρωμάτων είναι διαφορετική. Η ασφαλτος είναι θερμοπλαστικό υλικό. Υψηλές θερμοκρασίες την μαλακώνουν και ως εκ τούτου τα εύκαμπτα οδοστρώματα είναι ιδιαίτερα ευπαθή σε τροχοαυλακώσεις κατά τους θερινούς μήνες. Επίσης ιδιαίτερα χαμηλές θερμοκρασίες την καθιστούν εύθραυστη, με συνέπεια να είναι ευπαθής σε ρηγματώσεις στις βαρυχειμωνιές.

- Αντίθετα τα οδοστρώματα σκυροδέματος υφίστανται συστολές – διαστολές από τη μεταβολή της θερμοκρασίας, δράση που αντιμετωπίζεται με την όπλιση των πλακών και την κατασκευή αρμών. Η αναγκαιότητα των αρμών δημιουργεί με τη σειρά της προβλήματα ευπάθειας των άκαμπτων οδοστρωμάτων στην περιοχή των αρμών τους. Συναφές είναι και το πρόβλημα των τάσεων από τη συστολή πήξης που εμφανίζεται, προφανώς, μόνο στα οδοστρώματα σκυροδέματος.

- Η βασικότερη, ωστόσο, διαφοροποίηση μεταξύ ευκάμπτων και άκαμπτων οδοστρωμάτων θεωρείται ο τρόπος συμπεριφοράς του συστήματος στα φορτία κυκλοφορίας. Στα εύκαμπτα οδοστρώματα το σύστημα έδαφος- οδόστρωμα συμπεριφέρεται πιο ενιαία. Αν υπάρχει στο υπέδαφος ένα ασθενές σημείο (το οποίο δεν έχει εντοπισθεί και εξυγιανθεί κατά την κατασκευή), τότε υπό τα φορτία κυκλοφορίας το έδαφος εκεί καθιζάνει. Το υπερκείμενο οδόστρωμα δεν έχει αυτοτέλεια συμπεριφοράς, η υπόβαση, ως ασύνδετο υλικό θα καταρρεύσει ακολουθώντας την καθίζηση του εδάφους, η βάση ως ασύνδετο υλικό θα καταρρεύσει και αυτή. Ο ασφαλοτάπητας βέβαια, είναι στρώση με δομική

συνοχή, είναι όμως ανίκανη να γεφυρώσει μεγάλα υποκείμενα κενά για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αργά ή γρήγορα θα καταρρεύσει και αυτός ακολουθώντας το σχήμα παραμόρφωσης της υποκείμενης βάσης.

Αντίθετα, αν αυτό συμβεί σε οδόστρωμα σκυροδέματος, η υπόβαση, προφανώς, θα καταρρεύσει, ακολουθώντας την καθίζηση του εδάφους, αλλά η πλάκα σκυροδέματος μπορεί χωρίς πρόβλημα να γεφυρώσει καθιζήσεις υπό την επιφάνεια της, εφόσον είναι οπλισμένη, χωρίς να ραγίσει. Δρα κατά τρόπο παραπλήσιο (διότι δεν είναι και παρόμοια οπλισμένη) με τις τυπικές πλάκες ενός κτιρίου, οι οποίες δεν υποστηρίζονται παρά μόνο περιμετρικά. Δεν έχουμε δηλαδή τόσο 'ενιαίο' έδαφος, όπως είναι αυτό των ευκάμπτων οδοστρωμάτων.

1.5 ΑΣΦΑΛΤΟΣ

1.5.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ

Η Λώρα Ίνγκαλς Γουίλντερ, συγγραφέας, θυμάται την πρώτη φορά που είδε ασφαλτοστρωμένο δρόμο. Ήταν σε ένα ταξίδι που έκανε με τους γονείς της το 1894 στην πόλη Τοπήκα των Η.Π.Α. Γράφει: «Στο κέντρο της πόλης, το έδαφος καλύφθηκε από κάποια σκοτεινή ουσία που έπνιγε τον ήχο που έκανα οι ρόδες αλλά και τα τακούνια των παπουτσιών. Ήταν όπως η πίσσα, αλλά ο μπαμπάς ήταν βέβαιος ότι δεν ήταν, και ήταν κάτι σαν το λάστιχο, αλλά δεν μπόρεσε να είναι λαστιχένιο επειδή το λάστιχο κοστίζει πάρα πολύ. Βλέπαμε τις κυρίες όλες στα μετάξια, με ομπρέλες ηλίου στο χέρι, περπατώντας με τις συνοδείες τους κατά μήκος της οδού. Τα τακούνια τους βαθούλωσαν τον δρόμο αλλά αυτά τα κενά γέμισαν ξανά αργά και επανήλθαν στην αρχική τους κατάσταση. Λες και εκείνη η ουσία ήταν ζωντανή. Ήταν κάτι μαγικό.»

Σήμερα, αυτό το σκοτεινό, ελαστικό υλικό καλύπτει περισσότερα από το 94% των δρόμων στις Ηνωμένες Πολιτείες. Είναι η πιο δημοφιλής επιλογή για αυτοκινητοδρόμους, χώρους στάθμευσης, διαδρόμους αερολιμένων, πίστες αγώνων ταχύτητας και άλλες εφαρμογές, όπου μια ομαλή και ανθεκτική επιφάνεια απαιτείται. Αποκαλούμενη, κατά το πέρασμα των χρόνων, ως καυτό ασφαλτικό μίγμα, *tarmac*, σκυρόστρωμα, ασφαλτικό ή ασφαλτούχο σκυρόδεμα, έχει διαδραματίσει έναν σημαντικό ρόλο στην αλλαγή του τοπίου και της ιστορίας των Η.Π.Α. από τα τέλη του 19ου αιώνα.

Αλλά η ιστορία της ασφάλτου αρχίζει χιλιάδες έτη πριν, νωρίτερα ακόμα κι από την ίδρυση των Ηνωμένων Πολιτειών. Η ασφαλτος υπήρχε ως φυσικό προϊόν στις λίμνες ασφάλτου και στην ασφαλτο βράχου (ένα μίγμα άμμου, ασβεστόλιθου, και ασφάλτου).

Η πρώτη καταγεγραμμένη χρήση της ασφάλτου ως υλικό κατασκευής ήταν στην Βαβυλώνα το 625 π.Χ. κατά τη βασιλεία του Ναβοπολάσσαρ. Στο « Ο αιώνας της προόδου: Η ιστορία των ασφαλικών μιγμάτων», που δημοσιεύτηκε από την εθνική ένωση ασφάλτου το 1992, ο συντάκτης Hugh Gillespie σημειώνει ότι: «μια επιγραφή σε ένα τοίχο αναφέρει την επίστρωση της οδού πομπής στη Βαβυλώνα, η οποία οδηγούσε από το παλάτι του βασιλιά στο βόρειο τμήμα της πόλης.»

Γνωρίζουμε ότι οι αρχαίοι Έλληνες ήταν εξοικειωμένοι με την ασφαλτο και τις ιδιότητές της. Η λέξη ασφαλτος είναι ελληνική και προέρχεται από την λέξη «ασφαλής». Οι Ρωμαίοι τη χρησιμοποιούσαν για να σφραγίζουν τα λουτρά, τις δεξαμενές, και τα υδραγωγεία τους.

Πολλούς αιώνες αργότερα, οι Ευρωπαίοι που εξερευνούσαν το νέο κόσμο ανακάλυψαν αποθέματα ασφάλτου. Γράφοντας το 1595, ο Sir Walter Raleigh περιέγραψε μία πεδιάδα (λίμνη) από ασφαλτο στο νησί Τρινιδάδ, στις ακτές της Βενεζουέλας (εικόνα 1.1). Χρησιμοποίησαν την ασφαλτο για τη συντήρηση των σκαφών τους.



Εικόνα 1.1 Λίμνη Τρινιδάδ

1.6 ΑΣΦΑΛΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Η ασφαλτος και η χρησιμότητά της ως υλικό στις κατασκευές, είναι γνωστή από αρχαιοτάτων χρόνων. Χρησιμοποιείται ως δομικό, μονωτικό και συνδετικό υλικό για την κατασκευή οδοστρωμάτων. Εκτός από τη φυσική ασφαλτο υπάρχει και η ασφαλτος από τη διύλιση αργού πετρελαίου, η οποία χρησιμοποιείται στις σύγχρονες κατασκευές.

Το αργό πετρέλαιο αποτελείται από μία σειρά συγγενικών, σύνθετων υδρογονανθράκων, οι οποίοι ποικίλλουν από το ελαφρύ αέριο μεθάνιο, μέχρι τα

πιο βαριά στερεά, όπως το βιτουμένιο. Τα διάφορα μίγματα, που αποτελούν το υγρό ή το αργό πετρέλαιο, διαχωρίζονται με κλασματική απόσταξη σε συνεχώς αυξανόμενες θερμοκρασίες. Τα συστατικά του μίγματος, από τα ελαφρύτερα προς τα βαρύτερα είναι τα ελαφρά αέρια και οι ελαφροί διαλύτες, οι βενζίνες, το φωτιστικό πετρέλαιο, το ακάθαρτο πετρέλαιο, τα ορυκτέλαια, τα διάφορα υπόλοιπα και τέλος, η πίσσα, η ασφαλτος και η παραφίνη.

Επειδή η χημική σύσταση των πετρελαίων δεν είναι σταθερή, οι φυσικές ιδιότητές τους, όπως το χρώμα, το βάρος και το ιξώδες διαφέρουν, επίσης, σημαντικά. Η βιομηχανία του πετρελαίου παράγει μεγάλες ποσότητες ασφάλτου, οι οποίες μπορεί να έχουν διαφορετικές ιδιότητες που τροποποιούνται ανάλογα με τη χρήση της. Η τροποποίηση των ιδιοτήτων της ασφάλτου γίνεται με τη χρήση πρόσθετων υλών σε διάφορα στάδια της παραγωγής της. Η σημαντικότερη τροποποίηση των ιδιοτήτων οφείλεται στην θερμοκρασία απόσταξης, η οποία ρυθμίζει το ποσοστό των ελαιωδών συστατικών στο υπόλειμμα.

Η ασφαλτος διακρίνεται σε σκληρή και σε μαλακή. Η ασφαλτος είναι ένα πολύπλοκο χημικό μίγμα οργανικών ενώσεων, το οποίο αποτελείται, κυρίως, από υδρογονάνθρακες, με ένα μικρό ποσοστό ετεροκυκλικών ενώσεων που περιέχουν στα ενεργά τους κέντρα θείο, άζωτο και οξυγόνο. Επίσης, περιέχει και ίχνη μετάλλων. Μια στοιχειακή ανάλυση ασφάλτων, οι οποίοι προέρχονται από αργό πετρέλαιο, έδειξε ότι περιέχουν άνθρακα $82 \div 88$ %, υδρογόνο $8 \div 11$ %, θείο $0 \div 6$ %, οξυγόνο $0 \div 1.5$ % και άζωτο $0 \div 1$ %. Παρά την πολυπλοκότητα της χημικής ένωσης της ασφάλτου, η ασφαλτος περιέχει δυο ευρύτερες χημικές ομάδες που επηρεάζουν άμεσα την συμπεριφορά της σε διαφορές εφαρμογές, όπως στην οδοποιία. Οι δυο χημικές ομάδες είναι τα ασφαλτένια και τα μαλτένια. Τα μαλτένια μπορούν να υποδιαιρεθούν σε κορεσμένους υδρογονάνθρακες, σε αρωματικούς και σε ρητίνες. Τα ασφαλτένια είναι πολύπλοκες πολικές αρωματικές ενώσεις, οι οποίες περιέχουν, εκτός από άνθρακα και υδρογόνο και άζωτο, θείο και οξυγόνο.

Τα βασικά χαρακτηριστικά της ασφάλτου είναι η συγκολλητική ικανότητά της και οι υγρομονωτικές ιδιότητές της.

1.6.1 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ

Η ασφαλτος είναι ένας σύνθετος υδρογονάνθρακας, ο οποίος παρασκευάζεται από την κλασματική απόσταξη του αργού πετρελαίου. Για τις διάφορες εφαρμογές της αναμιγνύεται, συχνά, με διάφορα αδρανή υλικά, τα οποία εξαρτώνται από την μετέπειτα χρήση της. Πολύ μεγάλη χρήση της ασφάλτου γίνεται στην οδοστρωσία και σε υλικά επιστρώσεων, αλλά χρησιμοποιείται και ως υγρομονωτικό υλικό σε στέγες, οροφές, γέφυρες, καταστρώματα και υπόγειες κατασκευές. Γενικά η ασφαλτος θεωρείται ως ένα κολλώδες σύστημα,

το οποίο αποτελείται από ασφαλτένια με υψηλό μοριακό βάρος διεσπαρμένα ή διαλυμένα σε ένα ελαιικό μέσο διασποράς, με χαμηλότερο μοριακό βάρος τα μαλτένια . Η τυπική σύνθεση της ασφάλτου περιέχει (~25%) ασφαλτένια και (~65%) μαλτένια, ενώ περιέχει και (~10 %) κορεσμένα. Επίσης, περιέχεται άζωτο (~1%) και θείο (~3%). Οποιαδήποτε αυξομείωση των ασφαλτενίων και των μαλτενίων, ιδιαίτερα των ρητινών και των κορεσμένων, επηρεάζει το ιξώδες και τη θερμοκρασιακή ευαισθησία της ασφάλτου. Η περιεκτικότητα της ασφάλτου σε ασφαλτένια επηρεάζει άμεσα τις ρεολογικές ιδιότητές της, δηλαδή με την αύξηση του ποσοστού των ασφαλτενίων λαμβάνεται άσφαλτος με χαμηλή διεισδυτικότητα, υψηλό σημείο μάλθωσης, συνεπώς υψηλό ιξώδες. Το ποσοστό ασφαλτενίων στην άσφαλτο κυμαίνεται από 5%, τύπος 280/300, μέχρι 28% ,τύπος 20/30. Στις περιοχές με ψυχρό κλίμα, χρησιμοποιείται συνήθως «μαλακή» άσφαλτος, ενώ αντίθετα σε περιοχές με θερμό κλίμα χρησιμοποιείται «σκληρή» άσφαλτος.

1.6.2 ΦΥΣΙΚΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ

Η άσφαλτος είναι υγρό με μεγάλο ιξώδες σε υψηλές θερμοκρασίες και είναι εύθρυπτο στερεό σε χαμηλές θερμοκρασίες. Για τον προσδιορισμό των κυριότερων χαρακτηριστικών της ασφάλτου ενδιαφέρει το ιξώδες της, αλλά και η σκληρότητά της σε διάφορες θερμοκρασίες. Οι σχέσεις μεταξύ των αντοχών και των θερμοκρασιών είναι ιδιαίτερα σημαντική, αφού η άσφαλτος πρέπει να είναι σε ρευστή κατάσταση για να αναμιχθεί με διάφορα αδρανή και να μορφοποιηθεί, ώστε να συμπεριφέρεται ως στερεό σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Η άσφαλτος είναι βισκοελαστικό υλικό και οι ιδιότητές της επηρεάζονται όχι μόνο από τη θερμοκρασία αλλά και από τα φορτία που παραλαμβάνει. Η βισκοελαστική συμπεριφορά της ασφάλτου προκαλεί φαινόμενα ερπυσμού σε διάφορες εφαρμογές της στα οδοστρώματα. Τα φαινόμενα αυτά προκαλούνται από στατική αλλά και από κυλιόμενη επαναλαμβανόμενη φόρτιση. Ο τύπος της ασφάλτου, ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε έργο, είναι συνάρτηση, κυρίως, του τύπου του ασφαλτικού σκυροδέματος που θα επιλεγεί και των θερμοκρασιών του περιβάλλοντος που επικρατούν στο έργο. Ο τύπος του ασφαλτικού σκυροδέματος των οδοστρωμάτων επιλέγεται με βάση τα φορτία και τις ανάγκες του έργου και είναι σε άμεση συνάρτηση με τις επικρατούσες θερμοκρασίες στο έργο. Στην Ελλάδα εφαρμόζεται η Πρότυπη Τεχνική Προδιαγραφή (ΠΤΠ) Α 200 του 1966. Γενικά λαμβάνεται υπόψη η χημική ανάλυση της ασφάλτου, με στόχο να προσδιοριστεί η επίδραση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας στο σώμα του ασφαλτοτάπητα για την προδιαγραφή και την εξάλειψη των συνήθων προβλημάτων των οδών, όπως η γήρανση, η τροχοαυλάκωση, ο ερπυσμός και η φθορά από το νερό.

1.6.3 ΑΣΦΑΛΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΡΩΣΕΙΣ



Εικόνα 1.2 Διάστρωση ασφάλτου

Η ασφαλτος είναι σχετικά σκληρή και βαριά σε σύγκριση με τις μεμβράνες. Είναι έτσι λιγότερο ευαίσθητη στη δημιουργία θυλάκων, αλλά θέτει ειδικά προβλήματα από την υγρασία και τον αέρα που μπορεί να παγιδευτεί κάτω από αυτήν κατά την εφαρμογή. Η επίδραση του παγιδευμένου αέρα και της υγρασίας είναι πολύ έντονη γιατί η θερμοκρασία της ασφάλτου μπορεί να φτάσει σε πολύ υψηλές τιμές, οπότε ο αέρας διογκώνεται πολύ και απότομα και το νερό θερμαίνεται πάνω από το σημείο βρασμού και εξασκεί πίεση ατμού. Δημιουργούνται έτσι μεγάλα φουσκάματα που προκαλούν τη διάρρηξη της ασφαλτικής επίστρωσης και τη μερική αποκόλλησή της από το δώμα. Η συνάφεια της επίστρωσης ελαττώνεται περισσότερο αν το δώμα είναι υγρό ή σκονισμένο κατά την εφαρμογή. Το φαινόμενο είναι εντονότερο στις κατακόρυφες επιφάνειες όπου η ασφαλτική επίστρωση εφαρμόζεται απευθείας πάνω στο υπόβαθρο, ενώ στις οριζόντιες επιφάνειες η εφαρμογή γίνεται συνήθως πάνω σε διάτρητα φύλλα ή υαλοϋφάσματα που εφαρμόζονται ως διαχωριστικές στρώσεις. Αυτά επιτρέπουν τη διαφυγή του αέρα και της υγρασίας πλευρικά κατά την εφαρμογή, γι' αυτό όπου ο τεχνίτης διαπιστώνει ελαττωματική συνάφεια ή φουσκάμα μπορεί να το τρυπήσει και να ξαναπεράσει στην επιφάνεια ασφαλτική διάστρωση.

Η ασφαλτος που εφαρμόζεται απευθείας πάνω σε επιφάνειες από σκυρόδεμα ή τσιμεντοκονίαμα δεν παρέχει τέτοιες δυνατότητες διαφυγής πλευρικά, αλλά μόνο μέσα από τους πόρους του ίδιου του σκυροδέματος σε αμελητέο βαθμό. Σε τέτοιες περιπτώσεις το φαινόμενο της παγιδευμένης υγρασίας και αέρα είναι όμοιο με αυτό που παρουσιάζεται στις μεμβράνες και ακολουθείται ο ίδιος μηχανισμός που μπορεί να προκαλέσει τοπικές αποκολλήσεις της στεγάνωσης. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα είναι απαραίτητο η επιφάνεια να περαστεί πριν από την εφαρμογή της στεγάνωσης με ένα ισχυρό primer για να αυξηθεί η συνάφειά της με τα ασφαλτικά υλικά. Η επιφάνεια πρέπει επίσης να

βρίσκεται στην κατάλληλη υγροσκοπική κατάσταση, αλλιώς πρέπει να αφηθεί να στεγνώσει αν είναι πολύ υγρή ή να υγρανθεί αν είναι πολύ ξηρή. Εξάλλου η επιφάνεια δεν πρέπει να είναι πολύ λεία για να παρέχει μια μικρή δυνατότητα κυκλοφορίας του αέρα μεταξύ αυτής και της στεγανωτικής επίστρωσης. Μια εναλλακτική λύση είναι η κολυμβητή τοποθέτηση πάνω από βιομηχανικά προϊόντα ξύλου πάνω στο δώμα πριν από την εφαρμογή της στεγάνωσης.

Το φαινόμενο παρουσιάζεται εντονότερα κατά την εφαρμογή της πρώτης ασφαλικής επίστρωσης, ενώ η δεύτερη εφαρμόζεται στο λείο, σταθερό και συναφές υπόβαθρο της πρώτης. Είναι όμως σημαντικό η δεύτερη εφαρμογή να γίνει όσο το δυνατό συντομότερα μετά από την πρώτη και οπωσδήποτε την ίδια μέρα, για να μην προλάβουν να συγκεντρωθούν ρύποι που μπορεί να εμποδίσουν την πλήρη επικόλληση. Τα φουσκώματα παρουσιάζονται επίσης περισσότερο στις απολήξεις της στεγάνωσης που είναι επικολημένες, γιατί από κει τείνουν να διαφύγουν τα αέρια. Παρουσιάζονται επίσης συχνά στις κατακόρυφες ή κεκλιμένες επιφάνειες στηθαίων, υδροροών κτλ. και στα σημεία αλλαγής υλικού ή διεύθυνσης του δώματος. Ενώ οι ατέλειες της πρώτης ασφαλικής επίστρωσης επηρεάζουν σπάνια την τελική της εμφάνιση, οι ατέλειες της δεύτερης την επηρεάζουν σημαντικά. Αυτές μπορεί να μην είναι ορατές αμέσως μετά από την εφαρμογή, αλλά εμφανίζονται μετά από την ψύξη και τη σταθεροποίηση της ασφάλτου, οπότε όλες οι στρώσεις της κατακαθίζουν λίγο. Η παγίδευση αέρα και υγρασίας μεταξύ των διαδοχικών ασφαλικών επιστρώσεων δε συμβαίνει πολύ συχνά και παρουσιάζεται κάτω από ειδικές συνθήκες, όπως συγκέντρωση ρύπων πάνω στην επιφάνεια της πρώτης επίστρωσης, καθυστερημένη εφαρμογή της δεύτερης και χρήση διαφορετικών ασφαλικών υλικών. Αν τα φουσκώματα της δεύτερης μεμβράνης φτάσουν στο σημείο ρηγμάτωσης, τότε η στεγανωτική ικανότητα της ασφαλικής επίστρωσης περιορίζεται μόνο στην ικανότητα της πρώτης.

1.6.4 ΑΣΦΑΛΤΟΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Το ασφαλτοσκυρόδεμα είναι μίγμα ασφαλικών υλικών, άμμου και σκύρων. Τα ασφατικά υλικά αποτελούν τη συγκολλητική ύλη, γεμίζουν τα κενά της άμμου και συγκολλούν τους κόκκους της με τα σκύρα, ακριβώς όπως ενεργεί το τσιμέντο με το τσιμεντοσκυρόδεμα.

Τα χρησιμοποιούμενα ασφατικά υλικά είναι φυσικές ή τεχνητές άσφαλοι και πίσσες λιθανθράκων. Τα υλικά αυτά έχουν ισχυρές συγκολλητικές ιδιότητες, μεγάλη ευστάθεια, δηλαδή αντοχή στο χρόνο και δεν επηρεάζονται από τις καιρικές μεταβολές. Η επιλογή του καταλληλότερου υλικού για κάθε περίπτωση γίνεται πειραματικά και μετά σε σύγκριση προς τα άλλα υλικά, που έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί.

Τα αδρανή υλικά πρέπει να έχουν μεγάλη αντοχή σε τριβή, γιατί τα ασφαλτοσκυροδέματα χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατασκευή οδοστρωμάτων, όπου η μεγαλύτερη καταπόνηση προέρχεται από τις τριβές των κινούμενων οχημάτων. Η αναλογία μίξης των υλικών του ασφαλτοσκυροδέματος, εξαρτάται από το είδος του ασφαλτικού υλικού και την κατηγορία της οδού, επάνω στην οποία θα γίνει το οδόστρωμα. Άλλες αναλογίες θα ληφθούν για ορεινές οδούς, που υφίστανται τον χειμώνα τις επιδράσεις του χιονιού και του πάγου και άλλες για πεδινές. Επίσης διαφορετικής σύνθεσης θα είναι το ασφαλτοσκυρόδεμα που προορίζεται για οδούς θερμών ή ψυχρών κλιμάτων και για τις οδούς των πόλεων ή της υπαίθρου.

Η παρασκευή του ασφαλτοσκυροδέματος γίνεται αν αναμιξουμε τα αδρανή υλικά, αφού προηγουμένως προθερμανθούν και ξηρανθούν στους 100°C - 150°C, με την άσφαλο μέσα σε ειδικό αναμικτήρα.

Η άσφαλος και η πίσσα επίσης προθερμαίνονται. Αφού τελειώσει η ανάμιξη και το μίγμα γίνει ομοιογενές το υλικό μεταφέρεται στη θέση διαστρώσεώς του και με τη βοήθεια ειδικών μηχανημάτων διαστρώνεται και συμπυκνώνεται, μέχρι να φθάσει στο πάχος που θέλουμε. Το ασφαλτοσκυρόδεμα χρησιμοποιείται για την κατασκευή οδοστρωμάτων, διαδρόμων αεροδρομίων και σε πολλά υδραυλικά έργα.

Η ποιότητα και το είδος των υλικών, που θα χρησιμοποιηθούν στην παρασκευή ασφαλτοσκυροδέματος, ο έλεγχος των ιδιοτήτων και η κοκκομετρική σύνθεσή τους, ο τρόπος ανάμιξης και παρασκευής και ο τρόπος διάστρωσης αναφέρονται λεπτομερώς στις Πρότυπες Τεχνικές Προδιαγραφές του Υπουργείου Δημοσίων Έργων, προκειμένου για κατασκευές οδοστρωμάτων στις ελληνικές οδούς.

1.6.5 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΑΣΦΑΛΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τα ασφαλτικά υλικά είναι θερμοπλαστικά, δε διαλύονται στο νερό και παρουσιάζουν καλή αντοχή στα οξέα, τις βάσεις και τα διαλύματα αλάτων. Σε οργανικούς διαλύτες παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά κατά περίπτωση. Ανάλογα με τη χημική σύσταση, ποικίλλει το χρώμα, το ειδικό βάρος, η φυσική κατάσταση (στερεά, ημιστερεά, υγρά). Τα ασφαλτικά μείγματα οδοστρωσίας παρασκευάζονται κυρίως από αδρανή και μάλθη. Οι πίσσες οδοστρωσίας και τα μείγματα πίσσας - μάλθης, χρησιμοποιούνται σε πολύ μικρή κλίμακα.

1.6.6 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΑΣΦΑΛΤΟΥ ΩΣ ΣΥΝΔΕΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

Υπάρχουν διάφορα χαρακτηριστικά της συνδετικής ασφάλτου που μπορούν να έχουν σε μεγάλο βαθμό επιπτώσεις στην απόδοση του ασφαλτομίγματος. Δύο από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά που διαδραματίζουν έναν σημαντικό ρόλο στο ασφαλτόμιγμα είναι:

- Ιξώδης / Ελαστική συμπεριφορά
- Οξειδωση

Ιξώδης / Ελαστική συμπεριφορά

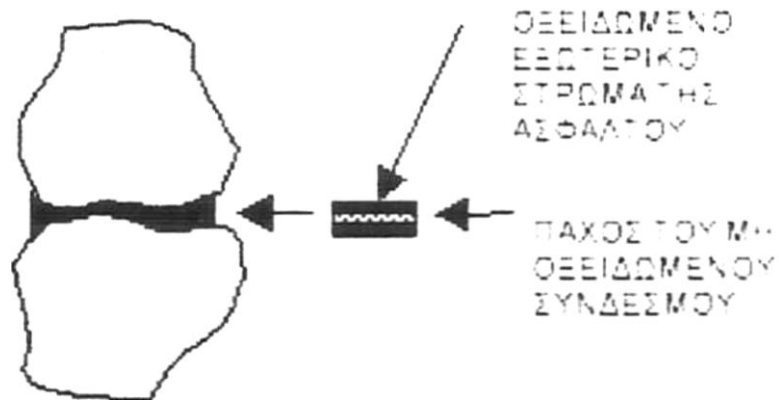
Η άσφαλτος είναι ένα υλικό που μπορεί να ενεργήσει και ως ιξώδες ρευστό υλικό και ως ελαστικό στερεό (λαστιχένια περιοχή) υλικό. Στις υψηλές θερμοκρασίες (μεγαλύτερες από 100°C), η άσφαλτος συμπεριφέρεται βασικά ως ιξώδες ρευστό παρόμοιο με το πετρέλαιο κινητήρων. Αυτό επιτρέπει στην άσφαλτος να ενεργήσει ως λιπαντικό που ντύνει τα αδρανή υλικά και παρέχει εργασιμότητα στο μίγμα κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (λιγότερο από 0° C), συμπεριφέρεται όπως ένα ελαστικό στερεό που θα τεντωθεί ή θα συμπιεστεί όταν φορτώνεται και επιστρέφει στην αρχική μορφή του όταν ξεφορτώνεται. Στις ενδιάμεσες θερμοκρασίες που συμβαίνει επίσης να είναι εκείνες στις οποίες το οδόστρωμα αναμένεται να λειτουργήσει τις περισσότερες φορές, η άσφαλτος έχει τα χαρακτηριστικά και ενός ιξώδους ρευστού και ενός ελαστικού στερεού.

Οξειδωση

Το ασφαλτικό τσιμέντο αντιδρά με το οξυγόνο στο περιβάλλον. Αυτή η αντίδραση, που καλείται οξειδωση, αλλάζει τη δομή και τη σύνθεση των μορίων ασφάλτου. Το αποτέλεσμα αυτής της αλλαγής στη δομή κατά τη διάρκεια του χρόνου είναι ότι ο ασφαλτικός σύνδεσμος γίνεται σκληρότερος και πιο εύθραυστος (μερικές φορές αναφέρεται ως ηλικία σκλήρυνσης). Η οξειδωση εμφανίζεται γρηγορότερα στις υψηλότερες θερμοκρασίες. Γι' αυτό ένα σημαντικό ποσό σκλήρυνσης εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της παραγωγής ασφαλτομίγματος όταν ο ασφαλτικός σύνδεσμος θερμαίνεται για να διευκολύνει τη μίξη και τη συμπίεση.

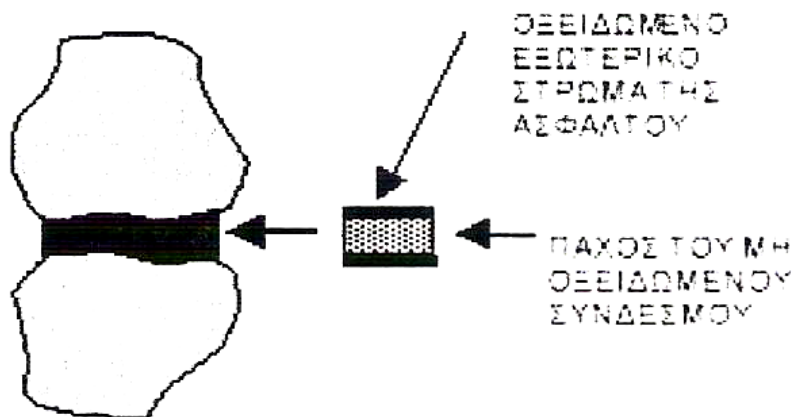
Το πάχος στρώσεων της ασφάλτου που περιβάλλει τα αδρανή υλικά επηρεάζει το ποσοστό οξειδωσης. Το εξωτερικό στρώμα όλης της συνδετικής ασφάλτου θα οξειδωθεί. Επομένως, η απόδοση της συνδετικής ασφάλτου θα καθοριστεί από το αποτελεσματικό πάχος στρώσεων που είναι το μη οξειδωμένο τμήμα της στρώσης ασφάλτου. Εάν το πάχος στρώσεων είναι ανεπαρκές, θα υπάρξει ένα ανεπαρκές ποσό μη οξειδωμένης ασφάλτου διαθέσιμο για να δεσμεύσει τα αδρανή υλικά μαζί. Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4 το στρώμα του μη

οξειδωμένου συνδέσμου δεν θα είναι ικανοποιητικό να αντισταθεί επαρκώς στις πιέσεις που δημιουργούνται από τις επανειλημμένες τροχαίες φορτώσεις και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Ως εκ τούτου, οι ρωγμές που οφείλονται στο συνδετικό που γερνά, μπορούν να αναπτυχθούν στην επιφάνεια οδοστρωμάτων και να διαδοθούν προς τα κάτω



Σχήμα 1.4 Ανεπαρκές πάχος στρώσεων

Το σχήμα 1.5 δείχνει ότι το μη οξειδωτικό στρώμα είναι πολύ παχύτερο και θα ήταν σε θέση πιθανότερα να αντισταθεί επαρκώς τις πιέσεις που δημιουργούνται από τις επαναλαμβανόμενες τροχαίες φορτώσεις και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Εν τούτοις, ο υπερβολικός σύνδεσμος μπορεί να προκαλέσει αιμορραγία, ολίσθηση και αυλάκωση.



Σχήμα 1.5 Επαρκές πάχος στρώσεων

1.7 ΣΥΝΗΘΙΣΜΕΝΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ

Οι συνηθισμένες δοκιμές για τα ασφαλτικά σκυροδέματα αναγράφονται στον Πίνακα 1.2 και ακολούθως εξετάζονται αναλυτικότερα.

α/α	ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΜΕΘΟΔΟΣ
1	Ολκιμότητα σε 25°C	AASHOT-51 ASTMD113 ASHOT 48 ASTMD 92
2	Σημείο ανάφλεξης	AASHTO 53 ASTMD 36
3	Σημείο μάλθωσης	AASHOT 49 ASTMD 5
4	Διείσδυση (100g, 5s, 25°C)	RI NOMOGRAPH
5	Τέφρα % κ.β.	AASHOT 47 ASTMD 6
6	Απώλεια βάρους μετά από θέρμανση 5h στους 163°C, % κ.β.	
7	Παραφίνη % κ.β.	DIN1995
8	Διαλυτότητα σε οργανικούς διαλύτες (διθειάνθρακα τετραχλωράνθρακα % κ.β.	AASHOT 45 ASTMD 165

Πίνακας 1.2 Συνηθισμένες δοκιμές για τα ασφαλτικά σκυροδέματα

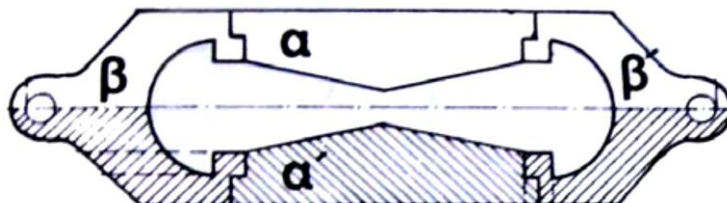
1.7.1 ΔΟΚΙΜΗ ΟΛΚΙΜΟΤΗΤΑΣ

Στη δοκιμή για τον προσδιορισμό της ολκιμότητας μετράται η επιμήκυνση του ασφαλτικού υλικού μέχρις ότου θραυστεί σε κατάλληλη συσκευή. Η δοκιμή εφελκυσμού γίνεται σε θερμοκρασία 25° C με ταχύτητα 5 cm/s, ενώ η δοκιμή σε χαμηλές θερμοκρασίες γίνεται σε θερμοκρασία 4° C με ταχύτητα 1 cm/s.

ΟΡΓΑΝΑ

Τα όργανα, τα οποία χρησιμοποιούνται, είναι η συσκευή εφελκυσμού, μήτρα δοκιμής και υδατόλουτρο. Ως συσκευή εφελκυσμού είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε συσκευή, η οποία είναι κατασκευασμένη με τέτοιο τρόπο, ώστε το δοκίμιο να βρίσκεται συνέχεια εμβαπτισμένο μέσα στο νερό και οι λαβές της μήτρας να κινούνται με ομοιόμορφη ταχύτητα χωρίς υπερβολική δόνηση. Η μήτρα δοκιμής έχει την μορφή οκταρίου και είναι

κατασκευασμένη από ορείχαλκο (Σχήμα 1.6). Τα τμήματα α και α' χαρακτηρίζονται ως πλευρές και τα άκρα β και β' ως λαβές.



Σχήμα 1.6

Μήτρα δοκιμής για τον έλεγχο της ολκιμότητας των ασφαλικών υλικών

Οι διαστάσεις της μήτρας πρέπει να είναι τέτοιες, ώστε όταν συναρμολογηθεί να προκύπτει δοκίμιο με τις διαστάσεις, οι οποίες αναγράφονται στον Πίνακα 1.3

Το υδατόλουτρο πρέπει να διατηρεί σταθερή τη θερμοκρασία δοκιμής με ακρίβεια $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Ο όγκος του νερού δεν πρέπει να είναι μικρότερος από 10 lt και το δοκίμιο να εμβαπτίζεται σε βάθος όχι μικρότερο από 10 cm. Η στήριξη του δοκιμίου κατά τη διάρκεια της δοκιμής γίνεται σε διάτρητο πλέγμα, το οποίο απέχει από τον πυθμένα του λουτρού τουλάχιστον 5 cm.

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά του δοκιμίου			Διαστάσεις σε cm
Ολικό μήκος			7.45 - 7.55
Απόσταση μεταξύ των λαβών			2.87 - 3.03
Πλάτος στο στόμιο της λαβής			1.98 - 2.02
Πλάτος ελάχιστης εγκάρσιας διατομής			0.99 - 1.01
Άνοιγμα στην άκρη της λαβής	Ημιέλλειψη	Εγκάρσιος άξονας	3.02 ± 0.05 cm
		Επιμήκης άξονας	1.45 - 1.55

Πίνακας 1.3 Διαστάσεις δοκιμίου για τον έλεγχο της ολκιμότητας

ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ - ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το υλικό, το οποίο πρόκειται να δοκιμαστεί, προετοιμάζεται σε κατάλληλη θερμοκρασία μέχρις ότου ρευστοποιηθεί μέσα σε ελαιόλουτρο. Στη συνέχεια, τοποθετείται στη μήτρα και στερεοποιείται στη θερμοκρασία δοκιμής, μέσα στο υδατόλουτρο, μέχρι την εκτέλεση της δοκιμής. Η μήτρα της δοκιμής τοποθετείται στο υδατόλουτρο επάνω στο κατάλληλο πλέγμα και τα άκρα της τοποθετούνται στη συσκευή εφελκυσμού. Ακολούθως, επιβάλλεται η εφελκυστική δύναμη σύμφωνα με τους κανονισμούς, ώστε η ταχύτητα

εφαρμογής στο δοκίμιο να είναι σταθερή. Η ταχύτητα εφαρμογή, εξαρτάται όμως, από τη θερμοκρασία της δοκιμής και μ' αυτόν τον τρόπο προσδιορίζεται η επιμήκυνση του δοκιμίου μέχρι την θραύση του. Η επιμήκυνση αυτή αποτελεί το δείκτη, ο οποίος προσδιορίζει την ολκιμότητα του δοκιμίου.

1.7.2 ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ ΤΩΝ ΑΣΦΑΛΤΙΚΩΝ

Σκοπός της δοκιμής αυτής είναι ο προσδιορισμός της θερμοκρασίας ανάφλεξης της ασφάλτου για την αποφυγή ανάφλεξης κατά την επεξεργασία της. Η δοκιμή γίνεται σύμφωνα με το αντίστοιχο πρότυπο.

ΟΡΓΑΝΑ

Τα όργανα, τα οποία χρησιμοποιούνται για τη δοκιμή ανάφλεξης ασφαλτικών υλικών, είναι ένας ανοικτός δοκιμαστήρας Cleveland (Εικόνα 1.3), ο οποίος αποτελείται από το δοχείο του δείγματος, τη θερμαινόμενη πλάκα και το μηχανισμό εφαρμογής δοκιμαστικής φλόγας, καθώς και ένα θερμόμετρο με κλίμακα από -6 μέχρι 400 °C.



Εικόνα 1.3 Ανοικτός δοκιμαστήρας Cleveland

ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ - ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Γεμίζεται το δοχείο με το ασφαλτικό υλικό, το οποίο πρόκειται να ελεγχθεί μέχρι τη χαραγή και ανακατεύεται το δείγμα, ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία φυσαλίδων. Αρχίζει να λειτουργεί η δοκιμαστική φλόγα κοντά στην επιφάνεια του δείγματος και παράλληλα αρχίζει η θέρμανση του δείγματος με τέτοιο ρυθμό, ώστε η θερμοκρασία του να ανέρχεται κατά 14 - 17 °C στο λεπτό. Όταν η θερμοκρασία του δείγματος φτάσει περίπου 56 °C κάτω από το αναμενόμενο

σημείο ανάφλεξης, τότε ελαττώνεται η ταχύτητα αύξησης θερμοκρασίας σε 5 - 6 ° C το λεπτό. Η δοκιμαστική φλόγα τοποθετείται πάνω από το δείγμα με χρόνο παραμονής της φλόγας περίπου 1 s. Σε κάθε μεταβολή της θερμοκρασίας του δείγματος κατά 2°C επαναλαμβάνεται η επαφή της φλόγας στην επιφάνεια του δείγματος, μέχρις ότου να εμφανιστεί λάμψη σ' όλη την επιφάνειά του. Στο σημείο αυτό δεν πρέπει να γίνεται σύγκυση της πραγματικής ανάφλεξης με το γαλάζιο φωτοστέφανο, το οποίο σχηματίζεται μερικές φορές γύρω από το δείγμα. Η θερμοκρασία αυτή είναι η θερμοκρασία ανάφλεξης του δείγματος. Ακολούθως, συνεχίζεται η αύξηση της θερμοκρασίας μέχρι να ανάψει και η φλόγα συνεχίζει να καίει για τουλάχιστον 5 s και τότε προσδιορίζεται το σημείο καύσης του ασφαλτικού υλικού.

Όταν τα αποτελέσματα δύο δοκιμών, στο ίδιο εργαστήριο και από τον ίδιο χειριστή, διαφέρουν πάνω από 8°C η δοκιμή επαναλαμβάνεται. Το ίδιο ισχύει και όταν οι δοκιμές έγιναν σε διαφορετικά εργαστήρια και τα αποτελέσματά τους διαφέρουν περισσότερο από 17°C.

1.7.3 ΔΟΚΙΜΗ ΜΑΛΘΩΣΗΣ ΤΩΝ ΑΣΦΑΛΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Η άσφαλτος είναι θερμοπλαστικό, μη ομοιογενές σώμα και συνεπώς δεν παρουσιάζει σαφές σημείο τήξης. Η δοκιμή μάλθωσης των ασφαλτικών υλικών προσδιορίζει το σημείο μάλθωσης, δηλαδή προσδιορίζεται πότε τα υλικά αυτά μετατρέπονται από ψαθυρά ή παχύρρευστα υγρά σε πιο ρευστά, με μικρό ιξώδες.

ΟΡΓΑΝΑ

Τα όργανα, τα οποία χρησιμοποιούνται για τη δοκιμή μάλθωσης των ασφαλτικών υλικών είναι ορειχάλκινος δακτύλιος, χαλύβδινη σφαίρα, γυάλινο δοχείο και θερμόμετρο με κλίμακα από -2 έως 80 °C (Εικόνα 1.4).



Εικόνα 1.4 Όργανα για τη δοκιμή μάλθωσης των ασφαλτικών υλικών

ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

Οι δακτύλιοι τοποθετούνται πάνω σε ορειχάλκινη πλάκα, η οποία προηγουμένως έχει αλειφθεί με αντικολλητική ουσία. Το δείγμα θερμαίνεται με προσοχή, ανακατεύεται συνεχώς και όταν γίνει ρευστό τοποθετείται στους δακτύλιους. Το επιπλέον υλικό απομακρύνεται από τους δακτύλιους με τη βοήθεια θερμής σπάτουλας και το δείγμα ψύχεται για τουλάχιστον 30 min και όχι περισσότερο από 240 min.

ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ

Το γυάλινο δοχείο γεμίζεται με απεσταγμένο νερό με θερμοκρασία $5\pm 1^\circ\text{C}$. Ακολούθως, οι δακτύλιοι με το δείγμα, καθώς και οι χαλύβδινες σφαίρες τοποθετούνται στη συσκευή. Η συσκευή εμβαπτίζεται στο λουτρό και θερμαίνεται με ταχύτητα αύξησης της θερμοκρασίας κατά $5^\circ\text{C}/\text{min}$. Με την αύξηση της θερμοκρασίας του λουτρού και του δείγματος, το δείγμα γίνεται πιο ρευστό με αποτέλεσμα, υπό την επίδραση του βάρους της χαλύβδινης σφαίρας, το υλικό να αγγίζει την πλάκα της βάσης της συσκευής. Ως θερμοκρασία μάλθωσης λαμβάνεται η θερμοκρασία κατά τη στιγμή όπου το δείγμα αγγίζει την πλάκα. Όταν ο προσδιορισμός εκτελείται ταυτοχρόνως με δύο δακτυλίους, η μέγιστη επιτρεπόμενη διαφορά μεταξύ των τιμών της θερμοκρασίας είναι 1°C . Στην περίπτωση του διπλού προσδιορισμού, ως σημείο μάλθωσης λαμβάνεται ο μέσος όρος των μετρήσεων.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα ασφατικά υλικά με χαμηλό σημείο μάλθωσης είναι, γενικά, πιο «μαλακά» και συμπεριφέρονται ως ρευστά. Αντιθέτως, τα υλικά με υψηλό σημείο μάλθωσης έχουν καλύτερες ιδιότητες. Υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ του σημείου μάλθωσης και της διείσδυσης. Όσο υψηλότερο είναι το σημείο μάλθωσης μιας ασφάλτου, τόσο μικρότερη τιμή διείσδυσης παρουσιάζει, ενώ έχουν προσδιοριστεί πειραματικά εμπειρικές σχέσεις, οι οποίες συνδέουν το σημείο μάλθωσης με το σημείο διείσδυσης.

1.7.4 ΔΟΚΙΜΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΤΩΝ ΑΣΦΑΛΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Η αύξηση της περιεκτικότητας σε ασφαλτένια και μαλτένια, αυξάνει τον δείκτη διεισδυτικότητας της ασφάλτου, Pen. Όσο μικρότερος είναι ο δείκτης, τόσο πιο ευαίσθητη είναι η ασφαλτος σε θερμοκρασιακές μεταβολές, ενώ παράλληλα αυξάνεται η δυσκαμψία του ασφαλτικού σκυροδέματος και η συγκολλητική ικανότητα της ασφάλτου. Η αύξηση της δυσκαμψίας του ασφαλτικού σκυροδέματος βελτιώνει την ικανότητα της στρώσης για κατανομή και μεταβίβαση του φορτίου στις υποκείμενες στρώσεις και στο έδαφος, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η κατασκευαστική αντοχή του οδοστρώματος και η διάρκεια της ζωής του. Μ' αυτόν τον τρόπο θα ήταν δυνατή η μείωση του

πάχους του οδοστρώματος για την ίδια διάρκεια ζωής. Οι άσφαλτοι οδοποιίας στις περισσότερες χώρες, όπως και στην Ελλάδα, ταξινομούνται με βάση το βαθμό διεισδυτικότητάς τους και οι πιο συνηθισμένοι τύποι είναι 20/30, 60/70, 80/100, 120/150 και 180/200. Η «μαλακότερη» άσφαλτος είναι αυτή που έχει τον μεγαλύτερο βαθμό διεισδυτικότητας και η «σκληρότερη» αυτή που έχει τον μικρότερο βαθμό διεισδυτικότητας, δηλαδή η 60/70 είναι σκληρότερη από την 80/100. Η δοκιμή γίνεται σύμφωνα με το αντίστοιχο πρότυπο. Σκοπός της δοκιμής είναι ο προσδιορισμός της απόστασης, σε δέκατα του χιλιοστού, την οποία διανύει η πρότυπη βελόνα με διείσδυση κάθετα στο δείγμα, σε καθορισμένες συνθήκες θερμοκρασίας, φορτίου και χρόνου.

ΟΡΓΑΝΑ

Η συσκευή διείσδυσης των ασφαλτικών υλικών (Εικόνα 1.5) επιτρέπει την κίνηση του στελέχους, που φέρει τη βελόνα, χωρίς σημαντικές τριβές και επίσης φέρει διάταξη, η οποία δίνει απευθείας τη διείσδυση σε δέκατα του χιλιοστού. Το συνολικό βάρος της βελόνας και του στελέχους είναι 50 g. Με την προσθήκη πρόσθετων βαρών είναι δυνατόν το συνολικό βάρος της φόρτισης να γίνει 100 ή και 200 g. Το στέλεχος της συσκευής φέρει βελόνα κατασκευασμένη από ανοξείδωτο χάλυβα με μήκος 50,8 mm και διάμετρο 1 mm. Το δοκίμιο, το οποίο εξετάζεται, τοποθετείται στον υποδοχέα της συσκευής. Ο υποδοχέας είναι κυλινδρικό μεταλλικό δοχείο με επίπεδο πυθμένα. Η χωρητικότητα του υποδοχέα είναι 85 cm³, η εσωτερική διάμετρος του 55 mm και το εσωτερικό ύψος του 35 mm.

Για την εκτέλεση της δοκιμής απαιτείται κατάλληλο υδατόλουτρο, στο οποίο, ελέγχεται η θερμοκρασία της δοκιμής με ανοχή $\pm 0,1$ °C. Ο όγκος του νερού δεν πρέπει να είναι μικρότερος από 10 lt. Το βάθος του υδατόλουτρου πρέπει να είναι τέτοιο, ώστε να επιτρέπει τη βύθιση δείγματος σε βάθος τουλάχιστον 10 cm. Η συσκευή συνοδεύεται από θερμόμετρο κατάλληλα βαθμολογημένο και από χρονόμετρο με ακρίβεια 0,1 s.



Εικόνα 1.5 Συσκευή διείσδυσης

ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

Το δείγμα θερμαίνεται προσεκτικά μέχρι να γίνει ρευστό. Ακολούθως, ανακατεύεται συνεχώς για να αποφευχθεί η δημιουργία φυσαλίδων και η θερμοκρασία του δείγματος αυξάνεται κατά 100 °C περίπου πάνω από το σημείο μάλθωσής του. Αφού ο υποδοχέας γεμίσει με το υλικό, ψύχεται σε συνθήκες περιβάλλοντος για 1 - 1,5 h. Στη συνέχεια τοποθετείται το δείγμα στο υδατόλουτρο, το οποίο έχει αποκτήσει τη σταθερή θερμοκρασία της δοκιμής και παραμένει εκεί για 1- 1,5 h.

ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ

Η δοκιμή πραγματοποιείται σε θερμοκρασία 25 °C, με συνολικό βάρος 100 g και χρόνο 5 s. Είναι όμως δυνατόν η δοκιμή να πραγματοποιηθεί και σε διαφορετικές συνθήκες. Η βελόνα τοποθετείται στο στέλεχος του οργάνου και κάτω απ' αυτή βρίσκεται ο υποδοχέας, ο οποίος περιέχει το δείγμα. Η βελόνα ρυθμίζεται, ώστε να εφάπτεται στην επιφάνεια του δείγματος, στη συνέχεια ελευθερώνεται το στέλεχος και η βελόνα εισχωρεί στο δείγμα για 5 s. Ακολούθως, μετακινείται προσεκτικά το κινητό στέλεχος του μετρητή διείσδυσης και προσδιορίζεται η ένδειξη του οργάνου. Για κάθε μέτρηση της διείσδυσης γίνονται τρεις διεισδύσεις σε σημεία, τα οποία να απέχουν τουλάχιστον 1 cm τόσο από τα τοιχώματα του υποδοχέα, όσο και μεταξύ τους. Πριν από κάθε δοκιμή η βελόνα καθαρίζεται καλά με την βοήθεια κάποιου διαλύτη, όπως τετραχλωράνθρακα, πετρέλαιο κ.ά..

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ως τιμή διείσδυσης του δείγματος αναφέρεται ο μέσος όρος των τριών τιμών διείσδυσης, όταν οι τιμές τους δε διαφέρουν από τις τιμές που αναγράφονται στον Πίνακα 1.4. Σε διαφορετική περίπτωση η δοκιμή επαναλαμβάνεται.

Διείσδυση	0 - 49	50 - 149	150 - 248	>250
Όρια μεταξύ μικρότερης κ μεγαλύτερης τιμής	2	4	6	8

Πίνακας 1.4 Επιτρεπόμενα όρια μεταξύ της μικρότερης και της μεγαλύτερης τιμής στη δοκιμή διείσδυσης των ασφαλτικών υλικών

Σε περίπτωση επανάληψης της δοκιμής από τον ίδιο χειριστή τα αποτελέσματα πρέπει να διαφέρουν λιγότερο από 4%. Όταν η δοκιμή επαναληφθεί από άλλο εργαστήριο τα αποτελέσματα πρέπει να διαφέρουν το πολύ 10%. Η άσφαλτος κατατάσσεται στην αντίστοιχη κατηγορία με βάση την τιμή διείσδυσης. Χρήσιμες πληροφορίες για τη συμπεριφορά της ασφάλτου σε σχέση με τη

μεταβολή της θερμοκρασίας λαμβάνονται από την επανάληψη της πειραματικής διαδικασίας σε διάφορες θερμοκρασίες.

Η απεικόνιση των αποτελεσμάτων αυτών σε ημιλογαριθμική κλίμακα δίνει μια ευθεία γραμμή, η εξίσωση της οποίας έχει τη γενική μορφή:

$$\log Pen = \alpha T + \beta ,$$

όπου είναι :

T το σημείο μάλθωσης της ασφάλτου,

α η κλίση της ευθείας και

β παράμετρος που εκφράζει την σκληρότητα της ασφάλτου.

Η κλίση α δίνει το μέτρο της θερμικής ευαισθησίας της ασφάλτου.

1.7.5 ΑΛΛΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ

Άλλες δοκιμές, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της καταλληλότητας των ασφαλικών οδοστρωμάτων είναι οι παρακάτω :

- ο προσδιορισμός της περιερχόμενης τέφρας στο ασφαλικό σκυρόδεμα % κ.β.
- η απώλεια βάρους μετά από θέρμανση 5 h στους 163 °C, % κ.β.,
- η περιεκτικότητα του υλικού σε παραφίνη % κ.β. και
- η διαλυτότητα σε οργανικούς διαλύτες όπως διθειάνθρακα, τετραχλωράνθρακα % κ.β.

Οι παραπάνω έλεγχοι γίνονται σύμφωνα με τους αντίστοιχους κανονισμούς.

1.8 ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΑ ΓΙΑ ΑΣΦΑΛΤΙΚΕΣ ΣΤΡΩΣΕΙΣ

Τα ασφαλτομίγματα για την κατασκευή των ασφαλικών στρώσεων πρέπει όλα να είναι από πυκνό ασφαλικό σκυρόδεμα, σύμφωνα με την προδιαγραφή ΠΤΠ Α-260 και το άρθρο 68 της Τ.Σ.Υ., για την ασφαλική βάση, και σύμφωνα με την προδιαγραφή ΠΤΠ Α-265 και το άρθρο 69 της Τ.Σ.Υ., για τον τάπητα κυκλοφορίας. Ο σχεδιασμός, διάστρωση, συμπύκνωση και έγκριση πρέπει επίσης να είναι σύμφωνα με τις προαναφερόμενες προδιαγραφές και άρθρα της Τ.Σ.Υ.

Η άσφαλτος είναι ένα σύνθετο μίγμα διαφορετικών μεγέθους μορίων, πολλά από τα οποία είναι πολύ μεγάλα. Εν καιρώ, η σύνθεση αυτού του μίγματος θα αλλάξει. Για παράδειγμα, μερικά συστατικά θα οξειδώσουν την άσφαλτο. Αυτό οδηγεί στη σκλήρυνση του συνδέσμου ασφάλτου και εν συνεχεία στην αρχή της ευθραυστότητας στις υψηλότερες θερμοκρασίες καθώς ο σύνδεσμος γίνεται πιο δύσκαμπτος. Αυτή η αποκαλούμενη γήρανση εμφανίζεται και στην επεξεργασία σε ανυψωμένη θερμοκρασία (short term aging) καθώς επίσης και στη διάρκεια ζωής της στο δρόμο (long term aging).

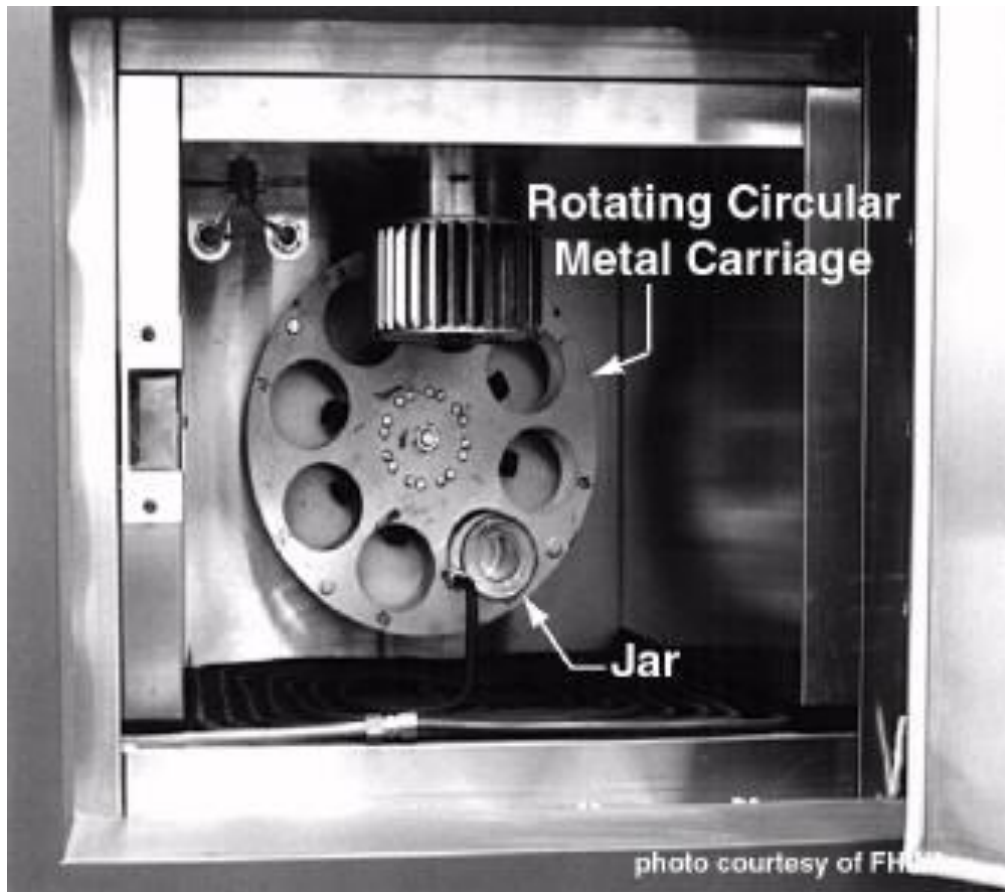
Η σκλήρυνση της ασφάλτου είναι ένα αποτέλεσμα της γήρανσης στο στάδιο της κατασκευής μιγμάτων ασφάλτου (βραχυπρόθεσμη γήρανση) και στην υπηρεσία (μακροπρόθεσμη γήρανση), η οποία μπορεί να οδηγήσει στις αλλαγές των ιδιοτήτων κούρασης των οδικών ασφάλτων. Στις δοκιμές γήρανσης εργαστηριακής προσομοίωσης, η δοκιμή κυλιόμενου υμένα ασφάλτου (RTFO) χρησιμοποιείται για την εξέταση της θερμικής υποβάθμισης κατά τη διάρκεια της βραχυπρόθεσμης γήρανσης, και η δοκιμή γήρανσης σκαφών πίεσης (PAV) χρησιμοποιείται για τη μίμηση της μακροπρόθεσμης γήρανσης.

Οι χαρακτηριστικές δοκιμές προσομοίωσης γήρανσης είναι:

- Δοκιμή κυλιόμενου υμένα ασφάλτου (RTFO)
- Δοκιμή γήρανσης σκαφών πίεσης (PAV)

1.8.1 ΔΟΚΙΜΗ ΚΥΛΙΟΜΕΝΟΥ ΥΜΕΝΑ ΑΣΦΑΛΤΟΥ (RTFO)

Η δοκιμή κυλιόμενου υμένα ασφάλτου (RTFO) είναι μια διαδικασία υποβολής της ασφάλτου σε παρατεταμένη θερμοκρασία. Ουσιαστικά μιμείται τη βραχυπρόθεσμη γήρανση με τη θέρμανση ενός κυλιόμενου υμένα ασφάλτου σε έναν φούρνο για 75 λεπτά σε $163\pm 0.5^\circ$ (325 F). Είναι παρόμοια με την δοκιμή TFO (δοκιμή λεπτού υμένα ασφάλτου σε κλίβανο) με τη διαφορά ότι αλλάζει ο φούρνος, τα δοκίμια ασφάλτου και ο χρόνος παραμονής των δοκιμίων μέσα στον φούρνο. Ο φούρνος έχει δίσκο που περιστρέφεται κατά τον οριζόντιο άξονα και σύστημα εμφύσησης θερμού αέρα επί των δοκιμίων (εικόνα 1.6). Η άσφαλτος, σε ποσότητα $35\pm 0.5\text{gr}$, τοποθετείται σε ειδικούς γυάλινους σωλήνες οι οποίοι τοποθετούνται στις οπές του κατακόρυφου δίσκου (εικόνα 1.7). Τα δοκίμια περιστρέφονται με παράλληλη εμφύσηση αέρα επί της επιφανείας της ασφάλτου από κατάλληλο ακροφύσιο ($4000\pm 200\text{ml/min}$). Κατά την περιστροφή των δοκιμίων ο υμένας της ασφάλτου βρίσκεται συνεχώς σε κύλιση αποφεύγοντας έτσι τη δημιουργία 'κρούστας'. Τα αποτελέσματα της θερμότητας και του αέρα καθορίζονται από τις αλλαγές που υφίστανται στις φυσικές ιδιότητες που μετριοούνται πριν και μετά από την δοκιμή.



Εικόνα 1.6 Φούρνος δοκιμής RTFO

Η δοκιμή RTFO θεωρείται γενικά ανώτερη από την TFO (δοκιμή λεπτού υμένα ασφάλτου σε κλίβανο) επειδή:

- Επιτυγχάνει τον ίδιο βαθμό σκλήρυνσης (γήρανση) στο λιγότερο χρόνο (75 λεπτά εναντίον 5 ωρών).
- Χρησιμοποιεί μια δράση κυλίσματος που:
 - Επιτρέπει τη συνεχή έκθεση του φρέσκου συνδέσμου ασφάλτου στη θερμότητα και τη ροή αέρα.
 - Επιτρέπει στους τροποποιητές συνδέσμων ασφάλτου, εάν χρησιμοποιούνται, να παραμένουν διασκορπισμένοι στο δείγμα.
 - Αποτρέπει το σχηματισμό 'κρούστας' στο δείγμα, η οποία μπορεί να εμποδίσει τη γήρανση.

Αν και ήταν σε κοινή χρήση από μερικές δυτικές πολιτείες για κάποιο διάστημα, το σύστημα Superpave υιοθέτησε τη δοκιμή RTFO για να μιμηθεί τη βραχυπρόθεσμη γήρανση συνδέσμων ασφάλτου.



Εικόνα 1.7 Δείγματα RTFO (αριστερά: μετά τη γήρανση σε RTFO, κέντρο: πριν τη γήρανση σε RTFO, δεξιά: κενό βάζο δειγμάτων)

Η τυποποιημένη δοκιμή RTFO είναι:

- AASHTO T 240 ΚΑΙ ASTM Δ 2872: Αποτελέσματα της θερμότητας και του αέρα σε μια κινούμενη ταινία της ασφάλτου (δοκιμή κυλιόμενου υμένα ασφάλτου)

1.8.2 ΔΟΚΙΜΗ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΣΚΑΦΩΝ ΠΙΕΣΗΣ (PAV)

Η δοκιμή αυτή (PAV) (εικόνα 1.8) υιοθετήθηκε από το σύστημα Superpave για να μιμηθεί τα αποτελέσματα του μακροπρόθεσμου γηράσκων συνδέσμου ασφάλτου που εμφανίζεται ως αποτέλεσμα 5 έως 10 ετών υπηρεσιών οδοστρωμάτων HMA. Πριν από το σύστημα Superpave, η γενική έννοια του σκάφους γήρανσης πίεσης ήταν χρησιμοποιημένη για πολλά έτη στη λαστιχένια γήρανση προϊόντων. Η δοκιμή PAV είναι ένας συνδυασμός σκαφών πίεσης-φούρνου που παίρνει τα ηλικιωμένα RTFO δείγματα (εικόνα 1.9) και τα εκθέτει στην υψηλή πίεση αέρα και θερμοκρασία (90° C (195 F), 100° C (212 F) ή 110° C (230 F) ανάλογα με τους αναμενόμενους κλιματολογικούς όρους) για 20 ώρες.

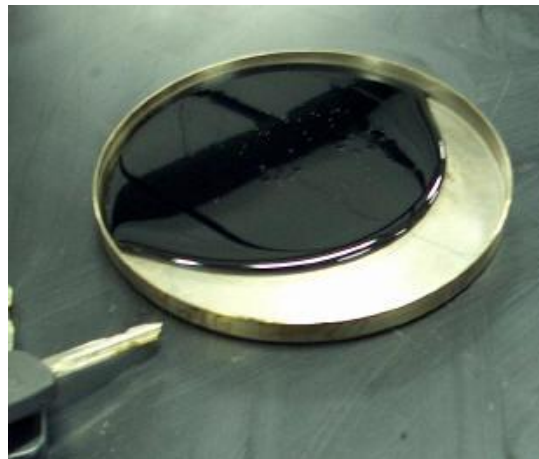


Σχήμα 1.8 Συσκευή δοκιμής PAV

Η γήρανση των δειγμάτων συνδέσμων ασφάλτου είναι υπό πίεση συμφέρουσα επειδή:

Υπάρχει μια περιορισμένη απώλεια πτητικών ουσιών.

Η διαδικασία οξείδωσης μπορεί να επιταχυνθεί χωρίς προσφυγή στις εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες.



Σχήμα 1.9 Δείγμα PAV

Η τυποποιημένη δοκιμή PAV είναι:

- AASHTO PP1: Πρακτική για την επιταχυνόμενη γήρανση του συνδέσμου ασφάλτου που χρησιμοποιεί ένα διατηρημένο σε σταθερή ατμοσφαιρική πίεση σκάφος γήρανσης.

Η γήρανση έχει γενικά ένα αρνητικό αποτέλεσμα στη διάρκεια ζωής του δρόμου. Υπάρχει αυξανόμενη ευθραυστότητα, και μειωμένη αντίσταση στις ρηγματώσεις και στις απώλειες πετρών.

Επισημαίνεται η ανάγκη τήρησης των θερμοκρασιών και κυρίως κατά την ανάμιξη, λόγω του κινδύνου αλλοίωσης της ασφάλτου. Κατά τη μεταφορά του ασφαλτομίγματος πρέπει να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα για ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών, ώστε κατά τη διάστρωση να τηρούνται οι ελάχιστες θερμοκρασίες. Για αυτό συνιστάται να επιβάλλεται η κάλυψη των φορτηγών μεταφοράς ασφαλτομίγματος. Η χρήση πετρελαίου, για την ευχερή εκφόρτωση των αυτοκινήτων μεταφοράς, απαγορεύεται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΓΗΡΑΝΣΗ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η ασφάλτος οδοστρωσίας είναι υπόλειμμα απόσταξης του αργού πετρελαίου και ανάλογα με την θερμοκρασία απόσταξης που ρυθμίζει το ποσοστό ελαιωδών συστατικών στο υπόλειμμα, διακρίνεται σε σκληρή ή μαλακή ασφάλτος. Ο βαθμός σκληρότητας της ασφάλτους μετριέται, μετά από τη δοκιμασία διείσδυσης σε 0,1mm, και χρησιμεύει στην διάκριση της ασφάλτους στους τύπους 20/30, 40/50, 80/100, 180/220, 220/320. Στις περιοχές, που έχουν ψυχρό κλίμα, χρησιμοποιείται συνήθως η μαλακή ασφάλτος, ενώ αντίθετα σε περιοχές με θερμά κλίματα χρησιμοποιείται σχετικά σκληρή ασφάλτος (μικρή διεισδυτικότητα).

Η ασφάλτος για να διατηρεί τις συνδετικές της ικανότητες πρέπει να παραμένει πλαστική. Μέρος της πλαστικότητάς της χάνεται όταν η ασφάλτος με τη μορφή λεπτού υμένα εκτίθεται σε καιρικές επιδράσεις. Τότε λέμε ότι η ασφάλτος «γέρασε». Το γέρασμα της ασφάλτους και η προοδευτική σκλήρυνσή της μέσα στην επίστρωση του οδοστρώματος προκαλεί ρωγμές με τριχοειδή μορφή, που με την πάροδο του χρόνου ανοίγουν και επιτρέπουν την διόδου του νερού στο οδόστρωμα, με αποτέλεσμα την μείωση της φέρουσας ικανότητας της βάσεως του οδοστρώματος. Επίσης σε χαμηλότερες θερμοκρασίες το νερό, που εισήλθε μέσα στο σώμα της οδού, πήζει και προκαλεί θραύση του οδοστρώματος. Η κύρια αιτία του «γέρασματος» της ασφάλτους είναι η οξείδωση των πτητικών συστατικών της. Η επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας, η σκλήρυνση λόγω ηλικίας και η έκπλυση από νερό συμβάλλουν επίσης στην ενηλικίωση της ασφάλτους.

Η ταχύτητα οξείδωσης της ασφάλτους αυξάνει κατά πολύ με μικρή άνοδο της θερμοκρασίας γι' αυτό πρέπει να αποφεύγεται η υπερθέρμανση των ασφαλτικών υλικών πάνω από τα όρια που έχουν τεθεί για τις εφαρμογές της. Επίσης η επιφανειακή οξείδωση της ασφάλτους στις κατασκευές, προέρχεται και από την επίδραση του φωτός (φωτο-οξείδωση) και είναι περισσότερο έντονη στις ελαφρές ασφαλτικές επαλείψεις.

2.1.1 ΒΡΑΧΥΠΡΟΘΕΣΜΗ ΓΗΡΑΝΣΗ

Ο ασφαλτούχος σύνδεσμος παραδίδεται στον κατασκευαστή μιγμάτων ασφάλτου με μια καθορισμένη προδιαγραφή. Η άσφαλτος κρατιέται σε υψηλή θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, της μίξης, της μεταφοράς και της εγκατάστασης. Επιπλέον, ο σύνδεσμος εκτίθεται στον αέρα. Ο συνδυασμός υψηλής θερμοκρασίας και έκθεσης οξυγόνου οδηγεί στη διαφυγή των πτητικών συστατικών και τις αντιδράσεις με το οξυγόνο που πραγματοποιούνται στην άσφαλτο. Αυτό οδηγεί σε μια σκλήρυνση της ασφάλτου.

Μια ελεγχόμενη διαδικασία μπορεί να ελαχιστοποιήσει τη σκλήρυνση ή να επιτύχει μια σκλήρυνση που λαμβάνεται υπόψη κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σχεδίου.

2.1.2 ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΗ ΓΗΡΑΝΣΗ

Το οδόστρωμα, και επομένως ο σύνδεσμός του, είναι εκτεθειμένος για μια ζωή, που εκτείνεται πολλά έτη. Η θερμότητα, το οξυγόνο και οι UV ακτίνες έχουν επιπτώσεις στη δομή των συνδέσμων, που οδηγεί στις απώλειες πτητικών συστατικών και αντιδράσεων, όπως την οξείδωση. Η θερμότητα και οι UV ακτίνες καθορίζονται κλιματολογικά, αλλά η οξείδωση εξαρτάται επίσης από τον τύπο μιγμάτων ασφάλτου, π.χ. η πορώδης άσφαλτος εκθέτει μια πολύ υψηλή περιοχή επιφάνειας στο οξυγόνο με το χαμηλό περιεχόμενο όγκου συνδέσμων της στο συνολικό μίγμα, σε συνδυασμό με ισχυρές τάσεις στο σύνδεσμο.

Επιρροές της σκλήρυνσης που πραγματοποιείται :

- Απόδοση χαμηλής θερμοκρασίας
- Αντίσταση κούρασης
- Αντίσταση διάβρωσης

Όλα τα παραπάνω συσχετίζονται με τη μείωση της ανθεκτικότητας που προκαλεί τη θερμοκρασία κατά την οποία η ευθραυστότητα αρχίζει να αυξάνεται.

Η γήρανση που σχετίζεται με τη ρηγμάτωση παρατηρείται σε δρόμους που συνήθως δεν επηρεάζονται από την οδική φθορά λόγω της υψηλής κυκλοφορίας. Για παράδειγμα, οι δρόμοι μικρής ποσότητας (κυκλοφορίας)

«προσκρούουν» με τη γήρανση. Επίσης οι δρόμοι στα θερμά κλίματα παρουσιάζουν συχνά σοβαρές ρηγματώσεις, λόγω της χρήσης μιας σκληρής πίσσας για να αντισταθούν στις υψηλές θερμοκρασίες. Παρουσιάζουν σημάδια αυστηρής γήρανσης όπως οι εύθραυστες ρωγμές όταν οι θερμοκρασίες είναι κάπως χαμηλότερες.

Η πολυμερής τροποποίηση μπορεί να δώσει στο σύνδεσμο μια δραματική αύξηση στην ανθεκτικότητα. Αν και μια μείωση της ανθεκτικότητας λόγω γήρανσης της πίσσας δεν αποτρέπεται, η ικανοποιητική ανθεκτικότητα μπορεί να παραμείνει και να αποτρέψει αυτές τις εύθραυστες ρωγμές από τη διαμόρφωσή τους.

Η προσθήκη πολυμερούς σώματος στην ασφάλτο αυξάνει την ανθεκτικότητα και την ελαστικότητα σπασίματος. Η υψηλότερη ελαστικότητα επιτρέπει τη χρήση των μαλακότερων πισσών βάσεων χωρίς εξασθένιση της αντίστασης στις αυλακώσεις. Ένας ελαστικότερος και μαλακότερος σύνδεσμος θα γεράσει επίσης, αλλά λόγω της δραματικής αλλαγής στην αρχική ελαστικότητα και την ανθεκτικότητα και μετά τη γήρανση η ικανοποιητική ανθεκτικότητα θα παραμένει ακόμα και στις χαμηλές θερμοκρασίες.

2.2 ΑΙΤΙΕΣ ΓΗΡΑΝΣΗΣ

Τα ασφαλτικά είναι υποπροϊόντα της διύλισης αργού πετρελαίου. Κατά τα τελευταία 30 χρόνια, τα διυλιστήρια έχουν βρει τρόπους για να διυλίζουν όλο και περισσότερο τα ελαφρά πτητικά από το αργό πετρέλαιο. Το αποτέλεσμα ήταν μια εκφύλιση των χαρακτηριστικών της ασφάλτου. Επίσης το αργό πετρέλαιο έχει διαφορετική χημική σύνθεση, ως εκ τούτου ορισμένα ασφαλτικά έχουν καλύτερες ιδιότητες από άλλα. Για την εξουδετέρωση της φθοράς των ασφαλτικών, οργανισμοί οδικών αρτηριών έχουν ορίσει την προσθήκη υλικών στο αργό πετρέλαιο για τη βελτίωση των ιδιοτήτων τους. Οι πρόσθετες αυτές ύλες (πολυμερή, λάτεξ, ελαστικά κλπ) έχουν βελτιώσει σημαντικά ορισμένες από τις ιδιότητες των ασφαλτικών.

Οι κυριότερες αιτίες γήρανσης της ασφάλτου είναι οι εξής:

1.Φως (Ακτίνες) UV (UV Light)

Τα ασφαλτικά με την πάροδο του χρόνου γερνάνε από το φως (ακτίνες) UV. Ως εκ τούτου η επιφάνεια των στρώσεων ή των λεπτών επικαλύψεων θα αρχίσει να γερνάει πρώτα. Ένα ανοιχτό διαβαθμισμένο πέρασμα θα επιτρέψει περισσότερη διείσδυση φωτός, με αποτέλεσμα την ταχεία γήρανση (ενηλικίωση).

2.Θερμότητα (Heat)

Τα ασφαλτικά ,γεράζουν επίσης με την επίδραση της θερμότητας. Ακόμα και η διαδικασία παρασκευής τους μπορεί να προκαλέσει σημαντική επιδείνωση των φθορών στα ασφαλτικά. Ένα ασφαλτικό σκυρόδετο οδόστρωμα (ACP ή “hotmix”) μπορεί να εκτεθεί σοβαρά εάν παρασκευαστεί σε πολύ υψηλή θερμοκρασία. Η ζωή της ασφάλτου μπορεί ακόμη να επηρεαστεί εάν τοποθετηθεί όταν είναι ακόμα πολύ ζεστή.

3.Θερμική διαστολή (Thermal Expansion)

Καθώς τα οδοστρώματα διαστέλλονται και συστέλλονται, παράγονται εσωτερικές δυνάμεις. Τα συσσωματώματα έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά διαστολής από τα ασφαλτικά. Τα νεότερα οδοστρώματα διαχειρίζονται τις εσωτερικές αυτές δυνάμεις (τάσεις) χωρίς κανένα πρόβλημα. Ωστόσο καθώς τα ασφαλτικά γερνάνε οι εσωτερικές δυνάμεις επιτρέπουν στα οδοστρώματα να σχηματίσουν μικρορωγμές.



Εικόνα 2.1 Ρωγμές εξαιτίας θερμικής διαστολής

4.Δυνάμεις φορτίου (Load Stresses)

Σε αντίθεση με τις εσωτερικές δυνάμεις (τάσεις) οι οποίες προκαλούνται από διαστολή και συστολή, η κίνηση που εκτελείται πάνω από το οδόστρωμα παράγει θλιπτική τάση στο επάνω μέρος του οδοστρώματος και εφελκυστικές τάσεις στο κάτω.

5.Διαστελλόμενα εδάφη (Expansive Soils)

Τα διαστελλόμενα εδάφη δημιουργούν τάσεις στο οδόστρωμα. Σε ξηρές περιόδους, τα εδάφη συρρικνώνονται και κάποιες φορές δημιουργούνται σοβαρές ρωγμές. Αυτό είναι ιδιαίτερα διαδεδομένο όπου οι ρίζες των μεγάλων δέντρων “πιπιλίζουν” το ποσοστό υγρασίας έξω από τα εδάφη. Επίσης είναι

πολύ διαδεδομένο ως υποκατάστατο όπου η μεγαλύτερη έκθεση προκαλεί στα εδάφη ξήρανση. Όταν έρθουν ξανά οι βροχές, τα μικροσωματίδια αργίλου περιβάλλονται από υγρασία προκαλώντας απίστευτη επέκταση και επαναδημιουργία των τάσεων οδοστρώματος.



Εικόνα 2.2 Έδαφος σε ξηρή περίοδο

6.Νερό (Water)

Το νερό είναι ένας άλλος πιθανώς θανατηφόρος εχθρός του οδοστρώματος. Μπορεί να εισέλθει στο εσωτερικό του οδοστρώματος είτε από ρηγματώσεις στην επιφάνεια, ζημιές, την άκρη του οδοστρώματος, πορώδες μείγμα, είτε από υπόγεια νερά. Ένας συνδυασμός της κυκλοφορίας που εκτελείται πάνω από το οδόστρωμα και του νερού μπορεί να έχει σοβαρές επιδράσεις για το οδόστρωμα. Τα ισχυρά φορτία, το ασυμπίεστο υγρό μέσα στις ρωγμές και τα κενά δημιουργούν ακραίες εσωτερικές πιέσεις. Έτσι λοιπόν, κατά τη διάρκεια αρκετά χαμηλών θερμοκρασιών η ποσότητα του νερού που έχει διεισδύσει στο οδόστρωμα θα παγώσει και η άσφαλτος θα “σπάσει”, ενώ κατά τη διάρκεια άλλων περιβαλλοντικών συνθηκών, όπως ηλιοφάνεια (υψηλές θερμοκρασίες) και αέρας, η επιφάνεια του οδοστρώματος αρχίζει να παίρνει ένα χρώμα γκρι και να χάνει ποσοστό της αντοχής της, έχοντας ως αποτέλεσμα ρωγμές στην επιφάνεια της από την πίεση που θα ασκηθεί είτε από τα οχήματα που θα κινηθούν στο οδόστρωμα αυτό.



Εικόνα 2.3 Νερό πάνω στον δρόμο

7. Παγετός (Frost)

Όσον αφορά στο μηχανισμό δράσης παγετού στα οδοστρώματα, προέρχεται από τη ψύξη ή απόψυξη των υδάτων. Ο μηχανισμός αυτός, είναι ικανός ν' αλλάξει τη δομή τους εδάφους και κατά συνέπεια να επηρεαστεί η μηχανική συμπεριφορά τους. Συνήθως στις χαμηλές θερμοκρασίες, δημιουργούνται στιβάδες κρυστάλλων πάγου παράλληλα με την εδαφική επιφάνεια και η ένωση τους με νερό προκαλεί πήξη και διόγκωση του παγετού προς την εδαφική επιφάνεια, αλλά και προς τα υπόγεια στρώματα του εδάφους. Έτσι λοιπόν, οι χαμηλές θερμοκρασίες αλλά και η ύπαρξη υγρασίας, προκαλούν δράση παγετού στα οδοστρώματα. Η μεγαλύτερη φθορά που συνήθως προκαλείται από τη δράση του παγετού σ' ένα οδόστρωμα, προκύπτει από τη δημιουργία εγκάρσιων ρηγματώσεων, που επηρεάζουν ασφαλώς τις ιδιότητες του οδοστρώματος. Κάτι τέτοιο συμβαίνει κατά την ατελή απομάκρυνση χιονιού από τα άκρα ενός οδοστρώματος. Έτσι, έχουμε επιβράδυνση της διείσδυσης του παγετού κάτω από τ' άκρα, ενώ στην καθαρισμένη από χιόνι περιοχή, παρατηρείται το φαινόμενο της ανύψωσης του μέσου της εδαφικής επιφάνειας.



Εικόνα 2.4 Παγετός σε δρόμο

8.Άνεμος και επιβλαβή αέρια

Κατά την μετακίνηση μαζών αέρα προκαλούνται φθορές λόγω τριβής στα υλικά. Παράλληλα, ο άνεμος μεταφέρει αέρια τα οποία είναι δυνατόν να αντιδράσουν χημικά με τα υλικά.

9.Ηλεκτρολύτες, θαλάσσιοι ηλεκτρολύτες (άλατα)

Το νερό είναι ο σημαντικότερος παράγοντας ο οποίος προκαλεί διαλυτότητα των δομικών υλικών. Το νερό της βροχής, όταν η ατμόσφαιρα είναι μολυσμένη λόγω του όξινου χαρακτήρα του, προσβάλλει τα συνηθισμένα δομικά υλικά, όπως είναι οι ασβεστόλιθοι και τα τσιμεντοσκυροδέματα, τα οποία είναι ευπρόσβλητα ακόμα και από ελαφρά όξινα διαλύματα. Άλατα είναι δυνατόν να περιέχονται σε μερικά δομικά υλικά ή να μεταφέρονται σ' αυτά με την υγρασία από τη γη ή από γειτονικά υλικά, όπως π.χ., από τα κονιάματα. Είναι δυνατόν, επίσης, να σχηματίζονται από την ατμόσφαιρα, όταν τα υλικά βρίσκονται κοντά σε παραθαλάσσια περιοχή. Με την εξάτμιση της υγρασίας στην επιφάνεια των δομικών υλικών, η πυκνότητα του διαλύματος των αλάτων αυξάνει μέχρι την κρυστάλλωσή τους. Όταν η κρυστάλλωση γίνει μέσα στους πόρους της επιφανειακής στοιβάδας του υλικού και όχι απλά στην επιφάνεια, τότε παρατηρείται διάβρωση και βαθμιαία καταστροφή του υλικού. Όταν η κρυστάλλωση γίνει στην επιφάνεια, τότε παρατηρείται εξάνθημα και απλή καταστροφή της εμφάνισης.

10.Χημική δράση

Η καταστροφή των υλικών από χημική δράση αποτελεί έναν από τους σοβαρότερους παράγοντες γήρανσης. Κάθε χημική αντίδραση απαιτεί να έλθουν σε επαφή δύο ή περισσότερες ουσίες για τη δημιουργία καινούργιων ουσιών με ταυτόχρονη μεταβολή των ιδιοτήτων τους, όπως ο όγκος, η αντοχή, η εμφάνιση. Κατά κανόνα, ο παράγοντας επαφής των διαφορετικών ουσιών είναι το νερό.

11.Βιολογικοί παράγοντες

Οι βιολογικοί παράγοντες, όπως βακτηρίδια, φυτικοί οργανισμοί, έντομα και μύκητες προκαλούν φθορές στα υλικά. Οι λειχήνες και οι φυτικοί οργανισμοί αναπτύσσονται σε σχισμές, ρωγμές και κοιλώματα της εξωτερικής επιφάνειας. Τα βακτηρίδια και οι μύκητες αναπτύσσονται σε σκοτεινές περιοχές, οι οποίες δεν αερίζονται. Κατά τη διάρκεια της γήρανσης μεταβάλλονται οι ιδιότητες και η χημική σύσταση του υλικού. Επίσης, μεταβάλλονται οι μηχανικές αντοχές, οι δυναμικές ελαστικές σταθερές και το πορώδες των υλικών, ενώ μειώνεται σταδιακά η αντοχή των υλικών στην ηλιακή ακτινοβολία.

Ο έλεγχος ως προς τη γήρανση των υλικών παρουσιάζει μεγάλες δυσχέρειες, οι οποίες οφείλονται κυρίως στη μεγάλη ποικιλία συνθηκών κάτω από τις οποίες είναι δυνατόν να βρεθούν τα υλικά και στο μεγάλο χρονικό διάστημα, το οποίο απαιτείται για την εκδήλωση της γήρανσης. Επειδή υπάρχουν σχεδόν αξεπέραστες δυσκολίες στην προσομοίωση του φυσικού περιβάλλοντος στις εργαστηριακές συνθήκες, οι δοκιμές γήρανσης για τα διάφορα υλικά δίνουν συγκριτικά αποτελέσματα. Οι εργαστηριακές μέθοδοι γήρανσης αναπαριστούν τις πραγματικές συνθήκες σε έντονο ρυθμό με στόχο να αντισταθμιστεί το μεγάλο χρονικό διάστημα, το οποίο απαιτείται για τη γήρανση των υλικών στο φυσικό περιβάλλον. Οι σχετικοί έλεγχοι ονομάζονται « έλεγχοι επιταχυνόμενης γήρανσης». Στους ελέγχους αυτούς συμπεριλαμβάνονται οι δοκιμασίες έναντι θερμοκρασιακών μεταβολών, παγετού και διαβρωτικών αερίων, οι οποίες διεξάγονται στο εργαστήριο. Μετά την πειραματική δοκιμασία για να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα, τα υλικά εξετάζονται:

α. Μακροσκοπικά. Ελέγχονται τα υλικά αν έχουν υποστεί εμφανείς επιδράσεις, όπως διάβρωση, σκασίματα, παραμόρφωση, καταστροφή κ.λ.π.

β. Μικροσκοπικά. Ελέγχονται τα υλικά με το μικροσκόπιο, ώστε να διαπιστωθεί αν έχουν υποστεί μικροπαραμορφώσεις, αποσύνδεση κόκκων κ.λ.π., που δεν φαίνονται με γυμνό μάτι.

γ. Όταν δεν διαπιστώνεται καμιά μεταβολή ούτε μακροσκοπικά ούτε μικροσκοπικά, τότε ελέγχεται η μεταβολή και ο τρόπος μεταβολής διάφορων ιδιοτήτων των υλικών, όπως η πυκνότητα, οι δυναμικές ελαστικές σταθερές, οι μηχανικές αντοχές κ.λ.π.

2.3 ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΤΙΚΗΣ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗΣ

Υψηλής ποιότητας ασφαλικές επιστρώσεις είναι αναγκαίες στις υψηλής κυκλοφορίας περιοχές. Η ανθεκτική στη γήρανση άσφαλτος έχει ιδιαίτερη ζήτηση σε συνδυασμό με τη συνεχή ανάπτυξη της οικονομίας καθώς επίσης και της κατασκευής της. Πολλή έρευνα έχει γίνει παγκοσμίως για τη γήρανση της ασφαλικής επίστρωσης.

Παρακάτω μελετώνται τα χαρακτηριστικά δύο τύπων ασφαλικών επιστρώσεων μετά την «ενηλικίωσή» τους, καθώς επίσης και ένα κινητικό πρότυπο γήρανσης βασισμένο στο σημείο μάλθωσης. Η μελέτη για τις κινητικές γήρανσης της ασφαλικής επίστρωσης θα μας βοηθήσει να κατανοήσουμε το μηχανισμό και τη διαδικασία γήρανσης. Η αξιολόγηση και η πρόβλεψη του χαρακτήρα της γήρανσης της ασφαλικής επίστρωσης μπορεί να βελτιώσει την παραγωγή της. Επομένως, η μελέτη του μηχανισμού γήρανσης και στην ουσία της ασφαλικής

επίστρωσης, μπορεί όχι μόνο να βελτιώσει την ποιότητα της ασφάλτου με τον έλεγχο της διαδικασίας γήρανσης, αλλά μπορεί επίσης να μεταρρυθμίσει τις οδικές επιφάνειες με τη χρησιμοποίηση της καλύτερης ασφάλτου και την επέκταση της ζωής της (ασφάλτου) από την εξέταση και την οικονομική χρήση του υλικού.

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν τη γήρανση της ασφάλτου. Συνήθως, εξετάζουμε την αντίδραση οξείδωσης της – απορρόφησης οξυγόνου, ως την κύρια αιτία γήρανσης. Η οξείδωση της ασφάλτου εξαρτάται από τη θερμοκρασία, το χρόνο, και το πάχος της ταινίας ασφάλτου. Συγχρόνως σχετίζεται με την σύσταση και τη δομή της. Η γήρανση της ασφαλτικής επίστρωσης έχει μελετηθεί εκτενώς και έχουν επιτευχθεί μεγάλες εξελίξεις.

Το Πανεπιστήμιο Πετρελαίου του Πεκίνου παρουσίασε το πρώτο κινητικό πρότυπο διαταγής για την απορρόφηση του οξυγόνου της ασφαλτικής επίστρωσης βάσει του μέγιστου ποσού οξυγόνου που απορροφήθηκε. Συγκεκριμένα, παρουσιάστηκε ένα κινητικό πρότυπο της οικογενειακής σύνθεσης της ασφάλτου που αντιδρά υπό τη συνεχή θερμότητα και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και υπολόγισε τις κινητικές πρότυπες παραμέτρους. Η δυναμική γήρανση μελετήθηκε με δύο διαφορετικές μεθόδους. Συγχρόνως, καθορίστηκε το σημείο μάλθωσης, η διείσδυση, και η ολκιμότητα δύο ασφάλτων μετά την γήρανση.

2.3.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΣΦΑΛΤΟΥ

Δύο άσφαλτοι επίστρωσης που προσαρμόζονται στα πρότυπα Q/SHR0003-98 AH- 70 (ΑΣΦΑΛΤΟΣ ΤΥΠΟΥ 70) και AH- 90 (ΑΣΦΑΛΤΟΣ ΤΥΠΟΥ 90) αναπτύχθηκαν από το Πανεπιστήμιο του Πετρελαίου και Χημικής Τεχνολογίας. Οι κύριες ιδιότητες τους παρατίθενται στον πίνακα 2.1.

Δείγμα	Σημείο Μάλθωσης (°C)	Διείσδυση (25°C, 0.1mm)	Ολκιμότητα (15°C,cm)	WS (%)	WA (%)	WR (%)	WP (%)
AH-70	48.0	72	>150	17.28	36.96	27.26	13.50
AH-90	45.1	93	>150	15.14	35.72	33.22	15.92

Πίνακας 2.1 Ιδιότητες δύο ασφάλτων επίστρωσης

Όπου S= saturated hydrocarbon content
 A= aromatics content
 R= resin content
 P= asphaltene content

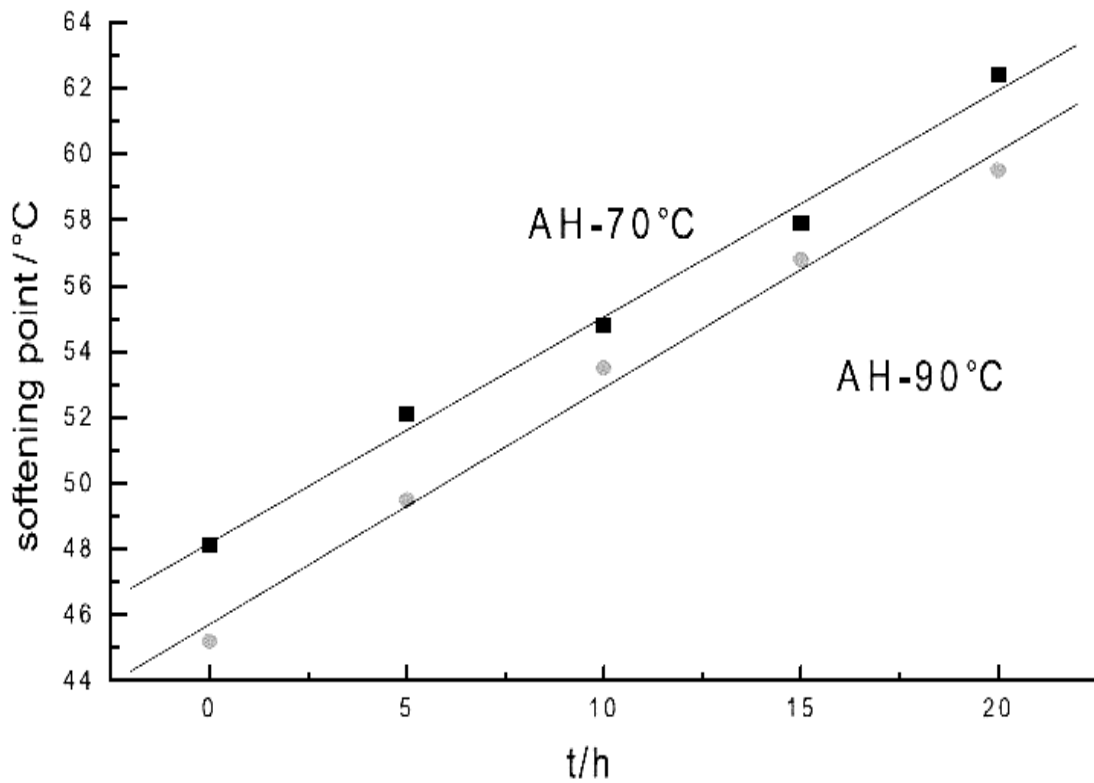
2.3.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΗΡΑΣΜΕΝΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ

Τα πειράματα γήρανσης στις δύο ασφάλτους επίστρωσης πραγματοποιήθηκαν σε έναν φούρνο με τη θέρμανση κυλιόμενου υμένα ασφάλτου (RTFO) σε διαφορετικές θερμοκρασίες (150, 163, και 180°C) και χρόνους αντίδρασης (5, 10, 15, 20, 25, και 30h), αντίστοιχα. Το δείγμα 50gr τοποθετήθηκε στον αντιδραστήρα $\phi 140 \times 9.5\text{mm}$. Καθορίστηκε το περιεχόμενο του πεντάνιου ασφαλτένιου, το σημείο μάλθωσης, η διείδυση και η ολκιμότητα της ηλικιωμένης ασφάλτου.

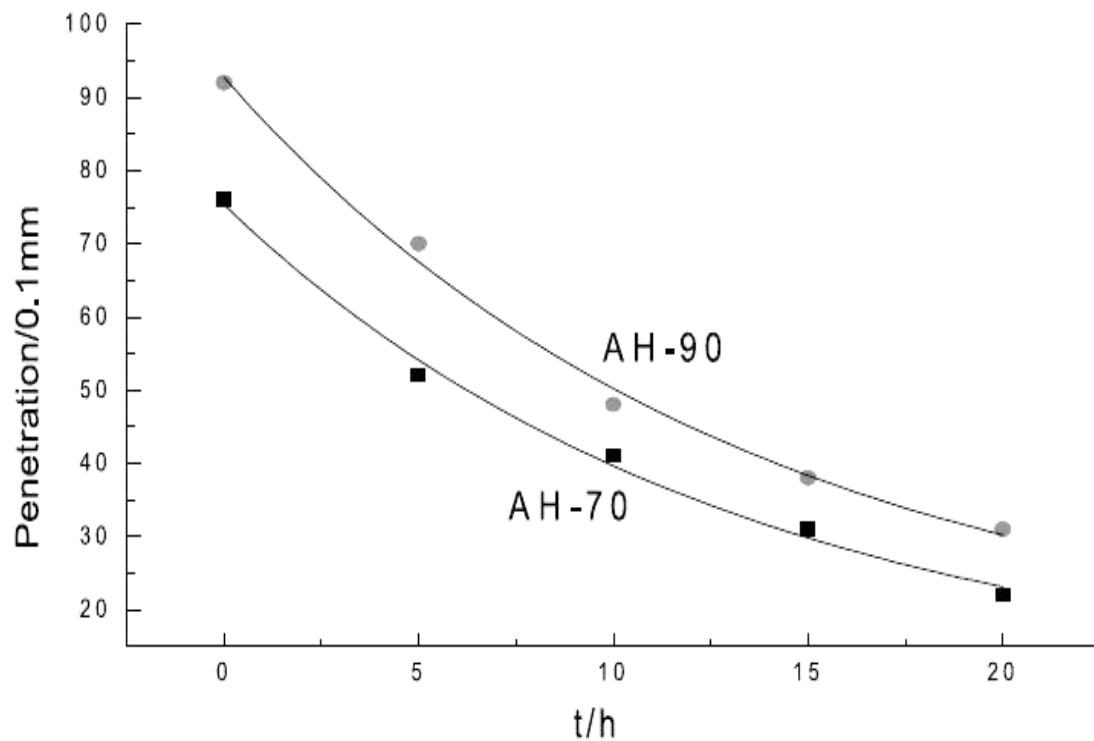
Η αλλαγή του σημείου μάλθωσης, η διείδυση και η ολκιμότητα της επίστρωσης της ασφάλτου στη γήρανση κάτω από τους διαφορετικούς χρόνους γήρανσης σε 163°C παρουσιάζονται στα σχήματα 2.1, 2.2, και 2.3.

Τα σχήματα δείχνουν ότι τα σημεία μάλθωσης αυξάνονται βαθμιαία μετά την γήρανση. Στην ασφαλτο ΑΗ-90 παρατηρούνται χαμηλότερα σημεία μάλθωσης με την επέκταση του χρόνου. Αυτό συμβαίνει επειδή η ασφαλτος ΑΗ-70 έχει τον υψηλότερο κορεσμό, χαμηλότερη ρητίνη, χαμηλότερη ταχύτητα γήρανσης, και αντιστέκεται καλύτερα στη γήρανση.

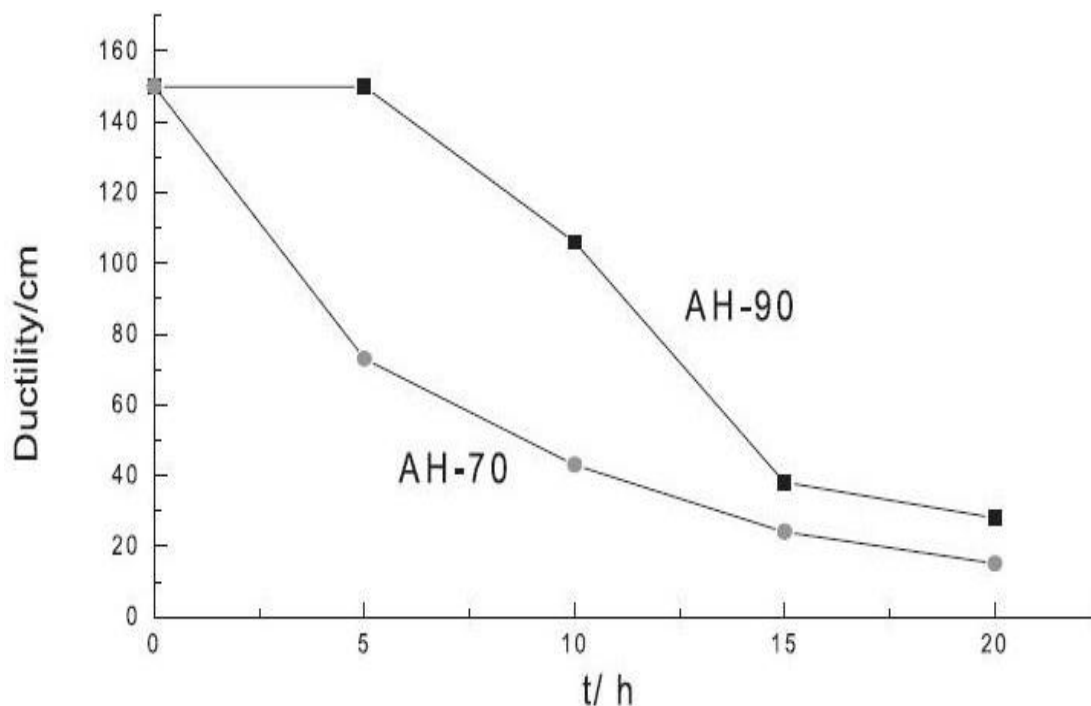
Η διείδυση και η ολκιμότητα μειώθηκαν με την παράταση του χρόνου γήρανσης, μετά τη γήρανση. Ο χρόνος γήρανσης έχει μεγάλη επίδραση στη διαδικασία γήρανσης. Στην ΑΗ-90 η διείδυση της ασφάλτου μειώνεται προφανώς με την επέκταση του χρόνου γήρανσης, συγκρίνοντας τις ΑΗ-90 και ΑΗ-70. Παρουσιάζεται το γεγονός ότι η ΑΗ-90 είναι περισσότερο επιρρεπής σε σκληρύνσεις από την ΑΗ-70. Η αλλαγή της ολκιμότητας είναι εμφανής όταν ο χρόνος γήρανσης κυμαίνεται μεταξύ των 10-15 h.



Σχήμα 2.1 Σχέση μεταξύ σημείου μάλθωσης και χρόνου γήρανσης στους 163°C.



Σχήμα 2.2 Σχέση μεταξύ διείσδυσης (25°C) και χρόνου γήρανσης στους 163°C.



Σχήμα 2.3 Σχέση μεταξύ της ολκιμότητας και του χρόνου γήρανσης σε 163°C.

Το περιεχόμενο σε ασφαλτένια αυξάνεται ενώ το αρωματικό περιεχόμενο και η περιεκτικότητα σε ρητίνη μειώνονται κατά τη διάρκεια της γήρανσης ασφάλτου. Αυτό οφείλεται στην οξειδωτική ένωση και τη ρήξη από την αλκυλικός-δευτερεύων-αλυσίδα. Η κολλοειδής δομή της ασφάλτου που παραβιάζεται μειώνει κατά πολύ τη δυνατότητα διάλυσης. Έτσι, η ολκιμότητα χειροτερεύει μετά τη γήρανση.

2.3.3 ΡΥΘΜΟΣ ΓΗΡΑΝΣΗΣ

Η επιρροή του χρόνου και της θερμοκρασίας στις ιδιότητες γήρανσης της ασφάλτου είναι μεγάλες. Το περιεχόμενο σε ασφαλτένια αυξάνεται με την προσθήκη της θερμοκρασίας και την επέκταση του χρόνου.

Η επιρροή του χρόνου και της θερμοκρασίας γήρανσης στο πεντάνιο ασφαλτένιου παρατίθεται στους πίνακες 2.2 και 2.3

Ο ρυθμός γήρανσης της ασφάλτου ακολουθεί την παρακάτω κινητική εξίσωση:

$$dx/dt = k(1-x)^n \quad (1)$$

Η οριακή συνθήκη είναι $t = 0$, $X = X^*$, όπου X^* = το περιεχόμενο του πεντάνιου ασφαλτένιου όταν η γήρανση αρχίζει ($t = 0$), και $t = 0$ ο χρόνος γήρανσης.

Αντικαθιστώντας την οριακή συνθήκη στην εξίσωση (1) με ολοκλήρωση, οι εξισώσεις (2) και (3) θα προκύψουν ως εξής:

$$kt = -\ln(1-x) + \ln(1-x^*) \quad (2)$$

$$kt = 1/n-1 * (1-x)^{1-n} + 1/n-1 * (1-x^*)^{1-n} \quad (n \neq 1) \quad (3)$$

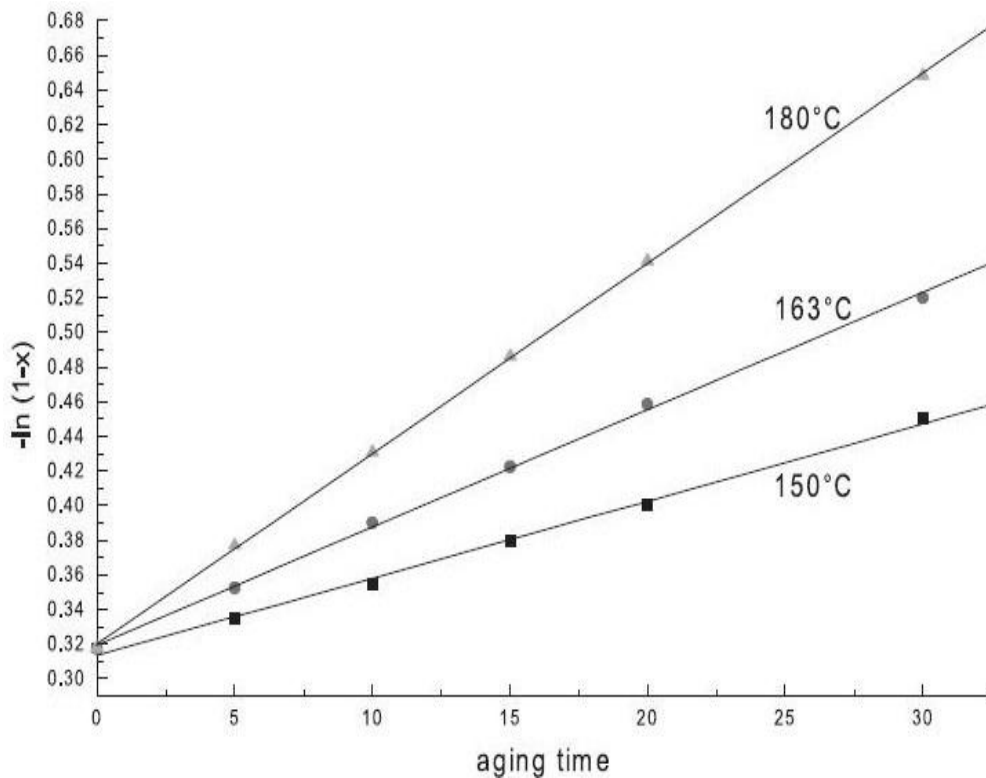
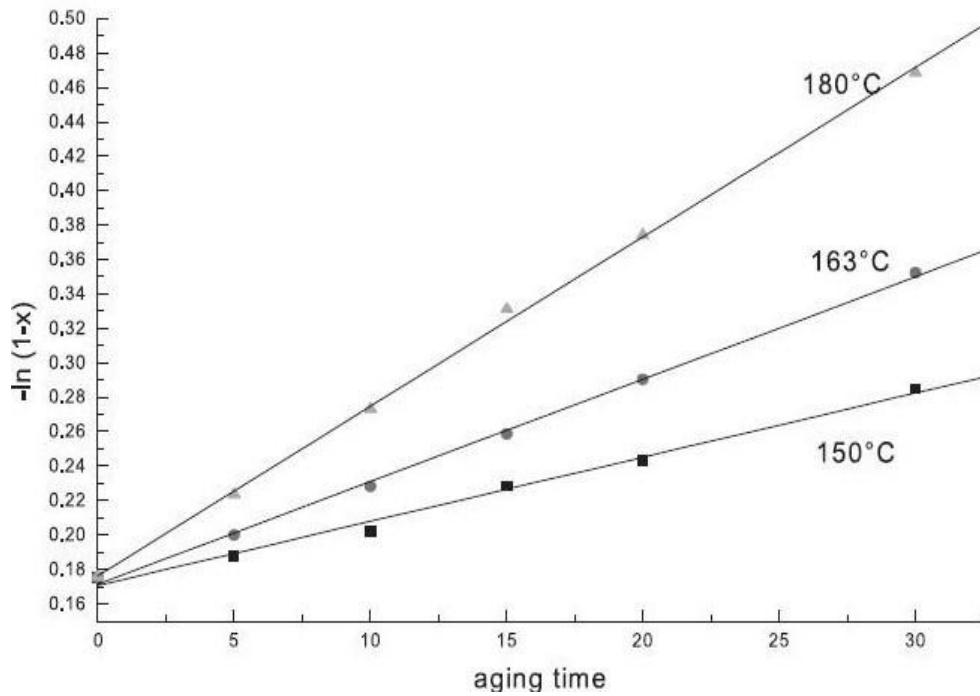
όπου x = το περιεχόμενο του σχηματισμού πεντάνιου ασφαλτένιου, k = η κινητική σταθερά για το σχηματισμό πεντάνιου ασφαλτένιου, n = η κινητική διαταγή για το σχηματισμό ασφάλτου, και t = ο χρόνος αντίδρασης.

Γήρανση (χρόνος/h)	WPI (150°C)		WPI (163°C)		WPI (180°C)	
	Πειρ.	Υπολ.	Πειρ.	Υπολ.	Πειρ.	Υπολ.
0	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1
5	16.8	17.6	17.6	18.5	19.1	20.2
10	18.3	19.2	20.4	20.9	23.9	24.1
15	20.4	20.7	22.8	23.2	28.2	27.8
20	21.6	22.1	25.2	25.4	31.2	31.4
30	24.8	25.0	29.7	29.6	37.4	37.9

Πίνακας 2.2 Επιρροή του χρόνου και της θερμοκρασίας γήρανσης στο πεντάνιο ασφαλτένιου AH-70

Γήρανση (χρόνος/h)	WPI (150°C)		WPI (163°C)		WPI (180°C)	
	Πειρ.	Υπολ.	Πειρ.	Υπολ.	Πειρ.	Υπολ.
0	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2
5	28.8	28.7	29.0	29.4	31.4	30.9
10	30.3	29.7	31.8	31.5	35.0	34.7
15	31.6	31.1	33.8	33.6	38.5	38.3
20	33.0	33.4	36.9	36.7	41.8	41.7
30	37.1	33.9	40.3	39.7	47.7	47.8

Πίνακας 2.3 Επιρροή χρόνου και θερμοκρασίας γήρανσης στο πεντάνιο ασφαλτένιου AH-90.



Σχήμα 2.4 Η σχέση μεταξύ $-\ln(1-x)$ και του t (χρόνου) δύο ασφάλτων

Η κινητική διαταγή μπορεί να υπολογιστεί κατ' επανάληψη. Ας υποθέσουμε ότι η γήρανση της ασφάλτου πραγματοποιείται σύμφωνα με έναν πρώτο νόμο κινητικής διαταγής, για $n = 1$, $-\ln(1-x)$ είναι ο χρόνος γήρανσης, t , και η κλίση είναι η κινητική σταθερά, k . Το σχήμα 2.4 δείχνει ότι η γραμμική συνάφεια μεταξύ $-\ln(1-x)$ και του χρόνου t , είναι καλή.

Δείγμα	Θερμοκρασία Γήρανσης (°)	K (10 ⁻³ *h ⁻¹)	Σχετικός Συντελεστής	A (10 ⁴ *h ⁻¹)	Ea (kJ* mol ⁻¹)
ΑΗ-70	150	3.72	0.9985	1.70	60.80
	163	5.95	0.9991		
	180	9.84	0.9993		
ΑΗ-90	150	4.45	0.9983	1.07	56.16
	163	6.79	0.9993		
	180	9.09	0.9998		

Πίνακας 2.4 Κινητικές παράμετροι της γήρανσης ασφάλτων επίστρωσης

Ο ελάχιστος σχετικός συντελεστής όλων των γραμμών είναι 0.9985, το οποίο παρουσίασε πορείες γήρανσης των ΑΗ-70 και ΑΗ-90 ασφάλτων, οι οποίες προσαρμόζονται στην πρώτη αντίδραση διαταγής στον πίνακα 2.4.

Η εξίσωση Arrhenius μπορεί να εκφραστεί από τον ακόλουθο τύπο:

$$\ln k = -Ea/RT + \ln A \quad (4)$$

όπου Ea = ενέργεια ενεργοποίησης αντίδρασης, J·mol⁻¹ και A = ο προεκθετικός παράγοντας.

Η εξίσωση (4) παρουσιάζει ότι $-\ln k$ συμφωνεί με $1/T$ και Ea/R από την οπισθοδρόμηση γραμμικότητας στην κλίση όταν είναι η γραμμή εκτός των αυξήσεων $1/T = 0$, η παρεμπόδιση του Y άξονα είναι $-\ln A$.

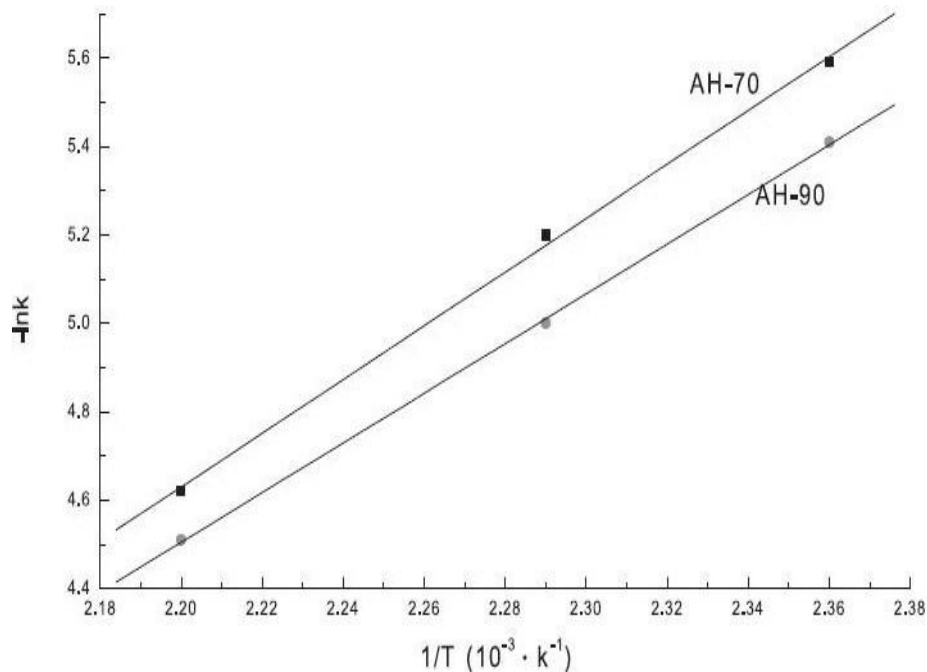
Επομένως, προσδιορίστηκε η ενέργεια ενεργοποίησης της γήρανσης ασφάλτου. Οι συντελεστές των δύο γραμμών ασφάλτου ήταν 0.9991 και 0.9997, αντίστοιχα, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.5. Από εξίσωση (2) και (4) η έκφραση για το σχηματισμό πεντάνιου ασφαλένιου θα ήταν:

$$\ln(1-x) = \ln(1-x^*) - Ate^{-Ea/RT} \quad (5)$$

Λήψη της συσχετισμένης κινητικής παραμέτρου σε εξ.(5), η κινητική έκφραση γήρανσης για ΑΗ-70 και ΑΗ-90 ασφάλτους θα μπορούσε να εκφραστεί ως εξής:

$$\ln(1-x) = -0.145 - 1.7 * 10^4 te^{-7312/T} \quad (6)$$

$$\ln(1-x) = -0.170 - 1.07 * 10^4 e^{6755/T} \quad (7)$$



Σχήμα 2.5 Η σχέση μεταξύ $-\ln k$ και $1/T$.

Επομένως, οι εξ.(6) και (7) μπορούν να περιγράψουν τη σχέση μεταξύ του πεντάνιου ασφαλτένιου και του χρόνου γήρανσης στις διαφορετικές θερμοκρασίες. Τα πειραματικά στοιχεία και οι υπολογισμένες τιμές που προκύπτουν με βάση τις εξ.(6) και (7) παρατίθεται στους πίνακες 2.2 και 2.3, οι οποίοι παρουσιάζουν υπολογισμένες τιμές που είναι ανάλογες των πειραματικών.

2.3.4 ΚΙΝΗΤΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΑΣΦΑΛΤΩΝ ΒΑΣΙΣΜΕΝΑ ΣΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΜΑΛΘΩΣΗΣ

Η γήρανση της ασφάλτου είναι μια αντίδραση και μπορεί να παρουσιάσει το βάθος της αντίδρασης αυτής, στη μείωση του σημείου μάλθωσης. Η κινητική εξίσωση μπορεί να εκφραστεί με τη χρησιμοποίηση του σημείου μάλθωσης ως εξής:

$$dc/dt = kc \quad (8)$$

Όπου c = το περιεχόμενο του αντιδραστήριου δημιουργήσε το ασφαλτένιο στην ασφαλτο t = χρόνος γήρανσης σε h, και k = συνολική σταθερά ποσοστού αντίδρασης, h^{-1} .

Το περιεχόμενο του αντιδραστηρίου είναι σε άμεση αναλογία με το σημείο μάλθωσης: $c = a/R_0$. Αντικαθιστώντας την εξίσωση αυτή στην εξ. (8), το αναμενόμενο κινητικό πρότυπο μπορεί να απαιτηθεί από το ολοκλήρωμα:

$$\ln R/R_0 = kt \quad (9)$$

Όπου R_0 = αρχικό σημείο μάλθωσης ($^{\circ}\text{C}$) και R =σημείο μάλθωσης όταν ο χρόνος είναι t ($^{\circ}\text{C}$).

Έτσι, εάν τα σημεία μάλθωσης των διαφορετικών χρόνων γήρανσης μετριοούνται, η παράμετρος αντίδρασης της ασφάλτου που γεννά μπορεί να ληφθεί. Σύμφωνα με την εξίσωση Arrhenius, άλλες κινητικές παράμετροι γήρανσης μπορούν να απαιτηθούν. Οι πίνακες 2.5 και 2.6, αντίστοιχα, παρουσιάζουν το σημείο μάλθωσης της ασφάλτου εναντίον του χρόνου γήρανσης. Η γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ του $\ln R/R_0$ και του t κάτω από τις διαφορετικές θερμοκρασίες παρουσιάζεται στον πίνακα 2.4. Τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι δύο τύποι γήρανσης των ασφάλτων είναι σύμφωνα με μια αντίδραση. Η κλίση της εξίσωσης παλινδρομήσεως είναι επίσης η σταθερά ταχύτητας αντίδρασης κάτω από την αντίστοιχη θερμοκρασία. Σύμφωνα με την εξίσωση του Arrhenius, η εξίσωση μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$\ln k = -Ea/(RT) + \ln A \quad (10)$$

Χρόνος Γήρανσης (h)	Σημείο Μάλθωσης (150°C, °C)		Σημείο Μάλθωσης (163°C, °C)		Σημείο Μάλθωσης (180°C, °C)	
	Πειρ.	Υπολ.	Πειρ.	Υπολ.	Πειρ.	Υπολ.
0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0
5	51.5	51.4	53.7	53.8	54.1	54.0
10	53.6	53.6	55.2	55.2	60.6	59.8
15	56.7	56.7	58.0	58.0	67.2	67.3
20	59.4	59.3	61.7	62.0	73.1	73.2

Πίνακας 2.5 Σημείο μάλθωσης ασφάλτου AH-70 με την αλλαγή του χρόνου γήρανσης

Με τη χρησιμοποίηση $-\ln k$ που κατασκευάζει για $1/T$, η κλίση της γραμμικός-παλινδρομημένης γραμμής είναι Ea/R . Όταν η γραμμή επεκτείνεται στο $1/T = 0$, η παρεμβολή του άξονα Y είναι $\ln A$. Έτσι, η ενέργεια ενεργοποίησης (Ea) της αντίδρασης γήρανσης ασφάλτου και ο προ-εκθετικός παράγοντας μπορούν να ληφθούν και οι συντελεστές των δύο γραμμών αντίστοιχα, είναι 0.9984 και

0.9989. Με τη λήψη της εξίσωσης Arrhenius σε εξ. (10), η εξίσωση μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$\ln R = \ln R_0 + Ate^{-E_a/RT} \quad (11)$$

Φέρνοντας την κινητική παράμετρο του πίνακα 2.4 σε 3.4, η εξίσωση μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$\text{AH-70: } \ln R = 3.8712 + 2.3935 * 10^3 te^{-7149/T} \quad (12)$$

$$\text{AH-90: } \ln R = 3.8066 + 1.0206 * 10^3 te^{-6341/T} \quad (13)$$

Σύμφωνα με τις εξ. (12) και (13), η σχέση σημείου μάλθωσης και χρόνου της ασφάλτου κάτω από τις διαφορετικές θερμοκρασίες μπορούν να υπολογιστούν. Τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι η υπολογισμένη αξία και η πειραματική αξία είναι καλές και το καθιερωμένο πρότυπο συμφωνεί με την πρακτική επεξεργασία της γήρανσης της ασφάλτου στους πίνακες 2.5 και 2.6.

Η ασφαλτος AH-70 έχει την υψηλότερη ενέργεια ενεργοποίησης αντίδρασης και χαμηλότερη σταθερά αντίδρασης από την AH-90, όπως φαίνεται στον πίνακα 2.7. Συνεπώς, η ασφαλτος AH-70 έχει καλύτερη ποιότητα αντί-γήρανσης.

Χρόνος Γήρανσης (h)	Σημείο Μάλθωσης (150°C, °C)		Σημείο Μάλθωσης (163°C, °C)		Σημείο Μάλθωσης (180°C, °C)	
	Πειρ.	Υπολ.	Πειρ.	Υπολ.	Πειρ.	Υπολ.
0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0
5	48.0	48.2	49.4	49.2	50.9	50.0
10	51.2	51.1	54.9	54.6	56.1	56.0
15	54.3	54.5	58.3	58.1	62.2	62.2
20	57.5	57.6	63.4	63.4	68.6	68.5

Πίνακας 2.6 Σημείο μάλθωσης ασφάλτου AH-90 με την αλλαγή του χρόνου γήρανσης

Δείγμα	Θερμοκρασία Γήρανσης (°C)	K (10 ⁻³ *h ⁻¹)	Συντελεστής Συσχετισμού	A (10 ⁻³ *h ⁻¹)	Ea (kJ*mol ⁻¹)
AH-70	150	3.82	0.9984	2.3935	59.4391
	163	5.34	0.9991		
	180	9.15	0.9996		
AH-90	150	4.70	0.9989	1.0206	52.7226
	163	6.18	0.9996		

Πίνακας 2.7 Κινητική παράμετρος δύο ασφάλτων

2.3.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μελετήθηκαν οι αλλαγές του σημείου μάλθωσης, της διείδυσης, και της ολκιμότητας δύο ασφάλτων μετά τη γήρανση. Δύο μέθοδοι χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα για να μελετήσουν τις κινητικές γήρανσης δύο ασφάλτων και μερικές κινητικές παράμετροι δόθηκαν παραπάνω. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα σημεία μάλθωσης αυξάνονται ενώ οι τιμές διείδυσης και ολκιμότητας μειώνονται μετά τη γήρανση. Συνήχθη το συμπέρασμα ότι η ικανότητα γήρανσης της ασφάλτου ΑΗ-70 είναι καλύτερη από την ασφάλτο ΑΗ-90. Τα κινητικά πρότυπα γήρανσης των δύο ασφάλτων βασισμένα στα σημεία μάλθωσης συγκρίνονται με ένα κινητικό πρότυπο γήρανσης πεντάνιου ασφαλτένιου και τα αποτελέσματα είναι συνεπή.

Σύμφωνα με τη μελέτη της ποιότητας δύο ασφάλτων μετά τη γήρανση και τη θεμελίωση του μαθηματικού προτύπου, μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι:

1. Το σημείο μάλθωσης είναι υψηλότερο, ενώ η διείδυση και η ολκιμότητα είναι χαμηλότερες μετά τη γήρανση της ασφάλτου. Η καλή εκτέλεση αντί-γήρανσης της ΑΗ-70 (ΑΣΦΑΛΤΟΣ ΤΥΠΟΥ 70) είναι ένα αποτέλεσμα της χαμηλότερης ταχύτητας αντίδρασης και της υψηλότερης ενέργειας ενεργοποίησης έναντι της ΑΗ-90 (ΑΣΦΑΛΤΟΣ ΤΥΠΟΥ 90).

2. Τα πειραματικά αποτελέσματα είναι ίδια με τη διαδικασία της γήρανσης της ασφάλτου σε δύο διαφορετικές μεθόδους. Με τη χρησιμοποίηση του σημείου μάλθωσης ως παράμετρο, το καθιερωμένο κινητικό πρότυπο είναι απλό, ακριβές, και σύμφωνο με άλλες κινητικές παραμέτρους.

2.4 ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ ΑΝΤΙΓΗΡΑΝΣΗΣ ΔΥΟ ΑΣΦΑΛΤΩΝ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗΣ

Σε αυτήν την ενότητα μελετώνται οι διαδικασίες των οξειδωτικών ασφάλτων επίστρωσης και τα κινητικά πρότυπα για τις δύο ασφάλτους επίστρωσης υποβλήθηκαν. Με βάση την αλλαγή της αποδόσεων υπηρεσιών, ιξώδους και δείκτη Gastel (Ic), συγκρίθηκε η αντίσταση γήρανσης των δύο ασφάλτων. Εν τω μεταξύ, ο μηχανισμός γήρανσης έχει επίσης ερευνηθεί. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα παρουσιασμένα δυναμικά πρότυπα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουν άριστα την ταχύτητα γήρανσης για τις

δύο ασφάλτους. Σύμφωνα με dx/dt (AH-90) > dx/dt (AH-70), μπορεί να αποδείξει ότι η αντίσταση γήρανσης της AH-70 είναι καλύτερη από αυτή της AH-90. Μετά τη γήρανση, η αλλαγή τόσο της διείσδυσης, όσο και του σημείου μάλθωσης της AH-70 είναι χαμηλότερη από αυτή των αντίστοιχων παραμέτρων της AH-90, και ο δείκτης γήρανσης AH-70 είναι επίσης χαμηλότερος από αυτόν της AH-90, κάτι το οποίο αποδεικνύει ότι η αντίσταση γήρανσης της AH-70 είναι καλύτερη από αυτή της AH-90. Κατά τη διάρκεια της γήρανσης, κάθε σύνθεση τείνει να μετασχηματιστεί. Κατά συνέπεια, το περιεχόμενο σε ασφαλένια αυξάνεται, η αρχική κολλοειδής δομή της ασφάλτου καταστρέφεται για να επιδεινώσει τις αποδόσεις επίστρωσης της ασφάλτου.

Κατά γενική ομολογία, η αντιγηραντική ιδιότητα της ασφάλτου είναι ένας από τους κύριους παράγοντες επίδρασης στη ζωή υπηρεσιών. Κατά τη διάρκεια της οξείδωσης κάτω από τη συνεχή θέρμανση και την ατμόσφαιρα η σύνθεση της ασφάλτου αλλάζει, αυξήθηκαν τα ασφαλένια και η ρητίνη και οι αρωματικές ουσίες μειώθηκαν, πράγμα το οποίο οδήγησε στη μειωμένη ικανότητα της εξάπλωσης διαλυτότητας.

Η άσφαλτος μετασχηματίστηκε βαθμιαία από το collosol στο sol-gel ή gel (σύστημα πηκτωμάτων). Αυτός ο μετασχηματισμός απεικονίστηκε από την αύξηση του σημείου μάλθωσης, την αύξηση του αδιάλυτου ν-πεντάνιου, τη μείωση της διείσδυσης και τη μείωση της ρευστότητας.

Μόνο η άσφαλτος που έχει την καλύτερη αντιγηραντική ιδιότητα μπορεί να αντιμετωπίσει μια απαίτηση των αποδόσεων επίστρωσης. Τα μέρη της μελέτης κατέδειξαν ότι η αντιγηραντική ιδιότητα της ασφάλτου σχετίζεται στενά με τη χημική σύνθεση.

Κατά τη διάρκεια της γήρανσης, το ασφαλένιο είναι ευαίσθητο στη θερμοκρασία και παρουσιάζει μια κανονική αύξηση, ειδικά του ν-πεντάνιου ασφαλένιου. Σύμφωνα με την εν λόγω θεωρία, οι αναλύσεις της αλλαγής του περιεχομένου σε ασφαλένια μπορούν ακριβώς να αξιολογήσουν τη διαδικασία της γήρανσης της ασφάλτου. Στο άρθρο, η κινητική γήρανσης της ασφάλτου μελετήθηκε με τον καθορισμό της αλλαγής του περιεχομένου σε ασφαλένια κατά τη διάρκεια της γήρανσης. Μαζί με το ιξώδες και άλλες «φυσικές παράμετροι» αλλάζουν πριν και μετά τη γήρανση. Παρακάτω συγκρίνονται οι αποδόσεις αντιγήρανσης δύο ασφάλτων επίστρωσης.

Εν τω μεταξύ, με τη δοκιμή κυλιόμενου υμένα ασφάλτου (RTFO) σε διάφορες θερμοκρασίες (150, 163, και 180° C), το περιεχόμενο των τεσσάρων ομάδων και οι αποδόσεις επίστρωσης υπολογίσθηκαν κάθε 5 ώρες, ούτως ώστε να μελετηθεί η σχέση μεταξύ της χημικής σύνθεσης της ασφάλτου και των ιδιοτήτων της.

2.4.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Σε αυτό το πείραμα, που οξειδώνει την αρίστης ποιότητας ασφαλτο επίστρωση, που προσαρμόζεται στα πρότυπα GB/T15180-94, χρησιμοποιήθηκαν ως υλικά η ασφαλτος ΑΗ-70 (ΑΣΦΑΛΤΟΣ ΤΥΠΟΥ 70) και η ΑΗ-90 (ΑΣΦΑΛΤΟΣ ΤΥΠΟΥ 90) (πίνακας 2.8).

Δείγμα	Σημείο μάλθωσης (°C)	Διείσδυση (25°C, 0.1mm)	Ολκιμότητα (15°C, cm)	WS (%)	WA (%)	WR (%)	WP (%)
ΑΗ-70	46.0	68.6	>145	19.98	32.39	42.61	5.01
ΑΗ-90	44.2	88.5	>145	23.04	31.48	40.53	4.93

Πίνακας 2.8 Οι ιδιότητες δύο ασφάλτων

2.4.2 ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΚΙΝΗΤΙΚΕΣ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ

Τα κινητικά πειράματα γήρανσης των δύο ασφάλτων υποβλήθηκαν σε δοκιμή RTFO στις διαφορετικές θερμοκρασίες, 150, 163, και 180° C. Κατόπιν ένα δείγμα ελήφθη κάθε 5 h, και καθορίστηκαν οι παράμετροι φυσικών ιδιοτήτων του (όπως η περιεκτικότητα σε ν-πεντάνιο ασφαλτένιου, τέσσερις ομάδες, σημείο μάλθωσης, διείσδυση, και ιξώδες).

Ο χρόνος και η θερμοκρασία γήρανσης είχαν πάρα πολλές επιπτώσεις στη διαδικασία γήρανσης της ασφάλτου. Με την ενίσχυση της θερμοκρασίας γήρανσης και την επέκταση του χρόνου γήρανσης, το περιεχόμενο σε ασφαλτένια παρουσίασε μια κανονική αύξηση. Οι πίνακες 2.9 και 2.10 δείχνουν ότι οι ΑΗ-70 και ΑΗ-90 ασφαλτοί παρουσίασαν πως ο χρόνος γήρανσης έχει επιπτώσεις στο περιεχόμενο n-πεντάνιο ασφαλτένιου (PI, n-Pentane Insoluble). Στην κινητική αρχή, ο ρυθμός γήρανσης της ασφάλτου μπορεί να εκφραστεί στη μορφή:

$$dx/dt = k(1-x)^n \quad (1)$$

Γήρανση (χρόνος/h)	WPI (150°C)		WPI (163°C)		WPI (180°C)	
	Πειρ.	Υπολ.	Πειρ.	Υπολ.	Πειρ.	Υπολ.
0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
5	18.6	18.4	18.8	19.2	21.2	20.9
10	20.1	19.7	21.6	21.4	24.8	24.7
15	21.4	21.1	23.6	23.5	28.3	28.3
20	22.8	22.4	25.8	25.5	31.6	31.7
30	25.0	24.9	30.1	29.5	37.5	37.8

Σημείωση: Το WPI είναι το περιεχόμενο βάρους του n-πεντάνιου ασφαλτένιου.

Πίνακας 2.9 Επιρροή της θερμοκρασίας και του χρόνου γήρανσης στο περιεχόμενο ασφαλτένιου της ΑΗ-70.

Γήρανση (χρόνος/h)	WPI (150°C)		WPI (163°C)		WPI (180°C)	
	Πειρ.	Υπολ.	Πειρ.	Υπολ.	Πειρ.	Υπολ.
0	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1
5	16.8	17.6	17.6	18.5	19.1	20.2
10	18.3	19.2	20.4	20.9	23.9	24.1
15	20.4	20.7	22.8	23.2	28.2	27.8
20	21.6	22.1	25.2	25.4	31.2	31.4
30	24.8	25.0	29.7	29.6	37.4	37.9

Πίνακας 2.10 Επιρροή της θερμοκρασίας και του χρόνου γήρανσης στο περιεχόμενο ασφαλτένιου της ΑΗ-90

όπου x είναι το περιεχόμενο επί % ασφαλτένιου, k η κινητική σταθερά για το σχηματισμό n-πεντάνιου ασφαλτένιου, n η κινητική διαταγή για το σχηματισμό ασφάλτου, και t ο χρόνος αντίδρασης.

Η οριακή συνθήκη είναι $t=0, x=x^*$. Όπου x^* είναι η νέα περιεκτικότητα σε n-πεντάνιο ασφαλτένιου όταν αρχίζει η γήρανση ($t = 0$).

Για $n=1$ και $n \neq 1$ η κινητική έκφραση για τον σχηματισμό του πεντανίου ασφαλτένιου θα ήταν:

$$kt = \ln(1-x) + \ln(1-x^*) \quad (n=1) \quad (2)$$

$$kt = 1/1-x^* (1-x)^{1-n} + 1/n-1^* (1-x^*)^{1-x} \quad (n \neq 1) \quad (3)$$

Η κινητική διαταγή n μπορεί να υπολογιστεί κατ' επανάληψη. Για n = 1, $-\ln(1-x)$ είναι γραμμική με το χρόνο γήρανσης t, και η κλίση είναι η κινητική σταθερά k.

Δείγμα	T/°C	K ($10^{-3} \cdot h^{-1}$)	Σχετικός Συντελεστής	A ($10^4 \cdot h^{-1}$)	Ea ($kJ \cdot mol^{-1}$)
AH-70	150	3.39	0.9985	3.27	56.61
	163	5.66	0.9996		
	180	9.43	0.9998		
AH-90	150	3.77	0.9939	1.07	52.30
	163	6.01	0.9981		
	180	9.97	0.9982		

Πίνακας 2.11 Κινητικές παράμετροι της επίστρωσης της ασφάλτου

Υποθέτουμε ότι η γήρανση της ασφάλτου είναι σύμφωνη με έναν πρώτο νόμο κινητικής διαταγής και η σχέση $-\ln(1-x)$ και t παρουσιάζει γραμμική συνάφεια. Συνεπώς, κάτω από τις διάφορες θερμοκρασίες γήρανσης, η γραμμική παλινδρόμηση $-\ln(1-x)$ προς t παρουσιάζεται στον πίνακα 2.11.

Η γραμμική συνάφεια μεταξύ $-\ln(1-x)$ και t είναι καλή, τα αποτελέσματα κατέδειξαν ότι ο ελάχιστος σχετικός συντελεστής όλων των γραμμών είναι 0.9939, ο οποίος παρουσίασε ότι οι πορείες γήρανσης των AH-90 και AH-70 ασφάλτων προσαρμόστηκαν στην πρώτη αντίδραση διαταγής. Η κλίση της εξίσωσης παλινδρόμησης είναι η κινητική σταθερά της αντίστοιχης θερμοκρασίας.

Η εξίσωση Arrhenius μπορεί να εκφραστεί υπό τη μορφή:

$$\ln k = -E_a/RT + \ln A$$

όπου E_a είναι η ενέργεια ενεργοποίησης και το A είναι προ εκθετικός παράγοντας.

Η εν λόγω εξίσωση Arrhenius έδειξε ότι $-\ln k$ είναι γραμμική με $1/T$. Μέσω του αριθμού Arrhenius για τη σχέση μεταξύ $-\ln k$ και $1/T$ η κλίση E_a/R λαμβάνεται από την γραμμή παλινδρόμησης. Όταν $1/T$ είναι 0, η κλίση είναι $\ln A$. Με αυτόν τον τρόπο, οι τιμές των E_a και A είναι εύκολο να υπολογισθούν, και ο σχετικός συντελεστής αυτών των δύο γραμμών ήταν 0.9990 και 0.9993, αντίστοιχα.

Από την εξίσωση Arrhenius και Εξ. (2), η έκφραση για το σχηματισμό n-πεντάνιου ασφαλτένιου θα ήταν:

$$\ln(1-x) = (1-x^*) - At \text{Exp}((-Ea/RT) \quad (4)$$

Συνδυασμένη με τα στοιχεία στους πίνακες 2.9 και 2.10, η κινητική έκφραση γήρανσης για τις ΑΗ-70 και ΑΗ-90 ασφάλτους θα μπορούσε να εκφραστεί στη μορφή, αντίστοιχα:

$$\ln(1-x) = - 0.186 - 3.27 \times 10^4 t \text{Exp} (-6809/T) \quad (5)$$

$$\ln(1-x) = - 0.176 - 1.07 \times 10^4 t \text{Exp} (-6290/T) \quad (6)$$

Επιπλέον, οι εξισώσεις (5) και (6) μπορούν να εκφράσουν τη σχέση μεταξύ της περιεκτικότητας σε ν-πεντάνιο ασφατένιου και του χρόνου γήρανσης στις διαφορετικές θερμοκρασίες (πίνακες 2.9 και 2.10). Οι πειραματικές τιμές και οι αριθμητικές τιμές που υπολογίζονται από τις Εξ. (5) και (6) που παρουσιάστηκαν στους πίνακες 2.9 και 2.10 είναι πολύ άμεσες, το οποίο έδειξε ότι τα κινητικά πρότυπα ήταν σύμφωνα με την πρακτική πορεία γήρανσης. Το διαφορικό του x στο t μπορεί να υπολογιστεί από τις Εξ. (5) και (6), είναι προφανές ότι dx/dt (ΑΗ-90) > dx/dt (ΑΗ-70) το οποίο δείχνει ότι το ποσοστό γήρανσης της ΑΗ-90 ήταν υψηλότερο από αυτό της ΑΗ-70.

Οι κινητικές παράμετροι στις Εξ. (5) και (6) έδειξαν ότι η ΑΗ-90 είχε τη χαμηλότερη ενέργεια ενεργοποίησης και την υψηλότερη σταθερά ποσοστού αντίδρασης έναντι της ΑΗ-70, το οποίο σημαίνει ότι η ασφαλτος ΑΗ-70 είχε καλύτερη ανθεκτική απόδοση γήρανσης σε σύγκριση με την ασφαλτο ΑΗ-90.

2.4.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΑΠΟ ΔΥΟ ΑΣΦΑΛΤΟΥΣ

2.4.3.1 ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗΣ

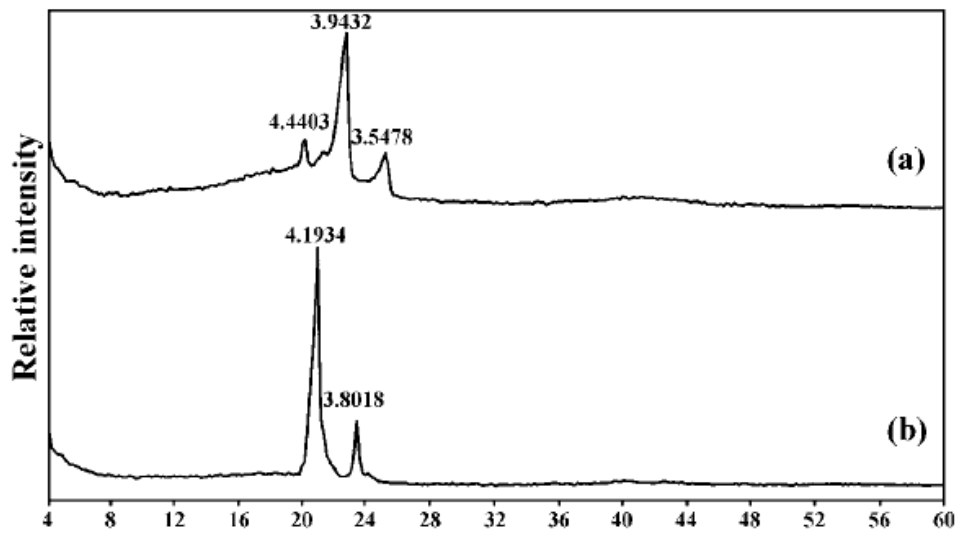
Τα σχήματα 2.6 και 2.7, αντίστοιχα, παρουσιάζουν τις αλλαγές του σημείου μάλθωσης και της διείδυσης των ΑΗ-70 και ΑΗ-90 ασφάλτων πριν και μετά από τη γήρανση σε δοκιμή RTFO στους 163° C. Το σημείο μάλθωσης της ασφάλτου αυξήθηκε βαθμιαία με την επέκταση του χρόνου γήρανσης, όπως φαίνεται στο σχήμα 1, το οποίο είναι περίπου εκφρασμένο στη μορφή:

$$\text{ΑΗ-70} \quad \text{SP}=46.14+0.58t$$

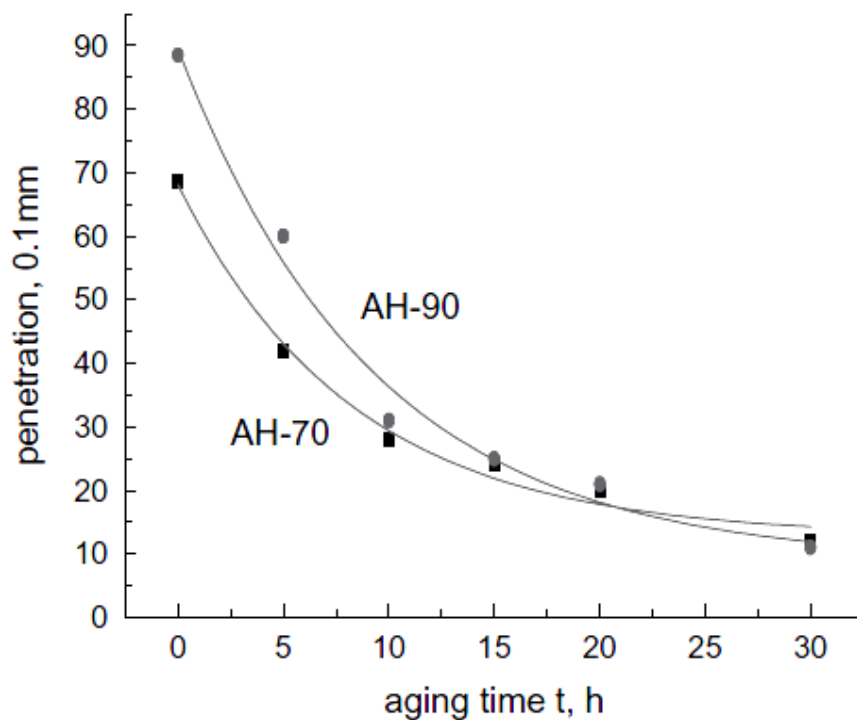
$$\text{ΑΗ-90} \quad \text{SP}=44.94+0.63t$$

όπου η SP (Σ.Μ.) είναι το σημείο μάλθωσης και t ο χρόνος γήρανσης. Προφανώς, dx/dt (ΑΗ-90) > dx/dt (ΑΗ-70), το οποίο κατέδειξε ότι το ποσοστό γήρανσης της ΑΗ-70 ήταν καλύτερο από αυτό της ΑΗ-90 ασφάλτου.

Όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 2.7, οι διεισδύσεις αυτών των δύο ασφάλτων αυξάνονται με την παράταση του χρόνου γήρανσης.



Σχήμα 2.6 Η σχέση μεταξύ σημείου μάλθωσης και χρόνου γήρανσης.



Σχήμα 2.7 Η σχέση μεταξύ διεισδύσης και χρόνου γήρανσης

Η σχέση μπορεί περίπου να εκφραστεί στη μορφή:

$$\text{AH-70 Pen} = 12.83 + 55.23 \text{Exp}(-t/8.31)$$

$$AH-90 \text{ Pen}=8.70+80.72 \text{ Exp}(-t/9.32)$$

όπου Pen (Penetration) είναι η διείσδυση και t ο χρόνος γήρανσης.

Είναι προφανές ότι κάτω από την ίδια θερμοκρασία η αλλαγή της διείσδυσης της AH-70 είναι πιο αργή από αυτήν της AH-90. Δηλαδή, η ασφαλτος AH-70 έχει πιο αργό ρυθμό γήρανσης έναντι της AH-90 ασφάλτου.

2.4.3.2 ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΙΞΩΔΟΥΣ

Ο Christensen σκέφτηκε ότι η αύξηση του περιεχομένου σε ασφαλτένια είναι ο κύριος ισχυρός παράγοντας στην αύξηση του ιξώδους. Και ο Bukka σκέφτηκε ότι η αλλαγή του ιξώδους εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε υδρογονάνθρακες. Όπως είναι γνωστό, το ιξώδες στους 60 °C αποτελεί το κριτήριο αντίστασης στις τροχοαυλακώσεις. Έτσι, η αλλαγή των 60 °C του ιξώδους και ο δείκτης αντιγήρανσης επιλέχτηκαν ως παράμετροι αξιολόγησης των αντιγηραντικών ιδιοτήτων της ασφάλτου. Σύμφωνα με σχετικά έγγραφα, η σχέση μεταξύ του ιξώδους και του χρόνου γήρανσης παρουσιάζει την εκθετική αλλαγή, όπως προσαρμόζεται στην ακόλουθη εξίσωση:

$$\eta = b t^m$$

Δηλαδή

$$\ln \eta = \ln b + m \ln t$$

Όπου n το δυναμικό ιξώδες στους 60° C, b συντελεστής, t χρόνος γήρανσης, και m δείκτης γήρανσης.

Η σχέση μεταξύ του ln n και ln t παρατίθεται στον πίνακα 2.12 Οι σχέσεις μεταξύ του ln n και ln t των AH-70 και AH-90 ασφάλτων παρουσιάζουν μια καλή γραμμική σχέση μετά την γήρανση. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία γήρανσης, μεγαλώνει ο δείκτης γήρανσης. Κάτω από την ίδια θερμοκρασία, ο χαμηλότερος δείκτης γήρανσης της AH-70 έναντι της AH-90 έδειξε ότι το ποσοστό γήρανσης της AH-70 είναι χαμηλότερο από αυτό της AH-90. Επιπλέον, η ασφαλτος AH-70 είχε καλύτερες αντιγηραντικές ιδιότητες από την AH-90.

2.4.4 ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΑΣΦΑΛΤΩΝ

Παίρνοντας την ασφαλτο ΑΗ-90 για παράδειγμα, το σχήμα 2.8 έδειξε ότι η αλλαγή του κορεσμένου περιεχομένου δεν ήταν σοβαρή, ειδικότερα 20 h μετά την γήρανση. Μερικά κορεσμένα ρηγματώθηκαν με τη θέρμανση και μια μικρή ποσότητα κορεσμένων μετασχηματίστηκε σε αρωματικές ουσίες και ρητίνη σε υψηλή θερμοκρασία, το οποίο οδήγησε στη μείωση του περιεχομένου τους. Μετά από 20 h, ο βαθμός συμπύκνωσης αρωματικών ουσιών και ρητινών έγινε σοβαρότερος. Συγχρόνως, κάποια μέρη τους μετατράπηκαν σε κορεσμένα από τη θραύση των πλευρικών αλυσίδων τους.

Δείγμα	T/°C	Σχετική εξίσωση	m	Σχετικός Συντελεστής
ΑΗ-70	150	$\ln n = 4.0825 + 0.9380 \ln t$	0.9380	0.9994
	163	$\ln n = 4.6222 + 0.9974 \ln t$	0.9974	0.9979
	180	$\ln n = 4.4091 + 1.2965 \ln t$	1.2965	0.9996
ΑΗ-90	150	$\ln n = 3.8254 + 1.0168 \ln t$	1.0168	0.9986
	163	$\ln n = 3.5040 + 1.4123 \ln t$	1.4123	0.9999
	180	$\ln n = 3.3660 + 1.8141 \ln t$	1.8141	0.9996

Πίνακας 2.12 Η σχέση μεταξύ του $\ln n$ και $\ln t$ των ΑΗ-90, ΑΗ-70.

Υπήρξε κατά προσέγγιση ισορροπία μεταξύ του σχηματισμού κορεσμένων και μετατροπής, έτσι μετά από γήρανση 20 h, το κορεσμένο περιεχόμενο δεν άλλαξε ουσιαστικά.

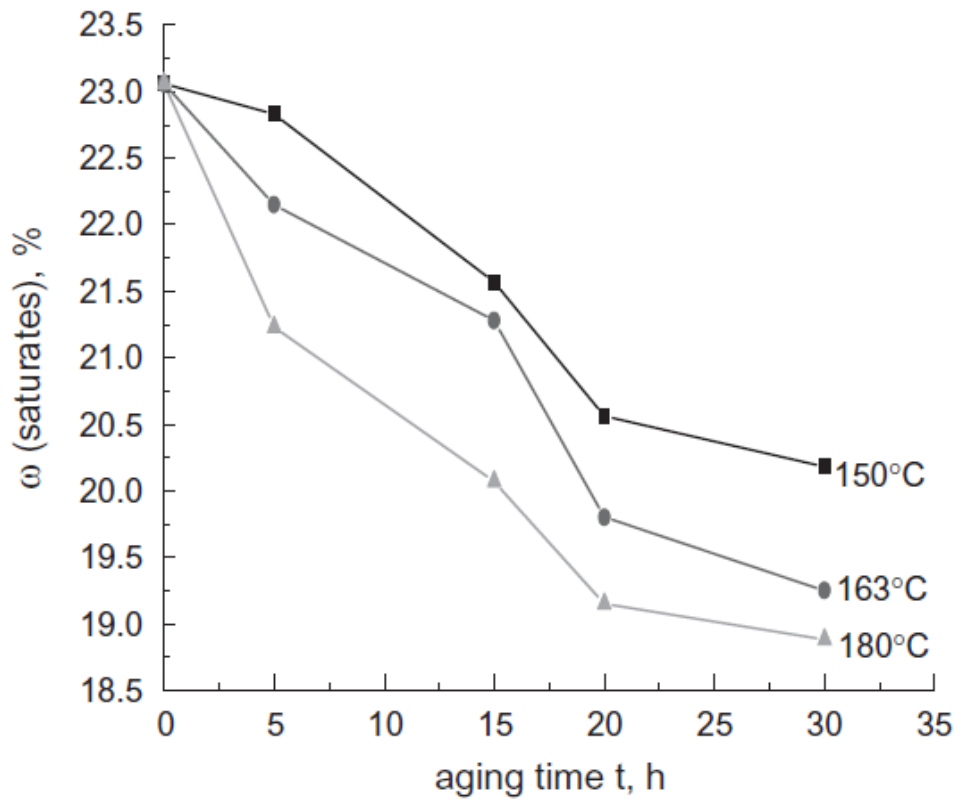
Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.9, μετά την γήρανση οι αρωματικές ουσίες μειώνονται συνεχώς υπό την επίδραση της θερμότητας, συνεχώς μετατρέπονται σε ρητίνες ενώ μόνο μερικά άλλα συστατικά μετασχηματίστηκαν σε αρωματικές ουσίες, πράγμα το οποίο ήταν ο κύριος λόγος της πτώσης του περιεχομένου τους (αρωματικών ουσιών).

Η γενική τάση αλλαγής του περιεχομένου ρητίνης παρουσιάζεται στο σχήμα 2.10.

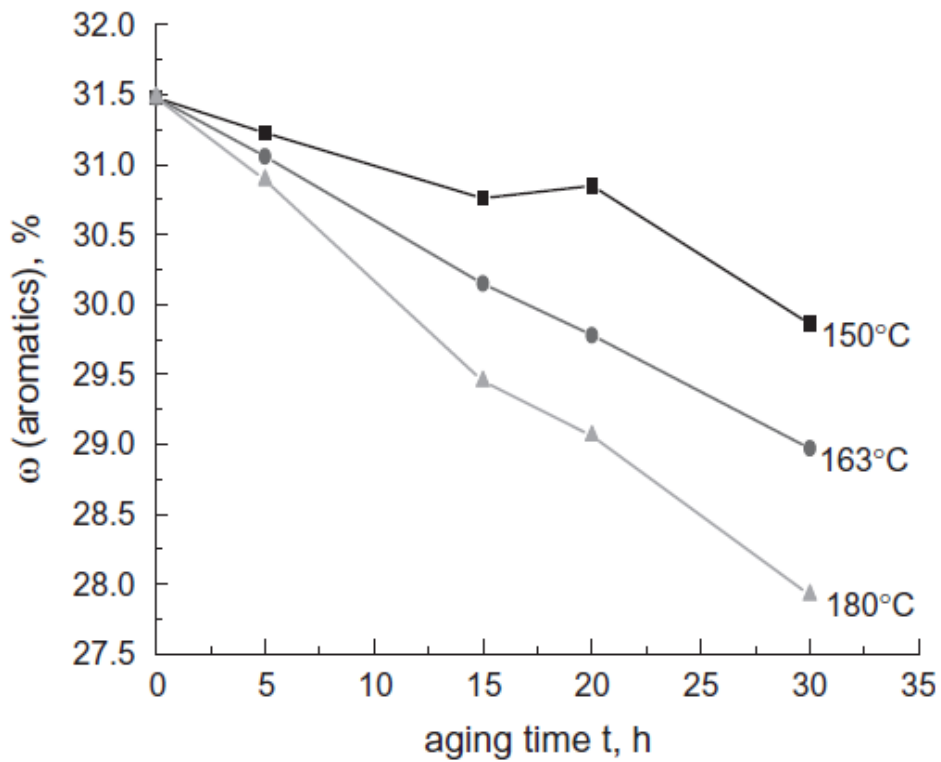
Η ρητίνη, που ήταν η πιο ευαίσθητη στη θερμοκρασία, μετατράπηκε εύκολα σε ασφαλτένια. Κατά τη διάρκεια της πορείας γήρανσης, αν και οι αρωματικές ουσίες μετατράπηκαν εν μέρει σε ρητίνη, περισσότερη ρητίνη μετασχηματίστηκε σε ασφαλτένια από την περαιτέρω συμπύκνωση και σε χαμηλές ενώσεις μοριακού βάρους από τη θραύση των πλευρικών αλυσίδων. Το ποσοστό σχηματισμού της ρητίνης ήταν μικρότερο από αυτό της μετατροπής της, επομένως, η γενική τάση της αλλαγής της μειώθηκε.

Το σχήμα 2.11 δείχνει ότι το περιεχόμενο σε ασφαλτένια αυξήθηκε προφανώς με την επέκταση του χρόνου γήρανσης. Όσο υψηλότερη ήταν η θερμοκρασία, τόσο υψηλότερο ήταν το περιεχόμενο αυτών. Οπτάνθρακας δεν βρέθηκε σε αυτό το πείραμα, το ασφαλτένιο θεωρήθηκε ως τελικό προϊόν της μετατροπής

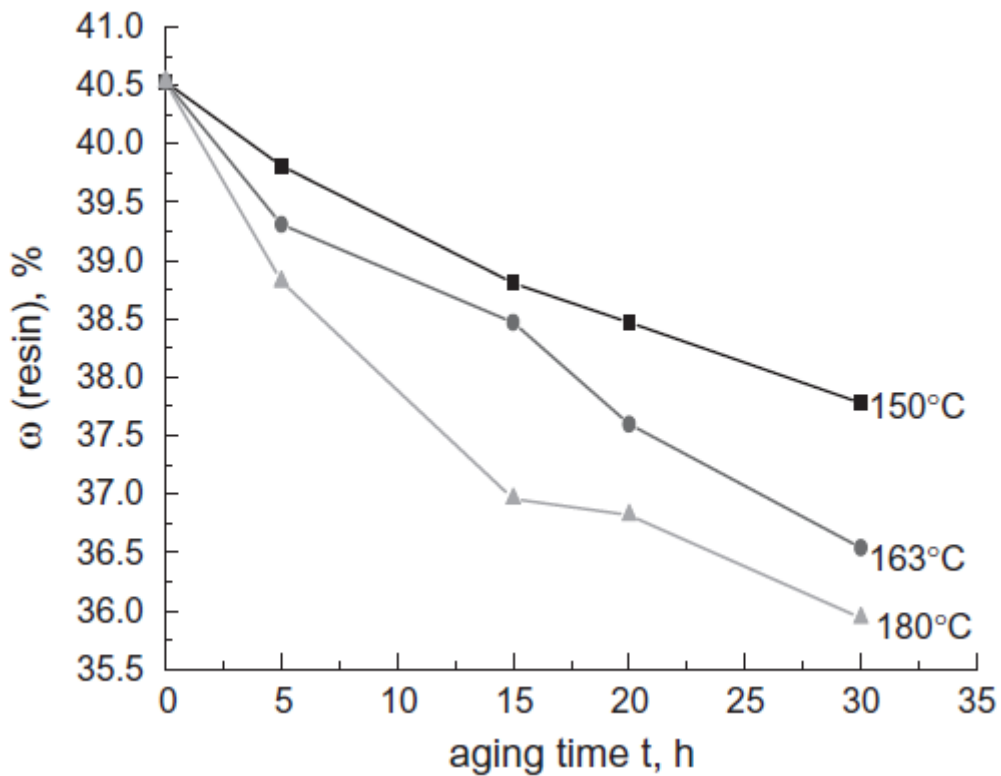
κορεσμένων, αρωματικών ουσιών, και ρητίνης, έτσι το περιεχόμενο ασφαλτένιου ήταν σε συνεχή αύξηση, επιπλέον η σχέση μεταξύ του περιεχομένου ασφαλτένιου και του χρόνου γήρανσης ήταν περίπου σύμφωνη με τη γραμμική αλλαγή.



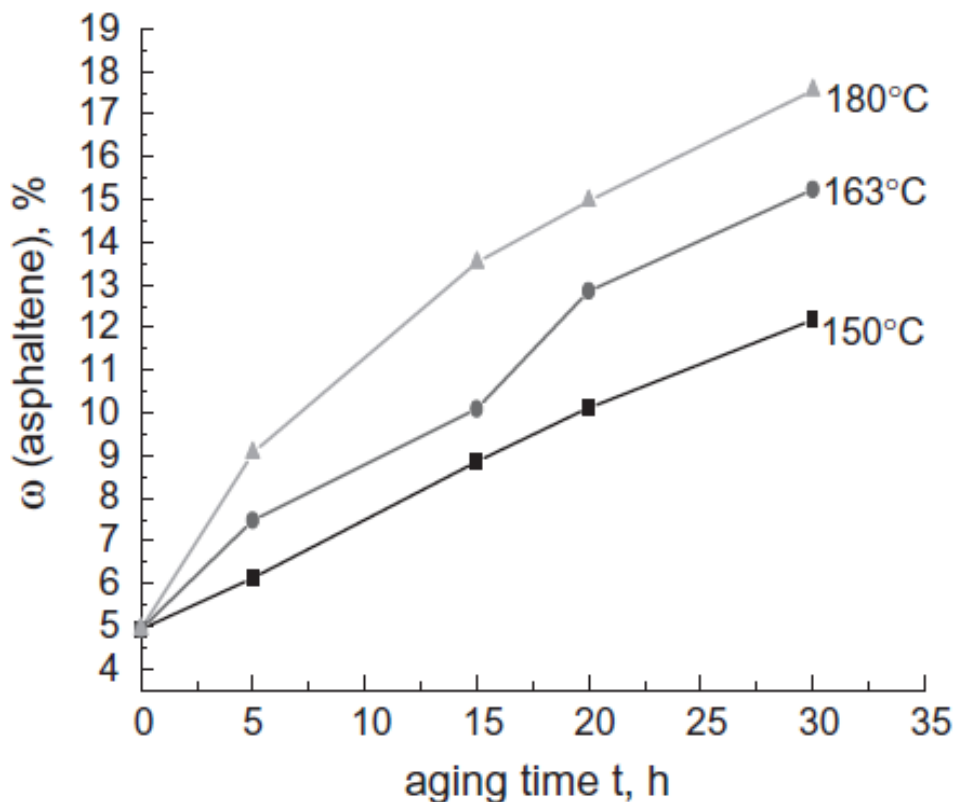
Σχήμα 2.8 Η σχέση μεταξύ κορεσμένων και χρόνου γήρανσης στις διαφορετικές θερμοκρασίες.



Σχήμα 2.9 Η σχέση μεταξύ των αρωματικών ουσιών και του χρόνου γήρανσης στις διαφορετικές θερμοκρασίες.



Σχήμα 2.10 Η σχέση μεταξύ της ρητίνης και του χρόνου γήρανσης στις διαφορετικές θερμοκρασίες.



Σχήμα 2.11 Η σχέση μεταξύ του ασφαλτένιου και του χρόνου γήρανσης στις διαφορετικές θερμοκρασίες.

2.4.4.1 ΑΛΛΑΓΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ GASTEL ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΓΗΡΑΝΣΗΣ

Προκειμένου να ερευνηθεί η διαδικασία γήρανσης της ασφάλτου, ο δείκτης Gastel (I_c) της ασφάλτου AH-90 μελετήθηκε πριν και μετά από τη γήρανση. Η μελέτη του Siddiqui έδειξε ότι το ο δείκτης Gastel μπορεί να απεικονίσει όχι μόνο την αντοχή της ασφάλτου, αλλά και την αλλαγή των κολλοειδών κατά τη διάρκεια της δοκιμής RTFO. Όσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης Gastel, τόσο η ασφαλτος τείνει να μετατραπεί σε μια δομή πηκτωμάτων με πιο ασταθή κολλοειδή δομή. Επομένως ο δείκτης Gastel καλείται επίσης δείκτης αστάθειας των κολλοειδών, ο Siddiqui το καθόρισε με την ακόλουθη μορφή (Shen, 1988):

$$I_c = (S + Asp) / (R+A)$$

όπου το S είναι το περιεχόμενο των κορεσμένων, Asp το περιεχόμενο του ασφαλτένιου, P το περιεχόμενο της ρητίνης, και A το περιεχόμενο των αρωματικών ουσιών στην ασφαλτο.

Ο πίνακας 2.13 εκφράζει την αλλαγή του δείκτη Gastel (I_c) της AH-90 ασφάλτου κατά τη διάρκεια της γήρανσης. Η αλλαγή του δείκτη Gastel (I_c) είναι προφανής στην αντίδραση γήρανσης, με την επέκταση του χρόνου

γήρανσης και την ενίσχυση της θερμοκρασίας γήρανσης, με αποτέλεσμα την αύξησή του. Από την εν λόγω σχέση, μπορούμε να δούμε ότι όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία γήρανσης, τόσο υψηλότερος είναι ο δείκτης Ic. Επιπλέον, το μεταβαλλόμενο ποσοστό του δείκτη Gastel Ic αυξήθηκε εμφανώς.

T/°C	Χρόνος Γήρανσης (t/h)				
	0	5	15	20	30
150	38.87	40.76	43.74	44.26	47.80
163	38.87	42.11	45.73	48.48	52.65
180	38.87	43.45	50.58	51.79	57.38

Πίνακας 2.13 Η αλλαγή του δείκτη αστάθειας ρητίνης κατά τη διάρκεια της γήρανσης

2.4.4.2 ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ

Σύμφωνα με την τρέχουσα θεωρία των κολλοειδών, η άσφαλτος αποτελείται από τέσσερις ομάδες: κορεσμένα, αρωματικές ουσίες, ρητίνη, και ασφαλτένια. Το στερεό ασφαλτένιο είναι σε μια διασκορπισμένη φάση και το υγρό πετρέλαιο (κορεσμένα και αρωματικές ουσίες) σε μια ενδιάμεση. Η ρητίνη που προέρχεται από ασφαλτένιο διασκορπίζεται επαρκώς στο πετρέλαιο. Κατά γενική ομολογία, οι διάφορες ομάδες μπορούν να διαμορφώσουν τις διαφορετικές δομές κολλοειδών: sol, sol-gel, gel structures. Κατά τη διάρκεια της γήρανσης σε υψηλές θερμοκρασίες, οι ελαφριές μοριακού βάρους ενώσεις είναι πολυμερισμένες, ή συμπυκνωμένες, σε περισσότερες ενώσεις ψηλού μοριακού βάρους. Επειδή το περιεχόμενο των κορεσμένων έχει την τάση να ατονεί μετά από μια χρονική περίοδο, αρωματικές ουσίες συνεχώς μετατρέπονται σε ρητίνη. Επιπλέον, οι ρητίνες είναι ευαίσθητες στη θερμοκρασία, η αναλογία μετατροπής του ασφαλτένιου είναι υψηλότερη από τη μετατροπή των αρωματικών ουσιών σε ρητίνες. Έτσι, το περιεχόμενο του ασφαλτένιου αυξάνεται προφανώς με την παράταση του χρόνου γήρανσης. Κάτω από την προστασία της ρητίνης, η κατάσταση της sol-gel δομής είναι σταθερή. Σε συνεχή αύξηση του ασφαλτένιου και προκειμένου να διατηρηθεί η

σταθερότητα του συστήματος, όλο και περισσότερο ελαφρύ πετρέλαιο και ρητίνη απαιτούνται για να το διαλύσουν.

Αλλά η μεταβαλλόμενη τάση του ελαφριού πετρελαίου και της ρητίνης είναι αντίθετη προς αυτήν του ασφαλτένιου. Όταν το περιεχόμενο σε ασφαλτένια υπερβαίνει ένα ορισμένο επίπεδο, η σταθερή δομή των κολλοειδών διαταράσσεται. Επιπλέον, η ιξωδοελαστικότητα και η θιξοτροπία του εξαφανίστηκε, και οι αποδόσεις επίστρωσης χειροτέρευαν.

2.4.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά στην ενότητα αυτή, από τη μελέτη της αλλαγής του αδιάλυτου ν-πεντάνιου κατά τη διάρκεια της γήρανσης των ασφάλτων AH-70 και AH-90, η γήρανση της επίστρωσης της ασφάλτου ήταν μια πρώτη αντίδραση διαταγής. Κατόπιν, καθιερώθηκαν τα δυναμικά πρότυπα για τα δύο είδη ασφάλτων, τα πρότυπα παλινδρόμησης ήταν σύμφωνα με την πρακτική πορεία γήρανσης, που πιστοποίησε ότι η AH-70 είχε καλύτερες αντιγηραντικές ιδιότητες από την AH-90, και έτσι έκαναν το σημείο μάλθωσης, τη διείδυση, και το ιξώδες. Επιπλέον, ο μηχανισμός γήρανσης βρέθηκε από τις αναλύσεις των τεσσάρων ομάδων. Δηλαδή κατά τη διάρκεια της γήρανσης σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες, τα κορεσμένα και το περιεχόμενο των αρωματικών ουσιών μειώθηκαν με έναν ορισμένο βαθμό μετά τη γήρανση. Η μείωση περιεκτικότητας σε ρητίνη είναι προφανής, και το περιεχόμενο σε ασφαλτένια αυξήθηκε αξιολογικά.

Ο κύριος λόγος που η απόδοση υπηρεσιών χειροτέρευσε ήταν η αλλαγή της σύνθεσης ασφάλτου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΦΘΟΡΕΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Φθορά ονομάζεται κάθε είδους ανωμαλία η οποία χειροτερεύει τις συνθήκες κύλισης των οχημάτων στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Οι φθορές οι οποίες εμφανίζονται σε ένα οδόστρωμα είναι συγχρόνως αιτίες και αποτέλεσμα, διότι οι αρχικές φθορές γίνονται συχνά αιτίες νέων φθορών του ίδιου ή διαφορετικού τύπου. Η εξέλιξή τους είναι ταχύτατη και οδηγούν το οδόστρωμα σε καταστροφή, αν δεν προγραμματιστεί η συντήρησή τους.

Οι φθορές διακρίνονται σε:

- Φθορές 'ποσοτικής φύσης' οι οποίες είναι απόρροια ελλিপών ή και ανακριβών στοιχείων αφορούντα κυκλοφοριακά, κλιματολογικά και περιβαλλοντικά δεδομένα.

- Φθορές 'ποιοτικής φύσης' οι οποίες είναι συνέπεια κατασκευαστικών αποκλίσεων από την αρχική μελέτη. Εντοπίζονται σε χρήση υλικών κατώτερης ποιότητας ή ελλιπούς διαδικασίας κατασκευής.
- Φθορές 'τυχαίας φύσης' οι οποίες εντοπίζονται σε τυχαία γεγονότα ή σε ακραία χρήση των δρόμων. Σεισμοί ή κατολισθήσεις λόγω σεισμών, όπως επίσης χρήση από γεωργικά ή άλλου είδους μηχανήματα που προκαλούν αθέλητες ζημιές.

3.1.1 ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΗ ΦΘΟΡΩΝ

Για τη σωστή αντιμετώπιση του προβλήματος συντήρησης του οδικού δικτύου είναι απαραίτητο να είναι γνωστά τα κύρια χαρακτηριστικά της οδού, η ακριβής εξέλιξη των υπαρχουσών φθορών του οδοστρώματος και τα σημεία τα οποία προαναγγέλλουν τη δημιουργία νέων φθορών.

Ο προγραμματισμός της συντήρησης των φθορών απαιτεί πληροφορίες μεγάλης ακρίβειας, οι οποίες πρέπει να παρέχονται από έμπειρους μηχανικούς με θεωρητική και πρακτική κατάρτιση σε αυτό το θέμα. Από στοιχεία που συγκεντρώνονται συμπληρώνεται το 'Μητρώο οδών' και ακολουθεί βάσει αυτού η μελέτη σύνταξης του προγράμματος συντήρησης.

Όταν δεν υπάρχει Μητρώο οδών για να προγραμματιστεί συντονισμένα η συντήρηση ολόκληρου του οδικού δικτύου, χωρίζεται το δίκτυο σε τμήματα, επισημαίνονται και καταγράφονται οι φθορές κάθε τμήματος χωριστά, κατόπιν κατατάσσονται με φθίνουσα σειρά σπουδαιότητας και προγραμματίζεται η συντήρησή τους ανεξάρτητα από τα άλλα τμήματα.

Η επισήμανση και η καταγραφή των φθορών είναι σημαντική διότι:

- εντοπίζονται οι υπάρχουσες φθορές
- οι θέσεις που προαναγγέλλουν τη δημιουργία νέων φθορών
- οδηγεί σε σωστό προγραμματισμό της συντήρησης του τμήματος του οδικού δικτύου

Η εκτίμηση των φθορών γίνεται με:

- οπτική εκτίμηση της κατάστασης του οδοστρώματος:

A) άμεση οπτική εκτίμηση

B) φωτογραφική εκτίμηση

- Εκτίμηση της κατάστασης του οδοστρώματος με συσκευές:

Τα στοιχεία που παίρνονται από τις δύο αυτές μεθόδους εκτίμησης των φθορών μεταξύ τους, προσδιορίζουν με περισσότερη ακρίβεια την κατάσταση της επιφάνειας του οδοστρώματος. Όσο περισσότερο σαφής είναι η κατάσταση της επιφάνειας του οδοστρώματος τόσο καλύτερα προγραμματίζεται η συντήρηση.

3.1.2 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΦΘΟΡΩΝ

Οι φθορές του σώματος του οδοστρώματος εξελίσσονται:

-Προοδευτικά σε μεγάλο χρονικό διάστημα: αυτού του είδους οι φθορές είναι η ολισθηρότητα, οι ρωγμές και οι αυλακώσεις, των οποίων η εξέλιξη παρακολουθείται σε σχέση με το χρόνο. Προγραμματίζεται έγκαιρα η συντήρηση αυτών, ώστε να εμποδιστεί η επέκτασή τους σε σημαντικότερες φθορές, κρίσιμες για το οδόστρωμα, οι οποίες μειώνουν την ασφάλεια και την άνεση των χρηστών του δρόμου.

-Γρήγορα, ξαφνικά, σε ελάχιστο χρονικό διάστημα: τέτοιες φθορές είναι οι μεγάλες λακκούβες, οι διογκώσεις και οι καθιζήσεις, των οποίων η εξέλιξη δεν παρακολουθείται, λόγω της έλλειψης χρονικού περιθωρίου, διότι μειώνουν την ασφάλεια και την άνεση των χρηστών της οδού. Προγραμματίζεται σύντομα η συντήρησή τους διότι βάζουν σε κίνδυνο το οδόστρωμα.

Οι μετρήσεις των χαρακτηριστικών του οδοστρώματος, όπως η αντισθηρότητα, η ομαλότητα κτλ. παρέχουν τη δυνατότητα προσδιορισμού της κατάστασης του οδοστρώματος βάσει συγκεκριμένων μεγεθών και ταυτόχρονα παρέχουν ενδείξεις για την εμφάνιση φθορών στην επιφάνεια του.

Ο ακριβής προσδιορισμός των επιφανειακών φθορών γίνεται έπειτα από επί τόπου επιθεωρήσεις από εξειδικευμένο προσωπικό, που έχουν ως στόχο την εξασφάλιση πραγματικών δεδομένων για την κατάσταση του οδοστρώματος με σκοπό την βέλτιστη συντήρησή του.

Βοηθητικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτοματοποιημένο σύστημα αποτύπωσης και καταγραφής των επιφανειακών φθορών του οδοστρώματος που στηρίζεται στη τεχνολογία της βιντεοσκόπησης (Video-car) με δυνατότητα αποθήκευσης των δεδομένων.

Οι επιθεωρήσεις για τον εντοπισμό επιφανειακών φθορών γίνονται σε συγκεκριμένα τμήματα του αυτοκινητόδρομου, όταν οι μετρήσεις των χαρακτηριστικών του οδοστρώματος εντοπίζουν την ανάγκη περαιτέρω διερεύνησης. Οι επιθεωρήσεις αυτές δεν συνδέονται με τις επιθεωρήσεις του οδοστρώματος, που γίνονται στα πλαίσια της στοιχειώδους συντήρησης.

Όλες οι φθορές που εμφανίζονται στα εύκαμπτα οδοστρώματα μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι ρηγματώσεις, στη δεύτερη οι παραμορφώσεις παντός είδους, στην τρίτη οι αποσαθρώσεις και στην τέταρτη η λείανση της επιφάνειας κύλισης.

Αναλυτική περιγραφή όλων των αναπτυσσόμενων φθορών μαζί με τα πιθανά αίτια που τις προκαλούν καθώς και των προτεινόμενων τρόπων συντήρησης – θεραπείας αυτών δίνεται παρακάτω. Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να τονισθεί το γεγονός ότι, για τον καθορισμό της καταλληλότερης συντήρησης των φθορών θα πρέπει πρώτα να καθορίζεται επακριβώς η κύρια αιτία που προκάλεσε τη φθορά.

3.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΘΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

3.2.1 ΡΗΓΜΑΤΩΣΕΙΣ

3.2.1.1 ΡΗΓΜΑΤΩΣΕΙΣ (CRACKING)

Οι μορφές των επιφανειακών ρηγματώσεων του οδοστρώματος ποικίλλουν και οφείλονται σε διάφορες αιτίες. Σε πολλές περιπτώσεις η έγκαιρη απλή σφράγιση της ρωγμής ή των ρωγμών είναι η σωστότερη και αποτελεσματικότερη συντήρηση. Σε άλλες περιπτώσεις όμως, είναι αναγκαία η πλήρης εξυγίανση της περιοχής που προσβλήθηκε.

3.2.1.2 ΡΩΓΜΕΣ ΤΥΠΟΥ ΑΛΙΓΑΤΟΡΑ (ALIGATOR CRACKS) Ή ΡΩΓΜΕΣ ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗΣ (SHRINKAGE CRACKS)

Οι ρωγμές τύπου αλιγάτορα έχουν συνήθως ακανόνιστη μορφή. Είναι διακλαδιζόμενες και αλληλοσυνδεόμενες ρωγμές που σχηματίζουν πολυγωνικά κομμάτια (μπλοκ) με οξείες γωνίες όμοια με αυτά του δέρματος του αλιγάτορα. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα κομμάτια αυτά δίνουν την εντύπωση ότι είναι σχεδόν έτοιμα να αποκολληθούν.

Τα αίτια που προκαλούν τις ρηγματώσεις αυτές τις περισσότερες φορές, είναι το μεγάλο βέλος κάμψης που αναπτύσσεται στις ασφαλτικές στρώσεις του οδοστρώματος λόγω μειωμένης φέρουσας ικανότητας του υπεδάφους ή και της υπόβασης / βάσης. Η μείωση προέρχεται από τη μείωση της φέρουσας ικανότητας των στρώσεων αυτών λόγω εποχιακής αύξησης της υγρασίας στις στρώσεις αυτές ή λόγω κακής αποστράγγισης της βάσης και υπόβασης. Οι ρωγμές στην περίπτωση αυτή συνήθως εμφανίζονται τοπικά και σε περιορισμένη έκταση. Όταν οι ρωγμές τύπου αλιγάτορα εμφανίζονται σε μεγάλη έκταση κατά μήκος του δρόμου, η αιτία εμφάνισής τους είναι διαφορετική. Στην προκειμένη περίπτωση η αιτία (-ες) που προκάλεσε τη φθορά αυτή είναι η πλήρης κόπωση του οδοστρώματος λόγω των επαναλαμβανόμενων φορτίσεων του οδοστρώματος από τον κυκλοφοριακό φόρτο, σε συνδυασμό πιθανότατα και με την ύπαρξη ασθενούς υπεδάφους ή μειωμένου πάχους υποκείμενων στρώσεων. Το τελευταίο θα πρέπει πάντοτε να ελέγχεται και να καθορίζεται.



Εικόνα 3.1 Ρωγμές τύπου αλιγάτορα

3.2.1.3 ΡΩΓΜΕΣ ΣΤΑ ΑΚΡΑ ΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ (EDGE CRACKS)

Οι ρωγμές αυτές είναι συνήθως επιμήκεις και εμφανίζονται περίπου 30-50 cm από τα άκρα του οδοστρώματος μετά ή άνευ εγκαρσίων ρωγμών.

Οφείλονται κυρίως στην ανεπαρκή υποστήριξη του οδοστρώματος λόγω ενός ή περισσότερων από τους παρακάτω λόγους: κακή συμπύκνωση, κακή αποστράγγιση, δράση παγετού, συρρίκνωση λόγω ξηρασίας του εδάφους της περιοχής ή λόγω μειωμένου πάχους των στρώσεων στα σημεία αυτά.



Εικόνα 3.2 Ρηγμάτωση στο άκρο του δρόμου

3.2.1.4 ΡΩΓΜΕΣ ΜΕΤΑΞΥ ΛΩΡΙΔΩΝ ΔΙΑΣΤΡΩΣΗΣ Ή ΔΙΑΠΛΑΤΥΝΣΗΣ (LANE AND WIDENING CRACKS)

Οι ρωγμές αυτές εμφανίζονται μεταξύ των λωρίδων διάστρωσης ή της διαπλάτυνσης και είναι πάντοτε διαμήκεις (πλην της περίπτωσης διακοπής των εργασιών).

Οφείλονται αποκλειστικά και μόνο σε κακοτεχνία κατά τη διάρκεια της κατασκευής, όπως: διάστρωση τάπητα με μειωμένη ποσότητα ασφαλτομίγματος στη ραφή, κακή ή ανεπαρκή συγκόλληση της κάθετης επιφάνειας της προηγούμενης λωρίδας διάστρωσης και πτώση της θερμοκρασίας κατά την εκτέλεση των εργασιών. Στην ειδική περίπτωση, που η ρωγμή εμφανίζεται πάνω στο σημείο που έγινε διαπλάτυνση της οδού, το αίτιο πιθανόν να είναι η κακή συμπύκνωση των υποκείμενων νέων στρώσεων. Πλην όμως, στις περιπτώσεις αυτές θα υπάρχει, κατά πάσα πιθανότητα, εμφάνιση και άλλης μορφής αστοχίας του οδοστρώματος (κυρίως καθίζηση).



Εικόνα 3.3 Διαμήκεις ρωγμές

Διαμήκεις ρωγμές

Περιγραφή: διαμήκεις ρηγματώσεις κατά μήκος της οδού, που εμφανίζονται κοντά στον άξονα της οδού ή στα άκρα του οδοστρώματος.

Πιθανά αίτια: κακοτεχνία στην συναρμογή των λωρίδων διάστρωσης, κακή αποστράγγιση, μειωμένη αντοχή οδοστρώματος, δράση παγετού, κακή συμπύκνωση κλπ.

Εγκάρσιες ρωγμές

Περιγραφή: ρηγματώσεις κάθετες προς τον άξονα της οδού .

Πιθανά αίτια: περιβαλλοντικές συνθήκες, μειωμένη αντοχή οδοστρώματος, τοπικές αστοχίες κλπ

3.2.1.5 ΡΩΓΜΕΣ ΑΠΟ ΑΝΑΚΛΑΣΗ (REFLECTION CRACKS)

Οι ρωγμές από ανάκλαση εμφανίζονται κατά κανόνα σε πρόσθετες ασφαλτικές στρώσεις (overlays) που διαστρώθηκαν στο παρελθόν για την αποκατάσταση

σοβαρών φθορών του οδοστρώματος. Η μορφή και η κατεύθυνσή τους ποικίλλει από διαμήκης, εγκάρσια, διαγώνια ή και μερικώς διακλαδιζόμενη, ανάλογα με τη μορφή που είχαν οι παλαιές ρωγμές της επισκευασθείσας επιφάνειας. Τυπικές ρωγμές από ανάκλαση είναι αυτές που εμφανίζονται σε ασφαλτικές επιστρώσεις πάνω σε δύσκαμπτα οδοστρώματα, ή οδοστρώματα από βάση με ισχύρο σκυρόδεμα ή ακόμη σε επιστρώσεις που έγιναν απάνω από παλαιά εγκιβωτισμένα ερείσματα ή διαπλατύνσεις.



Εικόνα 3.4 Ρωγμές ανάκλασης

Τα αίτια που προκαλούν αυτού του είδους τις ρωγμές είναι οι κάθετες και οριζόντιες μετακινήσεις του υποκείμενου οδοστρώματος. Οι μετακινήσεις αυτές μπορεί να οφείλονται σε μετακινήσεις του υπεδάφους, ή στη διόγκωση / συρρίκνωση αυτού λόγω ύπαρξης αργιλικών υλικών σε συνδυασμό με την μεταβολή των επιπέδων υγρασίας ή στην κάθετη μετακίνηση των πλακών του δύσκαμπτου οδοστρώματος ή στην κάθετη μετακίνηση των ανεξάρτητων ρηγματωμένων κομματιών της παλαιάς επιφάνειας γενικότερα, ή λόγω της ύπαρξης τσιμέντου ως σταθεροποιητή

3.2.1.6 ΡΩΓΜΕΣ ΑΠΟ ΟΛΙΣΘΗΣΗ ΤΑΠΗΤΩΝ (SLIPPAGE CRACKS)

Η μορφή των ρωγμών από ολίσθηση των ταπήτων έχει σχήμα "μισοφέγγαρου".



Εικόνα 3.5 Ρωγμές από ολίσθηση ταπήτων

Οι ρωγμές αυτές οφείλονται αποκλειστικά και μόνο στην ολίσθηση του τάπητα κυκλοφορίας επί της υποκείμενης στρώσης λόγω κακής συνοχής αυτών. Η κακή συνοχή των ταπήτων οφείλεται στην απουσία συγκολλητικής επάλειψης ή την ανεπαρκή και κακή συγκολλητική επάλειψη, ή την ύπαρξη μεταξύ των στρώσεων χωμάτων (κυρίως αργιλικών) ή λαδιών αυτοκινήτων ή ύδατος. Οι ρωγμές αυτής της μορφής μπορεί να οφείλονται επίσης, ελάχιστες όμως φορές στη μεγάλη περιεκτικότητα του ασφαλτομίγματος σε λεπτόκοκκα αδρανή ή ακόμη και στην κακή συμπύκνωση της υπερκείμενης στρώσης.

3.2.1.7 ΡΩΓΜΕΣ ΣΤΗΝ ΤΡΟΧΙΑ ΤΩΝ ΤΡΟΧΩΝ (WHEEL PATH CRACKS)

Οι ρωγμές αυτές, που εμφανίζονται στην τροχιά των τροχών είναι πάντοτε διαμήκεις.



Εικόνα 3.6 Ρωγμές σχετικές με το φορτίο, στην πορεία των τροχών

Οφείλονται αποκλειστικά και μόνο στην τοπική θραύση του οδοστρώματος. Η θραύση οφείλεται στη μειωμένη φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους (εποχιακή ή μη) σε συνδυασμό με τα μεγάλα αξονικά φορτία που επιβάλλονται και το μειωμένο πάχος των ασφαλτικών στρώσεων και της βάσεως (περίπτωση υπό-διαστασιολόγησης του οδοστρώματος). Πλην όμως, η εμφάνιση ρωγμών στην τροχιά των τροχών μπορεί να οφείλεται και στην κόπωση των ασφαλτομιγμάτων (σύνηθες φαινόμενο). Συνεπώς, απαιτείται η συστηματική διερεύνηση των αιτιών και η λήψη των κατάλληλων μέτρων προς αποφυγή περαιτέρω επιδείνωσης.

3.2.1.8 ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΕΣ ΡΗΓΜΑΤΩΣΕΙΣ ΚΟΠΩΣΗΣ (WHEEL TRACK CRACKING)

Λεπτές ρωγμές επιμήκεις, παράλληλες προς τον άξονα του δρόμου, που εμφανίζονται πάνω ή κοντά στα ίχνη των τροχών των οχημάτων.



Εικόνα 3.7 Ρηγματώσεις κατά την κατεύθυνση κυκλοφορίας

Αίτια

- Κόπωση του οδοστρώματος.
- Ανεπαρκής φέρουσα ικανότητα του οδοστρώματος ή του εδάφους κυκλοφορίας.
- Υποχώρηση της στρώσης κυκλοφορίας κάτω από την επίδραση βαριάς κυκλοφορίας (κυρίως την άνοιξη).

Εξέλιξη

- Το μήκος τους μεταβάλλεται από μερικά εκατοστά μέχρι μερικές δεκάδες μέτρα.

- Εξελίσσονται σε ρηγμάτωση τύπου αλιγάτορα.

3.2.2 ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ

3.2.2.1 ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ (ΣΤΡΕΒΛΩΣΕΙΣ) ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (SURFACE DISTORTION)

Οι παραμορφώσεις ή στρεβλώσεις της επιφάνειας του οδοστρώματος είναι, σε γενικές γραμμές, οι φθορές εκείνες που χαρακτηρίζουν το οδόστρωμα ως μη επίπεδο.

Η εμφάνιση επιφανειακών παραμορφώσεων αυξάνει την επικινδυνότητα της οδού δεδομένου ότι, αναλόγως της ταχύτητας του οχήματος, χάνεται ή μειώνεται η επαφή του ελαστικού με το οδόστρωμα. Επιπροσθέτως, επιφέρουν σημαντική μείωση της άνεσης κατά την οδήγηση. Οι παραμορφώσεις μπορεί να συνοδεύονται και από ρηγματώσεις γεγονός που επιδεινώνει ακόμη περισσότερο την κατάσταση, κυρίως ως προς τη δομική λειτουργία του οδοστρώματος.

Οι παραμορφώσεις της επιφάνειας του οδοστρώματος μπορεί να οφείλονται σε έναν ή περισσότερους από τους παρακάτω λόγους:

1. στην ελαστοπλαστική συμπεριφορά του ασφαλτομίγματος
2. στη χαμηλή ευστάθεια των ασφαλτομιγμάτων
3. στη μη καλή συμπύκνωση όλων των στρώσεων
4. στην καθίζηση του υπεδάφους.

Για την αποτελεσματικότερη συντήρηση των παραμορφώσεων, είναι αναγκαίο να διερευνηθούν επακριβώς τα αίτια.

Γενικά, η συντήρηση των παραμορφώσεων μπορεί να συνίσταται από απλή πλήρωση αυτών με θερμό ή ψυχρό ασφαλτόμιγμα έως την πλήρη απομάκρυνση της προσβληθείσης περιοχής και την αντικατάστασή της με νέα υλικά.

3.2.2.2 ΤΟΠΙΚΑ ΒΥΘΙΣΜΑΤΑ (DEPRESSIONS/BIRD PATH-DEPRESSION)

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 την επιταχυνόμενη φθορά του οδοστρώματος και τη δημιουργία κινδύνου στην κυκλοφορία των οχημάτων (υδρολίσθηση, παγετός)

Πιθανά αίτια

- Ελλιπής συνάφεια ασφατικού σκυροδέματος και βάσης του οδοστρώματος.
- Τοπική απώλεια συνοχής της στρώσης της βάσης (κακή ποιότητα υλικών, ανεπαρκές πάχος).
- Χαμηλή αντοχή υπεδάφους.

Εξέλιξη

- Εξελίσσεται σε ρηγμάτωση τύπου αλιγάτορα και στη συνέχεια σε λάκκο με απόσπαση υλικών.

3.2.2.3 ΚΑΘΙΖΗΣΗ (SUBSIDENCE-AFAISSEMENT)

Υποχώρηση ορατή και αρκετά εκτεταμένη είτε κοντά στο έρεισμα, είτε στη μέση της οδού.

Πιθανά αίτια

- Ανεπαρκές πάχος οδοστρώματος τοπικά.
- Ανάμιξη των υλικών των στρώσεων του οδοστρώματος με αργιλικές γαίες.
- Τοπική κακοτεχνία.
- Κακή αποστράγγιση.

Εξέλιξη

- Ακολουθούν σύντομα και άλλες βλάβες (τοπικές ανυψώσεις, ρωγμές τύποι αλιγάτορα κλπ).

3.2.2.4 ΔΙΟΓΚΩΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ (SHOVING ALONG-BOURRELET LONGITUDINAL)

Ανύψωση ασφατικού υλικού κατά την κατεύθυνση της κυκλοφορίας που συνοδεύεται από παραμόρφωση του τύπου Π1 ή Π2 (ίχνη τροχών) ή από άλλη παραμόρφωση του οδοστρώματος και συνήθως συνοδεύονται από θραύση του οδοστρώματος στην ανυψωμένη περιοχή.



Εικόνα 3.8 Τοπική διόγκωση

Πιθανά αίτια

- Καθίζηση των κατώτερων στρώσεων του οδοστρώματος
- Κακή συμπύκνωση κατά την κατασκευή.
- Τοπική κακοτεχνία του οδοστρώματος (ανεπαρκές πάχος, μόλυνση υλικού κλπ).
- Παγοπληξία της υποδομής ή των κατωτέρων στρώσεων του οδοστρώματος.
- Δυνατόν επίσης να προέρχεται από διαστολή, λόγω υγρασίας, διογκούμενων εδαφών.

Εξέλιξη

- Εξελίσσεται σε ‘μπακλαβάδιασμα’ των παραμορφώσεων, αύξηση του βάθους των ιχνών ή των τοπικών καθιζήσεων κλπ.

3.2.2.5 ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΚΥΜΑΤΟΕΙΔΟΥΣ ΜΟΡΦΗΣ (ΠΤΥΧΩΣΕΙΣ Ή ΡΥΤΙΔΩΣΕΙΣ) (CORRUGATIONS) Ή ΕΓΚΑΡΣΕΙΣ ΠΤΥΧΩΣΕΙΣ (SHOVING-BOURRELET)

Οι ρυτιδώσεις ή πτυχώσεις, είναι μια μορφή πλαστικής μετατόπισης που έχει ως αποτέλεσμα την τοπική εξόγκωση της επιφάνειας, υπό την μορφή κυματώσεων. Στην ειδική περίπτωση που η πλαστική μετατόπιση είναι τοπική, το φαινόμενο ονομάζεται "απόθηση" (shoving).

Οι εγκάρσιες πτυχώσεις είναι οριζόντιες μετακινήσεις των υλικών της επιφανειακής στρώσης, κυρίως προς την κατεύθυνση της κυκλοφορίας. Οι ρυτιδώσεις ή απωθήσεις εμφανίζονται, συνήθως σε περιοχές όπου αναπτύσσονται υψηλές διατμητικές τάσεις, όπως σε περιοχές πέδησης σε σημεία της οδού όπου η κυκλοφορία σταματά για μικρό χρονικό διάστημα (στάσεις λεωφορείων, διασταυρώσεις, σταθμούς διοδίων κλπ), ή σε ανωφέρειες

και κατωφέρειες και δεν συνοδεύονται από ρηγματώσεις, εκτός ορισμένων περιπτώσεων απωθήσεων. Οι ρυτιδώσεις αναπτύσσονται σε όλη την επιφάνεια του οδοστρώματος είναι όμως, περισσότερο έντονες στην κύρια λωρίδα της κυκλοφορίας.

Πιθανά αίτια

- Ανεπαρκής ευστάθεια του ασφαλτομίγματος της στρώσης κυκλοφορίας (αυξημένο ποσοστό ασφάλτου, μαλακή άσφαλτος, μεγάλο ποσοστό λεπτόκοκκων αδρανών, στρογγυλεμένα αδρανή κλπ).
- Ρύπανση της στρώσης κυκλοφορίας από ορυκτέλαια.
- Κακή εξάτμιση των πτητικών του ασφαλτικού διαλύματος στο ασφαλτόμιγμα.
- Κακή σύνδεση μεταξύ της επιφανειακής ασφαλτικής στρώσης και της υποκείμενης στρώσης του οδοστρώματος (κακότεχνη συγκολλητική επάλειψη).

Εξέλιξη

- Αύξηση του ύψους της πτύχωσης, ρηγμάτωσης του ασφαλτικού στα σημεία των σημαντικότερων ανυψώσεων.

3.2.2.6 ΑΥΛΑΚΩΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΤΡΟΧΙΕΣ ΤΩΝ ΤΡΟΧΩΝ (CHANNEL OR RUTS) Ή ΙΧΝΗ ΤΡΟΧΩΝ ΜΙΚΡΟΥ ΕΥΡΟΥΣ (RUTTING ORNIERAGE)

Οι αυλακώσεις αυτές είναι καναλοποιημένες καθιζήσεις κατά μήκος των ιχνών των τροχών. Η παραμόρφωση αυτή αφορά συνήθως την στρώση κυκλοφορίας και εκτείνεται σε μεγάλα μήκη. Εμφανίζονται κυρίως στην ακραία (δεξιά) λωρίδα κυκλοφορίας του αυτοκινητόδρομου.



Εικόνα 3.9 Αυλακώσεις στις τροχιές των τροχών

Αίτια

- Κακή συμπύκνωση των ασφαλικών στρώσεων κατά την κατασκευή.
- Ολίσθηση μιας ή περισσότερων στρώσεων του οδοστρώματος κυκλοφορίας που έχει συμπυκνωθεί υπερβολικά, κάτω από την επίδραση των φορτίων της κυκλοφορίας, ή περιέχει πολύ άσφαλτο.
- Κακή σύνθεση του ασφαλτομίγματος.
- Ανεπαρκής πλευρική στήριξη του οδοστρώματος από τα ερείσματα.
- Υψηλές θερμοκρασίες.
- Σημαντικές κυκλοφοριακές επιπονήσεις (βαριά κυκλοφορία, περιοχές διοδίων, σηματοδοτών)σε περιόδους με μεγάλες θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

Εξέλιξη

- Συνοδεύεται από εξίδρωση (ανάδυση ασφάλτου).
- Δημιουργία τοπικών ανυψώσεων.

3.2.3 ΑΠΟΣΥΝΘΕΣΕΙΣ

3.2.3.1 ΑΠΟΣΥΝΘΕΣΗ

Αποσύνθεση είναι η θρυμματίση του οδοστρώματος σε μικρά ασύνδετα κομμάτια. Σε αυτήν περιλαμβάνεται και η αποκόλληση των αδρανών από την επιφάνεια του οδοστρώματος. Εάν η αποσύνθεση, όπως ορίστηκε παραπάνω, δεν αποκατασταθεί έγκαιρα, είναι σίγουρο ότι θα οδηγήσει πολύ σύντομα σε κατάσταση όπου θα απαιτείται αντικατάσταση του οδοστρώματος. Οι κυριότερες μορφές αποσύνθεσης σε αρχικό στάδιο είναι η αποκόλληση αδρανών (ravelling) και οι λακκούβες (potholes).

3.2.3.2 ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗ ΑΔΡΑΝΩΝ ΑΠΟ ΑΣΦΑΛΤΟΤΑΠΗΤΕΣ (RAVELING DESTINEGRATION)

Η αποκόλληση αδρανών από την επιφάνεια του οδοστρώματος είναι το γνωστό 'ψώριασμα' ή απογύμνωση της επιφάνειας, που αρχίζει, συνήθως, από την άκρη του οδοστρώματος και διαδίδεται προς το κέντρο. Η αποκόλληση των αδρανών γίνεται προοδευτικά. Πρώτα αποκολλώνται τα λεπτόκοκκα αδρανή και κατόπιν τα χονδρόκοκκα. Στα πρώτα στάδια, η επιφάνεια παρουσιάζει μια σχετική τραχύτητα και κατόπιν μικρές 'φωλιές' οι οποίες αρχίζουν να πυκνώνουν και να μεγαλώνουν, δημιουργώντας έτσι σε πολλές περιπτώσεις λακκούβες.



Εικόνα 3.10 Αποκόλληση αδρανών- απώλεια υλικού επιφάνειας

Πιθανά αίτια

- Ανεπαρκής συμπύκνωση της στρώσης.
- Κατασκευή του τάπητα με κακές καιρικές συνθήκες (βροχές, χαμηλές θερμοκρασίες κλπ).
- Χρησιμοποίηση μη καθαρών αδρανών ή αδρανών που συντρίβονται με την πάροδο του χρόνου (π.χ. ψαμμιτικά αδρανή).
- Μικρή περιεκτικότητα ασφάλτου στο ασφαλτόμιγμα ή υπερθέρμανσή του.

Εξέλιξη

Με την πάροδο του χρόνου αυξάνεται η διαπερατότητα της ασφαλτικής στρώσης, δεν συγκρατούνται πλέον τα αδρανή τα οποία αποκολλούνται, με συνέπεια την αποσύνθεση της επιφάνειας του οδοστρώματος και τη δημιουργία λάκκων.

3.2.3.3 ΑΠΟΓΥΜΝΩΣΗ ΑΔΡΑΝΩΝ (PROTRUSION AGGREGATES)

Απώλεια λεπτόκοκκων αδρανών και ασφαλτικού υλικού γύρω από τα αδρανή μιας στρώσης κυκλοφορίας

Πιθανά αίτια

- Ανεπαρκής συνάφεια συνδετικού υλικού, αδρανών.
- Κατασκευή τάπητα με κακές καιρικές συνθήκες.
- Συγκέντρωση νερών στο οδόστρωμα.

Εξέλιξη

Αύξηση της διαπερατότητας του ασφαλτομίγματος με σύγχρονη απώλεια σκύρων που δεν συγκρατούνται μετά την απογύμνωσή τους. Πρέπει να επισκευάζεται αμέσως χρησιμοποιώντας ασφαλική επάλειψη.

3.2.3.4 ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΤΑ ΠΛΑΚΕΣ (PEELING)

Αποκόλληση της στρώσης κυκλοφορίας κατά πλάκες.

Πιθανά αίτια

- Μικρό πάχος της στρώσης κυκλοφορίας.
- Κακή συγκόλληση της στρώσης κυκλοφορίας με την υποκείμενη στρώση (π.χ. απουσία συγκολλητικής).



Εικόνα 3.11 Αποκόλληση κατά πλάκες

Εξέλιξη

Επέκταση σε αριθμό και έκταση των τμημάτων που έχουν υποστεί την υπόψη βλάβη.

3.2.3.5 ΛΑΚΚΟΙ (ΦΩΛΙΕΣ) (POTHOLES)

Είναι τρύπες διαφόρων μεγεθών στο οδόστρωμα σε σχήμα μικρής λεκάνης. Προέρχονται από τοπική αποσύνθεση του οδοστρώματος, λόγω της ανεπαρκούς αντοχής του ασφαλτικού τάπητα.



Εικόνα 3.12 Λακκούβες στο οδόστρωμα

Πιθανά αίτια

- Ανεπαρκής αντοχή του οδοστρώματος (μειωμένο πάχος ασφαλτικής στρώσης, μικρή περιεκτικότητα σε άσφαλτο, έλλειψη ή υπερβολική ποσότητα παιπάλης).
- Έλλειψη συνδετικού υλικού στο ασφαλτόμιγμα.
- Ανεπαρκής αποστράγγιση της οδού.
- Εξέλιξη άλλων φθορών (ρωγμές τύπου αλιγάτορα, καθίζηση κ.ά.).

Εξέλιξη

Διεύρυνση του λάκκου, αποσύνθεση οδοστρώματος σε μεγάλη έκταση.

3.3 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΦΘΟΡΩΝ

Υπάρχουν μερικοί πολύ καλοί τρόποι για έγκαιρη ανίχνευση των φθορών του οδοστρώματος.

- Ρηγματώσεις (Cracking)

Επικαλύψεις, μικρές επιφάνειες και σφραγιστικές επιστρώσεις μπορεί να αρχίσουν να ρηγματώνονται σε λιγότερο από ένα ή δύο χρόνια.



Εικόνα 3.13 Ρωγμές στο οδόστρωμα

- Κηλίδες νερού (Wet spots)

Ένας από τους καλύτερους τρόπους ανίχνευσης προβλημάτων σε οδοστρώματα ACP είναι η παρακολούθηση του δρόμου μετά από βροχή ή βαρύ δρόσο. Οι περιοχές οι οποίες έχουν μεγάλα κενά αέρα (λιγότερο πυκνές) θα συγκρατήσουν νερό και θα είναι οι τελευταίες που θα στεγνώσουν. Αυτές είναι και οι περιοχές που θα ξεκινήσουν να αποκολλούνται και ενδεχομένως να σχηματιστούν μορφές “μπαλωμάτων” στο οδόστρωμα.



Εικόνα 3.14 Κηλίδες νερού στο οδόστρωμα

- Ρωγμές τύπου αλιγάτορα (Alligator Cracking)

Μια περιοχή με ρωγμές τύπου αλιγάτορα είναι συνήθως μια ένδειξη αστοχίας της βάσης ή της υπόβασης. Συνηθέστερα προκαλείται επειδή ρηγματώθηκε το οδόστρωμα και επέτρεψε στο νερό να εισέλθει στη βάση.

- Άντληση (Pumping)

Η άντληση είναι μια ένδειξη ότι το νερό παραμένει στη βάση απομακρύνεται από το οδόστρωμα λόγω των οχημάτων, εξαναγκάζοντας έτσι τα λεπτόκοκκα υλικά να “ανέβουν” στο οδόστρωμα “φουσκώνοντας” το. Και πάλι η έγκαιρη ανίχνευση και προληπτική συντήρηση μπορεί να αναστείλει περαιτέρω επιδείνωση.



Εικόνα 3.15 Άντληση

- Προβλήματα στην άκρη του οδοστρώματος (Edge Problems)

Προβλήματα με αποκολλημένες άκρες, αστοχίες στις άκρες του οδοστρώματος ή ακόμα αστοχίες των αυτοκινητόδρομων προκαλούν μετακινήσεις στο εσωτερικό του οδοστρώματος. Κάτι τέτοιο είναι συχνό στην ελαστική βάση και προκαλεί πρόωρες αστοχίες.



Εικόνα 3.16 Πρόβλημα στην άκρη οδοστρώματος

- Χορτάρι στο οδόστρωμα (Grass in pavement)

Η ανάπτυξη χορταριού στο οδόστρωμα είναι μια καλή ένδειξη προβλήματος. Προφανώς συμβαίνει εκεί όπου υπάρχουν ρωγμές και επιτρέπεται στο χόρτο να αναπτυχθεί. Αυτό οδηγεί στο να εισέλθει πρόσθετο νερό στη βάση, οι ρίζες των χόρτων επεκτείνουν τις ρωγμές και αναπόφευκτα καταστρέφουν εντελώς το οδόστρωμα.



Εικόνα 3.17 Ανάπτυξη χορταριού ανάμεσα στο οδόστρωμα

3.4 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ

Είναι προφανές ότι συμφέρει περισσότερο να αποτραπεί μια φθορά στο οδόστρωμα από το να επιτραπεί η επιδείνωσή της και στη συνέχεια η πλήρης αποκατάστασή της. Τι μπορεί να γίνει για να επιβραδυνθεί η διαδικασία γήρανσης? Είναι γνωστό ότι υπεύθυνοι για τη γήρανση της ασφάλτου είναι κατά κύριο λόγο το υπεριώδες φως (ακτινοβολίες) και η θερμότητα. Και οι δύο αυτοί παράγοντες προκαλούν πτητικότητα (εξάτμιση) της ασφάλτου με αποτέλεσμα αυτή να "ψηθεί".

Καθώς το οδόστρωμα γερνάει και ξεκινά να ξεφτίζει ή να σπάει είναι επιτακτική ανάγκη η εκτέλεση προληπτικής συντήρησης. Όσο το δυνατόν συντομότερα. Για να αποτραπεί η βλάβη στο οδόστρωμα είναι επιθυμητό να φυλάσσεται σε δροσερό, ξηρό και σκοτεινό σημείο. Δεδομένο ότι κάτι τέτοιο δεν είναι δυνατό, είναι επιθυμητό να γίνει προσπάθεια να μειωθούν οι αιτίες επιδείνωσης της φθοράς. Αυτό δεν είναι πάντα εφικτό. Οι δρόμοι έχουν ως σκοπό τους την εξυπηρέτηση- διευκόλυνση του κοινού, ως εκ τούτου δεν είναι εφικτό να απομακρύνουμε από το οδόστρωμα τα φορτία (οχήματα) για όσο χρονικό διάστημα χρειάζεται για τη συντήρηση- επισκευή του οδοστρώματος.

- Αποστράγγιση (Drainage)

Το επόμενο βήμα είναι να διατηρείται το οδόστρωμα όσο το δυνατόν πιο στεγνό. Η αποστράγγιση είναι κρίσιμης σημασίας. Είναι επιτακτική ανάγκη οι τάφροι (χαντάκια) να διατηρούνται καθαρές και να επιτρέπουν στο νερό να παροχετεύεται μακριά από το οδόστρωμα. Είναι επίσης επιθυμητό να αποτρέπεται στο νερό να εισέρχεται στο οδόστρωμα μέσω της επιφάνειας.

Ακόμη να αποκόβονται οι υψηλές άκρες των οδοστρωμάτων ώστε να είναι βέβαιο ότι δεν θα παραμείνει νερό πάνω σε αυτό.



Εικόνα 3.18 «Φτωχή» αποστράγγιση

- Μεμβράνες στεγάνωσης (Fog Seals)

Καθώς τα οδοστρώματα στεγνώνουν η μεμβράνη στεγάνωσης είναι ένα καλό εργαλείο που επαναφέρει την πτητικότητα στο οδόστρωμα. Αυτό είναι ιδιαίτερα καλό εάν το οδόστρωμα είναι ένα ιδιαίτερα ανοιχτό διαβαθμισμένο μείγμα (το φως UV γεράζει το οδόστρωμα ταχύτατα), και ως εκ τούτου αρχίζει να "ξεφτίζει" ή το σύνολο του σφραγιστικού επιστρώματος αρχίζει να χάνεται.

- Κηλίδες/ Λωρίδες σφράγισης (Spots/Strip Seals)

Οι σφραγιστικές επιστρώσεις είναι το καλύτερο εργαλείο για την πρόληψη ή ανάπαυση των φθορών του οδοστρώματος. Όπως υποδηλώνει και το όνομα, μια σφραγιστική επίστρωση "σφραγίζει" το οδόστρωμα. Όπως τοποθετείται μια νέα σκεπή σε ένα σπίτι, έτσι και οι σφραγιστικές επιστρώσεις πληρώνουν τα κενά και τις ρωγμές, κρατώντας το νερό μακριά από την κατασκευή (οδόστρωμα). Επίσης δημιουργούν ένα εξαιρετικό στήριγμα της επιφάνειας ώστε να ανταπεξέλθει στην κίνηση των οχημάτων. Τέλος είναι καλές για σφράγιση ρωγμών μέχρι 1/8". Οποιαδήποτε ρωγμή άνω του 1/8" θα πρέπει να σφραγίζεται.

- Σφράγιση ρωγμής (Crack Seals)

Ο καλύτερος τρόπος για τον χειρισμό σπασμένου οδοστρώματος είναι να πληρωθεί με σφραγιστικές μεμβράνες όσο νωρίτερα γίνεται από τη στιγμή εντοπισμού της ζημιάς. Αν αυτό είναι αδύνατο ή οι ρωγμές έχουν αυξηθεί υπερβολικά η καλύτερη εναλλακτική λύση είναι η σφράγιση. Η χρήση κρύου γαλακτώματος είναι καλή επιλογή για μικρές ρωγμές ή όπου οι σφραγιστικές επιστρώσεις ή επικαλύψεις θα εκτελεστούν στο μέλλον. Θερμό ριγμένο ελαστικό ασφάλτου είναι καλό για την πλήρωση μεγαλύτερων ρωγμών ή όπου ο δρόμος δε θα ξαναστρωθεί σε λίγα χρόνια.

3.5 ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΕΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ- ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΥΠΕΡΥΘΡΗΣ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

3.5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στην κατασκευή οδοστρωμάτων υπάρχουν διάφορα υλικά που μπορούν να έχουν εφαρμογή. Ιδιαίτερα στην περίπτωση των επιφανειακών επιστρώσεων, τα υλικά αυτά ποικίλουν ανάλογα με την περίπτωση. Έτσι λοιπόν, μπορούν να έχουν εφαρμογή υλικά όπως η άσφαλτος, το σκυρόδεμα, υλικά αντιολισθητικού τάπητα ή και άλλα. Τα οδοστρώματα αεροδρομίων μπορεί να ειπωθεί ότι έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά με τα οδοστρώματα των αυτοκινητοδρόμων. Η φθορά στα οδοστρώματα μπορεί να είναι αποτέλεσμα των διαφόρων καυσίμων και λιπαντικών που βρίσκονται στην επιφάνεια του οδοστρώματος, είτε από τα αεροσκάφη ή από τα αυτοκίνητα. Το οδόστρωμα απορροφά τα υγρά αυτά, που στη συνέχεια επηρεάζουν την σύνθεση του, πολλές φορές με αρνητικό αποτέλεσμα. Συνήθως, το οδόστρωμα θα πρέπει να καθαρίζεται σε τακτά διαστήματα, έτσι ώστε να αποφεύγεται η απορρόφηση τέτοιων ουσιών, που μπορεί να συμβάλλουν στην γρήγορη φθορά του οδοστρώματος.

Το νερό είναι επίσης ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας στη φθορά οδοστρωμάτων. Το νερό συνήθως διεισδύει μέσα από ρωγμές που βρίσκονται στην επιφάνεια του οδοστρώματος ή ακόμα και από τους πόρους που συναντάει κανείς σε τέτοιου είδους κατασκευές. Τέλος, ένας ακόμα βασικός παράγοντας, είναι αυτός της γήρανσης του οδοστρώματος. Ο βαθμός της γήρανσης στα οδοστρώματα, μπορεί να υπολογιστεί από παράγοντες όπως τα υλικά τα οποία αποτελούν την κατασκευή του συγκεκριμένου οδοστρώματος, καθώς και τη δομή των υλικών αυτών και τις εξωτερικές συνθήκες, συνήθως τις καιρικές συνθήκες, που επικρατούν στην περιοχή όπου βρίσκεται το συγκεκριμένο οδόστρωμα.

Μια επιθεώρηση σε ένα οδόστρωμα θα δώσει αποτελέσματα για την κατάσταση της επιφάνειάς του, έτσι ώστε να συντηρηθεί υπό κατάλληλες συνθήκες για τη σωστή και αρμονική λειτουργία του. Η επιθεώρηση οδοστρωμάτων μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση μη καταστρεπτικών τεχνικών, όπως είναι η υπέρυθρη θερμογραφία. Στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, η χρήση της παραπάνω τεχνικής έχει πλήρως αναπτυχθεί και προτυποποιηθεί (πρότυπο D4788-88 της ASTM (82) - American Society for Testing & Materials), έτσι ώστε να πραγματοποιούνται έλεγχοι οδοστρωμάτων αεροδρομίων, αλλά και αυτοκινητόδρομων, ώστε να εξάγονται συμπεράσματα για την κατάσταση της ποιότητας και ασφάλειάς τους.

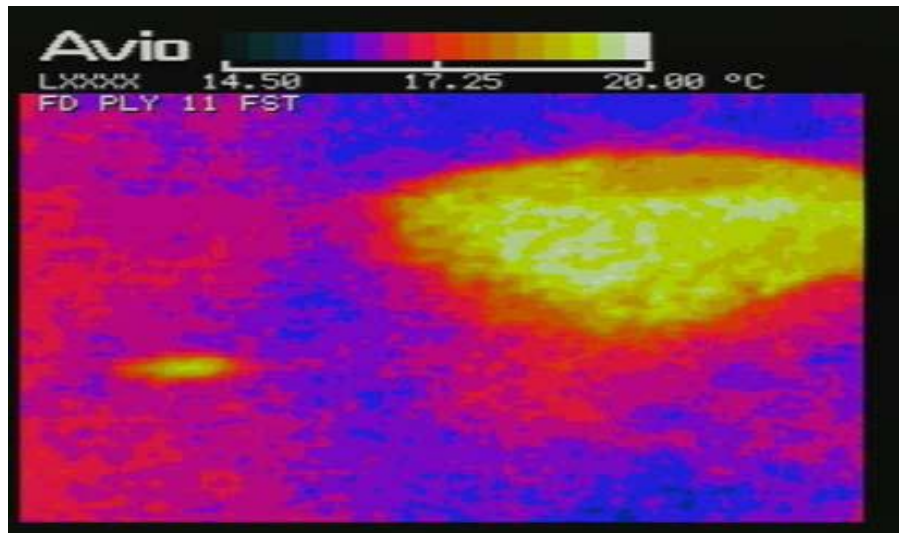
3.5.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΣΕ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ

Υπέρυθρη θερμογραφία υψηλού μήκους κύματος (AVIO TVS 2000 Mk II LW, 8-12 μm), χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο ποιότητας των εξεταζόμενων οδοστρωμάτων αεροδρομίου στον Κρατικό Αερολιμένα Αθηνών. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της ημέρας, κάτω από ήπιες κλιματολογικές συνθήκες, σε διάφορες εποχές του χρόνου. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν και αξιολογήθηκαν σύμφωνα με το πρότυπο D4788 – 88 της ASTM, όπου οι θερμοκρασιακές διαφορές των εξεταζόμενων οδοστρωμάτων που προκύπτουν από το θερμογραφικό έλεγχο πρέπει να είναι τουλάχιστον 0.5°C , έτσι ώστε να εντοπιστούν τα ελαττωματικά σημεία και οι ελαττωματικές περιοχές. Ακόμα, κατά τη διάρκεια της σάρωσης των οδοστρωμάτων, το υπέρυθρο θερμογραφικό σύστημα τοποθετήθηκε πάνω σε ένα κινούμενο όχημα (όπως ορίζει και το σχετικό πρότυπο), έτσι ώστε να εξετασθούν γρήγορα και αποτελεσματικά τα οδοστρώματα. Παράλληλα χρησιμοποιήθηκε και αποστασιόμετρο τύπου laser (LTI 20-20 Ultralyte), έτσι ώστε να οριοθετηθούν οι προβληματικές – ελαττωματικές περιοχές που εντοπίζονται κατά τη διάρκεια της σάρωσης των οδοστρωμάτων. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις και με γεωραντάρ (RAMAC GPR).

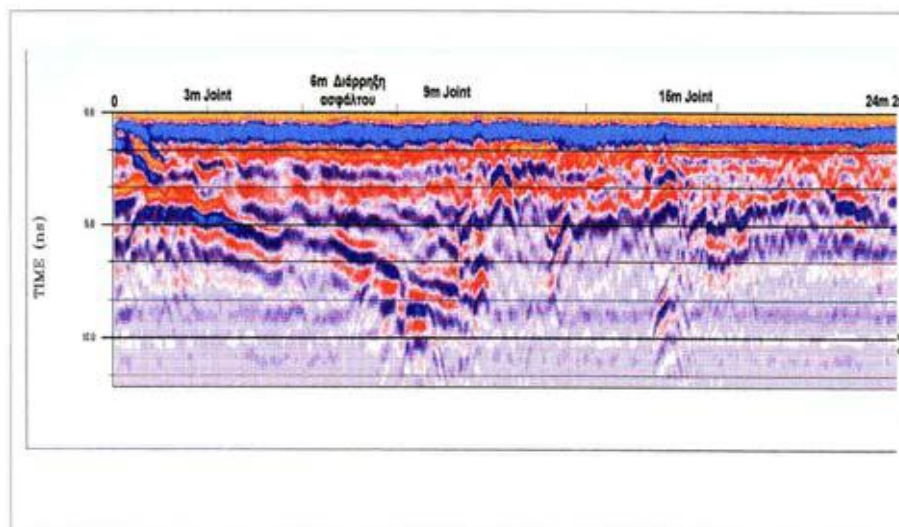
Η βασική αρχή λειτουργίας της μεθόδου GPR (γεωραντάρ) είναι όμοια της σεισμικής ανάκλασης. Ένας ηλεκτρομαγνητικός παλμός υψηλής συχνότητας (10-10000 MHz) μικρής διάρκειας παράγεται και διοχετεύεται στο έδαφος. Το σήμα (παλμός) διαχέεται στα υλικά που συνιστούν το υπέδαφος και επηρεάζεται από τις ιδιότητες των υλικών. Μέρος της ενέργειας του παλμού ανακλάται στην διαχωριστική επιφάνεια υλικών διαφορετικών ιδιοτήτων (permittivity) και καταγράφεται σε έναν δέκτη στην επιφάνεια του εδάφους, ενώ η υπολειπόμενη ενέργεια του παλμού διοχετεύεται σε βαθύτερα επίπεδα.

Χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικές κεραίες (400 MHz και 1 GHz), έτσι ώστε να ληφθούν πληροφορίες σχετικά με το βάθος των εντοπισμένων, από την τεχνική της θερμογραφίας, ρωγμών. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στον Κρατικό Αερολιμένα Αθηνών, σε επιλεγμένα σημεία του αεροδρομίου. Συγκεκριμένα, σαρώθηκε το τμήμα 321 (παλαιό τμήμα αεροδρομίου), τρεις περιοχές (περιοχές Z, J και X) από τον τροχόδρομο B (Bravo), καθώς και τμήματα από τον κεντρικό διάδρομο. Τα όρια των περιοχών των οδοστρωμάτων που εξετάστηκαν με την τεχνική της υπέρυθρης θερμογραφίας, ήταν 575m x 45m στο τμήμα 321, 350m x 45m στον τροχόδρομο B και 925m x 60m στον κεντρικό διάδρομο. Κατά τη διαδικασία της σάρωσης με την τεχνική της θερμογραφίας, η εγκατάσταση της κάμερας του υπέρυθρου θερμογραφικού συστήματος πραγματοποιήθηκε δίνοντας μία ελαφρά κλίση (γωνία) ως προς το

οδόστρωμα, επιτυγχάνοντας έτσι το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα – ικανοποιητικό πεδίο βάθους, όσον αφορά στη γρηγορότερη και αποτελεσματικότερη σάρωση των οδοστρωμάτων.



Εικόνα 3.19 Φθαρμένη Άσφαλτος με χρήση της υπέρυθρης θερμογραφίας



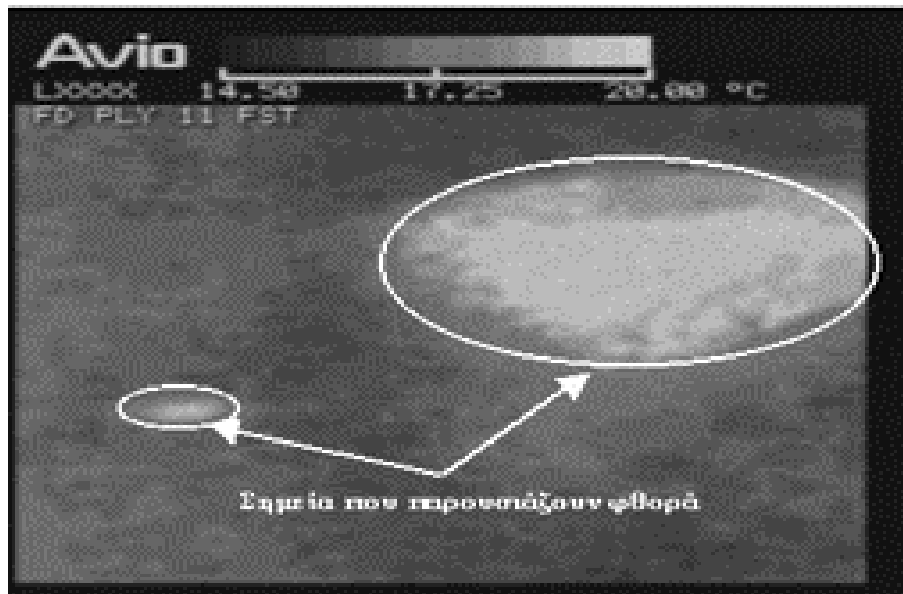
Εικόνα 3.20 Φθαρμένη Άσφαλτος με χρήση του γεωραντάρ

3.5.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Καθώς η εξέταση των οδοστρωμάτων πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της ημέρας, σύμφωνα με το πρότυπο της ASTM D4788 – 88, οι θερμοκρασιακές διαφορές άνω των 0.5 °C αντιστοιχούν στις ελαττωματικές περιοχές του

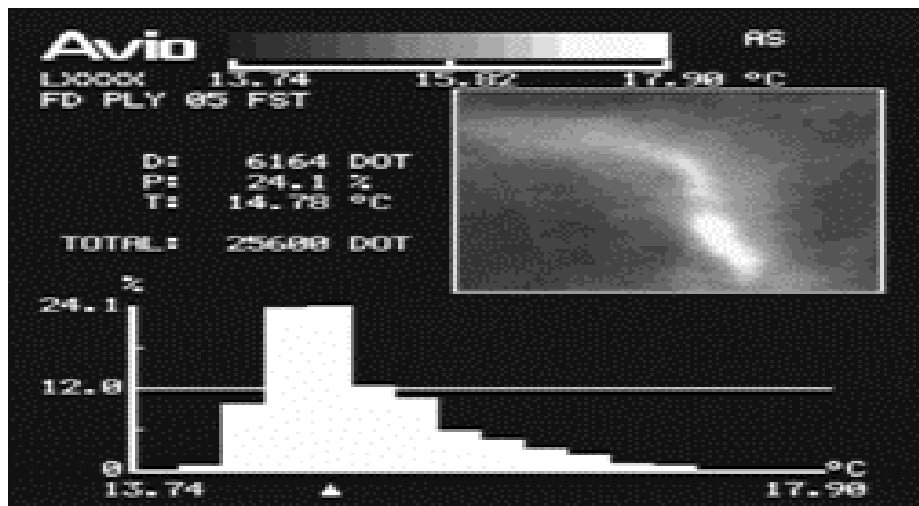
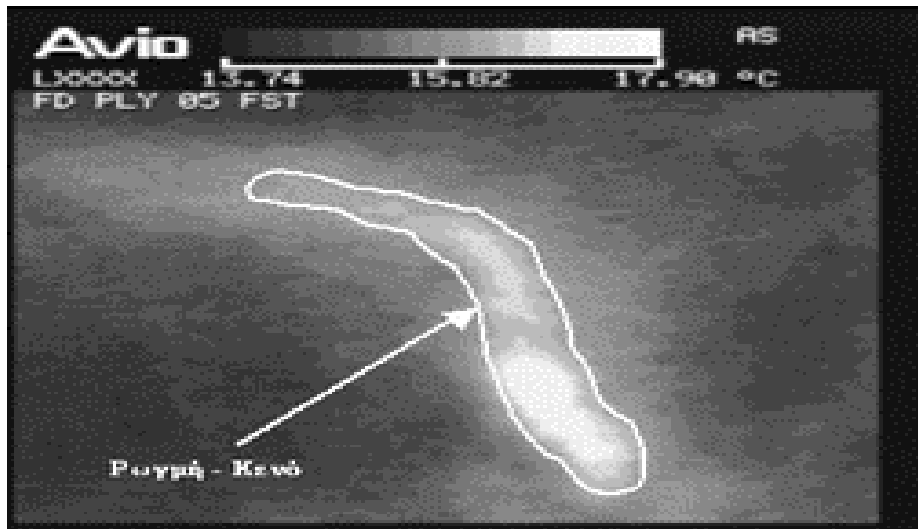
εξεταζόμενου οδοστρώματος. Ένα ιστόγραμμα απεικονίζει τα θερμοκρασιακά ποσοστά ενός (του αντίστοιχου) θερμογραφήματος. Χρησιμοποιώντας έτσι τα ποσοστά αυτά, μπορεί κανείς να υπολογίσει τις θερμοκρασίες εκείνες άνω των 0.5 °C και έτσι το ακριβές ποσοστό των ελαττωματικών σημείων της κάθε εικόνας – τμήματος του οδοστρώματος.

Παρακάτω, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της θερμογραφίας, όπου εντοπίζονται ατέλειες, οι οποίες δεν διακρίνονται δια γυμνού οφθαλμού.



Εικόνα 3.21 Θερμογράφημα με το αντίστοιχο ιστόγραμμα του από το εξεταζόμενο τμήμα 321

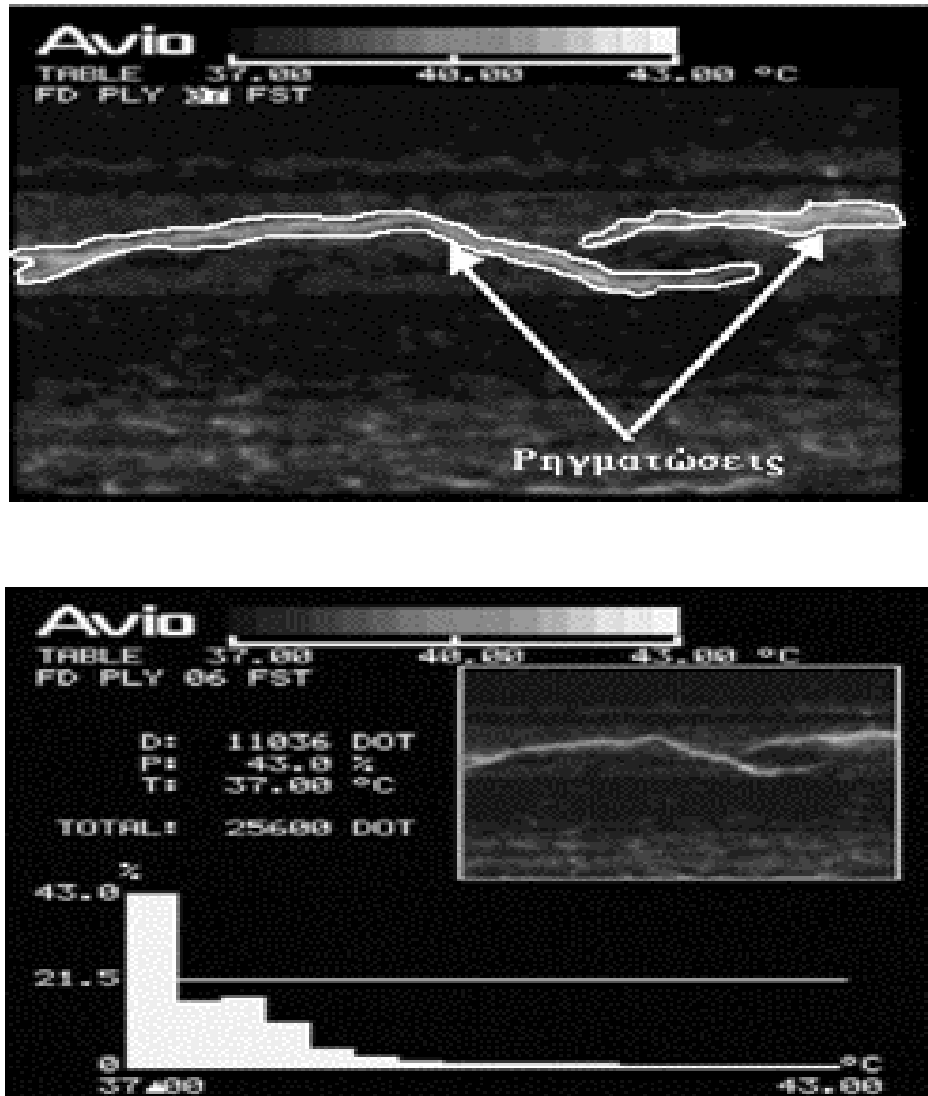
Στο παραπάνω θερμογράφημα (Εικόνα 3.21), απεικονίζονται με «θερμή» απεικόνιση τα ελαττωματικά σημεία του εξεταζόμενου οδοστρώματος. Η φθορά των σημείων αυτών, οφείλεται στην γήρανση του οδοστρώματος, λόγω της αραιής χρήσης του συγκεκριμένου τμήματος. Παράλληλα, εξετάζοντας το ιστόγραμμα του παραπάνω θερμογραφήματος, μπορούν να υπολογιστούν τα ελαττωματικά αυτά σημεία, τα οποία αντιστοιχούν σε ένα ποσοστό της τάξεως του 27% της συνολικής εικόνας.



Εικόνα 3.22 Θερμογράφημα με το αντίστοιχο ιστόγραμμα του από τον τροχόδρομο Β (Bravo)

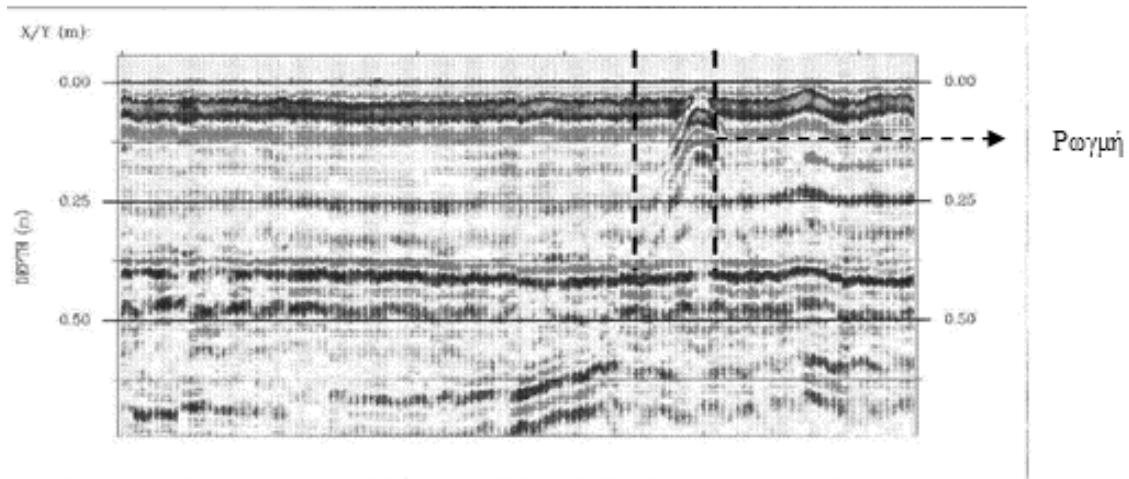
Στο παραπάνω θερμογράφημα (Εικόνα 3.22) απεικονίζεται μία ρωγμή στο κέντρο της εικόνας. Το σημείο αυτό παρουσιάζει μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά με το υπόλοιπο τμήμα της εικόνας, γεγονός που υποδηλώνει την

κακοτεχνία του ασφαλτοτάπητα στο σημείο αυτό. Επίσης, από το ιστόγραμμα του θερμογραφήματος, υπολογίζεται και το ποσοστό της ελαττωματικής αυτής περιοχής, το οποίο ανέρχεται περίπου σε 18.3%.



Εικόνα 3.23 Θερμογράφημα με το αντίστοιχο ιστόγραμμα του από τον κεντρικό διάδρομο

Στο παραπάνω θερμογράφημα (Εικόνα 3.23) απεικονίζονται ρηγματώσεις στο κέντρο της εικόνας, παρουσιάζοντας μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά με το υπόλοιπο τμήμα της εικόνας. Από το ιστόγραμμα του θερμογραφήματος υπολογίζεται και το ποσοστό των ρηγματώσεων αυτών, το οποίο ανέρχεται σε 10% επί της συνολικής εξεταζόμενης επιφάνειας.

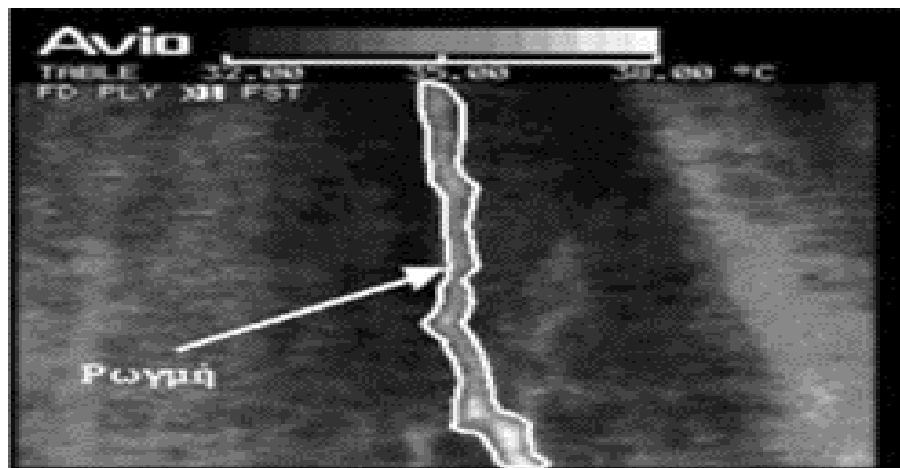


Εικόνα 3.24 Ραδιογεώγραμμα από τον κεντρικό διάδρομο του αεροδρομίου

Παρουσιάζεται επίσης επιβεβαίωση της ρωγμής της εικόνας 3.24, καθώς και το βάθος της, όπως εξακριβώθηκε από την τεχνική του γεωραντάρ. Η συγκεκριμένη μέτρηση πραγματοποιήθηκε με την κεραία του 1 GHz, ενώ το βάθος της ρωγμής έφτανε περίπου τα 50 εκατοστά.

Επιπλέον, στο παρακάτω θερμογράφημα (Εικόνα 3.25) απεικονίζεται με ανοιχτό χρώμα, μία ρωγμή στο κέντρο της εικόνας. Κι εδώ το σημείο αυτό παρουσιάζει μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά με το υπόλοιπο τμήμα της εικόνας, γεγονός που υποδηλώνει την κακοτεχνία του οδοστρώματος (κεντρικός διάδρομος) στο σημείο αυτό.

Επίσης, από το ιστόγραμμα του θερμογραφήματος, υπολογίζεται και το ποσοστό της ρωγμής αυτής, το οποίο ανέρχεται περίπου σε 14%.



Εικόνα 3.25 Θερμογράφημα με το αντίστοιχο ιστόγραμμα του από τον κεντρικό διάδρομο

Τα οδοστρώματα αεροδρομίων στον ελλαδικό χώρο δεν έχουν στο παρελθόν εξετασθεί χρησιμοποιώντας μη καταστρεπτικές τεχνικές όπως η υπέρυθρη θερμογραφία. Η εφαρμογή της υπέρυθρης θερμογραφίας στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στον Κρατικό Αερολιμένα Αθηνών, οδηγεί σε θετικά συμπεράσματα όσον αφορά στη χρήση της. Η εξέταση των οδοστρωμάτων με την τεχνική της υπέρυθρης θερμογραφίας, όπως αναπτύχθηκε στην ερευνητική αυτή μελέτη, αποτελεί μια σύγχρονη και αποτελεσματική μεθοδολογία στη διάγνωση φθοράς των οδοστρωμάτων.

Με τη χρήση της υπέρυθρης θερμογραφίας είναι δυνατός ο εντοπισμός ρωγμών και διαφόρων τύπων ανωμαλιών στα οδοστρώματα. Τα πλεονεκτήματα της υπέρυθρης θερμογραφίας συγκριτικά με:

Τις καταστρεπτικές τεχνικές, είναι:

- Γρήγορη και αποτελεσματική εξέταση εκτεταμένων περιοχών, όπως τα οδοστρώματα αεροδρομίων.
- Αποφυγή βλαβών των εξεταζόμενων περιοχών.

- Μείωση του χρόνου, ανθρώπινου δυναμικού, απαραίτητων συσκευών που απαιτούνται για την ολοκλήρωση της μελέτης.

Τις άλλες μη καταστρεπτικές τεχνικές, είναι:

- Τεχνική επιθεώρησης – σάρωσης μεγάλων εκτάσεων, καθώς οι περισσότερες μη καταστρεπτικές τεχνικές είναι τεχνικές εξέτασης σημείων.
- Εφαρμογή της μεθόδου κατά τη διάρκεια μέρας ή και νύχτας, ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν.

Ο σημαντικότερος περιορισμός της υπέρυθρης θερμογραφίας, είναι η αδυναμία να προσδιορίσει με ακρίβεια τις γεωμετρικές διαστάσεις (βάθος) των ελαττωματικών σημείων – περιοχών στα εξεταζόμενα οδοστρώματα. Το πρόβλημα αυτό επιλύεται με την συμπληρωματική χρήση του γεωραντάρ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ–ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΣΦΑΛΤΟΣ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Τροποποιημένη άσφαλτος είναι η άσφαλτος της οποίας οι χαρακτηριστικές ιδιότητες έχουν τροποποιηθεί προς το «βέλτιστο» με την προσθήκη χημικών ή φυσικών ουσιών. Με τη βελτίωση που επέρχεται στις ιδιότητες της ασφάλτου βελτιώνεται και η αντίστοιχη συμπεριφορά του ασφαλτομίγματος και κατ' επέκταση η ποσότητα της κατασκευής.

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

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

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

4.2 ΧΡΗΣΗ ΚΑΙ ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ

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

Ο ρόλος της τροποποιημένης ασφάλτου στην οδοποιία σήμερα είναι τετραπλός. Πρώτον, να αυξήσει την αντοχή του ασφαλτομίγματος στην παραμένουσα παραμόρφωση σε υψηλές θερμοκρασίες, δεύτερον να βελτιώσει την ελαστική συμπεριφορά του ασφαλτομίγματος, τρίτον να αυξήσει το μέτρο δυσκαμψίας του και τέταρτον να αυξήσει την πρόσφυση μεταξύ ασφάλτου και αδρανών, σε όλο το φάσμα των θερμοκρασιών κατασκευής και λειτουργίας του έργου χωρίς να επηρεάσει αλλά αντιθέτως να βελτιώσει, εάν είναι δυνατόν, και τις άλλες ιδιότητες αυτού όπως εργασιμότητα, μείωση της οξειδωσης κλπ. Ρόλος πολύπλοκος και δύσκολος, με αποτέλεσμα ορισμένοι μόνο τροποποιητές να είναι σε θέση να τον εκπληρώσουν πλήρως.

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

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

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

Τέλος, η βελτίωση της πρόσφυσης ασφάλτου και αδρανών σε συνδυασμό με τις άλλες μεταβολές επηρεάζει άμεσα τις εργασίες όπου η συγκόλληση μεταξύ των αδρανών και με την επιφάνεια του οδοστρώματος είναι βασικότατος παράγοντας. Τέτοιες εργασίες είναι οι ασφαλικές επαλείψεις ασφαλικών στρώσεων, οι τάπητες κυκλοφορίας ανοικτού τύπου (πορώδεις τάπητες) και οι αντιολισθηροί λεπτοτάπητες. Στις περιπτώσεις αυτές με τη χρήση τροποποιημένης ασφάλτου μειώνεται ή εξαλείφεται το φαινόμενο αποκόλλησης αδρανών από την επιφάνεια του οδοστρώματος με αποτέλεσμα οι εργασίες

αυτές να είναι λειτουργικές για μεγάλο χρονικό διάστημα με τα αναμενόμενα αποτελέσματα.

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

4.3 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΤΕΣ, ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΚΥΡΙΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ

Τα προσθετικά ασφάλτου, ή τροποποιητές ή βελτιωτικά ασφάλτου που χρησιμοποιήθηκαν και χρησιμοποιούνται σήμερα μπορούν να ταξινομηθούν σε οκτώ κατηγορίες όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.1. Από την πλειάδα των τροποποιητών που επιγραμματικά αναφέρονται στον προηγούμενο πίνακα, αυτοί που συνήθως χρησιμοποιούνται σήμερα σε ευρεία κλίμακα κατά σειρά προτίμησης των χρηστών είναι: τα ελαστομερή, τα θερμοπλαστικά, τα θερμοσκληρυνόμενα (-ρητίνες), τα οξειδωτικά μεταλλικά άλατα και οι ίνες. Η χρήση των υπολοίπων προσθετικών περιορίζεται σε ορισμένες εφαρμογές, ο δε βαθμός χρήσης τους ποικίλλει από χώρα σε χώρα. Τα περισσότερα προσθετικά ασφάλτου είναι σε στερεή μορφή, κυρίως λεπτόκοκκων, ή σε υγρή/ρευστή μορφή κυρίως ελαιικού διαλύματος. Όλα σχεδόν τα βελτιωτικά ασφάλτου προστίθενται στην ασφαλτο, σε ξεχωριστή διαδικασία ανάμιξης-τροποποίησης, πριν τη χρήση αυτής (παραγωγή ασφαλτομιγμάτων ή ψεκασμό επιφανειών ή παραγωγή τροποποιημένων γαλακτωμάτων). Πολύ λίγα είναι τα βελτιωτικά που προστίθενται ανεξάρτητα στην ασφαλτο κατά τη διάρκεια της χρήσης αυτής (κυρίως οι ίνες και πολύ λίγα πολυμερή).

Είδος προσθετικού	Τυπικά προσθετικά	Κύριες βελτιώσεις που επέρχονται
Ελαστομερή	Συμπολυμερές στυρενίου-βουταδιενίου-στυρενίου(SBS),Ελαστικό στυρενίου-βουταδιενίου(SBR), Φυσικό ελαστικό (Latex)	(1), (2), (3), (4), (8), (9),(10), (11)
Θερμοπλαστικά	Συμπολυμερή αιθυλενίου-οξικού, βινυλεστέρα (EVA), Πολυαιθυλένιο, Πολυπροπυλένιο	(2), (3), (4), (8), (9), (10)
Θερμοσκληρυνόμενα	Ρητίνες: εποξειδική ρητίνη, εστέρες, ακριλικές ρητίνες	(1), (2), (3), (4) (6), (8), (9), (10)
Φυσικές ή Τεχνητές ίνες	Κυταρρινικές, Ορυκτές, Πλαστικές, Σιδήρου, Ζωικές	(7), (9),(11)
Οξειδωτικά	Άλας μαγγανίου, Άλας Μαγνησίου	(2), (5), (6), (7) (9), (12)
Φυσικά ή χημικά υλικά (παιπάλη)	Θείο, Τσιμέντο, Υδράσβεστος	(6), (8), (9)
Αναγωγικά	Άνθρακας, Φθοριούχα άλατα	(5), (7)
Υδρογονάνθρακες	Ανακυκλωμένα και αναζωογονημένα έλαια	(5), (12)

Βελτιώσεις στην ασφάλτο:

- (1): Βελτίωση της ελαστικότητας
- (2): Μικρότερη θερμοκρασιακή ευαισθησία
- (3): Βελτίωση συνδετικής ικανότητας
- (4): Επιβράδυνση γήρανσης
- (5): Μείωση ιξώδους
- (6): Σκλήρυνση ασφάλτου
- (7): Αναζωογόνηση ασφάλτου

Βελτιώσεις στο ασφαλτόμιγμα:

- (8): Βελτίωση της δυσκαμψίας
- (9): Καλύτερη αντοχή σε παραμόρφωση
- (10): Βελτίωση της συνοχής μίγματος
- (11): Καλύτερη αντίσταση σε ρηγμάτωση
- (12): Βελτίωση της εργασιμότητας

Πίνακας 4.1 Ταξινόμηση προσθετικών-βελτιωτικών ασφάλτου, τυπικά προσθετικά και βελτιώσεις που επέρχονται

Η πρώτη μέθοδος τροποποίησης επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα, κυρίως ως προς την ομοιογένεια του τελικού προϊόντος. Η ομοιογένεια που συνδέεται με τη σταθερή ποιότητα και αποτελεσματικότητα επηρεάζεται άμεσα από τη θερμοκρασία ανάμιξης, διάρκεια ανάμιξης και τρόπο ανάμιξης (ανάπτυξη ή μη υψηλών διατμητικών τάσεων). Ειδικά για τα τροποποιημένα ασφατικά γαλακτώματα, εφ' όσον το προσθετικό υπάρχει στο εμπόριο και σε υδατικό διάλυμα, η προσθήκη του μπορεί να γίνει και μετά τη γαλακτωματοποίηση με επαρκή ανάδευση.

Η τροποποιημένη ασφάλτος παράγεται από ειδικές βιομηχανικές μονάδες παραγωγής τροποποιημένης ασφάλτου. Οι μονάδες αυτές αποτελούνται από κατάλληλο θερμαινόμενο αναμίκτη, αναλόγως του προσθετικού που χρησιμοποιείται, σύστημα παροχής ασφάλτου και προσθετικού, δοσομετρικό σύστημα παροχής προσθετικού, καυστήρα υψηλής θερμοκρασίας και αποθηκευτικές δεξαμενές. Οι θερμοκρασίες ανάμιξης, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιούνται θερμοπλαστικά υλικά, είναι υψηλές έως και 200°C. Ο ακριβής χρόνος ανάμιξης εξαρτάται και αυτός από το προσθετικό υλικό και τον τύπο του αναμίκτη που χρησιμοποιείται.

Κατά την τροποποίηση της ασφάλτου επέρχονται χημικές ή/και φυσικοχημικές αλλαγές της ασφάλτου, αναλόγως του είδους του προσθετικού που χρησιμοποιείται, που επηρεάζουν τις χαρακτηριστικές ιδιότητες της ασφάλτου. Κατά κανόνα η προσθήκη βελτιωτικού αυξάνει το ιξώδες της ασφάλτου, σε όλες τις περιπτώσεις, πλην της χρήσης μεταλλικών αλάτων. Με τα μεταλλικά άλατα η αύξηση του ιξώδους επέρχεται σε μεταγενέστερο στάδιο, αρκετά μετά την προσθήκη αυτού στην ασφάλτο. Τέλος, η αποτελεσματικότητα της τροποποίησης εξαρτάται, πλην των παραγόντων που αναφέρθηκαν, και από τη συμβατότητα της ασφάλτου με το προσθετικό, η οποία καθορίζεται από τη χημική σύνθεση της ασφάλτου.

4.4 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΑΣΦΑΛΤΟΥ ΜΕ ΕΛΑΣΤΟΜΕΡΗ

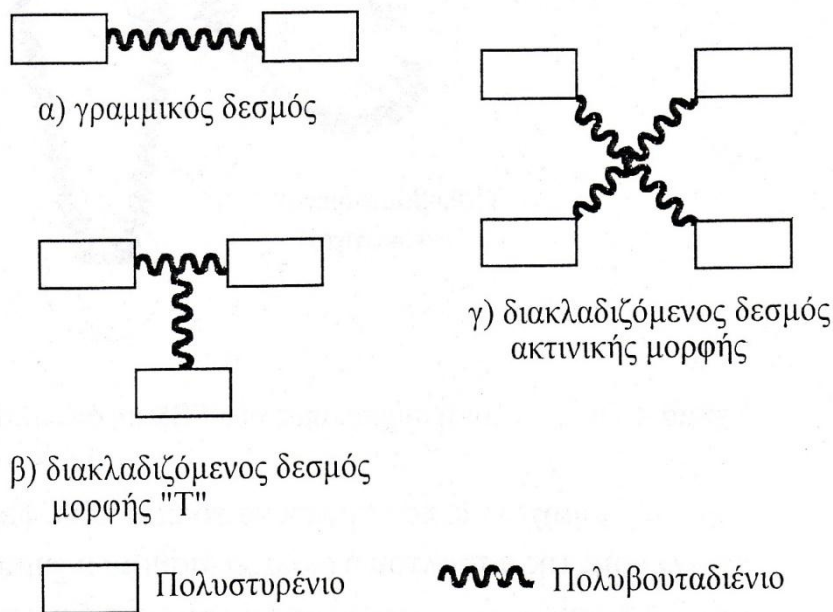
Η τροποποίηση της ασφάλτου με ελαστομερή είναι σήμερα η πλέον διαδεδομένη για την παραγωγή τροποποιημένης ασφάλτου οδοστρωσίας. Η ασφάλτος που παράγεται ονομάζεται, πολλές φορές, και ελαστομερής ασφάλτος.

Ελαστομερή (elastomer) ή αλλιώς θερμοπλαστικά ελαστομερή (thermoplastic elastomer) είναι ελαστικά πολυμερή τα οποία, μετά το βουλκανισμό τους, μπορούν να εκταθούν με την επίδραση εφελκυστικής δύναμης και κατόπιν, μετά την απομάκρυνση της εφελκυστικής δύναμης, να επανέλθουν γρήγορα στο αρχικό περίπου μήκος τους. Η ελαστική συμπεριφορά των πολυμερών αυτών οφείλεται στο γεγονός ότι τμήματα των μακρομοριακών αλυσίδων, σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος, είναι δυνατόν να μετακινηθούν κάτω από την επίδραση δυνάμεως, αλλά και να επανέλθουν στην αρχική τους θέση με την

απομάκρυνση της δύναμης, δεδομένου ότι η θερμοκρασία υαλώδους μεταπτώσεως (T_g) είναι μικρότερη των συνήθων περιβαλλοντικών θερμοκρασιών. Πολυμερές, κατά τον ορισμό της IUPAC, είναι μία ουσία, τα μόρια της οποίας αποτελούνται από την επανάληψη ενός ή περισσότερων ειδών ατόμων ή ομάδων ατόμων που καλούνται δομικές μονάδες και είναι μεταξύ τους ενωμένες με ομοιοπολικό δεσμό, σε ένα επαρκή αριθμό, για να παρουσιάζει αυτή ένα σύνολο ιδιοτήτων, το ποίο παραμένει πρακτικώς αμετάβλητο με την προσθήκη ή αφαίρεση μιας ή περισσότερων δομικών μονάδων.

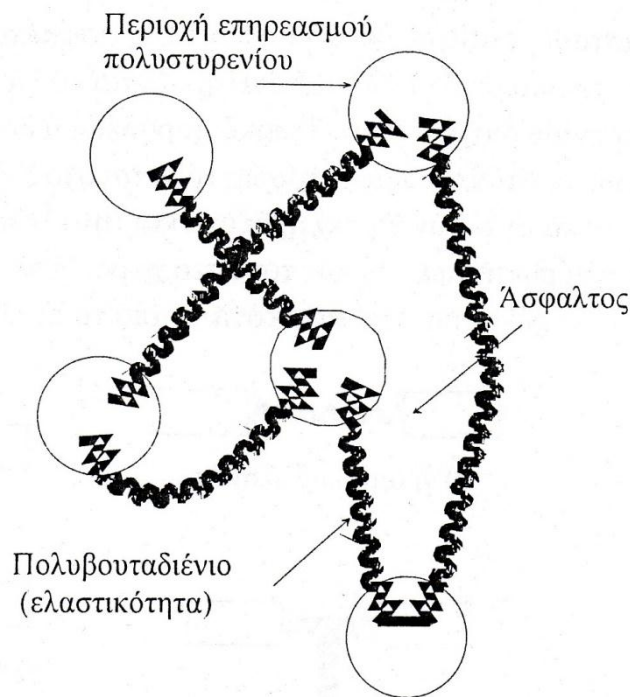
Η κατηγορία των ελαστομερών περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα προϊόντων όπως: φυσικό ελαστικό (NR) (natural rubber), ελαστικό στυρενίου-βουταδιενίου (SBR) (styrene-butadiene rubber) συμπολυμερές στυρενίου-βουταδιενίου-στυρενίου (SBS) (styrene-butadiene-styrene co-polymer) γνωστό και ως θερμοπλαστικό ελαστικό (thermoplastic rubber), συμπολυμερές στυρενίου-ισοπρενίου-στυρενίου (SIS) (styrene-isoprene-styrene copolymer), ελαστικό πολυουρεθάνης (polyurethane rubber), συμπολυμερές πολυαιθέρα-πολυεστέρα (polyether-polyester copolymer), συμπολυμερή ολεφίνων (olefinic copolymers), ελαστικό αιθυλενίου-προπυλενίου (EPR) (ethylene-propylene rubber) κ.α. Από τα προαναφερθέντα ελαστομερή αυτά που χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα για την παραγωγή ελαστομερούς ασφάλτου είναι το συμπολυμερές SBS, το ελαστομερές SBR και το φυσικό ελαστικό (NR) επίσης γνωστό ως Latex. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι στην κατηγορία αυτή εμμέσως κατατάσσονται και τα τριμμένα παλαιά ελαστικά.

Τα ελαστομερή κατά το βουλκανισμό τους παράγουν γραμμικούς ή/και διακλαδισμένους (διασταυρωμένους) δεσμούς ακτινικής μορφής ή μορφής 'T', όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1. Κατά την ενσωμάτωση και διασπορά του ελαστομερούς στη θερμή ασφάλτο, η ασφάλτος αρχίζει να εισχωρεί μέσα στο πολυμερές, οι δεσμοί διατηρούνται αλλά η περιοχή επηρεασμού του στυρενίου διογκώνεται. Τυπικό παράδειγμα δομής συμπολυμερούς SBS σε ασφάλτο στον τρισδιάστατο χώρο δίνεται στο Σχήμα 4.2. Τα θερμοπλαστικά ελαστικά αντλούν τη σκληρότητα και την ελαστικότητά τους από τη φυσική διασταύρωση των μορίων τους στο χώρο. Η σκληρότητα προσδίδεται από το πολυστυρένιο και η ελαστικότητα από το πολυβουταδιένιο.



Σχήμα 4.1 Δεσμοί ελαστομερών

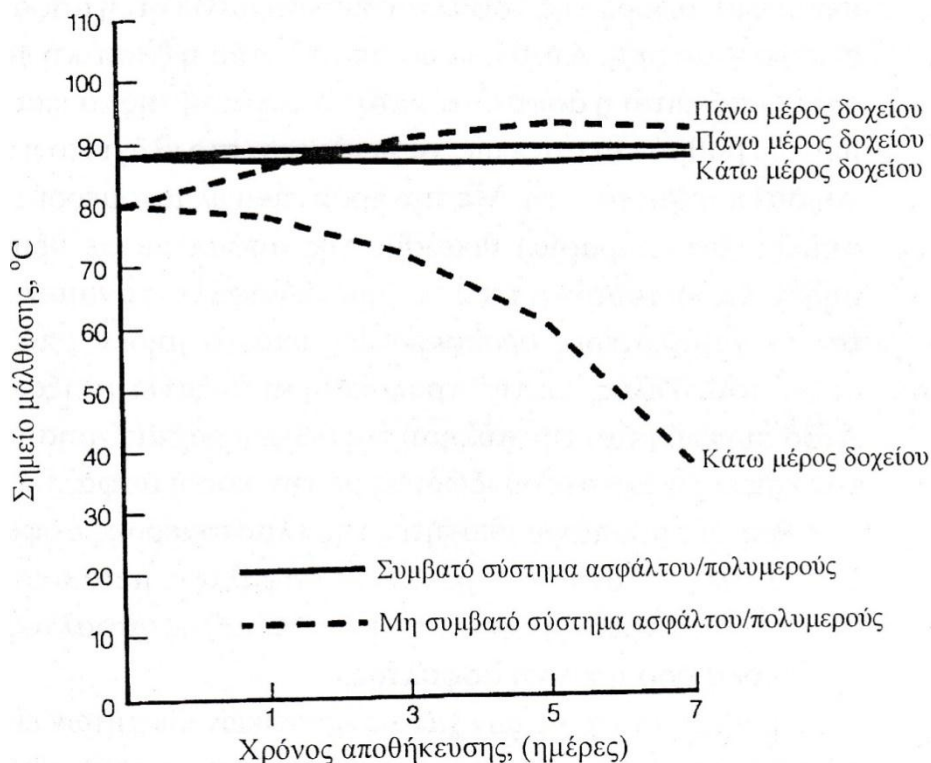
Για την παραγωγή ομογενούς και σταθερής τροποποιημένης ασφάλτου απαιτείται συμβατότητα των πολυμερών με την προς τροποποίηση ασφάλτο. Η χημική σύνθεση της ασφάλτου είναι καθοριστικής σημασίας. Οι κύριοι παράγοντες από τη χημική σύσταση της ασφάλτου που επηρεάζουν τη συμβατότητα, για δεδομένο ελαστομερές, είναι η περιεκτικότητα αυτής σε ασφαλτένια και μαλτένια (από τα μαλτένια, κυρίως οι αρωματικές ενώσεις). Κατά κανόνα σε ασφάλτο με πολύ μεγάλη περιεκτικότητα σε ασφαλτένια και σχετικά κανονική περιεκτικότητα σε αρωματικές ενώσεις, μετά την προσθήκη ελαστομερούς, αναμένεται διαχωρισμός των φάσεων (ασφάλτου και ελαστομερούς). Η ασφάλτος στην περίπτωση αυτή δεν είναι συμβατή και η τροποποίηση δεν είναι σταθερή. Επίσης δεν υπάρχει καλή συμβατότητα όταν οι αρωματικές ενώσεις είναι σε μεγάλο ποσοστό ή τα ασφαλτένια είναι σε πολύ μικρό ποσοστό. Ο έλεγχος της συμβατότητας με βάση τις παραπάνω παραμέτρους είναι μία πολύπλοκη διαδικασία της χημικής βιομηχανίας που πρέπει να γίνεται κάθε φορά που αλλάζει η πηγή προέλευσης της ασφάλτου ή αλλάζει αισθητά η χημική σύσταση της ασφάλτου. Το πλεονέκτημα με τα ελαστομερή είναι ότι η πιθανότητα συμβατότητας με τις ασφάλτους οδοστρωσίας είναι πολύ μεγάλη. Η συμβατότητα του συστήματος ασφάλτου και ελαστομερούς μπορεί να διαπιστωθεί επί του τελικού προϊόντος-την τροποποιημένη ασφάλτο- με τη βοήθεια ισχυρού μικροσκοπίου. Ένα συμβατό σύστημα θα φαίνεται σαν μια ομογενής και συνεχής «σφουγγαροειδής» δομή ενώ ένα μη συμβατό σύστημα θα φαίνεται σαν μια μη-συνεχής δομή με χονδρούς κόκκους. Η συμβατότητα του συστήματος ή η επιτυχής τροποποίηση της ασφάλτου μπορεί επίσης να διαπιστωθεί εύκολα και με τον απλούστατο εργαστηριακό έλεγχο «θερμής αποθήκευσης» που προτάθηκε από τη Shell.



Σχήμα 4.2 Δομή συμπολυμερούς SBS με άσφαλτο

4.4.1 ΈΛΕΓΧΟΣ ΘΕΡΜΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ (HOT STORAGE TEST)

Ο έλεγχος θερμής αποθήκευσης συνίσταται στην αποθήκευση της τροποποιημένης ασφάλτου για κάποιο χρονικό διάστημα και κατόπιν στον έλεγχο αυτής σε μάλθωση. Το δοχείο αποθήκευσης είναι κυλινδρικό, ύψους 30-40 cm και διαμέτρου 10 cm περίπου. Η τροποποιημένη άσφαλτος αφήνεται σε θερμοκρασία 140 °C για 1, 3, 5, και 7 ημέρες. Στις συγκεκριμένες ημέρες λαμβάνεται ποσότητα τροποποιημένης ασφάλτου από το πάνω και από το κάτω μέρος του δοχείου και ελέγχεται το σημείο μάλθωσης των δύο δειγμάτων. Συμβατή άσφαλτος είναι αυτή που μετά την τροποποίηση τα δείγματα, ανεξαρτήτως χρόνου και θέσης λήψεως, έχουν το ίδιο σημείο μάλθωσης. Αποτέλεσμα αυτού του ελέγχου δίνονται στο Σχήμα 4.3.



Σχήμα 4.3 Επίδραση συμβατότητας ασφάλτου/πολυμερούς στη θερμή αποθήκευση τροποποιημένης ασφάλτου

Ο έλεγχος αυτός έμμεσα καθορίζει και τη σταθερότητα της τροποποιημένης ασφάλτου κατά την αποθήκευσή της. Οι επιπτώσεις επί της εφαρμογής της τροποποιημένης ασφάλτου, στην περίπτωση που εξαχθούν αποτελέσματα όπως αυτά που φαίνονται στο Σχήμα 4.3, είναι καταφανείς.

4.4.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΣΤΟΜΕΡΟΥΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΟΣ ΜΕ ΕΛΑΣΤΟΜΕΡΗ ΑΣΦΑΛΤΟ

Η προσθήκη ελαστομερούς στην ασφαλτο μεταβάλλει όλες τις χαρακτηριστικές ιδιότητες αυτής και το τελικό προϊόν –η τροποποιημένη ασφαλτος- είναι περισσότερο ελαστικό και λιγότερο ευαίσθητο στις θερμοκρασιακές μεταβολές. Επίσης, η τροποποιημένη ασφαλτος με ελαστομερή έχει καλύτερες συνδετικές ιδιότητες και μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στη γήρανση σε σύγκριση με την κοινή ασφαλτο.

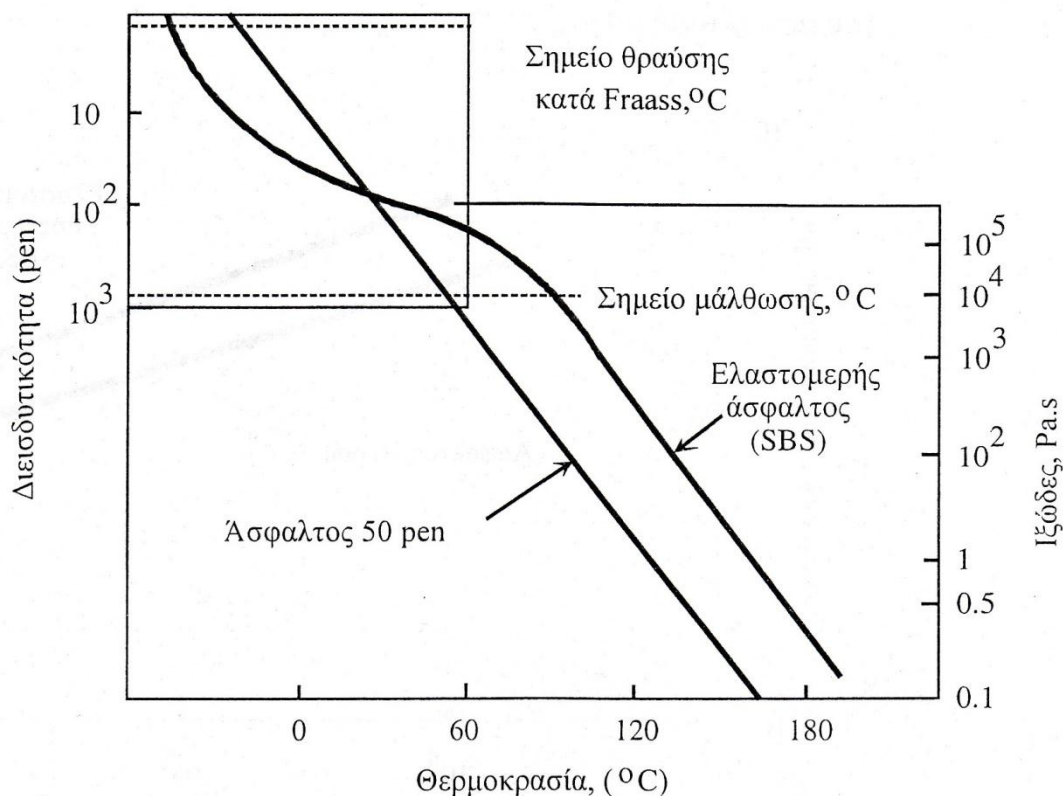
Ειδικότερα με την προσθήκη ελαστομερούς μειώνεται η διεισδυτικότητα και αυξάνει το σημείο μάλθωσης και ο δείκτης διεισδυτικότητας. Οι μεταβολές αυτές δηλώνουν ότι η ασφαλτος γίνεται σκληρότερη και λιγότερο ευπαθής στις θερμοκρασιακές μεταβολές. Επίσης αυξάνει εντυπωσιακά η ελαστική

επαναφορά της ασφάλτου που σημαίνει ότι η άσφαλτος γίνεται περισσότερο ελαστική. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η θλιπτική παραμόρφωση στην οποία υπόκειται η άσφαλτος κατά τη φόρτισή της να επανακτάται κατά ένα μεγάλο βαθμό και συνεπώς να μειώνεται στο ελάχιστο η πλαστική (παραμένουσα) παραμόρφωση. Με την προσθήκη ελαστομερούς βελτιώνεται και το σημείο (θερμοκρασία) θραύσης της ασφάλτου σε θερμοκρασίες υπό το μηδέν. Ως εκ τούτου η τροποποιημένη άσφαλτος αναμένεται να ρηγματώνεται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες υπό το μηδέν από αυτές της κοινής ασφάλτου. Τέλος, με την τροποποίηση αυξάνει το ιξώδες της ασφάλτου. Αυτό συνεπάγεται την αύξηση της θερμοκρασίας χρήσης της ασφάλτου για την επίτευξη του αυτού ιξώδους με την κοινή άσφαλτο.

Όλες οι παραπάνω ιδιότητες της ελαστομερούς ασφάλτου δεν επηρεάζονται τόσο έντονα όσο της κοινής ασφάλτου, μετά από εργαστηριακή γήρανση. Αυτό δηλώνει ότι η ελαστομερής άσφαλτος δε «γηράσκει» τόσο εύκολα όσο η κοινή άσφαλτος.

Ο βαθμός αλλαγής των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων είναι συνάρτηση του ποσοστού του ελαστομερούς που προστίθεται και των ιδιοτήτων της αρχικής ασφάλτου που πρόκειται να τροποποιηθεί.

Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες της ασφάλτου απεικονίζονται καλύτερα στο διάγραμμα Heukelom. Για την ελαστομερή άσφαλτο η ευθεία, που απεικονίζει τη συμπεριφορά της κοινής ασφάλτου σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία, μεταβάλλεται σε χαρακτηριστική καμπύλη της μορφής που φαίνεται στο Σχήμα 4.4. Από την καμπύλη αυτή είναι φανερό ότι σε υψηλές θερμοκρασίες οδοστρώματος 50-60 °C η τροποποιημένη άσφαλτος είναι πιο σκληρή από την κοινή άσφαλτο τύπου 50pen (καμπύλη πάνω από την ευθεία) και συνεπώς έχει μεγαλύτερη αντίσταση σε παραμόρφωση. Αντίστροφα, σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες μικρότερες του μηδενός η τροποποιημένη άσφαλτος είναι πιο εύκαμπτη από την κοινή άσφαλτο 50pen (καμπύλη κάτω από την ευθεία) και συνεπώς έχει μεγαλύτερη αντίσταση στη ρηγμάτωση.

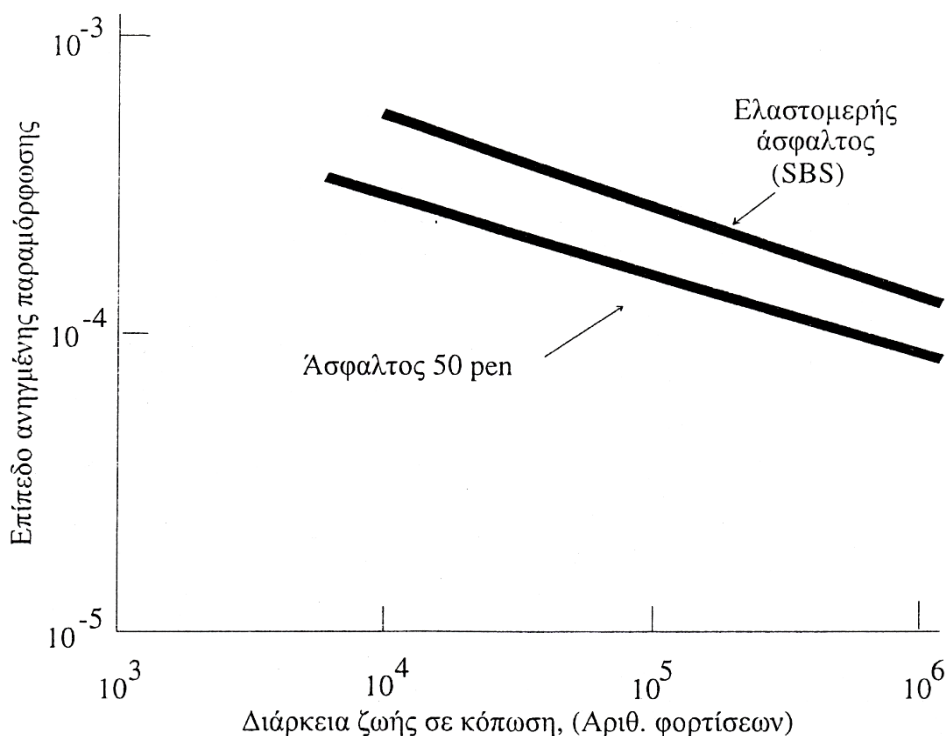


Σχήμα 4.4 Χαρακτηριστική καμπύλη ελαστομερούς ασφάλτου σε σχέση με τη χαρακτηριστική ευθεία κοινής ασφάλτου 40/50pen

4.4.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ – ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΟΣ

Το ασφαλτόμιγμα που παράγεται με ελαστομερή άσφαλτο έχει, κυρίως, βελτιωμένες ελαστικές ιδιότητες με αποτέλεσμα το ασφαλτόμιγμα αυτό να μη ρηγματώνεται και να μην παραμορφώνεται τόσο εύκολα όσο το ασφαλτόμιγμα με κοινή άσφαλτο. Το δυναμικό και στατικό μέτρο δυσκαμψίας του τροποποιημένου ασφαλτομίγματος αυξάνει και αυτό σε σχέση με το κοινό ασφαλτόμιγμα, πλην όμως η αύξηση αυτή δεν είναι πλέον χαρακτηριστική μεταβολή που επέρχεται.

Η βελτίωση της ελαστικότητας του ασφαλτομίγματος σε σχέση με τη μη πρόωρη ρηγματώση αυτού τεκμηριώνεται από τη συμπεριφορά αυτού σε έλεγχο κόπωσης. Χαρακτηριστικό αποτέλεσμα κόπωσης κοινού και τροποποιημένου ασφαλτομίγματος δίνεται στο Σχήμα 4.5. Από το σχήμα αυτό φαίνεται η θετική επίδραση της ελαστομερούς ασφάλτου δεδομένου ότι για το ίδιο μέγεθος αναπτυσσόμενη εφελκυστικής ανηγμένης παραμόρφωσης απαιτείται μεγαλύτερος αριθμός επαναλαμβανόμενων φορτίσεων, δηλαδή αξονικών φορτίων, μέχρι να επέλθει κόπωση (ρηγματώση) του ασφαλτομίγματος.



Σχήμα 4.5 Ευθείες κόπωσης ελαστομερούς και κοινής ασφάλτου

Η βελτίωση της συμπεριφοράς του τροποποιημένου ασφαλτομίγματος σε παραμένουσα παραμόρφωση τεκμηριώνεται με τη δοκιμή τροχοαυλάκωσης. Εκτελώντας τη δοκιμή αυτή, ο ρυθμός παραμόρφωσης που παρατηρείται σε τροποποιημένο ασφαλτόμιγμα είναι μικρότερος του ρυθμού παραμόρφωσης σε κοινό ασφαλτόμιγμα (0.7 mm/ώρα έναντι 3.2 mm/ώρα). Η καλή συμπεριφορά του τροποποιημένου ασφαλτομίγματος επίσης τεκμηριώνεται και με τη δοκιμή ερπυσμού σε δυναμική φόρτιση. Εκτελώντας τη δοκιμή αυτή αποδεικνύεται ότι η παραμένουσα παραμόρφωση του τροποποιημένου ασφαλτομίγματος, κάτω από τις συνθήκες ελέγχου, είναι μικρότερη αυτής του κοινού ασφαλτομίγματος. Τέλος η χρήση ελαστομερούς ασφάλτου δεν επηρεάζει ουσιαστικά τις χαρακτηριστικές ιδιότητες του ασφαλτομίγματος κατά Marshall, πλην της παραμόρφωσης κατά Marshall. Η παραμόρφωση κατά Marshall συνήθως αυξάνει με τη χρήση ελαστομερούς ασφάλτου. Πλην όμως, η αύξηση αυτή δεν μπορεί να εκληφθεί ως μειονέκτημα, διότι η φύση του ελέγχου είναι τέτοια που δε λαμβάνει υπόψη την ελαστικότητα και κατά συνέπεια την ανάκτηση μέρους της παραμόρφωσης του μίγματος. Όσον αφορά τη βέλτιστη περιεκτικότητα του μίγματος σε συνδετικό υλικό, όπως καθορίζεται από τη μεθοδολογία Marshall,

και πάλι δεν παρατηρείται καμία ουσιαστική αυξομείωση με την αντικατάσταση της κοινής από ελαστομερή ασφάλτο.

Η προσθήκη τριμμένων παλαιών ελαστικών αυτοκινήτων στην ασφάλτο δοκιμάστηκε σε ορισμένες χώρες της Ευρώπης και στις ΗΠΑ με σκοπό αποκλειστικά και μόνο τη βελτίωση της ελαστικότητας του μίγματος και τη μείωση της παραμένουσας παραμόρφωσης των ασφαλικών στρώσεων. Τα αποτελέσματα ήταν θετικά, πλην όμως δυσκολίες παρουσιάστηκαν ως προς την ομοιογένεια του μίγματος κατά την ανάμιξη με την ασφάλτο. Κατά την ανάμιξη της λεπτόκοκκης σκόνης των τριμμένων ελαστικών με την ασφάλτο μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό του ελαστικού ενσωματώνεται με την ασφάλτο. Οι περισσότεροι κόκκοι παραμένουν στη μάζα της ασφάλτου αναλλοίωτοι ως ελαστικά στερεά σωματίδια. Το ποσοστό που συνήθως προστίθεται, για να υπάρξει ουσιαστικό αποτέλεσμα, κυμαίνεται από 30 έως 40% κατά βάρος ασφάλτου στο μίγμα. Η δυσκολία παραγωγής ομοιογενούς μίγματος και το γεγονός ότι καμία άλλη ιδιότητα της ασφάλτου δεν τροποποιείται είχε ως αποτέλεσμα τα τριμμένα παλαιά ελαστικά αυτοκινήτων να χρησιμοποιούνται σε περιορισμένη κλίμακα και από χώρες που παρουσιάζουν έντονο περιβαλλοντικό πρόβλημα εναπόθεσης των παλαιών ελαστικών.

4.5 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ ΜΕ ΘΕΡΜΟΠΛΑΣΤΙΚΑ

Η τροποποίηση της ασφάλτου με θερμοπλαστικά είναι επίσης διαδεδομένη για την παραγωγή τροποποιημένης ασφάλτου. Η ασφάλτος που παράγεται ονομάζεται θερμοπλαστική ή πολυμερής ασφάλτος.

Θερμοπλαστικά (thermoplastics) ή θερμοπλαστικά πολυμερή είναι τα πολυμερή που θερμαινόμενα πάνω από μία θερμοκρασία (θερμοκρασία υαλώδους μεταπτώσεως, T_g) καθίστανται μαλακά και μορφοποιήσιμα ενώ με την απομάκρυνση της θερμοκρασίας σκληραίνουν και διατηρούν το σχήμα τους. Η δυνατότητα μετακίνησης και επαναφοράς τμημάτων των μακρομοριακών αλυσίδων, σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος, είναι περιορισμένη. Η μόνη κίνηση που παρατηρείται είναι οι δονήσεις τάσης, κάμψης ή στρέψης των δεσμών των μακρομορίων. Έτσι, σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος τα θερμοπλαστικά πολυμερή δεν παρουσιάζουν ελαστικές ιδιότητες και είναι γνωστά και ως πλαστικά υλικά. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι ενώ όλα τα πλαστικά είναι πολυμερή, το αντίστροφο, όμως, δεν ισχύει.

Τα κυριότερα θερμοπλαστικά που χρησιμοποιήθηκαν για την τροποποίηση της ασφάλτου οδοστρωσίας είναι: το πολυαιθυλένιο, το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), το πολυπροπυλένιο, το πολυστυρόλιο και τα συμπολυμερή αιθυλενίου-οξικού βινυλεστέρα (EVA) .

Όλα τα θερμοπλαστικά υλικά και ειδικότερα τα προαναφερθέντα είναι συμβατά με την ασφάλτο, πλην όμως η αποτελεσματικότητα του προσθετικού και οι χαρακτηριστικές ιδιότητες της τροποποιημένης ασφάλτου εξαρτώνται, όπως και

στα ελαστομερή πρόσθετα, από το είδος και την ποσότητα του θερμοπλαστικού, τη χημική σύσταση της ασφάλτου (κυρίως το ποσοστό των ασφαλτενίων) και τον τρόπο ανάμιξης.

Η προσθήκη θερμοπλαστικού υλικού στην ασφαλτο αυξάνει το ιξώδες αυτής, και σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος, γίνεται πιο σκληρή. Η ελαστικότητα της ασφάλτου δεν επηρεάζεται σημαντικά. Η μη ουσιαστική βελτίωση της ελαστικότητας της ασφάλτου καθώς επίσης και το γεγονός ότι κατά τη θέρμανση, της τροποποιημένης ασφάλτου, παρατηρείται διαχωρισμός του θερμοπλαστικού, με αποτέλεσμα να διαταράσσεται ο ομοιόμορφος διασκορπισμός αυτού είναι τα κύρια μειονεκτήματα της θερμοπλαστικής ή πολυμερούς ασφάλτου έναντι της ελαστομερούς ασφάλτου. Το τελευταίο αποκαθίσταται κατά ένα μεγάλο βαθμό με την επανακυκλοφορία αυτής στο κύκλωμα των σωληνώσεων λίγο πριν τη χρήση της.

4.5.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΘΕΡΜΟΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΟΣ ΜΕ ΘΕΡΜΟΠΛΑΣΤΙΚΗ ΑΣΦΑΛΤΟ

Με την προσθήκη θερμοπλαστικού υλικού στην ασφαλτο τροποποιούνται ορισμένες από τις χαρακτηριστικές ιδιότητες της κοινής ασφάλτου. Ειδικότερα, μειώνεται η διεισδυτικότητα και αυξάνει το σημείο μάλθωσης. Οι αλλαγές αυτές δηλώνουν ότι η ασφαλτος μετά την τροποποίηση γίνεται πιο σκληρή και λιγότερο ευαίσθητη στις υψηλές θερμοκρασιακές μεταβολές. Επίσης, αυξάνεται η συνδετική ικανότητα της ασφάλτου, θετική αλλαγή για την καλύτερη πρόσφυση ασφάλτου επί των αδρανών και τη συνοχή του ασφαλτομίγματος ιδιαίτερα στην περίπτωση ανοικτού τύπου. Πλην όμως, η θερμοκρασία θραύσης κατά Fraass καθώς και η ελαστικότητα της ασφάλτου δε βελτιώνεται αισθητά. Αντιθέτως ορισμένες φορές επέρχεται μικρή μείωση της θερμοκρασίας θραύσης κατά Fraass.

Η χρήση θερμοπλαστικής ασφάλτου για την παραγωγή ασφαλτομίγματος αυξάνει χαρακτηριστικά το δυναμικό και το μέτρο δυσκαμψίας αυτού, πλην όμως δε βελτιώνει, κατά κανόνα, καθόλου την ελαστική συμπεριφορά του ασφαλτομίγματος. Έτσι, το ασφαλτόμιγμα με πολυμερή ασφαλτο παρουσιάζει καλή αντίσταση στην παραμόρφωση για όλο το φάσμα των θερμοκρασιών, αλλά κατά κανόνα ρηγματώνεται λόγω κόπωσης το ίδιο εύκολα ή και γρηγορότερα από το κοινό ασφαλτόμιγμα, ιδιαίτερα σε χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Από πρόσφατη έρευνα αξιολόγησης ασφαλτομιγμάτων με τροποποιημένη ασφαλτο, βρέθηκε ότι οι στρώσεις από ασφαλτικό σκυρόδεμα με θερμοπλαστική ασφαλτο ρηγματώθηκαν εντονότερα και σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα έναντι των στρώσεων από ασφαλτικό σκυρόδεμα με ελαστομερή ασφαλτο. Λόγω των παραπάνω ιδιοτήτων, η θερμοπλαστική ασφαλτος, εφόσον επιλεγθεί να χρησιμοποιηθεί, συνίσταται να χρησιμοποιείται

σε περιοχές με υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος όπου αναμένεται να υπάρχει έντονο πρόβλημα παραμορφωσιμότητας των ασφαλτικών στρώσεων και όχι επί ρηγματωμένων επιφανειών.

Όσον αφορά τις χαρακτηριστικές ιδιότητες Marshall του ασφαλτομίγματος, η χρήση πολυμερούς ασφάλτου, αυξάνει την ευστάθεια και μειώνει την παραμόρφωση για το ίδιο ποσοστό βέλτιστης περιεκτικότητας συνδετικού υλικού στο μίγμα.

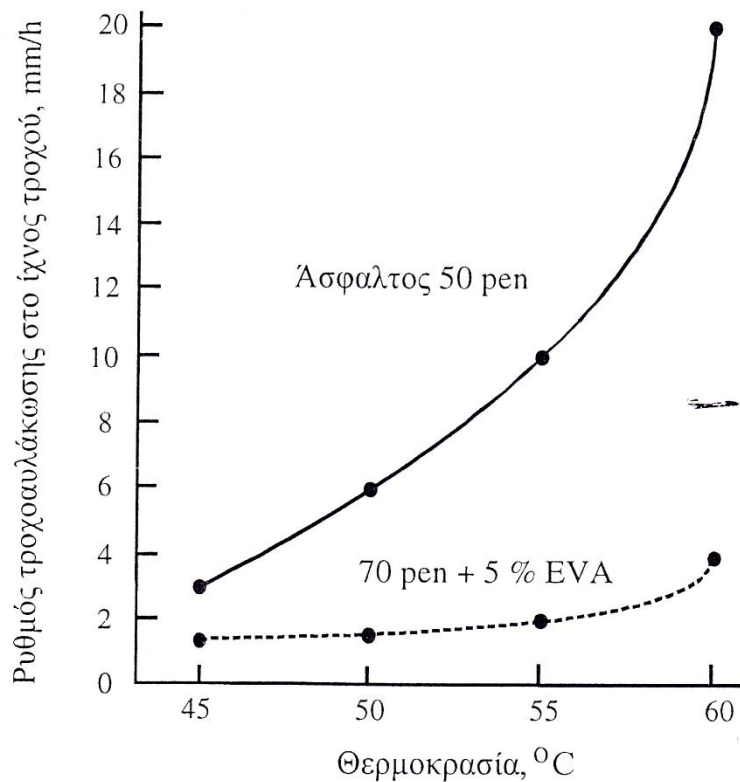
Από όλα τα προαναφερθέντα θερμοπλαστικά υλικά, αυτά που χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα είναι τα συμπολυμερή αιθυλενίου-οξικού βινυλεστέρα (EVA). Τα συμπολυμερή EVA παράγονται από συμπολυμερισμό του αιθυλενίου και του οξικού βινυλεστέρα και έχουν τυχαία δομή στο χώρο. Οι ιδιότητες των συμπολυμερών EVA και κατ' επέκταση της τροποποιημένης ασφάλτου επηρεάζονται από την περιεκτικότητα σε οξικό βινυλεστέρα και το μοριακό βάρος του συμπολυμερούς. Μικρότερο το μοριακό βάρος του συμπολυμερούς, μικρότερο το ιξώδες αυτού και κατά συνέπεια μικρότερο το ιξώδες της τροποποιημένης ασφάλτου. Όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα του οξικού βινυλεστέρα τόσο μεγαλύτερο είναι το ελαστικό μέρος του συμπολυμερούς. Πλην όμως, η κρυσταλλική δομή του αιθυλενίου, η οποία προσδίδει και τη σκληρότητα, είναι ο καθοριστικός παράγοντας της συμπεριφοράς του συμπολυμερούς.

Οι χαρακτηριστικές αλλαγές που επέρχονται στην άσφαλο και στο ασφαλτόμιγμα, χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικά συμπολυμερή EVA δίνονται στον Πίνακα 4.2.

Όπως φαίνεται στον πίνακα 4.2, η διεισδυτικότητα μειώνεται, η θερμοκρασία μάλθωσης αυξάνεται, η ευστάθεια Marshall αυξάνεται και η παραμόρφωση κατά Marshall μειώνεται αναλόγως του τύπου του συμπολυμερούς EVA που χρησιμοποιείται. Η θετική επίδραση της χρήσης συμπολυμερούς EVA στην παραμένουσα παραμόρφωση σε υψηλές θερμοκρασίες φαίνεται στο Σχήμα 4.6. Όπως φαίνεται στο σχήμα αυτό ο ρυθμός αυλάκωσης των μιγμάτων με θερμοπλαστική άσφαλο είναι, για την ίδια θερμοκρασία, μικρότερος και γενικότερα ευαίσθητος στην αύξηση των θερμοκρασιών.

Άσφαλτος	Ιδιότητες ασφάλτου		Ιδιότητες Marshall		
	Διεισδυτικότητα 25°C,(pen)	Σημείο Μάλθωσης (°C)	Ευστάθεια (KN)	Παραμόρφωση (mm)	Λόγος Marshall (KN/mm)
70 pen	68	49.0	6.3	3.3	4.4
70pen+5% EVA 1	50	65.5	7.6	3.2	0.8
70pen+5% EVA 2	57	58.0	8.0	2.7	1.0

Πίνακας 4.2 Επίδραση συμπολυμερών EVA στην άσφαλο και το θερμό ασφαλτόμιγμα κυλινδρούμενου τύπου



Σχήμα 4.6 Ρυθμός τροχοαυλάκωσης σε τροποποιημένη άσφαλτο με EVA και σε κοινή άσφαλτο 40/50pen

4.6 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΑΣΦΑΛΤΟΥ ΜΕ ΘΕΡΜΟΣΚΛΗΡΥΝΟΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ (ΡΗΤΙΝΕΣ)

Η χρήση των θερμοσκληρυνόμενων πολυμερών δεν είναι τόσο ευρεία όσο των άλλων πολυμερών στην παραγωγή τροποποιημένης ασφάλτου, παρόλο που οι ιδιότητες της ασφάλτου βελτιώνονται σε όλους ανεξαιρέτως τους τομείς και η παραχθείσα άσφαλτος έχει ότι καλύτερο μπορεί να παρουσιάσει η χημική βιομηχανία. Η θερμοσκληρυνόμενη άσφαλτος έχει άριστη αντίσταση σε παραμόρφωση, άριστη ελαστικότητα, υψηλό μέτρο δυσκαμψίας και άριστη συγκολλητική ικανότητα.

Τα θερμοσκληρυνόμενα υλικά ή ρητίνες είναι πολυμερή που μορφοποιούνται με χημική αντίδραση με την επίδραση θερμοκρασίας, καταλύτη ή και παρουσία χημικών ενώσεων σε άτηκτη, αδιάλυτη μάζα η οποία δεν μπορεί να ξαναμορφοποιηθεί, δηλαδή να καταστεί εύπλαστη, με θέρμανση. Τα θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή παράγονται από την ανάμιξη δύο ρευστών συστατικών, από τα οποία το ένα περιέχει μία ρητίνη και το άλλο ένα σκληρυντικό το οποίο αντιδρά χημικά και σχηματίζει ένα πυκνό και ισχυρό

δικτυωτό πλέγμα στο χώρο. Από τις ρητίνες, συνήθως, για την παραγωγή τροποποιημένης ασφάλτου, χρησιμοποιείται η εποξειδική ρητίνη. Έτσι, η ασφαλτος που παράγεται ονομάζεται και εποξειδική ασφαλτος ή ρητινούχα ασφαλτος.

Η εποξειδική ασφαλτος παρουσιάζει τις ιδιότητες του θερμοσκληρυνόμενου πολυμερούς και όχι της ασφάλτου. Έτσι, ο διαθέσιμος χρόνος χρησιμοποίησης της τροποποιημένης ασφάλτου είναι περιορισμένος και εξαρτάται πάρα πολύ από τη θερμοκρασία ανάμιξης. Όσο πιο μεγάλη είναι η θερμοκρασία, τόσο πιο σύντομος είναι ο χρόνος χρησιμοποίησης. Μετά την εφαρμογή, η θερμοσκληρυνόμενη ασφαλτος αρχίζει να «ωριμάζει» και να αυξάνει την αντοχή της (σκληραίνει). Ο χρόνος ωρίμανσης εξαρτάται από τις θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Όσο πιο χαμηλές είναι οι θερμοκρασίες περιβάλλοντος τόσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος ωρίμανσης. Αφού επέλθει η πλήρης ωρίμανση, η μελλοντική αύξηση της θερμοκρασίας, που την κοινή ασφαλτο θα τη μαλάκωνε, δεν επιφέρει καμία μεταβολή στη σκληρότητα της θερμοσκληρυνόμενης ασφάλτου. Η τελείως ωριμασμένη ασφαλτος είναι ένα ελαστικό υλικό που δεν έχει ιξώδη συμπεριφορά και επίσης είναι πολύ ανθεκτική στις διάφορες χημικές ουσίες συμπεριλαμβανομένων και των διαλυτών, του πετρελαίου και των λαδιών.

4.6.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΩΝ ΜΕ ΘΕΡΜΟΣΚΛΗΡΥΝΟΜΕΝΗ ΑΣΦΑΛΤΟ

Τα ασφαλτομίγματα που παράγονται με θερμοσκληρυνόμενη ασφαλτο υπερτερούν κατά πολύ των ασφαλτομιγμάτων με κοινή ασφαλτο. Τα ασφαλτομίγματα αυτά έχουν πολύ υψηλό δυναμικό και στατικό μέτρο δυσκαμψίας ακόμη και σε υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, υψηλή ευστάθεια κατά Marshall, άριστη αντίσταση σε παραμόρφωση, είναι περισσότερο ελαστικά με συνέπεια να παρουσιάζουν πολύ καλή συμπεριφορά σε κόπωση και έχουν υψηλή συνεκτικότητα. Τυπικά συγκριτικά αποτελέσματα από ασφαλτομίγματα κυλινδρούμενου τύπου με εποξειδική και κοινή ασφαλτο δίνονται στον Πίνακα 4.3. Όπως φαίνεται στον πίνακα αυτόν όλες οι χαρακτηριστικές ιδιότητες του ασφαλτομίγματος βελτιώθηκαν κατά πολύ σημαντικό ποσοστό.

Ιδιότητες μίγματος	Με εποξειδική ασφαλτο	Με κοινή ασφαλτο
Ευστάθεια Marshall, (KN)	45	7.5
Παραμόρφωση Marshall, (mm)	4.0	4.0
Λόγος Marshall, KN/mm	11.2	1.9
Μέτρο δυσκαμψίας, (KN/m ²)		
στους 0°C	2.0*10 ¹⁰	1.5*10 ¹⁰
στους 20°C	1.2*10 ¹⁰	3.0*10 ⁹
στους 40°C	3.3*10 ⁹	4.0*10 ⁸
στους 60°C	9.5*10 ⁸	
Αντίσταση σε κόπωση, (αριθμ. φορτίσεων)		
με 6% συνδετικό υλικό	1.0*10 ⁶	3.0*10 ⁴
7% συνδετικό υλικό	>2.0*10 ⁶	2.0*10 ⁵

Πίνακας 4.3 Συγκριτικά αποτελέσματα ασφαλτομίγματος κυλινδρούμενου τύπου με κοινή και με εποξειδική ασφαλτο

Παρόλο που η χρήση θερμοσκληρυνόμενων πολυμερών έχει τα πλέον θετικά αποτελέσματα από όλα τα πολυμερή, η χρήση αυτών είναι περιορισμένη. Ο λόγος της μη ευρείας χρήσης αυτών είναι το υψηλότερο, από κάθε άλλο προσθετικό, συνολικό κόστος προμήθειας και εφαρμογής του τελικού προϊόντος, της τροποποιημένης ασφάλτου. Έτσι, σήμερα η τροποποιημένη ασφαλτος με θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή χρησιμοποιείται σε συγκεκριμένες περιπτώσεις όπου το κόστος της κατασκευής δεν είναι καθοριστικός παράγοντας, όπως μείωση ή εξάλειψη κινδύνου ατυχημάτων που οφείλονται στην ολισθηρότητα, ή όπου το σύστημα ασφαλτος- αδρανή καταπονείται ιδιαίτερα και ταυτόχρονα επιζητείται διαρκής και άριστη συμπεριφορά αυτού. Τέτοιες περιπτώσεις είναι: α) η άριστη αντιολισθηρή ικανότητα της επιφάνειας του οδοστρώματος που απαιτείται σε πολύ επικίνδυνες θέσεις με υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο, β) οι γέφυρες με σιδηρό κατάστρωμα, όπου το ασφαλτόμιγμα καταπονείται ιδιαίτερα και υπάρχει απαίτηση για άριστη συγκόλληση του τάπητα με το κατάστρωμα της γέφυρας καθώς και για αυξημένη αντίσταση του μίγματος σε παραμένουσα παραμόρφωση και γ) θέσεις όπου, λόγω του υψηλού κυκλοφοριακού φόρτου και της χρησιμότητας της οδού (αυτοκινητόδρομοι ή αστικές οδοί), οι συχνές συντηρήσεις πρέπει να αποφεύγονται.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι σε ορισμένες χώρες όπως Αγγλία, η ρητινούχα ασφαλτος είναι το μόνο συνδετικό υλικό που συνιστάται και προδιαγράφεται να

χρησιμοποιηθεί, μαζί με πολύ σκληρά αδρανή (όπως πεφρυγμένος βωξίτης), για την επίτευξη συστήματος που παρέχει υψηλή αντολισθηρή ικανότητα μεγάλης διάρκειας.

Τέλος, τα τελευταία χρόνια εμφανίσθηκαν στην ευρωπαϊκή αγορά νέα θερμοπλαστικά πολυμερισμένα ρητινούχα υλικά σε αντικατάσταση της εποξειδικής ρητίνης. Αυτά είναι πολυμερισμένοι ρητινούχοι εστέρες, ακρυλικές ρητίνες και πολυουρεθανικές ρητίνες. Το πλεονέκτημα αυτών των υλικών είναι ότι ο χρόνος ωρίμανσης είναι πολύ σύντομος (μόλις 15 λεπτά) και ανεξάρτητος της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Επίσης τα υλικά αυτά είναι πολύ εύκολα στη χρήση τους διότι διατίθενται στο εμπόριο ως έτοιμο μίγμα σκόνης μαζί με τα αδρανή και το μόνο που απαιτείται είναι η θέρμανση του μίγματος πριν την εφαρμογή του.

4.7 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΑΣΦΑΛΤΟΥ ΜΕ ΙΝΕΣ

Η προσθήκη ινών στην ασφάλτο δεν τροποποιεί καμία χαρακτηριστική ιδιότητα αυτής, πλην όμως λειτουργεί ως ενισχυτικό της αντοχής του ασφαλτομίγματος. Επειδή τροποποιεί την αντοχή του ασφαλτομίγματος ο όρος τροποποιημένη ασφάλτος με ίνες χρησιμοποιείται με την ευρεία έννοιά του.

Οι ίνες που προστίθενται στην ασφάλτο ή το ασφαλτόμιγμα είναι φυσικής ή τεχνητής προέλευσης όπως: κυτταρινικής φύσης, ορυκτές ίνες αμιάντου ή μίγματος διαβάση και δολομίτη, σιδήρου, υάλου, ζωικές, άνθρακα και πλαστικές ίνες (πολυεστερικές, πολυακρυλικές, πολυπροπυλενικές κ.α.).

Η προσθήκη των ινών γίνεται στο στάδιο της παραγωγής του ασφαλτομίγματος καθώς επίσης αμέσως μετά τον ψεκάσμό της επιφάνειας με ασφάλτο ή ασφαλτικό γαλάκτωμα. Με το τελευταίο επιτυγχάνεται η δημιουργία μιας μεμβράνης που δύναται να απορροφήσει υψηλές εφελκυστικές τάσεις. Η μεμβράνη αυτή λέγεται ότι μπορεί να λειτουργήσει ως επιβραδυντής της εμφάνισης των ρωγμών σε συντηρηθέντα ρηγματωμένο τάπητα (reflecting cracking).

Ο σκοπός που χρησιμοποιούνται οι ίνες στο ασφαλτόμιγμα είναι σήμερα δυαδικός. Πρώτον για να αυξήσουν την αντοχή του μίγματος και δεύτερον για να επιτρέψουν την προσθήκη περισσότερης ποσότητας ασφάλτου στο μίγμα και να επιβραδύνουν την οξείδωση της ασφάλτου αυξάνοντας έμμεσα την αντοχή τους σε κόπωση και τη διάρκεια ζωής του τάπητα. Από όλες τις ίνες, αυτές που επιτρέπουν μεγαλύτερη αύξηση ασφάλτου στο μίγμα είναι οι κυτταρινικές. Τα μίγματα στα οποία συνήθως προστίθενται ίνες είναι αυτά που χρησιμοποιούνται για λεπτοτάπητες με άριστη μακροφύη, όπως το γερμανικό Splittmastix, ή για πορώδεις τάπητες με μεγάλο ποσοστό κενών ή για μίγματα με χαμηλό ποσοστό κενών και με μεγάλη αντίσταση σε κόπωση. Πρόσφατα, η προσθήκη πλαστικών ινών καθώς και ινών σιδήρου έδωσε ασφαλτομίγματα με καλή συμπεριφορά και στην παραμένουσα παραμόρφωση. Στα μίγματα αυτά είχε προστεθεί, για μεν τα

μίγματα με ίνες σιδήρου, ποσότητα 0.4-1.5%, για δε τα μίγματα με πλαστικές ίνες, ποσότητα 0.1-0.7% κατά βάρος μίγματος.

Σε κάθε περίπτωση χρήσης ινών, εκτός της επαρκούς ποσότητας ινών, θα πρέπει να εξασφαλίζεται: α) η ομοιόμορφη κατανομή αυτών στο μίγμα, β) το βέλτιστο μήκος αυτών που είναι συνάρτηση του είδους των ινών που χρησιμοποιείται και γ) η ανθεκτικότητα αυτών σε υψηλές θερμοκρασίες (μεγαλύτερες αυτής της θερμής ασφάλτου).

4.8 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΑΣΦΑΛΤΟΥ ΜΕ ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΑ

Τα οξειδωτικά υλικά είναι οργανο-μεταλλικά άλατα, κυρίως οξείδιο του μαγγανίου ή μαγνησίου, τα οποία προστιθέμενα στην ασφαλτο προκαλούν την οξείδωση αυτής με αποτέλεσμα η ασφαλτος να γίνεται λιγότερο ευαίσθητη στις θερμοκρασιακές μεταβολές και κατά συνέπεια να βελτιώνεται η ευστάθεια και η δυσκαμψία του ασφαλτομίγματος καθώς και η αντίστασή του σε παραμένουσα παραμόρφωση και όχι η ελαστικότητα ή η αντοχή του σε εφελκυσμό (ρηγμάτωση).

Τα οργανομεταλλικά άλατα για να είναι δυνατόν να διαλύονται στην ασφαλτο αναμιγνύονται με άλλες ελαιικές χημικές ενώσεις (φορέας) και έτσι παράγεται ο τελικός τροποποιητής, με μορφή ρευστού, χρώματος καφέ σκούρου. Ο βαθμός επίδρασης των τροποποιητών αυτών στην ασφαλτο εξαρτάται από τη συγκέντρωση του οργανομεταλλικού άλατος και από το ιξώδες του ελαιικού φορέα. Έτσι οι δύο αυτές παράμετροι θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή.

Στο εμπόριο κυκλοφορεί κυρίως ένας τύπος τροποποιητή αυτού του είδους με την πατενταρισμένη ονομασία Chemcrete. Το Chemcrete είναι άλας μαγγανίου με ή χωρίς την προσθήκη οργανο-κοβαλτίου ή οργανο-χαλκού. Ο τροποποιητής αυτός προστίθεται στην ασφαλτο σε θερμοκρασίες όμοιες των θερμοκρασιών ανάμιξης ανά τύπο ασφάλτου (135-165 °C). Με την προσθήκη του τροποποιητού αυτού στην ασφαλτο επέρχεται, στο αρχικό στάδιο, μείωση του ιξώδους αυτής. Αυτό συμβάλλει στην αύξηση της εργασιμότητας του μίγματος. Αμέσως μετά την παραγωγή και διάστρωση του ασφαλτομίγματος αρχίζει η ελεγχόμενη αντίδραση οξείδωσης και η ωρίμανση του μίγματος. Ο ρυθμός της αντίδρασης εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το διαθέσιμο οξυγόνο στο μίγμα (κενά αέρος), από το πάχος υμένας της ασφάλτου και από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Όσο περισσότερα κενά υπάρχουν στο μίγμα, όσο λεπτότερος είναι ο υμένας ασφάλτου και όσο μεγαλύτερη είναι η ατμοσφαιρική θερμοκρασία τόσο πιο γρήγορος είναι ο ρυθμός ωρίμανσης.

Κατά την ωρίμανση αυξάνει η δυσκαμψία και η ευστάθεια του ασφαλτομίγματος. Ο χρόνος της τελικής ωρίμανσης είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων (όπως τύπος μίγματος, συνθήκες έργου, ποσοστό τροποποιητού κ.ά.) και μπορεί να είναι από λίγους μήνες έως λίγα χρόνια. Από εφαρμογή

βρέθηκε ότι η ευστάθεια κατά Marshall ενός μίγματος αμμοσφάλτου αυξήθηκε κατά τεσσαράμισι φορές περίπου τους πρώτους 12 μήνες. Η μέγιστη αύξηση που παρατηρήθηκε στο ίδιο μίγμα ήταν περίπου επτά φορές μετά από τρία περίπου χρόνια. Όσον αφορά τη συμπεριφορά του ίδιου ασφαλτομίγματος σε παραμόρφωση βρέθηκε ότι, ενώ ο ρυθμός αυλάκωσης στους 45°C τις πρώτες μέρες μετά την κατασκευή ήταν 5mm/h, έξι μήνες μετά μειώθηκε στο 1mm/h. Σε έρευνα που έγινε στην Ελλάδα χρησιμοποιώντας ασφαλτικό σκυρόδεμα εξήχθησαν τα ίδια αποτελέσματα όσον αφορά τις αλλαγές που επέρχονται στην τροποποιημένη άσφαλο και τη συμπεριφορά του ασφαλτομίγματος. Η αύξηση που παρατηρήθηκε στην ευστάθεια και στην αντίσταση του μίγματος σε παραμόρφωση, μετά από εργαστηριακή ωρίμανση των δοκιμίων (μία εβδομάδα σε φούρνο 60°C) ήταν της τάξεως του 10-30% για την ευστάθεια και 200-300% για το στατικό μέτρο δυσκαμψίας.

Θα πρέπει να τονισθεί ότι σε κάθε χρήση του Chemcrete θα πρέπει να ελέγχεται επιμελώς το ποσοστό που πρέπει να προστεθεί στην άσφαλο διότι όχι μόνο μπορεί να παραχθεί μίγμα με πολύ μεγάλη δυσκαμψία- με συνέπεια να ρηγματώνεται εύκολα τους χειμερινούς μήνες- αλλά να παραχθεί μίγμα που να παραμορφώνεται υπερβολικά τους πρώτους μήνες μετά την κατασκευή με αποτέλεσμα την πρόωρη εμφάνιση αυλακώσεων. Για τους παραπάνω λόγους η χρήση του τροποποιητή αυτού έχει περιορισθεί στο ελάχιστο.

4.9 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΑΣΦΑΛΤΟΥ ΜΕ ΠΑΙΠΑΛΕΣ ΦΥΣΙΚΩΝ Ή ΧΗΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Η τροποποίηση της ασφάλτου με παιπάλες φυσικών ή χημικών υλικών είναι μία παλαιά και πολύ οικονομική τακτική που σκοπό έχει να αυξήσει τη σκληρότητα μόνο της ασφάλτου προς αντιμετώπιση της παραμορφωσιμότητας των ταπήτων. Σήμερα, με την εμφάνιση όλων των προαναφερθέντων υλικών, η τακτική αυτή δε χρησιμοποιείται σχεδόν καθόλου στην κατασκευαστική οδοποιία. Η προσθήκη παιπάλης στην άσφαλο χρησιμοποιείται ευρέως για την παραγωγή ασφαλτούχων υγρομονωτικών υλικών.

Ως υλικά χρησιμοποιήθηκαν κατά καιρούς τσιμέντο, ασβέστης, παιπάλη από ασβεστολιθικά ή άλλα πετρώματα και θείο. Με όλα τα πρόσθετα πλην του θείου δεν επέρχεται καμία ουσιαστική μεταβολή στη δομή της ασφάλτου. Με το θείο επέρχεται μεταβολής της δομής της ασφάλτου διότι αναπτύσσεται χημική αντίδραση με το αρωματικό μέρος, κυρίως ναφθένια, της ασφάλτου. Η θερμοκρασία ανάμιξης θείου και ασφάλτου καθώς και η ποσότητα που προστίθεται είναι καθοριστικοί παράγοντες για τη σκληρότητα της τροποποιημένης ασφάλτου. Οι θερμοκρασίες που χρησιμοποιούνται είναι 120-150°C ενώ το ποσοστό που προστίθεται μπορεί να φτάσει μέχρι και το 30% κατά βάρος ασφάλτου. Το ασφαλτόμιγμα που παράγεται έχει μεγάλο μέτρο δυσκαμψίας με συνέπεια να συμβάλλει αισθητά στη μείωση των τάσεων που

μεταφέρονται στις υποκείμενες στρώσεις και παράλληλα είναι πολύ ανθεκτικό στην παραμένουσα παραμόρφωση. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα των μιγμάτων με θείο είναι το γεγονός ότι είναι περισσότερο εργάσιμο και συμπυκνώνεται πολύ εύκολα, εάν η συμπύκνωση γίνει στις ενδεδειγμένες θερμοκρασίες. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο πολύ χαμηλό ιξώδες του θείου σε σύγκριση με την ασφάλτο. Για τους παραπάνω λόγους συν το γεγονός ότι το κόστος του είναι πολύ μικρό και βρίσκεται σε αφθονία σε ορισμένες χώρες, το θείο χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα σε αρκετές. Το βασικό μειονέκτημα της χρήσης του θείου είναι η παραγωγή υδρόθειου, το οποίο είναι τοξικό αέριο. Σε θερμοκρασίες πάνω από 150°C ο ρυθμός εκπομπής υδρόθειου αυξάνει δραστικά και μπορεί να προξενήσει βλάβες στην υγεία μέχρι και το θάνατο. Έτσι λοιπόν, σε περίπτωση που πρέπει να χρησιμοποιηθεί, θα πρέπει να τηρούνται με ευλάβεια οι θερμοκρασίες ανάμιξη και οι κανόνες προστασίας των εργαζομένων.

4.10 ΆΛΛΑ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΑ

Στην ασφάλτο ορισμένες φορές προστίθενται διάφορα έλαια υψηλού μοριακού βάρους (συνήθως προέρχονται από παλαιά λάδια αφού γίνει η σχετική κατεργασία αναζωογόνησης) ή αναγωγικά υλικά (όπως άνθρακας ή φθοριούχα άλατα που σκοπό έχουν να βελτιώσουν το ιξώδες (συνήθως να το μειώσουν) ή να αναζωογονήσουν τις ιδιότητες της ασφάλτου. Οι περιπτώσεις κατά τις οποίες χρησιμοποιούνται αυτού του είδους προσθετικά είναι δύο: στην ανακύκλωση παλαιών ασφαλτικών οδοστρωμάτων και στις χώρες με πολύ χαμηλές περιβαλλοντικές θερμοκρασίες για μεγάλο χρονικό διάστημα του έτους.

Στην πρώτη περίπτωση μαζί με τα βαρέα έλαια προστίθεται και ασφάλτος για να βελτιωθεί και η συγκολλητική ικανότητα της ήδη γηρασμένης ασφάλτου. Το ποσοστό και είδος που προστίθεται καθορίζεται από τη χημική βιομηχανία που προμηθεύει τα υλικά αυτά λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιότητες της γηρασμένης ασφάλτου που εμπεριέχεται στο παλαιό προς ανακύκλωση οδόστρωμα. Τα υλικά αυτά είναι επίσης γνωστά και ως αναζωογονητές ασφάλτου.

Στη δεύτερη περίπτωση η προσθήκη των ελαίων αποσκοπεί αποκλειστικά και μόνο στη μείωση του ιξώδους της ασφάλτου προς βελτίωση της εργασιμότητας του μίγματος κατά το στάδιο της διάστρωσης και της συμπύκνωσης. Η τακτική αυτή είναι πολύ συνήθης σε χώρες με ψυχρά κλίματα, όπως οι Σκανδιναβικές χώρες, με αποτέλεσμα τα έλαια (μαζί με κάποιο ποσοστό διαλύτη) να φέρουν την ονομασία Σκανδιναβικό λάδι.

4.11 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΑΣΦΑΛΤΩΝ

Για τη διασφάλιση της ποιότητας της κατασκευής και δεδομένου ότι υπάρχει πληθώρα τροποποιημένων ασφάλτων με διάφορες εμπορικές ονομασίες οι

οποίες διαφέρουν από χώρα σε χώρα αλλά και από εταιρία σε εταιρία, θα πρέπει να υπάρχουν προδιαγραφές που να καθορίζουν τις απαιτούμενες ιδιότητες της τροποποιημένης ασφάλτου. Επί του παρόντος στη χώρα μας όπως και σε πολλές άλλες χώρες οι ιδιότητες ορίζονται από τις εταιρείες που παράγουν τις τροποποιημένες ασφάλτους. Αφήνεται στην επιστημονική κατάρτιση και κρίση του μηχανικού να αποφασίσει ποιο από τα προϊόντα που του προσφέρονται είναι το καταλληλότερο ανά περίπτωση. Το γεγονός αυτό δε διασφαλίζει πάντοτε την ορθή επιλογή του προϊόντος.

Από τις λίγες χώρες που εξέδωσαν προδιαγραφές για τροποποιημένες ασφάλτους, και ειδικότερα για ελαστομερείς και θερμοπλαστικές ασφάλτους για την παραγωγή ασφαλτομιγμάτων, οι πληρέστερες φαίνονται να είναι οι Αμερικανικές και οι Γερμανικές. Συνεπώς, για τις ανάγκες της χώρας μας και μέχρι να υπάρξουν Ελληνικές προδιαγραφές προτείνεται όπως χρησιμοποιούνται οι Αμερικανικές προδιαγραφές ASTM D 5976 ή ASTM D 5841 ή οι Γερμανικές προδιαγραφές. Στις ίδιες προδιαγραφές δίνονται επίσης και οι ιδιότητες των τροποποιημένων γαλακτωμάτων με πολυμερή για ασφαλτικές επαλείψεις, μετά ή άνευ διαλυτών όπως και οι ιδιότητες των πολυμερών ασφάλτων με διαλύτες για ασφαλτικές επαλείψεις.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι όταν η ελαστομερής ή θερμοπλαστική άσφαλτος χρησιμοποιείται για άλλες χρήσεις, όπως υλικό πλήρωσης αρμών ασφαλτικές μεμβράνες για υδρομόνωση κλπ., οι παραπάνω προδιαγραφές δεν μπορούν να εφαρμοσθούν. Στις περιπτώσεις αυτές, επειδή η περιεκτικότητα σε πολυμερές είναι μεγαλύτερη από αυτήν που απαιτείται για την οδοστρωσία και οι απαιτήσεις διαφορετικές, θα πρέπει να εφαρμόζονται και οι αντίστοιχες προδιαγραφές (ASTM D 1190, D 5329).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΟΔΟΠΟΙΑ, ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ – ΥΛΙΚΑ, ΕΛΕΓΧΟΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Α.Θ.ΝΙΚΟΛΑΙΔΗΣ

2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΔΟΠΟΙΑΣ

Ι.Δ. ΚΟΦΙΤΣΑΣ

3. ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ “ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ” (2009-10)

Dr ΑΝΤΩΝΗΣ ΚΥΡΙΑΖΟΠΟΥΛΟΣ ΚΑΘ. ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΕΙ ΑΘΗΝΑΣ – ΣΤΕΦ ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

4. ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ “ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΣΦΑΛΤΙΚΩΝ” (2010)

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΛΑΜΠΑΚΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ, MSC ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ-ΣΤΕ ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

5. Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΥΠΕΡΥΘΡΗΣ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΟ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΕΠΤΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ:ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ (2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας – ΒΟΛΟΣ 2005)

Ν.Π. ΑΒΔΕΛΙΔΗΣ Δρ. ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Ε.Μ.Π. –Α.ΜΟΡΟΠΟΥΛΟΥ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ Ε.Μ.Π.

6. ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΥΛΙΚΑ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΟΔΟΠΟΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΜΑΚΡΙΔΟΥ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ - ΠΑΝΙΩΡΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ Α.Τ.Ε.Ι.ΘΕΣ/ΝΙΚΗΣ - ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ (2009)

7. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ - ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ ΜΑΤΘΑΙΟΣ – ΜΕΓΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ Α.Τ.Ε.Ι.ΘΕΣ/ΝΙΚΗΣ - ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ (2008)

8. ΤΕΧΝΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΤΟΜΟΣ 3 (ΑΘΗΝΑ 2005) – ΤΟΜΟΣ 4 (ΑΘΗΝΑ 2006)

ΑΙΜ.Γ. ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π. – Γ.Ι. ΠΟΥΛΑΚΟΣ ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

9. PAsER MANUAL-ASPHALT ROADS

TRANSPORTATION INFORMATION CENTER - UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

10. ASPHALT PAVEMENT PRESERVATION

LONE STAR ROADS TEXAS, JOE S. GRAFF P.E.

11. STUDY ON AGING CAPABILITY OF PAVING ASPHALT (2005)

YUFENG CONG, WEI HUANG, LIAO KEJIAN – PETROLEUM SCIENCE AND TECHNOLOGY

12. A STUDY ON ANTIAGING PERFORMANCES OF TWO PAVING ASPHALTS (2004)

KEJIAN LIAO, YI WEI, FENG YAN, YUFENG CONG, YUCHUM ZHAI – PETROLEUM SCIENCE AND TECHNOLOGY

13. ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε.: ΟΔΗΓΙΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΩΝ-ΚΥΡΙΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ (2004)

Δ. ΕΥΑΓΓΕΛΙΔΗΣ Δρ. ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ

14. ΠΗΓΕΣ ΙΝΤΕΡΝΕΤ