

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:**

**Η ΑΣΦΑΛΤΟΣ ΣΤΗΝ ΟΔΟΠΟΙΑ**

Έλενα Ηλιάδου

Λεμεσός 2011



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:**

Η ΑΣΦΑΛΤΟΣ ΣΤΗΝ ΟΔΟΠΟΙΑ

Έλενα Ηλιάδου

Επιβλέπων καθηγητής: κος.Ιωάννης Οικονομίδης

Λεμεσός 2011

## **Πνευματικά δικαιώματα**

Copyright © Έλενα Ηλιάδου, 2011

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας μου κύριο Ιωάννη Οικονομίδη, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου αυτή την εργασία, για την καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκειά της και κυρίως για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα ενδιαφέρον αντικείμενο. Επίσης ευχαριστώ το προσωπικό του κεντρικού εργαστηρίου του Τμήματος Δημοσίων Έργων για τις πληροφορίες και την βοήθεια που μου πρόσφερε για την εκτέλεση των δοκιμών της ασφάλτου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της πτυχιακής αυτής εργασίας είναι η μελέτη των ιδιοτήτων της πετρελαϊκής ασφάλτου, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως στην κατασκευαστική βιομηχανία και κυρίως στην οδοποιία. Ο στόχος της παρούσας έρευνας είναι να μελετηθεί η υπάρχουσα γνώση σχετικά με τις ιδιότητες του υλικού και πως αυτές επηρεάζουν την χρήση της στην οδοποιία. Ένας δεύτερος στόχος είναι να μελετηθεί η διαχείριση της ασφάλτου στην βιομηχανία της Κύπρου, με έμφαση στην αλλαγή των ιδιοτήτων της ασφάλτου λόγω της συνεχούς θέρμανσης της και πως αυτή επηρεάζει την συμπεριφορά και τις ιδιότητες του παραγόμενου ασφαλτομίγματος. Έχει βρεθεί πως η συνεχής θέρμανση της ασφάλτου επηρεάζει αρνητικά την απόδοση και τη λειτουργικότητα του ασφαλτομίγματος με επακόλουθο την αύξηση του κόστους συντήρησης και την μείωση της διάρκειας ζωής του οδοστρώματος.

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	iv
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....	v
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ .....	ix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΝΟΜΟΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ .....	x
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	xi
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	xii
1. ΕΙΔΗ ΑΣΦΑΛΤΟΥ .....	1
1.1 Ασφαλτος νήσου Τριάδος (Trinidad).....	1
1.2 Πίσσα.....	2
1.3 Πετρελαϊκή ασφαλτος.....	3
1.3.1 Τύποι ασφάλτων και ταξινόμηση αυτών.....	5
1.4 Ασφαλτικά Διαλύματα .....	9
1.5 Ασφαλτικά γαλακτώματα.....	11
1.5.1 Ταξινόμηση και τύποι γαλακτωμάτων .....	13
1.6 Τροποποιημένη ασφαλτος.....	14
1.7 Αντιυδρόφιλα υλικά .....	16
1.8 Χημική σύσταση και δομή της ασφάλτου.....	17
1.8.1 Ασφαλτένια .....	18
1.8.2 Μαλτένια .....	19
1.9 Διαχείριση ασφαλτικών συνδετικών υλικών .....	19
1.9.1 Αποθήκευση .....	20
1.9.2 Μεταφορά.....	21
1.9.3 Θερμοκρασία χρήσης .....	22
1.9.4 Δειγματοληψία –Έλεγχος Ποιότητας.....	23
1.9.5 Υγεία, ασφάλεια και περιβαλλοντική ρύπανση .....	23
2. ΔΟΚΙΜΕΣ ΠΕΤΡΕΛΑΪΚΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ .....	25
2.1 Δοκιμή διεισδυτικότητας.....	25
2.2 Δοκιμή Μάλθωσης .....	27
2.3 Δοκιμή Ολκιμότητας.....	29

2.4 Δοκιμή Ανάφλεξης.....	30
2.5 Δοκιμή Τέφρας.....	31
2.6 Δοκιμή απώλειας βάρους μετά από θέρμανση.....	32
2.7 Δοκιμή Σημείου Fraass .....	33
2.8 Δοκιμή διαλυτότητας .....	33
2.9 Δοκιμή καθορισμού περιεκτικότητας ύδατος στην ασφάλτο .....	34
2.10 Δοκιμή καθορισμού ειδικού βάρους ασφάλτου .....	34
2.11 Δοκιμές μέτρησης ιξώδους .....	35
2.11.1 Δοκιμή ιξώδους με ιξωδόμετρο ολισθαίνουσας πλάκας.....	36
2.11.2 Δοκιμή ιξώδους με ιξωδόμετρο Brookfield .....	37
2.11.3 Δοκιμή ιξώδους με ιξωδόμετρο κώνου και πλάκας .....	37
2.11.4 Δοκιμή ιξώδους με ιξωδόμετρα τριχοειδών σωλήνων.....	38
2.11.5 Δοκιμή ιξώδους με ιξωδόμετρα δοχείου (κυπέλλου).....	39
3. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ .....	40
3.1 Μηχανικές Ιδιότητες .....	41
3.1.1 Ιξωδοελαστική συμπεριφορά ασφάλτου .....	41
3.1.2 Μέτρο δυσκαμψίας της ασφάλτου .....	42
3.1.3 Μέτρηση του μέτρου δυσκαμψίας της ασφάλτου.....	43
3.1.4 Εκτίμηση του μέτρου δυσκαμψίας της ασφάλτου .....	44
3.1.5 Εφελκυστική αντοχή ασφάλτου .....	47
3.1.6 Αντοχή σε κόπωση.....	47
3.2 Θερμοκρασιακή ευαισθησία της ασφάλτου.....	49
3.2.1 Δείκτης διεισδυτικότητας.....	49
3.2.2 Οξείδωση.....	52
3.2.3 Χάρτης Heukelom.....	53
4. ΑΣΦΑΛΤΟΣ ΣΤΗΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ .....	60
4.1 Αποτελέσματα δοκιμών διυλιστηρίου Λάρνακας.....	60
4.2 Έρευνα για την θερμοκρασιακή ευαισθησίας της ασφάλτου .....	65
4.3 Συμπεράσματα έρευνας.....	71
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	74
5.1 Γενικά συμπεράσματα.....	74
5.2 Συμπεράσματα εργαστηριακής έρευνας .....	75
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	77



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1: Τύποι και ιδιότητες ασφάλτων κατά BS3690.....	7
Πίνακας 1.2: Τύποι και ιδιότητες ασφάλτων σύμφωνα με τις Ελληνικές προδιαγραφές ΠΤΠ Α200 Μ226 .....	7
Πίνακας 1.3: Τύποι και ιδιότητες ασφάλτου κατά AASHTO Μ226 .....	8
Πίνακας 1.4: Προδιαγραφές ασφάλτου Τ.Δ.Ε .....	8
Πίνακας 1.5: Τύποι και ιδιότητες ασφαλτικών διαλυμάτων κατά BS36 .....	11
Πίνακας 1.6: Ιδιότητες κεκραμένης ασφάλτου τύπου S-125 Τ.Δ.Ε .....	14
Πίνακας 1.7: Βελτιώσεις που επέρχονται με τη χρήση τροποποιητών ασφάλτου.....	16
Πίνακας 1.8: Τυπικές θερμοκρασίες χρήσης ασφαλτικών συνδετικών υλικών σε διάφορες εργασίες .....	24
Πίνακας 2.1: Επιτρεπόμενα όρια μεταξύ της μικρότερης και της μεγαλύτερης τιμής στη δοκιμή διείσδυσης των ασφαλτικών υλικών .....	26
Πίνακας 4.1: Μέτρο δυσκαμψίας και ΡΙ ασφάλτου- Άσφαλτος 35/50- Ασπρόπυργος -Ελλάδα .....	61
Πίνακας 4.2: Μέτρο δυσκαμψίας και ΡΙ ασφάλτου- Άσφαλτος 50/70- Ασπρόπυργος -Ελλάδα .....	61
Πίνακας 4.3: Μέτρο δυσκαμψίας και ΡΙ ασφάλτου- Άσφαλτος 50/70- ESSO Italiana Raffineria di Augusta -Ιταλία.....	62
Πίνακας 4.4: Μέτρο δυσκαμψίας και ΡΙ ασφάλτου- Άσφαλτος 50/70-Alma Petroli-Ιταλία ..	62
Πίνακας 4.5: Μέτρο δυσκαμψίας και ΡΙ ασφάλτου- Άσφαλτος 35/50- ESSO Italiana Raffineria di Aurusta –Ιταλία.....	63
Πίνακας 4.6: Μέτρο δυσκαμψίας και ΡΙ ασφάλτου- Άσφαλτος 35/50-Alma Petroli-Ιταλία ..	63
Πίνακας 4.7: Μέτρο Δυσκαμψίας και ΡΙ ασφάλτου –Άσφαλοι 35/50-(Ελλάδα –Ιταλία) .....	64
Πίνακας 4.8: Μέτρο Δυσκαμψίας και ΡΙ ασφάλτου- Άσφαλοι 50/70 (Ελλάδα –Ιταλία) .....	64
Πίνακας 4.9: Μέτρο δυσκαμψίας ασφαλτομίγματος .....	65
Πίνακας 4.10: Διεισδυτικότητα και μάλθωση ασφάλτου σε συνεχή θέρμανση (140 °C).....	67
Πίνακας 4.11: Διεισδυτικότητα και μάλθωση ασφάλτου σε συνεχή θέρμανση (140 °C).....	67

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Διαδικασία παραγωγής της ασφάλτου.....	4
Εικόνα 1.2: Σχηματική παρουσίαση διαχωρισμού της ασφάλτου .....	18
Εικόνα 2.1:Συσκευή Διείσδυσης.....	26
Εικόνα 2.2: Όργανο για την δοκιμή μάλθωσης των ασφαλτικών υλικών .....	28
Εικόνα 2.3: Συσκευή ολκιμότητας και δείγματα ολκιμότητας .....	30
Εικόνα 2.4: Ανοικτός δοκιμαστήρας Cleveland .....	31
Εικόνα 2.5: Φούρνος δοκιμής RTFO .....	32
Εικόνα 2.6:Συσκευή Fraass .....	33
Εικόνα 2.7:Συσκευή αποστάξεως .....	34
Εικόνα 2.8: Ιξωδόμετρο ολισθαίνουσας πλάκας.....	36
Εικόνα 2.9: Ιξωδόμετρο Brookfield .....	37
Εικόνα 2.10: Ιξωδόμετρο περιστρεφόμενου κώνου και πλάκας.....	38
Εικόνα 2.11:Ιξωδόμετρα τριχοειδών σωλήνων.....	39
Εικόνα 2.12: Ιξωδόμετρο δοχείου – Saybolt Fulor .....	39
Εικόνα 3.1: Επίδραση της θερμοκρασίας στα ασφαλτικά υλικά .....	40
Εικόνα 3.2: Ανεπαρκές πάχος στρώσεων .....	52
Εικόνα 3.3: Επαρκές πάχος στρώσεων .....	53

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 3.1: Ιξώδης / Ελαστική συμπεριφορά της ασφάλτου .....	41
Διάγραμμα 3.2: Μηχανική συμπεριφορά ασφάλτου συναρτήσει του χρόνου φόρτισης και της θερμοκρασίας .....	43
Διάγραμμα 4.1: Μεταβολή διεισδυτικότητας της ασφάλτου (35/50) συνάρτηση του χρόνου θέρμανσης της. ....	68
Διάγραμμα 4.2: Μεταβολή μάλθωσης της ασφάλτου (35/50) συνάρτηση του χρόνου θέρμανσης της .....	68
Διάγραμμα 4.3: Μεταβολή μέτρου δυσκαμψίας της ασφάλτου (35/50) συνάρτηση του χρόνου θέρμανσης της .....	69
Διάγραμμα 4.4: Μεταβολή διεισδυτικότητας της ασφάλτου (50/70) συνάρτηση του χρόνου θέρμανσης της .....	69
Διάγραμμα 4.5: Μεταβολή μάλθωσης της ασφάλτου (50/70) συνάρτηση του χρόνου θέρμανσης της. ....	70
Διάγραμμα 4.6: Μεταβολή μέτρου δυσκαμψίας της ασφάλτου (50/70) συνάρτηση του χρόνου θέρμανσης της. ....	70

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΝΟΜΟΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Νομογράφημα 3.1: Νομογράφημα Van der Poel για τον καθορισμό του μέτρου δυσκαμψίας της ασφάλτου .....	60
Νομογράφημα 3.2: Νομογράφημα εκτίμησης ανηγμένης εφελκυστικής παραμόρφωσης κατά την θραύση .....	48
Νομογράφημα 3.3: Νομογράφημα για PI (ΣΜ/Pen).....	51
Νομογράφημα 3.4: Νομογράφημα για PI (Pen /Pen) .....	51
Νομογράφημα 3.5: Χάρτης Heukelom που συγκρίνει ασφάλτους οδοστρωσίας από το ίδιο αργό πετρέλαιο .....	56
Νομογράφημα 3.6: Χάρτης Heukelom που συγκρίνει ασφάλτους οδοστρωσίας του ίδιου τύπου αλλά διαφορετικής προέλευσης.....	57
Νομογράφημα 3.7: Χάρτης Heukelom που δίνει τις ‘ιδανικές’ τιμές του ιξώδους για βέλτιστη ανάμιξη και συμπύκνωση του ασφαλτικού σκυροδέματος .....	58
Νομογράφημα 3.8: Τυπικές καμπύλες ταξινόμησης ασφάλτων .....	59

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

Παρουσιάζονται συνοπτικά όλες οι σημαντικές συντομογραφίες που έχουν χρησιμοποιηθεί στο κείμενο της πτυχιακής :

TLA	Trinidad Lake Asphalt
PI	Δείκτης Διεισδυτικότητας
ΤΔΕ	Τμήμα Δημοσίων Έργων
TE	Ταχείας Εξάτμισης
ME	Μέσης Εξάτμισης
BE	Βραδείας Εξάτμισης
RS	Ταχείας Διασποράς
MS	Μέσης Διασποράς
SS	Βραδείας Διασποράς
AASHTO	American Association of State Highway Officials
ASTM	American Society for Testing and Materials
AAPT	Association of Asphalt Paving Technologists
BS	British Standard
SBS	Styrene –Butadiene- Styrene co-polymer
EVA	Ethylene Vinyl Acetate

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η άσφαλτος είναι γνωστή και χρησιμοποιείται από την αρχαιότητα. Είναι ίσως ένα από τα πλέον παλαιά και διαδεδομένα δομικά υλικά. Είναι η πιο δημοφιλής επιλογή για αυτοκινητοδρόμους, χώρους στάθμευσης, διαδρόμους αερολιμένων, πίστες αγώνων ταχύτητας και άλλες εφαρμογές όπου μια ομαλή, και ανθεκτική επιφάνεια απαιτείται. Χρησιμοποιείται εδώ και 6.000 χρόνια ως άριστης ποιότητας μονωτικό και συνδετικό υλικό. Η άσφαλτος γενικώς, πλην της χρήσης αυτής στα οδοστρώματα χρησιμοποιείται και σε ένα μεγάλο φάσμα άλλων εφαρμογών όπως οι κτιριακές κατασκευές, η μόνωση δεξαμενών, φραγμάτων, καλωδίων, η προστασία πρανών και όχθων από διάβρωση, η παραγωγή βερνικιών, ο διαποτισμός διαφόρων υλικών κ.λ.π. Επίσης η άσφαλτος είναι πολύτιμη για την κατασκευές διότι είναι κολλώδης, αδιάβροχη, ισχυρή και ανθεκτική.

Στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας αναφέρονται τα διάφορα είδη της ασφάλτου και οι ιδιότητες τους όπως είναι η φυσική και η τεχνητή άσφαλτος. Η φυσική άσφαλτος είναι η άσφαλτος, η οποία εκκρινόταν από το βυθό, επέπλεε και εκβαλλόταν στις όχθες από όπου και συλλεγόταν. Φυσική άσφαλτος υπάρχει και υπό τη μορφή πετρώματος, δηλαδή πετρώματα κυρίως ασβεστολιθικά ή ψαμμιτικά εμπλουτισμένα με άσφαλτο. Η τεχνητή άσφαλτος είναι κατάλοιπο κλασματικής απόσταξης πρωτογενούς (αργής) πίσσας (crude tar) ή αργού πετρελαίου (crude oil). Για την οδοστρωσία χρησιμοποιείται κυρίως άσφαλτος που λαμβάνεται από την κλασματική απόσταξη του αργού πετρελαίου. Η σύνθεση της ασφάλτου μπορεί να μεταβληθεί με κάποιες χημικές ή φυσικές διεργασίες για να δώσει κάποιες συγκεκριμένες ιδιότητες. Επιπλέον στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται τα διάφορα στάδια διαχείρισης της ασφάλτου όπως είναι η θέρμανση, η ασφάλεια, η μεταφορά, η κατασκευή δεξαμενών, η διαχείριση των δεξαμενών, οι περιβαλλοντικοί έλεγχοι και οι έλεγχοι της ποιότητας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται οι εργαστηριακές δοκιμές που εκτελούνται στην άσφαλτο για να εξακριβωθεί η καταλληλότητα της και να προβλεφθεί η συμπεριφορά της. Στην συνέχεια στο τρίτο κεφάλαιο αναπτύσσονται οι μηχανικές, φυσικές, ρεολογικές και χημικές ιδιότητες της ασφάλτου και πως η μεταβολή αυτών επηρεάζει την απόδοση του ασφαλτομίγματος και γενικότερα την συμπεριφορά του οδοστρώματος. Η άσφαλτος αποτελείται από υδρογονάνθρακες που ο διαχωρισμός τους δεν είναι δυνατός. Επειδή οι

άσφαλτοι είναι άμορφες ουσίες μη κρυσταλλικές, οι φυσικές και χημικές ιδιότητές τους ποικίλλουν σε ευρύτατα όρια. Με ρύθμιση της θερμοκρασίας κατά την απόσταξη, παραμένουν στο υπόλειμμα λιγότερα ή περισσότερα ελαιώδη συστατικά, επομένως η λαμβανόμενη άσφαλτος είναι σκληρή ή μαλακή αντίστοιχα. Στις περιοχές, που έχουν ψυχρό κλίμα, χρησιμοποιείται συνήθως μαλακή άσφαλτος, ενώ αντίθετα σε περιοχές με θερμά κλίματα χρησιμοποιείται σχετικά σκληρή άσφαλτος (μικρή διεισδυτικότητα). Το κόστος συντήρησης και η διάρκεια ζωής ενός οδοστρώματος μειώνονται ή αυξάνονται ανάλογα με το τύπο της ασφάλτου που χρησιμοποιείται σε σχέση με τις θερμοκρασίες περιβάλλοντος που επικρατούν.

Στο τέταρτο κεφάλαιο της μελέτης αναλύονται τα αποτελέσματα των δοκιμών που γίνονται από το διυλιστήριο Λάρνακας πάνω στις εισαγόμενες ποσότητες ασφάλτου. Σκοπός της ανάλυσης αυτής ήταν να εξακριβωθεί κατά πόσο η άσφαλτος από διαφορετικές πηγές προέλευσης παρουσιάζει διαφορετικές χαρακτηριστικές και μηχανικές ιδιότητες. Η άσφαλτος είναι ένα υλικό ευαίσθητο στις θερμοκρασιακές μεταβολές, το οποίο συμπεριφέρεται σαν υγρό σε ψηλές θερμοκρασίες και σαν εύθραυστο στερεό στις χαμηλές θερμοκρασίες. Επομένως η σχέση μεταξύ των ιδιοτήτων του και της θερμοκρασίας είναι ιδιαίτερα σημαντική για αυτό και επιλέχθηκε να γίνει πιο λεπτομερής έρευνα για την θερμοκρασιακή ευαισθησία της ασφάλτου, η οποία χρησιμοποιείται στα εργοστάσια παραγωγής ασφαλτομιγμάτων στη Κύπρο. Μελετήθηκε η επίδραση που έχει η συνεχής θέρμανση της ασφάλτου στις ιδιότητες της και στις ιδιότητες του παραγόμενου μίγματος. Για το μηχανικό είναι ουσιαστικής σημασίας η γνώση αυτής της επίδρασης έτσι ώστε να σχεδιάζονται όσο το δυνατό καλύτερα ασφαλτομίγματα, ώστε να μειώνεται το κόστος συντήρησης και να αυξάνεται η διάρκεια ζωής του οδοστρώματος.

# 1. ΕΙΔΗ ΑΣΦΑΛΤΟΥ

Η άσφαλτος λαμβάνεται είτε από τα προϊόντα του αργού πετρελαίου κατά την κλασματική απόσταξή τους, είτε προέρχεται από ασφαλτικά προϊόντα, τα οποία βρίσκονται σε επιφανειακά κοιτάσματα. Η άσφαλτος που χρησιμοποιείται κυρίως στην οδοστρωσία λαμβάνεται από το υπόλειμμα της απόσταξης του αργού πετρελαίου. Η άσφαλτος που λαμβάνεται ως υποπροϊόν της απόσταξης πετρελαίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως έχει ή να υποβληθεί σε χημικές και φυσικές διεργασίες που μεταβάλλουν τη σύνθεση της, προκειμένου να δώσει συγκεκριμένες ιδιότητες.

## 1.1 Άσφαλτος νήσου Τριάδος (Trinidad)

Η άσφαλτος της λίμνης του Trinidad (TLA), γνωστή και ως « άσφαλτος λίμνης», είναι το μεγαλύτερο φυσικό επιφανειακό απόθεμα ασφάλτου. Η Trinidad Lake Asphalt (TLA) είναι ίσως η πιο διάσημη πηγή της φυσικής ασφάλτου. Τα φυσικά και χημικά συστατικά της δεν διαφοροποιούνται ποτέ. Η άσφαλτος διυλίζεται, συσκευάζεται και αποστέλλεται σε πολλές χώρες σ' όλο τον κόσμο και έχει επιτυχημένη χρήση παγκόσμια σαν πρόσθετο της ασφάλτου. Επιπλέον χρησιμοποιείται για κατασκευές αυτοκινητοδρόμων, αεροδρομίων, γεφυρών, σηράγγων, αποβάθρων αλλά και βιομηχανικών κατασκευών.

Η Trinidad Lake Asphalt (TLA) εξορύσσεται από την κυριότερη και μεγαλύτερη λίμνη ασφάλτου που βρίσκεται στα νοτιοδυτικά του Τρινιντάντ, Δυτικές Ινδίες ως ένα ημι-στερεό γαλάκτωμα που αποτελείται από διαλυμένη άσφαλτο, ορυκτά στοιχεία και άλλα συστατικά-κυρίως νερό. «Η συνολική επιφάνεια της είναι περίπου 500 στρέμματα, το μέγιστο βάθος της περίπου 90m και υπολογίζεται ότι υπάρχουν περίπου 15 εκατομμύρια τόνοι ασφάλτου ,που είναι τα μεγαλύτερα αποθέματα καλής ποιότητας φυσικής ασφάλτου στον κόσμο.»[Νικολαΐδης 2004] Το παράξενο είναι ότι ενώ έχουν εξαχθεί μεγάλες ποσότητες ασφάλτου από την λίμνη του Trinidad η στάθμη της παραμένει σταθερή.

Το ασφαλτικό υλικό, όπως συναντάται στη λίμνη, είναι πολύ ομοιόμορφο στη σύσταση του και περιέχει νερό και αέρια 29%, άσφαλτο 39%, ορυκτές ουσίες 27% και οργανικές ουσίες 5%. Το υλικό της λίμνης αφού θερμανθεί στους 160°C και καθαριστεί από το νερό και



οποιαδήποτε ξένα σώματα, κοσκινίζεται. Στην συνέχεια το καθαρό προϊόν, γνωστό ως Trinidad Epure, τοποθετείται σε ξύλινα βαρέλια και έχει την εξής τυπική σύνθεση: 55% άσφαλτο, 35% ορυκτές ουσίες και 10% οργανικές ουσίες. Το Epure είναι πολύ σκληρό για να χρησιμοποιηθεί όπως είναι στην οδοποιία για αυτό αναμιγνύεται με μαλακή πετρελαϊκή άσφαλτο (200 pen) για να καταστεί κατάλληλο να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή ασφαλτομιγμάτων.

Τα τεχνικά πλεονεκτήματα της ενσωμάτωσης της TLA στα ασφαλτομίγματα, έχουν αναφερθεί εδώ και πολλά χρόνια από ερευνητές και μηχανικούς σε όλο τον κόσμο. «Η μοναδική σύνθεση της TLA προσδίδει οφέλη που υπερκαλύπτουν την αύξηση του κόστους κατά 10% περίπου.» [Keridis] Μερικά από τα πλεονεκτήματα αυτά είναι η βελτίωση της σταθερότητας του μίγματος και της συγκόλλησης του συνδετικού, η αυξημένη σταθερότητα σε υψηλές θερμοκρασίες, η βελτιωμένη συμπεριφορά σε χαμηλές θερμοκρασίες, ο περιορισμός των ρηγματώσεων και των επιφανειακών καταστροφών, η αυξημένη αντίσταση στην κόπωση, το μειωμένο κόστος συντήρησης και η εύκολη χρήση σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες.

## **1.2 Πίσσα**

Οι πίσσες είναι υδρογονανθρακούχα αποστάγματα του λιθάνθρακα και του ξύλου. Διακρίνονται σε υγρόπισσες ή αργές πίσσες και σε ξηρόπισσες ή οδόπισσες. Η πίσσα είναι ένα υλικό με παρόμοια εμφάνιση με την άσφαλτο, αλλά εντελώς διαφορετική στην προέλευση και τη σύνθεση, και, στην πραγματικότητα λαμβάνεται από την απόσταξη του λιθάνθρακα. Επίσης η πίσσα είναι περισσότερο ευαίσθητη στις θερμοκρασιακές μεταβολές με αποτέλεσμα να μαλακώνει ευκολότερα και να σκληραίνει και να θρυμματίζεται γρηγορότερα από αντίστοιχου ιξώδους ασφάλτου.

Η πίσσα χρησιμοποιείται ευρέως, για αρκετά χρόνια, τόσο στην οδοποιία όσο και στη παραγωγή μονωτικών υλικών. Τα τελευταία χρόνια, για λόγους κυρίως περιβαλλοντικούς και υγιεινής, η χρήση της πίσσας έχει μειωθεί. Σήμερα, η πίσσα χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά και μόνο για την παραγωγή συγκεκριμένων ασφαλτομιγμάτων που δεν προσβάλλονται από βενζίνη ή λάδια (αντί-κηροζινικές στρώσεις), ή για την παραγωγή

μίγματος πίσσας και ασφάλτου για ασφαλικές επαλείψεις. Με την χρήση μίγματος πίσσας και ασφάλτου επέρχεται καλύτερη επικάλυψη των αδρανών και καλύτερη πρόσφυση της ασφάλτου στο αδρανές. Στην Κύπρο όπως και σε πολλές χώρες η πίσσα δεν χρησιμοποιείται πλέον σε έργα οδοποιίας παρά μόνο σε κάποιες μεμονωμένες περιπτώσεις.

### 1.3 Πετρελαϊκή άσφαλτος

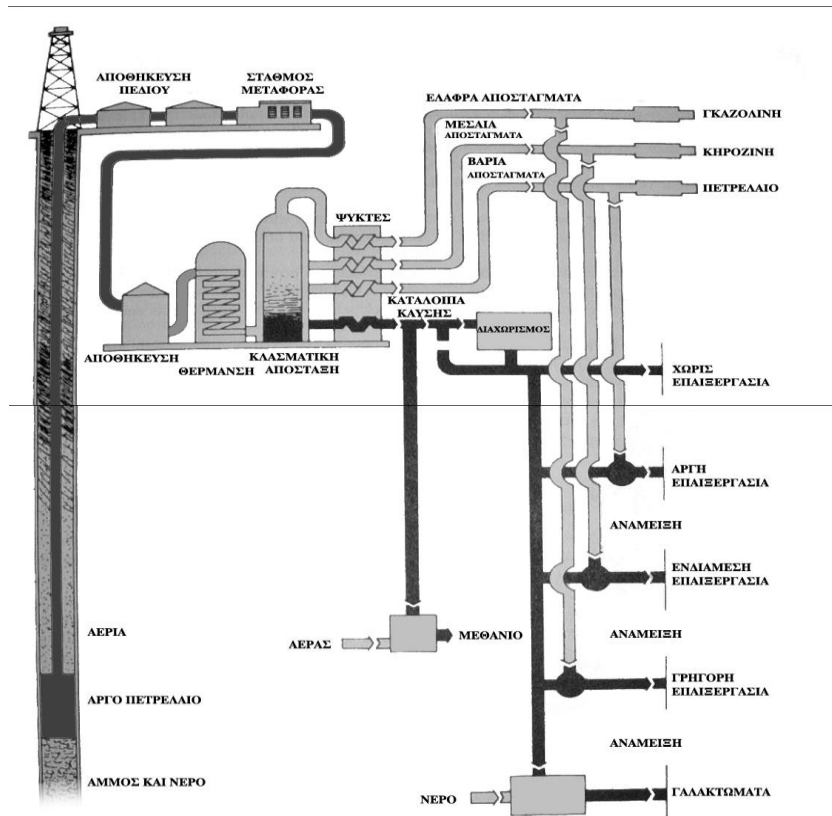
Η πετρελαϊκή άσφαλτος είναι το υπόλειμμα της αποστάξεως του αργού πετρελαίου και χρησιμοποιείται στις σύγχρονες κατασκευές. «Το αργό πετρέλαιο προέρχεται από οργανική ύλη, η οποία από εκατομμύρια χρόνια εναποτέθηκε σε πολύ μεγάλα πάχη, μαζί με λάσπη και κομμάτια βράχων, στο πυθμένα των ωκεανών. Υπό την επίδραση του υπερκείμενου βάρους σχηματίστηκαν υδατογενή πετρώματα. Το αλατούχο λιμνώδες περιβάλλον αποσάθρωσε την οργανική ύλη η οποία κάτω από την επίδραση των υψηλών πιέσεων, θερμοκρασιών, βακτηριδιακής δράσης και πιθανότατα ακτινοβολίας, μετατράπηκε σε υδρογονάνθρακες της μορφής του αργού πετρελαίου. Περαιτέρω εναποθέσεις σε νεώτερους χρόνους σχημάτισαν νέα στρώματα πετρωμάτων προς την επιφάνεια της γης. Στο σημείο που τα πορώδη πετρώματα ήταν υπερκαλυμμένα από συμπαγή μη-πορώδη πετρώματα, το αργό πετρέλαιο μαζί με αέρια σχημάτισε τεράστιες υπόγειες δεξαμενές. Εκεί παρέμεινε και παραμένει μέχρι εξορύξεως.» [Νικολαΐδης 2004]

Το αργό πετρέλαιο απέκτησε τις δικές του φυσικές και χημικές ιδιότητες ανάλογα με την αρχική σύσταση της οργανικής ύλης και των συνθηκών που επικράτησαν. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα κάθε πετρελαιοπαραγωγική περιοχή να παράγει το δικό της τύπο αργού πετρελαίου. Οι κυριότερες πετρελαιοπαραγωγικές περιοχές είναι η Μέση Ανατολή, οι ΗΠΑ, οι χώρες γύρω από την Καραϊβική θάλασσα, οι χώρες της πρώην Σοβιετικής Ενώσεως, η Βόρειος Θάλασσα και η Ινδονησία. Όμως μόνο από ορισμένες περιοχές παράγεται πετρελαϊκή άσφαλτος κατάλληλη για την οδοποιία.

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, η βενζίνη, το φωτιστικό πετρέλαιο, το ακάθαρτο πετρέλαιο, τα ορυκτέλαια, τα διάφορα υπόλοιπα και τέλος, η πίσσα, η άσφαλτος 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 σημαντικά.

Η πετρελαϊκή άσφαλτος που από εδώ και στο εξής θα αναφέρεται απλώς ως «άσφαλτος» παράγεται από το υπόλειμμα της ατμοσφαιρικής κλασματικής απόσταξης του αργού πετρελαίου κατόπιν περαιτέρω αποστάξεως (με υπό-πίεση). Η διαδικασία παραγωγής της ασφάλτου που πραγματοποιείται στα διυλιστήρια φαίνεται στην πιο κάτω εικόνα 1.1.



Εικόνα 1.1: Διαδικασία παραγωγής της ασφάλτου [ Κορωναίος, και Πουλάκος 2006]

Από την δεύτερη απόσταξη παράγονται διάφοροι τύποι ασφάλτων που θα χρησιμοποιηθούν σε έργα οδοποιίας και αεροδρομίων. Ο τύπος της ασφάλτου που θα παραχθεί καθορίζεται τόσο από την προέλευση του αργού πετρελαίου όσο και από τις συνθήκες υποπίεσης (10-100mm Hg) και θερμοκρασίας (350-400°C) που επικρατούν κατά την απόσταξη.

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. Συγκεκριμένα η παραγόμενη στο διυλιστήριο ασφαλτος μπορεί να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία όπως να οξειδωθεί, να γαλακτωματοποιηθεί ή να διαλυθεί με διαλύτες και να παραχθεί αντίστοιχα οξειδωμένη ασφαλτος, ασφατικό γαλάκτωμα και ασφατικό διάλυμα. Η σημαντικότερη τροποποίηση των ιδιοτήτων οφείλεται στην θερμοκρασία απόσταξης, η οποία ρυθμίζει το ποσοστό των ελαιωδών συστατικών στο υπόλειμμα. Έτσι η ασφαλτος διακρίνεται σε σκληρή και σε μαλακή. Τέλος στην ασφαλτο οδοστρωσίας μπορεί να προστεθούν διάφορα χημικά πρόσθετα και να παραχθεί η τροποποιημένη ασφαλτος.

### **1.3.1 Τύποι ασφάλτων και ταξινόμηση αυτών**

Στο εμπόριο υπάρχουν διάφοροι τύποι ασφάλτων που μπορούν να χωρισθούν σε δύο γενικότερες κατηγορίες αναλόγως της χρήσεως αυτών οι οποίες είναι οι ασφαλτοι οδοστρωσίας και οι ασφαλτοι για βιομηχανική χρήση. Οι ασφαλτοι οδοστρωσίας είναι αυτοί που παράγονται από την απόσταξη του υπολείμματος του αργού πετρελαίου, ενώ οι ασφαλτοι για βιομηχανική χρήση παράγονται από περαιτέρω οξείδωση.

#### **α) Ασφαλτοι Οδοστρωσίας**

Οι ασφαλτοι οδοστρωσίας ταξινομούνται στις περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες με τις δοκιμές διεισδυτικότητας και μάλθωσης αλλά χαρακτηρίζονται μόνο συναρτήσει του βαθμού διεισδυτικότητας. Κάθε τύπος χαρακτηρίζεται από το βάθος στο οποίο διεισδύει μέσα στη μάζα της ασφάλτου, πρότυπη βελόνα υπό πίεση βάρους 100 gr, η οποία ενεργεί κάθετα για χρόνο 5 sec σε θερμοκρασία 25°C. Η διείσδυση μετρείται σε 0.1 mm. Οι συνήθεις τύποι της ασφάλτου είναι : 40/50, 50/60, 60/70, 80/100, 120/150 και 200/300 pen . Για παράδειγμα ο τύπος 80/100 σημαίνει ότι η βελόνα διεισδύει μέσα στη μάζα της ασφάλτου του τύπου αυτού σε βάθος 80 έως 100 δέκατα του χιλιοστού ,δηλαδή σε βάθος 8 έως 10 mm .

Η μαλακότερη άσφαλτος είναι αυτή που έχει μεγαλύτερο βαθμό διεισδυτικότητας ενώ η σκληρότερη είναι αυτή που έχει μικρότερο βαθμό διεισδυτικότητας. Το ποια άσφαλτο θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από το τύπο του ασφαλτομίγματος που θα παραχθεί και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος που επικρατεί. Στις περιοχές με χαμηλές θερμοκρασίες χρησιμοποιείται μαλακή άσφαλτος ενώ στις περιοχές με ψηλές θερμοκρασίες χρησιμοποιείται σκληρή άσφαλτος.

Κάθε τύπος ασφάλτου εκτός από την διεισδυτικότητα παρουσιάζει και άλλες χαρακτηριστικές ιδιότητες όπως σημείο μάλθωσης, ολκιμότητα, σημείο ανάφλεξης κλπ. Το εύρος των τιμών των διαφόρων ιδιοτήτων, αναλόγως των προδιαγραφών που χρησιμοποιούνται δίνονται στους πίνακες 1.1 και 1.2.

Στις ΗΠΑ, από το 1980, οι άσφαλτοι ταξινομούνται κυρίως συναρτήσει του ιξώδους σε μονάδες poises στους 60°C, χωρίς να αποκλείεται η ταξινόμηση συναρτήσει του βαθμού διεισδυτικότητας. «Η αλλαγή αυτή κρίθηκε σκόπιμη, επειδή θεωρήθηκε ότι ο έλεγχος της διεισδυτικότητας είναι εμπειρικός και ακατάλληλος να καθορίσει επακριβώς τον τύπο της ασφάλτου από την περίσσεια των ασφάλτων οδοστρωσίας που υπάρχουν σήμερα στο εμπόριο.» [Νικολαΐδης 2004] Οι τύποι των ασφάλτων οδοστρωσίας συναρτήσει του ιξώδους της αρχικής ασφάλτου καθώς και οι απαιτήσεις των λοιπών χαρακτηριστικών ιδιοτήτων αυτών, σύμφωνα με τις αμερικάνικες προδιαγραφές δίνονται στο πίνακα 1.3.

Στην Κύπρο οι άσφαλτοι που χρησιμοποιούνται πληρούν συγκεκριμένες τεχνικές προδιαγραφές από το Τμήμα Δημοσίων Έργων που είναι βασισμένες σε ευρωπαϊκά πρότυπα. Συνήθως στην Κύπρο χρησιμοποιούνται δύο τύποι ασφάλτων 35/50 και 50/70. Ο άσφαλτος τύπου 35/50 χρησιμοποιείται σε αυτοκινητόδρομους και δρόμους με υψόμετρο κάτω από τα 500μ. που παρουσιάζουν τροχαία ημερήσια κίνηση πάνω από 300 φορτηγά οχήματα (περιλαμβανομένων και άλλων οχημάτων που μπορούν να μεταφέρουν φορτίο πέραν των 5tn) εκτός εάν προβλέπεται διαφορετικά στο συμβόλαιο. Ενώ η άσφαλτος τύπου 50/70 χρησιμοποιείται σε δρόμους με υψόμετρο πάνω των 500μ., σε δρόμους μικρής σημασίας (λιγότερα από 300 φορτηγά την ημέρα) και σε χώρους στάθμευσης για ιδιωτικά οχήματα. Για τα αεροδρόμια εφαρμόζονται ειδικές προδιαγραφές. Η άσφαλτος που χρησιμοποιείται στην οδοποιία πρέπει να πληροί τις απαιτήσεις του περί Προδιαγραφών Ασφάλτου Διατάγματος ΚΔΠ 317/2004, οι οποίες συνοψίζονται στον πίνακα 1.4.

**Πίνακας 1.1: Τύποι και ιδιότητες ασφάλτων κατά BS3690 [British Standard Institution 1989]**

Ιδιότητες	Τύποι ασφάλτων οδοστρωσίας									
	15pen	25pen	35pen	40pen	50pen	70pen	100pen	200pen	300pen	450pen
Διεισδυτικότητα στους 25 °C	15±5	25±5	35±7	40±10	50±10	70±10	100±20	200±30	300±45	450±65
Σημείο μάλθωσης, °C	63-76	57-69	52-64	58-68	47-58	44-54	41-51	33-42	30-39	25-34
Μετά από θέρμανση στους 163°C για 5 h										
-Απώλεια βάρους, %	<0.1	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.5	<0.5	<1.0	<1.0
-Απώλεια διεισδυτικότητας, % της αρχικής	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<25	<25
Διαλυτότητα σε τριχλωροαιθυλένιο %	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

**Πίνακας 1.2: Τύποι και ιδιότητες ασφάλτων σύμφωνα με τις Ελληνικές προδιαγραφές ΠΤΠ Α200 Μ226 [Νικολαΐδης 2004]**

Ιδιότητες	Τύπο ασφάλτων οδοστρωσίας							
	20/30	40/50	50/60	60/70	80/100	120/150	180/200	220/320
Διεισδυτικότητα στους 25°C, pen	20-30	40-50	50-60	60-70	80-100	120-150	180-200	220-320
Σημείο μάλθωσης, °C	55-69	47-60	48-58	48-56	44-53	40-48	37-43	34-39
Δείκτης διεισδυτικ.(P.I), από/εώς	-1/+0.7	-1/+0.7	-1/+0.7	-1/+0.7	-1/+0.7	-1/+0.7	-1/+0.7	-1/+0.7
Ολκιμότητα στους: 25°C, cm 15°C, cm	>25 -	>60 -	>70 -	>100 -	>100 -	>100 -	>100 -	- >100
Σημείο ανάφλεξης, °C (ανοικ.δοχ)	>250	>250	>230	>230	>230	>220	>220	>175
Διαλυτότητα σε διθειάνθρακα (%)	>99.5	>99.5	>99.5	>99.5	>99.5	>99.5	>99.5	>99.5
Διαλυτ/τα σε τετραχλωράνθρακα (%)	>99.0	>99.0	>99.0	>99.0	>99.0	>99.0	>99.0	>99.0
Τέφρα, % κατά βάρος	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Απώλεια βάρους μετά από θέρμανση (5h στους 163°C), (%)	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<2.0	<2.0
Διεισδυ/τητα μετά από θέρμανση, % της αρχικής, στους 25°C	>80	>70	>80	>80	>80	>80	>75	>75
Παραφίνη, % κατά βάρος	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
Θερμοκρασία εφαρμογής -για διάχυση, °C -για ανάμειξη, °C	- 175-200	- 165-180	- 160-185	- 150-175	150-185 150-165	135-175 135-165	135-175 135-165	135-175 100-135

Πίνακας 1.3: Τύποι και ιδιότητες ασφάλτου κατά AASHTO M226 [AASHTO 1996a]

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Τύπο ασφάλτων οδοστρώσας (Ταξινόμηση βάσει του ιξώδους της αρχικής ασφάλτου)					
	AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40
Ιξώδες στους 60°C, poises	250±50	500±100	1000±200	2000±400	3000±600	4000±800
Ιξώδες στους 135°C, mm <sup>3</sup> /s	>125	>175	>250	>300	>350	>400
Διεισδυτικότητα στους 25°C, pen	>220	>140	>80	>60	>50	>40
Σημείο ανάφλεξης, °C	>163	>177	>219	>232	>232	>232
Διαλυτότητα σε τριγλωροαιθυλένιο, (%)	>99.0	>99.0	>99.0	>99.0	>99.0	>99.0
Μετά από θέρμανση στους 163°C για 5 ώρες:						
-Απώλεια βάρους, (%)	-	<1.0	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
-Ιξώδες στους 60°C, poises	<1000	<2000	<4000	<8000	<12000	<16000
-Ολκιμότητα στους 25 poises, cm	>100 <sup>2</sup>	>100	>75	>50	>40	>25

Πίνακας 1.4: Προδιαγραφές ασφάλτου Τ.Δ.Ε [Τ.Δ.Ε 2009]

Ιδιότητα	Δοκιμασία Μέθοδος	Όρια		
		Τύπος ασφάλτου		
		35/50	50/70	70/100
Πυκνότητα στους 25°C (g/ml)	CYS EN ISO 3838 (IP190/ASTM D 70)	1,01-1,06	1,01-1,06	1,00-1,05
Ολκιμότητα στους 25°C (cm) min	ASTM D 113	100	100	100
Διεισδυτικότητα στους 25°C (mm/10)	CYS EN 1426 (ASTM D 5/IP49)	35-50	50-70	70-100
Σημείο μαλθώσεως (°C)	CYS EN 1427 (ASTM D 36/IP58)	50-58	46-54	43-51
Αντίσταση στη σκληρότητα στους 163°C <sup>4</sup>	CYS EN 12607-1 (ASTM D 2872)			
-αλλαγή στη μάζα (+/- %) max	CYS EN 12607-3	0,5	0,5	0,8
-διατηρηθείσα διεισδυτικότητα (%) min		53	50	46
-σημείο μαλθώσεως μετά την σκλήρυνση (°C) min	CYS EN 1427 (ASTM D 36/IP58)	52	48	45
Σημείο αναφλέξεως (°C) min	CYS EN ISO 22592 (ASTM D 92/IP36)	240	230	230
Διαλυτότητα (% m/m) min	CYS EN 12592 (ASTM D 2052/IP47)	99	99	99
Παραφινικοί κήροι (% m/m) max	CYS EN 12606-1	2,2	2,2	2,2
	CYS EN 12606-2	4,5	4,5	4,5

## β) Ασφαλτοι για βιομηχανική χρήση

Οι ασφαλτοι για βιομηχανική χρήση είναι οι οξειδωμένες ασφαλτοι. Η οξείδωση της ασφάλτου γίνεται μετά την παραγωγή της και οφείλεται στην εμφύσηση αέρα δια μέσου της θερμής μάζας της ασφάλτου (θερμοκρασίες 240°C-320°C). Η διαδικασία οξείδωσης προϋποθέτει την ύπαρξη ειδικής εγκατάστασης και εκτελείται ανά 'παρτίδα' ασφάλτου ή σε συνεχή τροφοδοσία ασφάλτου. Οι αλλαγές αυτές που δημιουργούνται κατά την οξείδωση έχουν σαν αποτέλεσμα η ασφαλτος να σκληραίνει και να γίνεται λιγότερο ευαίσθητη στις θερμοκρασιακές μεταβολές και επομένως να ρηγματώνεται ευκολότερα σε θερμοκρασίες κάτω του μηδενός.

Το μέγεθος και ο βαθμός των αλλαγών που επέρχονται επί των ρεολογικών ιδιοτήτων της ασφάλτου επηρεάζονται από την προέλευση του αργού πετρελαίου, από το ιξώδες της αρχικής ασφάλτου, από τον χρόνο οξείδωσης και από την θερμοκρασία στην οποία γίνεται η οξείδωση. Σε αντίθεση με τις ασφάλτους οδοστρωσίας, οι ασφαλτοι για βιομηχανική χρήση ταξινομούνται συναρτήσει του σημείου μάλθωσης και του βαθμού διεισδυτικότητας. Επιπλέον οι ασφαλτοι για βιομηχανική χρήση χρησιμοποιούνται σε στέγες, δάπεδα, επικαλύψεις σωλήνων, υδραυλικές εφαρμογές, χρώματα κτλ.

## 1.4 Ασφαλτικά Διαλύματα

Τα ασφαλτικά διαλύματα παρασκευάζονται με ανάμιξη της ασφάλτου με ορισμένους διαλύτες. Όταν το ασφαλτικό διάλυμα εκτεθεί στον ατμοσφαιρικό αέρα, ο διαλύτης εξατμίζεται και παραμένει η ασφαλτος, ως συνδετικό υλικό με τα αδρανή. Σαν διαλύτες χρησιμοποιούνται η βενζίνη, η νάφθα, το φωτιστικό πετρέλαιο, το ακάθαρμο πετρέλαιο και άλλοι λιγότερο πτητικοί διαλύτες. Τα ασφαλτικά διαλύματα έχουν μικρότερο ιξώδες από αυτό της ασφάλτου και στη φυσική τους κατάσταση και υπό κανονικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος είναι ρευστά υλικά σε αντίθεση με την ασφαλτο που θεωρείται 'στερεό' υλικό. Για το λόγο αυτό τα ασφαλτικά διαλύματα δεν απαιτούν τόσο υψηλές θερμοκρασίες όπως οι ασφαλτοι οδοστρωσίας κατά την εφαρμογή τους.



Ανάλογα με την πτητικότητα του διαλύτη, τα ασφαλτικά διαλύματα διακρίνονται σε ταχείας (TE), μέσης (ME) και βραδείας εξάτμισης (BE). Συνήθως, τα ασφαλτικά διαλύματα μέσης εξάτμισης είναι αυτά που χρησιμοποιούνται στην οδοποιία. Για την παρασκευή των ασφαλτικών διαλυμάτων μέσης εξάτμισης, χρησιμοποιείται άσφαλτος 100-300pen και φωτιστικό πετρέλαιο σε διάφορες αναλογίες έτσι ώστε να επιτευχθεί διάλυμα συγκεκριμένου ιξώδους. Η χρήση ακάθαρτου πετρελαίου (diesel), ως διαλύτη στα ασφαλτικά διαλύματα, αποτελεί αιτία κακοτεχνιών στην κατασκευή, γιατί η παραμονή των βαρέων κλασμάτων στο ασφαλτικό συνδετικό διατηρεί την πλαστικότητα των ασφαλτικών μιγμάτων για μεγάλο διάστημα με δυσμενή επίδραση στην ευστάθεια της κατασκευής.

Η ταξινόμηση των ασφαλτικών διαλυμάτων γίνεται βάση του ιξώδους αυτών. «Στις Αμερικάνικες προδιαγραφές υπάρχουν πέντε διαφορετικοί τύποι ασφαλτικών διαλυμάτων μέσης εξάτμισης όπως ME-30,ME-70,ME-250,ME-800 και ME-3000 στους οποίους οι αριθμοί δηλώνουν το ελάχιστο κινηματικό ιξώδες.» [AASHTO 1996b] «Ενώ στις Βρετανικές προδιαγραφές υπάρχουν μόνο τρεις τύποι ασφαλτικών διαλυμάτων ME: 50 sec ,100 sec και 200 sec όπου οι αριθμοί δηλώνουν το ιξώδες μετρούμενο σε δευτερόλεπτα με το ιξωδόμετρο STV όπως φαίνεται στο πίνακα 1.5.» [British Standard Institution 1989]

Τα ασφαλτικά διαλύματα είναι ενεργειακά ασύμφορα και περιβαλλοντικά επιβλαβή, διότι με την εξάτμιση του διαλύτη σπαταλάτε ενέργεια και αυξάνεται η ατμοσφαιρική ρύπανση. «Έχει υπολογισθεί ότι για να παραχθεί ένα γαλόνι ασφαλτικού διαλύματος ME απαιτείται περίπου 12 έως 28 φορές περισσότερη ενέργεια , αναλόγως του τύπου του διαλύματος από αυτήν που απαιτείται για την παραγωγή ενός γαλονιού ασφάλτου.» [Asphalt Institute 1979] Σε πολλές χώρες η χρήση των ασφαλτικών διαλυμάτων άρχισε να περιορίζεται ή και να απαγορεύεται. Σήμερα, τα ασφαλτικά διαλύματα χρησιμοποιούνται από λίγες μόνο χώρες, κυρίως χώρες με χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος ή επιλεκτικά σε περιορισμένη κλίμακα, για την παραγωγή ασφαλτομιγμάτων πλήρωσης λάκκων ή τύπου Macadam ή για ασφαλτικές επαλείψεις. Τα ελαστομερή ασφαλτικά διαλύματα, μετά τη στερεοποίησή τους, παρουσιάζουν εξαιρετικά μεγάλη ικανότητα παραμόρφωσης, μέχρι 130 % και είναι κατάλληλα για υγρομονώσεις με επάλειψη.

**Πίνακας 1.5: Τύποι και ιδιότητες ασφαλτικών διαλυμάτων κατά BS3690 [British Standard Institution 1989]**

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Προδιαγραφή ελέγχου	Τύποι διαλυμάτων		
		50 secs	100 secs	200 secs
Ιξώδες STV στους 40°C, secs	BS 2000: Part 72	50±10	100±20	200±40
Μετά από απόσταξη:	BS 2000: Part 27			
(α) απόσταγμα στους 225°C, % κατ'όγκο στοις 360°C, % κατ'όγκο		<1.0 8-14	<1.0 6-12	<1.0 4-10
(β) Διεισδυτικότητα στους 25°C στο υπόλειμμα αποστάξεως στοις 360°C, pen	BS 2000: Part 49	100-350	100-350	100-350
Διαλυτότητα σε τριγλωροαιθυλένιο , % κατά βάρος	BS 2000: Part 47	> 99.5	> 99.5	> 99.5

## 1.5 Ασφαλτικά γαλακτώματα

Η γαλακτοποίηση ή γαλάκωση της ασφάλτου είναι ένας τρόπος διάλυσης της ασφάλτου σε νερό που έχει το πλεονέκτημα να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με ψυχρά ή θερμά αδρανή. Το υλικό που βοηθά την γαλακτοποίηση και διατηρεί το γαλάκωμα, μετά το σχηματισμό του, ονομάζεται «παράγοντας γαλάκωσης» ή «γαλακτοποιητής».

Ο στόχος της γαλακτοποίησης είναι να γίνει μια διασπορά της ασφάλτου στο νερό, αρκετά σταθερή για την άντληση, την παρατεταμένη αποθήκευση και την ανάμειξη. Επιπλέον, το γαλάκωμα πρέπει να διασπάται γρήγορα μετά την επαφή με το σύνολο μέσα σε ένα μίξερ, ή μετά τον ψεκασμό για το υπόστρωμα του δρόμου. Μετά την ωρίμανση, το υπόλοιπο της ασφάλτου διατηρεί την πρόσφυση, την ανθεκτικότητα, και τις αδιάβροχες ιδιότητες της.

Τα σωματίδια της ασφάλτου βρίσκονται σε μόνιμη αιώρηση μέσα στο νερό και αυτό επιτυγχάνεται με την ομοιόμορφη φόρτιση τους κατά το στάδιο της γαλακτωματοποίησης με την προσθήκη χημικού πρόσθετου, το οποίο όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω ονομάζεται γαλακτωματοποιητής. Συγκεκριμένα τα ασφαλτικά γαλακτώματα παράγονται με τη μηχανική διασπορά της ασφάλτου, η οποία ρευστοποιείται με θέρμανση μέσα σε νερό που έχει τον κατάλληλο παράγοντα γαλάκωσης. Η τυπική αναλογία ασφάλτου και νερού είναι 60%/40%, κατά βάρος, αντίστοιχα. Παράλληλα ο «παράγοντας γαλάκωσης» βελτιώνει τις φυσικές ιδιότητες του ασφαλτικού γαλακτώματος.

Τα ασφατικά γαλακτώματα, ανάλογα με την επιφανειακή φόρτιση των σωματιδίων τους διακρίνονται σε κατιονικά ή όξινα, με θετικά φορτισμένα σωματίδια και σε ανιονικά ή αλκαλικά με αρνητικά φορτισμένα σωματίδια. Τα αλκαλικά γαλακτώματα έχουν πολύ καλή πρόσφυση σε ασβεστολιθικά πετρώματα, ενώ τα όξινα προσφύονται καλύτερα στα πυριγενή πετρώματα. Η επαφή μεταξύ όξινου και αλκαλικού γαλακτώματος δεν επιτρέπεται γιατί γίνεται άμεση διάσπαση και των δύο. Βεβαίως υπάρχουν και τα μη-ιονικά ασφατικά γαλακτώματα όπου τα σωματίδια της ασφάλτου βρίσκονται σε αιώρηση σε ουδέτερο υδατικό περιβάλλον και τα οποία δεν χρησιμοποιούνται στην οδοποιία.

Τα ασφατικά γαλακτώματα, συγκρινόμενα με τα ασφατικά διαλύματα αλλά και την ασφαλτο πλεονεκτούν λόγω του πολύ χαμηλού ιξώδους, αφού μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς καθόλου θέρμανση σε όλα τα στάδια εφαρμογής και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας και τη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Επίσης κατά την χρήση ασφατικών γαλακτωμάτων εξατμίζεται νερό και όχι υλικό υψηλής θερμικής ενέργειας και συναλλαγματικής αξίας, το οποίο εξατμίζεται κατά την χρήση ασφατικών διαλυμάτων. Άλλα πλεονεκτήματα είναι ότι τα γαλακτώματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν με υγρά αδρανή υλικά ή σε υγρές επιφάνειες ασφατικών στρώσεων ή στρώσεων βάσεων (κέρδος χρόνου) και να μην χρησιμοποιηθούν αντιυδροφιλά παρασκευάσματα για την αντιμετώπιση τυχών υδροφιλίας των αδρανών (μείωση κόστους), επιταχύνουν την πρόοδο των εργασιών, αποτρέπουν την περαιτέρω οξείδωση της ασφάλτου και προσφέρουν καλύτερα αποτελέσματα στις εργασίες συγκόλλησης και προεπάλειψης. Επιπρόσθετα οι γαλακτωματοποιητές για την παραγωγή κατιονικών γαλακτωμάτων έχουν από τη φύση τους συγκολλητικές ιδιότητες οι οποίες προστιθέμενες σε αυτήν της ασφάλτου αυξάνουν περαιτέρω την συγκολλητική ικανότητα αυτής.

Τα ασφατικά γαλακτώματα είναι κατάλληλα για στεγανωτικές επαλείψεις και αντιδιαβρωτική προστασία επιφανειών διαφόρων υλικών. Χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία φράγματος υδρατμών, στεγανοποίησης θεμελίων, δαπέδων, τοίχων, επιπέδων και κεκλιμένων στεγών. Ακόμη χρησιμοποιούνται ως υπόστρωμα για την εφαρμογή ασφατικών μεμβρανών και άλλων ασφατικών υλικών. Διακρίνονται γενικά σε θερμά ασφατικά γαλακτώματα, τα οποία θερμαίνονται πριν από την εφαρμογή τους στην κατασκευή και σε ψυχρά ασφατικά γαλακτώματα, τα οποία εφαρμόζονται αφού αραιωθούν.

### 1.5.1 Ταξινόμηση και τύποι γαλακτώματων

Τα ασφαλτικά γαλακτώματα εκτός της βασικής ταξινόμησης με βάση το είδος της επιφανειακής φόρτισης των σωματιδίων της ασφάλτου σε ανιονικά ή κατιονικά διακρίνονται και σε τρεις άλλες κατηγορίες ανάλογα με την ταχύτητα διάσπασης. Οι τρεις κατηγορίες είναι τα βραδείας, μέσης και ταχείας διάσπασης γαλακτώματα. Οι Βρετανικές προδιαγραφές έχουν και μία τέταρτη κατηγορία που αφορά μόνο τα ανιονικά γαλακτώματα της πολύ βραδείας διάσπασης, η οποία σήμερα δεν χρησιμοποιείται. Επιπλέον τα γαλακτώματα χαρακτηρίζονται από το ποσοστό ασφάλτου που περιέχουν, από το ιξώδες αυτών και από τη σκληρότητα της ασφάλτου. Συνήθως το ποσοστό του ασφάλτου που περιέχεται είναι 55-65% κατά βάρος.

Η Βρετανική ταξινόμηση χρησιμοποιεί το K και το A για κατιονικά και ανιονικά και τους αριθμούς 1 έως 3 ή και 4 για την ταχύτητα διάσπασης. Έτσι ο συμβολισμός A2-50 αντιστοιχεί σε ανιονικό γαλακτώμα μέσης διάσπασης με 50% περιεκτικότητα σε άσφαλτο ενώ ο συμβολισμός K1-70 αντιστοιχεί σε κατιονικό γαλακτώμα ταχείας διάσπασης με 70% περιεκτικότητα σε άσφαλτο.

«Οι Αμερικάνικες προδιαγραφές χρησιμοποιούν το γράμμα C για τα κατιονικά και κανένα γράμμα για τα ανιονικά και για την ταχύτητα διάσπασης τους συμβολισμούς RS –για ταχείας, MS-μέσης και SS-βραδείας διάσπασης. Ο αριθμός 1 δηλώνει ότι το ελάχιστο ποσοστό ασφάλτου στο γαλακτώμα θα πρέπει να είναι 55-60% ενώ ο αριθμός 2 δηλώνει ότι το ελάχιστο ποσοστό ασφάλτου θα πρέπει να είναι 63 ή 65% για ανιονικά ή κατιονικά γαλακτώματα αντίστοιχα. Μετά από αυτό τον αριθμό μπορεί να υπάρχει το γράμμα ‘h’ που δηλώνει ότι η άσφαλτος που χρησιμοποιήθηκε είναι σκληρότερη από τη συνήθη που είναι ο τύπος 80/100 pen. Έτσι ο συμβολισμός SS-1h κατά τις Αμερικάνικες προδιαγραφές σημαίνει ανιονικό γαλακτώμα βραδείας διάσπασης με ελάχιστο ποσοστό ασφάλτου 57% και σκληρότερη άσφαλτος αυτής του 80/100pen.» [AASHTO 1998]

Τα γαλακτώματα ανάλογα με το τύπο τους πρέπει να πληρούν και άλλες ιδιότητες όπως ιξώδες, καθίζηση, διαστάσεις σωματιδίων ασφαλτικού, καλυπτικότητα κλπ, έτσι ώστε να μπορούν να καλύψουν κατάλληλα τα αδρανή, να αποθηκεύονται χωρίς να διασπώνται και να έχουν την κατάλληλη ποιότητα και περιεκτικότητα σε άσφαλτο. Επίσης ο ρυθμός διάσπασης του γαλακτώματος είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες για την καλή συμπεριφορά και την επιτυχία της κατασκευής.

Βάση τις τεχνικές προδιαγραφές του Τμήματος Δημοσίων Έργων στην Κύπρο για την ασφαλική προεπάλειψη χρησιμοποιείται ασφαλικό γαλάκτωμα μέσης ταχύτητας ξήρανσης τύπου S-125, σύμφωνα με το περί Προδιαγραφών Ασφάλτου Διάταγμα ΚΔΠ 317/2004, οι ιδιότητες του οποίου συνοψίζονται στον πίνακα 1.6.

**Πίνακας 1.6: Ιδιότητες κεκραμένης ασφάλτου τύπου S-125 Τ.Δ.Ε [Τ.Δ.Ε 2009]**

Ιδιότητα	Δοκιμασία Μέθοδος	Όρια	
		Ελάχιστο	Μέγιστο
Πυκνότητα στους 25°C (g/ml)	CYS EN ISO 3838 (ASTM D 70)	0,95	1,04
Ιξώδες (Standard Tar) στους 40°C (sec)	IP 72	100	150
Ιξώδες Κινηματικό στους 60°C (stokes)	CYSENISO3104 (ASTM D 445)	80	110
Σημείο ανάφλεξης c.o.c (°C)	CYS EN 22592 (ASTM D 92)	50	-
Απόσταξη: -Απόσταγμα στους 225°C (% v/v) -Απόσταγμα στους 316°C (% v/v) -Απόσταγμα στους 360°C (% v/v)	ASTM D 402	- 4 -	2 13 16
Δοκιμές στο υπόλειμμα απόσταξης: -Διεισδυτικότητα στους 25°C (x 0,1mm) -Σημείο Μάλθωσης R&B (°C) -Διαλυτότητα (% m/m)	CYS EN 1426 (ASTM D 5) CYS EN 1427 (ASTM D 36) CYS EN 12592 (IP 47)	100 30 99	350 50 -

## 1.6 Τροποποιημένη ασφαλτος

Οι τροποποιημένες ασφαλτοι αναπτύχθηκαν για να βελτιώσουν την συμπεριφορά των ασφαλτομιγμάτων και κατά συνέπεια του οδοστρώματος. Η τροποποιημένη ασφαλτος είναι η ασφαλτος η οποία ενισχύεται με πολυμερή προσθετικά τα οποία βελτιώνουν τις φυσικές /μηχανικές ιδιότητες της ασφάλτου. Η ασφαλτος είναι χρήσιμη στην κατασκευή δρόμων λόγω της βασικής θερμοπλαστικής της φύσης, δηλαδή το ό,τι είναι σκληρή / στερεή, ψυχρή και σε υγρή μορφή, θερμή. Οι βασικές ιδιότητες της ασφάλτου μπορούν να τροποποιηθούν με την προσθήκη πολυμερών, τα οποία διαφοροποιούν τις φυσικές ιδιότητές της προς το καλύτερο. Τα πολυμερή προσθετικά δεν διαφοροποιούν χημικά τη χημική σύσταση της ασφάλτου, είναι όμως ικανά να τροποποιήσουν φυσικές ιδιότητες όπως το σημείο μάλθωσης και ευθραυστότητας της ασφάλτου.

Τα οφέλη που θα μπορούσαν να επιτευχθούν με τη χρήση τροποποιημένων ασφάλτων συνοψίζονται: στη βελτίωση της αντίστασης σε παραμένουσα παραμόρφωση του ασφαλτομίγματος σε υψηλές θερμοκρασίες, στη μεγαλύτερη κατανομή τάσεων (αύξηση του μέτρου δυσκαμψίας της) για συγκεκριμένο πάχος στρώσεων, στη βελτίωση της συμπεριφοράς του ασφαλτομίγματος σε κόπωση με συνέπεια τη μείωση της ρηγμάτωσης υπό την επίδραση επαναλαμβανόμενης φόρτισης και στη βελτίωση της ολκιμότητας σε χαμηλές θερμοκρασίες με συνέπεια τη μείωση της θερμικής ρηγμάτωσης. Άλλα οφέλη είναι η βελτίωση της συγκόλλησης με τα αδρανή που επιφέρει μείωση της αποκόλλησης αδρανών, η αύξηση της συνεκτικότητας (συνοχής) του μίγματος, η μείωση της σκλήρυνσης ή γήρανσης της ασφάλτου δίνοντας μεγαλύτερη διάρκεια ζωής στις επιφανειακές στρώσεις, η μείωση της θερμοκρασιακής ευαισθησίας της ασφάλτου, η αύξηση του ιξώδους που επιτρέπει τη δημιουργία μεγαλύτερου πάχους υμένα ασφάλτου σε ανοικτού τύπου ασφαλτομίγματα και η εξάλειψη του φαινομένου της ανάδυσης της ασφάλτου στην επιφάνεια του οδοστρώματος.

Οι κύριοι τροποποιητές ασφάλτου, σήμερα, είναι τα πολυμερή, τα οποία διακρίνονται σε ελαστομερή, πλαστομερή και θερμοσκληρυνόμενα (ρητίνες). Στους τροποποιητές επίσης μπορούν να συμπεριληφθούν και οι ίνες, οι οποίες παρόλο που δεν αλλάζουν τις ιδιότητες της ασφάλτου, επηρεάζουν την συμπεριφορά του ασφαλτομίγματος. Άλλα υλικά που μπορούν να θεωρηθούν τροποποιητές ασφάλτου είναι: οι παιπάλες, η φυσική άσφαλτος, άλλοι χημικοί τροποποιητές και τα ανακυκλούμενα ελαστικά. Ο κάθε ένας από τους παραπάνω τροποποιητές επιφέρει ανάλογες βελτιώσεις στο ασφαλτόμιγμα και κατά συνέπεια στο οδόστρωμα. Οι επερχόμενες βελτιώσεις με την προσθήκη αυτών των τροποποιητών στην άσφαλτο καθώς και άλλες ιδιότητες αυτών συνοψίζονται στον Πίνακα 1.7.

Τα πιο γνωστά θερμοπλαστικά πολυμερή που χρησιμοποιούνται στην τροποποίηση της ασφάλτου είναι το SBS (Στυρένιο Βουταδιένιο Στυρένιο) και το EVA (Οξικό Βινυλεθυλένιο). Το SBS είναι ένα ελαστικό πολυμερή το οποίο με την επίδραση εφελκυστικής δύναμης επιμηκώνεται και μετά την αφαίρεση της δύναμης επανέρχεται στο αρχικό του μήκος. Ενώ το EVA είναι ένα πλαστικό πολυμερή το οποίο όταν θερμανθεί πάνω από μία θερμοκρασία γίνεται μαλακό και μπορεί να μορφοποιηθεί και κατόπιν με την απομάκρυνση της θερμοκρασίας σκληραίνει και διατηρεί το σχήμα που απέκτησε. «Το EVA και το SBS, αυξάνουν την ακαμψία της ασφάλτου, αλλά σε πολλές περιπτώσεις λόγω της διαφορετικής τους ψύξης προκαλούν ‘ξέφτισμα’ του οδοστρώματος κατά την εφαρμογή.» [Κάρτα και Παπαθωμά 2007]

Πίνακας 1.7: Βελτιώσεις που επέρχονται με τη χρήση τροποποιητών ασφάλτου [Νικολαΐδης et al 2010]

Βελτιώσεις	Ελαστομερή (SBS κ.λ.π)	Πλαστομερή (EVA κ.λ.π)	Θερμοσκλη- ρυνόμενα (ρητίνες)	Τρες
Παραμένουσα παραμόρφωση	Ναι	Ναι	Ναι	-
Ρηγμάτωση κόπωσης	Ναι	Κάποια	Ναι	Κάποια
Θερμική ρηγμάτωση	Ναι	Κάποια	Ναι	-
Αποστράγγιση ασφάλτου	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι
Γήρανση	Κάποια	Κάποια	Ναι	Κάποια
Αντίσταση καταστροφής από υγρασία	Ναι	-	Ναι	-
<i>Άλλα χαρακτηριστικά</i>				
Δυσκολία στην ανακύκλωση	Μέτρια		Μεγάλη	Χαμηλή
Προσαύξηση κόστους	Μέτρια-υψηλή		Υψηλή	Χαμηλή
Περιβαλλοντική θεώρηση	Αποσυντίθεται εάν υπερθερμανθεί		Βλαβερό όταν δεν ωρμάσει	Επικίνδυνο λόγω λεπτότητας υλικού

## 1.7 Αντιυδρόφιλα υλικά

Η επιτυχημένη ασφαλική κατασκευή εξαρτάται και από το βαθμό προσφύσεως του ασφαλικού στα αδρανή. Γι' αυτό δοκιμάζουμε το ασφαλικό υλικό με τα αδρανή για να διαπιστώσουμε τον βαθμό προσφύσεως. Αρχικά επικαλύπτουμε το αδρανές με το ασφαλικό υλικό που θα χρησιμοποιήσουμε και στη συνέχεια το τοποθετούμε μέσα σε νερό. Μετά από έναν ορισμένο χρόνο εκτιμούμε με το μάτι μας πόση επιφάνεια του αδρανούς έχει παραμείνει καλυμμένη με το ασφαλικό. Αν η επιφάνεια είναι μεγαλύτερη του 95% της ολόκληρης επιφάνειας τότε λέμε ότι το υλικό δεν παρουσιάζει υδροφιλία και δεν χρειάζεται βελτίωση της προσφύσεως. Σε αντίθετη περίπτωση η πρόσφυση δεν είναι καλή. Για να αυξήσουμε τον βαθμό προσφύσεως χρησιμοποιούμε διάφορα χημικά μέσα που ονομάζονται αντιυδρόφιλα υλικά. Το απαιτούμενο ποσό τους καθορίζεται με δοκιμές.

Τα αντιυδρόφιλα υλικά είναι πολύπλοκα χημικά παρασκευάσματα που περιέχουν ιδιαίτερες ενεργές ομάδες (NH<sub>2</sub>, COOH), οι οποίες εγγυούνται απορρόφηση ενός λεπτού υμένα ασφάλτου στην επιφάνεια του πετρώματος καθώς τροποποιούν χημικά την άσφαλο. Χρησιμοποιούνται σε ποσοστό 0,50-1,50% στο βάρος της ασφάλτου, τροποποιώντας την και καθιστώντας την ανθεκτική στην υγρασία τόσο του περιβάλλοντος όσο και των πετρωμάτων.

Τα αντιϋδρόφιλα υλικά προσθέτονται στην άσφαλτο και το μίγμα αναμιγνύεται έως ομογενοποίησεως.

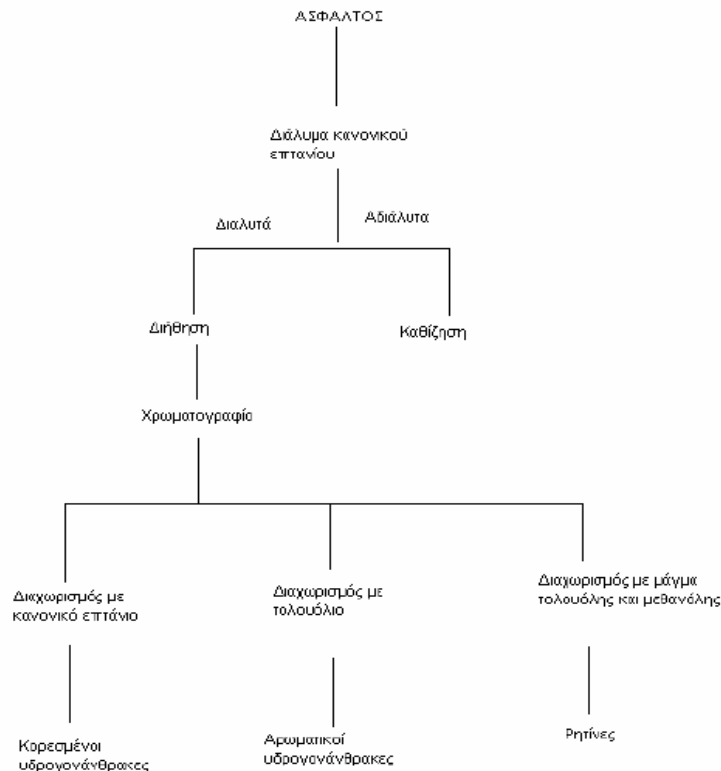
## 1.8 Χημική σύσταση και δομή της ασφάλτου

Η άσφαλτος είναι ένα πολύπλοκο χημικό μίγμα οργανικών ενώσεων που αποτελείται κυρίως από υδρογονάνθρακες με ένα μικρό ποσοστό ετεροκυκλικών ενώσεων που περιέχουν στα ενεργά τους κέντρα θείο, άζωτο και οξυγόνο. Η άσφαλτος επίσης περιέχει ίχνη μετάλλων νικελίου, μαγνησίου, σιδήρου, βαναδίου και ασβεστίου με τη μορφή ανόργανων αλάτων και οξειδίων. Στοιχειακή ανάλυση ασφάλτων που παράχθηκαν από αργό πετρέλαιο από διάφορες πηγές έδειξε ότι οι περισσότεροι άσφαλτοι περιέχουν : Άνθρακα 82-88%, Υδρογόνο 8-11%, Θείο 0-6%, Οξυγόνο 0-1.5% και Άζωτο 0-1%. Η ακριβής σύνθεση της ασφάλτου διαφέρει και εξαρτάται τόσο από την πηγή του πετρελαίου και την τροποποίηση που επέρχεται κατά την κλασματική απόσταξη αυτού, όσο και από την επερχόμενη γήρανση της ασφάλτου.

Παρ' όλη την πολυπλοκότητα της χημικής σύνθεσης της ασφάλτου είναι δυνατόν να διαχωρίσουμε αυτήν σε δύο ευρύτερες χημικές ομάδες και να πάρουμε έτσι χρησιμότερες πληροφορίες για τις φυσικές τις ιδιότητες που επηρεάζουν άμεσα τη συμπεριφορά της σε διάφορες εφαρμογές, όπως στην οδοποιία. Οι δύο χημικές ομάδες είναι τα ασφαλτένια και τα μαλτένια. Τα μαλτένια μπορούν ακόμη να υποδιαιρεθούν σε κορεσμένους υδρογονάνθρακες, σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες και σε ρητίνες.

Ο διαχωρισμός της ασφάλτου στα παραπάνω κλάσματα γίνεται με τέσσερις μεθόδους οι οποίες είναι εκχύλιση με διαλύτες, χρωματογραφία, κλασματική απόσταξη και προσρόφηση πάνω σε λεπτόκοκκες στερεές ουσίες και απομάκρυνση των μη προσροφηθέντων με διήθηση. Από τις τέσσερις μεθόδους οι δύο πρώτες είναι αυτές που χρησιμοποιούνται περισσότερο. Η πρώτη είναι σχετικά απλή και γρήγορη αλλά με όχι τόσο ακριβή διαχωρισμό όσο η χρωματογραφία. Η χρωματογραφία είναι αυτή που χρησιμοποιείται ευρέως σήμερα. Η βάση στη χρωματογραφία είναι να διαχωριστούν τα ασφαλτένια. Τα ασφαλτένια είναι αδιάλυτα σε διάλυμα κανονικού επτανίου και έτσι κατακρημνίζονται ως ίζημα. Τα μαλτένια είναι διαλυτά στο κανονικό επτάνιο καθώς και σε άλλους διαλύτες. Σχηματική παρουσίαση του διαχωρισμού της ασφάλτου δίνεται στην εικόνα 1.2.





**Εικόνα 1.2: Σχηματική παρουσίαση διαχωρισμού της ασφάλτου [Γεωργούλα και Γουβαλή 2008]**

Οποιαδήποτε αυξομείωση των ασφαλτενίων και των μαλτενίων, ιδιαίτερα των ρητίνων και των κεκορεσμένων, επηρεάζει το ιξώδες και τη θερμοκρασιακή ευαισθησία της ασφάλτου (σκληρότητα). Αυξομείωση των παραπάνω λαμβάνει χώρα κατά την διάρκεια και τον τρόπο παραγωγής της ασφάλτους.

### 1.8.1 Ασφαλτένια

Τα ασφαλτένια είναι πολύπλοκες πολικές αρωματικές ενώσεις, στερεά αδιάλυτα σε κανονικό επτάνιο, μαύρου ή σκούρου χρώματος, που περιέχουν πλην του άνθρακα, υδρογόνο, θείο και οξυγόνο. Τα ασφαλτένια έχουν πολύ μεγάλο μοριακό βάρος που από διάφορους ελέγχους βρέθηκε ότι μεταβάλλεται από 1.000 έως 300.000 αναλόγως της μεθόδου καθορισμού και της προέλευσης του αργού πετρελαίου. Η περιεκτικότητα ης ασφάλτου σε ασφαλτένια επηρεάζει άμεσα τις ρεολογικές ιδιότητες της ασφάλτου. Αυξάνοντας το ποσοστό των ασφαλτενίων παράγεται ασφαλτος με χαμηλή διεισδυτικότητα, υψηλό σημείο μάλθωσης και κατά συνέπεια

υψηλό ιξώδες. Το ποσοστό των ασφαλτένιων στην άσφαλτο συνήθως κυμαίνεται από 5% έως 28% .

### **1.8.2 Μαλτένια**

#### **▪ Ρητίνες**

Οι ρητίνες είναι διαλυτές στο κανονικό επτάνιο και αποτελούνται από τα ίδια συστατικά με τα ασφαλτένια, πλην όμως έχουν μικρότερο μοριακό βάρος (500 έως 50000). Οι ρητίνες είναι ισχυρές πολικές ενώσεις σε στερεά ή ημίστερα μορφή χρώματος σκούρου καφέ. Παίζουν το ρόλο διασπορών των ασφαλτένιων και η αναλογία αυτών στην άσφαλτο καθορίζει κατά ένα βαθμό τον τύπο συμπεριφοράς της ασφάλτου ως κολλοειδούς διαλύματος (SOL ή ζελατίνη (GEL)).

#### **▪ Αρωματικές ουσίες**

Οι αρωματικές ουσίες είναι αρωματικοί ναφθενικοί υδρογονάνθρακες, έχουν το χαμηλότερο μοριακό βάρος των ενώσεων στην άσφαλτο (300 έως 2000) και αντιπροσωπεύουν το κυριότερο μέσο διασποράς των ασφαλτένιων. Είναι ιξώδη ρευστά σκούρου χρώματος και βρίσκονται σε ποσοστό 40 έως 65% στην άσφαλτο .

#### **▪ Κορεσμένες ουσίες**

Οι κορεσμένες ουσίες είναι ασφαλτικοί υδρογονάνθρακες με αλκυλναφθένια και αλκυλαρωματικούς υδρογονάνθρακες. Το μοριακό τους βάρος είναι όμοιο με των αρωματικών ουσιών και τα συστατικά τους περιέχουν κηροειδή κεκορεσμένα. Οι κορεσμένες ουσίες είναι μη πολικά ιξώδη έλαια , χρώματος ξανθού ή λευκού και βρίσκονται σε αναλογία 5 έως 20 % στην άσφαλτο .

## **1.9 Διαχείριση ασφαλτικών συνδετικών υλικών**

Οι βασικές πτυχές για την επιτυχία της αποθήκευσης και της διακίνησης της υγρής ασφάλτου είναι η θέρμανση, η ασφάλεια, η μεταφορά, η κατασκευή δεξαμενών, η διαχείριση των δεξαμενών, οι περιβαλλοντικοί έλεγχοι και οι έλεγχοι της ποιότητας.

### 1.9.1 Αποθήκευση

Τα ασφαλτικά υλικά πριν τη χρήση τους αποθηκεύονται σε κάθετες συνήθως ή οριζόντιες κυλινδρικές δεξαμενές διαφόρων χωρητικοτήτων, αναλόγως της ζήτησης. Η ποσότητα της ασφάλτου στις δεξαμενές πρέπει να είναι επαρκής ώστε να επιτρέπει την ομοιόμορφη λειτουργία της εγκατάστασης. Το περιεχόμενο των δεξαμενών αποθήκευσης πρέπει να μπορεί να μετρηθεί με μετρητές ώστε το ποσό των υλικών που παραμένουν στη δεξαμενή να μπορεί να προσδιοριστεί ανά πάσα στιγμή. Αυτό είναι απαραίτητο προκειμένου να καθοριστεί το ποσό της πρόσθετης ύλης που πρέπει να προστεθεί όταν αυτό απαιτείται. Ακόμη οι δεξαμενές θα πρέπει όσο το δυνατόν να διατηρούνται γεμάτες, μειώνοντας έτσι τον αέρα και το οξυγόνο μέσα σε αυτές. Το τελευταίο προκαλεί οξείδωση της ασφάλτου και στην περίπτωση ασφαλτικού γαλακτώματος προκαλείται διάσπαση του όταν αποθηκευτεί για μεγάλο χρονικό διάστημα πέραν των τριών μηνών.

Οι δεξαμενές αποθήκευσης της ασφάλτου πρέπει να έχουν αποτελεσματικό και ικανό σύστημα θέρμανσης έτσι ώστε να μπορούν να θερμάνουν την ασφάλτο στην επιθυμητή θερμοκρασία λίγο πριν τη χρήση της. Η θέρμανση στις δεξαμενές επιτυγχάνεται με σύστημα λαδιού με περιμετρικές σαρπαντίνες ή ηλεκτρικά ή δια τη διανομής ατμού ή ζεστού πετρελαίου μέσω έλασης στη δεξαμενή. Στη περίπτωση που χρησιμοποιείται το σύστημα του λαδιού θα πρέπει να ελέγχεται συχνά η στάθμη του λαδιού γιατί μια μείωση του επιπέδου θα μπορούσε να σήμαινε μια διαρροή από το καυτό λάδι και η διαρροή αυτή θα έχει ως αποτέλεσμα την μόλυνση της ασφάλτου. Επίσης η παρατεταμένη αποθήκευση σε θερμοκρασίες χρήσης πρέπει να αποφεύγεται για να μην επέρχεται περαιτέρω οξείδωση της ασφάλτου. Στην περίπτωση της πολυμερούς ασφάλτου, η παρατεταμένη αποθήκευση σε θερμοκρασίες χρήσης μπορεί να επιφέρει καθίζηση και διαχωρισμό του πολυμερούς.

Η υπερθέρμανση της ασφάλτου πρέπει να αποφεύγεται κατά την αποθήκευση και χρήση της τόσο για λόγους ασφάλειας (αυτό-ανάφλεξη) όσο και για λόγους επιταχυνόμενης οξείδωσης και αλλοίωσης των ιδιοτήτων της. Για αυτό οι δεξαμενές θα πρέπει να έχουν ένα αξιόπιστο και αντιπροσωπευτικό σύστημα μέτρησης της εσωτερικής θερμοκρασίας. «Η μέγιστη θερμοκρασία αποθήκευσης για όλες τις ασφάλτους οδοστρωσίας είναι 177°C, πλην της πολύ μαλακής ασφάλτου τύπου 200-300pen για την οποία συνίσταται θερμοκρασία αποθήκευσης 168 °C. Οι μέγιστες επιτρεπτές θερμοκρασίες για ασφαλή χρήση καθορίζονται από το σημείο αυτανάφλεξης του υλικού και πάντοτε για λόγους ασφαλείας μικρότερες του ελάχιστου σημείου αυτανάφλεξης (κατά κανόνα 30 °C χαμηλότερες)»[Asphalt Institute 1989]. Σύμφωνα

με τις κυπριακές προδιαγραφές [Τ.Δ.Ε 2009] η άσφαλτος θα πρέπει να θερμαίνεται κερωρισμένα σε εγκεκριμένους κλιβάνους, στις θερμοκρασίες 145-165°C. Οι μετρητές της θερμοκρασίας θα πρέπει να είναι εύκολα προσβάσιμοι και να διατηρούνται συνεχώς καθαροί και ευανάγνωστοι.

Τέλος οι δεξαμενές θα πρέπει να είναι εφοδιασμένες με ένα σύστημα επανακυκλοφορίας του υλικού έτσι ώστε να αποφεύγεται η τοπική υπερθέρμανση του συνδετικού υλικού ,να επιτυγχάνεται γρηγορότερα η επιθυμητή θερμοκρασία και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να βελτιώνεται η διαταραχθείσα ομοιογένεια του υλικού.

### **1.9.2 Μεταφορά**

Η μεταφορά των ασφαλικών συνδετικών υλικών γίνεται κυρίως με βυτιοφόρα οχήματα, οριζοντίου δεξαμενής, διαφόρων χωρητικότητων. Τα οχήματα αυτά θα πρέπει να είναι εφοδιασμένα με δεξαμενές θερμομονωμένες, με αξιόπιστο και αντιπροσωπευτικό σύστημα μέτρησης της θερμοκρασίας και να διαθέτουν εκτός από την αντλία τροφοδοσίας και ένα σύστημα επανακυκλοφορίας. Επιπλέον τα οχήματα αυτά θα πρέπει να περιλαμβάνουν και ένα σύστημα θέρμανσης της ασφάλτου που μεταφέρουν για τις περιπτώσεις όπου η άσφαλτος θα μεταφερθεί σε μεγάλη απόσταση.

Οι δεξαμενές των οχημάτων θα πρέπει να είναι καθαρές πριν την φόρτωση των ασφαλικών υλικών διότι έστω και μικρές ποσότητες ξένων ουσιών όπως είναι συνήθως μαζούτ, πετρελαίου, ελαίων κλπ επηρεάζουν άμεσα τις ιδιότητες της ασφάλτου και την ποιότητα του έργου. Συγκεκριμένα η άσφαλτος κάτω από την επίδραση αυτών των ξένων ουσιών γίνεται μαλακότερη , μειώνεται η συγκολλητική της ικανότητα και είναι πιθανόν να δημιουργηθεί και ατύχημα από αυτανάφλεξη δεδομένου ότι ο παραγωγός του ασφαλτομίγματος θεωρεί ότι το υλικό που παράλαβε είναι όπως τα άλλα και το θερμαίνει στις θερμοκρασίες που συνήθως χρησιμοποιεί. «Βρέθηκε ότι 0.1% πετρελαίου στην άσφαλτο μπορεί να χαμηλώσει το σημείο ανάφλεξης μέχρι και 28 °C και να αυξήσει την διεισδυτικότητα αυτής κατά 10 μονάδες.» [Koenders et al. 2001] Τέλος θα πρέπει να αποφεύγονται οι αλλαγές της χρήσης των δεξαμενών και όταν αυτό δεν είναι εφικτό πρέπει να γίνεται τουλάχιστο σχολαστικό άδειασμα και καθάρισμα των δεξαμενών.

### 1.9.3 Θερμοκρασία χρήσης

Τα ασφαλτικά συνδετικά υλικά σε κάθε στάδιο χρήσης τους πρέπει να έχουν την κατάλληλη θερμοκρασία έτσι ώστε να επιτευχθεί το κατάλληλο ιξώδες. Τα στάδια αυτά κατά σειρά είναι η άντληση από το κύκλωμα σωληνώσεων ή βυτιοφόρων ή από τη δεξαμενή προς τον κάδο ανάμιξης, η ανάμιξη για την παραγωγή του ασφαλτομίγματος, ο ψεκασμός στην περίπτωση που το συνδετικό υλικό χρησιμοποιείται για επαλείψεις ασφαλτικών στρώσεων ή συγκολλητικών και τέλος η συμύκνωση του ασφαλτομίγματος.

Κατά το στάδιο άντλησης το ασφαλτικό υλικό πρέπει να ρέει με ευκολία διαμέσου των σωληνώσεων έτσι ώστε να μην δημιουργούνται προβλήματα στις αντλίες λόγω υψηλού ιξώδους και αυτό συνεπάγεται τη μη καθυστέρηση της εκφόρτωσης. «Για να επιτευχθεί αυτό το ιξώδες της ασφάλτου δεν πρέπει να υπερβαίνει μια μέγιστη τιμή η οποία εκτιμάται 2 Pa.s.» [Brien 1981] Επίσης καθορίστηκαν οι ελάχιστες θερμοκρασίες άντλησης ασφαλτικών υλικών (Πίνακας 1.8). Παρατηρείται ότι κατά την εκφόρτωση της ασφάλτου το ιξώδες αυξάνεται λόγω της πτώσης της θερμοκρασίας.

Κατά το στάδιο της ανάμιξης, το ασφαλτικό υλικό θα πρέπει να έχει και πάλι το κατάλληλο ιξώδες για να επιτευχθεί η καλύτερη διασπορά αυτού στη επιφάνεια των αδρανών. Εάν η άσφαλτος έχει πολύ ψηλό ιξώδες τα αδρανή δε θα καλυφθούν όλα και ομοιόμορφα με άσφαλτο ενώ εάν έχει πολύ χαμηλό ιξώδες τα αδρανή θα καλυφθούν σίγουρα με άσφαλτο όμως το πάχος του υμένα της ασφάλτου επί των αδρανών θα είναι πολύ μικρό διότι αυτή θα αποστραγγίζεται. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το μίγμα να μην έχει την απαιτούμενη ποσότητα ασφάλτου με όλες τις συνέπειες που αυτό επιφέρει. «Για την ανάμιξη ως βέλτιστη τιμή ιξώδους λαμβάνεται η τιμή των 0.2 Pa.s.» [Brien 1981] Βάσει αυτού δίνονται οι τυπικές θερμοκρασίες ανάμιξης του πίνακα 1.8.

Επίσης κατά το στάδιο του ψεκασμού το συνδετικό υλικό πρέπει να έχει το κατάλληλο ιξώδες για να εκτελεσθεί η εργασία με επιτυχία. Εάν το ιξώδες είναι πολύ υψηλό θα προκύψει πρόβλημα με το μπέκ του ψεκασματος και η απαιτούμενη ποσότητα δε θα ψεκασθεί ομοιόμορφα. Ενώ αν το ιξώδες είναι πολύ χαμηλό υπάρχει ο κίνδυνος η άσφαλτος που ψεκάζεται να παρασύρεται από τον αέρα και να μην επικάθεται στην επιθυμητή επιφάνεια. «Για τον ψεκασμό ως βέλτιστη τιμή ιξώδους λαμβάνεται η τιμή των 0.06 Pa.s για θερμή άσφαλτο και 0.03 Pa.s για ασφαλτικά διαλύματα.» [Brien 1981]

Τέλος κατά το στάδιο της συμπίκνωσης η ασφάλτος πρέπει να έχει και πάλι το κατάλληλο ιξώδες για να επιτευχθεί η αποτελεσματική και βέλτιστη συμπίκνωση. Εάν το ιξώδες είναι πολύ υψηλό το ασφαλτόμιγμα είναι αδύνατο να συμπυκνωθεί επαρκώς ενώ αν είναι πολύ χαμηλό το ασφαλτόμιγμα είναι πολύ μαλακό και δεν μπορεί να παραλάβει το φορτίο του οδοστρώτηρα και έτσι καθυστερεί η έναρξη της συμπίκνωσης και κατά συνέπεια μειώνεται η χρονική διάρκεια ζωής του οδοστρώματος. «Για την συμπίκνωση ως βέλτιστη τιμή ιξώδους λαμβάνεται η τιμή των 20 Pa.s.» [Brien 1981]

#### **1.9.4 Δειγματοληψία –Έλεγχος Ποιότητας**

Για την εξασφάλιση της ποιότητας της κατασκευής απαιτείται ένας συστηματικός, αξιόπιστος και αντιπροσωπευτικός έλεγχος της ποιότητας των ασφαλικών υλικών. Τα δείγματα πρέπει να παραλαμβάνονται από κάθε παρτίδα παραλαβής υλικών ανεξάρτητα εάν ο προμηθευτής διαβεβαιώνει ότι το προϊόν είναι το ίδιο όπως τις άλλες φορές. Η δειγματοληψία γίνεται είτε από τις δεξαμενές αποθήκευσης είτε από τα βυτιοφόρα μεταφοράς. Τα δείγματα τοποθετούνται σε μεταλλικά δοχεία, σφραγίζονται και αριθμούνται έτσι ώστε να είναι δυνατή η μελλοντική εξακρίβωση των στοιχείων. Επιπλέον θα πρέπει να λαμβάνεται ικανοποιητικός αριθμός δειγμάτων έτσι ώστε να κρατηθούν αντιδείγματα μέχρι την ολοκλήρωση και την παραλαβή του έργου. Σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές του Τ.Δ.Ε της Κύπρου κάθε φορτίο ασφάλτου πρέπει να συνοδεύεται από πιστοποιητικό από τον προμηθευτή στο οποίο να αναφέρεται ο τύπος της ασφάλτου και η σχετική πυκνότητα της.

Τέλος, αφού ληφθούν τα δείγματα πρέπει να εκτελούνται σε αυτά οι απαραίτητοι εργαστηριακοί έλεγχοι που περιγράφονται στο κεφάλαιο 2 και να τηρούνται αρχεία για την επαλήθευση της επίδοσης του ποιοτικού ελέγχου των δειγμάτων.

#### **1.9.5 Υγεία, ασφάλεια και περιβαλλοντική ρύπανση**

Η υγεία, η ασφάλεια και ο έλεγχος του περιβάλλοντος αποτελούν ένα κρίσιμο μέρος της διαχείρισης της αποθήκευσης και της διακίνησης της ασφάλτου. Οι αναθυμιάσεις από τις δεξαμενές αποθήκευσης ασφάλτου ή φορτηγά βυτιοφόρα επηρεάζουν αρνητικά την υγεία των εργαζομένων και επιδεινώνουν τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Αν δεν υπάρχει αποτελεσματικός και ακριβής έλεγχος των θερμοκρασιών στις περιπτώσεις όπου

χρησιμοποιείται θείο, τότε δημιουργείται υδρόθειο σε μεγάλες ποσότητες, οι οποίες είναι επικίνδυνες για την υγεία και την ζωή των εργαζομένων για αυτό και πρέπει να αποφεύγεται η χρήση του θείου (πίσσα). Ο έλεγχος των καπνών της ασφάλτου, τόσο εντός όσο και γύρω από τον τόπο εργασίας, αποτελεί αναπόσπαστο μέρος ενός καλού σχεδίου διαχείρισης. “Η διαχείριση είναι κρίσιμη σημασίας από την άποψη της ασφάλειας”, λέει ο Meitl. Σήμερα κάποια μέτρα που λαμβάνονται είναι η χρήση ανεμιστήρων, φίλτρων ενεργού άνθρακα και μεταλλικά κουτιά για την απορρόφηση των καπνών.

Για την μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης θα ήταν καλό όπου είναι εφικτό οι ασφαλικές εργασίες που απαιτούν θέρμανση της ασφάλτου και των αδρανών να αντικαθίσταται με αντίστοιχες που δεν απαιτούν θέρμανση. Ένα παράδειγμα είναι η χρήση ασφαλικών γαλακτωμάτων.

**Πίνακας 1.8: Τυπικές θερμοκρασίες χρήσης ασφαλικών συνδετικών υλικών σε διάφορες εργασίες [Asphalt Institute 1989]**

Τυπικές Θερμοκρασίες, (°C)					
Είδος Ασφαλικού υλικού	Ανάμιξης		Ψεκάσμου	Αντλησης	Μεγ. θερμ. για ασφαλή χρήση, (°C)
	Κλειστού τύπου	Ανοικτού τύπου			
Άσφαλτος	130-175	80-120	> 150	~120	200
40-50pen	130-170	80-120	> 145	~120	200
60-70pen	120-165	80-120	> 140	~120	200
80-100pen	120-155	80-120	> 130	~120	190
120-150pen	115-150	80-120	> 130	~120	190
Τροποποιη- μένη άσφαλτος	Καθορίζεται από τη βιομηχανία παραγωγής της τροποποιημένης ασφάλτου (κατά κανόνα είναι λίγο μεγαλύτερες αυτών της κοινής ασφάλτου)				
Ασφαλτικά γαλακτώματα	Θερμοκρασίες περιβάλλοντος, μεγαλύτερες από 10° C και όχι μεγαλύτερες των 45° C (εκτός ειδικών γαλακτωμάτων)				
Ασφαλτικά διαλύματα	55-115		40-110	45-85	~ 160

## 2. ΔΟΚΙΜΕΣ ΠΕΤΡΕΛΑΪΚΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ

Οι εργαστηριακές δοκιμές που εκτελούνται στην ασφάλτο έχουν σκοπό να καθορίσουν τις χαρακτηριστικές ιδιότητες αυτής, για να διαπιστωθεί η καταλληλότητα της και να προβλεφθεί η συμπεριφορά της. Με τον όρο χαρακτηριστικές ιδιότητες περιλαμβάνονται όλες οι ιδιότητες, όπως τεχνολογικές, μηχανικές, ρεολογικές, χημικές και φυσικές.

### 2.1 Δοκιμή διείσδυτικότητας

Η δοκιμή διείσδυσης είναι η παλαιότερη δοκιμή της ασφάλτου και είναι η πλέον γνωστή δοκιμή για την ταξινόμηση και τον καθορισμό του τύπου της ασφάλτου. Ακόμη είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος μέτρησης της συνοχής και κατ'επέκταση της σκληρότητα της ασφάλτου. 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.

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι ότι αρχικά το δείγμα θερμαίνεται προσεκτικά μέχρις ότου 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.

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 συσκευή διείσδυσης φαίνεται στην εικόνα 2.1. 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.α..

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι ιδιαίτερα σημαντικό για την δοκιμή είναι η διατήρηση της θερμοκρασίας ελέγχου καθ'όλη τη διάρκεια των μετρήσεων και αυτό επιτυγχάνεται με χρήση του υδρόλουτρου όπου το νερό κυκλοφορεί μέσω συστήματος θέρμανσης. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται και στην προετοιμασία των δοκιμίων της ασφάλτου έτσι ώστε να μην δημιουργούνται εγκλωβισμένες φυσαλίδες αέρος στη μάζα της ασφάλτου ή μη καλή επιπεδότητα ή ύπαρξη σκόνης και άλλων ξένων μικροσωμάτων στην επιφάνεια.



**Εικόνα 2.1:Συσκευή Διείσδυσης [Κορωναίος και Πουλάκος 2006]**

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 2.1. Σε διαφορετική περίπτωση η δοκιμή επαναλαμβάνεται.

**Πίνακας 2.1: Επιτρεπόμενα όρια μεταξύ της μικρότερης και της μεγαλύτερης τιμής στη δοκιμή διείσδυσης των ασφαλτικών υλικών [Κορωναίος και Πουλάκος 2006]**

<b>Διείσδυση</b>	0-49	50-149	150-248	>250
<b>Όρια μεταξύ μικρότερης και μεγαλύτερης τιμής</b>	2	4	6	8

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%. Επίσης η ασφαλτος 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:

$$\log Pen = A T + B$$

όπου:

T : η θερμοκρασία στην οποία μετρήθηκε το penetration,

A : η κλίση της ευθείας και

B : παράμετρος που εκφράζει την σκληρότητα της ασφάλτου.

Η κλίση A δίνει το μέτρο της θερμικής ευαισθησίας της ασφάλτου

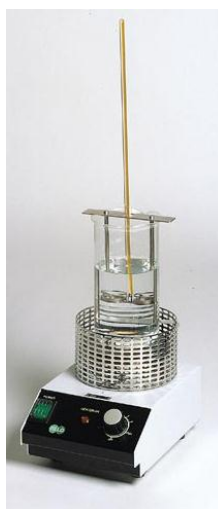
Η μαλακότερη ασφαλτος είναι αυτή που έχει τον μεγαλύτερο βαθμό διεισδυτικότητας και η «σκληρότερη» αυτή που έχει τον μικρότερο βαθμό διεισδυτικότητας. Σε γενικές γραμμές στις περιοχές με ψυχρό κλίμα χρησιμοποιείται μαλακή ασφαλτος ενώ σε περιοχές με θερμό κλίμα σκληρή ασφαλτος.

## 2.2 Δοκιμή Μάλθωσης

Η ασφαλτος είναι θερμοπλαστικό, μη ομοιογενές σώμα και συνεπώς δεν παρουσιάζει σαφές σημείο τήξης. Έτσι ορίστηκε η δοκιμή αυτή για τον προσδιορισμό της αλλαγής της σκληρότητας μιας ασφάλτου. 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. Η συνοχή της ασφάλτου μπορεί να καθοριστεί εμπειρικά και από τη δοκιμή μάλθωσης. Ως σημείο μάλθωσης ορίζεται η θερμοκρασία, στην οποία οι ασφαλτοι έχουν τέτοια σύσταση από απόψεως ιξώδους, ώστε να επιτρέπουν την διόδο μεταλλικής σφαίρας, με διάμετρο 9.5mm και βάρος 3.5 gr, μέσα από τη μάζα τους που γεμίζει ένα δακτύλιο ορισμένων διαστάσεων. Ακόμη η δοκιμή μάλθωσης μαζί με την δοκιμή διεισδυτικότητας χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση και τον καθορισμό του τύπου των οξειδωμένων ασφάλτων.

Αρχικά η διαδικασία που ακολουθείται είναι ότι 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.

Το γυάλινο δοχείο γεμίζεται με αποσταγμένο νερό με θερμοκρασία  $5 \pm 1$  °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 °C/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 δηλαδή να διανύσει την προκαθορισμένη απόσταση των 25.4mm. Ως θερμοκρασία μάλθωσης λαμβάνεται η θερμοκρασία κατά τη στιγμή όπου το δείγμα αγγίζει την πλάκα. Η θερμοκρασία αυτή χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την τιμή διείσδυσης για τον υπολογισμό του δείκτη διείσδυσης (PI). Όταν ο προσδιορισμός εκτελείται ταυτοχρόνως με δύο δακτυλίους, η μέγιστη επιτρεπόμενη διαφορά μεταξύ των τιμών της θερμοκρασίας είναι 1.2 °C. Στην περίπτωση του διπλού προσδιορισμού, ως σημείο μάλθωσης λαμβάνεται ο μέσος όρος των μετρήσεων. Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας στο υδρόλουτρο η οποία επιτυγχάνεται με τη συνεχή ανάδευση του υδρόλουτρο και από την καλή παρασκευή των δοκιμίων- δακτυλίων ασφάλτου. Σχηματική περιγραφή της δοκιμής φαίνεται στην εικόνα.2.2.



**Εικόνα 2.2:** Όργανο για την δοκιμή μάλθωσης των ασφαλτικών υλικών [Controls]

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

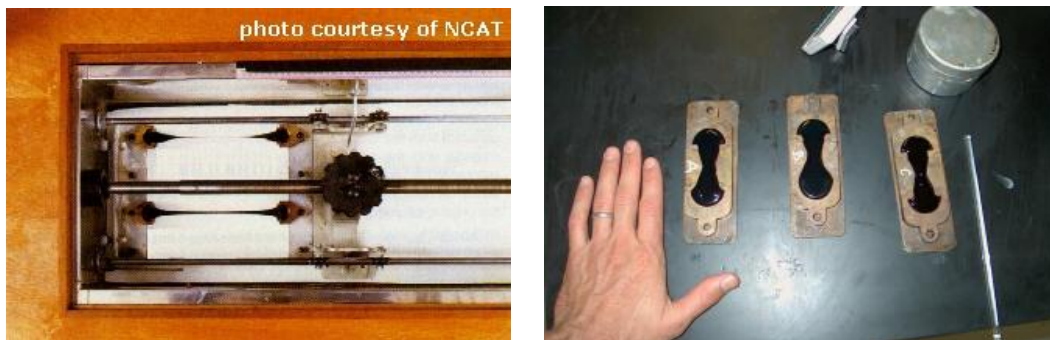
### 2.3 Δοκιμή Ολκιμότητας

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

Για την εκτέλεση της δοκιμής το υλικό, το οποίο πρόκειται να δοκιμαστεί, προετοιμάζεται σε κατάλληλη θερμοκρασία μέχρις ότου ρευστοποιηθεί μέσα σε ελαιόλουτρο. Στη συνέχεια, τοποθετείται στην ειδική επίπεδη ορειχάλκινη μήτρα η οποία παρέχει τη δυνατότητα στο μεσαίο τμήμα της να αποσπάται αφήνοντας έτσι την ασφαλτο ελεύθερη να επιμηκυνθεί (εικόνα 2.3) και μετέπειτα 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. Το υδατόλουτρο πρέπει να διατηρεί σταθερή τη θερμοκρασία δοκιμής με ακρίβεια  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ . Ακολούθως, επιβάλλεται η εφελκυστική δύναμη σύμφωνα με τους κανονισμούς, ώστε η ταχύτητα εφαρμογής στο δοκίμιο να είναι σταθερή. Η ταχύτητα εφαρμογής, 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.

Η δοκιμή εκτελείται σε τρία δοκίμια και σαν αντιπροσωπευτική τιμή λαμβάνεται ο μέσος όρος των τριών αποτελεσμάτων. Για να είναι αποδεκτό το αποτέλεσμα, η τυπική απόκλιση των αποτελεσμάτων θα πρέπει να είναι σύμφωνη με την τιμή που ορίζεται από τις

προδιαγραφές. Για την ακρίβεια των αποτελεσμάτων κατά την παρασκευή των δοκιμών θα πρέπει να αποφεύγεται η δημιουργία φυσαλίδων και να διασφαλίζεται η ομοιόμορφη ποσότητα και καθαρότητα της ασφάλτου μέσα στην μήτρα. Ακόμη κατά την διάρκεια της δοκιμής πρέπει να αποφεύγονται οι οποιοσδήποτε ταλαντώσεις ή κυματισμοί που προκαλούν την πρόωρη θραύση της δημιουργηθείσας, μετά από κάποια επιμήκυνση «κλωστή» ασφάλτου και να παρέχεται εύκολη αποκόλληση των μεσαίων τμημάτων της μήτρας λίγο πριν την έναρξη της δοκιμής, το οποίο επιτυγχάνεται αλείφοντας τα τοιχώματα με μίγμα ταλκ και γλυκερίνης.



Εικόνα 2.3: Συσκευή ολκιμότητας και δείγματα ολκιμότητας [Uni. of Wash. 2005]

## 2.4 Δοκιμή Ανάφλεξης

Ο σκοπός της δοκιμής αυτής είναι ο προσδιορισμός της θερμοκρασίας ανάφλεξης της ασφάλτου για την αποφυγή ανάφλεξης κατά την επεξεργασία της. Κατά τη δοκιμή αυτή γεμίζεται το δοχείο με το ασφαλικό 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 καιει για τουλάχιστον 5 s και τότε προσδιορίζεται το σημείο καύσης του ασφαλτικού υλικού. Σχηματική περιγραφή της δοκιμής φαίνεται στην εικόνα.2.4.



**Εικόνα 2.4: Ανοικτός δοκιμαστήρας Cleveland [Κορωναίος και Πουλάκος 2006]**

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.

Η θερμοκρασία ανάφλεξης των ασφαλτικών υλικών χρησιμεύει για λόγους ασφαλείας για την αποφυγή ατυχημάτων από τυχόν υπερθέρμανση της ασφάλτου και για την ασφαλή μεταφορά των ασφαλτικών υλικών. Το σημείο καύσης των ασφαλτικών υλικών χρησιμεύει στο ότι στο σημείο αυτό η άσφαλτος χάνει τις ιδιότητες της και είναι απαραίτητο να το γνωρίζει ο μηχανικός. «Το σημείο ανάφλεξης των περισσότερων ασφάλτων οδοστρωσίας είναι μεταξύ 210-235 °C, ενώ των ασφαλτικών διαλυμάτων είναι πάρα πολύ χαμηλό, συνήθως από 27 έως 100°C για ταχείας και μέσης εξάτμισης. Τα βραδείας εξάτμισης διαλύματα μπορεί να έχουν σημείο ανάφλεξης και πάνω από 110°C.» [Νικολαΐδης 2004]

## **2.5 Δοκιμή Τέφρας**

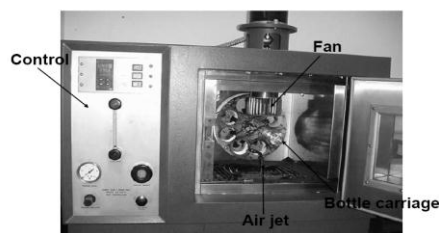
Η δοκιμή γίνεται για να προσδιορίσουμε το ποσοστό των ανόργανων ουσιών που υπάρχουν στην άσφαλτο. Στη δοκιμή αυτή μικρή ποσότητα της ασφάλτου καίγεται σε πολύ ψηλές

θερμοκρασίες μέχρι η στάχτη να είναι ελεύθερη από άνθρακα. Η εναπομένουσα στάχτη ζυγίζεται και η ποσότητα της εκφράζεται επί τις εκατό συναρτήσει του αρχικού βάρους του δείγματος. Η δοκιμή εκτελείται σε ειδικό φούρνο στους  $775\pm 25^{\circ}\text{C}$ . Λόγω του ότι η παρουσία των ανόργανων ουσιών δεν είναι αναγκαστικά επιβλαβής η δοκιμή αυτή δεν εκτελείται συστηματικά από πολλά εργαστήρια.

## 2.6 Δοκιμή απώλειας βάρους μετά από θέρμανση

Με την δοκιμή αυτή εξακριβώνεται η επίδραση της θερμοκρασίας και του αέρα επί της ασφάλτου. Η επίδραση εκτιμάται με την απώλεια βάρους, λόγω εξάτμισης των πτητικών συστατικών καθώς και με την επανεξέταση των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων της ασφάλτου, όπως διεισδυτικότητα, μάλθωση και ιξώδες μετά από τη θέρμανση αυτής. Όταν η άσφαλτος θερμαίνεται χάνει την ελαστικότητα και σκληραίνει. Έτσι η δοκιμή αυτή προσομοιάζει με τη σκλήρυνση που επέρχεται στην άσφαλτο κατά το στάδιο της ανάμιξης, διάστρωσης και συμπύκνωσης.

Η δοκιμή εκτελείται σε ειδικό φούρνο στους  $163^{\circ}\text{C}\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  (εικόνα 2.5) ο οποίος αποτελείται από ένα δίσκο που περιστρέφεται κατά τον οριζόντιο άξονα και ένα σύστημα εμφύσησης θερμού αέρα επί των δοκιμίων. Κατά την δοκιμή ποσότητα ασφάλτου  $35\pm 0.5\text{gr}$  τοποθετείται σε ειδικούς γυάλινους σωλήνες οι οποίοι τοποθετούνται στις οπές του κατακόρυφου δίσκου. Ακολούθως τα δοκίμια περιστρέφονται για 75 λεπτά με παράλληλη εμφύσηση αέρα επί της επιφάνειας της ασφάλτου. Κατά την περιστροφή των δοκιμίων ο υμένας της ασφάλτου βρίσκεται συνεχώς σε κύλιση αποφεύγοντας έτσι τη δημιουργία κρούστας. Μετά το πέρας των 75 λεπτών όπου περιστρέφονταν συνεχώς τα δοκίμια μετράται η απώλεια βάρους καθώς και οι νέες τιμές της διεισδυτικότητας, της μάλθωσης και του ιξώδους. Οι τιμές αυτές θα πρέπει να είναι εντός των προδιαγραφόμενων ορίων.



Εικόνα 2.5: Φούρνος δοκιμής RTFO [Uni. of Wash. 2005]

## 2.7 Δοκιμή Σημείου Fraass

Η δοκιμή αυτή καθορίζει την θερμοκρασία (κάτω από το μηδέν) κατά την οποία η άσφαλτος αποκτά μία κρίσιμη τιμή του μέτρου δυσκαμψίας και ρηγματώνεται. Μπορεί να εφαρμοστεί για κάθε ομοιογενή οδική ή βιομηχανική άσφαλτο.

Μια λεπτή επίπεδη πλάκα χάλυβα, 41 mm x 20mm x (0.15-20)mm, επικαλυμμένη με το δείγμα, υποβάλλεται σε επαναλαμβανόμενες κάμψεις με παράλληλη σταθερή μείωση της θερμοκρασίας μέχρι η άσφαλτος να αποκτήσει την κρίσιμη τιμή του μέτρου δυσκαμψίας και να ρηγματωθεί. Η θερμοκρασία κατά την οποία εμφανίζονται οι πρώτες ρωγμές στο επίχρισμα ορίζεται ως το σημείο θραύσης. Συγκεκριμένα το σημείο αυτό αντιστοιχεί σε μία θερμοκρασία ίσο-δυσκαμψίας, δηλαδή θερμοκρασίας στην οποία η άσφαλτος αποκτά τέτοιο μέτρο δυσκαμψίας που η ρηγμάτωση λόγω επαναλαμβανόμενων φορτίσεων είναι ανεξάρτητη του αριθμού φορτίσεων και ρηγματώνεται αμέσως μόλις το μέτρο δυσκαμψίας λάβει αυτή την κρίσιμη τιμή. Το σημείο Fraass μπορεί να εκτιμηθεί από την διεισδυτικότητα και το σημείο μάλθωσης κάνοντας χρήση του διαγράμματος αποτελεσμάτων δοκιμών ασφάλτου κατά Heukelom (χάρτης Heukelom). «Έχει αποδειχθεί ότι κοντά στο σημείο θραύσης κατά Fraass η άσφαλτος έχει μέτρο δυσκαμψίας  $2.1 \times 10^9$  Pa, τιμή η οποία πλησιάζει το μέγιστο μέτρο δυσκαμψίας των ασφάλτων  $2.7 \times 10^9$  Pa.»[Νικολαΐδης 2004]



Εικόνα 2.6:Συσκευή Fraass [Linetronic Technologies]

## 2.8 Δοκιμή διαλυτότητας

Η δοκιμή εκτελείται για να διαπιστωθεί η παρουσία μη επιθυμητών ανόργανων ουσιών, αλάτων, ελεύθερου άνθρακα κλπ στην άσφαλτο.



Κατά την δοκιμή 2gr ασφάλτου διαλύονται σε 100ml τριχλωροαιθυλένιο και το διάλυμα φιλτράρεται διαμέσου φίλτρου. Το υλικό που κατακρατείται στο φίλτρο στη συνέχεια ξηραίνεται, ζυγίζεται και εκφράζεται επί τις εκατό του αρχικού βάρους της ασφάλτου. Το ποσοστό αυτό αφαιρούμενο από το 100 καθορίζει την διαλυτότητα της ασφάλτου. Η παρουσία μη επιθυμητών ανόργανων ουσιών πέραν του μέγιστου προδιαγραφόμενου ποσοστού απαγορεύεται.

## 2.9 Δοκιμή καθορισμού περιεκτικότητας ύδατος στην άσφαλτο

Η δοκιμή για τον καθορισμό του ποσοστού υγρασίας στην άσφαλτο γίνεται με απόσταξη. Αρχικά ποσότητα ασφάλτου διαλύεται με ένα κατάλληλο διαλύτη που δεν διαλύεται με νερό (ξυλένιο) και ακολούθως το διάλυμα αποστάζεται. Κατά την απόσταξη η ποσότητα της υγρασίας συλλέγεται σε ειδικό γυάλινο διαβαθμισμένο σωλήνα. Το βάρος του νερού προς το αρχικό βάρος του δείγματος της ασφάλτου επί τοις εκατό εκφράζει το ποσοστό ύδατος στην άσφαλτο.



Εικόνα 2.7:Συσκευή αποστάξεως [Shangyi Instrument b]

## 2.10 Δοκιμή καθορισμού ειδικού βάρους ασφάλτου

Το ειδικό βάρος της ασφάλτου καθορίζεται με τη χρήση ειδικών πυκνόμετρων. Κατά την δοκιμή στα πυκνόμετρα αυτά τοποθετείται ποσότητα θερμής ασφάλτου μέχρι τα  $\frac{3}{4}$  τους αποφεύγοντας τη δημιουργία φυσαλίδων αέρα. Αφού το πυκνόμετρο με την άσφαλτο αφηθεί

να κρυώσει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για τουλάχιστο 40 λεπτά, ζυγίζεται (βάρος Α) μαζί με το κάλυμμα του. Ακολούθως συμπληρώνεται πλήρως ο υπόλοιπος όγκος με αποσταγμένο νερό και αφού τοποθετηθεί στο υδρόλουτρο για τουλάχιστον 30 λεπτά για να λάβει την θερμοκρασία των 25°C ζυγίζεται (βάρος Β). Τέλος το πυκνόμετρο αφού καθαριστεί πλήρως ζυγίζεται στον αέρα άδειο και γεμάτο με αποσταγμένο νερό στην ίδια θερμοκρασία (βάρος Γ και Δ αντίστοιχα). Το ειδικό βάρος υπολογίζεται από τον πιο κάτω τύπο:

$$\text{Ειδικό βάρος} = (A - \Gamma) / [(\Delta - \Gamma) - (B - A)]$$

$$\text{Πυκνότητα} = \text{ειδικό βάρος ασφάλτου} \times \rho_w$$

όπου  $\rho_w$  το ειδικό βάρος του νερού στους 25°C που είναι .0.9971.

Η ίδια διαδικασία ακολουθείται για οποιαδήποτε άλλη θερμοκρασία δοκιμής αλλά για τον υπολογισμό της πυκνότητας χρησιμοποιείται το αντίστοιχο ειδικό βάρος του νερού στη θερμοκρασία αυτή.

## 2.11 Δοκιμές μέτρησης ιξώδους

Το ιξώδες της ασφάλτου μπορεί να μετρηθεί με διάφορα ιξωδόμετρα αναλόγως του εργαστηρίου και των προδιαγραφών που χρησιμοποιούνται. Αυτά μπορούν να ταξινομηθούν όπως φαίνεται στον πιο κάτω πίνακα 2.2.

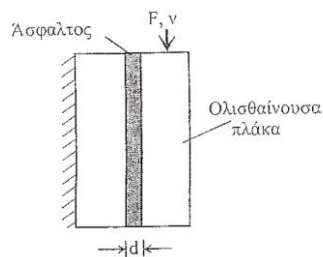
**Πίνακας.2.2: Ταξινόμηση ιξωδομέτρων ασφαλτικών συνδετικών υλικών [Νικολαΐδης 2004]**

Τύπος Ιξωδόμετρου	Ιξώδες(μονάδα μέτρησης)	Κύριο πεδίο χρήσης
Ολισθαίνουσα πλάκας Sliding plate viscometer Dynamic shear rheometer	Δυναμικό Ιξώδες (Pa.s)	Άσφαλτος /Τροποποιημένη άσφαλτος
Περιστρ/νου κυλίνδρου Brookfield viscometer Rheomat viscometer		Άσφαλτος Τροπ.άσφαλτος Γαλακτώματα
Κώνου και πλάκας Cone & Plate viscometer		Άσφαλτος /Τροπ.άσφαλτος
Τριχοειδών σωλήνων		

Cannon-Manning Vacuum	Κινηματικό	Άσφαλτος
Asphalt Institute Vacuum	Ιξώδες	Άσφαλτος
Zeitfuchs Croos-arm	(mm <sup>2</sup> /s)	Άσφαλτος
BS/IP/RF U- tube reverse flow		Άσφαλτος
Ιξωδόμετρα δοχείου	Χρόνος	
Saybolt Fulor	Ροής	Γαλακτώματα
Engler	(s)	Γαλακτώματα
Standard Tar		Διαλύματα
Viscometer (STV)		Γαλακτώματα
Redwood II		

### 2.11.1 Δοκιμή ιξώδους με ιξωδόμετρο ολισθαίνουσας πλάκας

Η δοκιμή ιξώδους με ιξωδόμετρο ολισθαίνουσας πλάκας είναι η θεμελιώδης δοκιμή μέτρησης δυναμικού ιξώδους. Η συσκευή αποτελείται από ένα σύστημα επιβολής διατμητικής τάσης και σύστημα καταγραφής της μετακίνησης συναρτήσεως του χρόνου. Η άσφαλτος τοποθετείται μεταξύ των δύο πλακών δημιουργώντας ένα υμένα πάχους 5-50 μm (εικόνα.2.8). Η δοκιμή αυτή είναι κατάλληλη μόνο για άσφαλτο και τροποποιημένη άσφαλτο και χρησιμοποιείται για κυρίως ερευνητικούς σκοπούς. «Το χαρακτηριστικό γνώρισμα του ιξωδομέτρου αυτού είναι ότι η διατμητική τάση που αναπτύσσεται είναι ομοιόμορφη σε όλη τη μάζα του δοκιμίου της ασφάλτου.»[ Shell Bitumen 1990]



Εικόνα 2.8: Ιξωδόμετρο ολισθαίνουσας πλάκας [Νικολαΐδης 2004]

### 2.11.2 Δοκιμή ιξώδους με ιξωδόμετρο Brookfield

Κατά την δοκιμή αυτή μετράται το δυναμικό ή το απόλυτο ιξώδες με τη χρήση του ιξωδομέτρου Brookfield. Η δοκιμή αυτή χρησιμοποιείται για να μετρηθεί το ιξώδες της ασφάλτου σε υψηλές θερμοκρασίες (135°C). Μικρή ποσότητα της ασφάλτου τοποθετείται σε μεταλλικό κυλινδρικό δοχείο και αυτό σε ειδική θερμαντική κάψα. Στη συνέχεια τοποθετείται μέσα στο δοχείο κατάλληλος περιστρεφόμενος ομοαξονικός μεταλλικός κύλινδρος. Αφού επιτευχθεί η απαιτούμενη θερμοκρασία αρχίζει η περιστροφή του μεταλλικού κυλίνδρου, δηλαδή η επιβολή της διατμητικής τάσης με σταθερή ταχύτητα περιστροφής και ακολούθως η συσκευή υπολογίζει αυτόματα το δυναμικό ιξώδες σε μονάδες Cp ή Poise. Εκτός του συστήματος επιβολής διατμητικών τάσεων και υπολογισμού του ιξώδους, η συσκευή παρέχει την δυνατότητα μέτρησης και ψηφιακής ανάγνωσης της επιβαλλόμενης διατμητικής τάσης καθώς και την αυτόματη καταγραφή του ιξώδους και της θερμοκρασίας σε ειδικό καταγραφέα (εικόνα 2.9). Με την αλλαγή των περιστρεφόμενων κυλίνδρων, το ιξωδόμετρο είναι σε θέση να μετρήσει το ιξώδες οποιουδήποτε υγρού ή ρευστού.

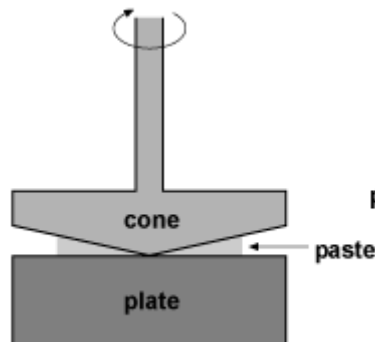


Εικόνα 2.9: Ιξωδόμετρο Brookfield [Shangyi Instrument a]

### 2.11.3 Δοκιμή ιξώδους με ιξωδόμετρο κώνου και πλάκας

Η αρχή λειτουργίας της συσκευής κώνου-πλάκας είναι μεταξύ του ιξωδομέτρου δυναμικής διάτμησης και του ιξωδομέτρου Brookfield και μετρά το δυναμικό ιξώδες. Κατά την δοκιμή η ασφάλτος τοποθετείται μεταξύ του κώνου και της ειδικής θερμαινόμενης πλάκας. Ο κώνος έχει μεγάλη αμβλεία γωνία και εκτελεί πλήρη περιστροφή. Κατά την περιστροφή επιβάλλεται

σταδιακά και φορτίο από 100 έως 10000gr. Η δοκιμή αυτή είναι κατάλληλη μόνο για άσφαλτο και τροποποιημένη άσφαλτο διότι έχει τη δυνατότητα να μετρήσει το ιξώδες μεταξύ  $10^2$  έως  $10^9$  Pa.s.



Εικόνα 2.10: Ιξωδόμετρο περιστρεφόμενου κώνου και πλάκας [University of Bolton]

#### 2.11.4 Δοκιμή ιξώδους με ιξωδόμετρα τριχοειδών σωλήνων

Η δοκιμή ιξώδους με ιξωδόμετρα τριχοειδών σωλήνων μετρά το κινηματικό ιξώδες. Στη δοκιμή αυτή χρησιμοποιούνται ειδικοί γυάλινοι σωλήνες σχήματος U, όπου η άσφαλτος σε θερμοκρασία 135 °C ρέει από το ένα σκέλος του σωλήνα στο άλλο (εικόνα 2.11). Το ένα σκέλος των σωλήνων, στο οποίο τοποθετείται η απαιτούμενη ποσότητα της ασφάλτου, έχει σχετικά μεγάλη διάμετρο και το άλλο σκέλος έχει τριχοειδή διάμετρο και μικρούς σφαιρικούς χώρους για να παραλάβει συγκεκριμένο όγκο ασφάλτου καθώς αυτή ρέει από το ένα σκέλος στο άλλο. Συγκεκριμένα το κινηματικό ιξώδες μετράται χρονομετρώντας τη ροή συγκεκριμένης ποσότητας ασφάλτου και πολλαπλασιάζοντας το χρόνο αυτό με το συντελεστή διαβάθμισης του σωλήνα. Ο κάθε σωλήνας φέρει δύο ή περισσότερους δείκτες για τον καθορισμό της ποσότητας της ασφάλτου.

Ιδιαίτερα σημαντικό για την εκτέλεση της δοκιμής αυτής είναι η ακρίβεια και η διατήρηση της θερμοκρασίας κατά την οποία γίνεται η δοκιμή και αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ελαιόλουτρου και συστήματος ανάδευσης. Οι θερμοκρασίες ελέγχου είναι αναγραφόμενες των προδιαγραφών. Τις περισσότερες φορές το ιξώδες μετράται σε περισσότερες των δύο θερμοκρασιών για να καθοριστεί η σχέση ιξώδους- θερμοκρασίας.

Οι Αμερικάνικες προδιαγραφές προτείνουν να χρησιμοποιείται το ιξωδόμετρο Cannon-Manning με υποπίεση, όταν το ιξώδες της ασφάλτου μετράται στους 60°C και το ιξωδόμετρο Zeitfuchs Croos-arm όταν το ιξώδες μετράται στους 135°C. Οι τιμές αυτές επιλέχθηκαν από το γεγονός ότι οι 60 °C είναι η μέση μέγιστη θερμοκρασία του οδοστρώματος κατά την διάρκεια της ζωής του και οι 135 °C είναι η μέση θερμοκρασία ανάμιξης και διάστρωσης των ασφαλτομιγμάτων.



Εικόνα 2.11:Ιξωδόμετρα τριχοειδών σωλήνων[Ramin Corporation 2010]

#### 2.11.5 Δοκιμή ιξώδους με ιξωδόμετρα δοχείου (κυπέλλου)

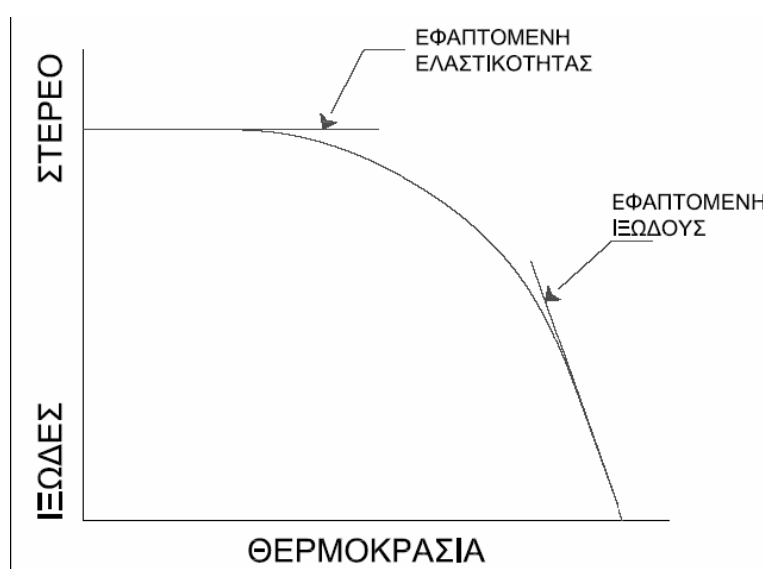
Η δοκιμή ιξώδους με ιξωδόμετρα δοχείου (κυπέλλου) μετρά το ιξώδες των γαλακτωμάτων και των διαλυμάτων. Αρχικά ένα συγκεκριμένο δοχείο (κύπελλο) γεμίζεται με γαλάκτωμα ή διάλυμα και αφήνεται για αρκετό χρόνο μέχρι να αποκτήσει θερμοκρασία συνήθως 25 ή 50°C. Ακολούθως αφήνεται να περάσει συγκεκριμένη ποσότητα γαλακτώματος ή διαλύματος διαμέσου της οπής εκροής η οποία κατόπιν συλλέγεται σε ειδικό γυάλινο δοχείο και μετράται ο χρόνος εκροής της ποσότητας αυτής (εικόνα 2.12). Τέλος το ιξώδες του ρευστού υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας το χρόνο αυτό με το διορθωτικό συντελεστή του ιξωδομέτρου για τη θερμοκρασία που επιλέχθηκε. Το ιξώδες από τη δοκιμή αυτή εκφράζεται σε δευτερόλεπτα.



Εικόνα 2.12: Ιξωδόμετρο δοχείου – Saybolt Fuler [Humboldt 2011]

### 3. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ

Η άσφαλτος είναι υγρό με μεγάλο ιξώδες σε υψηλές θερμοκρασίες και είναι εύθραυστο στερεό σε χαμηλές θερμοκρασίες. Για τον προσδιορισμό των κυριότερων χαρακτηριστικών της ασφάλτου μας ενδιαφέρει το ιξώδες της, αλλά και η σκληρότητά της σε διάφορες θερμοκρασίες. Οι σχέσεις μεταξύ των ιδιοτήτων και των θερμοκρασιών της 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 (σχήμα 3.1).



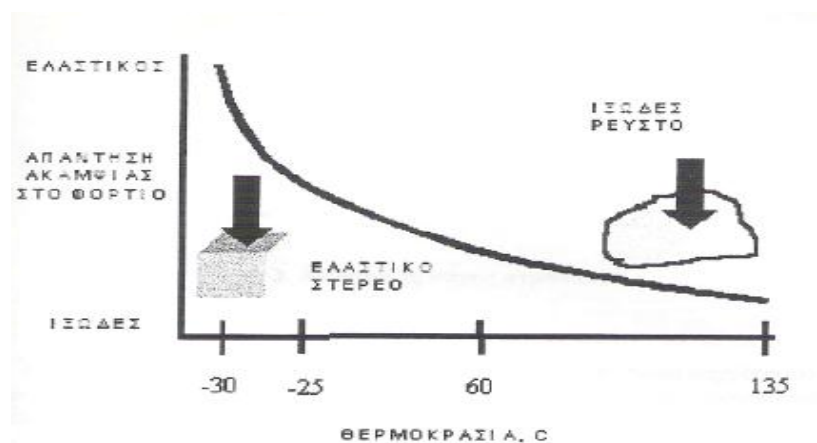
Εικόνα 3.1: Επίδραση της θερμοκρασίας στα ασφαλτικά υλικά [Κορωνάιος και Πουλάκος 2006]

Η άσφαλτος είναι ιξωδοελαστικό υλικό και οι ιδιότητές της επηρεάζονται όχι μόνο από τη θερμοκρασία αλλά και από τα φορτία που παραλαμβάνει. Η ιξωδοελαστική συμπεριφορά της ασφάλτου προκαλεί φαινόμενα ερπυσμού σε διάφορες εφαρμογές της στα οδοστρώματα. Τα φαινόμενα αυτά προκαλούνται από την στατική αλλά και από την 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. 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 τροχοαυλάκωση, ο ερπυσμός και η φθορά από το νερό.

## 3.1 Μηχανικές Ιδιότητες

### 3.1.1 Ιξωδοελαστική συμπεριφορά ασφάλτου

Η άσφαλτος είναι ένα υλικό που μπορεί να ενεργήσει και ως ιξώδες ρευστό υλικό και ως ελαστικό στερεό υλικό. Στις υψηλές θερμοκρασίες (μεγαλύτερες από 100°C) και όταν ο χρόνος φόρτισης είναι μεγάλος, η άσφαλτος συμπεριφέρεται βασικά ως ιξώδες ρευστό παρόμοιο με το πετρέλαιο κινητήρων. Αυτό επιτρέπει στην άσφαλτος να ενεργήσει ως λιπαντικό που καλύπτει τα αδρανή υλικά και παρέχει εργασιμότητα στο μίγμα κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (λιγότερο από 0°C) και όταν ο χρόνος φόρτισης είναι πολύ μικρός 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 να είναι εκεί όπου το οδόστρωμα αναμένεται να λειτουργήσει τις περισσότερες φορές, η άσφαλτος έχει τα χαρακτηριστικά και ενός ιξώδους ρευστού και ενός ελαστικού στερεού. Επομένως στην πράξη η άσφαλτος συμπεριφέρεται ως ιξωδοελαστικό υλικό και οι μηχανικές τις ιδιότητες εξαρτώνται τόσο από την θερμοκρασία όσο και από τον χρόνο φόρτισης της τάσης.



Διάγραμμα 3.1: Ιξώδης / Ελαστική συμπεριφορά της ασφάλτου [Γεωργούλα και Γουβαλή 2008]

Για τον μηχανικό είναι ουσιαστικής σημασίας η γνώση της ιξωδοελαστικής συμπεριφοράς και γενικά της μηχανικής συμπεριφοράς της ασφάλτου διότι μόνο έτσι μπορεί να υπολογίσει τις αναπτυσσόμενες παραμορφώσεις υπό συνθήκες έργου και γενικότερα να υπολογίσει τις θεμελιώδεις μηχανικές ιδιότητες τόσο της ασφάλτου όσο και των αντίστοιχων ασφαλτομιγμάτων. Πολλοί ερευνητές προσπάθησαν να απεικονίσουν την ιξωδοελαστική



συμπεριφορά της ασφάλτου. με πολύπλοκες μαθηματικές εξισώσεις και διάφορα μοντέλα, αλλά η πολύπλοκη μηχανική συμπεριφορά και οι ιδιότητες της ασφάλτου δεν ήταν και τόσο εύκολο να καθοριστούν.

### 3.1.2 Μέτρο δυσκαμψίας της ασφάλτου

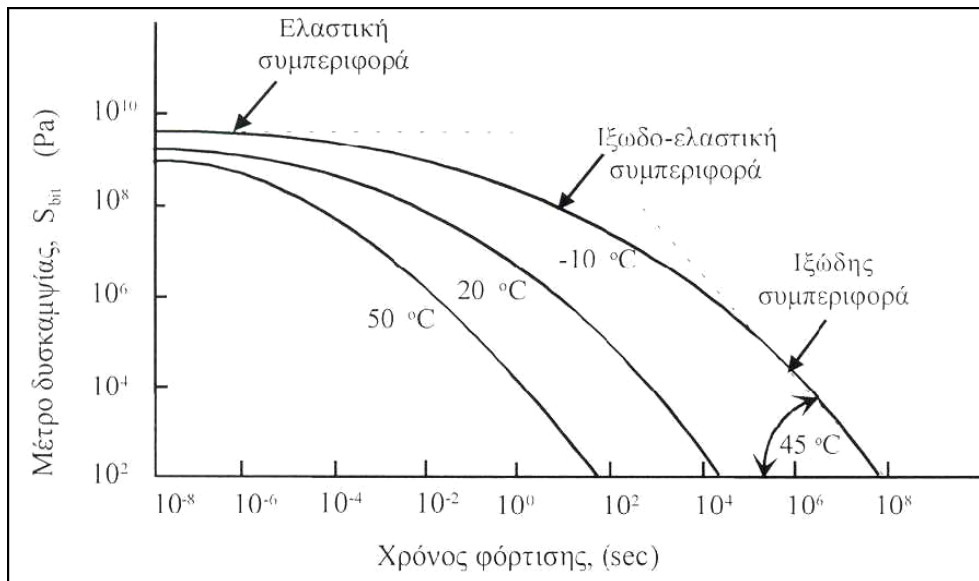
Το μέτρο δυσκαμψίας παρουσιάστηκε από τον Van der Poel το 1954 ως η θεμελιώδης παράμετρος για την περιγραφή των μηχανικών ιδιοτήτων των ασφάλτων, κατ'αναλογία με το μέτρο ελαστικότητας των στερεών υλικών. Το μέτρο δυσκαμψίας της ασφάλτου ( $S_{bit}$ ) ή ( $S_b$ ) κατά αναλογία του μέτρου ελαστικότητας, είναι ο λόγος της τάσης ( $\sigma$ ) προς την ανηγμένη παραμόρφωση ( $\epsilon$ ). Το μέγεθος του μέτρου δυσκαμψίας εξαρτάται από τη θερμοκρασία ( $T$ ) και το χρόνο φόρτισης ( $t$ ). Ακόμη, έγινε η παραδοχή ότι η παραμόρφωση είναι ανάλογη της επιβαλλόμενης τάσης και αυτό ισχύει με την προϋπόθεση ότι η ανηγμένη παραμόρφωση είναι μικρότερη του 1%. Εφόσον ο κύριος σκοπός, κατά τη διαστασιολόγηση των οδοστρωμάτων, είναι να περιορίζεται ή να αποτρέπεται παραμόρφωση πολύ μικρότερη του 1%, η παραπάνω προϋπόθεση ικανοποιείται πλήρως. Έτσι ισχύει η γενική εξίσωση:

$$(S_{bit})_{t,T} = (\sigma/\epsilon)_{t,T}$$

Η μεταβλητότητα του μέτρου δυσκαμψίας της ασφάλτου συναρτήσει του χρόνου φόρτισης και της θερμοκρασίας επεξηγείται στο διάγραμμα 3.2. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα αυτό, σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και όταν ο χρόνος φόρτισης είναι μικρός η συμπεριφορά της ασφάλτου είναι ελαστική (απεικόνιση με ευθεία γραμμή) και το μέγεθος του μέτρου δυσκαμψίας πλησιάζει το μέτρο ελαστικότητας αυτής ( $S_{bit} = E$ ). Η τιμή αυτή βρέθηκε ότι είναι μεταξύ  $2.6 - 3.0 \times 10^9$  Pa και συνήθως λαμβάνεται ίση με  $2.7 \times 10^9$  Pa.

Όταν ο χρόνος φόρτισης είναι πολύ μεγάλος ή/ και οι θερμοκρασίες πολύ υψηλές η άσφαλτος συμπεριφέρεται ως καθαρά ιξώδες υλικό (απεικόνιση με κεκλιμένη ευθεία  $45^\circ$ ). Στο ενδιάμεσο διάστημα η συμπεριφορά είναι ιξωδοελαστική. Έτσι, για έναν αντιπροσωπευτικό χρόνο φόρτισης 0.01 sec, το μέτρο δυσκαμψίας της ασφάλτου μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Ομοίως για μια αντιπροσωπευτική θερμοκρασία  $20^\circ\text{C}$ , το μέτρο δυσκαμψίας μειώνεται με την αύξηση του χρόνου φόρτισης και αυξάνεται με τη μείωση του χρόνου

φόρτισης. Οι αυξομειώσεις αυτές επηρεάζουν τις αντίστοιχες μηχανικές ιδιότητες των ασφαλτομιγμάτων και κατ' επέκταση τη μηχανική συμπεριφορά του οδοστρώματος.



**Διάγραμμα 3.2:** Μηχανική συμπεριφορά ασφάλτου συναρτήσει του χρόνου φόρτισης και της θερμοκρασίας [Κάρτα και Παπαθωμά 2007]

### 3.1.3 Μέτρηση του μέτρου δυσκαμψίας της ασφάλτου

Το μέτρο δυσκαμψίας της ασφάλτου σε διάφορες θερμοκρασίες μπορεί να μετρηθεί με ειδικά όργανα στο εργαστήριο. Η μέθοδος μέτρησης βασίζεται στη μέτρηση της διατμητικής παραμόρφωσης ( $\gamma$ ). Η αντίσταση σε διάτμηση εκφράζεται με το μέτρο διάτμησης ( $G$ ) και ορίζεται ως:

$$G = \text{διατμητική τάση } (\tau) / \text{διατμητική παραμόρφωση } (\gamma)$$

Το μέτρο διάτμησης και το μέτρο ελαστικότητας  $E$  συνδέονται με τη σχέση:

$$E = 2(1+\mu)G \quad (3.1)$$

όπου :  $G = \text{διατμητική τάση } (\tau) / \text{διατμητική παραμόρφωση } (\gamma)$

$\mu = \text{λόγος Poisson.}$

Η τιμή του λόγου Poisson για τη σχεδόν ασυμπιέστη άσφαλτο λαμβάνεται ίση με 0.5. Έτσι, η σχέση 4.1 γίνεται:

$$E \approx 3G \quad (3.2)$$

Η διατμητική τάση μπορεί να καθορισθεί από το στατικό φορτίο κατά τη δοκιμή ερπυσμού ή από το δυναμικό φορτίο, κατά την επιβολή ημιτονοειδούς φορτίου. Στην περίπτωση που επιβάλλεται στατικό φορτίο η διατμητική παραμόρφωση, και κατ' επέκταση το μέτρο διάτμησης, μετράται σε διαφορετικούς χρόνους φόρτισης, συνήθως από 1 έως  $10^5$  δευτερόλεπτα.

Κατά τη δυναμική φόρτιση, η διατμητική τάση, συνήθως εφαρμόζεται με η μορφή ημιτονοειδούς μεταβλητής τάσης με συχνότητα σταθερή και σταθερού πλάτους. Ως εκ τούτου, και η διατμητική παραμόρφωση μεταβάλλεται ημιτονοειδώς με την ίδια συχνότητα και πλάτος, όπως και η εφαρμοσμένη τάση. Το μέτρο διάτμησης, συνεπώς, για συγκεκριμένη συχνότητα ( $Gf$ ) καθορίζεται από τη σχέση:

$$Gf = (\tau/\gamma)f \quad (3.3)$$

Συνεπώς, το μέτρο δυσκαμψίας της ασφάλτου, με τις προϋποθέσεις του Van der Poel, είναι:

$$Sf = 3Gf \text{ ή } St = 3Gt \quad (3.4)$$

όπου :  $f$  = σε Hz

$t$  = σε sec.

Έτσι, εκτελώντας έναν από τους παραπάνω ελέγχους σε διαφορετικές θερμοκρασίες και διαφορετικούς χρόνους φόρτισης καθορίζεται το μέτρο δυσκαμψίας της ασφάλτου και λαμβάνονται καμπύλες της μορφής του διαγράμματος 3.2.

«Η συσκευή που συνήθως χρησιμοποιείται σήμερα, κυρίως για λόγους οικονομίας και ευκολίας, είναι αυτή που αναπτύχθηκε από το εργαστήριο της Shell (KSLA) στο τέλος της δεκαετίας του '60. Η συσκευή είναι παρόμοια με το ιξωδόμετρο ολισθαίνουσας πλάκας, με μόνη τη διαφορά ότι το πάχος του υμένα της ασφάλτου είναι πολύ μεγαλύτερο. Γνωρίζοντας τη μετατόπιση της πλάκας, τη διατμητική τάση και το πάχος του δοκιμίου της ασφάλτου, μπορεί να μετρηθεί το μέτρο δυσκαμψίας της ασφάλτου στην περιοχή από  $10^3$  έως  $10^9$  Pa.»  
[Κάρτα και Παπαθωμά 2007]

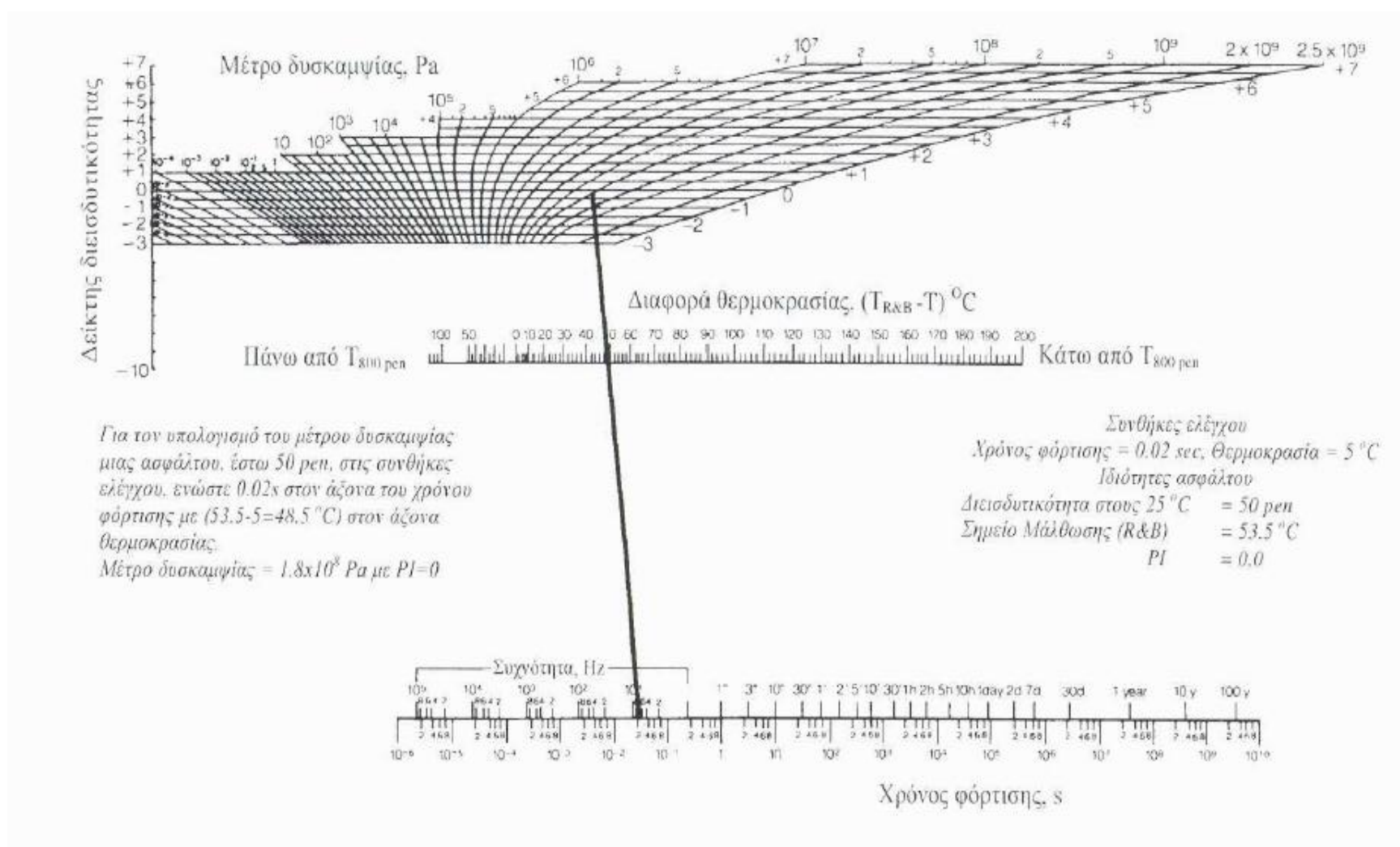
### 3.1.4 Εκτίμηση του μέτρου δυσκαμψίας της ασφάλτου

Η μέτρηση του μέτρου δυσκαμψίας, σε όλο το φάσμα των θερμοκρασιών και χρόνων φόρτισης, είναι χρονοβόρα υπόθεση και απαιτεί την ύπαρξη καλά εξοπλισμένου

εργαστηρίου. Ο Van der Poel απέδειξε ότι, κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες, το μέτρο δυσκαμψίας της ασφάλτου μπορεί να εκτιμηθεί από το σημείο μάλθωσης, το δείκτη διεισδυτικότητας (PI) και το χρόνο φόρτισης κάνοντας χρήση του ειδικού νομογραφήματος που πρότεινε. Το νομογράφημα Van der Poel (νομογράφημα 3.1), είναι γενικώς αποδεκτό και χρησιμοποιείται διεθνώς, μέχρι και σήμερα, από όλους τους ενασχολούμενους με θέματα ασφάλτου και ασφαλτομιγμάτων στην κατασκευαστική οδοποιία. Η χρήση του νομογραφήματος για την εκτίμηση του μέτρου δυσκαμψίας της ασφάλτου είναι απλή.

Όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί το μέτρο δυσκαμψίας της ασφάλτου για περαιτέρω εκτιμήσεις της συμπεριφοράς της ασφάλτου κατά τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος ή για τη διαστασιολόγηση οδοστρώματων, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η σκλήρυνση της ασφάλτου που επέρχεται κατά το στάδιο ανάμιξης, διάστρωσης και συμπύκνωσης του ασφαλτομίγματος. Έτσι, θα πρέπει να καθορίζεται το σημείο μάλθωσης και ο δείκτης διεισδυτικότητας της ασφάλτου που προέρχεται από το παραγόμενο ασφαλτόμιγμα και όχι της αρχικής ασφάλτου πριν την ανάμιξη. «Συνήθως, παρατηρείται ότι η άσφαλτος κατά τη διάρκεια της παραγωγής και διάστρωσης του ασφαλτομίγματος σκληραίνει κατά μία κατηγορία, δηλαδή η 80/100 γίνεται 60/70, η 60/70 γίνεται 40/50 και η 40/50 γίνεται 30/40pen.» [Κάρτα και Παπαθωμά 2007]

Με τη βοήθεια του νομογραφήματος του Van der Poel είναι δυνατόν να καθορισθεί το μέτρο δυσκαμψίας της ασφάλτου κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες που εμφανίζονται στην πράξη. Οι εξαγόμενες τιμές του μέτρου δυσκαμψίας είναι χρήσιμες για περαιτέρω εκτίμηση της συμπεριφοράς του οδοστρώματος κάτω από αυτές τις συνθήκες. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι το νομογράφημα Van der Poel δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ασφάλτους με κερί και για τροποποιημένες ασφάλτους.



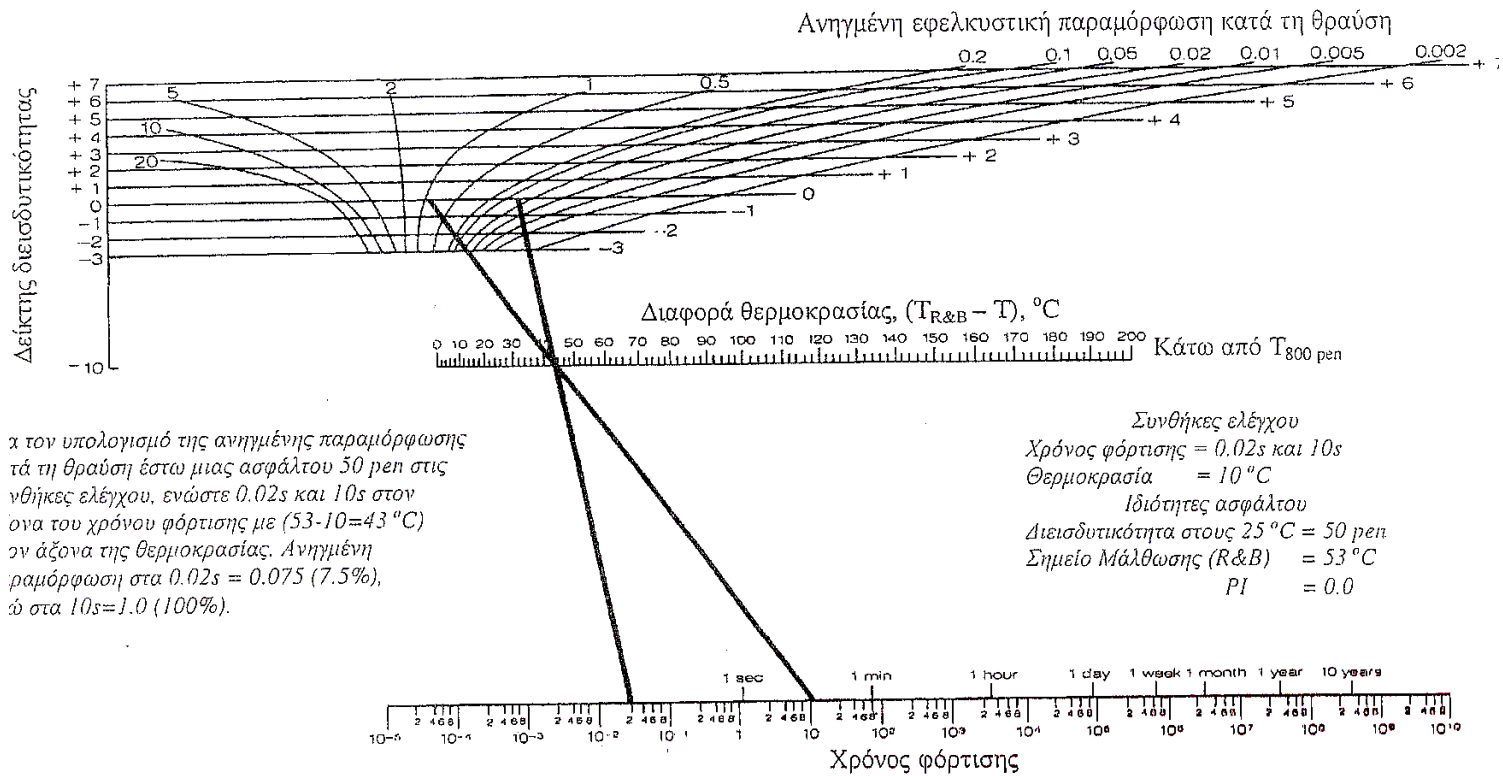
Νομογράφημα 3.1: Νομογράφημα Van der Poel για τον καθορισμό του μέτρου δυσκαμψίας της ασφάλτου [Van der Poel 1954]

### **3.1.5 Εφελκυστική αντοχή ασφάλτου**

Μια άλλη σημαντική μηχανική ιδιότητα της ασφάλτου είναι η εφελκυστική αντοχή αυτής, διότι επέρχεται θραύση της ασφάλτου εκεί όπου αναπτύσσονται κρίσιμες εντατικές καταστάσεις. Η εφελκυστική αντοχή της ασφάλτου μπορεί να αντιπροσωπευθεί με την εφελκυστική ανηγμένη παραμόρφωση κατά την θραύση. Στην πράξη η θραύση της ασφάλτου επέρχεται κάτω από την επίδραση υψηλών τάσεων, οι οποίες αναπτύσσονται σε χαμηλές θερμοκρασίες. Αυτό συνεπάγεται υψηλό μέτρο δυσκαμψίας και η εφελκυστική παραμόρφωση κατά την θραύση παίρνει τη μικρότερη της τιμή. Αντιθέτως στις υψηλές θερμοκρασίες το μέτρο δυσκαμψίας είναι πολύ μικρό, η εφελκυστική παραμόρφωση είναι πολύ μεγάλη και δεν επέρχεται θραύση. Ο Heukelom απέδειξε ότι η εφελκυστική παραμόρφωση κατά την θραύση εξαρτάται αποκλειστικά από το μέτρο δυσκαμψίας της ασφάλτου μετρούμενη στον εκάστοτε χρόνο φόρτισης και θερμοκρασία περιβάλλοντος και μπορεί να εκτιμηθεί από το νομογράφημα 3.2.

### **3.1.6 Αντοχή σε κόπωση**

Μία άλλη μηχανική ιδιότητα της ασφάλτου είναι η αντοχή σε κόπωση. Η αντοχή σε κόπωση της ασφάλτου μειώνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός των επαναλαμβανόμενων φορτίσεων και μετά από κάποιο χρονικό διάστημα επέρχεται η κόπωση της. Όπως και προηγουμένως για την αντοχή της ασφάλτου σε εφελκυσμό ο Heukelom απέδειξε ότι η αντοχή σε κόπωση εξαρτάται αποκλειστικά και μόνο από το μέτρο δυσκαμψία της ασφάλτου.



Νομογράφημα 3.2: Νομογράφημα εκτίμησης ανηγμένης εφελκυστικής παραμόρφωσης κατά την θραύση [Heukelom 1966]

## 3.2 Θερμοκρασιακή ευαισθησία της ασφάλτου

### 3.2.1 Δείκτης διεισδυτικότητας

Η ευαισθησία της ασφάλτου, δηλαδή το πόσο εύκολα μαλακώνει με την αύξηση της θερμοκρασίας και το πόσο σκληραίνει με την πτώση της θερμοκρασίας, δεν μπορεί να προσδιορισθεί από τη διεισδυτικότητα ή από το σημείο μάλθωσης. Διότι και οι δύο δοκιμές αναφέρονται σε μία ουσιαστικά συγκεκριμένη θερμοκρασία. Επίσης η ταχύτητα με την οποία επέρχονται οι αλλαγές αυτές εξαρτάται από το είδος και την ποιότητα της ασφάλτου.

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι για τον προσδιορισμό της θερμοκρασιακής ευαισθησίας των ασφάλτων. Η πιο γνωστή μέθοδος είναι ίσως ο υπολογισμός του δείκτη διεισδυτικότητας (PI), ο οποίος εκφράζει τη σχέση μεταξύ διεισδυτικότητας και σημείου μάλθωσης. Για τον καθορισμό του δείκτη διεισδυτικότητας δεν απαιτείται εκτέλεση κάποιας ειδικής δοκιμής αλλά χρήση των αποτελεσμάτων της διεισδυτικότητας και του σημείου μάλθωσης. Μετά από έρευνα οι Pfeiffer και Van Doormaal βρήκαν ότι μεταξύ των δύο προαναφερθέντων μεταβλητών, που εύκολα καθορίζονται στο εργαστήριο, και του δείκτη διεισδυτικότητας ισχύει η σχέση:

$$(20-PI)/(10+PI) = 50 (\log Pen1 - \log Pen2)/(T1 - T2)$$

Όπου : Pen1, Pen2= διεισδυτικότητα σε θερμοκρασίες T1 και T2, αντίστοιχα.

Το δεύτερο σκέλος της παραπάνω σχέσης είναι η κλίση (A) μίας γραμμικής σχέσης της μορφής  $\log Pen = A \times T + B$  η οποία μπορεί να καθορισθεί εάν εκτελεστεί η δοκιμή διεισδυτικότητας σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Δεδομένου ότι κάθε άσφαλτος έχει τη δική της μεταβολή διεισδυτικότητας συναρτήσει της θερμοκρασίας, κάθε άσφαλτος έχει και τη δική της τιμή 'A' και κατά συνέπεια το δικό της δείκτη διεισδυτικότητας. Η τιμή του 'A' κυμαίνεται από 0.15 μέχρι 0.6, γεγονός που δείχνει ότι υπάρχει μεγάλη διαφορά θερμοκρασιακής ευαισθησίας ή επιδεκτικότητας.

Στην ίδια θεμελιώδη έρευνα βρέθηκε ότι η διεισδυτικότητα, όλων των ασφάλτων που εξετάστηκαν, σε θερμοκρασία ίση με τη θερμοκρασία (σημείο) μάλθωσης (ΣΜ) είχαν την ίδια τιμή και ίση με 800pen. Μετά από αυτό και εάν χρησιμοποιηθεί η διεισδυτικότητα στους



25°C η παραπάνω εξίσωση για τον υπολογισμό του δείκτη διεισδυτικότητας (PI) λαμβάνει τη μορφή:

$$(20-PI)/(10+PI) = 50 (\log Pen_{25} - \log 800) / (Pen_{25} - \Sigma M)$$

ή

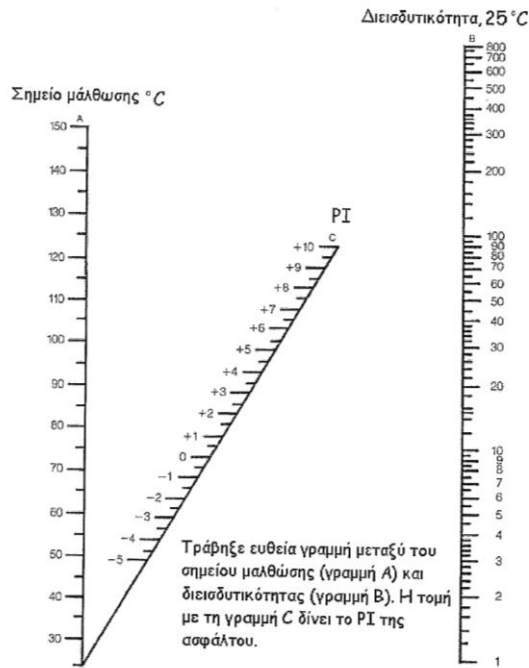
$$PI = (1952 - 500 \log Pen_{25} - 20 \Sigma M) / (50 \log Pen_{25} - \Sigma M - 120)$$

όπου : Pen<sub>25</sub> = διεισδυτικότητα στους 25°C, και ΣΜ = σημείο μάλθωσης, °C.

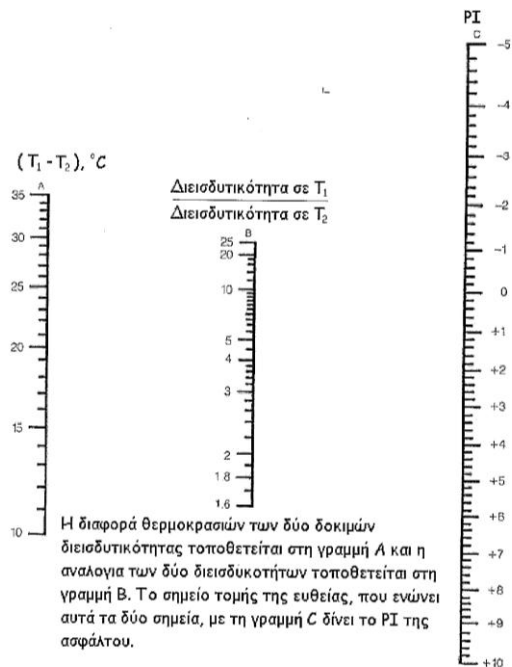
Μεταγενέστερες έρευνες από άλλους ερευνητές έδειξαν πως, η υπόθεση ότι σε θερμοκρασία ίση με το σημείο μάλθωσης η διεισδυτικότητα όλων των ασφάλτων είναι ίση με 800 pen δεν ισχύει απολύτως. «Για ορισμένες ασφάλτους, ιδιαίτερα για τις σκληρές ασφάλτους με υψηλό σημείο μάλθωσης (>65°C) και μεγάλο δείκτη διεισδυτικότητας (+3.6) καθώς και για τις ασφάλτους με υψηλό ποσοστό παραφίνης (>2%), η απόκλιση είναι σημαντική.»[Νικολαΐδης 2004]

Οι οριακές θεωρητικές τιμές του δείκτη διεισδυτικότητας είναι -10 για ασφάλτους με άπειρη επιδεκτικότητα σε θερμοκρασιακές μεταβολές έως +20 για ασφάλτους σχεδόν ανεξάρτητες των θερμοκρασιακών μεταβολών. Στην πράξη στις ασφάλτους οδοστρωσίας ο δείκτης διεισδυτικότητας μεταβάλλεται μεταξύ -3 και +7. Όσο μικρότερος είναι ο δείκτης διεισδυτικότητας τόσο πιο ευαίσθητη είναι η ασφαλτος στις θερμοκρασιακές μεταβολές. Ο δείκτης διεισδυτικότητας χρησιμοποιείται και για την εκτίμηση του μέτρου δυσκαμψίας του ασφαλομίγματος.

Τα νομογραφήματα (3.3) και (3.4) που ακολουθούν βοηθούν στο να υπολογισθεί ο δείκτης διεισδυτικότητας είτε από τη διεισδυτικότητα στους 25 °C και το σημείο μάλθωσης, είτε από τη διεισδυτικότητα της ασφάλτου σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες. Ο δεύτερος τρόπος είναι προτιμότερος διότι η υπόθεση ότι στο σημείο μάλθωσης η διεισδυτικότητα είναι ίση με 800 pen δεν ισχύει απόλυτα για όλες τις ασφάλτους.



Νομογράφημα 3.3: Νομογράφημα για ΡΙ (ΣΜ/Ρen) [Read and Whiteoak 2003]

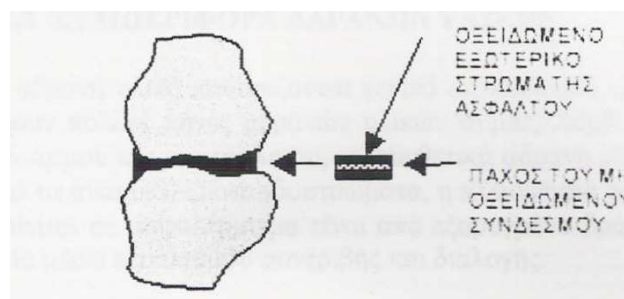


Νομογράφημα 3.4: Νομογράφημα για ΡΙ (Ρen /Ρen) [Read and Whiteoak 2003]

### 3.2.2 Οξείδωση

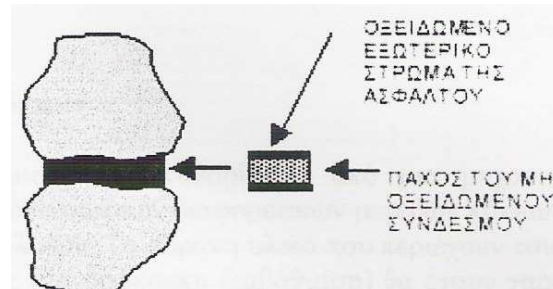
Το ασφαλτικό σκυρόδεμα αντιδρά με το οξυγόνο στο περιβάλλον. Αυτή η αντίδραση, που καλείται οξείδωση, αλλάζει τη δομή και τη σύνθεση των μορίων της ασφάλτου. Το αποτέλεσμα αυτής της αλλαγής στη δομή κατά τη διάρκεια του χρόνου είναι ότι ο ασφαλτικός σύνδεσμος γίνεται σκληρότερος και πιο εύθραυστος. Η οξείδωση 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. Οι μεγαλύτερες αλλαγές λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της ανάμιξης και συμπύκνωσης. Η ταχύτητα οξείδωσης και απώλειας πτητικών συστατικών της ασφάλτου αυξάνεται με μικρή άνοδο της θερμοκρασίας και για το λόγο αυτό πρέπει να αποφεύγεται η υπερθέρμανση των ασφαλτικών υλικών.

Το πάχος στρώσεων της ασφάλτου που περιβάλλει τα αδρανή υλικά επηρεάζει το ποσοστό οξείδωσης. 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 στην εικόνα 3.2 το στρώμα του μη οξειδωμένου συνδέσμου δεν θα είναι ικανοποιητικό να αντισταθεί επαρκώς στις πιέσεις που δημιουργούνται από τις επαναλαμβανόμενες φορτίσεις και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Επιπλέον, οι ρωγμές που οφείλονται στο συνδετικό που γερνά μπορούν να αναπτυχθούν στην επιφάνεια οδοστρωμάτων και να διαδοθούν προς τα κάτω.



Εικόνα 3.2: Ανεπαρκές πάχος στρώσεων [Γεωργούλα και Γουβαλή 2008]

Η εικόνα 3.3 δείχνει ότι το μη οξειδωτικό στρώμα είναι πολύ παχύτερο και θα ήταν σε θέση πιθανότερα να αντισταθεί επαρκώς στις πιέσεις που δημιουργούνται από τις επαναλαμβανόμενες, τροχαίες φορτίσεις και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Εν τούτοις, ο υπερβολικός σύνδεσμος μπορεί να προκαλέσει αιμορραγία, ολίσθηση και αυλάκωση.



**Εικόνα 3.3: Επαρκές πάχος στρώσεων [Γεωργούλα και Γουβαλή 2008]**

Με την οξείδωση της ασφάλτου αλλάζει η μηχανική συμπεριφορά της ασφάλτου και κατά κανόνα μειώνεται η διάρκεια ζωής του οδοστρώματος. Οι αλλαγές που επέρχονται στη μηχανική συμπεριφορά της ασφάλτου είναι: η μείωση της διεισδυτικότητας, η αύξηση του σημείου μάλθωσης και του δείκτη διεισδυτικότητας, η μείωση της ελαστικότητας και της συνεκτικής ικανότητας και η αύξηση της ψαθυρότητας αυτής. Η οξείδωση της ασφάλτου μετά το στάδιο της κατασκευής επηρεάζεται από το κλίμα, την ηλιοφάνεια και τα κενά αέρος στο ασφαλτόμιγμα. Η οξείδωση της ασφάλτου μπορεί να επιβραδυνθεί με την προσθήκη χημικών πρόσθετων.

### **3.2.3 Χάρτης Heukelom**

Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες της ασφάλτου, δηλαδή το σημείο μάλθωσης, η διεισδυτικότητα, το σημείο Fraass και το ιξώδες μπορούν να περιγράψουν πλήρως τη συμπεριφορά της ασφάλτου οδοστρωσίας. Αυτό επιτυγχάνεται κάνοντας χρήση του χάρτη Heukelom. Ο χάρτης Heukelom είναι ένα ειδικό σχεδιαστικό χαρτί που προτάθηκε από τον Heukelom για την ένδειξη της επίδρασης της θερμοκρασίας στη μηχανική συμπεριφορά των ασφάλτων γενικότερα.

Ο χάρτης αποτελείται από ένα οριζόντιο άξονα για τη θερμοκρασία και δύο κάθετους άξονες για τη διεισδυτικότητα και το ιξώδες. Ο άξονας της θερμοκρασίας είναι σε γραμμική

κλίμακα, ο άξονας της διεισδυτικότητας σε λογαριθμική κλίμακα και ο άξονας του ιξώδους έχει προσαρμοστεί έτσι ώστε για τις κοινές ασφάλτους οδοστρωσίας, τα ζεύγη τιμών ιξώδους- θερμοκρασία να έχουν σχέση ευθείας γραμμής. Επιπλέον στο χάρτη υπάρχει μια διακεκομμένη γραμμή για την απεικόνιση του σημείου Fraass και μια ευθεία γραμμή για την απεικόνιση του σημείου μάλθωσης.

Τοποθετώντας στο χάρτη Heukelom το σημείο Fraass επί τις αντιστοίχου ευθείας, την τιμή διεισδυτικότητας στη μετρηθείσα θερμοκρασία, το σημείο μάλθωσης επί της οριζοντίου ευθείας μάλθωσης και τις τιμές του ιξώδους στις διαφορετικές θερμοκρασίες ελέγχου λαμβάνεται πάντοτε, για ασφάλτους οδοστρωσίας με ‘κανονική’ θερμοκρασιακή ευαισθησία, μια ευθεία γραμμή.

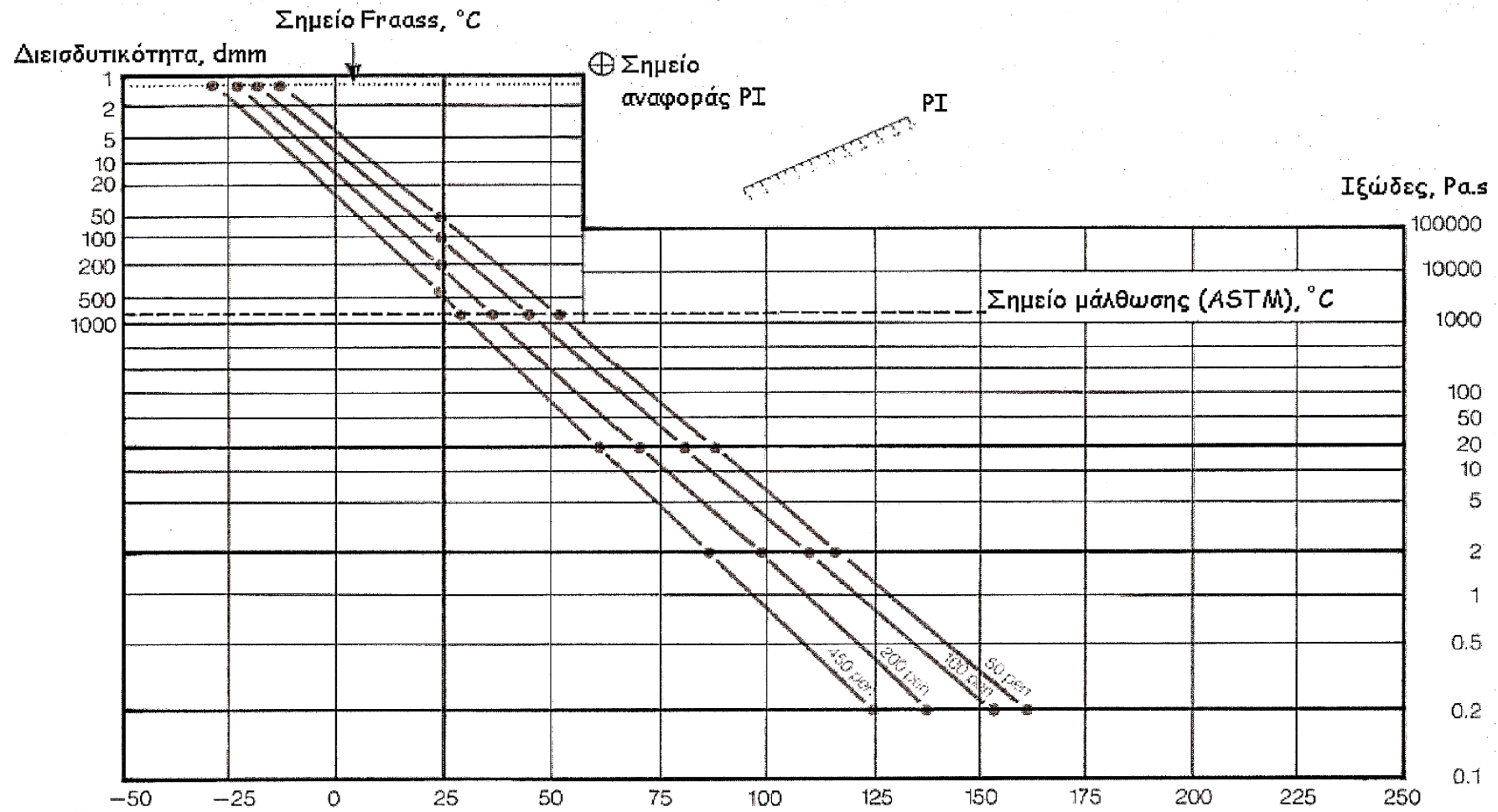
Με τη χρήση του χάρτη Heukelom επιτυγχάνουμε κάτι πολύ σημαντικό διότι μπορεί να εκτιμηθεί το σημείο Fraass, και το ιξώδες της ασφάλτου σε οποιαδήποτε θερμοκρασία εκτελώντας μόνο τις δοκιμές μάλθωσης και διεισδυτικότητας. Ο προσδιορισμός του ιξώδους της ασφάλτου σε οποιαδήποτε θερμοκρασία είναι ιδιαίτερα χρήσιμος για τον καθορισμό των ενδεδειγμένων θερμοκρασιών για ανάμιξη, συμπύκνωση ή ψεκασμό της ασφάλτου (νομογράφημα 3.7).

Επιπλέον από το χάρτη Heukelom μπορεί να προσδιοριστεί και ο δείκτης διεισδυτικότητας PI. Αυτό επιτυγχάνεται με την χάραξη από το σημείο αναφοράς για το PI ευθείας γραμμής παράλληλης με αυτή που επιτεύχθηκε από τα προαναφερθέντα μεγέθη. Το σημείο στο οποίο τέμνεται η ευθεία με τον άξονα αναφοράς για το PI καθορίζει την τιμή του δείκτη διεισδυτικότητας της ασφάλτου.

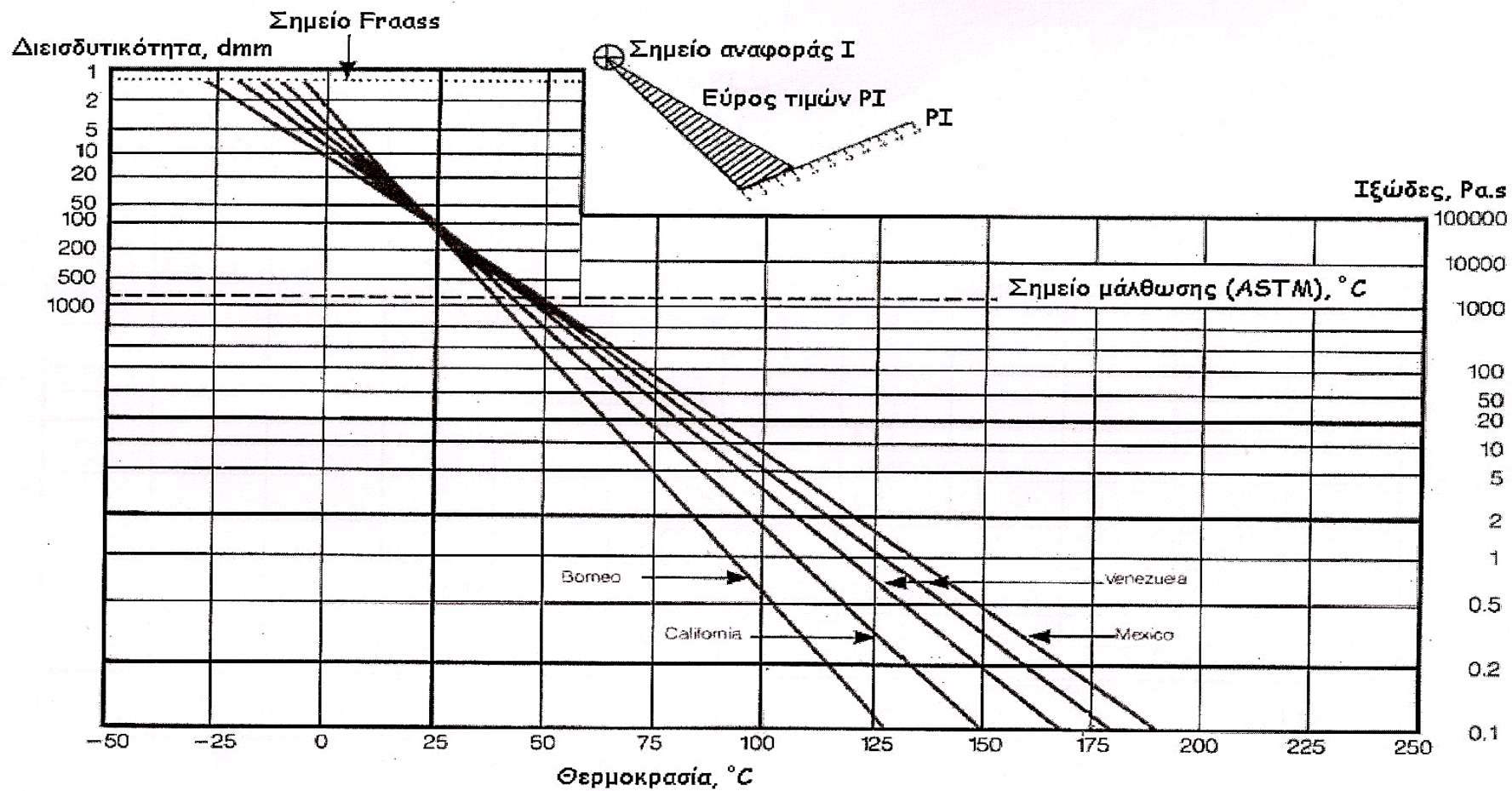
Μετά από έρευνες βρέθηκε ότι με τη χρήση του χάρτη Heukelom είναι δυνατόν να ταξινομηθούν οι ασφαλτοι και παράλληλα να εντοπισθεί εάν αυτές είναι κατάλληλες για οδοστρωσία. «Οι ασφαλτοι σύμφωνα με τις έρευνες αυτές ταξινομούνται στις πιο κάτω κατηγορίες : κοινές ασφαλτοι οδοστρωσίας που δίνουν πάντα ευθεία γραμμή και χαρακτηρίστηκαν ως τύπου S, οξειδωμένοι ασφαλτοι που δίνουν δύο τεμνόμενες ευθείες και χαρακτηρίστηκαν ως τύπου B και ασφαλτοι με υψηλό ποσοστό παραφίνης που δίνονται από συνδυασμό δύο ευθειών και μίας καμπύλης στη μεταβατική ζώνη χαρακτηρίστηκαν ως τύπου W (νομογράφημα 3.8). Από το νομογράφημα αυτό συμπεραίνεται ότι για τον καθορισμό της χαρακτηριστικής καμπύλης των οξειδωμένων ασφάλτων καθώς και των ασφάλτων με

παραφίνη απαιτείται τόσο η δοκιμή της διεισδυτικότητας και της μάλθωσης όσο και του ιξώδους σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες. Οι ασφαλτοί με παραφίνη είναι ακατάλληλοι για οδοστρωσία διότι δεν έχουν καλές συνδετικές ιδιότητες και είναι πολύ μαλακοί στις θερμοκρασίες χρήσης, ενώ οι οξειδωμένοι ασφαλτοί δεν προδιαγράφονται από καμία προδιαγραφή και δε χρησιμοποιούνται στην οδοστρωσία.» [Heukelom 1973]

Στο χάρτη του νομογραφήματος 3.8 απεικονίζεται και η χαρακτηριστική καμπύλη των τροποποιημένων ασφάλτων, η οποία είναι μια τεθλασμένη γραμμή, που αποτελείται από τρεις ευθείες. Επομένως για τον προσδιορισμό της απαιτούνται να γίνουν οι δοκιμές διεισδυτικότητας, μάλθωσης, Fraass και του ιξώδους σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες.

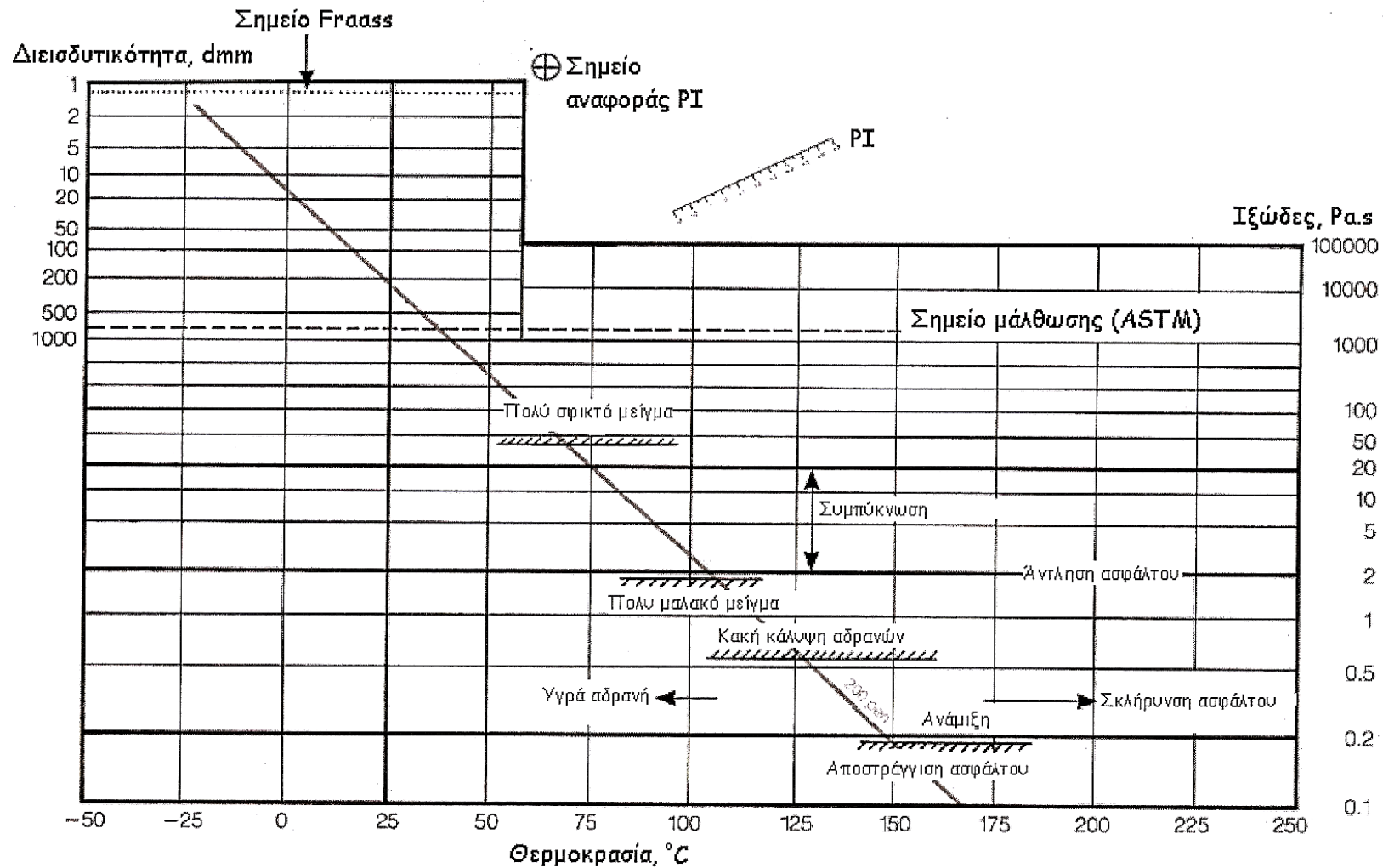


Νομογράφημα 3.5: Χάρτης Heukelom που συγκρίνει ασφάλτους οδοστρώσις από το ίδιο αργό πετρέλαιο [Read and Whiteoak 2003]

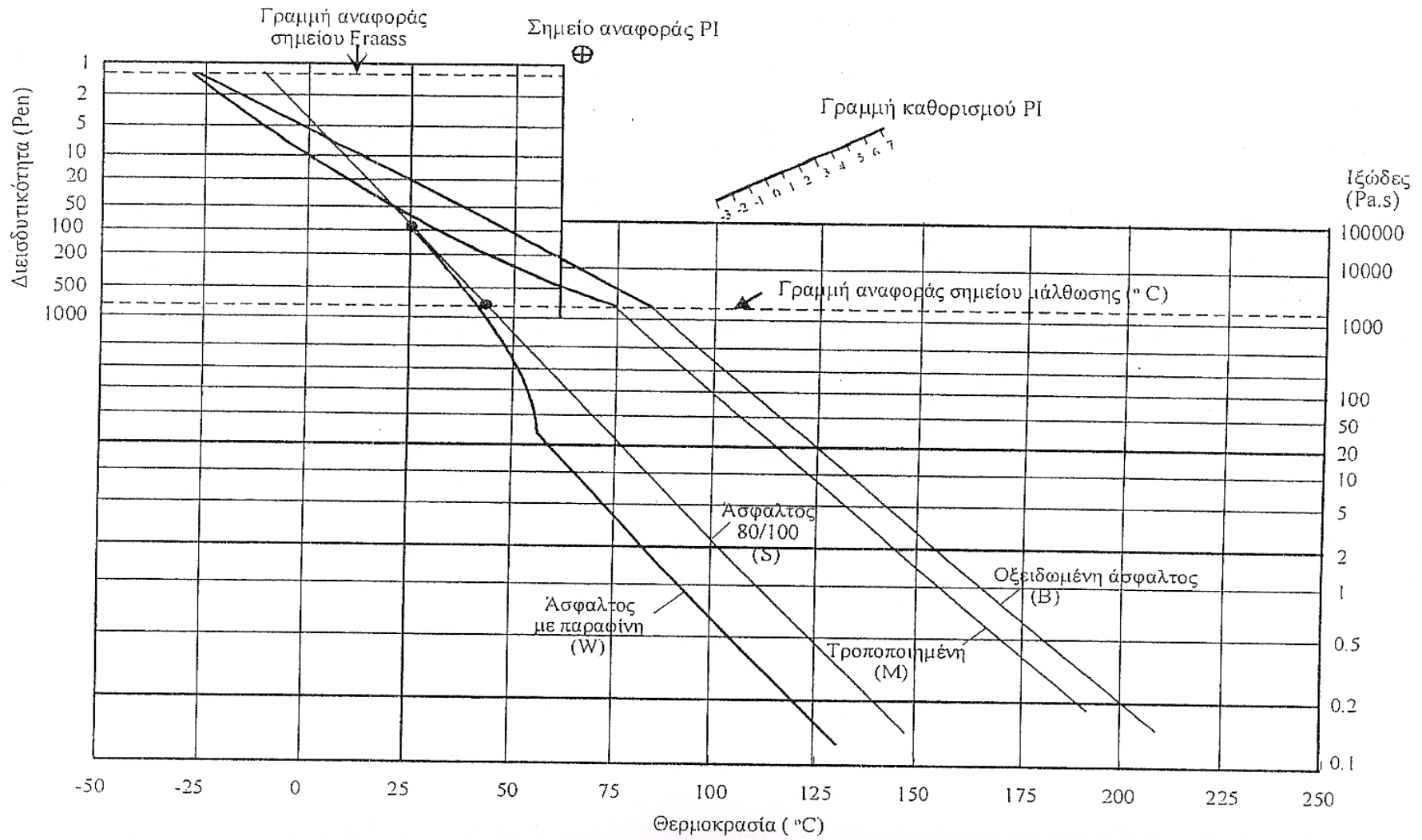


Νομογράφημα 3.6: Χάρτης Heukelom που συγκρίνει ασφάλτους οδοστρώσις του ίδιου τύπου αλλά διαφορετικής προέλευσης [Read and Whiteoak 2003]





Νομογράφημα 3.7: Χάρτης Heukelom που δίνει τις 'ιδανικές' τιμές του ιξώδους για βέλτιστη ανάμιξη και συμπύκνωση του ασφαλτικού σκυροδέματος [Read and Whiteoak 2003]



Νομογράφημα 3.8: Τυπικές καμπύλες ταξινόμησης ασφάλτων [Heukelom 1973]

## **4. ΑΣΦΑΛΤΟΣ ΣΤΗΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ**

Εδώ και καιρό έχει παρατηρηθεί ότι η ασφάλτος από διαφορετικές πηγές προέλευσης παρουσιάζει διαφορετικές χαρακτηριστικές και μηχανικές ιδιότητες και η συμπεριφορά της είναι συχνά δύσκολο να καθοριστεί με οποιοδήποτε βαθμό ακρίβειας. Το πρώτο μέρος της έρευνας συνίσταται από την ανάλυση των αποτελεσμάτων των δοκιμών ταξινόμησης που έγιναν από το διυλιστήριο της Λάρνακας στις εισαγόμενες ασφάλτους και το δεύτερο μέρος περιλαμβάνει έρευνα για την θερμοκρασιακή ευαισθησία της ασφάλτου μέσα από την συνεχή της θέρμανση. Η συνεχής θέρμανση της ασφάλτου επηρεάζει την απόδοση και τη λειτουργικότητα του ασφαλτομίγματος με επακόλουθο την αύξηση του κόστους συντήρησης και την μείωση της διάρκειας ζωής του οδοστρώματος.

### **4.1 Αποτελέσματα δοκιμών διυλιστηρίου Λάρνακας**

Σύμφωνα με έρευνα που έγινε σε συνολικά 152 μετρήσεις του διυλιστηρίου της Λάρνακας από το 2006-2010 η ασφάλτος που χρησιμοποιείται στην Κύπρο προέρχεται από διαφορετικές πηγές προέλευσης. Στην Κύπρο εισάγονται τύποι ασφάλτων 35/50 και 50/70, οι οποίοι προέρχονται από διυλιστήρια της Ιταλίας και της Ελλάδας. Γνωρίζοντας την διεισδυτικότητα και το σημείο μάλθωσης των ασφάλτων που είχαν εισαχθεί στη Κύπρο υπολογίστηκε το μέτρο δυσκαμψίας και ο δείκτης διεισδυτικότητας τους χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Bands της Shell. Με το ίδιο πρόγραμμα υπολογίστηκε το μέτρο δυσκαμψίας ασφαλτομιγμάτων, με βάση τα αποτελέσματα των πιο πάνω στοιχείων σε συνδυασμό με διάφορες συνθέσεις ασφαλτομιγμάτων που δόθηκαν από το Τ.Δ.Ε. Στους πιο κάτω πίνακες φαίνεται πως μεταβάλλονται οι χαρακτηριστικές και μηχανικές ιδιότητες της ασφάλτου για το κάθε διυλιστήριο ξεχωριστά και πως αυτό επηρεάζει την απόδοση των ασφαλτομιγμάτων.

**Πίνακας 4.1: Μέτρο δυσκαμψίας και PI ασφάλτου- Ασφαλτος 35/50- Ασπρόπυργος -Ελλάδα**

Ιδιότητες	Ελάχιστη Τιμή		Μέγιστη Τιμή	
	Τιμές δοκιμής ασφάλτου*	Τιμές Προδιαγραφών Τ.Δ.Ε	Τιμές δοκιμής ασφάλτου*	Τιμές Προδιαγραφών Τ.Δ.Ε
Διεισδυτικότητα στους 25°C (pen)	40	35	43	50
Σημείο Μάλθωσης °C	50	50	53.2	58
Σχετική Πυκνότητα 25°C	1.0129		1.0984	
Δείκτης Διεισδυτικότητας	-1.7		-0.77	
Μέτρο Δυσκαμψίας (MPa)	42.9		63	

**Πίνακας 4.2: Μέτρο δυσκαμψίας και PI ασφάλτου- Ασφαλτος 50/70- Ασπρόπυργος -Ελλάδα**

Ιδιότητες	Ελάχιστη Τιμή		Μέγιστη Τιμή	
	Τιμές δοκιμής ασφάλτου*	Τιμές Προδιαγραφών Τ.Δ.Ε	Τιμές δοκιμής ασφάλτου*	Τιμές Προδιαγραφών Τ.Δ.Ε
Διεισδυτικότητα στους 25°C (pen)	53	50	69	70
Σημείο Μάλθωσης °C	46.8	46	49.8	54
Σχετική Πυκνότητα 25°C	1.0092		1.0367	
Δείκτης Διεισδυτικότητας	-1.9		-0.46	
Μέτρο Δυσκαμψίας (MPa)	18.3		42.9	

\* Εργαστήριο διωλιστηρίου Λάρνακας

**Πίνακας 4.3: Μέτρο δυσκαμψίας και PI ασφάλτου- Ασφάλτος 50/70- ESSO Italiana Raffineria di Augusta  
-Ιταλία**

Ιδιότητες	Ελάχιστη Τιμή		Μέγιστη Τιμή	
	Τιμές δοκιμής ασφάλτου*	Τιμές Προδιαγραφών Τ.Δ.Ε	Τιμές δοκιμής ασφάλτου*	Τιμές Προδιαγραφών Τ.Δ.Ε
Διεισδυτικότητα στους 25°C (pen)	50	50	70	70
Σημείο Μάλθωσης °C	45.6	46	51.2	54
Σχετική Πυκνότητα 25°C	1.0259		1.0602	
Δείκτης Διεισδυτικότητας	-0.063		-2.4	
Μέτρο Δυσκαμψίας (MPa)	15.8		53.5	

**Πίνακας 4.4: Μέτρο δυσκαμψίας και PI ασφάλτου- Ασφάλτος 50/70-Alma Petroli-Ιταλία**

Ιδιότητες	Ελάχιστη Τιμή		Μέγιστη Τιμή	
	Τιμές δοκιμής ασφάλτου*	Τιμές Προδιαγραφών Τ.Δ.Ε	Τιμές δοκιμής ασφάλτου*	Τιμές Προδιαγραφών Τ.Δ.Ε
Διεισδυτικότητα στους 25°C (pen)	56	50	61	70
Σημείο Μάλθωσης °C	48.8	46	50.8	54
Σχετική Πυκνότητα 25°C	1.0516		1.0547	
Δείκτης Διεισδυτικότητας	-1.2		-0.52	
Μέτρο Δυσκαμψίας (MPa)	22.9		33.2	

\* Εργαστήριο δουλισταρίου Λάρνακας

**Πίνακας 4.5: Μέτρο δυσκαμψίας και PI ασφάλτου- Ασφαλτος 35/50- ESSO Italiana Raffineria di Aurusta  
-Ιταλία**

Ιδιότητες	Ελάχιστη Τιμή		Μέγιστη Τιμή	
	Τιμές δοκιμής ασφάλτου*	Τιμές Προδιαγραφών Τ.Δ.Ε	Τιμές δοκιμής ασφάλτου*	Τιμές Προδιαγραφών Τ.Δ.Ε
Διεισδυτικότητα στους 25°C (pen)	38	35	49	50
Σημείο Μάλθωσης °C	50	50	52.2	58
Σχετική Πυκνότητα 25°C	1.0243		1.0433	
Δείκτης Διεισδυτικότητας	-1.8		-0.71	
Μέτρο Δυσκαμψίας (MPa)	34.7		70.1	

**Πίνακας 4.6: Μέτρο δυσκαμψίας και PI ασφάλτου- Ασφαλτος 35/50-Alma Petroli-Ιταλία**

Ιδιότητες	Ελάχιστη Τιμή		Μέγιστη Τιμή	
	Τιμές δοκιμής ασφάλτου*	Τιμές Προδιαγραφών Τ.Δ.Ε	Τιμές δοκιμής ασφάλτου*	Τιμές Προδιαγραφών Τ.Δ.Ε
Διεισδυτικότητα στους 25°C (pen)	40	35	46	50
Σημείο Μάλθωσης °C	51	50	55	58
Σχετική Πυκνότητα 25°C	1.0549		1.0558	
Δείκτης Διεισδυτικότητας	-1.4		-0.22	
Μέτρο Δυσκαμψίας (MPa)	32.3		59.6	

\*Εργαστήριο δουλιστηρίου Λάρνακας

**Πίνακας 4.7: Μέτρο Δυσκαμψίας και ΡΙ ασφάλτου –Ασφάλτοι 35/50-(Ελλάδα –Ιταλία)**

Ιδιότητες	Ελάχιστη Τιμή		Μέγιστη Τιμή	
	Τιμές δοκιμής ασφάλτου*	Τιμές Προδιαγραφών Τ.Δ.Ε	Τιμές δοκιμής ασφάλτου*	Τιμές Προδιαγραφών Τ.Δ.Ε
Διεισδυτικότητα στους 25°C (pen)	38	35	49	50
Σημείο Μάλθωσης°C	50	50	55	58
Σχετική Πυκνότητα 25 °C	1.0129		1.0984	
Δείκτης Διεισδυτικότητας	-1.8		-0.071	
Μέτρο Δυσκαμψίας (MPa)	28.1		70.1	

**Πίνακας 4.8: Μέτρο Δυσκαμψίας και ΡΙ ασφάλτου- Ασφάλτοι 50/70 (Ελλάδα –Ιταλία)**

Ιδιότητες	Ελάχιστη Τιμή		Μέγιστη Τιμή	
	Τιμές δοκιμής ασφάλτου*	Τιμές Προδιαγραφών Τ.Δ.Ε	Τιμές δοκιμής ασφάλτου*	Τιμές Προδιαγραφών Τ.Δ.Ε
Διεισδυτικότητα στους 25°C (pen)	50	50	70	70
Σημείο Μάλθωσης°C	45.6	46	51.2	54
Σχετική Πυκνότητα 25 °C	1.0092		1.0602	
Δείκτης Διεισδυτικότητας	-2.4		-0.063	
Μέτρο Δυσκαμψίας (MPa)	15.8		53.5	

\*Εργαστήριο δουλιστηρίου Λάρνακας

Πίνακας 4.9: Μέτρο δυσκαμψίας ασφαλτομίγματος

Ασφαλτομίγματα	Διεισδυτικό -τητα στους 25°C (pen)	Μέτρο Δυσκαμψία Ασφάλτου (Mpa)	Νασφάλτου (%)	Ναδρανών (%)	Μέτρο Δυσκαμψίας Ασφαλτομίγματος (Mpa)
<b>ABC 1</b>	49	28.1	12	84.3	4230
	38	70.1	12	84.3	7810
<b>AWC 1</b>	49	28.1	12.28	82.82	3650
	38	70.1	12.28	82.82	6770
<b>ABC 2</b>	49	28.1	11.1	84.1	4250
	38	70.1	11.1	84.1	7710
<b>AWC 2</b>	49	28.1	12.4	82.7	3590
	38	70.1	12.4	82.7	6690
<b>AWC 3</b>	49	28.1	13.14	82.66	3520
	38	70.1	13.14	82.66	6630
<b>ABC 3</b>	49	28.1	13.3	82.3	3390
	38	70.1	13.3	82.3	6400
<b>ABC 4</b>	49	28.1	12.27	83.73	3980
	38	70.1	12.27	83.73	7380
<b>ABC 5</b>	49	28.1	11.42	84.28	4290
	38	70.1	11.42	84.28	7830
<b>ABC 6</b>	49	28.1	11.37	84.4	4300
	38	70.1	11.37	84.4	7900
<b>AWC 4</b>	49	28.1	12.4	83	3700
	38	70.1	12.4	83	6880

#### 4.2 Έρευνα για την θερμοκρασιακή ευαισθησίας της ασφάλτου

Από επισκέψεις που πραγματοποιήθηκαν σε τρία διαφορετικά εργοστάσια παραγωγής ασφαλτομιγμάτων συγκεντρώθηκαν οι πιο κάτω πληροφορίες όσον αφορά τη διαχείριση της ασφάλτου και συγκεκριμένα τις θερμοκρασίες μεταφοράς, ανάμιξης και αποθήκευσης της:



### 1<sup>ο</sup> εργοστάσιο

Η ημερήσια παραγωγή του εργοστασίου είναι 1500 tn. Η άσφαλτος είναι τοποθετημένη σε τρία ντεπόζιτα και θερμαίνεται συνεχώς σε θερμοκρασίες 140-155°C έτσι ώστε η θερμοκρασία να μην έχει πτώση κάτω από 130 °C. Τα τρία ντεπόζιτα είναι μεταξύ τους ενωμένα με αντλίες και μόλις αδειάσει το ένα γεμίζεται από το άλλο και επομένως η άσφαλτος δεν ανανεώνεται κάτι το οποίο θα είχε αρνητικές συνέπειες στις μηχανικές και φυσικές ιδιότητες της ασφάλτου. Ακόμη τα ντεπόζιτα έχουν δικό τους σύστημα ελέγχου της θερμοκρασίας και της ποσότητας της ασφάλτου. Η άσφαλτος μεταφέρεται μέσω των αντλιών στον κάδο ανάμιξης σε θερμοκρασία 150 °C. Η ανάμιξη γίνεται στους 155 °C και το ασφαλτόμιγμα μεταφέρεται στα εργοτάξια σε θερμοκρασίες 155-170 °C.

### 2<sup>ο</sup> εργοστάσιο

Σύμφωνα με τις δυνατότητες του εργοστασίου παράγονται ημερησίως 1000 tn. Στο εργοστάσιο υπάρχουν δύο ντεπόζιτα χωρητικότητας 100 tn (και τα δύο μαζί) στα οποία αποθηκεύεται η άσφαλτος σε θερμοκρασίες 130-140 °C. Στα ντεπόζιτα υπάρχουν μετρητές όπου μετρούν την ποσότητα της ασφάλτου και όταν φτάσει σε μία συγκεκριμένη τιμή ανανεώνεται. Η άσφαλτος συνήθως ανανεώνεται καθημερινά (60 tn ημερησίως). Οι αντλίες, οι σωληνώσεις, τα ντεπόζιτα και η άσφαλτος θερμαίνονται 24 ώρες την ημέρα με ένα σύστημα λαδιού. Επίσης η θερμοκρασία της ασφάλτου μέσα στις αντλίες κατά την μεταφορά της στον κάδο ανάμιξης είναι 160 °C και τα ασφαλτομίγματα μεταφέρονται στο εργοτάξιο σε θερμοκρασίες 155-170 °C.

### 3<sup>ο</sup> εργοστάσιο

Το εργοστάσιο παράγει ημερησίως 0-2000 tn. Η άσφαλτος θερμαίνεται συνεχώς στους 140-150 °C και ανανεώνεται ανάλογα με την παραγωγή και μπορεί κάποιες φορές και 2-3 φορές την ημέρα. Όπως και στα προηγούμενα δύο εργοστάσια υπάρχουν και σε αυτό συστήματα μέτρησης της θερμοκρασίας και της ποσότητας της ασφάλτου. Επιπρόσθετα η θερμοκρασία της ασφάλτου μέσα στις αντλίες είναι 150 °C και η ανάμιξη για την παραγωγή του ασφαλτομίγματος γίνεται στους 170-180 °C.

Από τις πιο πάνω πληροφορίες που συγκεντρώθηκαν παρατηρήθηκε ότι και στα τρία εργοστάσια παραγωγής ασφαλτομιγμάτων η άσφαλτος θερμαίνεται συνεχώς καθ'όλη την διάρκεια της ημέρας στους 130-155 °C. Η έρευνα αυτή έγινε για να βρεθεί κατά πόσο

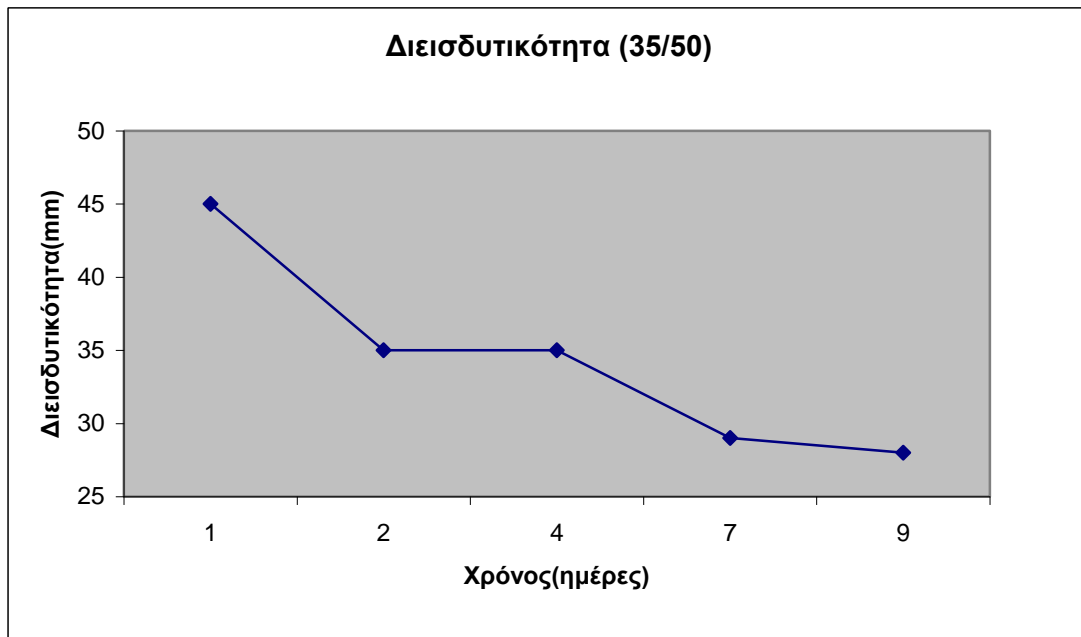
επηρεάζονται οι μηχανικές και φυσικές ιδιότητες της ασφάλτου από τη συνεχή θέρμανση της για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν δύο τύποι ασφάλτου 35/50 και 50/70 οι οποίοι θερμαίνονταν συνεχώς σε θερμοκρασία 140 °C για 13 ημέρες. Κατά την διάρκεια αυτού του χρονικού διαστήματος για να εξακριβωθεί κατά πόσο μεταβάλλονταν οι ιδιότητες της ασφάλτου πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές της διεισδυτικότητας και της μάλθωσης. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την εκτέλεση των δοκιμών περιγράφεται στο κεφάλαιο 2. Τα αποτελέσματα από την εκτέλεση των δοκιμών φαίνονται πιο κάτω:

**Πίνακας 4.10: Δεισδυτικότητα και μάλθωση ασφάλτου σε συνεχή θέρμανση (140 °C)**

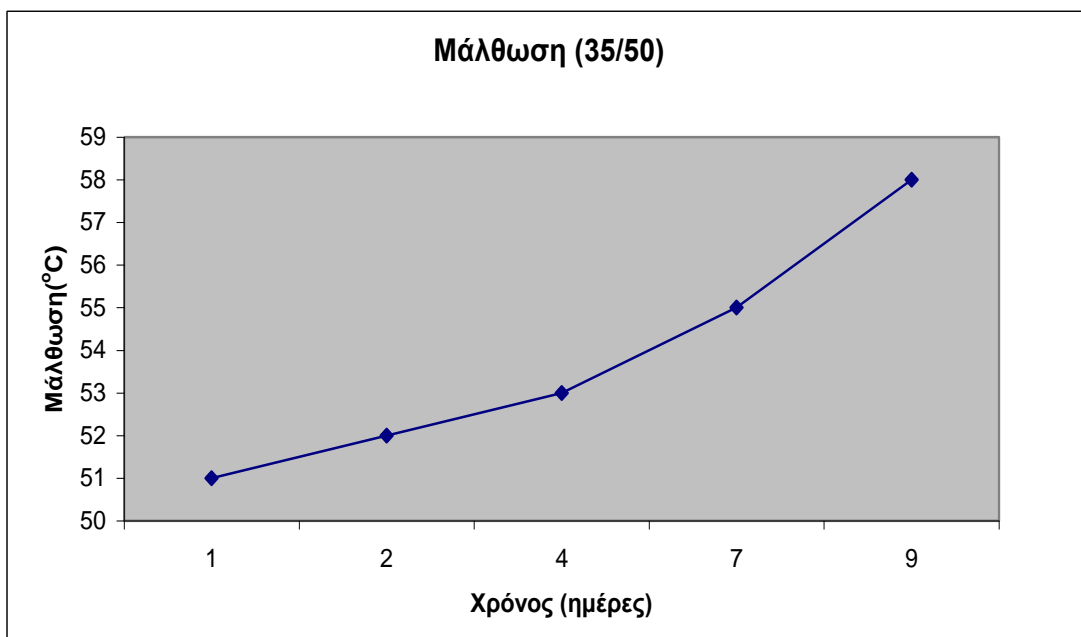
Άσφαλτος 50/70				
Χρόνος (ημέρες)	Δεισδυτικότητα (mm)	Μάλθωση (°C)	Δείκτης Δεισδυτικότητας (PI)	Μέτρο Δυσκαμψία (Mpa)
1	62	48	-1,2	28,3
2	53	48	-1,6	40
4	49	49	-1,5	44
7	45	51	-1,2	45,5
9	48	52	-0,81	36,6
13	38	53	-1,1	57

**Πίνακας 4.11: Δεισδυτικότητα και μάλθωση ασφάλτου σε συνεχή θέρμανση (140 °C)**

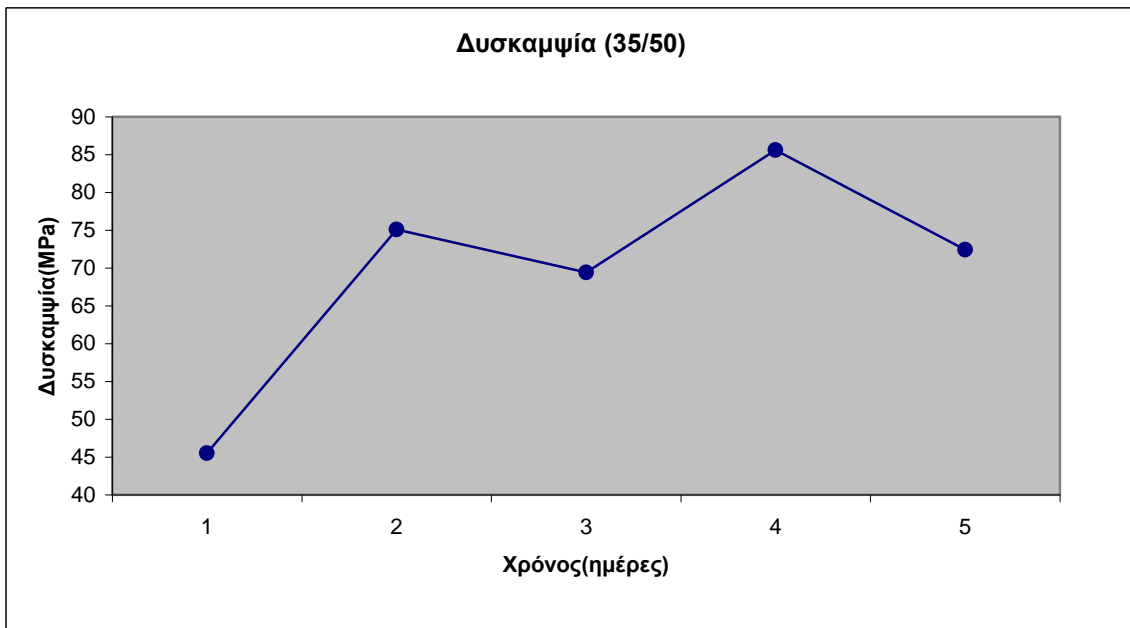
Άσφαλτος 35/50				
Χρόνος (ημέρες)	Δεισδυτικότητα (mm)	Μάλθωση (°C)	Δείκτης Δεισδυτικότητας (PI)	Μέτρο Δυσκαμψία (Mpa)
1	45	51	-1,2	45,5
2	35	52	-1,5	75,1
4	35	53	-1,2	69,4
7	29	55	-1,2	85,6
9	28	58	-0,64	72,4



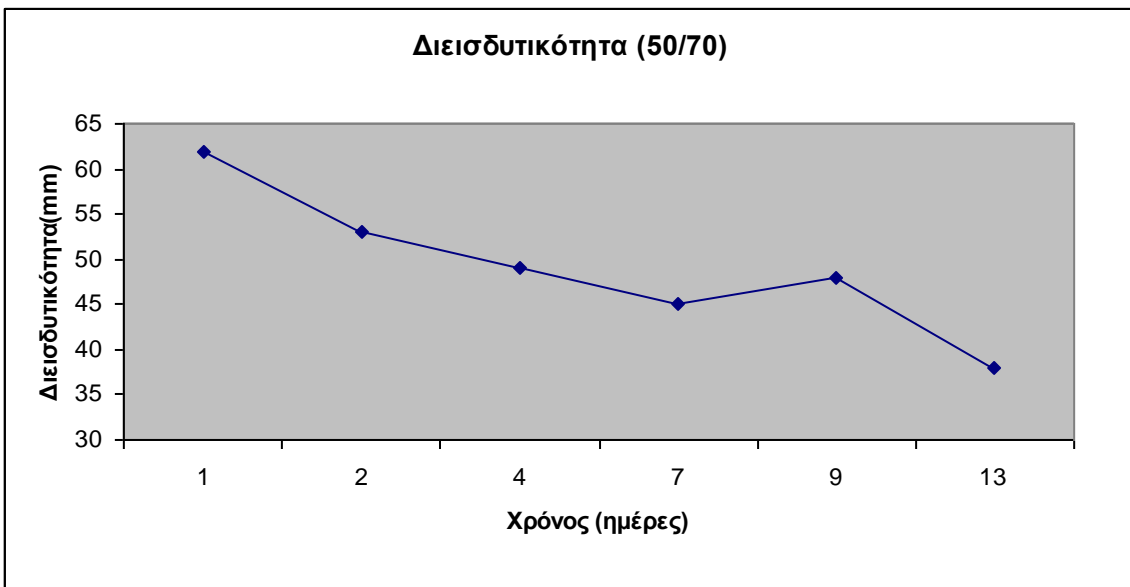
Διάγραμμα 4.1: Μεταβολή διεσδυτικότητας της ασφάλτου (35/50) συνάρτηση του χρόνου θέρμανσης της.



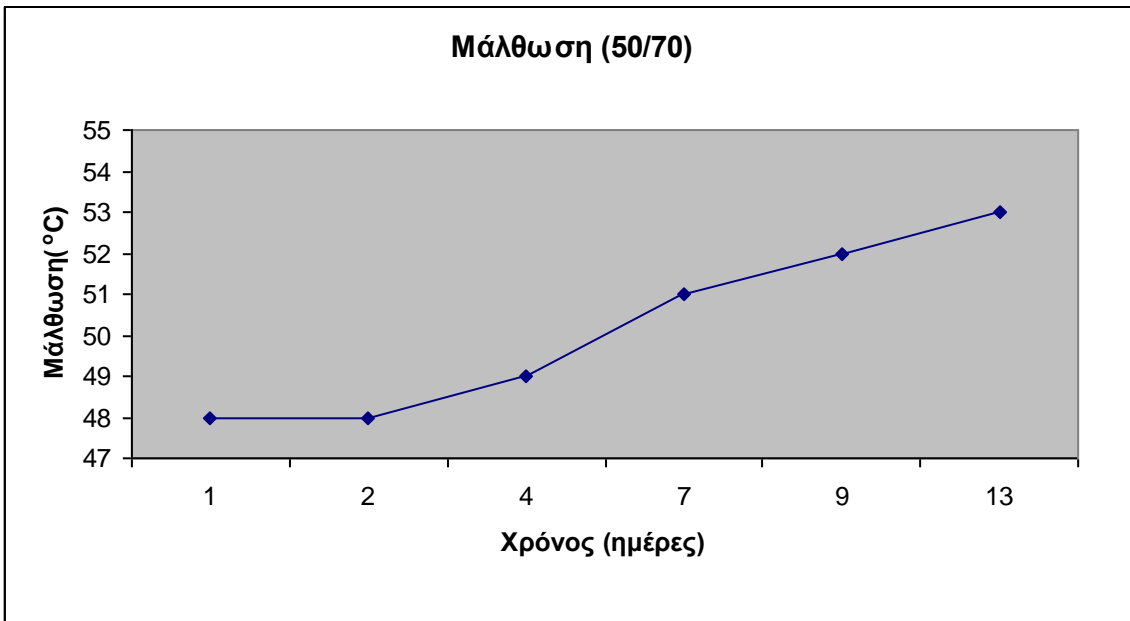
Διάγραμμα 4.2: Μεταβολή μάλθωσης της ασφάλτου (35/50) συνάρτηση του χρόνου θέρμανσης της



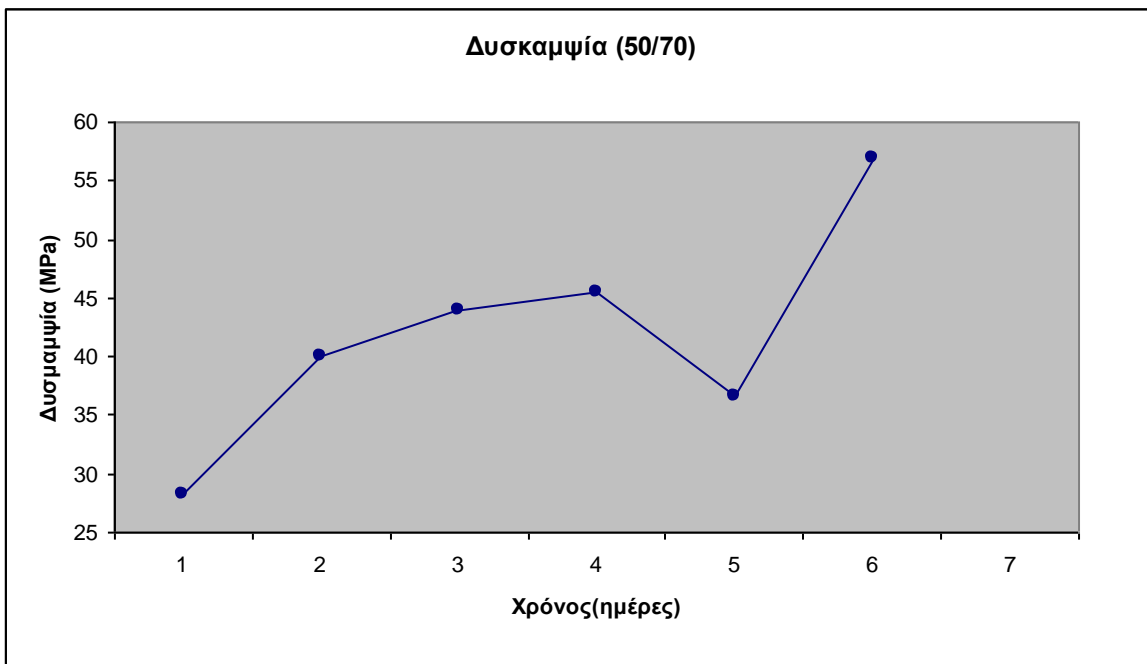
Διάγραμμα 4.3: Μεταβολή μέτρου δυσκαμψίας της ασφάλτου (35/50) συνάρτηση του χρόνου θέρμανσης της



Διάγραμμα 4.4: Μεταβολή διεισδυτικότητας της ασφάλτου (50/70) συνάρτηση του χρόνου θέρμανσης της



Διάγραμμα 4.5: Μεταβολή μάλθωσης της ασφάλτου (50/70) συνάρτηση του χρόνου θέρμανσης της.



Διάγραμμα 4.6: Μεταβολή μέτρου δυσκαμψίας της ασφάλτου (50/70) συνάρτηση του χρόνου θέρμανσης της.

### 4.3 Συμπεράσματα έρευνας

Από τα αποτελέσματα των δοκιμών ταξινόμησης του διυλιστηρίου Λάρνακας και την ανάλυση τους με το πρόγραμμα Bands, έχει βρεθεί ότι παρόλο που οι άσφαλτοι του ίδιου τύπου προέρχονται από διαφορετικές πηγές προέλευσης ικανοποιούν τις προδιαγραφές όσον αφορά την διεισδυτικότητα και την μάλθωση. Εν τούτοις οι τιμές του μέτρου δυσκαμψίας της ασφάλτου 35/50 κυμαίνονται από 28 έως 70 MPa, ενώ της ασφάλτου 50/70 από 16 έως 54 MPa. Αυτό επιβεβαιώνει ότι οι άσφαλτοι του ίδιου τύπου που προέρχονται από διαφορετικές πηγές προέλευσης παρουσιάζουν διαφορετικές χαρακτηριστικές και μηχανικές ιδιότητες.

Όσο πιο σκληρή είναι η άσφαλτος, και όσο λιγότερο ευαίσθητη είναι στις θερμοκρασιακές μεταβολές, τόσο πιο μεγάλο είναι και το μέτρο δυσκαμψίας της και τόσο μικρότερη είναι η μείωση αυτού με την αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Ενώ όσο πιο μαλακή είναι η άσφαλτος τόσο περισσότερο ευαίσθητη είναι στις θερμοκρασιακές μεταβολές και τόσο πιο μικρό είναι και το μέτρο δυσκαμψίας της.

Μια αύξηση του μέτρου δυσκαμψίας της ασφάλτου κατά 60% προκαλεί αύξηση του μέτρου δυσκαμψίας του ασφαλτομίγματος περίπου 45%. Αυτό μας δείχνει ότι το μέτρο δυσκαμψίας του ασφαλτομίγματος μεταβάλλεται σε μεγάλο βαθμό αναλόγως της μείωσης και της αύξησης του μέτρου δυσκαμψίας της ασφάλτου και αυτό επηρεάζει την λειτουργία του ασφαλτομίγματος. 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 αυξάνεται η κατασκευαστική αντοχή του οδοστρώματος και η διάρκεια ζωής του. Έτσι θα ήταν δυνατή η μείωση του πάχους του οδοστρώματος για την ίδια διάρκεια ζωής με αποτέλεσμα την μείωση του κόστους κατασκευής του οδοστρώματος.

Από την άλλη πλευρά όταν χρησιμοποιηθεί ασφαλτόμιγμα με μικρότερο μέτρο δυσκαμψίας θα απαιτηθεί αύξηση του πάχους των ασφαλτικών στρώσεων για να έχει το οδόστρωμα την ίδια διάρκεια ζωής για δεδομένο κυκλοφοριακό φόρτο (για τα ίδια πάχη βάσης και υπόβασης και την ίδια φέρουσα ικανότητα υπεδάφους) και αυτό θα έχει σαν συνέπεια την αύξηση του κόστους κατασκευής του οδοστρώματος. Αυτό οφείλεται στην αύξηση της καταπόνησης των

στρώσεων κάτω από την ασφαλική στρώση και ιδιαίτερα της στρώσης έδρασης του οδοστρώματος (υπέδαφος) που οδηγεί σε αστοχία του οδοστρώματος.

Από τα πιο πάνω αποτελέσματα παρατηρούμε ότι ο δείκτης διεισδυτικότητας (PI) των ασφάλτων είναι πολύ μικρός σε σχέση με τις θερμοκρασίες που επικρατούν στην Κύπρο. Γεγονός που δηλώνει ότι αυτή η ασφάλτος είναι πολύ ευαίσθητη στις θερμοκρασιακές μεταβολές και αυτό έχει σαν συνέπεια τη μείωση της ευστάθειας του ασφαλτομίγματος με επακόλουθο την δημιουργία ρηγματώσεων και τροχοαυλακώσεων στους δρόμους. Επιπρόσθετα αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την έντονη ερπυστική συμπεριφορά των ασφαλτομιγμάτων και την αύξηση του κόστους συντήρησης.

Με βάση τα αποτελέσματα της έρευνας για την θερμοκρασιακή ευαισθησία της ασφάλτου παρατηρείται ότι με την αύξηση του χρόνου θέρμανσης της ασφάλτου, η διεισδυτικότητα της ασφάλτου μειώνεται, δηλαδή σκληραίνει, ενώ παράλληλα το σημείο μάλθωσης της αυξάνεται όπως και το μέτρο δυσκαμψίας της ασφάλτου. Έχει παρατηρηθεί ότι το μέτρο δυσκαμψίας της ασφάλτου κυμαίνεται από 28.3 έως 50.7 MPa και από 45.5 έως 85.6 MPa αντίστοιχα για τους δύο τύπους ασφάλτου 50/70 και 35/50. Το γεγονός αυτό επηρεάζει τις θερμοκρασίες άντλησης, ανάμιξης και συμπύκνωσης του ασφαλτομίγματος διότι δεδομένου ότι μειώνεται η διεισδυτικότητα της ασφάλτου αλλάζουν και οι πιο πάνω θερμοκρασίες και αυτό πρέπει να ληφθεί υπόψη στο σχεδιασμό της κατασκευής του ασφαλτομίγματος. Στη περίπτωση χαμηλών θερμοκρασιών η οποιαδήποτε αύξηση του μέτρου δυσκαμψίας της ασφάλτου έχει αρνητικές επιπτώσεις στην συμπεριφορά του ασφαλτομίγματος όπως η εμφάνιση ρηγματώσεων.

Σε γενικές γραμμές όταν η ασφάλτος την πρώτη φορά που γίνεται η δοκιμή είναι μέσα στα όρια των προδιαγραφών, η συνεχή θέρμανση της για αρκετές μέρες σε θερμοκρασίες εφαρμογής θα έχει ως συνέπεια τα αποτελέσματα των δοκιμών να περάσουν εκτός των προδιαγραφών. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η διεισδυτικότητα και των δύο τύπων ασφάλτων που ελέγχθηκαν, είναι εκτός των ορίων των προδιαγραφών μετά την τέταρτη μέρα συνεχούς θέρμανσης, ενώ το σημείο μάλθωσης βρίσκεται μέσα στα όρια προδιαγραφών για όλο το χρονικό διάστημα του πειράματος.

Σήμερα στα εργοστάσια παραγωγής ασφαλτομιγμάτων οι δύο κύριοι λόγοι για τους οποίους η ασφάλτος θερμαίνεται συνεχώς για περισσότερο από τέσσερις μέρες χωρίς να ανανεώνεται

είναι όταν δεν υπάρχει ζήτηση για μεγάλες παραγωγές και σε περίπτωση βλαβών στη παραγωγή. Τα αποτελέσματα του πειράματος αποδεικνύουν ότι σε τέτοιες περιπτώσεις χρησιμοποιείται ασφάλτος που είναι εκτός των προδιαγραφών. Αυτό έχει σαν συνέπεια να παράγονται ασφαλτομίγματα που είναι εκτός των ορίων των προδιαγραφών και να συνεπάγονται αρνητικές επιπτώσεις στην απόδοση και την λειτουργικότητα του οδοστρώματος. Η δημιουργία ρωγμών, τροχοσυλακώσεων και η απορρόφηση νερού είναι μερικές από αυτές τις επιπτώσεις οι οποίες έχουν σαν επακόλουθο την αύξηση του κόστους συντήρησης και την μείωση της διάρκειας ζωής του οδοστρώματος.

Για την αποφυγή χρήσης ασφάλτου εκτός προδιαγραφών θα πρέπει να ληφθούν κατάλληλα μέτρα. Ένα από τα μέτρα που θα μπορούσε να εφαρμοστεί είναι να γίνεται όσο το δυνατό καλύτερη διαχείριση της ασφάλτου. Αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί με το να υπάρχουν χώροι αποθήκευσης της ασφάλτου στους οποίους η ασφάλτος θα θερμαίνεται στην ελάχιστη θερμοκρασία άντλησης (120°C) και όταν υπάρχει ζήτηση για παραγωγή να μεταφέρεται στο κάδο ανάμιξη στους 140 °C και έτσι θα ανανεώνεται σε τακτικά χρονικά διαστήματα και δεν θα θερμαίνεται σε τόσο ψηλές θερμοκρασίες.



## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 5.1 Γενικά συμπεράσματα

1. Η ασφάλτος συμπεριφέρεται ως ιξωδοελαστικό υλικό και οι μηχανικές της ιδιότητες εξαρτώνται τόσο από την θερμοκρασία όσο και από τον χρόνο φόρτισης της τάσης.
2. Η ιξωδοελαστική συμπεριφορά της ασφάλτου προκαλεί φαινόμενα ερπυσμού σε διάφορες εφαρμογές της στα οδοστρώματα.
3. Με την οξείδωση της ασφάλτου αλλάζει η μηχανική συμπεριφορά της ασφάλτου και κατά κανόνα μειώνεται η διάρκεια ζωής του οδοστρώματος.
4. Οι δεξαμενές αποθήκευσης της ασφάλτου πρέπει να έχουν αποτελεσματικό και ικανό σύστημα θέρμανσης έτσι ώστε να μπορούν να θερμάνουν την ασφάλτο στην επιθυμητή θερμοκρασία.
5. Η ασφάλτος σε κάθε στάδιο χρήσης της πρέπει να έχει την κατάλληλη θερμοκρασία έτσι ώστε να επιτευχθεί το κατάλληλο ιξώδες.
6. Η υπερθέρμανση της ασφάλτου πρέπει να αποφεύγεται κατά την αποθήκευση και χρήση της τόσο για λόγους ασφάλειας (αυτό-ανάφλεξη) όσο και για λόγους επιταχυνόμενης οξείδωσης και αλλοίωσης των ιδιοτήτων της.
7. Ο αντιπροσωπευτικός έλεγχος της ποιότητας της ασφάλτου είναι απαραίτητος για να εξασφαλιστεί η ποιότητα των ασφαλτομιγμάτων.
8. Η αντοχή σε κόπωση της ασφάλτου μειώνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός των επαναλαμβανόμενων φορτίσεων και μετά από κάποιο χρονικό διάστημα επέρχεται η κόπωση της.
9. Η θραύση της ασφάλτου επέρχεται κάτω από την επίδραση υψηλών τάσεων, οι οποίες αναπτύσσονται σε χαμηλές θερμοκρασίες.
10. Από τις χαρακτηριστικές ιδιότητες της ασφάλτου, η διεισδυτικότητα, η μάλθωση και ο δείκτης διεισδυτικότητας επηρεάζουν το μέτρο δυσκαμψίας της ασφάλτου και αντίστοιχα το μέτρο δυσκαμψίας του ασφαλτομίγματος.
11. Με την αύξηση του μέτρου δυσκαμψίας της ασφάλτου αυξάνεται το μέτρο δυσκαμψίας του ασφαλτομίγματος με αποτέλεσμα σε ψηλές θερμοκρασίες να αυξάνεται η κατασκευαστική αντοχή και η διάρκεια ζωής του οδοστρώματος.

Με την αύξηση του μέτρου δυσκαμψίας της ασφάλτου αυξάνεται το μέτρο δυσκαμψίας του ασφαλτομίγματος με αποτέλεσμα σε χαμηλές θερμοκρασίες να μειώνεται η κατασκευαστική αντοχή και η διάρκεια ζωής του οδοστρώματος λόγω ρηγματώσεων.

12. Όσο πιο σκληρή είναι η άσφαλτος, τόσο λιγότερο ευαίσθητη είναι στις θερμοκρασιακές μεταβολές και τόσο μεγαλύτερο είναι το μέτρο δυσκαμψίας της

Όσο πιο μαλακή είναι η άσφαλτος τόσο περισσότερο ευαίσθητη είναι στις θερμοκρασιακές μεταβολές και τόσο πιο μικρό είναι και το μέτρο δυσκαμψίας της.

13. Για τη διαστασιολόγηση των οδοστρωμάτων, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η σκλήρυνση της ασφάλτου που επέρχεται κατά το στάδιο ανάμιξης, διάστρωσης και συμπύκνωσης του ασφαλτομίγματος

14. Το κόστος συντήρησης του οδοστρώματος σε χαμηλές θερμοκρασίες αυξάνεται όσο το μέτρο δυσκαμψίας της ασφάλτου αυξάνεται.

Το κόστος συντήρησης του οδοστρώματος σε ψηλές θερμοκρασίες μειώνεται όσο το μέτρο δυσκαμψίας της ασφάλτου αυξάνεται.

## 5.2 Συμπεράσματα εργαστηριακής έρευνας

1. Η άσφαλτος από διαφορετικές πηγές προέλευσης παρουσιάζει διαφορετικές χαρακτηριστικές και μηχανικές ιδιότητες έστω και αν είναι του ίδιου τύπου.

Χαρακτηριστικά από τις δοκιμές του διυλιστηρίου Λάρνακας έχει βρεθεί ότι οι τιμές του μέτρου δυσκαμψίας της ασφάλτου 35/50 κυμαίνονται από 28 έως 70 MPa, ενώ της ασφάλτου 50/70 από 16 έως 54 MPa.

2. Οι άσφαλτοι που ελέγχθηκαν παρόλο που είναι από διαφορετικές πηγές προέλευσης ικανοποιούν τις προδιαγραφές όσον αφορά την διεισδυτικότητα και την μάλθωση.

3. Οι άσφαλτοι οι οποίοι χρησιμοποιούνται στην Κύπρο είναι πολύ ευαίσθητοι στις θερμοκρασιακές μεταβολές και αυτό έχει ως συνέπεια την δημιουργία ρηγματώσεων, τροχοαυλακώσεων και φαινόμενα ερπυσμού στους δρόμους.

4. Το μέτρο δυσκαμψίας του ασφαλτομίγματος μεταβάλλεται σε μεγάλο βαθμό αναλόγως της μείωσης και της αύξησης του μέτρου δυσκαμψίας της ασφάλτου και αυτό επηρεάζει την απόδοση του ασφαλτομίγματος.

Μια αύξηση του μέτρου δυσκαμψίας της ασφάλτου κατά 60% προκαλεί αύξηση του μέτρου δυσκαμψίας του ασφαλτομίγματος περίπου 45%.

5. Με την αύξηση του χρόνου θέρμανσης της ασφάλτου στα εργοστάσια παραγωγής ασφαλτομιγμάτων, το μέτρο δυσκαμψίας της ασφάλτου αυξάνεται, δηλαδή σκληραίνει.

Παρατηρήθηκε ότι το μέτρο δυσκαμψίας της ασφάλτου κυμαίνεται από 28 έως 51 MPa και από 45 έως 86 MPa αντίστοιχα για τους δύο τύπους ασφάλτου 50/70 και 35/50.

6. Για τον καλύτερο σχεδιασμό της παραγωγής ασφαλτομιγμάτων θα πρέπει να λαμβάνεται επιπλέον υπόψη η σκλήρυνση της ασφάλτου που επέρχεται από την συνεχή θέρμανση κατά την αποθήκευση της στα εργοστάσια παραγωγής ασφαλτομιγμάτων.
7. Στα εργοστάσια παραγωγής ασφαλτομιγμάτων χρησιμοποιείται άσφαλτος που είναι εκτός των προδιαγραφών για την παραγωγή των ασφαλτομιγμάτων όταν υπάρχει συνεχή θέρμανση της ασφάλτου.
8. Σε χαμηλές θερμοκρασίες η άσφαλτος η οποία έχει σκληρυνθεί, λόγω συνεχούς θέρμανσης έχει μειωμένη διάρκεια ζωής με αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους συντήρησης του οδοστρώματος .

Σε ψηλές θερμοκρασίες η άσφαλτος η οποία έχει σκληρυνθεί, λόγω συνεχούς θέρμανσης έχει αυξημένη διάρκεια ζωής με αποτέλεσμα την μείωση του κόστους συντήρησης του οδοστρώματος.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

AASHTO (1996a), “Standard Specification for Penetration graded asphalt cement.” (M 20-70).

AASHTO (1996b), “Standard Specification for Cutback Asphalt (Medium –Curing Type)”, (M 82-75).

AASHTO (1998), “Standard Specification for Emulsified Asphalt”, (M 208-96).

AASHTO (2007), “Standard Test Methods –Penetration of Bituminous Materials.”(T49), <[http://pavementinteractive.org/index.php?title=Penetration\\_Test](http://pavementinteractive.org/index.php?title=Penetration_Test)> (Dec.27,2010).

AASHTO, “Viscosity Determination of Asphalt Using Rotational Viscometer.” (TP 48).

American Association of State Highway and Transportation Officials , Asphalt Institute , Federal Highway Administration, National Asphalt Pavement Association , National Stone, Sand and Gravel Association, “Asphalt Pavement -Research and Technology.”, National Asphalt Roadmap.

Asphalt Institute (1979), “Energy requirements for roadway pavements.” (IS-173).

Asphalt Institute (1989), “The Asphalt Handbook.”, ( MS-4), Maryland, USA.

ASTM (2010), “Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester.” (D92-05a), LSY.

Bahia, H. , Huang, C. , Masad , E. and Muliana, H. (2007) , “Nonlinearly viscoelastic analysis of asphalt mixes subjected to shear loading.”, Springer Science +Business Media B.V.

Brien, D. (1981), “Bituminous binders, Lecture Notes from Highway Conference”, Newcastle University.

British Standard Institution (1989), "Bitumens for building and civil engineering.", Part 1: Specification for bitumens for roads and other paved areas, , (BS 3690), London.

Davis, J. (2010), "Asphalt storage tank advances can boost efficiency.", The magazine of the Asphalt Institute.

Controls, S.R.L, "Penetration Test -Softening Point of Bitumen", [http://www.controls.it/products.php?code=140&page=Penetration\\_\\_Softening\\_point&product=420&product\\_name=Ring\\_and\\_Ball\\_Apparatus&language=1](http://www.controls.it/products.php?code=140&page=Penetration__Softening_point&product=420&product_name=Ring_and_Ball_Apparatus&language=1), (Feb.9, 2011).

Edmonton Research Center (2003), "Investigating the Stability Mechanism of Water in Diluted Bitumen Emulsions through Isolation and Characterization of the Stabilizing Materials at the Interface.", American Chemical Society.

"Emulsions.", <[http://www.fultonhogan.com/idc/groups/web\\_au/documents/webcontent/nz\\_0024414](http://www.fultonhogan.com/idc/groups/web_au/documents/webcontent/nz_0024414) > (Okt.30,2010).

Goodrich, L., "Asphalt and Polymer Modified Asphalt Properties Related to the Performance, of Asphalt Concrete Mixes." Association of Asphalt Paving Technologists.

Grand Solution Manual, "Tests on Bitumen." <<http://www.aboutcivil.com/Test%20on%20Bitumen.html>> (Nov.25, 2010).

Heukelom, W. (1966), "Observations on the rheology and fracture of the bitumens and asphalt mixes.", Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol.35, p.123.

Heukelom, W.A. (1973), "An improved method of characterizing asphaltic bitumens with the aid of their mechanical properties." Association of Asphalt Paving Technologists, Vol.42, p.67.

Hirschberg, A. and Schipper, B.A (1984), "Influence of Temperature and Pressure on Asphaltene Flocculation." Soc.Petro. Eng., Vol.24, p.283.

Hodgkinson1, A. and Visser A., “ The role of fillers and cementitious binders when recycling with foamed bitumen or bitumen emulsion.”

Humboldt (2011), “Saybolt Viscometer Bath.”,<<http://www.humboldtmfg.com/c-5-p-348-id-5.html>> (Feb.20, 2011).

Keridis S.A, “Trinidad Lake Asphalt.”, <[http://www.keridis.com/modules/mastop\\_publish/print.php?tac=TRINIDAD\\_LAKE ASPHALT](http://www.keridis.com/modules/mastop_publish/print.php?tac=TRINIDAD_LAKE ASPHALT)>(Nov. 5,2010).

Koenders, B., Brown, C., Larsen, O., Hardy, D. and Wilms, K. (2001), “Innovative process in asphalt production and application to obtain lower operatingtemperatures.”,<[http://vgwww.vegagerdin.is/nvf33.nsf/7c5e95b3edddb9e980256f620045f483/9c79690852096a4700256afd00319a48/\\$FILE/copyWAM%20at%20EE.doc](http://vgwww.vegagerdin.is/nvf33.nsf/7c5e95b3edddb9e980256f620045f483/9c79690852096a4700256afd00319a48/$FILE/copyWAM%20at%20EE.doc)> (Okt.27, 2010).

Linetric Technologies, “Fraass.” (DIN 52012-IP 80), <<http://www.lin-tech.ch/english/fa252000eng.html#top>> (Feb.5, 2011).

Noel, M. and Summit, N.X (1942), “Bitumen of High Softening Point.”, United State Patent Office, patent number. 2305440, p.196.

Petersen, J. (2009), “Chemical Composition of Asphalt as Related to Asphalt Durability.”, Elsevier Science B.V, chapter 14, p.363.

Petrotest, “Breaking-Point - Fraass Method - BPA 5 Set (automatic)”(EN 12593),<[http://www.petrotest.com/petrotest\\_product\\_100460\\_en.pdf](http://www.petrotest.com/petrotest_product_100460_en.pdf)> (Jan.17, 2011).

Ramin Corporation (2010), “Viscometer Tubes”, <<http://ramincorporation.com/viscometer99b5fd90c1>>, USA, (Jan.20, 2011).

Read, J. and Whiteoak, D. (2003), “The Shell Bitumen Handbook”, 5<sup>th</sup> Ed., Shell Bitumen U.K.

Shangyi Instrument a , “Rational Viscometer.”,

<<http://www.shangyi.net/en/Products.asp?classtype=Laboratory%20instrument&smallclass=Rotational%20Viscometer>> (Feb.10,2011).

Shangyi Instrument b , “Water Content Tester.”,<<http://www.shangyi.net/en/Products.asp?classtype=pertroleum%20instrument&smallclass=Water%20Content%20Tester>> (Feb.5, 2011).

Shell Bitumen U.K. (1990) , “The Shell Bitumen Handbook.”, Chapter 5, Surrey.

Thenoux, G., Lees, G. and Bell, C., “Laboratory Investigation of the Fraass Brittle Test.”, Association of Asphalt Paving Technologists.

University of Bolton, “Viscosity and Flow.”

<<http://www.ami.ac.uk/courses/topics/0208vaf/index.html>> (Jan.20, 2011).

University of Washington (2004), “Materials Used in Asphalt Paving.”, <[http://www.ncdot.org/doh/Operations/dp\\_chief\\_eng/constructionunit/paveconst/Asphalt\\_Mgmt/qms\\_manual/2004/sect2.htm](http://www.ncdot.org/doh/Operations/dp_chief_eng/constructionunit/paveconst/Asphalt_Mgmt/qms_manual/2004/sect2.htm)> (Jan.10 ,2011).

University of Washington (2005), “Asphalt.”,<[http://training.ce.washington.edu/pgi/Modules/03\\_materials/03-3\\_body.htm](http://training.ce.washington.edu/pgi/Modules/03_materials/03-3_body.htm)> (Jan.5, 2011).

U.S. Department of the interior (1965), “Effects of Repeated Heatings on Asphalt Cement.”, , Chapter E-49.

Van der Poel C. (1954), “A general system describing the visco-elastic properties of bitumen and its relation to routine test data.” Journal of Applied Chemistry, Vol.4, p.221.

Walker, D. and Davis, J. (2008), “An Overview of Storage and Handling of Asphalt.”, The magazine of the Asphalt Institute.

Γεωργούλα, Σ. και Γουβαλή, Σ. (2008), , “Ασφαλτικά Σκυροδέματα και Σύνθεση αυτών, Ασφαλτικές Αντιολησθηρές Στρώσεις.”, Πτυχιακή Διατριβή, Ανώτατο Τεχνολογικό Ίδρυμα -Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης , Θεσσαλονίκη.

“Δοκιμή Μάλθωσης Ασφαλτικών Υλικών.” (2004). <<http://www.teicrete.gr/chemistry/matlab/ask18.htm>> (Dec.23, 2011).

“Ιστορία της Ασφάλτου.”,  
<[http://eureka.lib.teithe.gr:8080/bitstream/handle/10184/732/pm\\_chapter05.pdf](http://eureka.lib.teithe.gr:8080/bitstream/handle/10184/732/pm_chapter05.pdf)>  
(Dec.6, 2010).

Κάρτα, Π. και Παπαθωμά, Δ. (2007), “Κατασκευή Οδοστρωμάτων.”, Πτυχιακή Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης , Θεσσαλονίκη.

Κορωναίος, Γ. και Πουλάκος, Ι. (2006) , “Τεχνικά Υλικά.”, Τόμος 4, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο., Αθήνα .

Νικολαΐδης, Α.Φ. (2004), “Οδοστρώματα-Υλικά ,Έλεγχος ποιότητας.”, 2<sup>η</sup> έκδοση, Μ. Τριανταφύλλου & Σία, Θεσσαλονίκη.

Νικολαΐδης , Φ., Μάνθος , Ε. και Σαραφείδου, Μ. (2010), “Ιδιότητες ασφάλτου 50/70 και τροποποιημένης ασφάλτου με SBS.”

Οικονομίδης, Ι. (2010), “ Οδοποιία II - Σημειώσεις Μαθήματος.”, Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου (ΤΕΠΑΚ).

“Πίσσα” (2009), <<http://www.bio-architettura.org/el/articoli/145-bitumi.html>> (Okt.25, 2010).

Τμήμα Δημοσίων Έργων (2009), “ Πρότυπες Τεχνικές Προδιαγραφές και Μέθοδος Επιμέτρησης.”, Τόμος Γ, Μέρος 500.