

Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΩΝ  
Σ.Τ.Ε.  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΜΑΚΡΑΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ



ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΤΣΙΟΥΛΟΥ ΟΥΡΑΝΙΑ  
ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΠΑΤΡΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ  
ΥΠΟΔΟΜΗΣ, Α.Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΩΝ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

ΜΠΟΥΣΙΑ ΑΘΗΝΑ  
ΤΣΙΓΚΛΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ - 2009

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο «**ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΜΑΚΡΑΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ**» αφορά τις νέες μεθόδους που ακολουθούνται διεθνώς στον σχεδιασμό και την κατασκευή οδοστρωμάτων. Ανατέθηκε από την Καθηγήτρια του τμήματος Πολιτικών Έργων Υποδομής του ΑΤΕΙ Πατρών, Ουρανίας Τσιούλου στους φοιτητές Μπούσια Π. Αθηνά και Τσίγκλα Β. Νικόλαο το ακαδημαϊκό έτος 2008-2009.

Για την εκπόνηση αυτής της εργασίας θα θέλαμε να εκφράσουμε τις βαθύτατες ευχαριστίες μας σε όλους εκείνους που συντέλεσαν στην ολοκλήρωση της πτυχιακής μας εργασίας. Πρώτα από όλους θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την καθηγήτρια μας Ουρανία Τσιούλου για το ενδιαφέρον της για την εκπόνηση της εργασίας και την υπόδειξη των μεθόδων με τις οποίες εργαστήκαμε.

Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε βαθύτατα τον καθηγητή Ρέζο Σπυρίδων για το αμέριστο ενδιαφέρον του και την βοήθεια που μας προσέφερε η οποία υπήρξε καταλυτική για την ολοκλήρωση της πτυχιακής μας εργασίας.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλους εκείνους που έζησαν από κοντά τις πολλές ώρες γραψίματος, όπως τους γονείς μας και τα αδέρφια μας για την βοήθεια και την συμπαράσταση τους. Θα νιώθουμε πάντα ευγνωμοσύνη προς όλους αυτούς που μας στήριξαν σε όλες τις αποφάσεις μας με κάθε τρόπο.

Πάτρα, Ιούνιος 2009

Μπούσια Π. Αθηνά □ Τσίγκλας Β. Νικόλαος

## Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	ii
Κατάλογος – σχημάτων.....	vi
1. Περίληψη.....	1
2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ .....	3
2.1 Γενικά .....	3
2.1.1 ΟΙ ΔΡΟΜΟΙ ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΑ ΕΛΛΑΔΑ .....	4
2.1.2 ΡΩΜΑΙΚΗ ΕΠΟΧΗ.....	8
2.1.3 18 <sup>ος</sup> ΑΙΩΝΑΣ.....	13
3. ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ.....	19
3.1 Ορισμός οδοστρωμάτων.....	19
3.2 Σκοπός οδοστρωμάτων.....	20
3.3 Είδη οδοστρωμάτων .....	21
3.3.1 Γενικά .....	21
3.3.2 Καθορισμός πάχους στρώσεων .....	22
3.3.3 Εύκαμπτα Οδοστρώματα.....	24
3.3.3.1 Υπόβαση .....	25
3.3.3.2 Βάση .....	28
3.3.3.3 Ασφαλτική βάση (ασφαλτική στρώση βάσης).....	29
3.3.3.4 Συνδετική στρώση (ασφαλτική στρώση κυκλοφορίας) .....	30
3.3.3.5 Τάπητας κυκλοφορίας (αντιολισθηρή στρώση) .....	31
3.3.3.6 Διαστασιολόγηση εύκαμπτων οδοστρωμάτων.....	32
3.3.4 Ημιεύκαμπτα οδοστρώματα .....	34
3.3.5 Δύσκαμπτα οδοστρώματα .....	35
3.3.5.1 Υπέδαφος.....	38
3.3.5.2 Υπόβαση .....	39
3.3.5.3 Πλάκα σκυροδέματος.....	41
3.3.5.4 Κατασκευή δύσκαμπτων οδοστρωμάτων.....	42
3.4 Συγκρίσεις ευκάμπτων – δυσκάμπτων οδοστρωμάτων .....	44
4. ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΜΑΚΡΑΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ.....	45
4.1 Γενικά .....	45
4.2 Μηχανιστικός σχεδιασμός οδοστρωμάτων .....	48
4.3 Σύγχρονα υλικά και μίγματα που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας .....	54
4.3.1 Τροποποιημένη ασφάλτος.....	54
4.3.1.1 Χρήση και ρόλος της τροποποιημένης ασφάλτου.....	55
4.3.1.2 Θερμά ασφαλτομίγματα .....	57
4.3.1.2.1 Χαρακτηριστικοί τύποι θερμών ασφαλτομιγμάτων.....	59
4.3.1.2.2 Ασφαλτικό σκυρόδεμα .....	60
4.3.1.2.3 Ασφαλτομίγματα Macadam (Μακάνταμ) .....	62
4.3.1.2.4 Ασφαλτομίγματα για πορώδεις τάπητες.....	66
4.3.1.2.5. Θερμό Κυλινδρούμενο Ασφαλτόμιγμα (HRA).....	67
4.4 Θεμελίωση οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας.....	72

4.5 Ασφαλτικές στρώσεις .....	78
4.5.1 Ασφαλτική Στρώση Βάσης.....	78
4.5.2 Ενδιάμεση στρώση ( ασφαλτική στρώση κυκλοφορίας) .....	81
4.5.3 Φέρουσα αντιολισθηρή στρώση.....	82
4.6 Κατασκευή οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας .....	86
4.7 Στόχοι απόδοσης.....	87
4.8 Σύγχρονες προσπάθειες εφαρμογής σχεδιασμού οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας – παραδείγματα από χώρες του εξωτερικού .....	90
4.8.1 California .....	90
4.8.2 Illinois .....	93
4.8.3 Michigan .....	95
4.8.4 Wisconsin.....	97
4.8.5 Texas.....	98
4.8.6 Kentucky.....	100
4.8.7 Ohio και Virginia.....	101
4.8.8 Μεγάλη Βρετανία .....	102
4.9 Συγκρίσεις (πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα).....	104
5. ΦΘΟΡΕΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ.....	110
5.1 Γενικά .....	110
5.2 Φθορές σε εύκαμπτα οδοστρώματα μακράς διάρκειας.....	113
5.2.1 Ρηγματώσεις .....	114
5.2.2 Παραμορφώσεις (στρεβλώσεις) της επιφάνειας.....	119
5.2.3 Αποσύνθεση.....	125
5.2.4 Λεία επιφάνεια οδοστρώματος.....	127
5.3 Φθορές δύσκαμπτων οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας.....	129
5.3.1 Ρηγματώσεις - Αρμοί.....	129
5.3.2 Επιφανειακές παραμορφώσεις δύσκαμπτων οδοστρωμάτων ...	132
5.3.3 Αποσύνθεση δύσκαμπτων οδοστρωμάτων.....	133
5.3.4 Ολισθηρότητα επιφανείας .....	136
5.4 Αξιολόγηση οδοστρωμάτων και μέτρηση επιφανειακών χαρακτηριστικών .....	137
5.4.1 Αξιολόγηση οδοστρωμάτων.....	137
5.4.2 Φορητή συσκευή μέτρησης αντίστασης σε ολίσθηση (Βρετανικό εκκρεμές) .....	139
5.5 Αξιολόγηση δομικής κατάστασης οδοστρωμάτων .....	141
5.5.1 Deflectograph.....	142
5.5.2 Falling Weight Deflectometer (FWD).....	143
5.5.3 Ground Radar.....	145
6. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΜΑΚΡΑΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ .....	146
6.1 Γενικά .....	146
6.2 Είδη συντήρησης οδοστρώματος .....	147

6.3 Τρόποι αντιμετώπισης φθορών εύκαμπτων μακράς διάρκειας οδοστρωμάτων.....	150
6.3.1 Ρηγματώσεις .....	150
6.3.2 Παραμορφώσεις (στρεβλώσεις) της επιφάνειας.....	156
6.3.3 Αποσύνθεση.....	158
6.3.4 Λεία επιφάνεια οδοστρώματος.....	159
6.4 Φθορές δυσκάμπτων οδοστρωμάτων .....	167
6.4.1 Ρηγματώσεις – Αρμοί.....	167
6.4.2 Επιφανειακές παραμορφώσεις δυσκάμπτων οδοστρωμάτων ..	170
6.4.3 Αποσύνθεση δυσκάμπτων οδοστρωμάτων.....	171
6.4.4 Ολισθηρότητα επιφανείας .....	175
6.5 Νέες μέθοδοι για τη συντήρηση ή αποκατάσταση ρηγματωμένων επιφανειών .....	176
6.5.1 Χρήση ασφαλτοϋφασμάτων.....	176
6.5.2 Μεμβράνη ή μίγμα απορρόφησης.....	177
6.5.3 Μεμβράνη οπλισμένη με ίνες.....	178
6.6 Ασφαλτικές επαλείψεις.....	179
6.6.1 Τύποι ασφαλτικών επαλείψεων.....	180
6.6.2 Σχεδιασμός ασφαλτικών επαλείψεων.....	182
6.7 Ενίσχυση οδοστρωμάτων .....	186
<b>7. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΧΟΥΣ ΣΤΡΩΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΜΑΚΡΑΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ .....</b>	<b>188</b>
7.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	188
7.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΠΑΧΟΥΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΣΤΡΩΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ.....	188
7.3 ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ.....	192
8. Επίλογος.....	194

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ – ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Σύστημα αμαξήλατης επικοινωνίας στην Αρχαία Ελλάδα .....	6
Σχήμα 2. Αρματροχιά σε βραχώδες μέρος της αρχαίας Ελλάδας .....	7
Σχήμα 3. Η Via Egnatia στην περιοχή των Φιλίππων, βόρεια της Καβάλας .....	9
Σχήμα 4. Ρωμαϊκό υδραγωγείο.....	12
Σχήμα 5. Χαρακτηριστική διατομή εύκαμπτου οδοστρώματος.....	25
Σχήμα 6. Αναλυτική δομή διατομής ευκάμπτου οδοστρώματος.....	27
Σχήμα 7. Χαρακτηριστική διατομή ημι-ευκάμπτου οδοστρώματος.....	34
Σχήμα 8. Χαρακτηριστική διατομή δύσκαμπτου οδοστρώματος.....	35
Σχήμα 9. Χαρακτηριστικοί τύποι δύσκαμπτων οδοστρωμάτων.....	36
Σχήμα 10. Σύγκριση της ορατότητας τη νύχτα μεταξύ εύκαμπτου και δύσκαμπτου οδοστρώματος.....	45
Σχήμα 11. Μεθοδολογία μηχανιστικού σχεδιασμού.....	51
Σχήμα 12. Προδιαγραφές μηχανιστικού σχεδιασμού.....	53
Σχήμα 13. Απαιτούμενη αντοχή των εδαφών για την στήριξη των εδαφών.....	74
Σχήμα14. Απαιτούμενο πάχος για θεμελίωση οδοστρώματος.....	75
Σχήμα15.Επιρροή ποσοστού ασφάλτου στην διάρκεια ζωής του οδοστρώματος.....	79
Σχήμα 16. Επίδραση πάχους ασφαλικής στρώσης στην ζωή κόπωσης... ..	79
Σχήμα 17. Τυπική διατομή οδοστρώματος μακράς διάρκειας και συμβολισμός των τάσεων.....	81
Σχήμα 18. Επιφανειακές ρηγματώσεις από το φορτίο του τροχού.....	83
Σχήμα 19. Τομή οδοστρώματος – παραμορφώσεις.....	83

Σχήμα 20. Σχέση βαθμού παραμορφώσεων με πάχος ασφαλικής στρώσης.....	85
Σχήμα 21. Δείγματα από ρηγματωμένο οδόστρωμα. Φαίνεται καθαρά ότι οι φθορές έχουν σταματήσει σε βάθος 50 χιλιοστών από την επιφάνεια.....	85
Σχήμα 22. Χάρτης στο οποίο εικονίζεται ο αυτοκινητόδρομος I-710.....	90
Σχήμα 23. Τελικές διατομές μετά από την συντήρηση.....	.92
Σχήμα 24. Καμπύλη σχεδιασμού οδοστρωμάτων του TRRL.....	102
Σχήμα 25. Πυρήνας από αυτοκινητόδρομο της Μεγάλης Βρετανίας. Διακρίνεται καθαρά ότι οι ρωγμές σταματούν σε μικρό σχετικά πάχος απο την επιφανειακή στρώση.....	104
Σχήμα 26. Σχηματική απεικόνιση αποκατάστασης επιφανειακής στρώσης οδοστρώματος μακράς διάρκειας.....	107
Σχήμα 27. Επίδραση ποιότητας κατασκευής ή υλικών στην διάρκεια ζωής οδοστρώματος .....	112
Σχήμα 28. Επίδραση κυκλοφοριακού φόρτου στην διάρκεια ζωής οδοστρώματος.....	112
Σχήμα 29. Επίδραση της διαστασιολόγησης στην διάρκεια ζωής οδοστρώματος.....	113
Σχήμα 30. Ρωγμές αλιγάτορα.....	114
Σχήμα 31. Ρωγμές από ανάκλαση .....	117
Σχήμα 32. Ρωγμές από ολίσθηση ταπήτων .....	118
Σχήμα 33. Αυλακώσεις στις τροχιές των τροχών.....	121
Σχήμα 34. Επιφανειακές παραμορφώσεις.....	122
Σχήμα 35. Κυματώσεις.....	123
Σχήμα 36. Τοπικές καθιζήσεις.....	124

Σχήμα 37. Αποκόλληση αδρανών.....	126
Σχήμα 38. Ανάδυση ασφάλτου.....	128
Σχήμα 39. Διαμήκεις ρωγμές.....	131
Σχήμα 40. Εγκάρσιες ρωγμές.....	132
Σχήμα 41. Ολισθηρότητα επιφάνειας.....	137
Σχήμα 42. Βρετανικό εκκρεμές .....	140
Σχήμα 43. Falling Weight Deflectometer (FWD).....	144
Σχήμα 44. Ground Radar.....	145
Σχήμα 45. Σφράγιση-πλήρωση ρωγμών.....	150
Σχήμα 46. Τάπητας slurry seal .....	163
Σχήμα 47. Τυπική διατομή οδοστρώματος μακράς διάρκειας.....	188
Σχήμα 48. Επιρροή του πάχους της ενδιάμεσης στρώσης ( $H_2$ ) και του πάχους της βάσης ( $H_3$ ), στην αντοχή του οδοστρώματος .....	189
Σχήμα 49. Επιρροή του μέτρου ελαστικότητας της ενδιάμεσης στρώσης ( $E_2$ ) και του πάχους της βάσης ( $E_3$ ), στην αντοχή του οδοστρώματος.....	190
Σχήμα 50. Σχέση ολικού πάχους $H_{ac}$ ασφαλτικού οδοστρώματος και εφελκυστικής παραμόρφωσης $\epsilon_t$ .....	191
Σχήμα 51. Σχέση ολικού πάχους $H_{ac}$ ασφαλτικού οδοστρώματος και θλιπτικής παραμόρφωσης $\epsilon_c$ .....	192
Σχήμα 52. Επιρροή του πάχους ( $H_2$ ) της ενδιάμεσης στρώσης στην εφελκυστική παραμόρφωση ( $\epsilon_t$ ).....	193
Σχήμα 53. Επιρροή του μέτρου ελαστικότητας ( $E_2$ ) της ενδιάμεσης στρώσης στην εφελκυστική παραμόρφωση ( $\epsilon_t$ ).....	194



## **Κατάλογος Πινάκων**

**σελ.**

Πίνακας 1. Κατάλογος σχεδιασμού για οδοστρώματα μακράς διάρκειας στο Michigan.....	96
Πίνακας 2. Αποτελέσματα δοκιμών σε οδοστρώματα μακράς διάρκειας στο Wisconsin.....	98
Πίνακας 3. Σύγκριση χρόνου συντήρησης για δίκτυο με κανονικά οδοστρώματα και για δίκτυο με οδοστρώματα μακράς διάρκειας.....	109

## 1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια στους Ελληνικούς δρόμους παρατηρείται μια αλματώδης αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου και των αξονικών φορτίων η οποία οδήγησε στο φαινόμενο εμφάνισης πρόωρων αστοχιών και φθορών των οδοστρωμάτων. Παράλληλα η απαίτηση για υψηλό επίπεδο εξυπηρέτησης και καλύτερη αξιοποίηση του επενδεδυμένου κεφαλαίου επιτάσσουν την καλύτερη ποιότητα κατασκευής. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσα από μια ολοκληρωμένη μελέτη με ταυτόχρονη χρήση και εφαρμογή νέων βελτιωμένων υλικών και σύγχρονων τεχνολογιών, όπως η ανάπτυξη των οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας.

Σαν οδοστρώματα μακράς διάρκειας ορίζονται τα ασφαλικά οδοστρώματα που είναι σχεδιασμένα και κατασκευασμένα με διάρκεια ζωής μεγαλύτερη από 50 χρόνια χωρίς να απαιτείται σημαντική συντήρηση ή ανακατασκευή, και οι μόνες επεμβάσεις που κρίνονται απαραίτητες είναι μια περιοδική αντικατάσταση – ανανέωση της επιφάνειας τους με σκοπό την αντιμετώπιση των φθορών, που περιορίζονται στα ανώτερα στρώματα. Η καινοτομία που παρουσιάζεται στον σχεδιασμό οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας σε σχέση με τα συμβατικά οδοστρώματα είναι ότι έχουν μεγαλύτερα πάχη ασφαλικών στρώσεων και κατασκευάζονται με σύγχρονα ασφαλτομίγματα που τους προσδίδουν τις απαιτούμενες αντοχές και κατά συνέπεια την αύξηση της χρήσιμης διάρκειας ζωής. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη των τρόπων σχεδιασμού, κατασκευής και συντήρησης των οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας.

Στο κεφάλαιο 3 αναφέρονται οι βασικές κατηγορίες και είδη των οδοστρωμάτων που κατασκευάζονται μέχρι τώρα στο Ελλαδικό χώρο, καθώς και συγκρίσεις μεταξύ αυτών.

Στο κεφάλαιο 4 περιγράφονται λεπτομερώς οι αρχές και η φιλοσοφία σχεδιασμού οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας, τα σύγχρονα υλικά που

χρησιμοποιούνται και οι τεχνικές κατασκευής τους καθώς και οι απαιτήσεις που πρέπει να πληρεί η κάθε στρώση. Επιπλέον παρουσιάζονται παραδείγματα μεθόδων σχεδιασμού και κατασκευής οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας από χώρες του εξωτερικού (κυρίως Αμερική και Μεγάλη Βρετανία) που έχουν παρουσιάσει σημαντική εξέλιξη στον τομέα αυτόν.

Στο κεφάλαιο 5 γίνεται μια αναφορά στις κυριότερες φθορές που μπορεί να εμφανιστούν σε οδοστρώματα μακράς διάρκειας εστιάζοντας στις αιτίες που κυρίως αυτές προκαλούνται. Τέλος, στο δεύτερο μέρος του κεφαλαίου αυτού παρουσιάζονται συνοπτικά οι τρόποι αξιολόγησης οδοστρωμάτων και μέτρησης των επιφανειακών τους χαρακτηριστικών.

Στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται οι σύγχρονες τεχνικές συντήρησης και αποκατάστασης των φθορών των οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας.

Τα οδοστρώματα μακράς διάρκειας έχουν αποκτήσει κύρος και κερδίζουν την διεθνή εκτίμηση και αναγνώριση και αυτό γιατί έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής σε σχέση με τα κοινά οδοστρώματα, παρέχουν ικανοποιητική ποιότητα οδήγησης και ασφάλεια στις μετακινήσεις, δεν χρειάζονται ριζικές επεμβάσεις συντήρησης πάρα μια απλή ανανέωση της επιφανειακής στρώσης τους και τέλος είναι φιλικά προς το περιβάλλον και οικονομικά σαν επένδυση κατασκευής.

## 2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

### 2.1 Γενικά

Οι οδοί δημιουργήθηκαν από την ανάγκη για επικοινωνία και συναλλαγή μεταξύ των ανθρώπων. Αρχικά ήταν απλά φυσικά περάσματα από ένα σημείο στο άλλο. Αργότερα, με την ανάπτυξη του πολιτισμού, άρχισε να προοδεύει και η τεχνική για την κατασκευή των οδών. Η εξέλιξη της οδοποιίας είναι στενά συνδεδεμένη με την ιστορική εξέλιξη της ανθρωπότητας. Τη σημερινή της μορφή (διάσταση) άρχισε να την παίρνει, όταν για το σχεδιασμό και την κατασκευή των οδικών υποδομών έγινε αναγκαία η ανθρώπινη σκέψη και η ανθρώπινη εργασία. Μέχρι τότε οι άνθρωποι στις μετακινήσεις τους ακολουθούσαν το ρου των ποταμών ή άλλων φυσικών διαβάσεων.

Οι πρώτες ενδείξεις σχεδιασμού και κατασκευής τέτοιων έργων, δηλαδή οδικών έργων, των οποίων ο σχεδιασμός και η κατασκευή απαιτούσε ανθρώπινη σκέψη και ανθρώπινη εργασία, είναι οι λιθόστρωτοι δρόμοι που κατασκευάστηκαν στη Μεσοποταμία – όπου ανακαλύφθηκε και ο τροχός □ περί το 4000 π.Χ Ακολουθούν οι πλινθόστρωτοι δρόμοι στην Ινδία περί το 3000 π.Χ και οι λιθόστρωτοι δρόμοι της Μινωικής Εποχής στην Κρήτη. Ο Ηρόδοτος φαίνεται να αναφέρει πρώτος για μία λιθόστρωτη οδό που κατασκευάστηκε από τους Αιγύπτιους το 3000 π.Χ για να μεταφέρονται τα υλικά για την κατασκευή της περίφημης πυραμίδας του Χέοπα. Αξιόλογα οδικά έργα έχουν επίσης να επιδείξουν η Αρχαία Αίγυπτος, η Περσία, η Βαβυλώνα, οι Σουμέριοι κλπ. Η πρώτη μεγάλη υπεραστική οδός, είναι αυτή που ένωνε την πρωτεύουσα των Ασσυρίων Σούζα με τις Σάρδεις δια μέσου της πόλης Νινίβε και η οποία είχε μήκος 2500km. Η αρχαιότερη οδός που σώζεται μέχρι σήμερα, κατασκευάστηκε στην Κρήτη περί το 1700 π. Χ , είχε μήκος περί τα 50km και ένωνε την Κνωσό με την πόλη Γόρτυνα και τις νότιες ακτές της Νήσου.

### **2.1.1 Οι δρόμοι στην αρχαία Ελλάδα**

Οι Αρχαίοι Έλληνες, γνωστοί ήδη από τα επιτεύγματα τους στο χώρο της τεχνολογίας, δε θα μπορούσαν να υστερούν στον τομέα της χερσαίας επικοινωνίας και των μεταφορών. Αν και ναυτικός λαός περισσότερο ασχολήθηκαν με την μελέτη και την κατασκευή των οδών. Οι πρόσφατες συναφείς έρευνες αποδεικνύουν την πρόοδό τους στην οδοποιία και αναδεικνύουν τα άξια θαυμασμού έργα τους. Ανέπτυξαν και δημιούργησαν πυκνότατο οδικό δίκτυο, τελείως ιδιότυπο και ρηξικέλευθο, εξασφαλίζοντας έτσι την απρόσκοπτη αμαξήλατη επικοινωνία σε όλο σχεδόν τον ελλαδικό χώρο.

Οι δρόμοι, που διέσχιζαν την ελληνική ύπαιθρο- αλλά και αυτήν των αποικιών- ήταν δύο ειδών: αυτός που προοριζόταν μόνο για πεζοπόρους και υποζύγια, ένα δηλαδή στενό πολυπατημένο μονοπάτι, και αυτός που είχε κατασκευασθεί για άμαξες.

Η πρώτη κατηγορία έχει μια διαχρονική συνεχή παρουσία και επομένως υπάρχει αδυναμία ακριβούς χρονολογήσεως, το μονοπάτι δηλαδή είναι η ίδια κατασκευή σε όλες τις εποχές, ενώ η δεύτερη δηλαδή οι αμαξήλατες ή αμαξιτές οδοί, μπορούν να χρονολογηθούν με ασφάλεια.

Οι Αρχαίοι Έλληνες, λοιπόν, είχαν δημιουργήσει ένα εντελώς δικό τους σύστημα αμαξήλατης επικοινωνίας (σχ.1) . Χάραζαν στα βραχώδη μέρη αυλάκια παντού και πάντοτε με σταθερό μετατρόχιο 1.40μ., μέσα στα οποία κινιόταν η δίτροχη ή τετράτροχη άμαξα. Οι αρχαίοι ονόμαζαν αυτά τα αυλάκια αρματροχιές ή αμαξοτροχιές. Η άμαξα είχε προκαθορισμένη διαδρομή και κινιόταν με τους τροχούς μέσα στις αρματροχιές, χωρίς να μπορεί να λοξοδρομήσει. Αυτό ήταν και το μείζον επίτευγμα των Ελλήνων οδοποιών.



### **Σχήμα 1. Σύστημα αμαξήλατης επικοινωνίας στην Αρχαία Ελλάδα**

Στην πραγματικότητα, παραλληλίζοντας το σύστημα τους με τα σημερινά δεδομένα, θα λέγαμε ότι επρόκειτο για ένα είδος σιδηροδρόμου, όπως ο σιδηρόδρομος έχει τους τροχούς επάνω στις ράγες, αντιστοίχως οι αρχαίοι Έλληνες είχαν την άμαξα να κινείται σταθερά μέσα στις αρματοροχίες. Προφανώς η δυνατότητα να διασταυρωθούν δύο άμαξες σε τόπο δύσκολο ήταν αδύνατη και γινόταν μόνο σε επιλεγμένα σημεία. Αν θυμηθούμε μάλιστα την γνωστή ιστορία της οδικής διαμάχης Οιδίποδος και Λαΐου, γίνεται κατανοητό ότι εφάμιλλες με τις σημερινές θα ήταν οι διαμάχες των αμαξηλατών, όταν ξαφνικά ευρίσκονταν αντιμέτωποι. Οι διακλαδώσεις, εκτροπές κατά τους αρχαίους, μάλιστα είναι ίδιες με τα ψαλίδια του σιδηροδρόμου, ώστε να καθίσταται εφικτή η αλλαγή πορείας της άμαξας.

Οι αρματοροχίες σώζονται μόνο στα βραχώδη μέρη (σχ.2) , αφού προφανώς στα πεδινά εδάφη δεν ήταν εφικτή η διατήρησή τους, προφανώς όμως έχουν βρεθεί και αρματοροχίες σε χώμα, κατά την ανασκαφή οδών. Σήμερα, αναζητώντας σε κάθε τόπο τις αρματοροχίες, μπορούμε να σχεδιάσουμε στο χάρτη επακριβώς τη διαδρομή μιας αρχαίας οδού.

Οι αρχαίοι Έλληνες, για λόγους οικονομίας κατασκεύαζαν μόνον τα απολύτως απαραίτητα τεχνικά έργα. Έτσι είναι λίγες, για παράδειγμα, οι σωζόμενες λίθινες γέφυρες, ενώ περισσότερες θα ήταν οι ξύλινες.



### **Σχήμα 2. Αρματροχιά σε βραχώδες μέρος της αρχαίας Ελλάδας**

Οι αστικοί δρόμοι είχαν συνήθως για οδόστρωμα πατημένο χώμα μαζί με χαλίκι ή σπασμένα κεραμίδια. Τα λιθόστρωτα σπάνιζαν και καθιερώθηκαν μόνο κατά τα ρωμαϊκά χρόνια. Οι δρόμοι ήταν κατά κανόνα στενοί, εάν εξαιρέσουμε τις κεντρικές αρτηρίες, με πλάτος που κυμαινόταν από τα 2 έως τα 5 μέτρα.

Το οδικό σύστημα των αρχαίων Ελλήνων χρονολογείται τουλάχιστον από τον 7<sup>ο</sup> και 6<sup>ο</sup> αιώνα π. Χ. Το πιο πυκνό δίκτυο βρίσκεται στην Πελοπόννησο Λακωνία, Αρκαδία, Αργολιδοκορινθία και είναι έργο της Σπάρτης.

Υπάρχουν ενδείξεις ότι και στα προϊστορικά χρόνια, τουλάχιστον οι Μυκηναίοι, διέθεταν ένα παρόμοιο αμαξήλατο δίκτυο, από το οποίο πιθανόν να κληρονόμησαν τεχνογνωσία οι επερχόμενοι. Το δίκτυο εγκαταλείπεται στο μεταίχμιο 4<sup>ο</sup> και 5<sup>ο</sup> μ. χ αιώνα. Κατά τα μεσαιωνικά χρόνια και την τουρκοκρατία οι μεταφορές γίνονταν με υποζύγια, σχηματίζοντας πολυπληθή караβάνια, από τα γνωστά καλντερίμια.

Επειδή η έρευνα για τους αρχαίους ελληνικούς δρόμους διεξάγεται συστηματικά μόλις την τελευταία δεκαπενταετία, η διεθνής βιβλιογραφία αγνοεί τα εδώ πεπραγμένα και συνεχίζει να θεωρεί τους Ρωμαίους πρώτους και άριστους οδοποιούς. Χωρίς να υποβαθμίζουμε την προσφορά της Ρώμης στην εξέλιξη –όχι όμως και στη δημιουργία- της οδοποιίας, θα πρέπει να

αναθεωρήσουμε τάχιστα τις υπάρχουσες απόψεις για το ποιος έθεσε τις βάσεις της. Η Ελλάδα είχε να επιδείξει πλήρες οδικό δίκτυο μερικούς αιώνες πριν από τη Ρώμη. Καταλήγουμε λοιπόν ότι πιθανότατα η ρωμαϊκή οδοποιία οφείλει περισσότερα από ότι φανταζόμαστε στους Έλληνες .Δανείστηκε τεχνολογία την οποία προήγαγε και παγίωσε.

Στην εποχή λοιπόν της Αρχαίας Ελλάδας τέθηκαν οι βάσεις ενός πραγματικού οδικού σχεδιασμού. Έτσι από την περίοδο αυτή, η αστική οδός δεν είναι πλέον μια τυχαία χάραξη, δηλαδή ένα τυχαίο μονοπάτι που ακολουθεί το έδαφος, αλλά αρχίζει να αποτελεί ένα έργο γεωμετρικά σχεδιασμένο και προσαρμοσμένο στις απαιτήσεις της πόλης (οικισμού), στα πλαίσια ενός οργανωμένου οδικού δικτύου. Ο διαχωρισμός της πόλης σε τετράγωνα, εφοδιασμένα με τους απαιτούμενους δημόσιους χώρους και τις ανάλογες οδικές υποδομές είναι δημιούργημα αυτής της εποχής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η πόλη της Μιλήτου. Έτσι λοιπόν, στα πλαίσια αυτής της εξέλιξης, η οδός δεν ακολουθεί πλέον το έδαφος , όπως γινόταν μέχρι τότε, αλλά σχεδιάζεται και υλοποιείται με βάση τον πολεοδομικό σχεδιασμό, επιτακτική αρχή και της σημερινής αστικής οδοποιίας. Κυρίαρχο όχημα την περίοδο αυτή ήταν, όπως γνωρίζουμε, οι δίτροχες ιπήλατες άμαξες.

Ιδιαίτερη επίσης στην οδοποιία της Αρχαίας Ελλάδας ήταν και η συμβολή του Μ. Αλεξάνδρου, ο οποίος, πέραν των άλλων, παρέλαβε και το οδικό δίκτυο των Περσών και των υπολοίπων λαών που κατέκτησε και απάρτισαν τη μεγάλη αυτοκρατορία του. Το οδικό αυτό δίκτυο, όχι μόνο το συντήρησε, αλλά το βελτίωσε και το επέκτεινε με τους Θρακιώτες τεχνίτες του. Τα έργα αυτά δεν είχαν μόνο στρατιωτική σημασία, αλλά συνέβαλαν σημαντικά και στην ανάπτυξη του εμπορίου. Οι οδοί του μεταξιού που ένωναν τη Μεσόγειο με την Κίνα είχαν ως βάση τα έργα αυτά.

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω βλέπουμε, ότι η τεχνική που εφαρμόστηκε στην αρχική αυτή φάση της οδοποιίας και η οποία έθεσε τις βάσεις για την περαιτέρω εξέλιξη της είναι άξια θαυμασμού. Κύριο γνώρισμα της τεχνικής



αυτής, η οποία αποτελεί και τον πυρήνα κατασκευής των σημερινών (συγχρόνων) οδικών έργων, είναι, ότι οι οδικές κατασκευές αποτελούνται από περισσότερες στρώσεις. Η κατασκευή αυτή αποδείχθηκε αναγκαία για την ανθεκτικότητα των οδών, τόσο στις αρνητικές επιδράσεις των καιρικών φαινομένων (βροχοπτώσεις, παγετός, κλπ. ), όσο και των αξονικών φορτίων, τα οποία βέβαια όσο και μικρά και εάν ήταν -σε σχέση με τα σημερινά-, δημιουργούσαν προβλήματα σε μια οδό με μειωμένη ικανότητα έδρασης, λόγω της κακής αποστράγγισης.

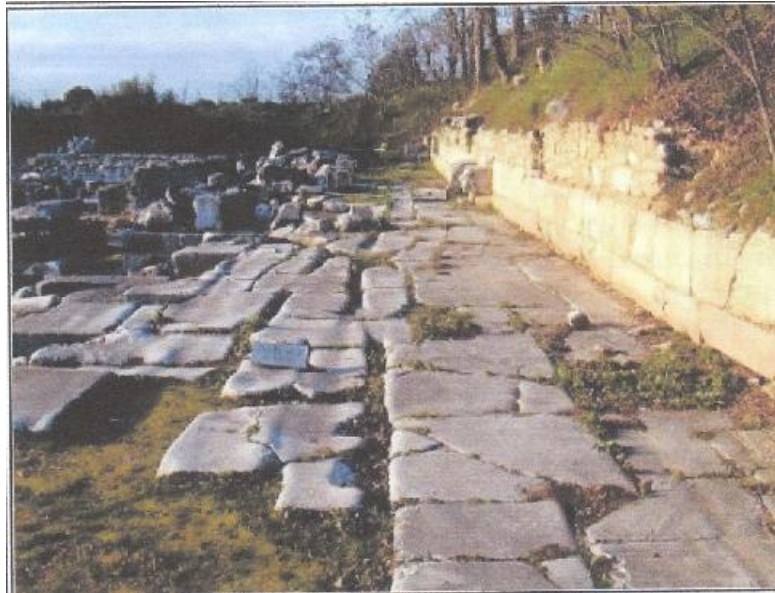
Άξιο επίσης θαυμασμού της εποχής αυτής αποτελεί και η αναγνώριση των πλεονεκτημάτων που προσφέρουν οι τροχιές στις μεταφορές και η τοποθέτηση (σκάλισή) τους στο οδόστρωμα, όπου κινούνταν οι τροχοί των ιπήλατων και λοιπών ζωήλατων οχημάτων. Η τεχνική αυτή, δηλαδή ο τρόπος αυτός μεταφοράς, εφαρμόζονταν, όπως είναι σε όλους μας γνωστό, ιδιαίτερα στην αστική οδοποιία, μέχρι τα τέλη περίπου του 19<sup>ου</sup> αιώνα, όπου αντικαταστάθηκε από το σιδηρόδρομο και το αυτοκίνητο. Ευρήματα τέτοιων αρχαίων οδικών έργων υπάρχουν τόσο στη Μάλτα (2000 π.Χ ) όσο και στη χώρα μας (Αρχαία Ελλάδα) λίγο αργότερα.

Βλέπουμε λοιπόν, ότι το κύριο πρόβλημα της οδοποιίας, το οποίο ζητούσε άμεση επίλυση, ήταν η ανθεκτικότητάς της, ενώ η γεωμετρία, λόγω των μικρών ταχυτήτων και διαστάσεων των ιπήλατων και λοιπών ζωήλατων οχημάτων δεν δημιουργούσε ιδιαίτερες δυσκολίες. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί, ότι τα οδικά έργα που κατασκευάστηκαν αυτή την περίοδο βοήθησαν σημαντικά και στην κατασκευή των άλλων μεγάλων τεχνικών έργων, όπως οι Πυραμίδες κλπ.

### **2.1.2 Ρωμαϊκή εποχή**

Σημείο κορυφής στην εξέλιξη της οδοποιίας αποτέλεσε και η ρωμαϊκή εποχή (σχ.3) . Καθοριστικό κίνητρο ήταν εδώ η ανάγκη ελέγχου της αχανούς αυτοκρατορίας. Το οδικό δίκτυο των Ρωμαίων εκτεινόταν από τη Βόρεια Θάλασσα μέχρι τη Σαχάρα και από τον Ατλαντικό μέχρι τη Μεσοποταμία.

Λόγω της άρτιας κατασκευής του, το δίκτυο αυτό παρέμεινε σε λειτουργία για πολλούς αιώνες και μετά την κατάρρευση της ρωμαϊκής αυτοκρατορίας. Κέντρο αναφοράς αυτού του οδικού δικτύου ήταν βέβαια η Ρώμη.



**Σχήμα 3. Η Via Egnatia στην περιοχή των Φιλιππων, βόρεια της Καβάλας**

Οι βασικές γνώσεις των Ρωμαίων για την κατασκευή των οδοστρωμάτων προέρχονταν από τους Ετρούσκους και τους Καρχηδόνιους, τις οποίες φυσικά προσαρμοσαν στις νέες ανάγκες. Περί το 100 μ. Χ διέθετε η αυτοκρατορία ένα οδικό δίκτυο, δηλαδή ένα αριθμό δρόμων που είχαν κατασκευαστεί συστηματικά και οδηγούσαν στη Ρώμη, συνολικού μήκους περί τις 80.000 χιλιόμετρα.

Το παραπάνω οδικό δίκτυο ήταν ιεραρχημένο και η ποιότητα κατασκευής των επιμέρους τμημάτων του είχε άμεση σχέση με αυτή την ιεράρχηση. Αποτελούνταν από το πρωτεύον λιθόστρωτο τμήμα, από το δευτερεύον χαλικόστρωτο τμήμα και από ξυλόστρωτα (σανιδόστρωτα) τμήματα. Το πρωτεύον δίκτυο ανέρχονταν σε 90.000 km και το δευτερεύον σε 300.000 km.

Οι Ρωμαϊκοί δρόμοι ήταν κατηγοριοποιημένοι, ανάλογα με τη σημασία τους, από μονοπάτια μέχρι οδοί με πλάτος από 30 εκατοστά μέχρι 6 μέτρα. Για την κατασκευή τους χρησιμοποιούνταν υλικά της εκάστοτε περιοχής, πράγμα που

επηρέαζε την ποιότητα του οδοστρώματος. Για τις μεγάλες οδούς υπήρχαν κατασκευαστικές προδιαγραφές ανεξάρτητα από τα υλικά. Για παράδειγμα, η επιφάνεια ήταν κυρτή και σε υψηλότερο επίπεδο από τον περίγυρο. Στην μία πλευρά του δρόμου υπήρχε χαντάκι για την αποχέτευση των οβριών υδάτων. Η αποστράγγιση της οδού γινόταν με τη βοήθεια της εγκάρσιας κλίσης (επίκλισης), η οποία ήταν αμφικλινής και ανέρχονταν στο 6%, τιμή που ισχύει και σήμερα για μη ασφαλοστρωμένα οδοστρώματα, και των πλευρικών τάφρων. Το συνολικό οδόστρωμα αποτελείτο από επάλληλα στρώματα, αρχικά χαλίκι ενσωματωμένο σε ένα είδος μπετόν (σκυρόδεμα), μετά ένα στρώμα άμμος, μετά πάλι σκυρόδεμα και από πάνω σκληρές πλάκες. Σε δύσκολα τμήματα οι στρώσεις του οδοστρώματος έφταναν και τις έξι. Το συνολικό πάχος του οδοστρώματος κυμαινόταν μεταξύ 60 και 250 cm. Αποτέλεσμα ήταν να κατασκευαστούν δρόμοι, οι οποίοι είχαν τεράστια ανθεκτικότητα και μερικοί διατηρούνται μέχρι τις ημέρες μας. Η τεχνική αυτή, η οποία, ήταν γνωστή και στην Αρχαία Ελλάδα, αποτελεί τη βάση και της σημερινής οδοποιίας.

Το παραπάνω οδικό δίκτυο, το οποίο ήταν και το πρώτο υπεραστικό οργανωμένο οδικό δίκτυο είχε την ανάλογη πληροφοριακή σήμανση και ήταν χιλιομετρημένο. Κατά μήκος αυτών των δρόμων ήταν τοποθετημένο «ανά χίλια βήματα» ένα ορόσημο που έδειχνε αποστάσεις από συγκεκριμένους στόχους. Το οδικό αυτό δίκτυο συντηρούνταν συστηματικά και είχε τις απαιτούμενες υποδομές ξεκούρασης και διανυκτέρευσης. Κάθε 15 km υπήρχαν σταθμοί για αλλαγή των αλόγων (mutations) και κάθε 30 km χάνια διανυκτέρευσης (stationes).

Κύριο γνώρισμά του, όσον αφορά το γεωμετρικό σχεδιασμό, ήταν οι μεγάλες ευθυγραμμίες, οι οποίες καθιερώθηκαν στην ορολογία της οδοποιίας ως «Ρωμαϊκές Ευθυγραμμίες». Οι Ρωμαίοι προτιμούσαν τα μεγάλα ευθύγραμμα τμήματα τόσο για λόγους ασφάλειας όσο και για να μειώσουν τις αποστάσεις. Οι αλλαγές κατεύθυνσης (πορείας) είχαν ως κύρια επιδίωξη την καλύτερη προσαρμογή του οδικού έργου στο έδαφος. Οι μέγιστες κατά μήκος κλίσεις

ανέρχονταν στο 10%, και οι οποίες ήταν συχνό φαινόμενο. Οι τιμές αυτές της κατά μήκους κλίσης ισχύουν και σήμερα, όπως γνωρίζουμε, για ταχύτητα μελέτης μικρότερη ή ίση των 60 χιλιομέτρων ανά ώρα.

Οι αγγελιοφόροι στους ναπολεόντειους πολέμους, στις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα κινούνταν με την ίδια ταχύτητα που είχαν 1800 χρόνια πριν οι Ρωμαίοι συνάδελφοί τους. Μέχρι τα μέσα περίπου του 19<sup>ου</sup> αιώνα οι άμαξες της εποχής χρησιμοποιούσαν ακόμα τις ρωμαϊκές οδούς, στις οποίες φυσικά είχαν γίνει κατά καιρούς εργασίες συντήρησης και βελτίωσης. Με την έναρξη κυκλοφορίας των αυτοκίνητων οχημάτων, δεν επαρκούσαν βέβαια πλέον οι ρωμαϊκοί δρόμοι και έπρεπε να κατασκευαστούν νέοι, ανθεκτικότεροι.

Το λεγόμενο ρωμαϊκό μπετόν ήταν ένα μίγμα ηφαιστειακού χώματος, αρχικά από την πόλη Puteoli της Καμπανίας, το οποίο ανακατεύονταν με ασβέστη και χαλίκι και χυνόταν σε ξύλινα καλούπια, όπως το σημερινό σκυρόδεμα. Αυτό το ανθεκτικό οικοδομικό υλικό έδωσε δυνατότητα για κατασκευή σημαντικών έργων κτιριακών και υποδομής στην αυτοκρατορία.

Οι μεγάλοι ρωμαϊκοί δρόμοι περνούσαν συχνά πάνω από ποτάμια και έλη, οπότε ήταν απαραίτητη η κατασκευή γεφυρών. Πολλές γέφυρες κατασκευάζονταν από ξύλο που ήταν φτηνό υλικό και διαθέσιμο σε κάθε περιοχή. Σημαντικό ήταν επίσης ότι οι ξύλινες γέφυρες κατασκευάζονταν σχετικά γρήγορα. Ο Ιούλιος Καίσαρ γράφει σε ένα σημείο του ιστορικού έργου του, ότι η κατασκευή μιας γέφυρας πάνω από τον ποταμό Ρήνο διήρκεσε 10 ημέρες. Οι γέφυρες κοντά στη Ρώμη ήταν όμως κυρίως από πέτρες ή τούβλα (σχ.4) . Οι βάσεις αυτών των γεφυρών ήταν ενισχυμένες με το ρωμαϊκό μπετόν. Από τις περίπου 300 πέτρινες γέφυρες που κατασκεύασαν οι Ρωμαίοι, βρισκόταν περίπου το 60% στην Ιταλία και ένα 25% στη Γαλλία, Ισπανία και βόρεια Αφρική.



**Σχήμα 4. Ρωμαϊκό υδραγωγείο**

Άξια επίσης θαυμασμού είναι και η οδοποιία των Ίνκας, αν και ο τροχός τους ήταν άγνωστος. Το δίκτυό τους ανέρχονταν κατά τον 15<sup>ο</sup> αιώνα σε 23.000 km. Οι Ίνκας χρησιμοποιούσαν αποκλειστικά τις ευθείες (ευθυγραμμία), ενώ τις υψομετρικές διαφορές τις κάλυπταν με σκάλες. Δύο σπουδαία οδικά τους έργα είναι η ορεινή βασιλική οδός και η βασιλική οδός κατά μήκος της ακτής, οι οποίες ενώνονταν μεταξύ τους με κάθετους άξονες.

Η πτώση της Ρωμαϊκής αυτοκρατορίας παρέσυρε μαζί της και την εξέλιξη της οδοποιίας. Το αξιοθαύμαστο οδικό δίκτυο που είχαν κατασκευάσει άρχισε να καταρρέει. Τα κρατίδια που τη διαδέχτηκαν δεν ήταν σε θέση να το συντηρήσουν και εκτός αυτού δεν τους ήταν απαραίτητο, διότι οι δραστηριότητές τους είχαν περιοριστεί κυρίως εντός των συνόρων τους. Σε ανεκτό επίπεδο διατηρήθηκαν μόνο κάποια τμήματα που είχαν εμπορική σημασία.

Στη Γαλλία και Αγγλία αρμόδιος φορέας κατασκευής και συντήρησης δρόμων ήταν η κοινότητα και η εμβέλεια της έφθανε το πολύ στα μέσα της διαδρομής μέχρι το επόμενο χωριό. Στη Γερμανία αρμόδιος για έργα υποδομής ήταν ο τοπικός φεουδάρχης ή ηγεμόνας. Οι τεχνικοί στην Ευρώπη δεν γνώριζαν πια τις τεχνικές κατασκευής οδοστρωμάτων και, όπου ήταν απαραίτητο να κατασκευαστεί κάποια μεγαλύτερη οδική σύνδεση, αυτό γινόταν εμπειρικά και σε κάθε περιοχή με διαφορετικά πρότυπα.

Στην Αγγλία οι μεταφορές γίνονταν σε σημαντικό βαθμό με την παράκτια ναυσιπλοΐα και οι μονάδες παραγωγής βρίσκονταν κοντά σε λιμάνια. Οι εσωτερικές εμπορικές μεταφορές, μικρής εμβέλειας κατά κανόνα, γίνονταν με άμαξες που σύρονταν από 2,4,6,8 άλογα. Οι ταξιδιώτες, εφόσον δεν πήγαιναν με τα πόδια ή δεν διέθεταν ιδιωτική άμαξα, χρησιμοποιούσαν, οι ευπορότεροι τις ταχυδρομικές άμαξες (μέχρι 7 επιβάτες και ένας οπλισμένος φρουρός) ή τις εμπορικές άμαξες, στοιβαγμένοι μαζί με τα εμπορικά προϊόντα στο χώρο που τυχόν περίσσευε. Τα ζώα μεταφέρονταν στις εμποροπανηγύρεις και στα σφαγεία στις ίδιες αρτηρίες που χρησιμοποιούσαν οι άμαξες και οι πεζοί.

Με βροχή, οι δρόμοι αυτοί μετατρέπονταν σε βούρκο, ο οποίος αναδευόταν από τα πατήματα των αλόγων και τους τροχούς των διερχόμενων αμαξών, με ξηρασία γέμιζε η ατμόσφαιρα στην ευρύτερη περιοχή με σκόνη. Στη Γερμανία και τη Γαλλία δεν έπαιζε αντίστοιχα σημαντικό ρόλο η παράκτια ναυσιπλοΐα, αξιοποιούνταν όμως εντατικά οι μεγάλοι ποταμοί που διασχίζουν αυτές τις χώρες και κατασκευάζονταν κανάλια, με αποτέλεσμα στην αλλαγή από το 18<sup>ο</sup> στο 19<sup>ο</sup> αιώνα να υπάρχει στην Ευρώπη ένα σημαντικό δίκτυο καναλιών. Έτσι έγινε δυνατόν να δημιουργηθούν μονάδες παραγωγής και μακρύτερα από τα λιμάνια, όπου τις συμπληρωματικές διαδρομές μέχρι την αυλή των εργοστασίων κάλυπταν πάλι άμαξες. Με αυξανόμενο ρυθμό διάδοσης του σιδηροδρόμου, απλώθηκαν κατά το 19<sup>ο</sup> αιώνα ακόμα περισσότερο οι βιομηχανίες της εποχής, αφού πρώτα έφτανε το τραίνο μέχρι την πύλη τους.

### **2.1.3 18<sup>ος</sup> Αιώνας**

Στον ευρωπαϊκό χώρο στην οδοποιία άρχισε ξανά να δίνεται έμφαση κατά τον 18<sup>ο</sup> αιώνα και κυρίως ως μέσο προώθησης του εμπορίου και της οικονομίας. Από το χρονικό αυτό σημείο γίνεται γνωστικό αντικείμενο των τεχνικών επιστημών, δηλαδή του Μηχανικού.

Το 1712 γράφεται από το μηχανικό οδοποιίας Hubert Gautier το πρώτο βιβλίο οδοποιίας, στο οποίο δίδεται ιδιαίτερη προσοχή στην αποστράγγιση της οδού.

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

Το 1747 ιδρύεται στο Παρίσι η πρώτη σχολή οδοποιίας με τον τίτλο Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (Σχολή κατασκευής Γεφυρών και Οδών).

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

Το 1775 εκδίδονται από τον Tresquet οδηγίες κατασκευής λιθόστρωτων οδών, οι οποίες χαρακτηρίστηκαν ως οι πρώτες προδιαγραφές (κανονισμοί) κατασκευής οδικών έργων. Στην εξέλιξη της οδοποιίας αυτής της εποχής, ιδιαίτερος ήταν και ο ρόλος του Μ. Ναπολέοντα, ο οποίος με τις εκστρατείες του επιτάχυνε την ανανέωση και επέκταση του οδικού δικτύου. Η ρωμαϊκή ευθεία ανακαλύπτεται εκ νέου και αποτελεί το καθοριστικό στοιχείο της χάραξης.

Ο Σκοτσέζος τοπογράφος John Loudon McAdam (1756-1836) ο οποίος, μετά από πολύχρονες μελέτες και δοκιμές κατέληξε σε ένα τύπο οδοστρώματος που ονομάζεται έκτοτε προς τιμήν του Macadam. Αυτό το πρότυπο δρόμων που διαδόθηκε σταδιακά σε όλη την Ευρώπη, προέβλεπε αφενός υπερύψωση του οδοστρώματος για εύκολη αποχέτευση των υδάτων και αφετέρου επάλληλες επιστρώσεις, μία με μεγάλες πέτρες και από μία με χοντρό και λεπτό χαλίκι, το

οποίο σταθεροποιείται με άμμο. Αργότερα στη θέση της άμμου ως συνδετικού μέσου χρησιμοποιήθηκε άσφαλτος. Οι δρόμοι που κατασκευάζονταν έκτοτε με τις προδιαγραφές του Μακάνταμ απαιτούσαν λιγότερο υλικό και μικρότερο κόστος συντήρησης.

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

Με την εμφάνιση του σιδηροδρόμου κατά τον 18<sup>ο</sup> αιώνα και λίγο αργότερα του αυτοκινήτου αρχίζει μια νέα εποχή για την οδοποιία και ιδιαίτερα για το Γεωμετρικό Σχεδιασμό. Η σύνδεση ευθείας και καμπύλης αρχίζει να προβληματίζει. Η ελάχιστη ακτίνα της οριζοντιογραφίας που κυριαρχούσε όλο το προηγούμενο διάστημα, ήταν αυτή που καθορίζονταν από τη γεωμετρία των ιπήλατων και λοιπών ζωήλατων οχημάτων. Με την αύξηση όμως του αριθμού των αυτοκινήτων και των ταχυτήτων τους οι μικρές ακτίνες άρχισαν να γίνονται επικίνδυνες, όπως επίσης και η συνύπαρξη αυτοκινήτων και αμαξών στους ίδιους δρόμους. Οι ελάχιστες ακτίνες που συνιστούσαν στη Γερμανία αυτή την εποχή (1870) ήταν 50 m για κύριες οδούς, 30 m για δευτερεύουσες και 10 m για εμπορικούς. Το 1887 δημοσιεύεται από τον Launhardt το πρώτο βιβλίο που αφορά τη χάραξη και φέρει τον τίτλο □Theorie dew Trassierens□.

Ο οδικός σχεδιασμός που ακολουθεί, όπου το αυτοκίνητο αποτελεί το κυρίαρχο όχημα, μπορεί να χωριστεί σε τρεις χρονικές περιόδους. Η πρώτη διαρκεί μέχρι τη μεγάλη παγκόσμια οικονομική κρίση του μεσοπολέμου(1929)



και ασχολείται κυρίως με τις διαστάσεις και τη γεωμετρία οδήγησης του ενός οχήματος. Στην περίοδο αυτή και ιδιαίτερα στη δεκαετία του □20 η αύξηση του αριθμού των αυτοκινήτων ήταν θεαματική. Η δεύτερη περίοδος που διαρκεί μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του □70 επικεντρώνεται στη δυναμική του αυτοκινήτου και στις προβλέψεις εξέλιξης της κυκλοφορίας. Η Τρίτη και τελευταία διαρκεί μέχρι σήμερα και είναι προσανατολισμένη στην προσαρμογή της οδού στις ψυχολογικές και φυσιολογικές απαιτήσεις (δυνατότητες) του ανθρώπου και στην προστασία του περιβάλλοντος. Κύρια αιτία για αυτόν τον προσανατολισμό είναι η έντονη κριτική που άρχισε να ασκείται, κυρίως από τα τέλη της δεκαετίας του □60, στη μεγάλη αύξηση του αυτοκινήτου και των αρνητικών επιδράσεων του.

Το 1924 κατασκευάζεται στην Ιταλία ο πρώτος ευρωπαϊκός αυτοκινητόδρομος, είχε μήκος 130km και πλάτος 10m. Μέχρι το 1935 κατασκευάστηκαν άλλα 500km τέτοιου αυτοκινητόδρομου. Κύριο στοιχείο της χάραξης ήταν, όπως και στη ρωμαϊκή εποχή, οι μεγάλες ευθυγραμμίες. Το 1924 ιδρύεται στη Γερμανία η *Εταιρεία Μελέτης Οδικών Έργων*, η οποία έθεσε τις βάσεις για την ανάπτυξη των οδικών προδιαγραφών. Το 1934 μετονομάζεται σε *Εταιρεία Ερευνών Έργων Οδοποιίας*, της οποίας μέχρι σήμερα αντικείμενο είναι ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη προδιαγραφών οδικών έργων. Σήμερα φέρει την ονομασία *Εταιρεία Έρευνας Οδοποιίας και Μεταφορών*. Παρόμοιοι φορείς άρχισαν να ιδρύονται την εποχή αυτή και σε άλλα κράτη, όπως πχ Αγγλία, Γαλλία, ΗΠΑ κλπ.

Η Εταιρεία Μελέτης Οδικών Έργων εκδίδει το 1929/30 ολοκληρωμένο πληροφοριακό δελτίο για τις τυπικές διατομές και το 1937 ως Εταιρεία Ερευνών Έργων Οδοποιίας τους πρώτους ολοκληρωμένους κανονισμούς-προδιαγραφές που αφορούν, την κατασκευή υπεραστικών έργων, οι οποίες επανεκδίδονται συμπληρωμένες και βελτιωμένες το 1939 και το 1942.

Το 1937 γίνονται οι πρώτες αναφορές για την αναγκαιότητα του τόξου συναρμογής. Σαν λύση προτάθηκε η συναρμογή, δηλαδή η μετάβαση από την

ευθυγραμμία στο κυκλικό τόξο να γίνεται με κυκλικό τόξο διπλάσιας ακτίνας. Από το 1942 εφαρμόζεται η κλωθοειδής, ως τόξο συναρμογής, η οποία άνοιξε το δρόμο για μια ευχερή (άνετη) χάραξη, όπου η ταχύτητα διαδρομής βρίσκεται σε αρμονία με τη γεωμετρία της οδού. Από την περίοδο αυτή η κλωθοειδής αποτελεί ένα από τα βασικότερα μεγέθη της γεωμετρίας της οδού.

Την περίοδο επίσης αυτή αρχίζει να αναθεωρείται η σπουδαιότητα της ευθυγραμμίας ως στοιχείο της χάραξης, διότι θεωρείται ότι επηρεάζει αρνητικά τη δυναμική της κίνησης και εκτός αυτού τα μεγάλα ευθύγραμμα τμήματα ενισχύουν το αίσθημα της κόπωσης και μονοτονίας, δυσχεραίνουν την εκτίμηση των αποστάσεων και αυξάνεται ο κίνδυνος θάμβωσης κατά τις νυχτερινές ώρες από τα αντίθετα κινούμενα οχήματα.

Στα τέλη της δεκαετίας του 50 ένα νέο μέγεθος υπεισέρχεται στη χάραξη της οδού, που είναι η «Ταχύτητα Μελέτης-  $V_e$ » βάσει της οποίας καθορίζονται, όπως γνωρίζουμε, όλα τα υπόλοιπα μεγέθη, που έχουν σχέση με τη γεωμετρία της οδού. Μέχρι τότε η ταχύτητα δεν λαμβάνονταν ως μέγεθος υπολογισμού. Την ταχύτητα μελέτης ( $V_e$ ) έχει ως βάση και η V85.

Αποτέλεσμα επίσης αυτής της εξέλιξης στην οδοποιία είναι και η συσχέτιση με τη βοήθεια οριακών τιμών της οριζοντιογραφίας, της μηκοτομής και των επικλίσεων.

Στο χρονικό αυτό διάστημα που ακολουθεί οι κανονισμοί της οδοποιίας ανανεώνονται σε διεθνές επίπεδο, σε τακτά χρονικά διαστήματα, με βάση την εξέλιξη του αυτοκινήτου και τη ζήτηση για οδικές υποδομές. Επιδίωξη των παραπάνω κανονισμών είναι και η κατασκευή σύγχρονων οδικών έργων, τα οποία θα διακρίνονται πρωτίστως για την ασφάλεια, τη λειτουργικότητα, την οικονομικότητα, την άνεση της διαδρομής και την προστασία του περιβάλλοντος.

Ανακεφαλαιώνοντας, λοιπόν, μπορούμε να πούμε ότι η οδοποιία άρχισε να διαμορφώνεται ως γνωστικό αντικείμενο, όταν έγινε αναγκαία η ανθρώπινη σκέψη και η ανθρώπινη εργασία για την κάλυψη της ζήτησης των

μετακινήσεων, διότι οι υπάρχουσες φυσικές διαβάσεις δεν ικανοποιούσαν πλέον αυτές τις ανάγκες.

Άξιο θαυμασμού είναι εδώ, ότι ο κεντρικός πυρήνας της κατασκευής αυτών των πρώτων οδικών έργων (4000 π. Χ ) είναι η πολυστρωματική κατασκευή.

Η μέθοδος αυτή αποτελεί τη θεμελιώδη αρχή όλων των οδικών και λοιπών συναφών έργων μέχρι και σήμερα. Δηλαδή, με άλλα λόγια, οι τεχνικοί της αρχικής αυτής φάσης της Οδοποιίας κατανόησαν, ότι οι αρνητικές επιδράσεις των καιρικών φαινομένων και των φορτίων πχ αξονικών φορτίων σε ένα οδικό δίκτυο μπορούν να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά μόνο με την πολυστρωματική κατασκευή.

Ο γεωμετρικός σχεδιασμός, λόγω των μικρών ταχυτήτων των ιππήλατων και λοιπών ζώηλατων αμαξών, δεν είχε ιδιαίτερες απαιτήσεις. Με την εμφάνιση όμως του αυτοκινήτου και τη ραγδαία εξέλιξη και εξάπλωση αναγκάζεται να προσαρμοστεί και ιδιαίτερα μετά τον Β□ Παγκόσμιο Πόλεμο για να καλύψει τις νέες αξιώσεις της Οδοποιίας, της οποίας κύριος στόχος συνεχίζει να είναι η επαρκής κάλυψη της ζήτησης για ποιοτικές οδικές υποδομές, όπου η ασφάλεια των χρηστών έχει τον πρώτο λόγο.

### 3. ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

#### 3.1 Ορισμός οδοστρωμάτων

Οδόστρωμα ορίζεται το σύνολο των επάλληλων στρώσεων που είναι τοποθετημένες πάνω στο φυσικό έδαφος και είναι κατάλληλα διαμορφωμένο ώστε να είναι δυνατή πάνω σ' αυτό η κυκλοφορία πεζών και τροχοφόρων, καθώς και κάθε μεταφορά και επικοινωνία ανάμεσα σε διάφορες περιοχές και οικισμούς. Επεκτείνοντας τον ορισμό μπορούμε ακόμα να πούμε ότι ο όρος περιλαμβάνει και το σύνολο των τεχνικών έργων που την αποτελούν. Η τεχνική επιστήμη που ασχολείται με τη διαμόρφωση και την κατασκευή των οδών ονομάζεται οδοποιία. Η ανώτερη επιφάνεια πάνω στην οποία εκτελείται η κυκλοφορία, γενικά, ονομάζεται κατάστρωμα της οδού, ενώ το τμήμα της επιφάνειας που προορίζεται κυρίως για την κυκλοφορία οχημάτων λέγεται οδόστρωμα. Στις άκρες και κατά μήκος του οδοστρώματος υπάρχουν τα λεγόμενα στερεά εγκιβωτισμού, που στις οδούς των πόλεων αποτελούν ουσιαστικά τα πεζοδρόμια.

Κατά την κατασκευή μιας οδού πολλές, φορές η σχεδιασμένη θεωρητική της επιφάνεια δεν ταυτίζεται με την πραγματική επιφάνεια του εδάφους, είναι δηλαδή ψηλότερα ή χαμηλότερα απ' αυτή. Στην πρώτη περίπτωση, το φυσικό έδαφος υφίσταται εκσκαφή, ο χώρος που δημιουργείται απ' αυτή την εκσκαφή καλείται όρυγμα και λέμε ότι έχουμε οδό σε όρυγμα. Στη δεύτερη περίπτωση, πάνω στο φυσικό έδαφος τοποθετούνται στερεά υλικά μέχρι το ύψος της στάθμης του καταστρώματος. Τα υλικά αυτά ονομάζονται επιχώματα και μία οδός κατασκευασμένη μ' αυτό τον τρόπο λέγεται οδός σε επίχωμα. Συνήθως οικονομικοί και περιβαλλοντικοί λόγοι επιβάλλουν ώστε τα υλικά που χρησιμοποιούνται για επιχώματα να παίρνονται από τα ορύγματα. Το σύνολο των εργασιών για εκσκαφή και επιχωμάτωση μίας οδού καλούνται

□ χωματισμοί. □ Στα τμήματα οδών που βρίσκονται σε όρυγμα

κατασκευάζονται στις δύο μεριές του καταστρώματος τάφροι (χαντάκια), για αποχέτευση των νερών της βροχής. Ως άξονας της οδού θεωρείται η μέση γραμμή του καταστρώματος.

Οι οδοί διακρίνονται σε αστικές και υπεραστικές. Αστικές οδοί είναι οι οδοί των πόλεων, ενώ οι υπεραστικές μπορεί να είναι εθνικές, επαρχιακές, κοινοτικές, αγροτικές, δασικές, κλπ. Ανάλογα με τη μορφολογία του εδάφους όπου έχουν κατασκευαστεί, διακρίνονται σε πεδινές και ορεινές και τέλος, ανάλογα με την αρχή που τις κατασκεύασε και τις συντηρεί, διακρίνονται σε δημόσιες, κοινοτικές, δημοτικές και ιδιωτικές.

### **3.2 Σκοπός οδοστρωμάτων**

Το οδόστρωμα είναι μία κατασκευή η οποία έχει σκοπό να εξασφαλίσει την απαιτούμενη ποιότητα κύλισης των οχημάτων για όλο το χρονικό διάστημα λειτουργίας του. Επομένως ο αντικειμενικός σκοπός του οδοστρώματος είναι:

- να παραλάβει τα φορτία της κυκλοφορίας και να τα κατανείμει στο υπέδαφος. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή του είναι πιο δύσκαμπτα από τα υλικά πάνω στα οποία εδράζεται το οδόστρωμα, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται η ενίσχυση του φυσικού εδάφους. Βασική επιδίωξη είναι οι μεταβιβαζόμενες στο υπέδαφος τάσεις να μειώνονται σε τέτοιο βαθμό έτσι ώστε να μην επιφέρουν ουσιαστικές παραμορφώσεις ή μετατοπίσεις στην εδαφική στρώση του υπεδάφους. Επιπλέον επιτυγχάνεται η αύξηση της αντοχής του εδάφους στις εναλλαγές των κλιματολογικών συνθηκών.

- Η αποστράγγιση, τα υλικά που χρησιμοποιούνται και ο γεωμετρικός σχεδιασμός ενός οδοστρώματος μπορούν να έχουν μια γρήγορη επιρροή στην απόκτηση επαρκούς και ικανοποιητικής στράγγισης. Η δομή του οδοστρώματος θα πρέπει να είναι σχεδόν αδιαπέραστη από νερό έτσι ώστε να προστατεύεται το έδαφος έδρασης αλλά και οι στρώσεις από ασύνδετα αδρανή (μη

σταθεροποιημένες στρώσεις) ώστε να μειωθούν τα προβλήματα που οφείλονται στην υγρασία όπως η λάσπη και οι λιμνάζοντα νερά .

- Η παροχή επιφάνειας για την ομαλή κίνηση των οχημάτων. Τα υλικά κατασκευής των οδοστρωμάτων μπορούν να τοποθετηθούν και να διατηρήσουν την επιφάνεια τους πιο λεία από την αυτήν του υπεδάφους. Έτσι διασφαλίζεται μια αντλιοσθηρή και ανθεκτική, στη λειαντική δράση των ελαστικών, ομαλή επιφάνεια κύλισης και κατ' επέκταση βελτιώνεται η άνεση της οδήγησης και μειώνεται το κόστος κυκλοφορίας των οχημάτων.

### **3.3 Είδη οδοστρωμάτων**

#### **3.3.1 Γενικά**

Το οδόστρωμα έχει σαν κύριο ρόλο να διανέμει τις πιέσεις ώστε η καταπόνηση του εδάφους θεμελίωσης να μην υπερβαίνει τα όρια.

Ανάλογα με την ελαστικότητα του εδάφους, τα οδοστρώματα μπορούν να διαχωριστούν στις εξής τρεις κατηγορίες:

- εύκαμπτα
- ημιεύκαμπτα (Κ. Θ. Α.)
- δύσκαμπτα

Σαν εύκαμπτα θεωρούνται:

1. Τα ασφαλτικά οδοστρώματα
2. Τα κυκλοφοριόπηκτα οδοστρώματα
3. Τα σταθεροποιημένα οδοστρώματα
4. Τα σκυρωτά οδοστρώματα

Σαν δύσκαμπτα θεωρούνται:

1. Τα από σκυρόδεμα οδοστρώματα
2. Τα λιθόστρωτα οδοστρώματα

Ο τύπος του οδοστρώματος καθορίζεται από τον όγκο και τη σύνθεση της κυκλοφορίας, το αρχικό κόστος, τη δυνατότητα για την εφεύρεση των υλικών, το κόστος συντήρησης και από την εμπειρία των κατασκευαστών.

Τα οδοστρώματα χωρίζονται σε:

1. Οδόστρωμα υψηλού τύπου: κατασκευάζονται για μεγάλο όγκο κυκλοφορίας
2. Οδόστρωμα μέσου τύπου: έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά με τα οδοστρώματα υψηλού τύπου όμως είναι μικρότερης αντοχής και έχουν λιγότερο κόστος
3. Οδοστρώματα χαμηλού τύπου: κατασκευάζονται με σταθεροποίηση του εδάφους ή με σκύρα

### **3.3.2 Καθορισμός πάχους στρώσεων**

Κατά την μελέτη ενός οδοστρώματος καθορίζονται τα πάχη των ασφαλικών στρώσεων, το πάχος της βάσης και της υπόβασης καθώς και το πάχος της εξυγιαντικής στρώσης.

Πλην των ανωτέρω επίσης καθορίζεται το πάχος της στραγγιστικής στρώσης (εάν χρησιμοποιηθεί) και δίνονται σχετικές πληροφορίες ως προς τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν κατά την κατασκευή.

Δεν απαιτείται αντιπαγετική στρώση σε όλο το μήκος της οδού, εάν το ολικό πάχος του οδοστρώματος είναι μεγαλύτερο των 350 mm.

Στην ειδική περίπτωση που το ολικό της στρώσης έδρασης είναι μικρότερο των 350 mm και το υλικό της στρώσης έδρασης είναι παγοπληκτικό, το πάχος της βάσης και της υπόβασης προσαυξάνεται έτσι ώστε το πάχος του οδοστρώματος να είναι μεγαλύτερο ή ίσο των 350 mm.

Τα βασικά ουσιαστικά δεδομένα που απαιτούνται είναι:

1. η φέρουσα ικανότητα της στρώσης έδρασης εκφραζόμενη συναρτήσει του Καλιφορνιακού Δείκτη (CBR)

2. Ο αθροιστικός κυκλοφοριακός φόρτος καθ όλη τη σχεδιαστική διάρκεια ζωής του οδοστρώματος, εκφραζόμενος σε Ισοδύναμους Τυπικούς Άξονες (ΙΤΑ) και
3. Η μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα σε C°

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

1. Η φύση του εδάφους έδρασης του οδοστρώματος
2. Οι κλιματολογικές συνθήκες
3. Τα επί τόπου διαθέσιμα υλικά
4. Ο κυκλοφοριακός φόρτος

Οι κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για τον υπολογισμό όχι μόνο του πάχους αλλά και της σύνθεσης του οδοστρώματος.

Οι κυριότερες είναι:

- Το ύψος των βροχοπτώσεων
- Η δράση του παγετού
- Η συρρίκνωση και η διόγκωση του εδάφους
- Οι εναλλαγές παγετού – τήξης και υγρασίας □ ξηρασίας
- Οι εποχιακές μεταβολές της θερμοκρασίας

Σε ένα δύσκαμπτο οδόστρωμα οι βασικοί παράγοντες, που υπεισέρχονται στη μεθοδολογία υπολογισμού είναι:

- Η αντοχή του σκυροδέματος
- Η αντοχή της υποδομής
- Τα φορτία και η συχνότητα τους

Το πλάτος του οδοστρώματος (b) πρέπει να ικανοποιεί τον όγκο της κυκλοφορίας όχι μόνο της σημερινής, αλλά και της μελλοντικής και είναι συνάρτηση:

- Του αριθμού των τροχοφόρων που διέρχονται συγχρόνως και προς τις δύο κατευθύνσεις



- Του πλάτους των αμαξωμάτων (καρότσα) των τροχοφόρων
- Της απόστασης ασφαλείας μεταξύ δύο τροχοφόρων, που διέρχονται την ίδια στιγμή από το ίδιο σημείο
- Των αποστάσεων μεταξύ των τροχοφόρων και της εσωτερικής οριογραμμής των ερεισμάτων

### **3.3.3Εύκαμπτα Οδοστρώματα**

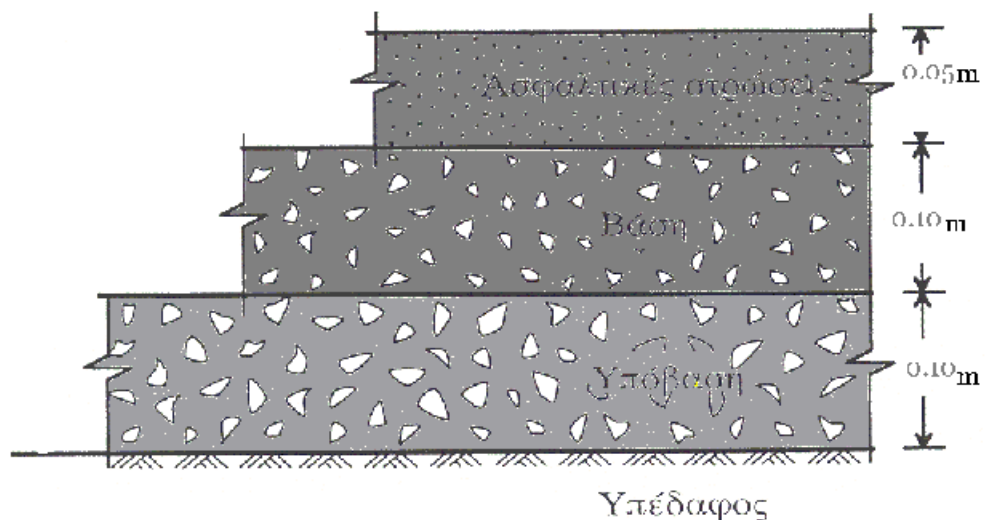
Η δομή του ευκάμπτου οδοστρώματος, γενικότερα, αποτελείται από δύο χαρακτηριστικές ομάδες στρώσεων με διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες και συμπεριφορά. Την ομάδα των στρώσεων από ασύνδετα ή/και σταθεροποιημένα αδρανή, που εδράζεται πάνω στο υπέδαφος, και την ομάδα των στρώσεων από ασφαλτομίγματα, που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

1. Δια μέσου των στρώσεων διευκολύνεται η καλύτερη κατανομή των φορτίων
2. Επιτυγχάνεται η αύξηση της φέρουσας ικανότητας
3. Συμβάλλουν στην αποστράγγιση
4. Παρέχουν προστασία από τον παγετό
5. Λόγω τριχοειδών φαινομένων αποτρέπεται η άνοδος του νερού

Ο παραπάνω διαχωρισμός της δομής του ευκάμπτου οδοστρώματος βασίζεται στη διαφορετική μηχανική συμπεριφορά των στρώσεων, ομαδοποιημένων, και χρησιμοποιείται σήμερα ως βάση για την ανάπτυξη όλων των μεθοδολογιών διαστασιολόγησης των ευκάμπτων οδοστρωμάτων. Καλούνται εύκαμπτα γιατί η συνολική κατασκευή έχει την ικανότητα να κάμπτεται και να έχει ελαστικότητα έτσι ώστε να μεταφέρει τα κυκλοφοριακά φορτία ομαλά κατανεμημένα και με ασφάλεια στο υπέδαφος. Τα οδοστρώματα αυτά υπόκεινται σε τάσεις κάμψης τόσο πιο μεγάλες όσο πιο έντονα είναι τα φορτία

και οι κατώτερες στρώσεις είναι λιγότερο άκαμπτες. Η ζωή του οδοστρώματος εξαντλείται όταν οι μόνιμες παραμορφώσεις του γίνονται υπερβολικές ή όταν δημιουργούνται ρηγμάτα. Τότε αυτά καταστρέφονται ουσιαστικά από παραμόρφωση χωρίς ρηγματώση του ασφαλτικού υλικού ή από ρηγματώσεις, όταν αυτές είναι τόσες ώστε οι στρώσεις να μην μπορούν να παίζουν το ρόλο του κατανεμητή των φορτίων, ή όταν και τα δυο αυτά φαινόμενα συνδυάζονται.

Κατασκευαστικά το εύκαμπτο οδόστρωμα διακρίνεται σε τρεις ομάδες στρώσεων: την επιφανειακή στρώση (ή στρώσεις), τη βάση και την υπόβαση (σχ.5) . Ορισμένες φορές, λόγω ύπαρξης πολύ ασθενούς υπεδάφους, κατασκευάζεται και εξυγιαντική στρώση μεταξύ υποβάσεως και υπεδάφους (σχ.6) .



**Σχήμα 5. Χαρακτηριστική διατομή εύκαμπτου οδοστρώματος**

### **3.3.3.1 Υπόβαση**

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

- α) μεταβιβάζει τα φορτία στο υπέδαφος

β) εξασφαλίζει την άνετη κυκλοφορία των εργοταξιακών οχημάτων

γ) προστατεύει τα υλικά της βάσης από "μόλυνση" αυτών με εδαφικό υλικό (άργιλος, ιλύς, οργανικά υλικά κλπ)

δ) δρα ως αντιπαγετική προστατευτική στρώση στην περίπτωση που το έδαφος είναι παγοπληκτικό

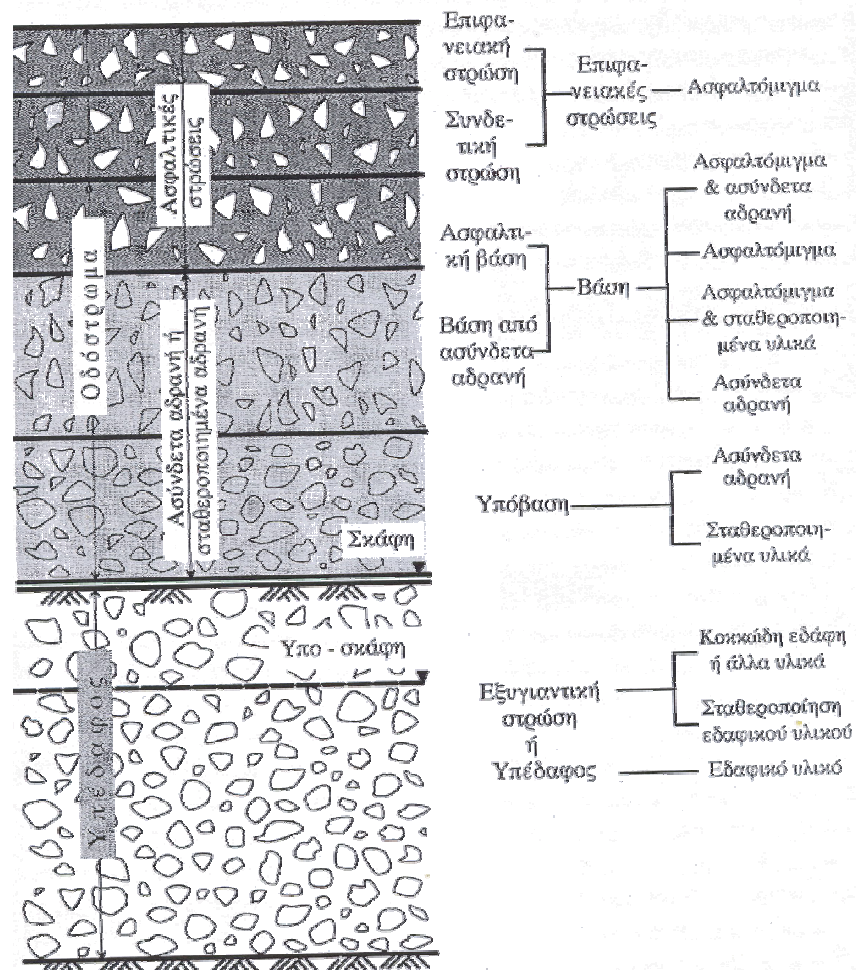
ε) μπορεί να λειτουργήσει και ως στρώση αποστράγγισης των υδάτων που πιθανόν να διαπεράσουν τις υπερκείμενες στρώσεις προστατεύοντας το υπέδαφος. Αυτό είναι πολύ πιθανόν να συμβεί στις περιπτώσεις που οι υπερκείμενες ασφαλικές στρώσεις είναι μικρού πάχους ή / και τα χρησιμοποιηθέντα ασφαλιτομίγματα όχι τόσο κλειστής υφής.

Στην περίπτωση κατά την οποία η υπόβαση λειτουργεί ως στραγγιστική στρώση είναι απαραίτητη η χρήση υδρομονωτικής μεμβράνης στη διεπιφάνεια με το υπέδαφος. Ο ρόλος της μεμβράνης είναι καθαρά προστατευτικός και στεγανωτικός. Δηλαδή, με την τοποθέτηση αυτής προστατεύεται η αποτελεσματική λειτουργία της αποστραγγιστικής υπόβασης, λόγω αποκλεισμού της μεταφοράς λεπτόκοκκων υλικών από το έδαφος στην υπόβαση, και αποφεύγεται η μείωση της φέρουσας ικανότητας του υπεδάφους και πιθανότατα η διόγκωση από την αύξηση της υγρασίας λόγω των επιφανειακών υδάτων που θα διαπεράσουν τις υπερκείμενες στρώσεις. Στις περιπτώσεις που η υπόβαση καλείται να παίξει το ρόλο αποστραγγιστικής στρώσης συνιστάται όπως ελέγχεται η ταχύτητα αποστράγγισης της στρώσης αυτής.

Το πάχος της υπόβασης θα πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να μην αναπτύσσονται υψηλές θλιπτικές και διατμητικές τάσεις στο υπέδαφος, υπό την επίδραση των φορτίων των εργοταξιακών οχημάτων, ικανές να προκαλέσουν αισθητές παραμορφώσεις. Το ακριβές πάχος καθορίζεται αναλόγως της μεθοδολογίας διαστασιολόγησης.

Είναι σύνηθες, όταν το υπέδαφος είναι αρκετά καλό, η υπόβαση να παραλείπεται και να κατασκευάζεται μόνο η βάση από ασύνδετα αδρανή. Στην

περίπτωση που η υπόβαση χρησιμοποιείται ως αντιπαγετική στρώση το πάχος αυτής καθορίζεται από το εκτιμώμενο ή υπολογισμένο βάθος διείδυσης του παγετού.



**Σχήμα 6. Αναλυτική δομή διατομής ευκάμπτου οδοστρώματος**

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της υπόβασης είναι συνήθως επιλεγμένα σταθεροποιημένου τύπου κοκκώδη εδαφικά υλικά (αμμοχάλικα θραυστά από ποτάμια, χείμαρρους ή θραυστό υλικό από κατάλληλους λίθους κάθε φύσης). Ορισμένες φορές χρησιμοποιούνται εδαφικά υλικά σταθεροποιημένα με συνδετικό υλικό το τσιμέντο (κυρίως) ή τον ασβέστη. Το θραυστό υλικό πρέπει να είναι καθαρό, ομοιόμορφο, συμπαγές, και απαλλαγμένο από φυτικές και αργιλικές προσμίξεις. Το συμπυκνωμένο πάχος κάθε στρώσης δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 12 εκατοστά. Όταν

χρειάζονται περισσότερες από μια στρώσεις, πριν κατασκευάσουμε την επόμενη μορφώνουμε και συμπυκνώνουμε την προηγούμενη προσεκτικά.

### 3.3.3.2 Βάση

Η βάση στο σύνολό της είναι η βασικότερη δομική στρώση ενός ευκάμπτου οδοστρώματος και κατασκευάζεται μεταξύ της υπόβασης ή του υπεδάφους και των επιφανειακών ασφαλιστικών στρώσεων.

Αναλυτικότερα επιτελεί τις εξής βασικές λειτουργίες:

- α) παρέχει τη βασική δομική στρώση η οποία παραλαμβάνει και κατανέμει τα φορτία της κυκλοφορίας στις υποκείμενες στρώσεις
- β) μειώνει τις κάθετες θλιπτικές τάσεις που εξασκούνται στο υπέδαφος (και διαμέσου της υπόβασης, εάν υπάρχει) σε τέτοιο βαθμό ώστε να μπορούν να παραληφθούν από τη φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους και να μην προκαλούν ανεπίτρεπτα μεγάλες παραμορφώσεις
- γ) παρέχει στο οδόστρωμα τη δυσκαμψία και την αντοχή αυτού στην κόπωση
- δ) παρέχει μια καλή επιφάνεια έτοιμη να δεχθεί τις επιφανειακές ασφαλιστικές στρώσεις
- ε) οι στρώσεις της βάσης από ασύνδετα αδρανή ή σταθεροποιημένα αδρανή συμβάλλουν στην αποτελεσματικότερη συμπύκνωση των υπερκείμενων ασφαλιστικών στρώσεων.

Η βάση του οδοστρώματος αποτελείται από έναν αριθμό στρώσεων των οποίων τα υλικά μπορεί να είναι από αδρανή δίχως συνδετικό υλικό (ασύνδετα αδρανή) ή από αδρανή με συνδετικό υλικό την άσφαλτο (ασφαλτόμιγμα) ή από αδρανή με συνδετικό υλικό το τσιμέντο.

Ο κλασικός συνδυασμός των στρώσεων της βάσης για εύκαμπτα οδοστρώματα είναι: στρώση ή στρώσεις από ασύνδετα αδρανή (οι κάτω στρώσεις) και στρώση ή στρώσεις από ασφαλτόμιγμα (οι άνω στρώσεις).

Ορισμένες φορές η στρώση από ασύνδετα αδρανή σταθεροποιείται με τσιμέντο ή ασφαλικό υλικό.

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

Τα αδρανή υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της βάσης είναι πάντοτε καλύτερης ποιότητας από αυτά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της υπόβασης. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της βάσης είναι συνήθως επιλεγμένα σταθεροποιημένου τύπου κοκκώδη εδαφικά υλικά (αμμοχάλικα θραυστό από ποτάμια, χείμαρρους ή θραυστό υλικό από κατάλληλους λίθους κάθε φύσης). Το θραυστό υλικό πρέπει να είναι καθαρό, ομοιόμορφο, συμπαγές, και απαλλαγμένο από φυτικές και αργιλικές προσμίξεις. Το συμπυκνωμένο πάχος κάθε στρώσης δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 12 εκατοστά. Όταν χρειάζονται περισσότερες από μια στρώσεις, πριν κατασκευάσουμε την επόμενη μορφώνουμε και συμπυκνώνουμε την προηγούμενη προσεκτικά.

### **3.3.3.3 Ασφαλτική βάση (ασφαλτική στρώση βάσης)**

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

1. α) να έχει μεγάλη δυσκαμψία
2. β) να έχει υψηλή αντοχή σε κόπωση
3. γ) να μην παραμορφώνεται εύκολα

4. δ) να έχει μικρή διαπερατότητα προστατεύοντας έτσι τις υποκείμενες στρώσεις. Το τελευταίο είναι απαραίτητη προϋπόθεση όταν ο τάπητας κυκλοφορίας είναι ανοικτού τύπου (πορώδης) και δεν υπάρχει συνδετική στρώση
5. ε) να μην επηρεάζεται από την καταστρεπτική επίδραση του νερού.

#### **3.3.3.4 Συνδετική στρώση (ασφαλτική στρώση κυκλοφορίας)**

Η συνδετική στρώση είναι μια ενδιάμεση στρώση μεταξύ τάπητα κυκλοφορίας και ασφαλικής βάσης και κατασκευάζεται για να παρέχει μια καλή επίπεδη επιφάνεια (με τις επιθυμητές κλίσεις) επί της οποίας θα διαστρωθεί ο τάπητας κυκλοφορίας. Και η στρώση αυτή θα πρέπει να μην παραμορφώνεται, να μη ρηγματώνεται εύκολα και να είναι σχεδόν αδιαπέρατη από το νερό.

Η συνδετική στρώση σήμερα, σε πολλές χώρες, παραλείπεται δεδομένου ότι η καλή επιφάνεια για την περαιτέρω διάστρωση του τάπητα κυκλοφορίας επιτυγχάνεται με την κατασκευή της ασφαλικής βάσης. Συνδετική στρώση απαιτείται μόνο εάν ο τάπητας κυκλοφορίας είναι πορώδης και η ασφαλική βάση μέσης ή ανοικτής υφής. Ακόμη και στην περίπτωση αυτή η συνδετική στρώση θα μπορούσε να ονομασθεί ασφαλική βάση, δεδομένου ότι ως ασφαλτόμιγμα δε διαφέρει σε τίποτε από αυτό για ασφαλικές βάσεις κλειστής υφής.

### 3.3.3.5 Τάπητας κυκλοφορίας (αντιολισθηρή στρώση)

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

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

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



### 3.3.3.6 Διαστασιολόγηση εύκαμπτων οδοστρωμάτων

Η διαστασιολόγηση των οδοστρωμάτων συνίσταται στον καθορισμό του πάχους της κάθε στρώσης που όλες μαζί συνθέτουν το οδόστρωμα. Σκοπός κατά τη διαστασιολόγηση είναι να κατανεμηθούν τα φορτία του κυκλοφοριακού φόρτου κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι τάσεις που μεταβιβάζονται στο υπεδάφος να μπορούν να παραληφθούν από τη φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους. Παράλληλα, θα πρέπει οι τάσεις και παραμορφώσεις που αναπτύσσονται σε οποιαδήποτε στρώση να μην υπερβαίνουν τις τάσεις που δύνανται να παραλάβουν τα υλικά που συνθέτουν την κάθε στρώση.

Ο καθορισμός του πάχους της κάθε στρώσης εξαρτάται άμεσα:

- από το μέγεθος και τη συχνότητα του επιβαλλόμενου φορτίου (κυκλοφοριακός φόρτος)

- τα μηχανικά χαρακτηριστικά της κάθε στρώσης
- τη φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους και
- τις κλιματολογικές συνθήκες. Από τις κλιματολογικές συνθήκες, η θερμοκρασία και η υγρασία είναι οι βασικότεροι παράγοντες επηρεασμού.

Επίσης και ένας αριθμός άλλων παραγόντων θα πρέπει πάντοτε να λαμβάνεται υπόψη έτσι ώστε να καθορίζεται η τελική διαστασιολόγηση του οδοστρώματος.

Οι παράγοντες αυτοί είναι:

- το κόστος
- η κατασκευή
- η συντήρηση και
- η διάρκεια ζωής.

Κατά συνέπεια, ο σχεδιασμός ενός οδοστρώματος, δεν είναι μια απλή υπολογιστική διαδικασία που υπακούει σε μια συγκεκριμένη μεθοδολογία αλλά μια τεχνο-οικονομική διαδικασία αρκετά πολύπλοκη.

Σήμερα, για τη διαστασιολόγηση των ευκάμπτων οδοστρωμάτων υπάρχουν διάφορες σύγχρονες αναλυτικές (θεωρητικές) και ημι-αναλυτικές μεθοδολογίες. Όλες βασίζονται στη θεωρία της ελαστικότητας, στην τεράστια εμπειρία που αποκτήθηκε από τη συμπεριφορά των οδοστρωμάτων στην πράξη αλλά και στο μεγάλο αριθμό ερευνητικών εργασιών που εκπονήθηκε στα διάφορα εργαστήρια.

Αναλυτικές μεθοδολογίες χαρακτηρίζονται αυτές που ο μελετητής υπολογίζει τις αναπτυσσόμενες τάσεις και παραμορφώσεις σε διάφορα κρίσιμα σημεία της δομής του οδοστρώματος και κατόπιν τις συγκρίνει με τα αντίστοιχα μέγιστα επιτρεπτά μεγέθη που καθορίζονται από τη μηχανική συμπεριφορά των υλικών που θα ενσωματωθούν στο οδόστρωμα. Για τον καθορισμό των αναπτυσσομένων τάσεων και παραμορφώσεων ο μελετητής χρησιμοποιεί την ελαστική θεωρία για πολυστρωματικά συστήματα. Οι μέγιστες επιτρεπτές τάσεις ή παραμορφώσεις που μπορούν να αναπτυχθούν καθορίζονται κατά κανόνα στο εργαστήριο από δοκιμές επί των υλικών που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Ο καθορισμός, τέλος, του πάχους του οδοστρώματος επιτυγχάνεται από την ικανοποίηση της απαίτησης ότι οι αναπτυσσόμενες τάσεις ή παραμορφώσεις δε θα πρέπει να είναι μεγαλύτερες των μέγιστων επιτρεπτών, για τα προτεινόμενα πάχη των στρώσεων.

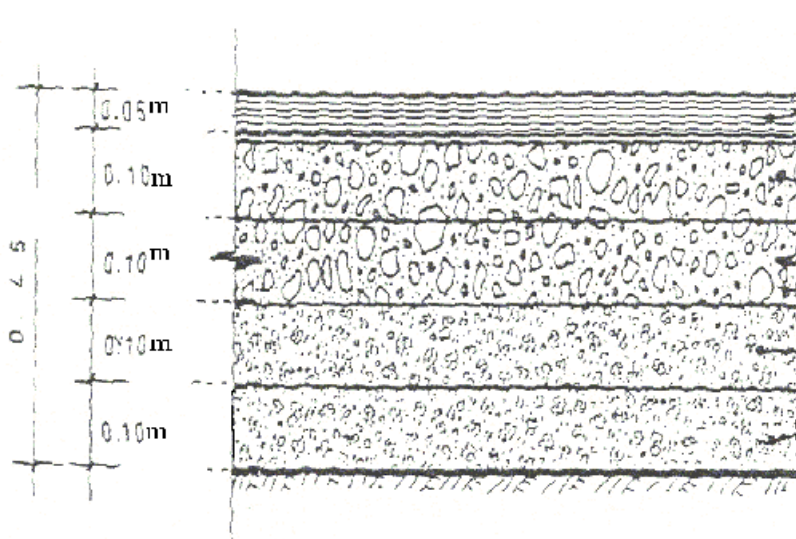
Ημι-αναλυτικές μεθοδολογίες χαρακτηρίζονται αυτές που τα πάχη των στρώσεων καθορίζονται εύκολα από διαγράμματα ή νομογραφήματα. Τα διαγράμματα ή νομογραφήματα εξήχθησαν είτε από αναλυτικούς υπολογισμούς παρόμοιους των αναλυτικών μεθοδολογιών, είτε από συνδυασμό αναλυτικών υπολογισμών και αποτελεσμάτων από την πράξη (κυρίως πειραματικά οδοστρώματα μεγάλης κλίμακας και παρακολούθηση της συμπεριφοράς αυτών κάτω από πραγματικές συνθήκες).

Σε όλες τις σύγχρονες μεθοδολογίες ο κυκλοφοριακός φόρτος εκφράζεται συναρτήσει των Ισοδυνάμων Τυπικών Αξόνων (ΙΤΑ) και όχι συναρτήσει του αριθμού των οχημάτων. Η φέρουσα ικανότητα ή αντοχή του υπεδάφους

εκφράζεται συναρτήσει του CBR ενώ ως θεμελιώδης μηχανική ιδιότητα όλων των στρώσεων λαμβάνεται το μέτρο ελαστικότητας (ή μέτρο δυσκαμψίας στην περίπτωση των ασφαλτικών στρώσεων).

### 3.3.4 Ημιεύκαμπτα οδοστρώματα

Έχουν την μορφή των εύκαμπτων οδοστρωμάτων όσον αφορά τα είδη και τα πάχη των στρώσεων, και διαφοροποιούνται ως προς τα υλικά κατασκευής εφ' όσον χρησιμοποιείται κατεργασμένο θραυστό αμμοχάλικο με μικρή προσθήκη τσιμέντου στις στρώσεις της βάσης και της υπόβασης (σχ.7) .



**Σχήμα 7. Χαρακτηριστική διατομή ημι-εύκαμπτου οδοστρώματος**

Με αυτό επιτυγχάνεται:

- η αύξηση της αντοχής του οδοστρώματος
- η μείωση των καθιζήσεων
- η προστασία από τον παγετό
- η αποτροπή της ανόδου του νερού λόγω τριχοειδών φαινομένων

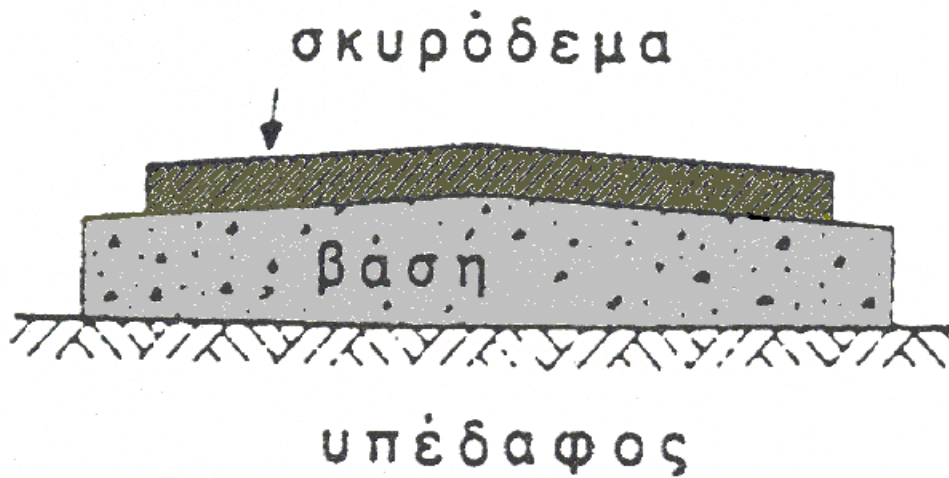
Αυτά τα οδοστρώματα με σταθεροποιημένη βάση, υπόκεινται σε τάσεις κάμψεως τόσο πιο μεγάλες όσο τα φορτία είναι πιο έντονα και οι κατώτερες στρώσεις είναι λιγότερο δύσκαμπτες. Όπως και στα εύκαμπτα, έτσι και εδώ, η ζωή του οδοστρώματος εξαντλείται όταν οι σταθεροποιημένες στρώσεις παύουν να παίζουν το ρόλο του κατανεμητή οπότε αρχίζει μια ταχύτατη εξέλιξη της φθοράς της επιφάνειας του οδοστρώματος.

### **3.3.5 Δύσκαμπτα οδοστρώματα**

Δύσκαμπτα, ή άκαμπτα, οδοστρώματα είναι τα οδοστρώματα με μεγάλη ακαμψία που κατ' αποκλειστικότητα κατασκευάζονται από σκυρόδεμα. Λόγω της μεγάλης ακαμψίας που διαθέτουν, σε αντίθεση με τα εύκαμπτα οδοστρώματα, οι τοπικές καθιζήσεις που πιθανόν να εμφανισθούν κάτω από αυτά δεν αντανakλώνται στην επιφάνεια κύλισης.

Οι βασικές δομικές στρώσεις ενός τυπικού δύσκαμπτου οδοστρώματος είναι δύο (σχ.8) :

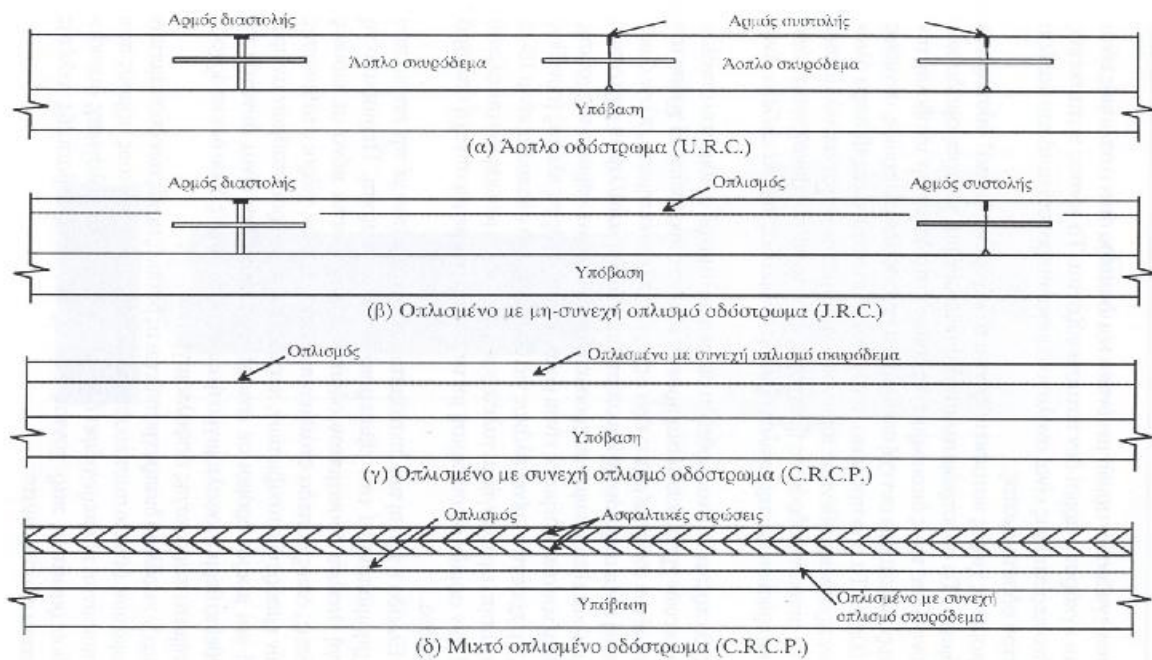
- 1) η στρώση πάνω στην οποία θα εδραστεί η πλάκα του σκυροδέματος και ονομάζεται υπόβαση και
- 2) η πλάκα από σκυρόδεμα, η επιφάνεια της οποίας είναι και η επιφάνεια κύλισης του οδοστρώματος.



**Σχήμα 8. Χαρακτηριστική διατομή δύσκαμπτου οδοστρώματος**

Αναλόγως της κατασκευής της πλάκας, τα δύσκαμπτα οδοστρώματα χωρίζονται σε τρεις τύπους (σχ.9) :

- α) τα άοπλα οδοστρώματα,
- β) τα οπλισμένα με μη-συνεχή οπλισμό οδοστρώματα και
- γ) τα οπλισμένα με συνεχή οπλισμό οδοστρώματα.



**Σχήμα 9. Χαρακτηριστικοί τύποι δύσκαμπτων οδοστρώματων**

Η βασική διαφορά μεταξύ των άοπλων ή οπλισμένων με μη-συνεχή οπλισμό οδοστρωμάτων και των οπλισμένων με συνεχή οπλισμό δύσκαμπτων οδοστρωμάτων είναι ότι στα πρώτα κατασκευάζονται αρμοί και στις δύο διευθύνσεις, εγκάρσια και διαμήκη, ενώ στα δεύτερα μόνο κατά τη διαμήκη διεύθυνση. Θα πρέπει να τονισθεί ότι οι αρμοί στα οπλισμένα οδοστρώματα είναι λιγότεροι των οδοστρωμάτων δίχως οπλισμό. Σήμερα υπάρχει η τάση να κατασκευάζονται άοπλα ή οπλισμένα με συνεχή οπλισμό δύσκαμπτα οδοστρώματα

Συμπερασματικά, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι η κατασκευή του άοπλου οδοστρώματος είναι απλούστερη και σε απόλυτες τιμές κόστους φθηνότερη. Βασικό μειονέκτημα των άοπλων οδοστρωμάτων είναι η σχετικά μεγάλη συχνότητα των εγκάρσιων αρμών που μειώνει την άνεση κατά την οδήγηση καθώς επίσης αυξάνει τις πιθανότητες κατασκευαστικής αστοχίας και μελλοντικής πιθανής διαφορικής καθίζησης των πλακών. Το μειονέκτημα αυτό περιορίζεται με τη χρήση σιδηρού οπλισμού. Στην περίπτωση αυτή ο αριθμός των εγκάρσιων αρμών μειώνεται και ιδιαίτερα όταν ο οπλισμός είναι συνεχής οι εγκάρσιοι αρμοί δεν κατασκευάζονται. Το κόστος κατασκευής και στις δυο περιπτώσεις είναι αναλογικά μεγαλύτερο από αυτό του άοπλου δύσκαμπτου οδοστρώματος.

Σε ορισμένες χώρες κατασκευάζονται τα λεγόμενα "μικτά" δύσκαμπτα οδοστρώματα. Τα οδοστρώματα αυτά συνθέτουν μια τέταρτη ομάδα και αποτελούνται από τρεις διακεκριμένες δομικές στρώσεις: την υπόβαση, την πλάκα σκυροδέματος με συνεχή οπλισμό και την ασφαλική στρώση, συνήθως πάχους 100mm. Τα οδοστρώματα αυτά είναι κατά κανόνα ακριβότερα όλων των άλλων προαναφερθέντων τύπων και χρησιμοποιούνται αποκλειστικά και μόνο σε αυτοκινητοδρόμους ή περιοχές όπου το κόστος συντήρησης λόγω των καθυστερήσεων και της κυκλοφοριακής ανωμαλίας που θα επέλθει είναι μεγάλο.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι σε έναν πολύ μικρό αριθμό του συνόλου των κατασκευών χρησιμοποιείται προεντεταμένο σκυρόδεμα. Η χρήση του προεντεταμένου σκυροδέματος έχει ορισμένα πλεονεκτήματα, πλην όμως η κατασκευή είναι ακριβότερη και απαιτείται ύπαρξη κατάλληλου μηχανικού εξοπλισμού και εξειδικευμένου προσωπικού. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης προεντεταμένου σκυροδέματος είναι:

- μείωση του πάχους της πλάκας (συνήθως το πάχος της προεντεταμένης πλάκας για οδοστρώματα οδοποιίας είναι 10-15 cm)
- δυνατότητα εφαρμογής μεγαλύτερων φορτίων και
- μείωση του συνολικού αριθμού των αρμών σε σύγκριση με τα οπλισμένα με μη συνεχή οπλισμό οδοστρώματα.

Στην Ελλάδα η χρήση των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων με την έννοια που έχουν χρησιμοποιηθεί στο εξωτερικό είναι ανύπαρκτη. Περιορισμένη εφαρμογή άοπλου δύσκαμπτου οδοστρώματος γίνεται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις, όπως δάπεδα στάθμευσης αεροσκαφών, χώροι στάθμευσης φορτηγών εμπορευματοκιβωτίων, περιβάλλοντες χώροι σταθμών ανεφοδιασμού και μικροί δρόμοι σε ανωφέρειες όπου δεν είναι δυνατόν να διαστρωθεί το θερμό ασφαλτόμιγμα ή ακριτικές περιοχές όπου δεν υπάρχουν συγκροτήματα παραγωγής ασφαλτομιγμάτων.

### **3.3.5.1 Υπέδαφος**

Η κυριότερη ιδιότητα του υπεδάφους κατά το σχεδιασμό ενός δύσκαμπτου οδοστρώματος είναι το κατά πόσο από είναι σε θέση να παρέχει ομοιόμορφη έδραση της πλάκας, καθ' όλο το μήκος της οδού και καθ' όλη τη διάρκεια σχεδιασμού. Όπως προαναφέρθηκε, οι κυριότερες παράμετροι που επηρεάζουν άμεσα την αντοχή του υπεδάφους είναι η υγρασία και οι χαμηλές θερμοκρασίες. Έτσι, στις περιπτώσεις αυτές συνιστάται ο υποβιβασμός της στάθμης του

υδροφόρου ορίζοντα και η διατήρηση αυτού σε επίπεδο μεγαλύτερο των 600mm. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με την κατασκευή στραγγιστηριών είτε με την κατασκευή επιχώματος.

Εάν η φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους είναι ικανοποιητική και το υπέδαφος δεν είναι παγόπληκτο, η υπόβαση εδράζεται πάνω στο υπέδαφος, αφού προηγουμένως γίνει η σχετική διαμόρφωση αυτού. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις απαιτείται εξυγίανση του υπεδάφους. Στην περίπτωση των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων, το υπέδαφος θεωρείται ότι έχει ικανοποιητική φέρουσα ικανότητα και δεν απαιτείται εξυγίανση ή εξυγιαντική στρώση όταν το CBR αυτού είναι μεγαλύτερο του 15%. Τέλος, όταν η φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους είναι καλή (συνήθως CBR μεγαλύτερο του 30%, ή βραχώδες έδαφος) η πλάκα του οδοστρώματος μπορεί να εδρασθεί απευθείας πάνω στο υπέδαφος αφού προηγουμένως διασφαλισθεί η επιπεδότητα αυτού. Συνιστάται όπως σε όλες τις περιπτώσεις διαστασιολόγησης δύσκαμπτων οδοστρωμάτων να ακολουθούνται πιστά οι οδηγίες και παραδοχές που χρησιμοποιούνται από τη μεθοδολογία που εφαρμόζεται.

Η φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους εκφράζεται τόσο με το CBR όσο και με το μέτρο αντίδρασης  $k$ .

Γενικότερα, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι η ποιότητα του υπεδάφους επηρεάζει λιγότερο την όλη συμπεριφορά και διαστασιολόγηση του δύσκαμπτου οδοστρώματος, σε σχέση με το εύκαμπτο οδόστρωμα.

### **3.3.5.2 Υπόβαση**

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της υπόβασης είναι κοκκώδη φυσικά ή θραυστά αδρανή, σταθεροποιημένα ή όχι με τσιμέντο, όμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται για υποβάσεις και βάσεις σε εύκαμπτα οδοστρώματα.



Η επιφάνεια της υπόβασης θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν επίπεδη, έτσι ώστε να διευκολυνθεί η κατασκευή ομοιόμορφου πάχους πλάκας και να αποφευχθεί η χρήση περισσότερης ποσότητας σκυροδέματος που θα αυξήσει το κόστος της κατασκευής.

Οι νεώτερες μεθοδολογίες διαστασιολόγησης και κατασκευής δύσκαμπτων οδοστρωμάτων επιβάλλουν σήμερα τη χρήση διαχωριστικής αδιαπέρατης μεμβράνης πάνω στην ανώτατη επιφάνεια της υπόβασης. Η μεμβράνη αυτή αποτρέπει την απώλεια νερού από το σκυρόδεμα κατά το στάδιο της πήξης. Επίσης λειτουργεί και ως επίπεδο ολίσθησης στην περίπτωση των άοπλων οδοστρωμάτων εκμηδενίζοντας έτσι την τριβή που αναπτύσσεται στη διεπιφάνεια λόγω των θερμοκρασιακών μεταβολών της πλάκας και κατά την πήξη του σκυροδέματος. Η μη ανάπτυξη τριβών λόγω ύπαρξης της μεμβράνης έχει θετική επίδραση στη μη εμφάνιση περαιτέρω ρωγμών. Στην περίπτωση οπλισμένων με συνεχή οπλισμό οδοστρωμάτων η διαχωριστική μεμβράνη ψεκάζεται με ασφαλτικό γαλάκτωμα ή παραλείπεται εάν οι καιρικές συνθήκες είναι ευνοϊκές για την πήξη του σκυροδέματος. Δηλαδή, στην περίπτωση των οδοστρωμάτων με συνεχή οπλισμό επιδιώκεται η ανάπτυξη δεσμού μεταξύ της πλάκας και της υπόβασης.

Ο ρόλος της υπόβασης στα δύσκαμπτα οδοστρώματα δεν είναι τόσο για την αύξηση της δομικής αντοχής του οδοστρώματος όσο κυρίως για να παρασχεθεί μια στρώση με ομοιόμορφη φέρουσα ικανότητα, προς αποφυγή τοπικών αστοχιών. Είναι γνωστό ότι η συμπεριφορά του υπεδάφους δεν είναι ομοιόμορφη καθ' όλο το μήκος της οδού, λόγω της επίδρασης εξωγενών παραγόντων. Επίσης, η υπόβαση παρέχει μια καλή επιφάνεια για την κυκλοφορία των, βαρέων οχημάτων κατά την κατασκευή.

Οι περιπτώσεις όπου αναμένεται μη ομοιόμορφη συμπεριφορά του υπεδάφους είναι όταν είναι δυνατόν να εμφανισθούν ένα ή περισσότερα από τα παρακάτω φαινόμενα:

- ύπαρξη θερμοκρασιών κάτω του μηδενός (παγετός)

- κακή αποστράγγιση της κατασκευής
- διόγκωση/ συρρίκνωση του υπεδάφους λόγω ύπαρξης αργιλικών υλικών και
- "άντληση" των λεπτόκοκκων υλικών του υπέδαφος.

Η ύπαρξη σωστά σχεδιασμένης υπόβασης εκμηδενίζει τα αρνητικά αποτελέσματα που προέρχονται από τα παραπάνω και τα οποία σε όλες τις περιπτώσεις είναι αιτίες πρόωρης ρηγμάτωσης της πλάκας.

### 3.3.5.3 Πλάκα σκυροδέματος

Η πλάκα σκυροδέματος σε ένα δύσκαμπτο οδόστρωμα σκοπό δεν έχει μόνο να παραλαμβάνει και να μεταβιβάζει τις τάσεις του κυκλοφοριακού φόρτου στο υπέδαφος. Πρέπει επίσης να δύναται να παραλάβει όλες τις αναπτυσσόμενες τάσεις οι οποίες προέρχονται από άλλους παράγοντες, κυρίως, τη μεταβολή της θερμοκρασίας και της υγρασίας του σκυροδέματος και την ογκομετρική αλλαγή του υπεδάφους.

Το υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή της πλάκας είναι το σκυρόδεμα το οποίο, ως γνωστό, αποτελείται από χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα αδρανή, τσιμέντο, νερό και πιθανότατα ένα ή περισσότερα χημικά πρόσθετα.

Τα αδρανή που χρησιμοποιούνται είναι θραυστά ή φυσικά, καθαρά και ανθεκτικά αδρανή. Μεταλλουργικές σκωρίες, αφού θραυστούν στις απαιτούμενες διαστάσεις και εφ' όσον έχουν τις απαιτούμενες ιδιότητες των προδιαγραφών, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως αδρανή για την παραγωγή του σκυροδέματος.

Η κοκκομετρική διαβάθμιση του τελικού μίγματος των αδρανών δεν είναι τόσο αυστηρή όσο στην περίπτωση παραγωγής ασφαλτικών μιγμάτων. Συνήθως καθορίζεται η αναλογία άμμου (κόκκοι μικρότεροι των 5 mm) και χονδρόκοκκων αδρανών (κόκκοι μεγαλύτεροι των 5 mm). Οργανισμοί και

χώρες χρησιμοποιούν τις δικές τους κοκκομετρικές καμπύλες που όλες λίγο πολύ είναι παρόμοιες μεταξύ τους.

Ο μέγιστος κόκκος των αδρανών που θα χρησιμοποιηθεί για το σκυρόδεμα δύσκαμπτων οδοστρωμάτων, καθορίζεται από το πάχος της πλάκας. Τα αδρανή, ιδιαίτερα η άμμος, θα πρέπει να είναι από σκληρά πετρώματα μη ασβεστολιθικής προέλευσης έτσι ώστε, με τη λείανση που επέρχεται από την κυκλοφορία, να μη χάνεται η επιτευχθείσα μικροϋφή της επιφάνειας.

Το τσιμέντο που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του σκυροδέματος είναι το κανονικό τσιμέντο Portland. Το νερό, όπως και στην περίπτωση παραγωγής κάθε είδους σκυροδέματος, θα πρέπει να είναι πόσιμο και γενικά απαλλαγμένο από ουσίες που μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα του σκυροδέματος.

Στο σκυρόδεμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν χημικά πρόσθετα με σκοπό να βελτιώσουν την εργασιμότητα, ή/και να αυξήσουν τη θερμοκρασία ενυδάτωσης, με σκοπό να αναμιγνύεται και να διαστρώνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες, ή/και να επιταχύνουν την ανάπτυξη της αντοχής του σκυροδέματος κατά τα πρώτα στάδια της σκλήρυνσης. Σε όλες τις περιπτώσεις η προσθήκη οποιουδήποτε προσθετικού είναι επιτρεπτή εφ' όσον επιτυγχάνεται η προδιαγραφείσα αντοχή του σκυροδέματος.

Αρκετά συνήθης είναι η χρήση προσθετικών για την αποτροπή της απόμιξης του σκυροδέματος, της μείωσης της διαπερατότητας, της αύξησης της εργασιμότητας, της αύξησης της αντίστασης σε παγοπληξία και της γενικότερης αντοχής σε καιρικές συνθήκες. Πλην όμως, η προσθήκη ορισμένων προσθετικών, παρ' όλα τα θετικά αποτελέσματα που έχει, μειώνει ελαφρώς την αντοχή του σκυροδέματος.

#### **3.3.5.4 Κατασκευή δύσκαμπτων οδοστρωμάτων**

Η κατασκευή των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων χαρακτηρίζεται από την εμπλοκή (χρήση) ειδικά σχεδιασμένων μηχανημάτων το καθένα από τα οποία

εκτελεί και μια συγκεκριμένη αποστολή. Έτσι γίνεται φανερό ότι θα πρέπει να υπάρχει καλός συντονισμός των εργασιών κατά την κατασκευή, ώστε να παραχθεί ποιοτικό αποτέλεσμα με το ελάχιστο των καθυστερήσεων.

Κατά την κατασκευή τα βασικά στάδια που ακολουθούνται είναι:

1. Προετοιμασία του υπεδάφους ή/και της υπόβασης
2. Τοποθέτηση των τύπων (εάν χρησιμοποιείται αυτή η μέθοδος)
3. Τοποθέτηση των αρμών και του οπλισμού (εάν χρησιμοποιείται)
4. Ανάμιξη και εκφόρτωση του σκυροδέματος
5. Διάστρωση του σκυροδέματος
6. Συμπύκνωση και μόρφωση του σκυροδέματος
7. Σκλήρυνση του σκυροδέματος

Η προετοιμασία του υπεδάφους ή/και της υπόβασης κυρίως συνίσταται στην επαρκή συμπύκνωση. Αυτό επιτυγχάνεται με την ίδια τεχνική και μηχανήματα που χρησιμοποιούνται στα εύκαμπτα οδοστρώματα.

Η τοποθέτηση των τύπων είναι μια χρονοβόρα αλλά αναγκαία διαδικασία. Οι τύποι που συνήθως χρησιμοποιούνται σήμερα είναι σιδηρές πλάκες. Η μέθοδος κατασκευής με σταθερούς τύπους ονομάζεται "διάστρωση με σταθερούς τύπους". Γίνεται αντιληπτό ότι στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να υπάρχει αρκετά μεγάλος αριθμός τύπων έτσι ώστε να υπάρχει ικανοποιητική και συνεχής απόδοση των εργασιών.

Σε αντίθεση με τον παραπάνω τύπο διάστρωσης αναπτύχθηκε και χρησιμοποιείται η μέθοδος "διάστρωσης με ολίσθηση των τύπων". Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ευκολία και ταχύτητα κατασκευής.

Η τοποθέτηση των αρμών, οπωσδήποτε των αρμών διαστολής, των αρμών κύρτωσης, των διαμηκών αρμών και του σιδηρού οπλισμού γίνεται χειρωνακτικά πάνω στην προετοιμασθείσα επιφάνεια. Οι αρμοί συστολής μπορούν να κατασκευασθούν και αμέσως μετά τη διάστρωση του σκυροδέματος, εφ' όσον υπάρχει το κατάλληλο μηχάνημα τοποθέτησής τους.

Η ανάμιξη και η εκφόρτωση του σκυροδέματος γίνεται με τα συνήθη μηχανήματα παραγωγής και μεταφοράς σκυροδέματος.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι στην Ελλάδα μέχρι σήμερα δεν έχει εκτελεσθεί κανένα ουσιαστικό έργο οδοποιίας στο οποίο να χρησιμοποιήθηκε δύσκαμπτο οδόστρωμα. Η μελλοντική μελέτη δύσκαμπτων οδοστρωμάτων θα πρέπει να τεκμηριώνεται από πλήρη και ορθή τεχνο-οικονομική μελέτη σε σύγκριση με τα εύκαμπτα οδοστρώματα. Επίσης, σε περίπτωση μελλοντικής εφαρμογής θα πρέπει να διασφαλισθεί η ύπαρξη κατάλληλου μηχανικού εξοπλισμού και η επαρκής εκπαίδευση του προσωπικού που πρόκειται να εκτελέσει το έργο.

### **3.4 Συγκρίσεις ευκάμπτων – δύσκαμπτων οδοστρωμάτων**

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

Τα πλεονεκτήματα των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων σε σχέση με τα εύκαμπτα είναι τα εξής:

1. Μεγάλη διάρκεια ζωής σε σχέση με τους ασφαλτικούς τάπητες.
2. Επιφάνεια ομαλή, κανονική, όχι ολισθηρή και με μεγάλο βαθμό συνάφειας.
3. Καλύτερη ορατότητα την νύχτα (σχ.10) .



**Σχήμα 10. Σύγκριση της ορατότητας τη νύχτα μεταξύ εύκαμπτου και δύσκαμπτου οδοστρώματος**

4. Κατασκευή με υλικά εσωτερικής προέλευσης.

Τα μειονεκτήματα των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων σε σχέση με τα εύκαμπτα είναι τα εξής:

1. Μεταβολές θερμοκρασίας και κακή ποιότητα εδάφους έδρασης προκαλούν ρηγματώσεις.
2. Η ύπαρξη αρμών αποτελεί σοβαρό πρόβλημα.
3. Μεγάλη διακοπή της κυκλοφορίας κατά την διάρκεια επισκευής.
4. Μεγάλο κόστος κατασκευής πλευρικών λωρίδων εγκιβωτισμού.
5. Θόρυβος από τη διέλευση των οχημάτων.
6. Δυσχέρειες στην κατασκευή κατά τη μετάβαση από όρυγμα σε επίχωμα.

## **4. ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΜΑΚΡΑΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ**

### **4.1 Γενικά**

Σαν οδοστρώματα μακράς διάρκειας ορίζονται τα ασφαλτικά οδοστρώματα που είναι σχεδιασμένα και κατασκευασμένα με διάρκεια ζωής μεγαλύτερη από 50 χρόνια χωρίς να απαιτείται σημαντική συντήρηση ή ανακατασκευή, και οι μόνες επεμβάσεις που κρίνονται απαραίτητες είναι μια περιοδική αντικατάσταση – ανανέωση της επιφάνειας τους με σκοπό την αντιμετώπιση των φθορών, που περιορίζονται στα ανώτερα στρώματα.

Η έννοια των οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας δεν είναι καινούργια. Παλιότερα, την δεκαετία του 1960, είχαν αναπτυχθεί στις Η.Π.Α. τύποι οδοστρωμάτων οι οποίοι αν ήταν καλά σχεδιασμένοι και καλά κατασκευασμένοι μπορούσαν να έχουν μεγάλης διάρκειας χρήσιμη ζωή ακόμα και κάτω από βαριά κυκλοφοριακά φορτία. Χαρακτηριστικά αναφέρονται τα οδοστρώματα (Mahoney Joe P.(2001),” Study of Long-Lasting Pavements in Washington State”, University of Washington, Transportation Research Circular “Perpetual Bituminous Pavements”,pp. 88-95 ) :

- Full depth, χρησιμοποιούνταν ασφαλτικές στρώσεις για όλες τις στρώσεις πάνω από την υπόβαση. Έχουν καλή απόδοση όταν το υποκείμενο έδαφος δεν είναι επιρρεπές σε καθιζήσεις και αλλαγή του όγκου του.

- Deep strength, ασφαλτική επιφανειακή στρώση και ασφαλτική βάση πάνω από σχετικά λεπτές στρώσεις (4-6 ίντσες) με αδρανή πολύ μικρής κοκκομετρικής διαβάθμισης, πάνω από την υπόβαση. Η κατώτερη στρώση λειτουργεί σαν ένα «δάπεδο εργασίας» που παρέχει προστασία έναντι αλλαγών του όγκου και καθιζήσεων των υποκείμενων εδαφών.

Βασικά πλεονεκτήματα τους είναι τα εξής παρακάτω:

- λεπτότερα σε σχέση με τους υπόλοιπους τύπους κατασκευής οδοστρωμάτων, οι οποίοι αποτελούνταν από λεπτές στρώσεις ασφάλτου σε παχιές στρώσεις αδρανών. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα οι ρωγμές λόγω κόπωσης μπορούν να μειωθούν και οι φθορές των οδοστρωμάτων περιορίζονται στις ανώτερες στρώσεις της κατασκευής.

- μετά την διάρκεια των 20 ετών τα περισσότερα από αυτά χρειάζονταν μόνο μια αντικατάσταση – ανανέωση της επιφανειακής τους στρώσης είτε τοποθετώντας νέα άσφαλτο στην ήδη υπάρχουσα, είτε ξηλώνοντας της παλιά και τοποθετώντας νέα. Πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι όταν το επίπεδο εξυπηρέτησης του οδοστρώματος φτάσει σε ένα κρίσιμο επίπεδο, τότε μια οικονομική λύση θα ήταν να αφαιρεθεί η ανώτερη στρώση και να αντικατασταθεί από άλλη παρόμοιου πάχους. Το υλικό που αφαιρείται μπορεί

να ξαναχρησιμοποιηθεί. Έτσι επιτυγχάνεται η ταχύτητα της κατασκευής και η μείωση του κόστους της.

Η πρόκληση για σήμερα είναι να κατασκευαστεί μια μακράς διάρκειας επιφάνεια πάνω σε μία μακράς διάρκειάς υποστηρικτική κατασκευή. Η σύγχρονη φιλοσοφία σχεδιασμού και κατασκευής είναι βασισμένη σε γνώσει του παρελθόντος αλλά θεωρεί το οδόστρωμα σαν ένα ενιαίο σύστημα παρά σαν μια συλλογή από ανεξάρτητες στρώσεις. Οι πρόσφατες προσπάθειες στην επιλογή των υλικών, το σχεδιασμό των μιγμάτων, τα τεστ αντοχής και απόδοσης, τον σχεδιασμό των μιγμάτων προσφέρουν μια μεθοδολογία η οποία μπορεί να αναπτυχθεί έτσι ώστε να αποκτήσουμε οδοστρώματα με μακροχρόνια απόδοση, μεγαλύτερη από 50 χρόνια, ενώ περιοδικά περίπου κάθε 20 χρόνια θα γίνονται οι κατάλληλες επεμβάσεις αποκατάστασης της επιφανειακής στρώσης.

Ένα ανθεκτικό οδόστρωμα συνδυάζει μία ανθεκτική, στεγανή και ικανή να φέρει φορτία ανώτερη στρώση σε συνδυασμό με ένα ανθεκτικό σε παραμορφώσεις ενδιάμεσο στρώμα και ένα ανθεκτικό στρώμα υπόβασης. Εφαρμόζοντας τον κατάλληλο σχεδιασμό και επιλέγοντας υλικά ανάλογα με την τοποθέτησή τους στην κατασκευή, είναι δυνατόν να επιτευχθεί ένα αποτέλεσμα με ικανοποιητικά μεγάλη διάρκεια ζωής. Αυτή η μεθοδολογία σχεδιασμού μπορεί να υιοθετηθεί για κάθε οδόστρωμα για το οποίο απαιτείται η μείωση του κόστους ανακατασκευής και αποκατάστασης όπως επίσης και η καθυστέρηση της κυκλοφορίας κατά την διάρκεια των παραπάνω εργασιών. Οι παραπάνω θεωρήσεις είναι ιδιαίτερα σημαντικές για αυτοκινητόδρομους με μεγάλους κυκλοφοριακούς φόρτους και μεγάλα αεροδρόμια όπου το κόστος καθυστέρησης μπορεί να είναι σημαντικό, αλλά μπορούν βεβαίως να εφαρμοστούν και σε μικρότερης κατηγορίας δρόμους και αεροδρόμια όπου υπάρχει η ανάγκη για ελαχιστοποίηση του κόστους συντήρησης των μελλοντικών επεμβάσεων. Μια ανάλυση του κόστους κύκλου ζωής περιλαμβανομένου και του κόστους καθυστέρησης, μπορεί να διενεργηθεί για να συγκριθούν οι διάφορες τεχνικές κατασκευής οδοστρωμάτων. Σε αυτήν την



διαδικασία, πρέπει να ληφθεί υπ' όψη και μια ρεαλιστική εκτίμηση του μελλοντικού κεφαλαίου που θα διατεθεί για τις εργασίες αποκατάστασης. Εάν η εκτίμηση αυτού του κεφαλαίου είναι αβέβαιη, τότε η αρχική κατασκευή ενός οδοστρώματος με μεγαλύτερο πάχος θα μπορέσει να μειώσει το χρηματικό ποσό που θα χρειαστεί να δαπανηθεί το μέλλον για συντήρηση.

Τα οδοστρώματα πρέπει να σχεδιάζονται και να κατασκευάζονται έτσι ώστε να διασφαλίζουν την καλή απόδοση κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες κυκλοφορίας, κλίματος και εδαφών που επικρατούν στην περιοχή. Για παράδειγμα, αν δεν δοθεί η κατάλληλη προσοχή στον πάγο, τότε η ποιότητα οδήγησης μπορεί να μειωθεί από καλή σε φτωχή σε διάστημα μερικών μηνών, καθώς υπάρχει κίνδυνος να επηρεαστεί η υπόβαση. Άλλα προβλήματα απόδοσης σε οδοστρώματα τέτοιου τύπου μπορούν να περιλαμβάνουν απώλεια συνάφειας μεταξύ των ενδιάμεσων στρωμάτων και ρηγματώσεις λόγω θερμοκρασίας τα οποία μπορούν να επιφέρουν απώλεια της ποιότητας και ασφάλειας οδήγησης και να προκαλέσουν περαιτέρω φθορές, τόσο στην επιφάνεια όσο και στα εσωτερικά στρώματα της κατασκευής. Η επιρροή τους μπορεί να γίνει ακόμα μεγαλύτερη αν δεν γίνει η κατάλληλη επιλογή των υλικών κατά την αποκατάστασή τους.

## **4.2 Μηχανιστικός σχεδιασμός οδοστρωμάτων**

Η βασική απαίτηση του σχεδιασμού οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας είναι μια ασφαλική στρώση από θερμό ασφαλτόμιγμα με επαρκές πάχος τοποθετημένη πάνω σε μια στερεή θεμελίωση η οποία μειώνει τις τάσεις που προέρχονται από τη βάση του οδοστρώματος και τελικά απαιτούν δαπανηρή συντήρηση για να αποκατασταθούν ικανοποιητικά. Κατασκευαστικά, το οδόστρωμα θα πρέπει να έχει τον κατάλληλο συνδυασμό δυσκαμψίας – πάχους έτσι ώστε να αντιστέκεται στις παραμορφώσεις των υλικών θεμελίωσης ή των υποκείμενων στρωμάτων και κατά συνέπεια οι βλάβες οι οποίες παρουσιάζονται

να μην οφείλονται σε κατασκευαστικές ή υλικές ανεπάρκειες. Τελικά, οι ασφαλικές στρώσεις θα πρέπει να έχουν αρκετό πάχος και τις κατάλληλες ιδιότητες τέτοιες ώστε να αντιστέκονται στις ρωγμές λόγω κόπωσης που προέρχονται από τη βάση της κατασκευής.

Μέχρι πρόσφατα οι περισσότερες μεθοδολογίες σχεδιασμού δεν λάμβαναν υπ' όψιν την συνεισφορά του κάθε στρώματος στην αντίσταση κατά των ρωγμών, των παραμορφώσεων, και των ρηγματώσεων λόγω θερμοκρασίας στην κατασκευή. Αφού το κάθε στρώμα έχει τον δικό του μοναδικό ρόλο στην συμπεριφορά και απόδοση του οδοστρώματος, μια βελτιωμένη μέθοδος σχεδιασμού απαιτείται για την ανάλυση του κάθε στρώματος ξεχωριστά. Οι παλαιότερες εμπειρικές μέθοδοι όπως η California Bearing Ratio CBR (Ρέζος 2005) ή η μέθοδος της American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (Ρέζος 2005) δεν μπορούν να λάβουν υπ' όψιν την συνεισφορά διαφορετικών ασφαλικών μιγμάτων σε ένα οδόστρωμα, αλλά η μηχανιστική εμπειρική μέθοδος μπορεί.

Οι μηχανιστικές τεχνικές για τον σχεδιασμό ασφαλικών οδοστρωμάτων είναι γνωστές από το 1960 αν και έγιναν ευρέως γνωστές και εφαρμόστηκαν τις δεκαετίες 1980 και 1990. Η μεθοδολογία σχεδιασμού είναι περίπου η ίδια όπως και οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιούν οι μηχανικοί και σε άλλες κατασκευές όπως γέφυρες, κτίρια και φράγματα. Ειδικότερα, οι αρχές της μηχανικής χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της απόκρισης του οδοστρώματος σε διάφορες κλιματολογικές συνθήκες και φορτίσεις. Γνωρίζοντας τα κρίσιμα σημεία της κατασκευής είναι δυνατόν, επιλέγοντας τα κατάλληλα υλικά και πάχη των στρώσεων, να σχεδιαστεί έτσι ώστε να έχει την απαιτούμενη αντοχή για να μπορεί να αντιμετωπίσει τους διάφορους τύπους φθορών και αστοχιών. Στην περίπτωση των οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας, απαιτείται η παροχή αρκετής δυσκαμψίας στις ανώτερες ασφαλικές στρώσεις για να αποφευχθούν οι παραμορφώσεις και οι ρηγματώσεις και αρκετό συνολικό πάχος στρώσεων και ευκαμψία στις κατώτερες στρώσεις για να αποφευχθούν οι ρωγμές λόγω

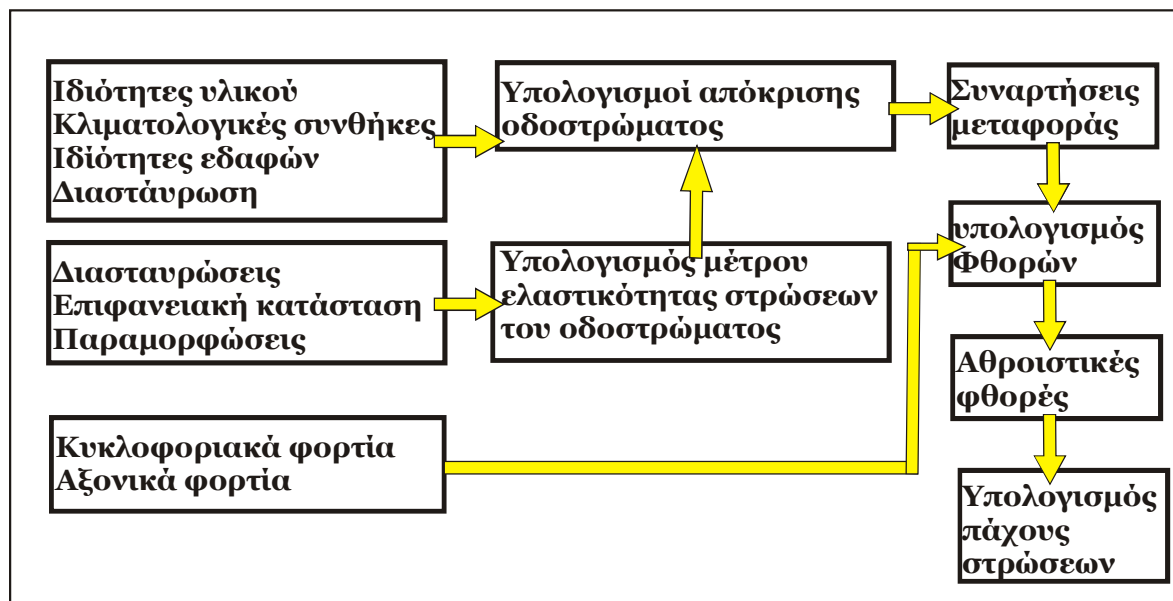
εφελκυστικής καταπόνησης και της κάθετης θλιπτικής τάσης στην κορυφή της υπόβασης. Επιπλέον δύο ακόμη κριτήρια χρησιμοποιούνται για τον μηχανιστικό εμπειρικό υπολογισμό του πάχους σχεδιασμού.

Το ένα βασίζεται στην ελαχιστοποίηση των φθορών που θα εμφανιστούν στην επιφάνεια κάτω από την επίδραση των φορτίων και το άλλο είναι βασισμένο στον περιορισμό του μέτρου ελαστικότητας (το οποίο είναι μέτρο της ικανότητας διάχυσης των φορτίων) μεταξύ δυο συνεχόμενων ασύνδετων στρώσεων οδοστρώματος. Ενδεικτικά αναφέρεται η μεθοδολογία σχεδιασμού που ανέπτυξαν το 1992 οι Monismith και Long (Monismith and Long 1999) η οποία προτείνει ότι η οριακή εφελκυστική παραμόρφωση στη βάση των ασφαλικών στρωμάτων δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 60με (μικρά) και στην κορυφή της υπόβασης η κατακόρυφη θλιπτική παραμόρφωση πρέπει να μειωθεί στα 200με. Παρακάτω παρουσιάζεται η μηχανιστική θεωρία σχεδιασμού που ανέπτυξαν όπου οι ιδιότητες του υλικού, οι κλιματολογικές συνθήκες και η απόδοση είναι συνδυασμένες στον καθορισμό του απαιτούμενου τμήματος της κατασκευής του οδοστρώματος.

Παρακάτω δίνεται το διάγραμμα ροής ενός τυπικού μηχανιστικού – εμπειρικού μοντέλου (Σχ.11) . Αυτό το είδος προσέγγισης χρειάζεται, γιατί οι πιο πολλές σύγχρονες τεχνικές σχεδιασμού βασίζονται στο γεγονός ότι συνεχόμενα οδοστρώματα μεγάλου πάχους χρειάζονται για αυξημένη διάρκεια ζωής. Στην πραγματικότητα, αυτό που απαιτείται είναι μια αναγνώριση ότι τα κατασκευαστικά προβλήματα στα ασφατικά οδοστρώματα δεν συμβαίνουν όταν οι τάσεις στο οδόστρωμα μειώνονται σε οριακές ποσότητες.

Το τμήμα συγκοινωνιακών έργων και μεταφορών της πολιτείας της Washington (Washington State Department Of Transportation WSDOT) χρησιμοποιεί μηχανιστικές μεθόδους σχεδιασμού οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας από τα τέλη της δεκαετίας του 1980. Η φιλοσοφία πάνω στην οποία είναι βασισμένο είναι η χρησιμοποίηση μιας μεταφορικής συνάρτησης κόπωσης η οποία αναπτύχθηκε από τον Monismith (Monismith and Long 1999) και

συνδέει πειραματικά την εφελκυστική παραμόρφωση, το μέτρο ελαστικότητας του ασφαλτικού μίγματος και τον αριθμό των κύκλων φόρτισης μέχρι την αστοχία. Ένας συντελεστής ισοδυναμίας με τιμές μεταξύ του 4 και του 10 χρησιμοποιείται για να συσχετίσει την εργαστηριακή απόδοση με την πραγματική στο πεδίο. Η συνάρτηση μετάδοσης των παραμορφώσεων που χρησιμοποιείται προτάθηκε από τον Santucci (1977). Σε σύγκριση με τον σχεδιασμό ασφαλτικών επικαλύψεων του WSDOT η μέθοδος που προτείνει η αμερικάνικη ένωση των κρατικών αυτοκινητοδρόμων και των μεταφορών (American Association Of State Highway And Transportation Officials AASHTO) είναι πιο συντηρητική (AASHTO).



**Σχήμα 11 . Μεθοδολογία μηχανιστικού σχεδιασμού**

Το τμήμα μεταφορών του Illinois (Illinois Department Of Transportation IDOT) χρησιμοποιεί μια μηχανιστική προσέγγιση στον σχεδιασμό οδοστρωμάτων που αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο του Illinois. Αυτή είναι βασισμένη πάνω στα αποτελέσματα μιας ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα ILLI-PAVE. Μια εξίσωση για την κόπωση χρησιμοποιείται, η οποία είναι βασισμένη στις εντάσεις, η οποία έχει σαν δεδομένα την αναλογία του ασφαλτικού μίγματος, την εφελκυστική ένταση και

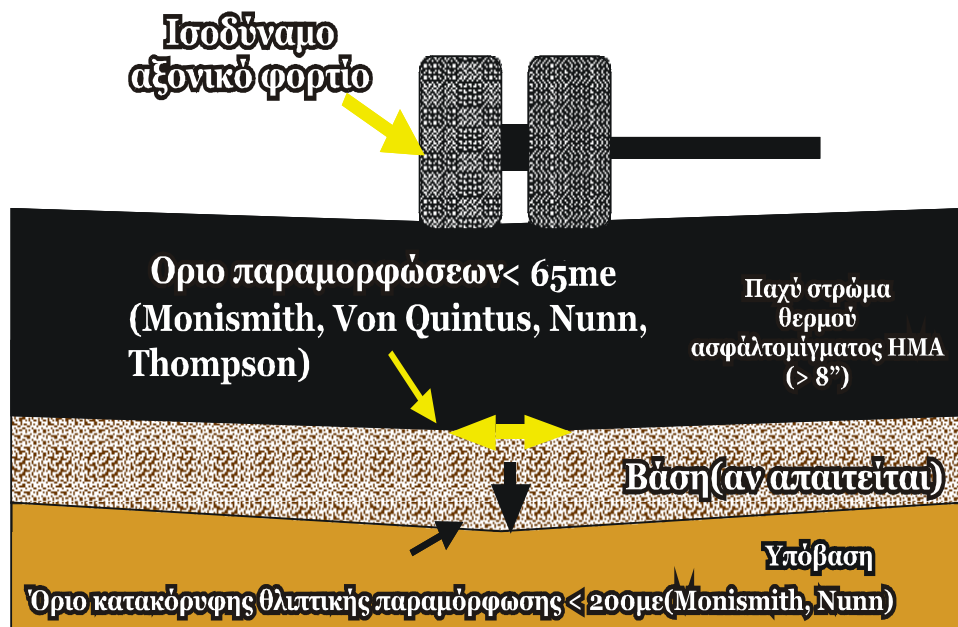
την απόδοση του πεδίου. Η παραπάνω διαδικασία είναι κατοχυρωμένη από το τμήμα μεταφορών του Illinois.

Η πολιτεία της Minnesota έχει επίσης αναπτύξει μια μεθοδολογία σχεδιασμού βασισμένη σε πληροφορίες που συλλέχθηκαν από ερευνητικά προγράμματα που έχουν εκπονηθεί κατά καιρούς πάνω στα οδοστρώματα της πολιτείας. Το πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή WESLEA (Waterways Experiment Station Layered Elastic Analysis), το οποίο λαμβάνει υπ' όψιν την ελαστικότητα των στρώσεων του οδοστρώματος, χρησιμοποιήθηκε για να υπολογιστούν οι αποκρίσεις της κατασκευής στα δεδομένα κυκλοφοριακά φορτία. Η παραπάνω διαδικασία αναπτύχθηκε και τροποποιήθηκε για αποκλειστική χρήση από το τμήμα μεταφορών της Minnesota.

Οι Βρετανικές υπηρεσίες χρησιμοποιούν ένα μηχανιστικό σχεδιασμό που αναπτύχθηκε από τον Powel (1984) για να υπολογίσουν τις αποκρίσεις ενός οδοστρώματος στα κρίσιμα φορτία της κατασκευής. Αυτή στα πρώτα στάδια ήταν βασισμένη στην υπόθεση των μέγιστων φθορών που μπορούν να εμφανιστούν σε ένα οδόστρωμα κάτω από επαναλαμβανόμενα φορτία από κοινά οχήματα. Επιπλέον, ανεξάρτητα από το πάχος του οδοστρώματος, υποθέτει ότι οι ρωγμές ή οι παραμορφώσεις θα συμβούν τελικά. Στην πραγματικότητα, ο Nunn (1997) βρήκε ότι στις παχιές ασφαλτικές στρώσεις στα οδοστρώματα, υπάρχει ένα ανώτατο όριο για την τιμή του πάχους πέρα από το οποίο ρωγμές λόγω κόπωσης στη βάση του ασφαλτικού στρώματος και κατασκευαστικές παραμορφώσεις δεν εμφανίζονται σε καλά κατασκευασμένες κατασκευές. Το αποτέλεσμα ήταν η καθιέρωση ενός διαγράμματος σχεδιασμού στο οποίο το πάχος του οδοστρώματος που αντιστοιχεί σε περισσότερα από 80 εκατομμύρια ισοδύναμα μονοαξονικά φορτία δεν αλλάζει. Αυτή η προσέγγιση στο σχεδιασμό οδοστρωμάτων εισαγάγει μια νέα φιλοσοφία: το αυξανόμενο κυκλοφοριακό φορτίο δεν έχει απαραίτητα ως αποτέλεσμα μεγαλύτερο πάχος στις στρώσεις ενός εύκαμπτου οδοστρώματος. Αυτό γίνεται γιατί το επίπεδο καμπτικών παραμορφώσεων στο κατώτερο ασφαλτικό στρώμα, κάτω από το

οποίο φθορές λόγω κόπωσης δεν θα εμφανιστούν, κάθε επιπλέον πάχος ασφαλτικής στρώσης θα ήταν περιττό. Το επίπεδο παραμορφώσεων είναι γνωστό και ως όριο αντοχής.

Ο μηχανιστικός σχεδιασμός χρησιμοποιείται από πολλές υπηρεσίες σαν μια βελτιωμένη και αξιόπιστη μέθοδος ανάλυσης οδοστρωμάτων και υπολογισμού του μεγέθους και της επιρροής των αλλαγών στα υλικά και στα κυκλοφοριακά φορτία. Τελικά οποιαδήποτε μεθοδολογία χρησιμοποιηθεί, θα πρέπει να είναι σύμφωνη με τις αρχές και τις ιδιότητες που διέπουν τα οδοστρώματα μακράς διάρκειας (σχ.12) (Ρέζος 2005) , συμπεριλαμβανομένου και της επιρροής του ορίου κόπωσης στις συνδετικές στρώσεις για κατακόρυφες από κάτω προς τα πάνω ρηγματώσεις που προέρχονται από φορτία αλλά και τον περιορισμό των κατασκευαστικών παραμορφώσεων. Η διαδικασία που ακολουθείται, επιπλέον, θα πρέπει να βασίζεται περισσότερο στον σχεδιασμό με βάση την μέγιστη ένταση και λιγότερο στον σχεδιασμό με βάση την κρίσιμη παραμόρφωση ή τις κρίσιμες φθορές.



Σχήμα 12. Προδιαγραφές μηχανιστικού σχεδιασμού

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές του μηχανιστικού σχεδιασμού η οριακή εφελκυστική παραμόρφωση στη βάση του ασφαλτικού οδοστρώματος πρέπει να είναι ίση ή μικρότερη από 65 microstrains ( $\epsilon_t \leq 65$  micro strains) και η θλιπτική αντοχή στην κορυφή της ασφαλτικής στρώσης ίση ή μικρότερη από 200 microstrains ( $\epsilon_c \leq 200$  microstrains).

### **4.3 Σύγχρονα υλικά και μίγματα που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας**

#### **4.3.1 Τροποποιημένη άσφαλτος**

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

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

Η βελτίωση που επιζητείται στο σύνολό της, είναι η μείωση της ευπάθειας της ασφάλτου στις θερμοκρασιακές μεταβολές και παράλληλα η αύξηση του μέτρου δυσκαμψίας της και η ταυτόχρονη βελτίωση της ελαστικότητας και της

συγκολλητικής της ικανότητας. Με άλλα λόγια η ασφαλτος θα έπρεπε να μη μαλακώνει τόσο πολύ στις υψηλές θερμοκρασίες, να μη "ρηγματώνεται" ή θραύεται στις χαμηλές υπό το μηδέν θερμοκρασίες και να προσφύεται καλύτερα στα αδρανή. Η χημική βιομηχανία ανταποκρίθηκε στα παραπάνω αιτήματα και παρουσίασε ένα μεγάλο αριθμό χημικών προσθέτων (τροποποιητών) που το καθένα ικανοποιεί περισσότερο ή λιγότερο ορισμένες ή όλες τις παραπάνω απαιτήσεις. Τροποποίηση της ασφάλτου μπορεί να γίνει με την προσθήκη:

- Πολυμερών (ελαστομερών, θερμοπλαστικών, θερμοσκληρυνόμενων)
- Φυσικών ή τεχνητών ινών
- Οξειδωτικών
- Φυσικών ή χημικών υλικών
- Αναγωγικών
- Υδρογονανθράκων

#### **4.3.1.1 Χρήση και ρόλος της τροποποιημένης ασφάλτου**

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

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



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

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

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

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

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

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

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

#### **4.3.2 Θερμά ασφαλτομίγματα**

Στην κατασκευή των ευκάμπτων οδοστρωμάτων χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι ασφαλτομιγμάτων, ανάλογα με τις απαιτήσεις του έργου. Έτσι διασφαλίζεται η βέλτιστη αξιοποίηση του υλικού. Η δυνατότητα χρησιμοποίησης πλέον του ενός ασφαλτομίγματος προϋποθέτει την ύπαρξη:

- κατάλληλης ποιότητας και διαβάθμισης αδρανών
- κατάλληλου τύπου ασφάλτου
- κατάλληλου μηχανολογικού και μηχανικού εξοπλισμού
- τεχνογνωσίας των εμπλεκόμενων (μελετητών και κατασκευαστών) και
- σαφών και άρτιων προδιαγραφές

Βεβαίως, από όλους τους τύπους των ασφαλτομιγμάτων που υπάρχουν κάθε χώρα χρησιμοποιεί αυτούς που νομίζει ότι εξυπηρετούν καλύτερα τις ανάγκες της σε συνδυασμό με τις κλιματολογικές της συνθήκες.

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

Τα ασφαλτομίγματα θα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα:

- να ανθίστανται στην παραμένουσα παραμόρφωση
- να ανθίστανται στη ρηγμάτωση από κόπωση
- να συνεισφέρουν στη φέρουσα ικανότητα του οδοστρώματος
- να είναι αδιαπέρατα από νερό για να προστατεύουν τις υποκείμενες

στρώσεις

- να παρουσιάζουν καλή εργασιμότητα κατά τη διάστρωση
- να συμπυκνώνονται με τα διαθέσιμα μηχανήματα
- να συντηρούνται εύκολα και
- να είναι μικρού κατά το δυνατόν κόστους.
- Επιπροσθέτως, τα ασφαλτομίγματα για τάπητες κυκλοφορίας θα

πρέπει:

- να ανθίστανται στη λειαντική δράση των ελαστικών και στην καταστροφική επίδραση των καιρικών συνθηκών του περιβάλλοντος, παρέχοντας καλή και μακράς διάρκειας ζωής αντιολισθηρή επιφάνεια

- να παρέχουν ομαλή επιφάνεια για άνετη και ασφαλή οδήγηση
- να παρέχουν επιφάνεια ώστε ο δημιουργούμενος θόρυβος από τους τροχούς των οχημάτων να είναι ανεκτός

- να παρέχουν επιφάνεια που να απαιτεί όσο το δυνατόν λιγότερη συντήρηση.

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

#### **4.3.2.1 Χαρακτηριστικοί τύποι θερμών ασφαλτομιγμάτων**

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

Ορισμένες χώρες όπως, οι Η.Π.Α., η Αγγλία, η Γερμανία και η Γαλλία, πρωτοπόρες στη σύλληψη και παραγωγή ασφαλτομιγμάτων, ανέπτυξαν εδώ και πάρα πολλά χρόνια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ασφαλτομίγματα τα οποία χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα. Τα χαρακτηριστικά αυτά μίγματα είναι το ασφαλτικό σκυρόδεμα, τα μίγματα Μακάνταμ, το κυλινδρούμενο θερμό ασφαλτόμιγμα, η μαστίχη ασφάλτου και το Γκούσασφαλτ.

Το βασικό χαρακτηριστικό όλων των παραπάνω ασφαλτομιγμάτων, πλην του HRA, είναι ότι η κοκκομετρική καμπύλη του μίγματος των αδρανών είναι συνεχής, δηλαδή υπάρχουν όλα τα κλάσματα των αδρανών σε μικρή ή μεγάλη αναλογία. Αναλόγως της ποσότητας κάθε κλάσματος των αδρανών, τα μίγματα χαρακτηρίζονται ως ανοικτής, μέσης, πυκνής ή πολύ πυκνής διαβάθμισης ασφαλτομίγματα. Έτσι, διαθέτουν από πολλά έως πολύ λίγα κενά αέρος και

συνεπώς είναι περισσότερο διαπερατά ή σχεδόν αδιαπέρατα από αέρα (ή νερό), αντίστοιχα. Το μίγμα με τα περισσότερα κενά αέρος είναι το ανοικτής διαβάθμισης (ανοικτού τύπου) Macadam, ενώ το μίγμα με τα λιγότερα κενά αέρος είναι η ασφαλική μαστίχη. Τα υπόλοιπα μίγματα κατά φθίνουσα σειρά κενών αέρα είναι: το πυκνής διαβάθμισης (κλειστού τύπου) Macadam, το ασφαλικό σκυρόδεμα, το HRA, και το Γκούσασφαλτ.

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

Μια άλλη χαρακτηριστική διαφορά μεταξύ όλων των προαναφερθέντων ασφαλτομιγμάτων είναι ο τρόπος που αναπτύσσουν την αντοχή τους ή γενικότερα ο μηχανισμός μεταφοράς των τάσεων διαμέσου του μίγματος. Πλην όμως, στο σημείο αυτό θα πρέπει να ειπωθεί ότι τα ασφαλτομίγματα οφείλουν την αντοχή τους σε δύο βασικούς παράγοντες:

- στη δυσκαμψία του ασφαλτοκονιάματος (άσφαλτος / άμμος /παιπάλη) και
- στην τριβή και σύμπλεξη των αδρανών μεταξύ τους.

Στον πρώτο παράγοντα οφείλει αποκλειστικά και μόνο την αντοχή της η ασφαλική μαστίχη, ενώ η αντοχή του μίγματος ανοικτής διαβάθμισης Macadam οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στην τριβή και σύμπλεξη των αδρανών

#### **4.3.2.2 Ασφαλικό σκυρόδεμα**

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

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

Τα ασφαλτικά σκυροδέματα χρησιμοποιούνται σε όλες τις ασφαλτικές εργασίες, δηλαδή για τάπητα κυκλοφορίας, συνδετική στρώση, ισοπεδωτική στρώση και ασφαλτική βάση. Η άσφαλτος που χρησιμοποιείται είναι συνήθως 40/50 έως και 180/200 pen, αναλόγως των κλιματολογικών συνθηκών και του κυκλοφοριακού φόρτου. Η άσφαλτος μπορεί να είναι κοινή πετρελαϊκή άσφαλτος ή τροποποιημένη άσφαλτος. Η περιεκτικότητα της ασφάλτου στο ασφαλτικό σκυρόδεμα κυμαίνεται συνήθως από 4.5% έως 7% κατά βάρος του μίγματος, αναλόγως της κοκκομετρικής καμπύλης του χρησιμοποιημένου αδρανούς. Η σύνθεση των ασφαλτικών σκυροδεμάτων είναι τέτοια ώστε μετά τη συμύκνωση το ποσοστό των κενών αέρος, για τα μίγματα με ονομαστικό μέγιστο μέγεθος αδρανών από 25mm έως 9.5mm, να κυμαίνεται από 3.0% έως 5.0% περίπου και να έχουν μικρή αερική διαπερατότητα.

Μειονέκτημα του κλειστού τύπου ασφαλτικού σκυροδέματος είναι ότι δεν επιτυγχάνεται επαρκής μακροϋφή, απαραίτητη προϋπόθεση για την επίτευξη καλού συντελεστή αντιολίσθησης. Έτσι, για την επίτευξη καλής αντιολισθηρής επιφάνειας, ιδιαίτερα σε δρόμους υψηλών ταχυτήτων, απαιτείται επιπλέον επεξεργασία της επιφάνειας του τάπητα κυκλοφορίας (κατασκευή αντιολισθηρής στρώσης). Επίσης, μια μικρή αύξηση του ποσοστού της

ασφάλτου στο μίγμα, πλέον του 0.5%, έχει ως αποτέλεσμα το παραχθέν ασφαλτόμιγμα να παρουσιάσει το φαινόμενο της εξίδρωσης.

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

Για την αποφυγή αστοχιών στις κατασκευές με ασφαλτικό σκυρόδεμα θα πρέπει να γίνεται:

- α) συστηματικός έλεγχος της παραγωγής των αδρανών υλικών και ιδιαίτερα της άμμου,
- β) συχνός έλεγχος της κοκκομετρικής καμπύλης του ασφαλτομίγματος για τη συμβατότητα αυτής με τη μελέτη σύνθεσης και
- γ) νέα μελέτη σύνθεσης κάθε φορά που αλλάζουν οι κοκκομετρικές διαβαθμίσεις των αδρανών, γενικότερα.

#### **4.3.2.3 Ασφαλτομίγματα Macadam (Μακάνταμ)**

Τα μίγματα Macadam χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: τα μίγματα πυκνής κοκκομετρικής διαβάθμισης και τα μίγματα ανοικτής και μέσης διαβάθμισης.

- **Ασφαλτομίγματα Macadam πυκνής κοκκομετρικής διαβάθμισης**

Τα ασφαλτομίγματα αυτά είναι παρόμοια των ασφαλτικών σκυροδεμάτων κλειστού τύπου. Αποτελούνται από σχετικά μεγάλη ποσότητα χονδρόκοκκων διαβαθμισμένων αδρανών (μεγαλύτερη από το ασφαλτικό σκυρόδεμα), λεπτόκοκκα αδρανή και παιπάλη (περίπου στις ίδιες αναλογίες με το ασφαλτικό σκυρόδεμα) και άσφαλτο μέσου έως χαμηλού ιξώδους (80/100 έως 180/200

pen). Η αντοχή και η ευστάθεια απορρέει κυρίως από τη σύμπλεξη και τριβή των αδρανών και κατά δεύτερο λόγο από τη δυσκαμψία του ασφαλτοκονιάματος.

Τα μίγματα Macadam κλειστού τύπου χαρακτηρίζονται από το σχετικά μεγάλο ποσοστό κενών (5%-10%) και μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για τάπητες κυκλοφορίας όσο και για ασφαλικές βάσεις.

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

Τα πλεονεκτήματα των μιγμάτων Macadam έναντι των αντίστοιχων του ασφαλικού σκυροδέματος είναι ότι:

- α) απαιτούν λιγότερη άσφαλτο,
- β) συμπυκνώνονται ευκολότερα και σε ελαφρώς χαμηλότερες θερμοκρασίες,
- γ) παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντίσταση στην παραμένουσα παραμόρφωση,
- δ) είναι περισσότερο εύκαμπτα και ανθίστανται στη ρηγμάτωση που επέρχεται από τις επαναλαμβανόμενες φορτίσεις και
- ε) παρέχουν επιφάνεια με μεγαλύτερη μακροϋφή και συνεπώς με καλύτερο συντελεστή αντιολίσθησης.

Λόγω του ότι έχουν περισσότερα κενά αέρος, τα μίγματα Macadam έχουν μεγαλύτερη αερική διαπερατότητα από αυτήν των ασφαλικών σκυροδεμάτων κλειστού τύπου. Το γεγονός αυτό επιφέρει ταχύτερη οξείδωση και γήρανση της ασφάλτου που επηρεάζει την ανθεκτικότητα του οδοστρώματος στο χρόνο. Αυτό είναι και το μόνο μειονέκτημα των μιγμάτων αυτών που είναι εξάλλου και



το χαρακτηριστικό μειονέκτημα όλων των μιγμάτων με σχετικά μεγάλο ή πολύ μεγάλο ποσοστό κενών.

- **Ασφαλτομίγματα Macadam ανοικτής και μέσης διαβάθμισης**

Αποτελούνται από σχεδόν μονόκοκκα χονδρόκοκκα αδρανή. Η ασφαλτος που χρησιμοποιείται είναι συνήθως χαμηλού ιξώδους (180/200pen ή 300pen). Η μηχανική αντοχή των μιγμάτων απορρέει σχεδόν αποκλειστικά και μόνο από την τριβή και σύμπλεξη των αδρανών. Η ασφαλτος ουσιαστικά δρα μόνο ως συνδετικό υλικό. Τα μίγματα αυτά χρησιμοποιούνται για τάπητες κυκλοφορίας και συνδετικές στρώσεις.

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

Η χαρακτηριστικότερη ιδιότητα των μιγμάτων Macadam ανοικτής διαβάθμισης είναι ότι παρέχουν επιφάνεια με πολύ καλή αντιολισθηρή επιφάνεια και ικανή να απορροφήσει ποσότητα ύδατος εκμηδενίζοντας έτσι την πιθανότητα εμφάνισης υδρολίσθησης. Παράλληλα με τη χρήση αυτών των μιγμάτων μειώνονται στο ελάχιστο τα σταγονίδια νερού που εκτοξεύονται από τα ελαστικά των οχημάτων. Τα μίγματα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή πορωδών ταπήτων, ουσιαστικά ανήκουν στην κατηγορία μιγμάτων Macadam ανοικτής διαβάθμισης.

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

- **Ασφαλτόμιγμα Gussasphalt (Γκούσασφαλτ – χυτάσφαλτος)**

Το μίγμα είναι ειδικά σχεδιασμένο για δρόμους με υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο και χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά και μόνο για τάπητες κυκλοφορίας. Το μίγμα Gussasphalt είναι μία παραλλαγή του μίγματος Mastic, αποτελείται από σκληρή άσφαλτο (25 - 40pen), λεπτόκοκκα αδρανή (μη ασβεστολιθικά), υψηλό ποσοστό παιπάλης (>10%) και από διαβαθμισμένα χονδρόκοκκα σκληρά αδρανή (σε μικρή σχετικά ποσότητα). Το ποσοστό της ασφάλτου λόγω της ύπαρξης μεγάλου ποσοστού λεπτόκοκκων αδρανών και παιπάλης είναι αρκετά υψηλό 8%-12% περίπου. Το ασφαλτόμιγμα αυτό είναι κλειστού τύπου και σχεδόν αδιαπέρατο από αέρα ή νερό (κενά αέρος 1-2%). Αυτό χαρακτηρίζεται από το υψηλό ποσοστό ασφάλτου (συνήθως 8%-12%), τη σχεδόν μηδενική αερική διαπερατότητα, το υψηλό μέτρο δυσκαμψίας, την καλή αντλιοσθηρή επιφάνεια, την καλή αντίσταση σε παραμένουσα παραμόρφωση, την καλή διάρκεια ζωής και το σχετικά υψηλό κόστος παραγωγής.

- **Mastic asphalt (Μαστιχική άσφαλτος)**

Αποτελείται από άσφαλτο, λεπτόκοκκα ασβεστολιθικά αδρανή, υψηλό ποσοστό παιπάλης και μικρό ποσοστό χονδρόκοκκων αδρανών. Η άσφαλτος που χρησιμοποιείται είναι πολύ σκληρή (15 pen ή 25 pen). Τα χαρακτηριστικά του μίγματος αυτού είναι η μεγάλη περιεκτικότητα σε φύλλερ, το υψηλό ποσοστό ασφάλτου (περίπου 12%), η χρήση πολύ σκληρής ασφάλτου, η μηδενική σχεδόν διαπερατότητα, η υψηλή αντοχή σε παραμόρφωση και το μεγάλο κόστος κατασκευής.

Η μαστιχική άσφαλτος, λόγω των παραπάνω χαρακτηριστικών, δεν έχει ευρεία εφαρμογή σε έργα οδοποιίας, πλην ειδικών περιπτώσεων, όπως στεγάνωση καταστρωμάτων γεφυρών, σε ορισμένες περιπτώσεις για τη

στεγάνωση φθαρμένων οδοστρωμάτων, κατασκευή πεζοδρομίων, κατασκευή δαπέδων parking, σιδηροδρομικών σταθμών, βιομηχανικών δαπέδων κλπ.

Λόγω του υψηλού ποσοστού λεπτόκοκκων και παιπάλης η επιφάνεια που λαμβάνεται είναι λεία. Για να επιτευχθεί καλή αντιολισθηρή επιφάνεια επί της διαστρωμένης επιφανείας διασπείρονται ελαφρώς προεπαλειμμένες ψηφίδες ή άμμος. Η διάστρωση της μαστίχης ασφάλτου γίνεται συνήθως με το χέρι αλλά και με μηχανικά μέσα.

#### **4.3.2.4 Ασφαλτομίγματα για πορώδεις τάπητες**

Τα ασφαλτομίγματα για πορώδεις τάπητες, είναι ανοικτού τύπου ασφαλτομίγματα, παρόμοια των ασφαλτομιγμάτων Macadam ανοικτού τύπου. Η χαρακτηριστική ιδιότητα των ασφαλτομιγμάτων αυτών, γνωστών και ως διαπερατών Μακάνταμ για αντιολισθηρούς τάπητες, είναι το μεγάλο ποσοστό κενών αέρος (> 20%) που επιτρέπει τη γρήγορη αποστράγγιση των επιφανειακών βρόχινων υδάτων και επιφέρει μείωση του θορύβου επαφής ελαστικού / οδοστρώματος. Η επιφάνεια των οδοστρωμάτων έχει πολύ καλή μακροϋφή και καλό συντελεστή αντιολίσθησης ακόμη και όταν η επιφάνεια είναι υγρή. Επίσης, λόγω της επιφανειακής τους υφής, μειώνουν το θάμπωμα από την ανάκλαση της δέσμης φωτός των οχημάτων επί της επιφανείας του οδοστρώματος.

Η γρήγορη απομάκρυνση του νερού της βροχής έχει ως αποτέλεσμα την εκμηδένιση του φαινομένου της υδρολίσθησης και τη δραματική μείωση των σταγονιδίων ύδατος που εκτοξεύονται από τα ελαστικά των οχημάτων και δημιουργούν έντονο πρόβλημα ορατότητας κατά την προσπέραση. Όσον αφορά το θόρυβο που προέρχεται από κινούμενα οχήματα επί πορωδών ταπήτων, βρέθηκε ότι αυτός μειώνεται σε σύγκριση με άλλες επιφάνειες με την ίδια μακροϋφή και συντελεστή αντιολίσθησης.

Οι αδυναμίες ή μειονεκτήματα των μιγμάτων αυτών είναι:

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

Τα πρώτα τρία μειονεκτήματα επιλύονται, κατά ένα μεγάλο βαθμό, με τη χρήση τροποποιημένης ασφάλτου ενώ τα υπόλοιπα δε θεωρούνται τόσο σοβαρά ώστε να μειώσουν την αποτελεσματικότητα και τη χρησιμότητα των μιγμάτων αυτών.

#### **4.3.2.5. Θερμό Κυλινδρούμενο Ασφαλτόμιγμα (HRA)**

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

αυξήθηκε ο όγκος του μίγματος και παράλληλα βελτιώθηκε η εργασιμότητά του.

Το βασικό χαρακτηριστικό του μίγματος αυτού είναι ότι η κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών παρουσιάζει μια "ασυνέχεια" στην περιοχή των 2.36 - 5mm, λόγω έλλειψης ή πολύ μικρής σχετικά ποσότητας αδρανών μέσου μεγέθους. Για το λόγο αυτό είναι γνωστό και σαν μίγμα μη συνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης .

Γενικότερα το μίγμα αποτελείται από λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα αδρανή με την παραπάνω ιδιαιτερότητα, παιπάλη και σκληρή άσφαλτο. Η μηχανική αντοχή των μιγμάτων αυτών, σε αντίθεση με τα μίγματα συνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης, οφείλεται κυρίως στη δυσκαμψία του κονιάματος άμμου / παιπάλης / ασφάλτου και λιγότερο στη μηχανική σύμπλεξη των αδρανών. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται κατά κανόνα σκληρή άσφαλτος.

Θα μπορούσε να ειπωθεί ότι όλοι σχεδόν οι τάπητες κυκλοφορίας των αυτοκινητοδρόμων καθώς και των οδών υψηλής ταχύτητας είναι κατασκευασμένοι με αυτά τα μίγματα λόγω της άριστης και μεγάλης διάρκειας ζωής της αντιολισθηρής επιφάνειας που επιτυγχάνεται. Το κυλινδρούμενο θερμό ασφαλτόμιγμα HRA είναι ελάχιστα διαπερατό από τον αέρα ή το νερό (κενά αέρος συνήθως 2%-3%), διαθέτει υψηλή αντοχή στην παραμόρφωση και δε ρηγματώνεται εύκολα (υψηλή αντοχή στην κόπωση). Λόγω του γεγονότος ότι εμπεριέχει σχετικά υψηλό ποσοστό ασφάλτου, η άσφαλτος δεν οξειδώνεται γρήγορα με συνέπεια οι αντίστοιχοι τάπητες να έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

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

παραγωγής είναι μεγαλύτερο αυτού των ασφαλτικών σκυροδεμάτων και των μιγμάτων Macadam.

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

- **Splitt Mastic Asphalt ή Stone Mastic Asphalt (SMA)**

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

Η ιδιαιτερότητα των SMA είναι ότι ο σκελετός του μίγματος αποτελείται από χονδρόκοκκα αδρανή, όπως και στα μίγματα για πορώδεις τάπητες, του οποίου τα κενά γέμισαν με κονίαμα άμμου, παιπάλης και ασφάλτου. Το τελικό μίγμα είναι κλειστού τύπου ασφαλτόμιγμα και, με την ευρεία έννοια, μη συνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης. Τα SMA διαφέρουν από τα HRA διότι στα πρώτα το κονίαμα έρχεται να κλείσει τα κενά στο σκελετό των διαβαθμισμένων χονδρόκοκκων αδρανών, ενώ στα HRA το κονίαμα αποτελεί τη βάση του μίγματος επί του οποίου προστίθενται χονδρόκοκκα μονόκοκκα αδρανή.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό των μιγμάτων αυτών είναι και το υψηλότερο ποσοστό ασφάλτου που χρησιμοποιείται έναντι των ασφαλτικών σκυροδεμάτων. Το γεγονός αυτό προσδίδει στα μίγματα SMA μεγαλύτερη διάρκεια ζωής έναντι των ασφαλτικών σκυροδεμάτων. Συγκρινόμενα με τα μίγματα Gussasfalt, , περιέχουν υψηλότερο ποσοστό χονδρόκοκκων, χαμηλότερο ποσοστό ασφάλτου και το βασικότερο, η παραγωγή και διάστρωσή

τους δεν απαιτεί ειδικό μηχανικό εξοπλισμό, και μπορούν να παραχθούν σε συνήθη ασφαλτοσυγκροτήματα.

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

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

- **Ασφαλτομίγματα υψηλού μέτρου δυσκαμψίας για συνδετικές στρώσεις και ασφαλτικές βάσεις**

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

Τα ασφαλτομίγματα αυτά υπάρχουν σε δύο τύπους, αυτά που περιέχουν υψηλό ποσοστό ασφάλτου και αυτά που περιέχουν κανονικό ποσοστό

ασφάλτου. Οι διαβαθμίσεις είναι δύο, με μέγιστη ονομαστική διάσταση αδρανών 14mm και 20mm, αντίστοιχα.

Η άσφαλτος που χρησιμοποιείται είναι πολύ σκληρή, συνήθως τροποποιημένη, με διεισδυτικότητα 5-35pen και σημείο μάλθωσης τουλάχιστον 65<sup>0</sup> C. Στο γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως το υψηλό μέτρο δυσκαμψίας του μίγματος. Παρόλο που η μέγιστη διάσταση των αδρανών είναι 14mm ή 20mm τα μίγματα αυτά διαστρώνονται σε στρώσεις πάχους έως και 300mm ή 400mm αντίστοιχα. Τα ασφαλτομίγματα υψηλού μέτρου δυσκαμψίας αναπτύχθηκαν από ιδιωτικές εταιρείες με αποτέλεσμα αυτές να έχουν και την αποκλειστική διάθεση αυτών.

- **Θερμά ασφαλτομίγματα για λεπτοτάπητες κυκλοφορίας**

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

Ο λεπτότερος τάπητας 15mm διαστρώνεται με το μίγμα ή σύστημα που φέρει την εμπορική ονομασία Safepave. Το σύστημα αυτό προϋποθέτει τη χρήση ειδικού μηχανήματος διάστρωσης και τη χρήση συγκολλητικής με ασφαλτικό κατιονικό γαλάκτωμα που ψεκάζεται αμέσως πριν τη διάστρωση του θερμού μίγματος. Άλλα μίγματα αυτού του είδους δεν έχουν την παραπάνω απαίτηση.

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



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

- **Μίγματα Τοπέκα και ABS**

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

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

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

#### **4.4 Θεμελίωση οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας**

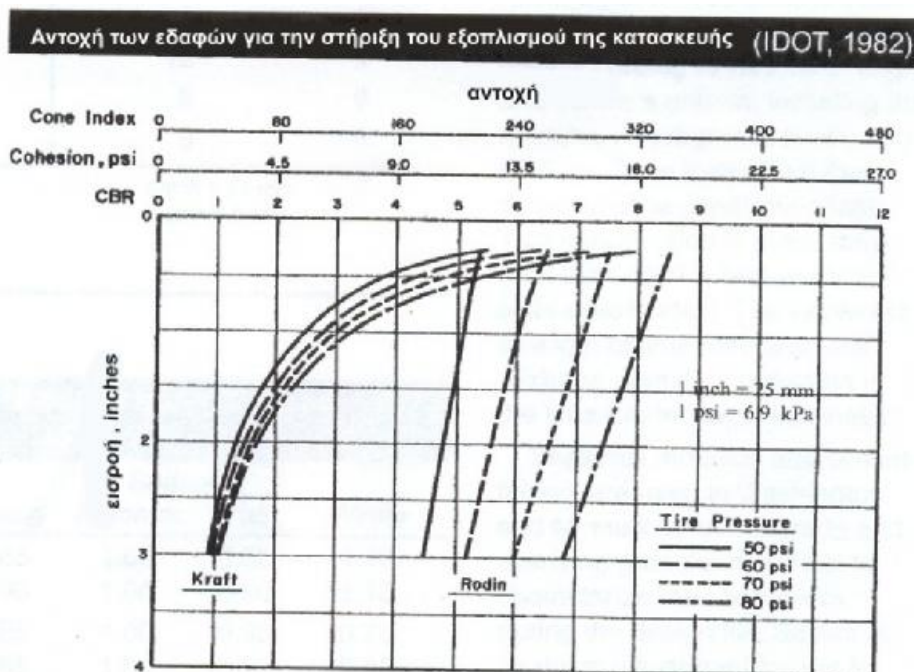
Η θεμελίωση ενός οδοστρώματος είναι κρίσιμο για την κατασκευή και την απόδοση ενός οδοστρώματος μακράς διάρκειας. Κατά την διάρκεια της κατασκευής, η θεμελίωση αποτελεί ένα δάπεδο εργασίας πάνω στο οποίο κινούνται τα φορτηγά και πάνω στο οποίο διαστρώνεται και κινείται ο

εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την τοποθέτηση των ασφαλικών στρώσεων. Επίσης παρέχει αντίσταση στην παραμόρφωση κάτω από τα φορτία των οδοστρωτήρων έτσι ώστε τα ανώτερα στρώματα να είναι πλήρως συμπυκνωμένα και συμπαγή. Κατά την περίοδο λειτουργίας, η θεμελίωση παίζει σημαντικό ρόλο υποστηρίζοντας τα κυκλοφοριακά φορτία και μειώνοντας την επίδραση στα κατώτερα στρώματα της τήξης του πάγου, της υγρασίας και των θερμοκρασιακών μεταβολών από εποχή σε εποχή. Ο σωστός σχεδιασμός και η σωστή κατασκευή της θεμελίωσης είναι σημαντικά για την αποφυγή της αλλαγής του όγκου λόγω των θερμοκρασιακών μεταβολών και των μεταβολών της υγρασίας σε διασταλτά εδάφη καθώς και λόγω των κύκλων της τήξης του πάγου σε ευαίσθητα σε χαμηλές θερμοκρασίες εδάφη.

Σε μερικές βόρειες χώρες η πολιτεία έχει εισαγάγει τον σχεδιασμό έναντι πάγου σε περιοχές όπου οι εδαφικές συνθήκες μπορούν να οδηγήσουν σε εξασθένηση της αντοχής των εδαφών λόγω τήξης του πάγου ή την δημιουργία παραμορφώσεων. Γενικά, οι κανονισμοί απαιτούν ότι το συνολικό πάχος του οδοστρώματος πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσο, ή να υπερβαίνει οριακά το 50% του εκτιμώμενου πάχους σχεδιασμού λόγω παγετού. Αυτή η απαίτηση θεωρείται ως η ελάχιστη. Τα αποτελέσματα από τα τεστ που έγιναν πάνω σε οδοστρώματα από την αμερικάνικη ένωση κρατικών αυτοκινητόδρομων (AASHO) καθώς και έρευνες σε άλλες χώρες, όπως η Ιαπωνία έδειξαν ότι το απαιτούμενο πάχος πρέπει να είναι περίπου το 70% του εκτιμώμενου πάχους σχεδιασμού λόγω παγετού. Τέτοια κριτήρια γενικά απαιτούν το οδόστρωμα να είναι κατασκευασμένο από παγοανθεκτικά υλικά.

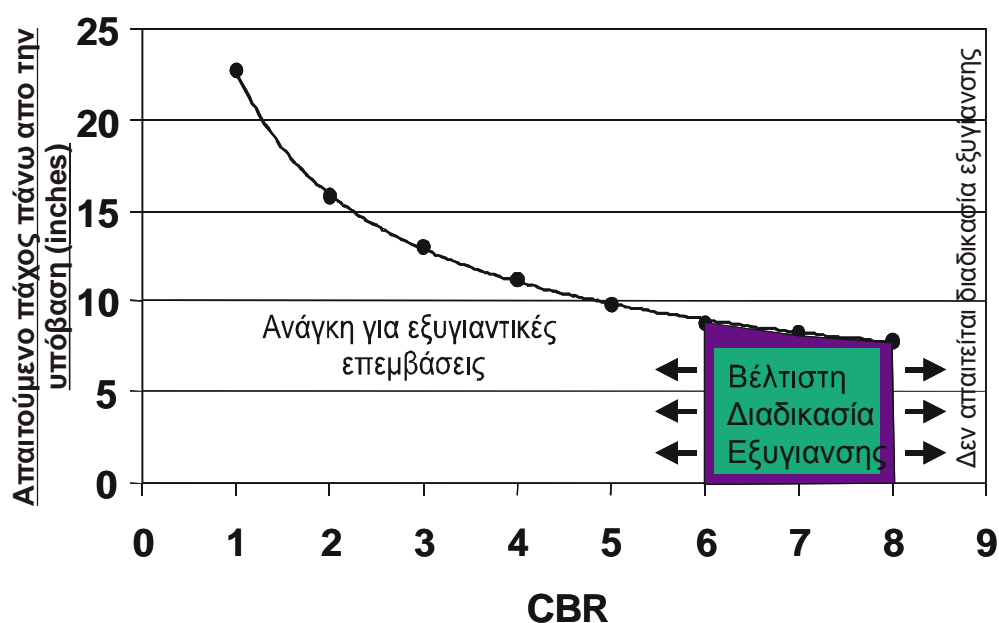
Η θεμελίωση ενός οδοστρώματος μπορεί να αποτελείται από μια συμπυκνωμένη υπόβαση, χημικά σταθεροποιημένη ή από κοκκώδες υλικό ή από μη σταθεροποιημένο χονδρόκοκκο υλικό όπως θραυστά αδρανή ή χαλίκι. Ανεξάρτητα από το είδος του υλικού που χρησιμοποιείται, η θεμελίωση πρέπει να συμφωνεί με κάποιες ελάχιστες προδιαγραφές για δυσκαμψία κατά την διάρκεια της κατασκευής όπως επίσης και κατά την διάρκεια ζωής του

οδοστρώματος. Εξαρτώμενη από τις εξωτερικές συνθήκες και τον σχεδιασμό, αυτό μπορεί να απαιτεί χημικά ή μηχανικά σταθεροποιημένα εδάφη ή υλικά στρώσης βάσης. Επιπλέον, η τοποθεσία και το κλίμα του χώρου της κατασκευής μπορούν να επιβάλλουν να ληφθούν υπ' όψιν στο σχεδιασμό η ικανότητα αποστράγγισης. Ως ένας τέτοιος κανονισμός θα μπορούσε να αναφερθεί ο κρατικός σχεδιασμός αυτοκινητοδρόμων (Federal Highway Administration Manual (Moulton, 1980) ). Το τμήμα μεταφορών του Illinois (IDOT) έδωσε έμφαση στα υποκείμενα εδάφη της θεμελίωσης και αυτό φαίνεται στο Subgrade stability Manual που εκδόθηκε το 1982. Από άποψη κατασκευής, απαιτείται η υπόβαση να έχει ελάχιστο CBR περίπου 6, έτσι ώστε να αποφεύγεται η εκτεταμένη παραμόρφωση κατά την διάρκεια της κατασκευής των υποκείμενων κοκκωδών στρώσεων. Αυτή η απαίτηση στηρίζεται στο παρακάτω διάγραμμα (σχ.13) (Illinois Department of Transportation (IDOT) 2001), “A Guide Specification For HMA Extended Life Pavements”, Draft Version, Springfield) , το οποίο παρουσιάζει τις σχέσεις μεταξύ της αντοχής του εδάφους, της απορρόφησης του νερού και της πίεσης των ελαστικών κάτω από ένα φορτίο 40 kN.



**Σχήμα 13. Απαιτούμενη αντοχή των εδαφών για την στήριξη των εδαφών**

Το παρακάτω διάγραμμα (σχ.14) (Illinois Department of Transportation (IDOT) 2001), “A Guide Specification For HMA Extended Life Pavements”, Draft Version, Springfield) δείχνει τις καταστάσεις κάτω από τις οποίες το IDOT απαιτεί εξυγιαντικές επεμβάσεις. Αυτές απαιτούνται όταν το CBR του εδάφους είναι λιγότερο του 6, θεωρούνται αμφίβολές και τίθενται υπό συζήτηση για CBR μεταξύ των τιμών 6 και 8, και δεν απαιτούνται για CBR πάνω από 8.



**Σχήμα 14. Απαιτούμενο πάχος για θεμελίωση οδοστρώματος**

Οι επεμβάσεις αποκατάστασης παρέχουν μια πλατφόρμα επαρκής έτσι ώστε να διευκολύνονται οι εργασίες οδοστρώσεως, να αποφεύγεται η υπερφόρτωση της υπόβασης και να μειώνεται η ανάπτυξη επιφανειακών ρηγματώσεων από την κυκλοφορία των οχημάτων κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη διαδικασία είναι να τροποποιούνται με άσβεστο τα λεπτόκοκκα εδάφη και προτάθηκε από το IDOT. Η υποσκαφή και επαναπλήρωση με κοκκώδες υλικό, ( μερικές φορές χρησιμοποιούνται και γεωφάσματα) είναι μια επίσης συχνά χρησιμοποιούμενη εργασία. Το απαιτούμενο πάχος της υπόβασης είναι περίπου 300 χιλιοστά. Για εδάφη

αντοχής λιγότερης από CBR ίσο με 4, το πάχος αυξάνεται όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Αν το CBR μετά την επέμβαση είναι λιγότερο από το 10, μια επιφάνεια από λεπτόκοκκο υλικό θα είναι απαραίτητη. Το συνδυασμένο πάχος του κοκκώδους στρώματος και του τροποποιημένου με ασβέστη στρώματος είναι πρέπει να είναι μικρότερο των 200 χιλιοστών και να είναι σύμφωνο με τις προδιαγραφές του διαγράμματος 4. Το κοκκώδες υλικό πρέπει να είναι επαρκές όσον αφορά τη δυσκαμψία και την αντοχή για να φέρει τα φορτία της κατασκευής με ασφάλεια. Μη ελαστικά παραμορφώσιμα αδρανή δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται σαν υλικά βάσης.

Οι εποχιακοί συντελεστές διόρθωσης ελαστικότητας που χρησιμοποιούνται στην Washington και τη Minnesota για την υπόβαση και τα υποκείμενα κοκκώδη στρώματα χαρακτηρίζουν την συμπεριφορά των υλικών αυτών κατά τη ζωή σχεδιασμού τους. Οι εποχιακοί συντελεστές διόρθωσης ελαστικότητας για ασύνδετα υλικά διαφέρουν από την ανατολική στη δυτική Washington όπως φαίνεται στον πίνακα. Οι εποχές θεωρούνται να έχουν ίση διάρκεια, και η βασική εποχή είναι το καλοκαίρι με συντελεστή 1.00. Μια διαφορετική προσέγγιση γίνεται από τη Minnesota όπου οι εποχές θεωρούνται αν έχουν άνιση διάρκεια όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα, και η βασική εποχή είναι το φθινόπωρο. Λόγω του ότι η εξέλιξη των αποτελεσμάτων του πάγου στα ανώτερα και τα κατώτερα στρώματα έχει διαφορετική συμπεριφορά, η περίοδος της άνοιξης έχει διαχωριστεί σε 2 περιόδους, την αρχική και την τελική. Ο Onik (1999) καθόρισε αυτούς τους συντελεστές εποχών από δεδομένα που συλλέχθηκαν από έρευνες πάνω σε οδοστρώματα της Minnesota. Η πιο αδύναμη κατάσταση των κοκκωδών υλικών βάσης είναι στην αρχική φάση της άνοιξης και για την υπόβαση είναι η τελική φάση της άνοιξης. Οι πολύ υψηλοί συντελεστές ισοδυναμίας για την επίδραση του χειμώνα αντιπροσωπεύουν μια παγωμένη κατάσταση τόσο στο υλικό της βάσης, όσο και σε αυτό της υπόβασης. Στον σχεδιασμό οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας, είναι σημαντικό

να είναι γνωστές οι εποχιακές αλλαγές του μέτρου ελαστικότητας των ασύνδετων υλικών που μπορεί να έχουν επίδραση στην απόκριση του οδοστρώματος. Με άλλα λόγια, θα ήταν απαραίτητο να θεωρήσουμε την δυσμενέστερη κατάσταση, κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού, έτσι ώστε να αποτρέψουμε μη αναμενόμενες φθορές σε μια συγκεκριμένη εποχή.

Ο Nunn (1997) ενθάρρυνε την χρήση επί τόπου δοκιμών για τα υλικά θεμελίωσης των οδοστρωμάτων. Πρότειναν ένα έλεγχο τελικών αποτελεσμάτων βασισμένο πάνω σε δεδομένα και αποτελέσματα από τεστ αντοχής σε πυρήνες από οδοστρώματα καθώς και τον καθορισμό της επιφανειακής δυσκαμψίας με τη χρήση ενός απλού πειράματος. Το CBR της υπόβασης καθορίζει το πάχος των υπερκείμενων στρωμάτων που καλούνται (capping) και υπόβαση (subbase). Για υπόβαση με CBR μικρότερο από 15 απαιτείται ένα ελάχιστο πάχος 150 χιλιοστών. Το υλικό της στρώσης capping μπορεί να θεωρηθεί παρόμοιο σε ποιότητα με αυτό μιας κατώτερης ποιότητας στρώσης βάσης στις Η.Π.Α., και το υλικό της υπόβασης μπορεί να θεωρηθεί παρόμοιο με ένα υψηλής ποιότητας υλικό βάσης. Το εργαστήριο ερευνών μεταφορών (Transport Research Laboratory) έκανε πειράματα πάνω σε κατώτερες στρώσεις οδοστρωμάτων τόσο κατά την διάρκεια της κατασκευής τους όσο και μετά από αυτήν. Χρησιμοποιώντας το πείραμα Falling weight deflectometer (FWD) (Nunn and Ferne 2001), για φορτίο 40kN δυσκαμψία 40 Mpa μετρήθηκε στην κορυφή της υπόβασης και 65 Mpa στην κορυφή της βάσης.

Ο σχεδιασμός και η κατασκευή ανθεκτικών, ισχυρών, σταθερών και επαρκών βάσεων οδοστρωμάτων είναι απαραίτητη στα οδοστρώματα μακράς διάρκειας. Το αρχικό μας ενδιαφέρον είναι η υποστήριξη του αναμενόμενου κυκλοφοριακού φόρτου και ένα συμπαγές στρώμα. Μια μακροπρόθεσμη υποστήριξη της κυκλοφορίας και η ελαχιστοποίηση του όγκου μεταβολής της θα είναι κρίσιμη για την απόδοση του οδοστρώματος. Επιπλέον, οι οδηγίες απαιτούνται για την επιδίωξη της απαιτούμενης δυσκαμψίας την ώρα της κατασκευής αλλά και για μακροχρόνια απόδοση σαν δεδομένο στον

μηχανιστικό σχεδιασμό και προβλέψεις για την μείωση της αλλαγής του όγκου λόγω διαστολής ή δράσης παγετού.

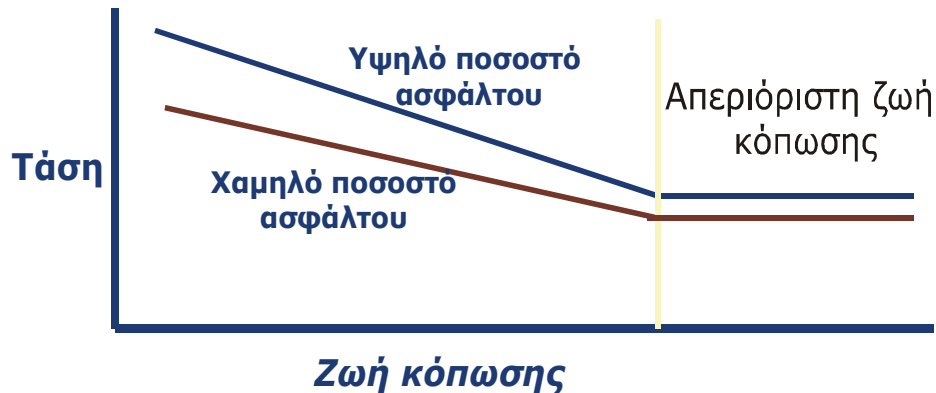
#### **4.5 Ασφαλτικές στρώσεις**

Αφού τα οδοστρώματα μακράς διάρκειας είναι κατασκευασμένα για να αντιστέκονται συγκεκριμένες εντάσεις και φθορές σε κάθε στρώση, η επιλογή των υλικών, ο σχεδιασμός των μιγμάτων και τα τεστ απόδοσης πρέπει να ειδικευτούν για κάθε στρώση υλικού. Τα χαρακτηριστικά των μιγμάτων πρέπει να είναι τα βέλτιστα για να αντισταθούν στις παραμορφώσεις και τις ρηγματώσεις λόγω κόπωσης, βασιζόμενα σε κάθε στρώμα στο οποίο αναφέρονται. Η ανθεκτικότητα είναι το πρωταρχικό μέλημα για όλες τις στρώσεις.

##### **4.5.1 Ασφαλτική Στρώση Βάσης**

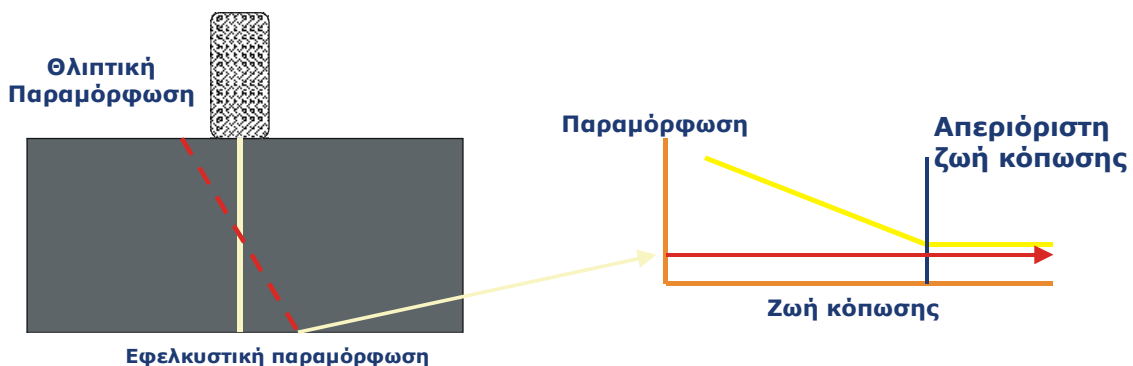
Η ασφαλτική στρώση βάσης πρέπει να αντιστέκεται στις ρωγμές λόγω κόπωσης από κάμψη κάτω από την επίδραση επαναλαμβανόμενων κυκλοφοριακών φορτίων. Ένα χαρακτηριστικό των μιγμάτων που συντελεί στην αντιμετώπιση των παραπάνω φθορών είναι το μεγαλύτερο ποσοστό ασφάλτου. Οι περισσότερες έρευνες που έχουν γίνει πάνω στο συγκεκριμένο θέμα καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό της ασφάλτου σε ένα μίγμα τόσο αυξάνει και η συνοχή του (σχ.15) . Επιπρόσθετη άσφαλτος, όμως μέχρι ένα σημείο, παρέχει την ευκαμψία που χρειάζεται για να περιοριστεί ο σχηματισμός και η ανάπτυξη ρωγμών λόγω κόπωσης. Συνδυασμένη με το κατάλληλο συνολικό πάχος ασφάλτου, αυτό ενισχύει την αντοχή έναντι ρωγμών κόπωσης στο κατώτερο στρώμα. Η ιδέα της «πλούσιας»

βάσης ανακαλύφθηκε και εφαρμόστηκε στην California (Monismith and Long 1999) και στο Illinois (IDOT 2001).



**Σχήμα 15. Επιρροή ποσοστού ασφάλτου στην διάρκεια ζωής του οδοστρώματος**

Μια άλλη προσέγγιση στην εξασφάλιση της όσο το δυνατόν μεγαλύτερης ζωής κόπωσης ενός οδοστρώματος θα ήταν ο σχεδιασμός μιας ανθεκτικής κατασκευής τέτοιας ώστε οι εφελκυστικές τάσεις στη βάση των ασφαλτικών στρωμάτων να μειωθούν στο βαθμό που η συνολική αθροιστική φθορά δεν θα δημιουργηθεί (σχ.16) . Αυτό θα επιτρέψει έναν απλό σχεδιασμό μίγματος να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό των παχών στη βάση και τα ενδιάμεσα στρώματα, αποκλείοντας την ανάγκη για εναλλαγή διαφορετικών τύπων μιγμάτων στα κατώτερα ασφαλτικά στρώματα.



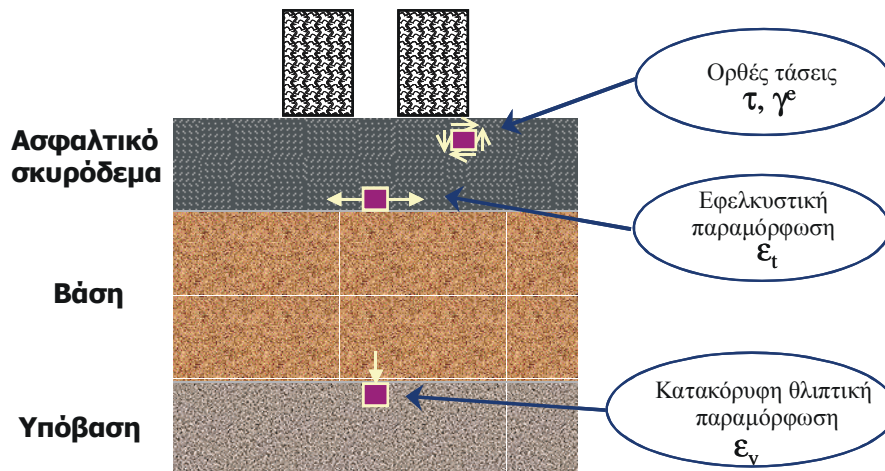
**Σχήμα 16. Επίδραση πάχους ασφαλτικής στρώσης στην ζωή κόπωσης**



Το ζητούμενο ποσοστό της ασφάλτου στην βάση θα μπορούσε να καθοριστεί σαν αυτό το οποίο περιέχει τα λιγότερα κενά αέρος όταν τοποθετηθεί και διαστρωθεί. Αυτό προϋποθέτει έναν υψηλότερο όγκο συνδετικού υλικού στην θέση των κενών των αδρανών, πράγμα που παίζει καθοριστικό ρόλο στην ανθεκτικότητα και ελαστικότητα του μίγματος. Αυτή η μέθοδος κατασκευής αναπτύχθηκε από τον Linden (1989) σε μια μελέτη που συνέδεε τον υψηλότερο από τον βέλτιστο δείκτη κενών με τη μείωση στην διάρκεια ζωής κόπωσης. Οι ασφαλτοι με λεπτόκοκκα αδρανή έχουν επίσης να επιδείξουν βελτιωμένη διάρκεια ζωής κόπωσης. Τα ασφαλτικά αδρανή θα πρέπει να έχουν χαρακτηριστικά υψηλών θερμοκρασιών όπως αυτό απαιτείται από το βάθος του στρώματος στο οδόστρωμα. Τα χαμηλής θερμοκρασίας χαρακτηριστικά θα πρέπει να είναι τα ίδια με αυτά των ενδιάμεσων στρώσεων. Αν αυτό το στρώμα δοθεί στην κυκλοφορία κατά τη διάρκεια κατασκευής του, θα πρέπει να ληφθούν οι απαραίτητες προφυλάξεις έτσι ώστε η απόδοση του υλικού δεν θα μειωθεί λόγω φθορών και παραμορφώσεων. Επιπλέον πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν στα τεστ αντοχής του υλικού.

Είναι σημαντικό ο σχεδιασμός των οδοστρωμάτων να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η καμπτική ένταση στην βάση του οδοστρώματος να είναι μικρότερη σε σχέση με το όριο αντοχής του υλικού. Το όριο αντοχής είναι η τάση κάτω από την οποία το υλικό δεν θα αστοχήσει σε κόπωση. Ιάπωνες ερευνητές έχουν ασχοληθεί και έχουν καθορίσει το όριο αντοχής για ασφαλτικά μίγματα (σχ.17)

Λόγω του ότι αυτό το στρώμα είναι το πιο πιθανό να είναι σε συνεχή επαφή με το νερό, η ευαισθησία του στην υγρασία θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν. Ένα μεγαλύτερο ποσοστό ασφάλτου θα πρέπει να αυξήσει την αντοχή του μίγματος σε προβλήματα υγρασίας, αλλά συνίσταται να διεξάγεται ένα τεστ ευαισθησίας σε υγρασία όπως το AASHTO T 283 κατά τη διάρκεια σχεδιασμού του μίγματος.



**Σχήμα 17.** Τυπική διατομή οδοστρώματος μακράς διάρκειας και συμβολισμός των τάσεων

#### 4.5.2 Ενδιάμεση στρώση ( ασφαλτική στρώση κυκλοφορίας)

Το ενδιάμεσο στρώμα ή συνδετική στρώση πρέπει να συνδυάζει τα χαρακτηριστικά της σταθερότητας και της ανθεκτικότητας. Η σταθερότητα σε αυτές στις στρώσεις μπορεί να αποκτηθεί αξιοποιώντας την επαφή μεταξύ των αδρανών και την τριβή που αναπτύσσεται μεταξύ των τραχειών επιφανειών τους καθώς και με τη χρήση ενός κατάλληλου θερμού ασφαλτομίγματος. Η εσωτερική τριβή που προσδίδεται από τα αδρανή μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας θραυστά αδρανή ή χαλίκι περιορίζοντας τον όγκο των κενών στο μίγμα. Μια επιλογή θα μπορούσε να είναι η χρήση αριθμητικά μεγάλου μεγέθους αδρανών (37.5 χιλιοστά), αλλά το ίδιο θα μπορούσε αν επιτευχθεί και με μικρότερου μεγέθους αδρανή, όσο υπάρχει επαφή και εσωτερική τριβή μεταξύ τους. Ο βαθμός διείδυσης κάτω από υψηλές θερμοκρασίες της ασφάλτου θα πρέπει να είναι ο ίδιος με αυτόν της επιφάνειας για να αποφεύγονται οι παραμορφώσεις. Ωστόσο αφού η θερμοκρασιακή κατανομή στο οδόστρωμα είναι σχετικά απότομη θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί άσφαλτος με ελαφρά μικρότερο βαθμό διείδυσης από αυτόν της επιφάνειας. Για παράδειγμα αν για την επιφάνεια αποφασίζεται να χρησιμοποιηθεί

άσφαλτος με βαθμό διείδυσης PG 70-28 τότε στο αμέσως επόμενο στρώμα θα χρησιμοποιηθεί άσφαλτος με PG 70-22.

Ο σχεδιασμός του μίγματος πρέπει να ακολουθεί τις προδιαγραφές των Superpave οδοστρωμάτων και ο σχεδιασμός του περιεχομένου της ασφάλτου θα πρέπει να είναι ο βέλτιστος. Τα τεστ απόδοσης θα πρέπει να περιλαμβάνουν τεστ έναντι παραμορφώσεων και τεστ διάγνωσης ευαισθησίας σε υγρασία, τουλάχιστον. Αν και μια σειρά από δοκιμές για τις ιδιότητες των βασικών μόνιμων παραμορφώσεων των οδοστρωμάτων αναπτύσσεται από κρατικά ερευνητικά προγράμματα, προτείνεται η συσκευή που χρησιμοποιείται για τη δοκιμή αντοχής σε παραμορφώσεις να χρησιμοποιείται προσωρινά για την εξέλιξη των μιγμάτων, έτσι ώστε να υπάρχει προστασία έναντι εμφάνισης φθορών σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα.

Ρυθμίζοντας το μέτρο ελαστικότητας κάθε στρώσεις για τις διάφορες εποχές , και χρησιμοποιώντας ελαστικές θερμοκρασιακές σχέσεις για το ασφαλτικό στρώμα μπορούν να καθοριστούν οι ιδιότητες του ασφαλτικού μίγματος και οι εποχιακοί συντελεστές αναλογίας βασιζόμενοι σε εκτιμήσεις της θερμοκρασίας των οδοστρωμάτων.

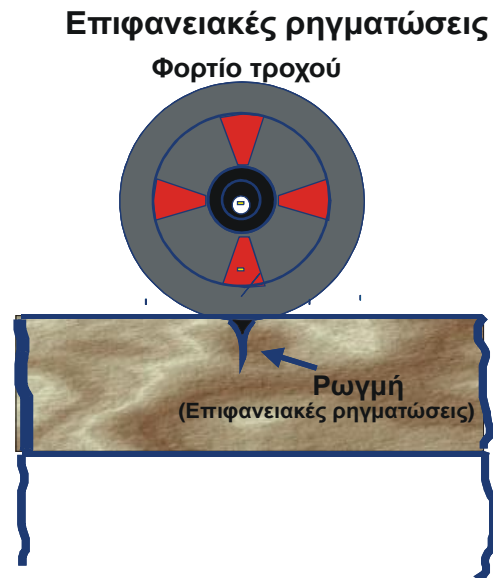
#### **4.5.3 Φέρουσα αντιολισθηρή στρώση**

Οι απαιτήσεις για τη φέρουσα αντιολισθηρή στρώση εξαρτώνται από

- τις κυκλοφοριακές συνθήκες,
- το περιβάλλον,
- την τοπική εμπειρία και το
- διαθέσιμο οικονομικό κεφάλαιο.

Οι απαιτήσεις απόδοσης περιλαμβάνουν αντίσταση σε επιφανειακές ρηγματώσεις (σχ.18) και παραμορφώσεις (σχ.19), καλή τριβή, μείωση του θορύβου που δημιουργείται από την επαφή των ελαστικών με το οδόστρωμα. Οι

παραπάνω προϋποθέσεις μπορούν να οδηγήσουν στην επιλογή ενός ασφαλτομίγματος Stone Matrix Asphalt (SMA), η ενός κατάλληλου μίγματος Superpave με πυκνή διαβάθμιση ή οδοστρώματα ανοικτού τύπου.



Σχήμα 18. Επιφανειακές ρηγματώσεις από το φορτίο του τροχού



Σχήμα 19. Τομή οδοστρώματος - παραμορφώσεις

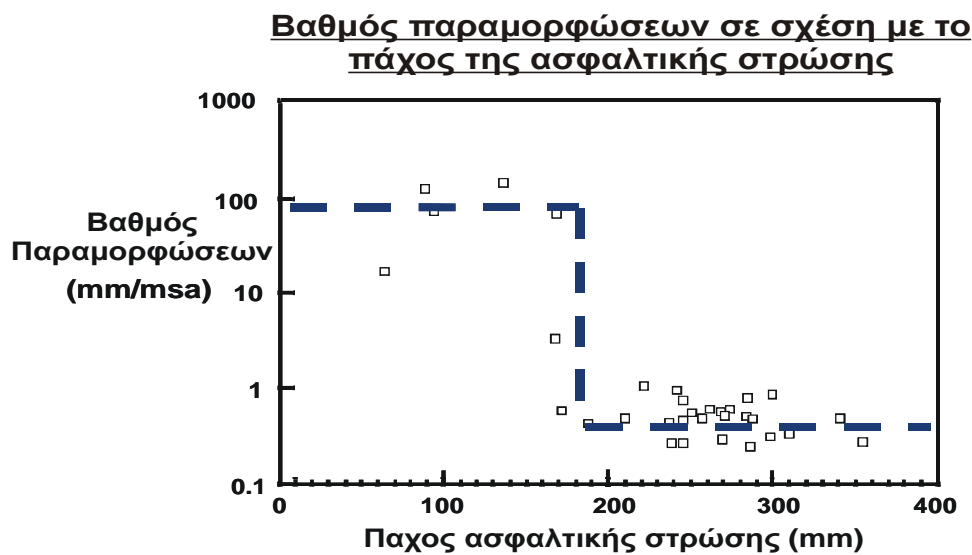
Σε μερικές περιπτώσεις, οι ανάγκες για αντίσταση σε ρηγματώσεις, ανθεκτικότητα, στεγανότητα και ασφαλή μεταφορά των φορτίων θα προϋπόθεταν την χρήση SMA. Αυτό θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί σε περιοχές με υψηλούς κυκλοφοριακούς φόρτους από φορτηγά. Αν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί σωστά ένα οδόστρωμα SMA θα παρέχει ένα σκελετό από αδρανή για την πρωταρχική μεταφορά των φορτίων και ένα συνδετικό υλικό (άσφαλτος και λεπτά αδρανή-φίλερ) που θα δίνουν στο μίγμα την επιπρόσθετη δυσκαμψία. Επιπλέον ως συνδετικό υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί τροποποιημένη με πολυμερή άσφαλτος. Η ανθεκτικότητα μπορεί επίσης να επιτευχθεί μειώνοντας τον όγκο των κενών στο μίγμα.

Σε περιπτώσεις που ο συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος δεν είναι τόσο υψηλός, ή σε περιπτώσεις που η κίνηση των φορτηγών είναι μειωμένη, η χρήση ενός καλά σχεδιασμένου, πυκνής διαβάθμισης μίγματος SMA θα ήταν πιο κατάλληλη. Όπως και με τα SMA θα ήταν αναγκαίο να γίνει σχεδιασμός έναντι παραμορφώσεων, στεγανότητας, φέρουσας ικανότητας και καιρικών συνθηκών. Προτείνεται ότι οι δοκιμές απόδοσης των πυκνής διαβάθμισης μιγμάτων, είτε πρόκειται για SMA είτε για Superpave, πρέπει να γίνονται κατά τη διάρκεια σχεδιασμού των μιγμάτων και κατ' ελάχιστον αυτοί πρέπει να περιλαμβάνουν δοκιμή για παραμορφώσεις.

Ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες, για την αποφυγή παραμορφώσεων ο βαθμός διείσδυσης σε υψηλή θερμοκρασία πρέπει να αυξηθεί κατά μια μονάδα μεγαλύτερη από αυτή που συνήθως χρησιμοποιείται στην περιοχή. Ο βαθμός διείσδυσης σε χαμηλή θερμοκρασία πρέπει να είναι αυτός που χρησιμοποιείται κανονικά στην περιοχή για επίπεδο εμπιστοσύνης 95 ή 99% αντίστασης σε θερμικές παραμορφώσεις

Επιπλέον μειώνοντας τα συνολικά κενά αέρος στο μίγμα, διασφαλίζεται η στεγανότητα του μίγματος. Κανονικά τα μίγματα σχεδιάζονται να έχουν κενά αέρος 15%, αλλά έχει αναφερθεί ότι τα κενά αέρος πρέπει να πλησιάζουν το

18% με 22% για να παρέχουν καλύτερη μακροχρόνια απόδοση. Η φέρουσα ικανότητα μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας υψηλής ποιότητας αδρανές υλικό με μικρό συντελεστή λείανσης. Η δυσκαμψία αυτής της στρώσης είναι κρίσιμη για τον σχεδιασμό μιας επιφάνειας με διάρκεια ζωής 20 χρόνια χωρίς παραμορφώσεις. Η δομή και κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών πρέπει να σχεδιάζεται ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογία με αυτήν του ενδιάμεσου στρώματος και οι δοκιμές απόδοσης πρέπει να αποτελούνται τουλάχιστον από μια δοκιμή παραμορφώσεων (σχ.20 και 21). (Brown and Cooley 1999).



**Σχήμα 20. Σχέση βαθμού παραμορφώσεων με πάχος ασφαλτικής στρώσης**



**Σχήμα 21. Δείγματα από ρηγματωμένο οδόστρωμα. Φαίνεται καθαρά ότι οι φθορές έχουν σταματήσει σε βάθος 50 χιλιοστών από την επιφάνεια**

## 4.6 Κατασκευή οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας

Η κατασκευή οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας απαιτεί μεγάλη έμφαση στη λεπτομέρεια και αφοσίωση στην διαδικασία της κατασκευής με ποιότητα από τη βάση προς την κορυφή. Στην διαδικασία κατασκευής του αυτοκινητόδρομου, οι μοντέρνες μέθοδοι δοκιμών πρέπει να εφαρμόζονται για να δίνουν συνεχώς πληροφορίες για την ποιότητα των υλικών και της κατασκευής.

Η θεμελίωση πρέπει να είναι ικανή να παραλάβει τα φορτία κυκλοφορίας αλλά και τα φορτία λόγω της επαφής με τις ανώτερες στρώσεις. Υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτό το στρώμα είναι αμμώδη ή μίγμα αμμωδών με αδρανή μεγαλύτερης κοκκομετρικής διαβάθμισης υποβάσεις, σταθεροποιημένα υλικά με μικρή κοκκομετρική διαβάθμιση, χονδρόκοκκα αδρανή ή ακόμα και σκυρόδεμα. Επίσης, η στρώση αυτή πρέπει να είναι καλά συμπυκνωμένη, λεία και σταθερή για να υποστηρίζει τα κυκλοφοριακά φορτία και να ασκεί αντίσταση στα φορτία των οδοστρωτήρων. Αν και δεν υπάρχει συγκεκριμένη οδηγία ή κανονισμός που αν υποδεικνύει ποια πρέπει να είναι η δυσκαμψία των υποκείμενων στρωμάτων, είναι σχετικά εύκολο να καθοριστεί με εργαλεία όπως ο κώνος δυναμικής διείδυσης (dynamic cone penetrometer).

Στον χώρο κατασκευής, αντικειμενικός σκοπός είναι να περιορίσουμε τις αλλαγές του όγκου στα εδάφη θεμελίωσης που οφείλονται σε διογκούμενα εδάφη ή στην τήξη του πάγου. Η κατασκευαστική εμπειρία μπορεί να καθορίσει τον καλύτερο τρόπο για την διαχείριση αυτών των καταστάσεων με την χρήση, για παράδειγμα, των κατάλληλων σταθεροποιητών, ή μίγματος εδαφών. Η αποδυνάμωση των εδαφών κατά την διάρκεια κάποιων εποχών του χρόνου θα πρέπει να επισημανθεί, και μπορεί να κριθεί αναγκαίο να διασφαλιστεί η στράγγιση ή να κατασκευαστεί ένα ενδιάμεσο κοκκώδες στρώμα που εξασφαλίζει μια επαρκή θεμελίωση για την διάρκεια της χρήσιμης ζωής της κατασκευής. Ο Nunn (1997) προτείνει το ελάχιστο μέτρο ελαστικότητας αυτής της στρώσης να είναι 50 kPa περίπου για τη στρώση θεμελίωσης.

Οι σύγχρονες τεχνικές κατασκευής οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας μπορούν να εξασφαλίσουν μια καλή απόδοση. Με την πιθανή χρήση τροποποιημένης με πολυμερή ασφάλτου, θα ήταν δυνατό να αποφευχθεί η υπερβολική θέρμανση του μίγματος στην διαδικασία παραγωγής. Νέες βιομηχανικές οδηγίες αναπτύσσονται για να διασφαλίσουν τον σωστό χειρισμό και εφαρμογή των τροποποιημένων με πολυμερή ασφάλτων. Η διαφορική καθίζηση σε στρώματα με χονδρόκοκκα αδρανή είναι ένα άλλο πρόβλημα που εμφανίζεται συχνά, αλλά και πάλι, με την κατάλληλη χρήση των υλικών κατά την διάρκεια της παραγωγής, της μεταφοράς και της διάστρωσης αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί.

Ο ογκομετρικός έλεγχος των μιγμάτων από τον εργολήπτη θα είναι καθοριστικός για την συνοχή και την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Ο εργολήπτης πρέπει να έχει πρόσβαση σε πλήρως εξοπλισμένα, τόσο από υλικής άποψης όσο και από άποψης προσωπικού, εργαστήρια δοκιμών και ελέγχου ποιότητας. Περιοδικές δοκιμές και δεδομένα ανάλυσης με καλό έλεγχο ποιότητας και τεχνικές επιθεώρησης μπορούν να εξασφαλίσουν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του οδοστρώματος. Οι μέθοδοι ελέγχου με τη λήψη πυρήνων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον καθορισμό της πυκνότητας στο πεδίο, ενώ το πάχος μπορεί να ελέγχεται περιοδικά με ειδικό ραντάρ και η λείανση της επιφάνειας του οδοστρώματος μπορεί να παρακολουθείται με τα νέα προφιλόμετρα.

#### **4.7 Στόχοι απόδοσης**

Για να διατηρηθεί ένα οδόστρωμα στη βέλτιστη κατάσταση του, θα ήταν απαραίτητο να ελέγχεται περιοδικά η απόδοση του. Η βασική ιδέα είναι να περιορίζονται όλοι οι τύποι των φθορών σε μερικά εκατοστά από την επιφάνεια της ασφαλικής στρώσης. Επίσης, οι φθορές όπως οι από πάνω προς τα κάτω ρηγματώσεις λόγω κόπωσης, οι ρηγματώσεις λόγω θερμοκρασιακών



μεταβολών, οι παραμορφώσεις και η φέρουσα ικανότητα της επιφάνειας μπορούν να περιοριστούν μέσα στο πάχος της αρχικής στρώσης του οδοστρώματος. Όταν οι φθορές φτάσουν σε ένα προκαθορισμένο επίπεδο, θα πρέπει αν προγραμματιστεί αποκατάσταση της επιφάνειας και η κατάσταση του οδοστρώματος θα βελτιωθεί μέχρι το σημείο που αυτό είναι δυνατόν. Υπάρχουν αρκετές μελέτες που υποστηρίζουν ότι στα μεγάλου πάχους, καλά κατασκευασμένα οδοστρώματα οι φθορές περιορίζονται στις ανώτερες ασφαλικές στρώσεις. Μια γερμανική μελέτη 176 τμημάτων ενός δικτύου οδοστρωμάτων απέδειξε ότι οι επιφανειακές ρωγμές που προκλήθηκαν σε ασφαλικά οδοστρώματα με πάχος μεγαλύτερο από 160 χιλιοστά, εκτείνονταν στο πάχος της ασφαλικής στρώσης περίπου μέχρι βάθους 100 χιλιοστών. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η τυπική αστοχία λόγω κόπωσης ήταν απίθανη και ότι η επιφανειακές ρηγματώσεις θα ήταν η κύρια μορφή των φθορών στα μεγάλου πάχους ασφαλικά οδοστρώματα. Το 1997 μια μελέτη στην Μεγάλη Βρετανία (Lesch and Nunn, 1997) έδειξε ότι οι κατασκευαστικές φθορές σε ασφαλικά οδοστρώματα με σχετικά μεγάλο πάχος ήταν πιο πιθανόν να συμβούν στην επιφάνεια παρά στις κατώτερες στρώσεις. Επιπλέον, ανακαλύφθηκε ότι τα κατασκευαστικά στρώματα γίνονται ανθεκτικότερα με το χρόνο αντί να εξασθενούν όπως πίστευαν μέχρι τώρα.

Μια έρευνα που σκιαγραφεί την καλή απόδοση τέτοιων οδοστρωμάτων έγινε στην Washington και μελετήθηκαν τα οδοστρώματα σε ένα μεγάλο αυτοκινητόδρομο (τον I-90) με πάχη στρώσεων από 160 έως 475 χιλιοστά. Διαπιστώθηκε ότι αυτά τα τμήματα δεν χρειάστηκε ποτέ να αποκατασταθούν για κατασκευαστικούς λόγους. Η ηλικία των οδοστρωμάτων κυμαίνονταν από 23 έως 35 χρόνια και τα οδοστρώματα με μεγάλο πάχος αποτελούσαν το 40 τοις εκατό του συνολικού μήκους (225 από τα 580 χιλιόμετρα). Στο δυτικό άκρο του οδοστρώματος η μέση ηλικία επιφανειακής αποκατάστασης ήταν 18.5 χρόνια, ενώ στο ανατολικό ήταν αντίστοιχα 12.4 χρόνια με μέση ηλικία δεύτερης αποκατάστασης τα 12.2 χρόνια.

Στο New Jersey πρόσφατα έγινε μια έρευνα πάνω στους τύπους των φθορών που αναπτύχθηκαν σε ένα οδόστρωμα ηλικίας 26 χρονών στον αυτοκινητόδρομο I-287. Η κατασκευή είχε πάχος ασφαλτικής στρώσης 250 χιλιοστά και είχε συντηρηθεί ελάχιστα. Στην επιφάνεια παρατηρήθηκαν φθορές όπως ρωγμές κατά μήκος των τροχών, ρωγμές λόγω κόπωσης και παραμορφώσεις μεγαλύτερες από 25 χιλιοστά. Μια λεπτομερής εξέταση της κατασκευής του οδοστρώματος έδειξε ότι από τις παραπάνω φθορές δεν υπερέβη τα 75 χιλιοστά στο πάχος της ασφάλτου. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να παρθεί η απόφαση να αποξεσθούν τα πρώτα 75 χιλιοστά της ασφαλτικής στρώσης και να αντικατασταθούν με θερμό ασφαλτόμιγμα πάχους 100 χιλιοστών. Οι εργασίες συντήρησης έγιναν το 1994 και η έρευνα που διεξήχθη το 2001 δεν έδειξε σημάδια ρωγμών ή παραμορφώσεων.

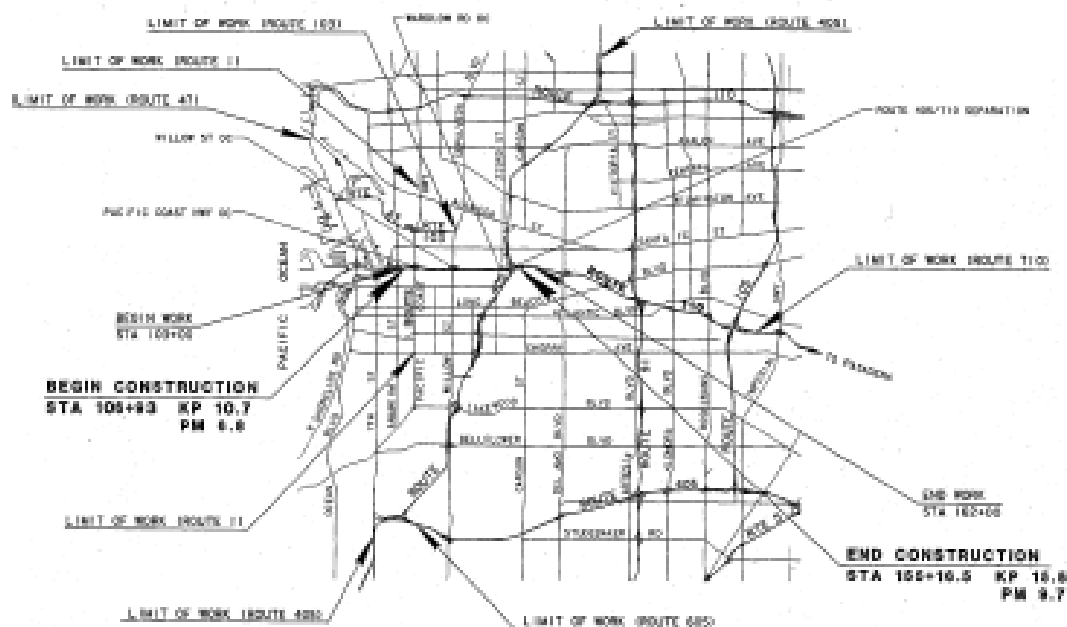
Θα ήταν σημαντικό να καθοριστούν οι τύποι των φθορών και τα επίπεδα στα θα πρέπει να ξεκινήσουν οι εργασίες αποκατάστασης. Ετήσιες έρευνες των φθορών των οδοστρωμάτων θα πρέπει να εκπονούνται για να παρακολουθείται η κατάσταση του οδοστρώματος σε σχέση με το χρόνο. Η εξέλιξη της κατάστασης της κατασκευής μπορεί επίσης να καταγράφεται είτε με την μέτρηση του πάχους του χρησιμοποιώντας είτε την λήψη πυρήνων ή ραντάρ ή και δοκιμές παραμόρφωσης. Οι πυρηνοληψία και η χρήση ραντάρ μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στον καθορισμό των προβλημάτων υγρασίας. Οι παραδοχές σχεδιασμού στην διαδικασία εύρεσης του πάχους των στρώσεων μπορούν να επαληθευτούν μέσα από τις δοκιμές παραμόρφωσης και να ερμηνευτούν υπολογίζοντας πειραματικά το μέτρο ελαστικότητας των στρώσεων. Σε περίπτωση αλλαγών όπως απώλεια της αντοχής του εδάφους λόγω αυξημένης υγρασίας, ένα ελάχιστο πρόσθετο πάχος μπορεί να προστεθεί κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης με σκοπό την ενίσχυση της διάρκειας της κατασκευής.

## 4.8 Σύγχρονες προσπάθειες εφαρμογής σχεδιασμού οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας – παραδείγματα από χώρες του εξωτερικού

Ένα αριθμός από προσπάθειες ανάπτυξης και εφαρμογής οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας βρίσκεται σε εφαρμογή σε διάφορες πολιτείες των Η.Π.Α. και στην Μεγάλη Βρετανία. Μέσα από αυτές τις προσπάθειες προκύπτουν συνεχώς νέα δεδομένα, τρόποι σχεδιασμού και κατασκευαστικές οδηγίες για τα οδοστρώματα μακράς διάρκειας.

### 4.8.1 California

Στη πολιτεία της Καλιφόρνια έχει κατασκευαστεί ο αυτοκινητόδρομος I 710 (σχ.22) (Martin et al. 2001) με τη χρήση οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας. Γνωστός και ως long beach freeway, αυτός ο δρόμος είχε σχεδιαστεί για κυκλοφορία από 100 εκατομμύρια έως 200 εκατομμύρια ισοδύναμα μονοαξονικά φορτία και για περίοδο σχεδιασμού 40 ετών.



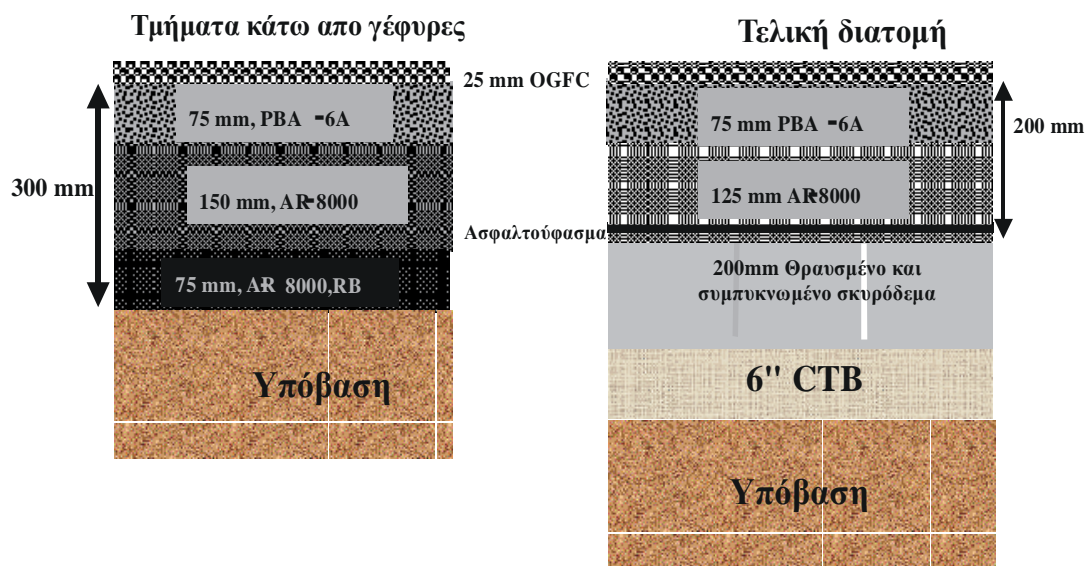
Σχήμα 22.Χάρτης στο οποίο εικονίζεται ο αυτοκινητόδρομος I-710

Το υπάρχων οδόστρωμα αποτελείται από μια επιφανειακή στρώση από σκυρόδεμα πάχους 200 χιλιοστών, μια στρώση κυκλοφορίας από υλικό επεξεργασμένο με σκυρόδεμα, βάση αδρανών πάχους 100 χιλιοστών και υπόβαση από αδρανή πάχους 200 χιλιοστών. Ο σχεδιασμός απαιτούσε ότι η πλειοψηφία των επιφανειακών στρώσεων από σκυρόδεμα θα έπρεπε να θραυστεί, να συμπυκνωθεί και πάνω από αυτήν να τοποθετηθεί στρώση 200 χιλιοστών καυτού ασφαλτομίγματος, ενώ παράλληλα τα τμήματα του οδοστρώματος από σκυρόδεμα καθώς και οι στρώσεις κυκλοφορίας κάτω από τις γέφυρες θα αφαιρεθούν και θα αντικατασταθούν από στρώση θερμού ασφαλτομίγματος πάχους 300 χιλιοστών. Τέλος στην επιφάνεια θα διαστρωθεί μια στρώση 25 χιλιοστών από ανοικτής διαβάθμισης προεπαλειμένες ψηφίδες έτσι ώστε να εξασφαλιστεί μια καλή αντιολισθηρή επιφάνεια.

Όπως εικονίζεται και στο παρακάτω σχήμα, στις διατομές κάτω από τις γέφυρες η ασφαλική στρώση θα έχει πάχος 300 χιλιοστά και θα αποτελείται από 75 χιλιοστών πάχους κατώτερο στρώμα στο οποίο το ποσοστό της ασφάλτου θα αυξηθεί κατά 0.5% πάνω από το βέλτιστο 5.2 %. Το βελτιωμένο αυτό μίγμα μπορεί να αυξήσει την διάρκεια ζωής το οδοστρώματος μέχρι ένα ποσοστό. Το ενδιάμεσο στρώμα θα έχει πάχος 150 χιλιοστά και θα είναι κατασκευασμένο από αδρανή με την ίδια κοκκομετρική διαβάθμιση όπως και το μίγμα του κατώτερου στρώματος, αλλά το ποσοστό της ασφάλτου θα είναι 4.7 %. Το δύσκαμπτο ασφαλικό ενδιάμεσο στρώμα (AR-8000) θα συνεισφέρει στην απόκτηση αντοχής έναντι παραμορφώσεων. Το ανώτερο στρώμα της κατασκευής θα αποτελείται από τροποποιημένη με πολυμερή άσφαλτο (PBA-6A) και θα βρίσκεται κάτω από μια στρώση 25 χιλιοστών με προεπαλειμένες ψηφίδες ανοικτής διαβάθμισης. Από δοκιμές αντοχής που έγιναν στα εργαστήρια βρέθηκε ότι το παραπάνω μίγμα παρουσιάζει λιγότερες από τις μισές παραμορφώσεις από άλλα ασφαλικά μίγματα.

Η συνολικού πάχους 200 χιλιοστών ασφαλική στρώση στις υπόλοιπες διατομές του αυτοκινητόδρομου θα υποστηρίζεται από την στρώση επικάλυψης

για το θραυσμένο και συμπυκνωμένο σκυρόδεμα, η οποία θα παρέχει επαρκή δυσκαμψία και θα αποτρέπει τις καμπτικές παραμορφώσεις στη βάση της, άρα και την δημιουργία ρωγμών από την βάση προς την κορυφή. Ένα κορεσμένο με άσφαλτο ύφασμα θα τοποθετηθεί σε ύψος 25 χιλιοστών από την στρώση σκυροδέματος για την προστασία έναντι ρωγμών. Όλα τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν πάνω από αυτό θα είναι τα ίδια με αυτά που περιγράφηκαν και παραπάνω.



**σχήμα 23. Τελικές διατομές μετά από την συντήρηση**

Η κατασκευαστική επάρκεια των παραπάνω διατομών (Σχ.23) ελέγχθηκε μειώνοντας την καμπτική παραμόρφωση στο ασφαλτόμιγμα σε τιμές μικρότερες των 70 με και την κατακόρυφη τάση στην κορυφή της υπόβασης σε τιμές μικρότερες των 200με, κάτω από ένα μονοαξονικό φορτίο 80 kN. Η διατμητική τάση κοντά στην επιφάνεια του ασφαλτομίγματος ερευνήθηκε για να διασφαλιστεί ότι δεν προκαλούνται παραμορφώσεις λόγω των ασφαλτομιγμάτων. Η διατμητική τάση που προκαλούσε 5% μόνιμη παραμόρφωση ήταν 6 φορές μεγαλύτερη από αυτή που υπολογίστηκε για συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών στο πεδίο. Η κατασκευή αυτών των

οδοστρωμάτων άρχισε το καλοκαίρι του 2001 και ολοκληρώθηκε το καλοκαίρι του 2002.

#### **4.8.2 Illinois**

Στο Illinois έγινε μια προσπάθεια να αναπτυχθεί μια μεθοδολογία σχεδιασμού των στρώσεων, επιλογής των υλικών και κατασκευής οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας (Illinois Department of Transportation (IDOT) 2001). Μια επιστημονική επιτροπή από μηχανικούς, ερευνητές, προμηθευτών ασφάλτου και κρατικών φορέων συντάχθηκε για να βελτιώσει και να εισαγάγει νέα στοιχεία στην ανάπτυξη της μεθοδολογίας.

Αποφασίστηκε να αναπτυχθεί και να χρησιμοποιηθεί μια μηχανιστική-εμπειρική μέθοδος σχεδιασμού. Ο σχεδιασμός οδοστρωμάτων απαιτούσε καμπτικές παραμορφώσεις στην ασφαλική στρώση μικρότερες των 60 με (τιμή αρκετά συντηρητική). Όσον αφορά τον σχεδιασμό του μίγματος έναντι ρωγμών λόγω κόπωσης στη βάση του, είναι διαφορετικός από αυτόν της Καλιφόρνια. Το βέλτιστο ποσοστό ασφάλτου καθορίστηκε αυτό που αποκτά όγκο κενών αέρος 2.5% στον αριθμό σχεδιασμού περιστροφών. Η κοκκομετρική διαβάθμιση του συνδετικού μίγματος και των αδρανών θα ήταν η ίδια με αυτή που χρησιμοποιούνταν στο σχεδιασμό οδοστρωμάτων superpave. Είναι σχεδιασμένο ότι το κατώτερο ασφαλικό στρώμα θα κατασκευάζεται σε στρώσεις των 100 χιλιοστών.

Το ενδιάμεσο ασφαλικό στρώμα θα κατασκευάζεται χρησιμοποιώντας συνδετικά μίγματα και αδρανή με που ακολουθούν τις χρησιμοποιούμενες προδιαγραφές για πυκνής κοκκομετρικής διαβάθμισης μίγματα. Ο αριθμός των κύκλων για τον σχεδιασμό θα καθοριστεί από της κυκλοφοριακές απαιτήσεις για τα επόμενα 20 χρόνια.

Με σκοπό να κατασκευαστεί μια ανανεώσιμη επιφάνεια με διάρκεια ζωής 20 έτη , αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί Stone Matrix Asphalt στα ανώτερα στρώματα. Το κατάλληλο πάχος των στρώσεων του παραπάνω υλικού καθορίζεται αναλύοντας τις διατμητικές εντάσεις κοντά στην επιφάνεια και καθορίζοντας την απόδοση έτσι ώστε να ασκείται αντίσταση σε παραμορφώσεις και ρηγματώσεις. Τα πιο πολλά προβλήματα που συνδέονται με τις φθορές βρέθηκαν ότι αναπτύσσονται στα πρώτα 100 χιλιοστά της επιφανειακής στρώσης. Επιπλέον , για ένα οδόστρωμα μακράς διάρκειας το πάχος της επιφανειακής στρώσης εξαρτάται άμεσα από την αναμενόμενη κυκλοφορία. Για χαμηλά επίπεδα κυκλοφορίας, το πάχος του SMA είναι 50 χιλιοστά, για μέτρια κυκλοφορία είναι 100 χιλιοστά. Για υψηλούς κυκλοφοριακούς φόρτους χρησιμοποιούνται πάχη 150 χιλιοστών. Αν και ακριβής πληροφορίες για το μέγεθος των υψηλών κυκλοφοριακών φόρων δεν υπάρχουν υπολογίζεται ότι θα κυμαίνονται στην τιμή των 25 εκατομμυρίων ισοδύναμων αξόνων.

Σε όλα τα οδοστρώματα, τα πρώτα 150 χιλιοστά της ασφαλτικής στρώσης, ανεξαρτήτως του τύπου του μίγματος, θα πρέπει να περιέχουν ένα τροποποιημένο με πολυμερή συνδετικό υλικό. Αυτό θεωρείται απαραίτητο για να αποφεύγονται οι ρηγματώσεις λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών και λόγω ρωγμών στην επιφάνεια. Ο βαθμός διείδυσης του μίγματος της ασφάλτου καθορίζεται από τους κανονισμούς και απαιτείται σε όλα τα μίγματα που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή του οδοστρώματος να περιέχουν ενυδατωμένη άσβεστο για να αποτρέπονται οι βλάβες λόγω υγρασίας.

Οι απαιτήσεις της θεμελίωσης ενός οδοστρώματος μακράς διάρκειας ανανεώνονται και αυτόν τον καιρό εξετάζονται δυο απόψεις: σύμφωνα με τη μια προτείνεται να τροποποιείται το υπάρχον έδαφος με άσβεστο μέχρι βάθους 300 χιλιοστών από την επιφάνεια του και πάνω εκεί να κατασκευάζεται το οδόστρωμα και η άλλη προτείνει την κατασκευή μιας στρώσης με κοκκώδης υλικά πάχους 300 χιλιοστών. Επιπλέον το ενδεχόμενο να κατασκευάζονται

υπόγειοι αγωγοί κατά μήκος του δρόμου παράλληλα με τις πλευρές του εξετάζεται με βάση τα κατασκευαστικά οφέλη.

### 4.8.3 Michigan

Στη μεθοδολογία σχεδιασμού που αναπτύχθηκε από τον (Von Quintus 2001) βασίζεται στον υπολογισμό των τάσεων και των εντάσεων του οδοστρώματος χρησιμοποιώντας μηχανιστική μέθοδο σχεδιασμού και το πρόγραμμα υπολογιστή ELSYM5. Στόχος του σχεδιασμού για την περίοδο σχεδιασμού του οδοστρώματος (40 έτη) να υπάρχουν αθροιστικά οι λιγότερες φθορές. Αυτή η μεθοδολογία αναπτύχθηκε, ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες, σαν μια μέθοδο καθορισμού ενός λογικού εύρους πάχους ασφαλικής στρώσης για οδοστρώματα μακράς διάρκειας.

Στον παρακάτω πίνακα (πιν.1) (Martin et al. 2001) παρουσιάζονται τα εκτιμώμενα πάχη των διαφόρων στρώσεων της κατασκευής σε συνάρτηση με τα επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου για τα 20 χρόνια της λειτουργίας του. Στο κάτω μέρος παρουσιάζονται τεχνικές αποκατάστασης για μια περίοδο 40 ετών.

Η θεμελίωση του οδοστρώματος αποτελείται από ένα μέτρο παγοανθεκτικό υλικό κάτω από μια υπόβαση θραυστών αδρανών για επίπεδα κυκλοφορίας από 3 έως 10 εκατομμύρια ισοδύναμους άξονες. Για υψηλότερους κυκλοφοριακούς φόρτους από 20 έως 30 εκατομμύρια ισοδύναμους άξονες γίνεται η κατασκευή μιας στρώσης βάσης από θραυστά αδρανή.

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει ένα οδηγό σχεδιασμού για τα προτεινόμενα είδη και πάχη ασφαλικών στρώσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Το συνολικό πάχος μιας ασφαλικής στρώσης κυμαίνεται από 290 έως 405 χιλιοστά για τα τέσσερα επίπεδα κυκλοφοριακού φορτίου που εξετάζονται. Για να μειώνονται οι ρωγμές από τη βάση προς το επάνω μέρος του οδοστρώματος προτείνεται ο όγκος κενών αέρος του μίγματος να είναι 3%. Το υλικό κατασκευής της επιφανειακής στρώσης πρέπει να είναι για την



περίπτωση των 3 έως 10 εκατομμύρια ισοδύναμων αξόνων πυκνά διαβαθμισμένο μίγμα superpave, και στην περίπτωση των 20 με 30 εκατομμυρίων αξόνων Stone Matrix Asphalt SMA για εικοσαετής περίοδο σχεδιασμού.

<b>Κατάλογος σχεδιασμού για οδοστρώματα μακράς διάρκειας στο Michigan (Von Quintus, 2001)</b>							
<b>Κυκλοφοριακό επίπεδο για 20 έτη, ισοδύναμοι άξονες *10<sup>6</sup></b>	3		10		20		30
<b>Συνολικό πάχος ασφαλτικής στρώσης, mm</b>	290		345		370		405
<b>Πάχος Stone Matrix Asphalt, mm</b>	—		—		65		65
<b>Πάχος Superpave, mm</b>	50		50		—		—
<b>Συνδετική Στρώση, mm</b>	115	90	140	11	140	125	150
<b>Στρώση Βάσης, mm</b>	125	150	155	180	165	180	190
<b>Βάση Αδρανών, mm</b>	—		—		330		430
<b>Υπόβαση Αδρανών, mm</b>	380		250		—		—
<b>Παγοανθεκτικά εδάφη, mm</b>	345		315		220		200
<b>Αποκατάσταση 1</b>	<b>έτος</b>	20	15	15	15		
	Mill-Overlay, mm	50-50	50-100	65-115	65-115		
<b>Αποκατάσταση 2</b>	<b>έτος</b>	32	30	30	30		
	Mill-Overlay, mm	50-50	50-50	50-50	50-75		

**Πίνακας 1. Κατάλογος σχεδιασμού για οδοστρώματα μακράς διάρκειας στο Michigan**

Για τις τεχνικές συντήρησης προτείνεται η τεχνική απόξεσης και επαναπλήρωσης (mill and fill) για τα χαμηλά επίπεδα κυκλοφορίας ενώ η τεχνική απόξεσης και ενίσχυσης (mill and strengthening) για τα υψηλότερα. Η

ανάγκη για ενίσχυση ενός οδοστρώματος πρέπει να ερευνάται τη στιγμή της αποκατάστασης.

#### 4.8.4 Wisconsin

Στην πολιτεία του Wisconsin έχουν σχεδιαστεί 2 ειδικοί χώροι δοκιμών για οδοστρώματα μακράς διάρκειας (πιν.2) (Mahoney 2001). Πέντε πειραματικές διατάξεις τμημάτων οδοστρώματος έχουν κατασκευαστεί στον αυτοκινητόδρομο State Trunk Highway 50 (Lake Geneva) και 2 πειραματικά τμήματα στην περιοχή Kenosha (Truck Station) το 2002.

Το κυκλοφοριακό φορτίο σχεδιασμού για την περιοχή Lake Geneva είναι 2 εκατομμύρια ισοδύναμοι άξονες για κάθε λωρίδα κυκλοφορίας για μια περίοδο σχεδιασμού 20 ετών. Τρία οδοστρώματα μακράς διάρκειας έχουν κατασκευαστεί μαζί με δυο τυπικά συνηθισμένα οδοστρώματα. Τα διάφορα τμήματα διαφέρουν βασικά στην κοκκομετρική διαβάθμιση των συνδετικών μιγμάτων και στην πυκνότητα όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα. Υπάρχουν δυο τμήματα ελέγχου που αντιπροσωπεύουν τον κανονικό σχεδιασμό οδοστρωμάτων για την πολιτεία του Wisconsin. Όλα τα δείγματα στην Lake Geneva εδράζονται σε μια στρώση πάχους 100 χιλιοστών από αδρανή ανοιχτής διαβάθμισης και μια υπόβαση 200 χιλιοστών από θραυστά αδρανή.

Τα πειραματικά τμήματα που έχουν κατασκευαστεί στην περιοχή Truck Station έχουν υπολογιστεί για φορτίο 75 εκατομμυρίων ισοδύναμων αξόνων και για διάρκεια ζωής 20 έτη. Η κατασκευή κάτω από τις ασφαλικές στρώσεις αποτελείται από μια βάση πάχους 100 χιλιοστών από αδρανή ανοιχτής κοκκομετρικής διαβάθμισης και μια υπόβαση πάχους 430 χιλιοστών από θραυστά αδρανή. Οι κυκλοφοριακές συνθήκες θα είναι χειρότερες εδώ από ότι θα ήταν σε κανονικές συνθήκες κυκλοφορίας γιατί ο κυκλοφοριακός φόρτος των φορηγών θα συγκεντρώνεται σε μια σειρά και θα κινείται με αργή ταχύτητα για να αυξήσει την πιθανότητα να εμφανιστούν παραμορφώσεις.

Αποτελέσματα δοκιμών σε οδοστρώματα μακράς διάρκειας στο Wisconsin					
περιοχή δοκιμής	τμήμα υπό δοκιμή	στρώση	πάχος mm	βαθμός διείσδυσης ασφάλτου	ποσοστό % κενών αέρος
Lake Geneva	οδόστρωμα μακράς διάρκειας (πανεπιστήμιο Illinois)	επιφανειακή	50	58-28	6
		συνδετική	90	64-22	6
		βάση	90	64-22	4
		συνολικά	230		
	οδόστρωμα μακράς διάρκειας (wisDOT)	επιφανειακή	50	64-28	6
		συνδετική	90	58-28	6
		βάση	90	58-28	4
		συνολικά	230		
	οδόστρωμα μακράς διάρκειας (WAPA)	επιφανειακή	50	58-28	6
		συνδετική	90	70-22	6
βάση		90	70-22	4	
συνολικά		230			
κανονικό οδόστρωμα (9 inch έλεγχος)	επιφανειακή	50	58-28		
	συνδετική	90	58-28		
	βάση	90	58-28		
	συνολικά	230			
κανονικό οδόστρωμα (7 inch έλεγχος)	επιφανειακή	40	58-28		
	συνδετική	70	58-28		
	βάση	70	58-28		
	συνολικά	180			
Truck Station	1	επιφανειακή	50	76-28	θα καθοριστεί
		συνδετική	130	70-22	
		βάση	100	58-28	
		συνολικά	230		
2	επιφανειακή	50	70-28	θα καθοριστεί	
	συνδετική	130	70-22		
	βάση	100	64-22		
	συνολικά	230			

**Πίνακας 2. Αποτελέσματα δοκιμών σε οδοστρώματα μακράς διάρκειας στο Wisconsin**

#### 4.8.5 Texas

Η κατασκευή οδοστρώματος μακράς διάρκειας στον αυτοκινητόδρομο I-35 στην περιοχή Waco του Texas, άρχισε τον Αύγουστο του 2001. Το υπάρχον οδόστρωμα αφαιρέθηκε και αντικαταστάθηκε λόγω φθορών από υγρασία που είχαν παρουσιαστεί στα κατώτερα ασφαλτικά στρώματα.

Ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που λήφθηκαν υπ' όψιν στον σχεδιασμό των υλικών ήταν η παρουσία διογκούμενων αργιλωδών εδαφών τα οποία εκτείνονταν μέχρι βάθους 4.6 μέτρων πάνω από ένα ασβεστολιθικό πέτρωμα. Είναι αναγκαίο να μειωθούν οι αλλαγές στην υγρασία για αυτά τα υλικά καθώς αυτό θα περιορίζε της εποχιακές καθιζήσεις και μετακινήσεις στο οδόστρωμα. Αποφασίστηκε το θερμό ασφαλτόμιγμα που θα χρησιμοποιηθεί να έχει μικρή διαπερατότητα, πράγμα που θα βοηθούσε στη λύση του προβλήματος. Έτσι, μια στρώση κυκλοφορίας από θερμό ασφαλτόμιγμα με δείκτη κενών αέρος 2% επιλέχθηκε κατά το σχεδιασμό. Επίσης, αποφασίστηκε ότι ένα πλούσιο σε συνδετικό υλικό στρώμα θα βοηθούσε στην εξάλειψη των ρηγματώσεων κατά τα αρχικά στάδια λειτουργίας του οδοστρώματος.

Το επίπεδο κυκλοφορίας για μια περίοδο σχεδιασμού 20 ετών αναμένεται να είναι 48 εκατομμύρια ισοδύναμοι τυπικοί άξονες, και η υπόβαση κατατάχθηκε σαν άργιλος με μέτρο ελαστικότητας 82.7 Mpa. Η συνολική κατασκευή, χωρίς να περιληφθεί η αντιολισθηρή στρώση με προεπαλειμμένες ψηφίδες (OGFC), είχε πάχος 480 χιλιοστά. Τα στρώματα αποτελούνταν από: 50 χιλιοστά στρώση SMA, κάτω από την ανώτερη στρώση OGFC, 80 χιλιοστά ενός μίγματος Superpave 19mm, μια στρώση πάχους 250 χιλιοστών μίγματος Superpave 25mm, και τελικά μια στρώση 100 χιλιοστών από αδιαπέρατο καυτό ασφαλτόμιγμα που συντελούσε στον εγκλωβισμό της υγρασίας στα υποκείμενα αργιλικά στρώματα. Τα τεστ απόδοσης για αυτά τα μίγματα περιλαμβάνουν έλεγχο παραμορφώσεων σε διάφορα ερευνητικά κέντρα, ενώ οι επί-τόπου δοκιμές έγιναν με όργανα όπως dynamic cone penetrometer, falling weight deflectometer, ground penetrating radar, portable seismic analyzer και προφιλόμετρα.

#### 4.8.6 Kentucky

Το Kentucky αναπτύξει τεχνογνωσία στην χρησιμοποίηση οδοστρωμάτων με ασφαλικές στρώσεις μεγάλου πάχους που καταλήγουν στην αυξημένη διάρκεια ζωής. Το τμήμα μεταφορών του Kentucky χρησιμοποιεί μια μηχανιστική εμπειρική μέθοδο σχεδιασμού που συνήθως έχει σαν αποτέλεσμα σχετικά μεγάλα πάχη σχεδιασμού ασφαλικών οδοστρωμάτων. Συνήθως αποτελούνται από στρώσεις πυκνά διαβαθμισμένων αδρανών πάχους 100 χιλιοστών (DGA, dense-graded aggregate) οι οποίες εδράζονται σε αργιλώδη εδάφη (μερικές φορές χημικά τροποποιημένα), και το ανώτερο στρώμα αποτελεί μια ασφαλική στρώση. Σε εργασίες συντήρησης κομμάτια από θραυσμένα και συμπυκνωμένα ασφατικά οδοστρώματα χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με ένα μεγάλο πάχους ασφατικό στρώμα. Οι μηχανιστικές αναλύσεις δείχνουν ότι τα οδοστρώματα που κατασκευάζονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές του Kentucky είναι ανθεκτικά σε παραμορφώσεις 70με.

Το 2000, αποφασίστηκε η συντήρηση του αυτοκινητόδρομου I-64 στην περιοχή Louisville που περιελάμβανε την αποκατάσταση 5.3 χιλιομέτρων (δυο λωρίδες κυκλοφορίας). Ο αυτοκινητόδρομος εξυπηρετούσε καθημερινά 100000 οχήματα με ποσοστό φορτηγών περίπου 10%. Ο σχεδιασμός με ένα μηχανιστικό εμπειρικό σύστημα κατέληξε στο τελικό πάχος σχεδιασμού ασφαλικής στρώσης 280 χιλιοστών, πράγμα που ικανοποιούσε τον περιορισμό όσον αφορά της παραμορφώσεις(<70με) αλλά και το μέτρο ελαστικότητας. Η ασφαλική στρώση αποτελούνταν από ένα πυκνά διαβαθμισμένο superpave μίγμα με τροποποιημένη με πολυμερή άσφαλτο (βαθμός διείδυσης 76-22) στις άνω στρώσεις.

Ένα παρόμοιο έργο στον αυτοκινητόδρομο I-65 το οποίο πρόσφατα ολοκληρώθηκε ήταν η αποκατάσταση και η διαπλάτυνση ενός ήδη υπάρχοντος δύσκαμπτου οδοστρώματος στην περιοχή Bowling Green. Τα θραυσμένα και συμπυκνωμένα τμήματα του δύσκαμπτου οδοστρώματος καλύφθηκαν από μια

στρώση 280 χιλιοστών θερμού ασφαλτομίγματος, ενώ στις άκρες του δρόμου όπου πρέπει να γίνει η διαπλάτυνση επιλέχθηκε μια ασφαλτική στρώση 380 χιλιοστών. Η τακτική συντήρησης προέβλεπε επικάλυψη 90 χιλιοστών σε 20 χρόνια από το έτος κατασκευής και ελαφριές (40 χιλιοστά) αντικαταστάσεις της επιφάνειας κατά τη διάρκεια της 40ετούς περιόδου ανάλυσης. Τα μίγματα που χρησιμοποιούνται είναι πυκνής κοκκομετρικής διαβάθμισης Superpave χρησιμοποιώντας ασφαλτόμιγμα με βαθμό διείδυσης 76-22 στα ανώτερα στρώματα. Τέλος η παρουσία ενός δύσκαμπτου υποκείμενου στρώματος θραυσμένου και συμπυκνωμένου σκυροδέματος θα αποτρέψει την εμφάνιση ρωγμών κάμψης στο ασφαλτικό στρώμα.

#### **4.8.7 Ohio και Virginia**

Οι πολιτείες του Ohio και της Virginia πρόσφατα έχουν αρχίσει να διαμορφώνουν και να συντάσσουν κανονισμούς και οδηγίες πάνω στην μελέτη και κατασκευή οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας.

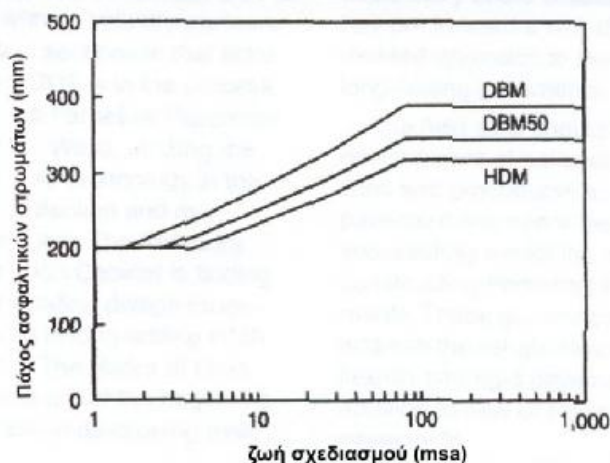
Το τμήμα μεταφορών της πολιτείας του Ohio έχει συγκροτήσει μια επιστημονική επιτροπή με καθήκον να ερευνήσει τον σχεδιασμό και την κατασκευή οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας. Η επιτροπή αυτή αποτελείται από πανεπιστημιακούς καθηγητές, συμβούλους, εκπρόσωπους του τμήματος μεταφορών, εκπροσώπους βιομηχανιών ασφάλτου κ.α. επιπλέον καθήκοντα αυτής της επιτροπής είναι η σύνταξη κανονισμού για τις απαραίτητες προϋποθέσεις των υλικών οδοποιίας, για τις δοκιμές και τις προδιαγραφές τους.

Βασισμένη σε δεδομένα που προέρχονται από βιομηχανίες αλλά και από εθνικές υπηρεσίες και οργανισμούς, η πολιτεία της Virginia κάνει μια προσπάθεια να αναπτύξει κανονισμούς και μεθοδολογία σχεδιασμού οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας. Τα θέματα που συζητούνται περιλαμβάνουν τον σχεδιασμό των οδοστρωμάτων, την επιλογή των υλικών και το κόστος κύκλου ανάλυσης.

#### 4.8.8 Μεγάλη Βρετανία

Οι πρακτικές που ακολουθήθηκαν και αναπτύχθηκαν στο παρελθόν στην Μεγάλη Βρετανία είχαν ως στόχο το σχεδιασμό ενός εύκαμπτου οδοστρώματος με διάρκεια ζωής 40 ετών (σχ.25) (Nunn et al. 1997) και μια προγραμματισμένη συντήρηση της αρχικής του επιφάνειας σε 20 χρόνια από την κατασκευή του. Τα σύγχρονα στοιχεία δείχνουν ότι θα ήταν πιο οικονομικό και ιδιαίτερα από άποψη κόστους καθυστέρησης, ο σχεδιασμός να γίνεται έτσι ώστε το οδόστρωμα να παραμένει κατασκευαστικά επαρκές για 40 χρόνια. Έτσι θα χρειάζεται μόνο μια περιοδική αντικατάσταση της επιφάνειας του.

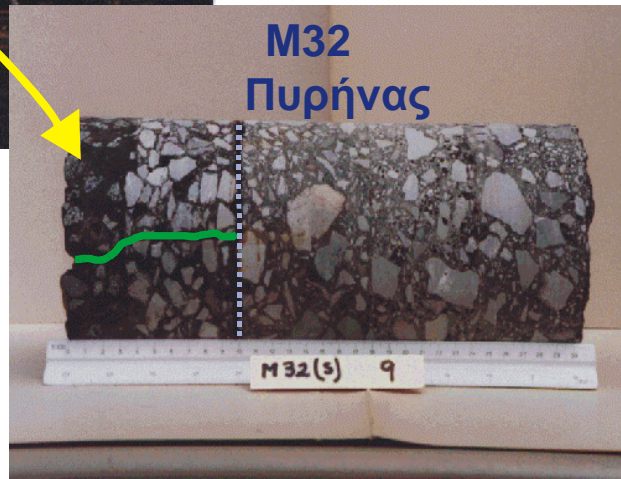
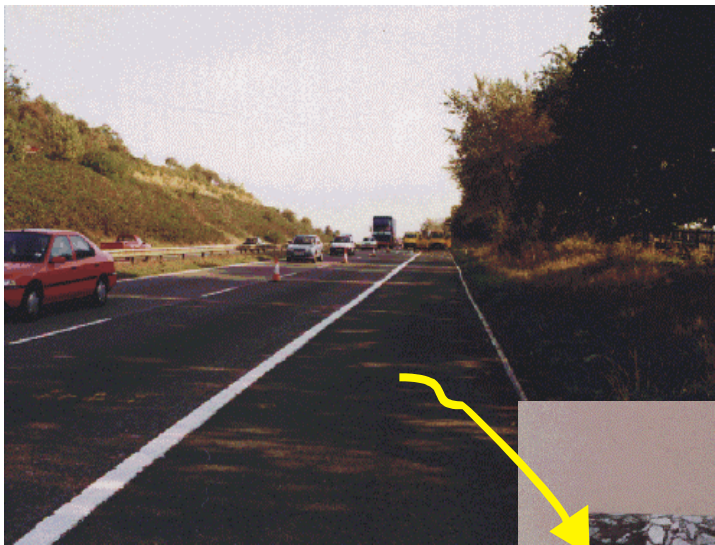
TRRL Καμπύλη Σχεδιασμού (Nunn et al. 1997)



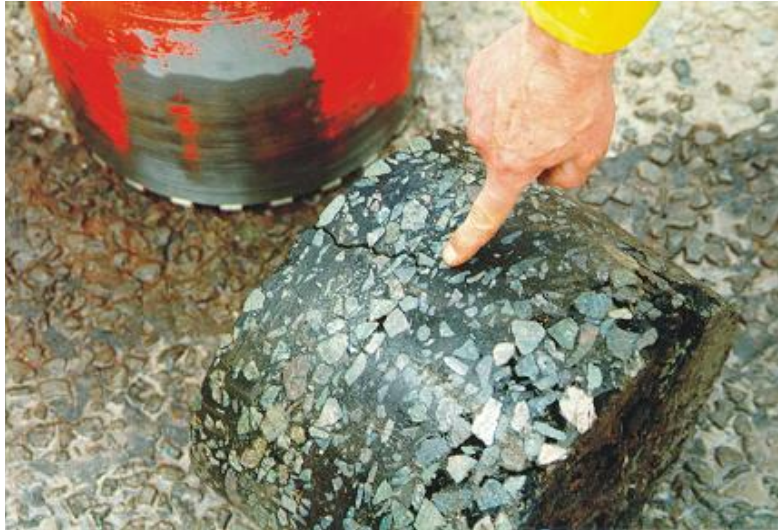
Σχήμα 24. Καμπύλη σχεδιασμού οδοστρωμάτων του TRRL

Το κατασκευαστικό μέρος για τα οδοστρώματα μακράς διάρκειας στην Αγγλία προϋποθέτει την κατασκευή μιας μεγάλου πάχους ασφαλτικής στρώσης πάνω από μια κοκκώδη βάση και υπόβαση. Το πάχος της ασφάλτου είναι τέτοιο που να αποτρέπει την εμφάνιση ρηγματώσεων από το κάτω μέρος προς τα πάνω λόγω κόπωσης και την εμφάνιση παραμορφώσεων. Έχει διαπιστωθεί πειραματικά ότι οδοστρώματα με πάχος ασφαλτικής στρώσης λιγότερο από 180 χιλιοστά είναι ευπαθή σε κατασκευαστικές παραμορφώσεις, ενώ οι

παραμορφώσεις σε μεγαλύτερου πάχους στρώσεις περιορίζονται στην κορυφή. Οι φθορές συμβαίνουν μόνο στα πρώτα 100 χιλιοστά των παχιών ασφαλτικών οδοστρωμάτων στην Αγγλία. Στο παρακάτω σχήμα (σχ.26) (Nunn and Ferne 2001) εικονίζεται η ρύθμιση του πάχους της ασφαλτικής στρώσης σε συνάρτηση με το είδος και την δυσκαμψία του μίγματος. Μια τυπική πυκνή ασφαλτική στρώση βάσης χρειάζεται να κατασκευαστεί με άσφαλτο με δείκτη διείσδυσης 100.







**Σχήμα 25. Πυρήνας από αυτοκινητόδρομο της Μεγάλης Βρετανίας. Διακρίνεται καθαρά ότι οι ρωγμές σταματούν σε μικρό σχετικά πάχος από την επιφανειακή στρώση**

Η χρήση υπερβολικά δύσκαμπτων μιγμάτων επιτρέπει τον σχεδιασμό λεπτότερων στρώσεων σύμφωνα με την Βρετανική μεθοδολογία. Ωστόσο οι Βρετανοί ερευνητές έχουν θεσπίσει ένα ανώτερο όριο για το πάχος της ασφαλτικής στρώσης βασισμένο πάνω στις παρατηρούμενες εντάσεις. Μελέτες πάνω στους Βρετανικούς δρόμους δείχνουν ότι επιπλέον πάχος ασφαλτικής στρώσης πέρα από αυτή που απαιτείται για 80 εκατομμύρια ισοδύναμα μονοαξονικά φορτία δεν θα έχουν κανένα όφελος στην κατασκευή.

#### **4.9 Συγκρίσεις (πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα)**

Τα οδοστρώματα μακράς διάρκειας έχουν:

- **Μεγάλη διάρκεια ζωής της κατασκευής**

Ο τρόπος με τον οποίο σχεδιάζονται και κατασκευάζονται τα οδοστρώματα μακράς διάρκειας είναι τέτοιος που να τους προσδίδει ικανοποιητική αντοχή στο χρόνο. Πιο συγκεκριμένα ο σχεδιασμός απαιτεί τα παρακάτω:

1. την επιλογή των κατάλληλων μιγμάτων έτσι ώστε να μην παραμορφώνονται ή να ρηγματώνονται κάτω από θερμοκρασιακές μεταβολές
2. τον σχεδιασμό των παχών των στρώσεων έτσι ώστε να έχουν επαρκή δομική αντοχή και δυσκαμψία για να μειώνονται οι παραμορφώσεις που προκαλούνται από τα κυκλοφοριακά φορτία κάτω από ένα καθορισμένο όριο. Πάχη ασφαλτικών στρώσεων μεγαλύτερα από 160 χιλιοστά θεωρούνται ότι μπορούν να εκπληρώσουν τις απαιτήσεις οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας.
3. τον σχεδιασμό μιας πολύ ανθεκτικής και «ανανεώσιμης» (με περιοδική αντικατάσταση-ανανέωση αν αυτή απαιτείται) επιφάνειας

Όλα τα παραπάνω στοιχεία σε συνδυασμό και με τις απαιτήσεις που πρέπει να πληρεί το έδαφος θεμελίωσης, όπως:

- επαρκής αποστράγγιση έτσι ώστε να αποφεύγονται τα προβλήματα που δημιουργούνται από την υγρασία στις κατώτερες στρώσεις, τα οποία μπορούν να επιδεινώσουν σημαντικά και την κατάσταση της επιφάνειας και των άλλων στρώσεων του οδοστρώματος. Επιπλέον η υγρασία έχει μια σημαντική επίδραση και στην αλλοίωση του μέτρου ελαστικότητας των στρώσεων.

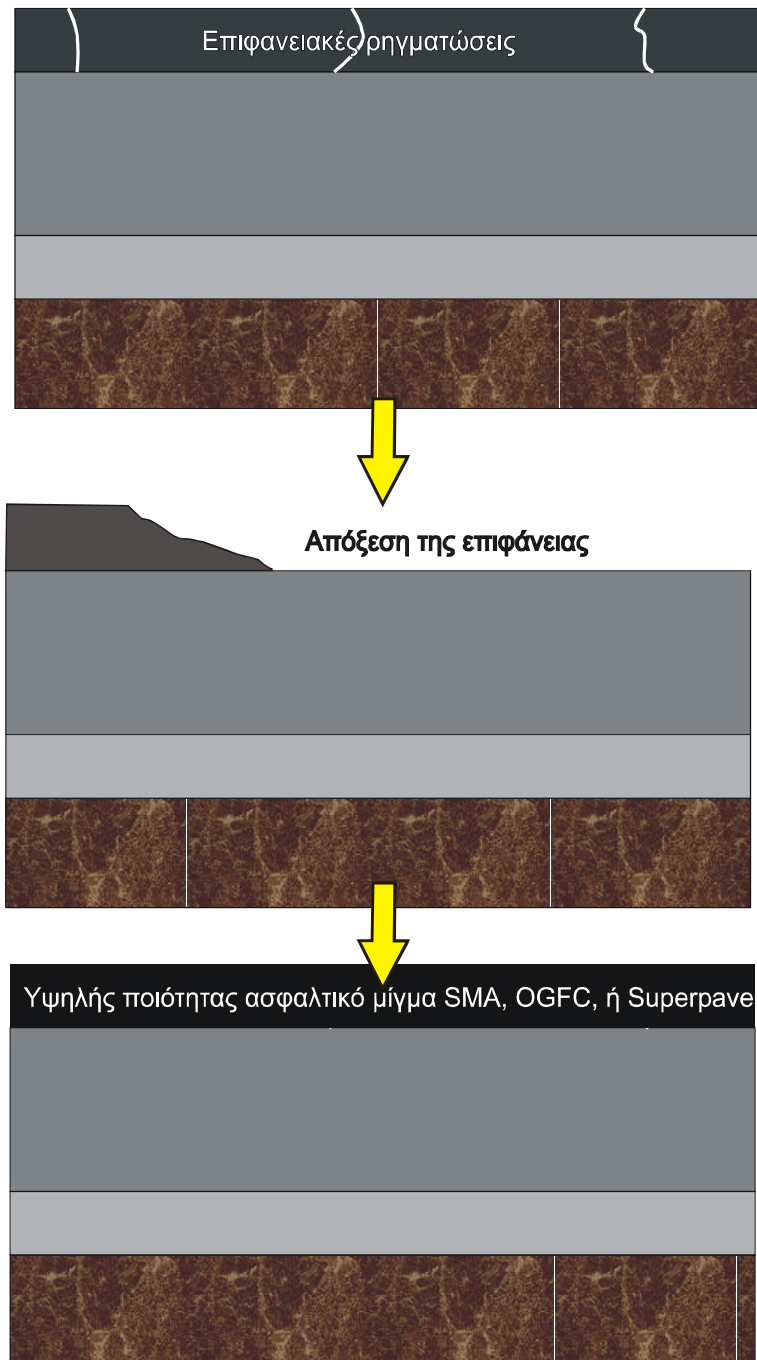
- Να λαμβάνεται υπ' όψιν η αλλαγή των ιδιοτήτων θεμελίωσης ανάλογα με τη αλλαγή των εποχών έτσι ώστε οι εντάσεις σε αυτά να μην υπερβαίνουν κάποια όρια κατά τα κρίσιμα διαστήματα στην διάρκεια ενός έτους

- Και τελικά να λαμβάνονται υπ' όψιν ειδικές συνθήκες σχεδιασμού όπως η ευαισθησία των εδαφών στον πάγο, οι φθορές που μπορεί να προκαλέσει η τήξη του πάγου, τα διογκούμενα εδάφη.

Στόχος του σχεδιασμού αποτελεί επίσης η επιδίωξη μιας όσο το δυνατόν μεγαλύτερης διάρκειας ζωής κόπωσης.

- **Ανανεώσιμη επιφάνεια οδοστρώματος**

Τα μίγματα που επιλέγονται για την κατασκευή των επιφανειακών στρώσεων είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε όχι μόνο να αντιστέκονται σε ρωγμές και παραμορφώσεις, αλλά και σε περίπτωση που εμφανιστούν να εμποδίσουν την διάδοση τους σε μεγάλο βάθος μέσα στην κατασκευή. Οι αναλογίες των υλικών, η περιεκτικότητα σε άσφαλτο, η κοκκομετρική διαβάθμιση και το είδος των αδρανών συνδυάζονται με τον κατάλληλο τρόπο με σκοπό να προκύψει το κατάλληλο μίγμα για την επιφανειακή στρώση. Πολλές φορές μπορούν να χρησιμοποιηθούν και περισσότερα του ενός μίγματα σε στρώσεις με σκοπό την επίτευξη ενός όσο το δυνατόν καλύτερου αποτελέσματος ενάντια στις φθορές. Σημαντική ιδιότητα των παραπάνω ασφαλτομιγμάτων είναι ότι μπορούν εύκολα να αποξεσθούν και να αντικατασταθούν από νέα σε περίπτωση που λόγω των παραμορφώσεων και των ρηγματώσεων το επίπεδο εξυπηρέτησης πέφτει κάτω από τα επιθυμητά όρια. Σε αντίθεση, λοιπόν, με τα κοινά οδοστρώματα (εύκαμπτα-δύσκαμπτα) όπου σε περίπτωση εμφάνισης εκτεταμένων φθορών χρειάζονται ριζικές επεμβάσεις μέχρι και αντικατάσταση και ανακατασκευή των βαθύτερων στρωμάτων του οδοστρώματος (βάση, υπόβαση), στα οδοστρώματα μακράς διάρκειας αρκεί μια απόξεση της επιφανειακής στρώσης σε βάθος 100-150 χιλιοστά και στη συνέχεια αντικατάσταση της με το κατάλληλο ασφαλτόμιγμα (σχ.27) (Rowe et al. 2001).



**Σχήμα 26. Σχηματική απεικόνιση αποκατάστασης επιφανειακής στρώσης οδοστρώματος μακράς διάρκειας**

- **Συνεκτική, ομαλή και ασφαλής επιφάνεια οδήγησης**

Σημαντικός παράγοντας που χαρακτηρίζει την ποιότητα ενός οδοστρώματος είναι η ομαλότητα της επιφάνειας του. Η λείανση δεν επιδρά στην επιδείνωση

της δομικής κατάστασης αλλά περισσότερο σε επίπεδο ασφάλειας και εξυπηρέτησης . Τα μίγματα που χρησιμοποιούνται στις αντι-ολισθηρές στρώσεις οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας είναι ανθεκτικά στην λείανση των επιφανειακών αδρανών, και πολλές φορές μπορούν να χρησιμοποιηθούν ειδικές στρώσεις επάλειψης, μικρού πάχους, με σκοπό την βελτίωση της αντιολισθηρότητας της επιφανειακής στρώσης. Επειδή η παρουσία του νερού επιδεινώνει την κατάσταση όσον αφορά την λείανση της επιφάνειας, πολλές φορές χρησιμοποιούνται και αντι-υδρόφιλα υλικά σε αυτές τις στρώσεις. Το φαινόμενο της ανάδυσσης της ασφάλτου μπορεί επίσης να προκαλέσει προβλήματα ολισθηρότητας και για αυτό το λόγο, σε αντίθεση με τα κοινά οδοστρώματα, στα οδοστρώματα μακράς διάρκειας το φαινόμενο αυτό είναι περιορισμένο, λόγω των σύγχρονων υλικών που χρησιμοποιούνται.

- **Φιλικά προς το περιβάλλον**

Η καλή κατάσταση των επιφανειακών στρώσεων αλλά και των κατώτερων στρωμάτων εξασφαλίζει το ελάχιστο δυνατό κόστος των χρηστών του οδοστρώματος. Αυτό σημαίνει ότι παρουσιάζεται μικρότερο κόστος φθοράς των οχημάτων κατά την κυκλοφορία τους, μικρότερη κατανάλωση καυσίμων και κατά συνέπεια ελαχιστοποίηση των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Οι εργασίες συντήρησης επίσης αν και απαιτούν βαριά μηχανήματα γίνονται σε μεγάλα χρονικά διαστήματα (κάθε 20 χρόνια) και για αυτό το λόγο οι επιπτώσεις στο περιβάλλον κατά τη διάρκεια των εργασιών είναι μειωμένες. Η ηχορύπανση τόσο κατά τη διάρκεια της κατασκευής όσο και κατά τη διάρκεια λειτουργίας του έργου είναι σε επιθυμητά όρια, λόγω της χρήσης προηγμένων ασφαλτομιγμάτων που μειώνουν τον θόρυβο που προκαλείται από την επαφή των ελαστικών με το οδόστρωμα. Τέλος όλα τα υλικά που προκύπτουν από την συντήρηση είναι ανακυκλώσιμα και έτσι μειώνεται ακόμα περισσότερο η επιβάρυνση του περιβάλλοντος.

- **Αποφυγή δαπανηρών συντηρήσεων – αποκαταστάσεων**

Οι εργασίες συντήρησης για ένα οδοστρώμα μακράς διάρκειας περιλαμβάνουν απομάκρυνση της επιφανειακής του στρώσης μέχρι βάθους 100 χιλιοστών (οι περισσότερες φθορές περιορίζονται σε αυτό το βάθος και αντικατάσταση της με νέα ίδιου ή και μεγαλύτερου πάχους. Εργασίες συντήρησης σύμφωνα με τον σχεδιασμό προβλέπεται να γίνονται κάθε 20 χρόνια και θα έχουν την παραπάνω μορφή. Σε αντίθεση με τα κοινά οδοστρώματα τα οποία ενδέχεται να χρειαστούν νωρίτερα συντήρηση και το είδος αυτής θα είναι μεγαλύτερο σε έκταση από μια απλή αντικατάσταση της επιφανειακής στρώσης. Στον παρακάτω πίνακα (πιν.3) (Rowe et al. 2001) γίνεται μια σύγκριση κοινών οδοστρωμάτων με οδοστρώματα μακράς διάρκειας σε ένα δίκτυο ως προς τη διάρκεια ζωής του έργου. Ανάλογα είναι και τα αποτελέσματα όσον αφορά το κόστος των επεμβάσεων.

**Δίκτυο με κοινά οδοστρώματα**

Μίλια τμημάτων ενός δικτύου αυτοκινητοδρόμων	Χρόνια μέχρι την επόμενη συντήρηση	Χρόνια συντήρησης στα τμήματα
100	5 (100 x 5)	500 yr-mi
100	10	1000 yr-mi
100	15	1500 yr-mi
		<u>3000 yr-mi</u>
Total = 3000 yr-mi		
Μέσος χρόνος συντήρησης κάθε μιλίου = 3000/300 = 10 έτη		

**Αν το 1/3 του δικτύου είχε οδοστρώματα μακράς διάρκειας**

Μίλια τμημάτων ενός δικτύου αυτοκινητοδρόμων	Χρόνια μέχρι την επόμενη συντήρηση	Χρόνια συντήρησης στα τμήματα
100	5 (100 x 5)	500 yr-mi
100	10	1000 yr-mi
100	40	4000 yr-mi
		<u>5500 yr-mi</u>
Total = 5500 yr-mi		
Μέσος χρόνος συντήρησης κάθε μιλίου = 5500/300 = 18.33έτη		

Σχεδόν διπλασιάζει την χρήσιμη διάρκεια ζωής του δικτύου

**Πίνακας 3. Σύγκριση χρόνου συντήρησης για δίκτυο με κανονικά οδοστρώματα και για δίκτυο με οδοστρώματα μακράς διάρκειας**

## 5. ΦΘΟΡΕΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

### 5.1 Γενικά

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

Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά ή καλύτερα την "απόδοση" του οδοστρώματος είναι:

- η ποιότητα της κατασκευής (σχ.28) (Θεοδωρακόπουλος Δημήτριος Δ., Σημειώσεις Κατασκευής Οδών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, εργαστήριο Συγκοινωνιακών έργων, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών)
- η καταλληλότητα των χρησιμοποιηθέντων υλικών (σχ.28) (Θεοδωρακόπουλος Δημήτριος Δ., Σημειώσεις Κατασκευής Οδών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, εργαστήριο Συγκοινωνιακών έργων, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών )
- ο κυκλοφοριακός φόρτος (σχ.29) (Θεοδωρακόπουλος Δημήτριος Δ., Σημειώσεις Κατασκευής Οδών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, εργαστήριο Συγκοινωνιακών έργων, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών )

- οι συνθήκες του περιβάλλοντος και
- η ορθότητα της μελέτης διαστασιολόγησης του οδοστρώματος (σχ.30) (Θεοδωρακόπουλος).

Αν η συμπεριφορά εκφραστεί σε επίπεδο εξυπηρέτησης τότε η επίδραση της καλής ή μη καλής κατασκευής φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Ένα κακώς κατασκευασμένο οδόστρωμα θα έχει σημαντικά μικρότερη διάρκεια ζωής από αυτό που κατασκευάστηκε σύμφωνα με όλες τις προβλεπόμενες προδιαγραφές. Παρόμοια είναι και η επίδραση της ποιότητας των υλικών. Η χρήση οριακών και κατά κανόνα φθηνών υλικών έχει σαν συνέπεια τη μείωση της διάρκειας ζωής του οδοστρώματος.

Η μη αναμενόμενη αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου, πλέον αυτής που εκτιμήθηκε στο στάδιο της μελέτης, και ιδιαίτερα των βαρέων αξονικών φορτίων, μειώνουν επίσης τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Η απρόβλεπτη αύξηση των αξονικών φορτίων μπορεί να οφείλεται και στην ύπαρξη υψηλών ποσοστών υπέρβαρων αξόνων.

Οι συνθήκες του περιβάλλοντος που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του οδοστρώματος είναι:

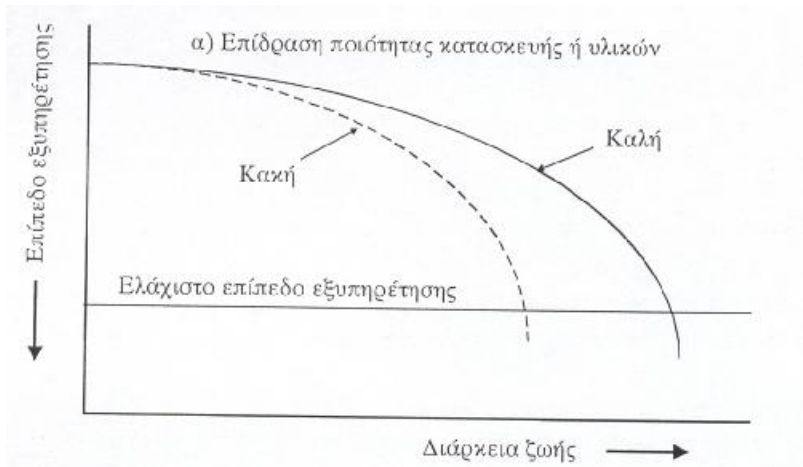
- η υγρασία του υπεδάφους
- η θερμοκρασία του περιβάλλοντος
- ο παγετός και
- η παρουσία ή μη υλικών που διαστέλλονται παρουσία νερού (άργιλος κλπ).

Οι υψηλές υγρασίες υπεδάφους, οι πολύ υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος και η παρουσία υλικών που διαστέλλονται σε συνδυασμό με την επίδραση των αξονικών φορτίων μειώνουν τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος.

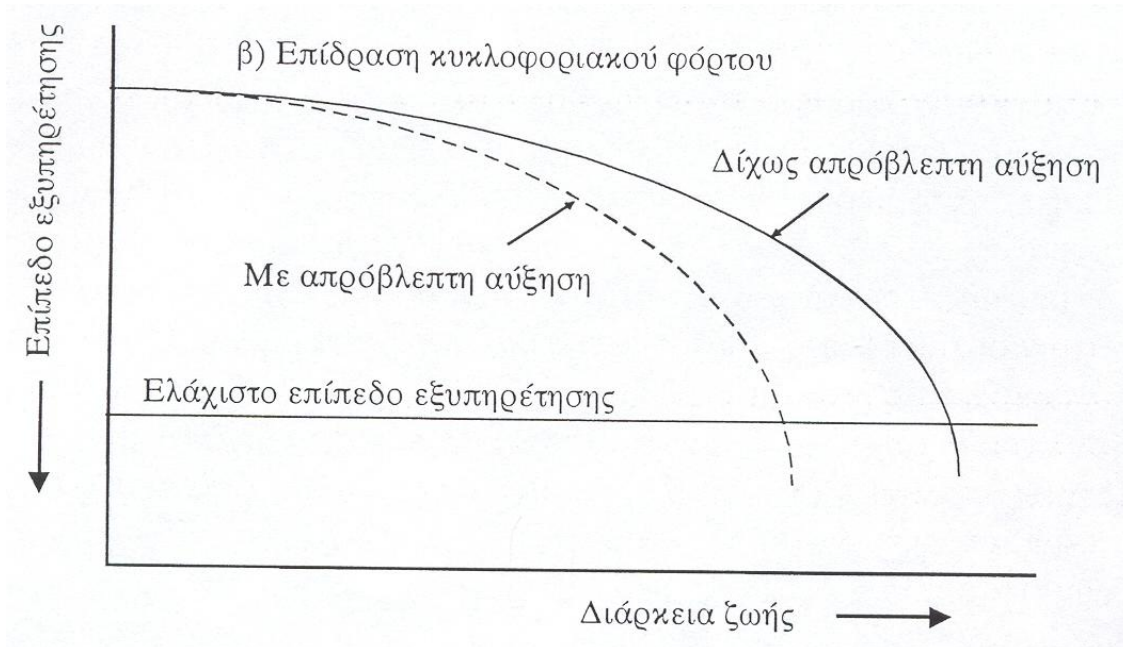
Η μελέτη διαστασιολόγησης του οδοστρώματος ορισμένες φορές μπορεί να μην είναι σωστή, λόγω κακής εκτίμησης ή υπολογισμού των σχεδιαστικών παραμέτρων. Έτσι, μπορεί να προταθούν μικρότερα από τα απαιτούμενα πάχη



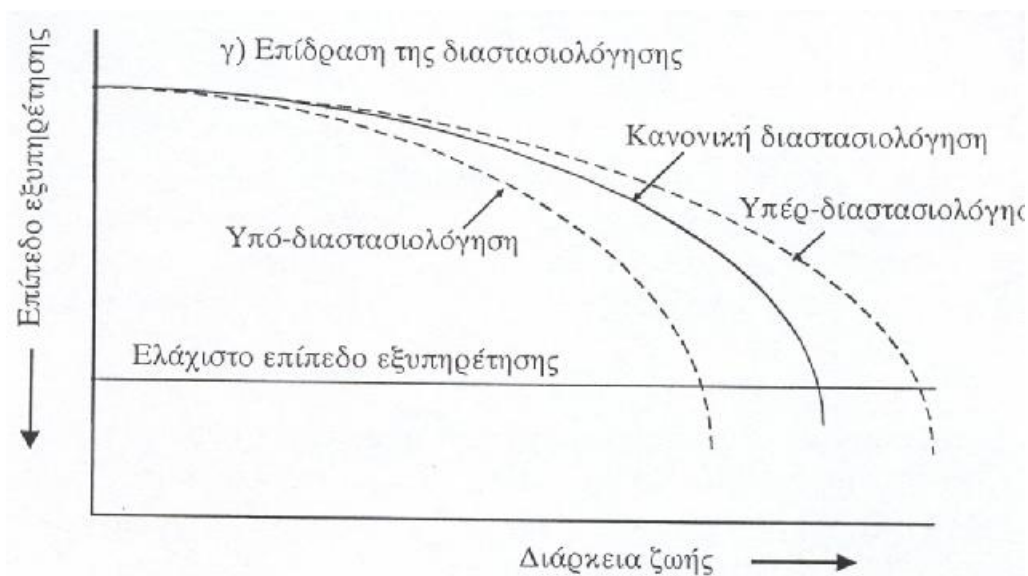
στρώσεων (υπό-διαστασιολόγηση) ή μεγαλύτερα πάχη στρώσεων (υπερ-διαστασιολόγηση). Στην πρώτη περίπτωση η διάρκεια ζωής του οδοστρώματος μειώνεται, ενώ στη δεύτερη αυξάνεται αλλά σε βάρος του κόστους κατασκευής, όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα.



**Σχήμα 27. επίδραση ποιότητας κατασκευής ή υλικών στην διάρκεια ζωής οδοστρώματος**



**Σχήμα 28. Επίδραση κυκλοφοριακού φόρτου στην διάρκεια ζωής οδοστρώματος**



**Σχήμα 29. Επίδραση της διαστασιολόγησης στην διάρκεια ζωής οδοστρώματος**

## 5.2 Φθορές σε εύκαμπτα οδοστρώματα μακράς διάρκειας

Όλες οι φθορές που εμφανίζονται στα εύκαμπτα οδοστρώματα μακράς διάρκειας μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις κατηγορίες:

- Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι ρηγματώσεις
- στη δεύτερη οι παραμορφώσεις παντός είδους
- στην τρίτη οι αποσαθρώσεις και
- στην τέταρτη η λείανση της επιφάνειας κύλισης.

Αναλυτική περιγραφή όλων των αναπτυσσομένων φθορών μαζί με τα πιθανά αίτια που τις προκαλούν δίνεται παρακάτω. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονισθεί το γεγονός ότι, στον καθορισμό της καταλληλότερης συντήρησης - θεραπείας των φθορών βοηθά εξαιρετικά ο ακριβής καθορισμός της κύριας αιτίας που προκάλεσε τη φθορά.

### 5.2.1 Ρηγματώσεις

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

Οι διάφορες μορφές ρηγματώσεων είναι:

- **Ρωγμές τύπου αλιγάτορα**

Οι ρωγμές τύπου αλιγάτορα είναι διακλαδιζόμενες και αλληλοσυνδεόμενες ρωγμές που σχηματίζουν πολυγωνικά κομμάτια (μπλοκ) όμοια με αυτά του δέρματος του αλιγάτορα. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα κομμάτια αυτά δίνουν την εντύπωση ότι είναι σχεδόν έτοιμα να αποκολληθούν. Τυπική μορφή ρηγματώσεων τύπου αλιγάτορα δίνεται στην παρακάτω φωτογραφία (σχ.30) ([www.Pavementinteractive.org](http://www.Pavementinteractive.org) bleeding PAVEMENT ).



A)



B)

**Σχήμα 30. Ρωγμές αλιγάτορα**

Τα αίτια που προκαλούν τις ρηγματώσεις αυτές, τις περισσότερες φορές, είναι το μεγάλο βέλος κάμψης που αναπτύσσεται στις ασφαλτικές στρώσεις του οδοστρώματος λόγω μειωμένης φέρουσας ικανότητας του υπεδάφους ή / και της υπόβασης / βάσης. Η μείωση προέρχεται από τη μείωση της φέρουσας ικανότητας των στρώσεων αυτών λόγω εποχιακής αύξησης της υγρασίας στις στρώσεις αυτές. Οι ρωγμές στην περίπτωση αυτή συνήθως εμφανίζονται τοπικά και σε περιορισμένη έκταση.

Όταν οι ρωγμές τύπου αλιγάτορα εμφανίζονται σε μεγάλη έκταση κατά μήκος του δρόμου, η αιτία εμφάνισής τους είναι διαφορετική. Στην προκειμένη περίπτωση η αιτία (-ες) που προκάλεσε τη φθορά αυτή είναι η πλήρης κόπωση του οδοστρώματος λόγω των επαναλαμβανόμενων φορτίσεων του οδοστρώματος από τον κυκλοφοριακό φόρτο, σε συνδυασμό πιθανότατα και με την ύπαρξη ασθενούς υπεδάφους ή μειωμένου πάχους υποκείμενων στρώσεων. Το τελευταίο θα πρέπει πάντοτε να ελέγχεται και να καθορίζεται.

#### • **Ρωγμές στα άκρα του οδοστρώματος**

Οι ρωγμές αυτές είναι συνήθως επιμήκεις και εμφανίζονται περίπου 30-50 cm από τα άκρα του οδοστρώματος μετά ή άνευ εγκαρσίων ρωγμών. Οφείλονται κυρίως στην ανεπαρκή υποστήριξη του οδοστρώματος λόγω ενός ή περισσότερων από τους παρακάτω λόγους:

1. κακή συμπύκνωση,
2. κακή αποστράγγιση,
3. δράση παγετού,
4. συρρίκνωση λόγω ξηρασίας του εδάφους της περιοχής ή
5. λόγω μειωμένου πάχους των στρώσεων στα σημεία αυτά.

- **Ρωγμές μεταξύ λωρίδων διάστρωσης ή διαπλάτυνσης**

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

- **Ρωγμές από ανάκλαση**

Οι ρωγμές από ανάκλαση (σχ.31) ([www.Pavementinteractive.org](http://www.Pavementinteractive.org) bleeding PAVEMENT ) εμφανίζονται κατά κανόνα σε πρόσθετες ασφαλτικές στρώσεις, που διαστρώθηκαν στο παρελθόν για την αποκατάσταση σοβαρών φθορών του οδοστρώματος. Η μορφή και η κατεύθυνσή τους ποικίλλει από διαμήκης, εγκάρσια, διαγώνια ή και μερικώς διακλαδιζόμενη, ανάλογα με τη μορφή που είχαν οι παλαιές ρωγμές της επισκευασμένης επιφάνειας. Τυπικές ρωγμές από ανάκλαση είναι αυτές που εμφανίζονται σε ασφαλτικές επιστρώσεις πάνω σε δύσκαμπτα οδοστρώματα, ή οδοστρώματα από βάση με ισχνό σκυρόδεμα ή ακόμη σε επιστρώσεις που έγιναν πάνω από παλαιά εγκιβωτισμένα ερείσματα ή διαπλατύσεις.



**Σχήμα 31. Ρωγμές από ανάκλαση**

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

- **Ρωγμές από ολίσθηση ταπήτων**

Η μορφή των ρωγμών από ολίσθηση των ταπήτων έχει σχήμα "μισοφέγγαρου". Οι ρωγμές αυτές οφείλονται αποκλειστικά και μόνο στην ολίσθηση του τάπητα κυκλοφορίας επί της υποκείμενης στρώσης λόγω κακής συνοχής αυτών. Η κακή συνοχή των ταπήτων οφείλεται στην απουσία συγκολλητικής επάλειψης ή την ανεπαρκή και κακή συγκολλητική επάλειψη, ή την ύπαρξη μεταξύ των στρώσεων χωμάτων (κυρίως αργιλικών) ή λαδιών αυτοκινήτων ή ύδατος.



A)



B)

### Σχήμα 32. Ρωγμές από ολίσθηση ταπήτων

Οι ρωγμές αυτής της μορφής μπορεί να οφείλονται επίσης, ελάχιστες όμως φορές, στη μεγάλη περιεκτικότητα του ασφαλτομίγματος σε λεπτόκοκκα αδρανή ή ακόμη και στ3ν κακή συμπύκνωση της υπερκείμενης στρώσης (σχ.32) ([www.Pavementinteractive.org](http://www.Pavementinteractive.org) bleeding PAVEMENT ).

- **Ρωγμές συρρίκνωσης**

Οι ρωγμές συρρίκνωσης είναι συνήθως ακανόνιστης μορφής, διακλαδιζόμενες και ως ένα βαθμό συνδεδεμένες μεταξύ τους, σχηματίζοντας μεγάλα πολυγωνικά μπλοκ με οξείες γωνίες.

Οι ρωγμές αυτές οφείλονται στη συρρίκνωση του ασφαλτομίγματος ή των υλικών της βάσης ή / και της υπόβασης. Πλην όμως, είναι δύσκολο να αποδοθούν μετά βεβαιότητας στο ένα ή στο άλλο υλικό. Συστολή του ασφαλτομίγματος μπορεί να επέλθει όταν αυτό έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε λεπτόκοκκα αδρανή και φύλλερ και υψηλό ποσοστό σκληρής ασφάλτου. Η έλλειψη κυκλοφοριακού φόρτου βοηθά στη δημιουργία αυτών των ρωγμών.

Σε οδοστρώματα για μικρό κυκλοφοριακό φόρτο, όπου οι ασφαλτικές στρώσεις είναι μικρού πάχους (περίπου 50mm), οι ρωγμές συρρίκνωσης είναι πιθανόν να οφείλονται στη συρρίκνωση του υπεδάφους.

- **Ρωγμές στην τροχιά των τροχών**

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

- **Ελικοειδείς ρωγμές**

Είναι οι ρωγμές που εμφανίζονται με ελικοειδή μορφή (μη διακλαδιζόμενη) κατά μήκος του οδοστρώματος και όχι σε συγκεκριμένη θέση.

Η εμφάνιση των ρωγμών αυτών οφείλεται συνήθως στη δράση του παγετού ή στην κόπωση του οδοστρώματος.

## **5.2.2 Παραμορφώσεις (στρεβλώσεις) της επιφάνειας**

Οι παραμορφώσεις ή στρεβλώσεις της επιφάνειας του οδοστρώματος είναι σε γενικές γραμμές οι φθορές εκείνες που χαρακτηρίζουν το οδόστρωμα ως μη επίπεδο. Η εμφάνιση επιφανειακών παραμορφώσεων αυξάνει την επικινδυνότητα της οδού δεδομένου ότι, αναλόγως της ταχύτητας του οχήματος,



χάνεται ή μειώνεται η επαφή του ελαστικού με το οδόστρωμα. Επιπροσθέτως, επιφέρουν σημαντική μείωση της άνεσης κατά την οδήγηση. Οι παραμορφώσεις μπορεί να συνοδεύονται και από ρηγματώσεις πράγμα που επιδεινώνει ακόμη περισσότερο την κατάσταση, κυρίως ως προς τη δομική λειτουργία του οδοστρώματος.

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

- στην ελαστοπλαστική συμπεριφορά του ασφαλτομίγματος,
- στη χαμηλή ευστάθεια των ασφαλτομιγμάτων,
- στη μη καλή συμπύκνωση όλων των στρώσεων και
- στην καθίζηση του υπεδάφους.

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

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

Αναλυτικότερα οι διάφορες μορφές παραμορφώσεων που παρουσιάζονται στα εύκαμπτα οδοστρώματα είναι:

- **Αυλακώσεις στις τροχιές των τροχών**

Οι αυλακώσεις αυτές είναι καναλοποιημένες καθιζήσεις κατά μήκος της τροχιάς των τροχών. Οφείλονται σε μια ή περισσότερες από τις παρακάτω αιτίες: την παραμένουσα παραμόρφωση του ασφαλτομίγματος ή την καθίζηση των στρώσεων λόγω κακής συμπύκνωσης, ή την πλευρική μετακίνηση μιας ή περισσότερων στρώσεων κάτω από την επίδραση των αξονικών φορτίων. Τυπική μορφή αυλακώσεων που οφείλεται στους παραπάνω λόγους φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (σχ.33 και 34) ([www. Pavementinteractive.org](http://www.Pavementinteractive.org) bleeding PAVEMENT). Επίσης, αυλακώσεις μπορούν να δημιουργηθούν και μόνο από

την υψηλή παραμορφωσιμότητα του ασφαλτομίγματος, που χαρακτηρίζεται και από χαμηλή ευστάθεια και υψηλή παραμόρφωση κατά Marshall ή χαμηλό στατικό μέτρο δυσκαμψίας. Στην προκειμένη περίπτωση, οι αυλακώσεις θα συνδέονται υποχρεωτικά και από τοπικές ανυψώσεις δεξιά και αριστερά της αυλάκωσης και καθ' όλο το μήκος αυτής.

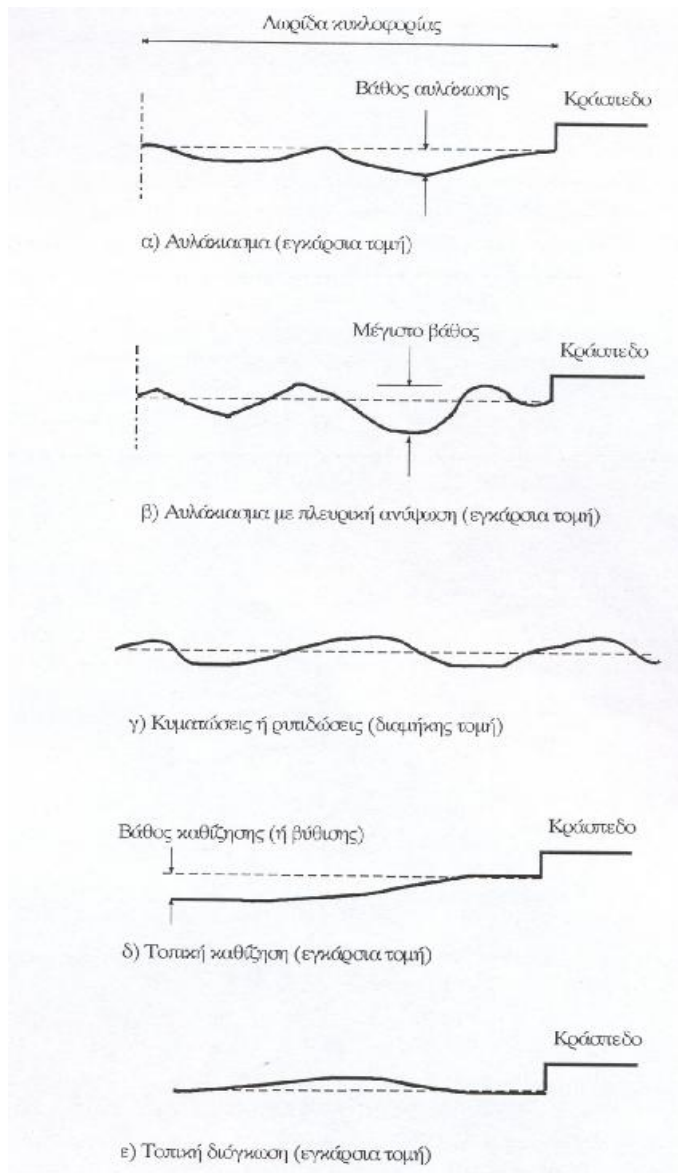


A)



B)

**Σχήμα 33. Αυλακώσεις στις τροχιές των τροχών**



**Σχήμα 34. Επιφανειακές παραμορφώσεις**

- **Κυματώσεις (ρυτιδώσεις)**

Οι κυματώσεις(Σχ.35) ([www.Pavementinteractive.org](http://www.Pavementinteractive.org) bleeding PAVEMENT), ή ρυτιδώσεις ή πτυχώσεις, είναι μια μορφή πλαστικής μετακίνησης που έχει ως αποτέλεσμα την τοπική εξόγκωση της επιφάνειας υπό μορφή κυματώσεων. Στην ειδική περίπτωση που η πλαστική μετακίνηση είναι τοπική, το φαινόμενο ονομάζεται απώθηση . Οι ρυτιδώσεις ή απωθήσεις εμφανίζονται συνήθως σε περιοχές όπου αναπτύσσονται υψηλές διατμητικές

τάσεις' όπως σε περιοχές φρεναρίσματος (στάσεις και διασταυρώσεις), ή ανωφέρειες και κατωφέρειες και δε συνοδεύονται από ρηγματώσεις, εκτός ορισμένων περιπτώσεων απωθήσεων. Οι ρυτιδώσεις αναπτύσσονται σε όλη την επιφάνεια του οδοστρώματος, είναι όμως περισσότερο έντονες στην κύρια λωρίδα της κυκλοφορίας.



A)

B)

### Σχήμα 35. Κυματώσεις

Οφείλονται αποκλειστικά και μόνο στη χαμηλή ευστάθεια του ασφαλτομίγματος και στην πλαστική παραμόρφωση αυτού. Η χαμηλή ευστάθεια του ασφαλτομίγματος, συνήθως του τύπου κυκλοφορίας, μπορεί να οφείλεται στο υψηλό ποσοστό ασφάλτου, ή στη χρήση ασφάλτου με χαμηλό ιξώδες (μαλακή άσφαλτος, με διεισδυτικότητα μεγαλύτερη των 100 pen), στο υψηλό ποσοστό άμμου έναντι των χονδρόκοκκων αδρανών, ή στο γεγονός ότι το μίγμα έχει κενά μικρότερα της ελαχίστης επιτρεπτής τιμής, ή στη χρήση φυσικών αδρανών (μη θραυστά και στρογγυλεμένα αδρανή) ή, τέλος, στη μη πλήρη εξάτμιση των διαλυτών των διαλυμάτων, που κακώς χρησιμοποιούνται ακόμη και σήμερα από ορισμένους κατασκευαστές για συγκολλητικές ή και προεπαλείψεις.

- **Τοπικές καθιζήσεις**

Τοπικές καθιζήσεις χαρακτηρίζονται οι καθιζήσεις που είναι σε περιορισμένη έκταση και συνήθως δε συνοδεύονται από μικρορωγμές (σχ.36)

([www.Pavementinteractive.org](http://www.Pavementinteractive.org) bleeding PAVEMENT ). Οι καθιζήσεις αυτές κατακρατούν νερό, είναι πηγή επιταχυνόμενης φθοράς του οδοστρώματος και συγχρόνως κίνδυνος για τους χρήστες της οδού (ολισθηρότητα, πάγος κλπ).

Οι τοπικές καθιζήσεις είναι συνήθως περιορισμένης έκτασης και οφείλονται στην τοπική καθίζηση των υποκειμένων στρώσεων κάτω από την επίδραση υψηλών αξονικών φορτίων. Οι καθιζήσεις των υποκειμένων στρώσεων μπορεί να οφείλονται σε κακή κατασκευή αυτών, ή / και σε τοπική μείωση της φέρουσας ικανότητας αυτών.



A)



B)

### Σχήμα 36. Τοπικές καθιζήσεις

- **Τοπικές διογκώσεις**

Οι τοπικές διογκώσεις οφείλονται σε τοπική διόγκωση του υπεδάφους ή της υπόβασης, ή της βάσης και σπανίως των ασφαλτικών στρώσεων. Η συνηθέστερη αιτία που προκαλεί τη διόγκωση είναι η διαστολή του εγκλωβισμένου ύδατος κατά τη διάρκεια του χειμώνα, λόγω παγετού. Βεβαίως, δεν πρέπει να αποκλείεται και η επίδραση της υγρασίας σε διογκούμενα εδαφικά υλικά. Οι διογκώσεις ανύψωσης χαρακτηρίζονται από διακλαδιζόμενες ρηγματώσεις.

- **Τοπικές καθιζήσεις σε τομές οδοστρώματος**

Οι τοπικές αυτές καθιζήσεις εμφανίζονται από την κακή συμπίκνωση των υλικών επίχωσης των εγκαρσίων τομών που ανοίγονται κυρίως από οργανισμούς κοινής ωφελείας ή ιδιώτες.

### **5.2.3 Αποσύνθεση**

Αποσύνθεση είναι η θρυμματίση του οδοστρώματος σε μικρά ασύνδετα κομμάτια. Σ' αυτό περιλαμβάνεται και η αποκόλληση των αδρανών από την επιφάνεια του οδοστρώματος. Εάν η αποσύνθεση, όπως ορίστηκε παραπάνω, δε συντηρηθεί έγκαιρα, είναι σίγουρο ότι θα οδηγήσει πολύ σύντομα σε κατάσταση όπου θα απαιτείται αποκατάσταση του οδοστρώματος.

Οι κυριότερες μορφές αποσύνθεσης του οδοστρώματος σε αρχικό στάδιο είναι η αποκόλληση αδρανών και οι λακκούβες .

- **Αποκόλληση αδρανών**

Η αποκόλληση αδρανών από την επιφάνεια του οδοστρώματος είναι το γνωστό "ψώριασμα" ή απογύμνωση της επιφάνειας που αρχίζει συνήθως από την άκρη του οδοστρώματος προς το κέντρο. Η αποκόλληση των αδρανών γίνεται προοδευτικά. Πρώτα αποκολλώνται τα λεπτόκοκκα αδρανή και κατόπιν τα χονδρόκοκκα. Στα πρώτα στάδια η επιφάνεια παρουσιάζει μια σχετική τραχύτητα και κατόπιν μικρές "φωλιές" που αρχίζουν να πυκνώνουν και να μεγαλώνουν δημιουργώντας έτσι σε πολλές περιπτώσεις λακκούβες(σχ.37) ([www.asphaltwa.com/bleeding/PAVEMENT](http://www.asphaltwa.com/bleeding/PAVEMENT) )



A)



B)

### Σχήμα 37. Αποκόλληση αδρανών

Οι αιτίες που προκαλούν αυτού του είδους τη φθορά είναι:

- η χαμηλή περιεκτικότητα του μίγματος σε ασφαλτο
- η χρήση μη καθαρών αδρανών
- η κατασκευή του τάπητα σε χαμηλές θερμοκρασίες ή / και με βροχή
- η υπερθέρμανση της ασφάλτου ή του ασφαλτομίγματος
- η χρήση αδρανών που έχουν την τάση να αποσυντίθενται (σαθρά αδρανή)
  - η μη επαρκής συμπίκνωση, στην περίπτωση των ψυχρών ασφαλτομιγμάτων μόνο.

- **Λακκούβες**

Οι γνωστές σε όλους λακκούβες δημιουργούνται από αδυναμίες του ασφαλτομίγματος ή της δομής του οδοστρώματος όπως:

- έλλειψη συνδετικού υλικού στο ασφαλτόμιγμα,
- μειωμένο πάχος τάπητα κυκλοφορίας,
- τοπική αστοχία κατά την κατασκευή των στρώσεων, κυρίως της βάσης και

- μη καλή τοπική αποστράγγιση της οδού.
- Λακκούβες μπορούν να δημιουργηθούν και από επιδείνωση της αποκόλλησης των αδρανών από την επιφάνεια του οδοστρώματος.

#### **5.2.4 Λεία επιφάνεια οδοστρώματος**

Η λεία επιφάνεια είναι μια φθορά του οδοστρώματος η οποία, σε αντίθεση με τους άλλους τύπους φθορών, δεν επιδρά στην επιδείνωση της δομικής κατάστασης του οδοστρώματος αλλά στο επίπεδο ασφάλειας και εξυπηρέτησης αυτού και είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ολισθηρότητα της επιφάνειας.

Η λεία επιφάνεια του οδοστρώματος οφείλεται κυρίως στη λείανση των επιφανειακών αδρανών. Επίσης, μπορεί να οφείλεται και στην ανάδυση της ασφάλτου στην επιφάνεια του οδοστρώματος, ή στη βύθιση των χονδρόκοκκων αδρανών ή ακόμη και στη χρήση λείων και σφαιρικών αδρανών (αμμοχάλικο χειμάρρων κλπ.). Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις επέρχεται μείωση ή εκμηδένιση της μικρουφής και μακρουφής της επιφάνειας του οδοστρώματος και κατά συνέπεια μείωση του συντελεστή τριβής μεταξύ των ελαστικών και της επιφάνειας. Η παρουσία νερού επιδεινώνει την κατάσταση και παράλληλα είναι αιτία ανάπτυξης του φαινομένου της υδρολίσθησης (ιδιαίτερα στα σημεία παρακράτησης ύδατος). Επιδείνωση της ολισθηρότητας μπορεί επίσης να επέλθει με την παρουσία λαδιών ή χώματος (κυρίως αργιλικών υλικών) πάνω στην επιφάνεια, καθώς επίσης και με την εναπόθεση ελαστικών (στις περιοχές που παρατηρείται έντονη πέδηση των οχημάτων).

Η ολισθηρότητα συνδέεται άμεσα με τα τροχαία ατυχήματα. Έτσι λοιπόν, θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή για την άμεση αποκατάσταση της αντιολισθηρής ικανότητας της επιφάνειας.



- **Λείανση των αδρανών – Ολισθηρότητα**

Η λείανση των αδρανών της επιφάνειας οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στη χρήση ακατάλληλων σκληρών αδρανών.

- **Ανάδυση ασφάλτου**

Ανάδυση ασφάλτου είναι το φαινόμενο της κάθετης μετακίνησης της ασφάλτου μέσα στο ασφαλτόμιγμα και η εμφάνιση αυτής στην επιφάνεια του οδοστρώματος δημιουργώντας έναν ασφατικό υμένα (σχ.38)([www.asphaltwa.com/bleeding/PAVEMENT](http://www.asphaltwa.com/bleeding/PAVEMENT) ) . Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται μόνο κατά την περίοδο των θερινών μηνών.

Η μόνη αιτία εμφάνισης ανάδυσης ασφάλτου είναι η ύπαρξη περίσσειας ασφάλτου στο ασφαλτόμιγμα ή ο ψεκασμός πλέον της απαιτούμενης ποσότητας συγκολλητικής ή προεπάλειψης (ανάδυση ασφάλτου από προεπάλειψη μπορεί να συμβεί μόνο στην περίπτωση διάστρωσης ενός τάπητα πάχους 40-50 mm).



A)



B)

**Σχήμα 38. Ανάδυση ασφάλτου**

### **5.3 Φθορές δύσκαμπτων οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας**

Οι φθορές που παρουσιάζουν τα δύσκαμπτα οδοστρώματα μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις κατηγορίες, όμοιες με αυτές των ευκάμπτων οδοστρωμάτων, δηλαδή:

- ρηγματώσεις,
- επιφανειακές παραμορφώσεις,
- αποσύνθεση επιφάνειας και
- λείανση επιφάνειας.

Πριν αναπτυχθούν αναλυτικά οι παραπάνω φθορές θα πρέπει να αναφερθεί ότι η επιτυχής συντήρηση των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων με τσιμεντοκονίαμα ή γενικότερα με νέο σκυρόδεμα, μετά ή άνευ οπλισμού, είναι πολύ δύσκολη και πολλές φορές αδύνατη. Για το λόγο αυτό οι μέθοδοι συντήρησης που θα αναπτυχθούν παρακάτω βασίζονται σε συντήρηση με ασφαλτικά υλικά ή ασφαλτικά μίγματα.

#### **5.3.1 Ρηγματώσεις - Αρμοί**

Οι ρωγμές είναι οι περισσότερο κοινές φθορές των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων. Οφείλονται κατά ένα μεγάλο ποσοστό στην ογκομετρική συμπεριφορά του σκυροδέματος κάτω από θερμοκρασιακές αυξομειώσεις, αλλά και στην επαναλαμβανόμενη φόρτιση που επέρχεται από την κυκλοφορία.

Ρωγμές εμφανίζονται καθ' όλες τις διευθύνσεις, πλην όμως μπορούν να αποφευχθούν ή να περιορισθούν με την κατασκευή αρμών (διαστολής, συστολής και στρέβλωσης -διαμήκεις αρμοί). Παρόλο που οι αρμοί περιορίζουν την ανάπτυξη ρωγμών, δημιουργούν σοβαρό πρόβλημα συντήρησής τους. Θα μπορούσε να ειπωθεί ότι η συντήρηση των αρμών είναι εξίσου σημαντική, αν όχι σημαντικότερη, από τη συντήρηση των ρωγμών. Και αυτό διότι η έναρξη

ενός μεγάλου ποσοστού ρηγματώσεων οφείλεται στη μη καλή και έγκαιρη συντήρηση των κατασκευασμένων αρμών. Η συντήρηση των αρμών και των ρηγματώσεων καταλαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό των έργων συντήρησης δύσκαμπτων οδοστρωμάτων. Οι φθορές στους αρμούς και οι συνήθεις ρωγμές είναι:

- **Φθορές στους αρμούς**

Οι φθορές που παρουσιάζονται στους αρμούς είναι συνήθως η αποκόλληση του υλικού πλήρωσης, που τοποθετείται για τη στεγάνωση αυτών, και η ρηγμάτωση πλησίον του αρμού. Πολλές φορές εμφανίζεται και θραύση με αποκόλληση τμήματος των ακμών του αρμού.

Η αποκόλληση του υλικού οφείλεται στη γήρανση και οξείδωση του υλικού πλήρωσης, ενώ η ρηγμάτωση στη χαμηλή αντοχή του σκυροδέματος σε συνδυασμό με τα μεγάλα φορτία των οχημάτων.

- **Γωνιώδεις (γωνιακές) ρωγμές**

Είναι οι ρωγμές που εμφανίζονται στις γωνίες των πλακών, συνήθως στην υποτείνουσα του τριγώνου που σχηματίζεται μεταξύ των αρμών και της ρωγμής. Αν δε συντηρηθεί έγκαιρα η ρωγμή, το ρηγματωμένο γωνιακό κομμάτι θα αποκολληθεί πλήρως από την πλάκα.

Οι ρωγμές αυτές δημιουργούνται λόγω μη καλής υποστήριξης της πλάκας από το έδαφος έδρασης. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι γωνίες της πλάκας είναι το πιο ευαίσθητο σημείο της.

- **Διαμήκεις ρωγμές**

Είναι οι ρωγμές που εμφανίζονται παράλληλα με τον άξονα του οδοστρώματος. Οφείλονται κυρίως στη συστολή της πλάκας και την ανυπαρξία

κατάλληλου αριθμού διαμήκων αρμών. Πιθανές αιτίες μπορούν επίσης να είναι και η διαστολή της υποκείμενης στρώσης, οι τάσεις στρέβλωσης που αναπτύσσονται σε συνδυασμό με τα φορτία της κυκλοφορίας, ή η μειωμένη υποστήριξη του εδάφους έδρασης (σχ.39).

Η επισκευή των ρωγμών γίνεται με καθαρισμό αυτών και της εκατέρωθεν περιοχής, τουλάχιστον 25mm εκατέρωθεν, με αμμοβολή ή συμπιεσμένο υπέρθερμο αέρα και κατόπιν πλήρωση με κατάλληλη ελαστομερή άσφαλτο. Σε περίπτωση που το οδόστρωμα αμέσως μετά τη συντήρηση δοθεί στην κυκλοφορία, συνιστάται να διασπέρνεται μικρή ποσότητα άμμου επί του υλικού πλήρωσης.



A)

B)

### Σχήμα 39. Διαμήκειες ρωγμές

- **Εγκάρσιες ρωγμές**

Είναι οι ρωγμές που εμφανίζονται σχεδόν κάθετα στον άξονα του οδοστρώματος και συνήθως στο κέντρο της πλάκας. Οφείλονται στην υπερφόρτιση και ανάπτυξη μεγάλων ροπών κάμψης, ή στην ανυπαρξία κατάλληλου αριθμού εγκαρσίων αρμών, ή στην ύπαρξη ασθενούς υπεδάφους (σχ.40).



A)



B)

### Σχήμα 40. Εγκάρσιες ρωγμές

- **Διαγώνιες ρωγμές**

Είναι οι ρωγμές που εμφανίζονται στις γωνίες των πλακών σχηματίζοντας μεγαλύτερα τρίγωνα από αυτά που σχηματίζονται από τις γωνιώδεις ρωγμές. Οι αιτίες για την ανάπτυξη αυτών είναι οι ίδιες με αυτές των γωνιωδών ρωγμών.

### 5.3.2 Επιφανειακές παραμορφώσεις δύσκαμπτων οδοστρωμάτων

Οι επιφανειακές παραμορφώσεις στα δύσκαμπτα οδοστρώματα περιορίζονται αποκλειστικά και μόνο σε καθιζήσεις. Οι διαφορικές καθιζήσεις των πλακών μπορεί να οφείλονται στο ανεπαρκές σύστημα μεταφοράς του φορτίου από πλάκα σε πλάκα ή στην περαιτέρω συμπύκνωση ή συστολή του εδάφους έδρασης. Διαφορική καθίζηση μπορεί επίσης να αναπτυχθεί αν λόγω ατελούς πλήρωσης του αρμού "αντληθούν" προς τα έξω τα λεπτόκοκκα υλικά του εδάφους έδρασης. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να αναμένεται και ρηγμάτωση και θραύση κατά μήκος της ακμής της πλάκας.

Ορισμένες καθιζήσεις μικρού μεγέθους μπορούν να συντηρηθούν και να αποκατασταθούν χρησιμοποιώντας κατάλληλο ασφαλτικό ελαστομερές υλικό

και σφραγιστικό ασφαλτόμιγμα τύπου slurry. Τις περισσότερες όμως φορές η συντήρηση και η αποκατάσταση των καθιζήσεων γίνεται μόνο με πρόσθετη στρώση ασφαλτοτάπητα, αφού προηγουμένως εξομαλυνθούν οι καθιζήσεις με μια ισοπεδωτική στρώση.

Στις περιπτώσεις όπου εμφανίζεται και άντληση λεπτόκοκκων υλικών, θα πρέπει πρώτα να γίνει σχολαστικά η πλήρωση του κενού που δημιουργήθηκε. Η επαρκής πλήρωση του κενού αυτού, που είναι αρκετά δύσκολη, γίνεται με ειδικό ασφαλτικό υλικό υψηλού σημείου μάλθωσης. Το υλικό αυτό εφαρμόζεται με αντλία και θα πρέπει να πληρεί τις απαιτήσεις της προδιαγραφής.

### **5.3.3 Αποσύνθεση δύσκαμπτων οδοστρωμάτων**

Αποσύνθεση της επιφάνειας δύσκαμπτου οδοστρώματος είναι τόσο η αποκόλληση λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων αδρανών από την επιφάνεια του σκυροδέματος όσο και ο θρυμματισμός των ακμών και των γωνιών των πλακών. Η αποκόλληση των αδρανών οφείλεται στη μη καλή ανάμιξη του μίγματος, στη χρήση ακατάλληλων αδρανών, στις μη κατάλληλες συνθήκες πήξης του σκυροδέματος και στη χημική δράση του άλατος που πιθανόν να χρησιμοποιείται για την αποφυγή δημιουργίας πάγου στο οδόστρωμα.

- **Αποκόλληση αδρανών - λεπίδωση**

Η συντήρηση των περιοχών που παρουσιάζουν αποκολλήσεις, σε βάθος όχι μεγαλύτερο των 25mm, γίνεται μόνο με τη διάστρωση ψυχρού σφραγιστικού ασφαλτομίγματος τύπου slurry, διαβάθμισης II ή III σε περίπτωση που η αποκόλληση των αδρανών έχει δημιουργήσει "φωλιές" βάθους μεγαλύτερου των 25 mm η συντήρηση γίνεται συνήθως με τη διάστρωση θερμού

ασφαλτομίγματος. Πριν τη διάστρωση του θερμού ασφαλτομίγματος, απαιτείται συγκολλητική επάλειψη με κατιονικό γαλάκτωμα ταχείας διάσπασης KE-1 ή KE-2 (ποσότητες περίπου 0.25-0.50 λίτρα/m<sup>2</sup>).

- **Θρυμματισμός πλακών**

Ο θρυμματισμός των πλακών στις ακμές και στις γωνίες, ή ακόμη και στο μέσο της πλάκας, οφείλεται κυρίως στη διαστολή αυτών και, ορισμένες μόνο φορές, στις μεγάλες ανωστικές πιέσεις του υπεδάφους. Παράγοντες που συντελούν στην εμφάνιση της θραύσης είναι το ασθενές σκυρόδεμα, η πιθανότητα εγκλωβισμού αδρανών μέσα στον αρμό και η κακή κατασκευή του αρμού.

Όταν ο θρυμματισμός ή / και η αποκόλληση τμημάτων σκυροδέματος είναι σοβαρή, η οποιαδήποτε συντήρηση δεν είναι αποτελεσματική. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται πλήρης αποκατάσταση του οδοστρώματος. Η αποκατάσταση μπορεί να γίνει είτε με την ανακατασκευή των πλακών, είτε με διάστρωση ενισχυτικής ασφαλτικής επίστρωσης, ή ακόμη και με διάστρωση νέας ενισχυτικής στρώσης από σκυρόδεμα.

Ανακατασκευή πλακών επιλέγεται μόνον όταν οι φθαρμένες πλάκες είναι περιορισμένες σε αριθμό, αλλιώς επιλέγεται μια από τις άλλες δύο εναλλακτικές λύσεις. Η ανακατασκευή γίνεται και πάλι από σκυρόδεμα, αφού απομακρυνθεί όλη η φθαρμένη πλάκα και αντικατασταθεί (αν χρειασθεί) η υπόβαση. Κατά την ανακατασκευή ανακατασκευάζονται και οι ανάλογοι αρμοί.

Η διάστρωση νέας ενισχυτικής στρώσης συνήθως γίνεται με ασφαλτόμιγμα και όχι από σκυρόδεμα δεδομένου ότι το δεύτερο παρουσιάζει αρκετές κατασκευαστικές δυσκολίες.

Η συνηθέστερη μέθοδος αποκατάστασης δύσκαμπτων οδοστρωμάτων, η κατασκευή ασφαλτικής ενισχυτικής στρώσης, εγκυμονεί κινδύνους πρόωρης

εμφάνισης ανακλαστικών ρωγμών, κυρίως στα σημεία ύπαρξης αρμών και χαλαρών τεμαχίων της πλάκας του οδοστρώματος. Για την αποφυγή εμφάνισης ρωγμών, η νέα επίστρωση θα πρέπει να έχει το ενδεδειγμένο πάχος ή / και να λαμβάνονται πρόσθετα μέτρα όπως:

α) κατασκευή πρόσθετης ασφαλικής στρώσης εκτόνωσης ρωγμών , μεταξύ της υφισταμένης πλάκας και της νέας επίστρωσης, ή

β) περαιτέρω διάσπαση της πλάκας και βύθιση των τεμαχίων στην υπόβαση . Οι παραπάνω δύο τεχνικές αναπτύσσονται εν συντομία παρακάτω.

Για την αποφυγή ανάπτυξης ανακλαστικών ρωγμών μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα γεωπλέγματα ή ασφαλτοϋφάσματα ή ακόμη και μεμβράνες απορρόφησης τάσεων μετά ή άνευ ινών. Τα αποτελέσματα, θεωρητικά τουλάχιστον, θα πρέπει να είναι θετικά. Μέχρι σήμερα δεν έχουν εξαχθεί πάγια συμπεράσματα που να βασίζονται σε τεχνο-οικονομικά συγκριτικά στοιχεία, επειδή δεν υπάρχει μακροχρόνια παρακολούθηση της συμπεριφοράς αυτών.

- **Διάσπαση και βύθιση**

Η διάσπαση της πλάκας και η βύθιση των τεμαχίων με πολύ βαρύ συρόμενο οδοστρωτήρα είναι σχετικά παλαιά τεχνική η οποία μπορεί να εφαρμοσθεί μόνο στα άοπλα οδοστρώματα από σκυρόδεμα. Η τεχνική απαιτεί ειδικό μηχάνημα για τη θραύση των πλακών, όπως υδραυλική ή αέρος σφύρα ή πίπτουσα σφύρα, και πολύ βαρύ συρόμενο μεταλλικό οδοστρωτήρα (50 τόννων). Εάν υπάρχει καμιά παλαιά ασφαλική επίστρωση θα πρέπει να αφαιρεθεί πριν την έναρξη της θραύσης.

Κατά την τεχνική αυτή δεν απαιτείται σπάσιμο όλων των πλακών αλλά μόνο αυτών που έχουν χάσει την έδρασή τους πάνω στην υπόβαση, κυρίως λόγω άντλησης των λεπτόκοκκων υλικών. Ο εντοπισμός της πλάκας που πρόκειται να



σπαστεί γίνεται με τη διέλευση του βαριού οδοστρωτήρα. Όποια πλάκα μετακινείται κατά τη διέλευσή του σημειώνεται και θραύεται.

Τα τεμάχια που προκύπτουν κυλινδρώνονται καλά (συνήθως 2-3 διελεύσεις) έτσι ώστε να βυθισθούν και να σταθεροποιηθούν μέσα στην υπόβαση. Μετά το πέρας των εργασιών και πριν τη διάστρωση της ασφαλικής επίστρωσης, η επιφάνεια ψεκάζεται με επαρκή ποσότητα γαλακτώματος και κατόπιν διαστρώνεται ισοπεδωτική στρώση. Η επίστρωση μπορεί να είναι και από σκυρόδεμα (οπλισμένο με συνεχή οπλισμό είναι πιο τεχνο-οικονομικό). Και στην περίπτωση αυτή απαιτείται ισοπεδωτική στρώση.

### **5.3.4 Ολισθηρότητα επιφανείας**

Η ολισθηρότητα της επιφάνειας των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στη λείανση των αδρανών (σχ.41) (χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων). Η αντιμετώπιση και η αποκατάσταση της αντιολισθηρής ικανότητας της επιφανείας γίνεται

- με τη δημιουργία αυλακώσεων, χρησιμοποιώντας κατάλληλους αυτοκινούμενους κόφτες,
- με τη χρήση ειδικών χημικών ουσιών οι οποίες μετά τη χημική αντίδραση με τα υλικά της επιφανείας δημιουργούν μια ικανοποιητική υφή και
- με μια από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται στα εύκαμπτα οδοστρώματα.

Η πρώτη μέθοδος είναι αρκετά δαπανηρή και χρονοβόρα και προϋποθέτει άριστη κατάσταση επιφανείας, ελεύθερη από κάθε άλλου είδους φθορά. Η δεύτερη είναι αρκετά ακριβή αλλά και μη φιλική προς το περιβάλλον, διότι τα χημικά που χρησιμοποιούνται μολύνουν το υπέδαφος της περιοχής.

Η εφαρμογή μιας από τις μεθόδους που προαναφέρθηκαν για την αποκατάσταση της αντιολισθηρής ικανότητας της επιφανείας δύσκαμπτων

οδοστρωμάτων, προϋποθέτει συντήρηση των αρμών (αν χρειασθεί). Η πλέον αποτελεσματική και οικονομική λύση για την αποκατάσταση της αντιολισθηρότητας είναι η διάστρωση ψυχρού λεπτοτάπητα ή ασφαλικών επαλείψεων. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οποιαδήποτε μέθοδος με ασφαλτόμιγμα, γενικότερα, και αν χρησιμοποιηθεί, αργά ή γρήγορα, αναμένεται να εμφανιστούν μικρορωγμές στα σημεία ύπαρξης αρμών .



A)



B)

**Σχήμα 41. Ολισθηρότητα επιφάνειας**

## **5.4 Αξιολόγηση οδοστρωμάτων και μέτρηση επιφανειακών χαρακτηριστικών**

### **5.4.1 Αξιολόγηση οδοστρωμάτων**

Η αξιολόγηση της κατάστασης ενός οδοστρώματος είναι θεμελιώδης παράμετρος για τον καθορισμό της κατάλληλης στιγμής επέμβασης, που συνίσταται στη συντήρηση, ή την αποκατάσταση ή-και την ενίσχυση, ή την ανακατασκευή αυτού. Επίσης, με την αξιολόγηση είναι δυνατόν να καθορισθεί το πάχος της πρόσθετης ασφαλικής επίστρωσης, εάν χρειασθεί. Κατά την αξιολόγηση καθορίζεται η λειτουργική και η δομική κατάσταση του οδοστρώματος.

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

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

Με την αξιολόγηση της λειτουργικής κατάστασης του οδοστρώματος αποφασίζεται εάν το οδόστρωμα θα πρέπει να συντηρηθεί ή να αποκατασταθεί ή να ανακατασκευασθεί, δηλαδή καθορίζεται η αναγκαιότητα και ο τρόπος δράσης. Με τη δομική αξιολόγηση ουσιαστικά αποφασίζεται εάν απαιτείται ενίσχυση του οδοστρώματος, σε σχέση με την εναπομένουσα ζωή του, και επιπροσθέτως καθορίζεται το πάχος της ασφαλικής επίστρωσης (εάν αποφασισθεί) ή επιλέγεται η ανακατασκευή του οδοστρώματος. Ενίσχυση του οδοστρώματος μπορεί να χρειασθεί είτε γιατί το οδόστρωμα υπερφορτίστηκε, είτε γιατί δε σχεδιάστηκε ή δεν κατασκευάστηκε σωστά, είτε γιατί επέδρασαν αρνητικά και άλλοι απρόβλεπτοι παράγοντες, με αποτέλεσμα η υπολειπόμενη διάρκεια ζωής του να μην επαρκεί για να συμπληρώσει το χρονικό διάστημα για το οποίο σχεδιάστηκε. Βεβαίως, ενίσχυση του οδοστρώματος μπορεί να χρειασθεί γιατί αποφασίζεται να αυξηθεί η συνολική διάρκεια ζωής του οδοστρώματος.

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

Η αξιολόγηση της λειτουργικής κατάστασης των οδοστρωμάτων γίνεται με μεθόδους που βασίζονται σε:

α) Οπτική επισκόπηση της επιφάνειας του οδοστρώματος

- β) Μετρήσεις επιφανειακών χαρακτηριστικών με ειδικά μηχανήματα και
- γ) Φωτογραφική αποτύπωση της κατάστασης της επιφανείας

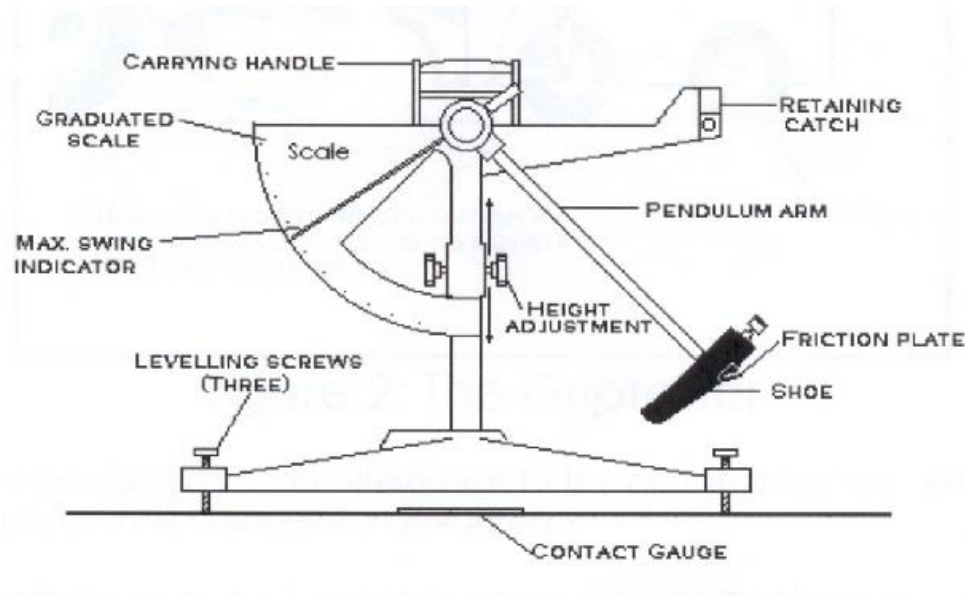
Αντιθέτως, η αξιολόγηση της δομικής κατάστασης των οδοστρωμάτων γίνεται σήμερα, κυρίως, με ειδικά μηχανήματα (μη καταστροφικές μέθοδοι) και συν επικουρικά με δειγματοληπτικούς ελέγχους επί των οδοστρωμάτων (καταστροφικές μέθοδοι).

#### **5.4.2 Φορητή συσκευή μέτρησης αντίστασης σε ολίσθηση (Βρετανικό εκκρεμές)**

Το Βρετανικό εκκρεμές(σχ.42) (Nunn and Ferne 2001), σχεδιάστηκε με σκοπό την ύπαρξη ενός φτηνού και φορητού μηχανήματος για επιτόπου μετρήσεις.

Η συσκευή αποτελείται από ένα βραχίονα που φέρει στο άκρο του τυποποιημένο ελαστικό τακούνι. Ο βραχίονας αφήνεται να ταλαντωθεί από την οριζόντια θέση, όπως ένα εκκρεμές, αφού προηγουμένως ρυθμιστεί το ύψος της συσκευής, έτσι ώστε το μήκος της επιφάνειας ολίσθησης του ελαστικού τακουνιού πάνω στην επιφάνεια του οδοστρώματος να είναι συγκεκριμένο. Λόγω της αντίστασης τριβής που αναπτύσσεται επέρχεται απώλεια της αρχικής δυναμικής ενέργειας με αποτέλεσμα ο βραχίονας να μην επανέρχεται και πάλι στην οριζόντια θέση. Ο βραχίονας παρασύρει μαζί του και ένα δείκτη ο οποίος στο σημείο που σταματά δίνει, από ειδική κλίμακα που βρίσκεται στο αριστερό μέρος της συσκευής, την τιμή αντίστασης σε ολίσθηση (SRV). Η κλίμακα των τιμών είναι από 0 έως 150 μονάδες. Πριν την έναρξη της δοκιμής, η επιφάνεια διαβρέχεται με επαρκή ποσότητα ύδατος. Κατά την εκτέλεση της δοκιμής γίνονται τουλάχιστον τρεις μετρήσεις στο ίδιο σημείο. Ο μέσος όρος τριών συνεχόμενων μετρήσεων που δε διαφέρουν περισσότερο από τρεις μονάδες λαμβάνεται ως αντιπροσωπευτική τιμή του σημείου της μέτρησης. Τα τελικά

αποτελέσματα που εξάγονται διορθώνονται ως προς τη θερμοκρασία της επιφάνειας του οδοστρώματος.



**Σχήμα 42. Βρετανικό εκκρεμές**

Οι συνθήκες ελέγχου επιλέχθηκαν κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι τιμές που λαμβάνονται να αντιστοιχούν με τις τιμές του πλευρικού συντελεστή αντίστασης σε ολίσθηση SFC με ταχύτητα 50km/h (30mph). Μεταξύ των δύο μεθόδων μέτρησης βρέθηκε ότι υπάρχει καλή συσχέτιση με την προϋπόθεση ότι η επιφάνεια έχει μέτρια ή καλή υφή (δηλαδή δεν ισχύει για λείες επιφάνειες).

Η μέθοδος μέτρησης της αντίστασης σε ολίσθηση με το εκκρεμές έχει το πλεονέκτημα ότι απαιτεί τη χρήση ασυγκρίτως φθηνότερης συσκευής (5-30 φορές χαμηλότερο το κόστος κτήσης έναντι οποιασδήποτε άλλης συσκευής) και εξάγονται εξίσου αξιόπιστα αποτελέσματα. Πλην όμως, δεν παρέχει την ευχέρεια μέτρησης μεγάλου μήκους οδοστρώματος. Επιπροσθέτως, ο τρόπος μέτρησης φέρει κυκλοφοριακή αναστάτωση (λόγω του ότι θα πρέπει να κλείσει ένα τμήμα της οδού) και παράλληλα είναι και επικίνδυνη για αυτούς που εκτελούν τις μετρήσεις, λόγω πιθανής εκτροπής κάποιου οχήματος, ιδιαίτερα σε σημεία με υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο.

## 5.5 Αξιολόγηση δομικής κατάστασης οδοστρωμάτων

Η αξιολόγηση της δομικής κατάστασης των οδοστρωμάτων γίνεται μετά από μετρήσεις που λαμβάνονται αποκλειστικά και μόνο με ειδικά όργανα. Συνεπικουρικά, η αξιολόγηση της δομικής κατάστασης του οδοστρώματος μπορεί να γίνει και με επί του έργου δειγματοληπτικούς ελέγχους. Οι έλεγχοι αυτοί συνίστανται:

α) στην εξαγωγή καρótων, προς μέτρηση των μηχανικών ιδιοτήτων και ανάλυση του ασφαλτομίγματος και

β) στη διάνοιξη του οδοστρώματος μέχρι και του επιπέδου του υπεδάφους προς μέτρηση της φέρουσας ικανότητας των στρώσεων ή του μέτρου ελαστικότητας αυτών καθώς και σε ορισμένες περιπτώσεις τη μέτρηση του βάθους και σημείου έναρξης της ρωγμής. Η μέθοδος αυτή, δηλαδή της αξιολόγησης με δειγματοληπτικούς ελέγχους, δεδομένου ότι καταστρέφει μερικώς το οδόστρωμα είναι γνωστή και ως καταστροφική μέθοδος. Αντιθέτως, η χρήση ειδικών οργάνων δεν καταστρέφει το οδόστρωμα και είναι γνωστή ως μη καταστροφική μέθοδος αξιολόγησης της δομικής κατάστασης του οδοστρώματος.

Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της δομικής κατάστασης του οδοστρώματος είναι, σε γενικές γραμμές, συσκευές που επιβάλλουν φορτίο επί της επιφανείας και μετρούν την επερχόμενη βύθιση αυτής. Το μέγεθος της βύθισης είναι μια ένδειξη της ικανότητας του οδοστρώματος να αντέχει στα φορτία της κυκλοφορίας. Όσο πιο μεγάλη είναι η επερχόμενη βύθιση τόσο μικρότερη είναι η δομική ικανότητα του οδοστρώματος να παραλάβει περισσότερα φορτία. Η βύθιση που μετράται στην επιφάνεια είναι ουσιαστικά το άθροισμα των βυθίσεων που επέρχονται σε όλες τις στρώσεις συμπεριλαμβανομένου και του υπεδάφους.

Με το συσχετισμό της βύθισης, του αξονικού φορτίου και της επαναληπτικότητας των φορτίσεων καθορίστηκαν, από διάφορους οργανισμούς, διαγράμματα από τα οποία καθορίζεται η δομική κατάσταση του οδοστρώματος και ειδικότερα ο αριθμός των ισοδυνάμων αξόνων που μπορούν να παραληφθούν από το οδόστρωμα. Τα διαγράμματα αυτά μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τον καθορισμό της επέμβασης. Εάν χρειάζεται ενίσχυση του οδοστρώματος, τότε από αντίστοιχα διαγράμματα που βασίζονται σε μετρήσεις βυθίσεων καθορίζεται και το πάχος της ενισχυτικής στρώσης.

Τα κυριότερα όργανα που χρησιμοποιούνται σήμερα από διάφορους οργανισμούς για τη μέτρηση των βυθίσεων προς αξιολόγηση της δομικής κατάστασης του οδοστρώματος είναι: η δοκός Benkelman, το Deflectograph, το Dynaflect, Road Rater, και το Falling Weight Deflectometer (FWD). Οι βασικές διαφορές μεταξύ των μηχανημάτων είναι ο τρόπος επιβολής του φορτίου και ο τρόπος καταγραφής των μετρήσεων. Όλα τα παραπάνω όργανα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση τόσο των ευκάμπτων όσο και των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων.

Εμμέσως, θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως μέθοδος δομικής αξιολόγησης του οδοστρώματος η μετατροπή αυτού σε "ισοδύναμο" πάχος οδοστρώματος. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται αποκλειστικά και μόνο ως μία από τις μεθόδους για τον υπολογισμό του πάχους της ενισχυτικής στρώσης.

### **5.5.1 Deflectograph**

Το Deflectograph είναι ένα αυτόματο όργανο καταγραφής της βύθισης που βασίζεται στην ίδια αρχή μέτρησης με αυτήν της δοκού Benkelman. Σε πολλές χώρες αντικατέστησε πλήρως τις μετρήσεις με τη δοκό, στους συστηματικούς και περιοδικούς ελέγχους του οδικού δικτύου, διότι είναι κατά πολύ ταχύτερο στον τρόπο μέτρησης, με αποτέλεσμα να επιθεωρείται μεγαλύτερο μήκος οδού ανά ημέρα.

Το όργανο αυτό αρχικά σχεδιάστηκε στη Γαλλία και αποτελείται από ένα τροποποιημένο φορτηγό που φέρει έναν ειδικά σχεδιασμένο μεταλλικό σκελετό σχήματος "Π", σύστημα αυτόματης τοποθέτησης και ανασήκωσης του σκελετού και πλήρες σύστημα ηλεκτρονικής καταγραφής και επεξεργασίας των δεδομένων. Καθώς το όχημα κινείται (ταχύτητα μετρήσεων περίπου 2km/h), ο μεταλλικός σκελετός τοποθετείται αυτόματα επί της επιφανείας, οι πίσω τροχοί του οχήματος πλησιάζουν τα δύο άκρα του μεταλλικού σκελετού και η μέγιστη τυπική βύθιση, όταν οι τροχοί είναι σχεδόν πάνω από τα δύο άκρα, καταγράφεται αυτόματα σε Η/Υ. Το βάρος του κάθε τροχού είναι, τουλάχιστον στην Αγγλία, 3175kg.

Με το Deflectograph λαμβάνονται μετρήσεις κάθε 3.8m καθώς το όχημα κινείται. Η επεξεργασία των μετρήσεων με τις απαραίτητες διορθώσεις γίνεται από πρόγραμμα Η/Υ και το αποτέλεσμα εκφράζεται ως μέση τυπική βύθιση ανά σημείο μέτρησης ή ανά τμήμα μέτρησης.

### **5.5.2 Falling Weight Deflectometer (FWD)**

Το Falling Weight Deflectometer (FWD), αρχικά κατασκευάστηκε το 1963 στη Γαλλία και κατόπιν εξελίχθηκε στη Δανία στην παρούσα μορφή, ως όργανο μη καταστρεπτικής δομικής αξιολόγηση των οδοστρωμάτων (σχ.43) (Nunn and Ferne 2001). Σήμερα υπάρχουν διάφοροι τύποι, πλην όμως όλο βασίζονται στην ίδια αρχή. Το FWD χρησιμοποιεί κρουστικό φορτίο με σύστημα "πίπτοντος" φορτίου και έχει τη δυνατότητα να παρέχει πληροφορίες, για τη δομική κατάσταση όλων των στρώσεων του οδοστρώματος, συμπεριλαμβανομένου και του υπεδάφους. Ειδικότερα, με το FWD:

- α) εκτιμάται το μέτρο ελαστικότητας της κάθε στρώσης,
- β) εντοπίζονται τα τυχόν αδύνατα σημεία,
- γ) εκτιμάται η σοβαρότητα των πιθανών ρηγματώσεων κυρίως στις σταθεροποιημένες στρώσεις από σκυρόδεμα,



δ) εξετάζεται η αποτελεσματικότητα του συστήματος μεταφοράς φορτίου στους αρμούς και

ε) εντοπίζονται οι ρηγματώσεις στα δύσκαμπτα οδοστρώματα.



**Σχήμα 43. Falling Weight Deflectometer (FWD)**

Ο υπολογισμός του πάχους της ενισχυτικής στρώσης, δεδομένου ότι μέχρι σήμερα δεν έχουν καθορισθεί αντιπροσωπευτικές σχέσεις ισοδυναμίας μεταξύ μετρήσεων FWD και Deflectograph, γίνεται μόνο με αναλυτικές μεθόδους παρόμοιες αυτών που χρησιμοποιούνται στην αναλυτική διαστασιολόγηση των οδοστρωμάτων.

Το FWD είναι συνήθως προσαρτημένο πάνω σε τρέιλερ ή σε ορισμένες περιπτώσεις πάνω στο όχημα και το φορτίο που επιβάλλεται διαμέσου κυκλικής μεταλλικής πλάκας μπορεί να κυμαίνεται από 7kN έως 120kN αναλόγως των περιπτώσεων, έτσι ώστε να επιβάλλεται αντιπροσωπευτικό φορτίο επί των οδοστρωμάτων. Συνήθως για τα εύκαμπτα οδοστρώματα χρησιμοποιείται το φορτίο των 50kN ενώ για τα δύσκαμπτα το φορτίο των 75kN. Η βύθιση μετράται με τη βοήθεια επτά γεωφώνων, τοποθετημένων σε ευθεία γραμμή διερχόμενη από το κέντρο της κυκλικής επιφάνειας φόρτισης. Το πρώτο

γεώφωνο είναι τοποθετημένο ακριβώς κάτω από το σημείο επιβολής του φορτίου ενώ τα υπόλοιπα σε καθορισμένες αποστάσεις . Η χρήση πλέον του ενός γεωφώνου παρέχει τη δυνατότητα καθορισμού της λεκάνης βύθισης.

### 5.5.3 Ground Radar

Άλλη χρήσιμη συσκευή που χρησιμοποιείται στην αξιολόγηση των οδοστρωμάτων είναι το Ground Radar (σχ.44) (Nunn and Ferne 2001) (Ραντάρ εδάφους).



**Σχήμα 44. Ραντάρ Εδάφους**

Η συσκευή αυτή, άρχισε να χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια για τη μέτρηση του πάχους των στρώσεων, τον εντοπισμό των ρηγματώσεων ή της ασυνέχειας των στρώσεων γενικότερα και ορισμένες φορές για την πυκνότητα των στρώσεων. Η συσκευή καθώς σύρεται από όχημα στέλνει ηχητικά σήματα και καταγράφει την ισχύ των σημάτων που ανακλώνται από τα διαφορετικά πάχη των στρώσεων, προσδιορίζοντας έτσι τα πάχη των στρώσεων και όλα τα

άλλα χαρακτηριστικά που μπορεί να δώσει, όπως ασυνέχεια της στρώσης (ρωγμές) ακόμη και πυκνότητα της κάθε στρώσης.

## **6. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΜΑΚΡΑΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ**

### **6.1 Γενικά**

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

Για τη διατήρηση του κεφαλαίου και την απόδοση οφέλους, το οδόστρωμα θα πρέπει να συντηρείται έτσι ώστε να διατηρείται η κατάστασή του σε ένα ανεκτό επίπεδο εξυπηρέτησης, καθ' όλη την προβλεπόμενη διάρκεια ζωής του. Το όφελος τέλος, μπορεί να βελτιστοποιηθεί με τη διατήρηση του οδοστρώματος σε όσο το δυνατόν υψηλότερο επίπεδο εξυπηρέτησης.

Συνεπώς, καθίσταται σαφές ότι η συντήρηση των οδοστρωμάτων είναι επιτακτική ανάγκη. Ο όρος συντήρηση στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιείται με την ευρεία του έννοια.

## 6.2 Είδη συντήρησης οδοστρώματος

Ένα τεχνικό έργο και κατά επέκταση ένα έργο οδοποιίας χρειάζεται κάποιες μορφές συντήρησης ώστε να διατηρηθεί σε καλή και λειτουργική κατάσταση. Πιο συγκεκριμένα για ένα οδόστρωμα, θα πρέπει να εκτελούνται συνεχώς σε ημερήσια, εβδομαδιαία, μηνιαία ή ετήσια βάση ένα σύνολο των δραστηριοτήτων, εργασιών (συνεχής συντήρηση) στα στοιχεία που συνθέτουν μια οδό με σκοπό τη διασφάλιση της εξυπηρετικότητας κάτω από οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες. Οι κύριες δραστηριότητες είναι:

- α) ο καθαρισμός της επιφάνειας του οδοστρώματος, του συστήματος αποστράγγισης, της σήμανσης και των σηματοδοτών κλπ., ακόμη και η αποψίλωση των πρανών και το κλάδεμα των δέντρων,
- β) η αποκατάσταση των φθορών που εμφανίζονται στην περιοχή γύρω από τα καλύμματα των φρεατίων επίσκεψης, η αποκατάσταση των φθορών της σήμανσης και των σηματοδοτών, του φωτισμού, κλπ.,
- γ) η αντικατάσταση των κατεστραμμένων στηθαίων ασφαλείας, των σημάτων και γενικότερα της επίπλωσης της οδού και
- δ) η χειμερινή συντήρηση του οδοστρώματος, όπως εκχιονισμός και πρόληψη δημιουργίας πάγου στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Όπως είναι φανερό, στον ορισμό της συνεχούς συντήρησης δεν περιλαμβάνονται οι εργασίες που είναι άμεσα συνδεδεμένες με τη δομή του οδοστρώματος.

Επιπλέον με σκοπό την πρόληψη της πρόωρης εμφάνισης φθορών στο οδόστρωμα και κατ' επέκταση, την πρόωρη καταστροφή του πραγματοποιείται ένα σύνολο εργασιών το οποίο ονομάζεται προληπτική συντήρηση. Ανάλογα σαν διορθωτική συντήρηση ορίζεται το σύνολο των εργασιών που σκοπό έχουν να διορθώσουν τις ατέλειες της επιφάνειας του οδοστρώματος οι οποίες είναι άκρως επικίνδυνες για την ασφάλεια του χρήστη. Οι εργασίες που περιλαμβάνονται στην προληπτική και διορθωτική συντήρηση δεν είναι

ουσιαστικά ανεξάρτητες μεταξύ τους, εκτός από την εργασία σφράγισης ρωγμών, και συνεπώς δε θα αναφερθούν μεμονωμένα ανά περίπτωση. Οι εργασίες για προληπτική και διορθωτική συντήρηση στο σύνολό τους είναι:

- σφράγιση ρωγμών,
- πλήρωση λάκκων,
- τοπική εξυγίανση (μπαλώματα),
- ασφαλτικές επαλείψεις (surface dressing),
- σφραγιστική με slurry,
- εργασίες για την αποκατάσταση της αντιολισθηρότητας της επιφάνειας,
- εργασίες για την αποκατάσταση της ομαλότητας.

Κύρια συντήρηση ή αποκατάσταση οδοστρώματος, ή αναζωογόνηση οδοστρώματος, ορίζεται το σύνολο των εργασιών που σκοπό έχουν να αποκαταστήσουν πλήρως την ποιοτική κατάσταση του οδοστρώματος. Οι εργασίες συνίστανται στην κατασκευή ασφαλτικής στρώσης πάχους πλέον των 25mm (ασφαλτική επίστρωση) από νέα ή ανακυκλωμένα υλικά, μετά ή άνευ ισοπεδωτικής στρώσης ή / και φρεζαρίσματος της παλαιάς επιφάνειας του οδοστρώματος. Με την κατασκευή της ασφαλτικής στρώσης επέρχεται και ενίσχυση του οδοστρώματος που συμβάλλει άμεσα στη δυνατότητα παραλαβής από το οδόστρωμα μεγαλύτερου αριθμού αξονικών φορτίων. Όλα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω μπορούν να συνοψιστούν σε μια και μόνο έννοια, την συντήρηση οδοστρώματος που ορίζεται σαν το σύνολο των εργασιών για τη διατήρηση της ποιοτικής κατάστασης του οδοστρώματος όσο το δυνατόν πλησιέστερα της αρχικής και περιλαμβάνει τις παρακάτω εργασίες:

- αποκατάσταση επιφανειακών φθορών,
- σφράγιση των ρωγμών,
- αποκατάσταση αντιολισθηρής ικανότητας της επιφάνειας,
- αποκατάσταση των αρμών,
- καθαρισμός της επιφάνειας,

- ανανέωση των διαγραμμίσεων και
- απομάκρυνση ξένων σωμάτων από το οδόστρωμα (φερτά υλικά, χιόνι κλπ).

Είναι φυσικό ότι η επ' άπειρο συντήρηση του οδοστρώματος είναι αδύνατο να διατηρήσει την κατάσταση αυτού όμοια με αυτήν της αρχικής ποιότητας κατά την κατασκευή. Υπάρχουν φαινόμενα μη αναστρέψιμα όπως η κόπωση του οδοστρώματος, η αύξηση της κυκλοφορίας και οι περιστασιακές αντίξοες καιρικές συνθήκες, τα οποία συνδυαζόμενα μεταξύ τους μειώνουν την αρχική ποιότητα του οδοστρώματος σε τέτοιο επίπεδο ώστε μετά από κάποια χρονική περίοδο μια περαιτέρω συντήρηση να μην είναι οικονομικά συμφέρουσα και αποτελεσματική. Απαιτείται επομένως αποκατάσταση του οδοστρώματος, ειδικότερα των ασφαλικών, κυρίως, στρώσεων. Δηλαδή επιτυγχάνεται η αύξηση της διάρκειας ζωής του οδοστρώματος ώστε να μπορεί να παραλάβει μεγαλύτερο αριθμό αξονικών φορτίων μέσα από ένα σύνολο εργασιών που εξασφαλίζουν την πλήρη ποιοτική αποκατάσταση αυτού. Στο σύνολο των εργασιών περιλαμβάνονται η κατασκευή ασφαλικής επίστρωσης μεταβλητού πάχους, αναλόγως των απαιτήσεων, όλες οι εργασίες προεργασίας για την κατασκευή αυτής της στρώσης καθώς και όλες οι μετά την κατασκευή εργασίες (διαγράμμιση κλπ). Το πάχος της ασφαλικής επίστρωσης, σύμφωνα με ερευνητικά κέντρα, για να θεωρηθεί αποκατάσταση, πρέπει να είναι μεγαλύτερο των 25 mm και το μήκος μεγαλύτερο αυτού που απαιτείται για τοπικές αποκαταστάσεις του οδοστρώματος. Σε αντίθετη περίπτωση, δηλαδή όταν το πάχος επίστρωσης είναι μικρότερο των 25mm, η επέμβαση θεωρείται συντήρηση. Ειδικότερα, για την αποκατάσταση μικτών ευκάμπτων ή δύσκαμπτων οδοστρωμάτων ή μικτών δύσκαμπτων οδοστρωμάτων το πάχος της ασφαλικής επίστρωσης συνιστάται να είναι μεγαλύτερο των 40mm.

## 6.3 Τρόποι αντιμετώπισης φθορών εύκαμπτων μακράς διάρκειας οδοστρωμάτων

### 6.3.1 Ρηγματώσεις

- Σφράγιση / πλήρωση ρωγμών

Η σφράγιση / πλήρωση των ρωγμών (σχ.45) ([www.asphaltwa.com](http://www.asphaltwa.com)) σε όλες τις περιπτώσεις γίνεται με χυτό υλικό που είναι ειδική τροποποιημένη άσφαλτος. Η τροποποιημένη άσφαλτος (ελαστομερής) θα πρέπει να εκπληρώνει τις απαιτήσεις της προδιαγραφής ASTM 1190 ή της BS 2499. Για την εφαρμογή της τροποποιημένης ασφάλτου προς σφράγιση των ρωγμών απαιτείται η χρήση ειδικού μηχανικού εξοπλισμού, όπως:

α) μηχανήμα θέρμανσης της ελαστομερούς ασφάλτου με δυνατότητα θέρμανσης μέχρι και 200C° και με δυνατότητα παροχής του θερμού ασφαλτικού υλικού επί της ρωγμής και

β) ειδικό φλόγιστρο (προπανίου) που εκτοξεύει υπέρθερμο αέρα (όχι φλόγα), για τη θέρμανση και τον καθαρισμό της ρωγμής πριν τη διάχυση της τροποποιημένης ασφάλτου.



A)



B)

**Σχήμα 45. Σφράγιση-πλήρωση ρωγμών**

- **Ρωγμές τύπου αλιγάτορα**

α) Για τοπικές εμφανίσεις

Η ριζική επισκευή των ρωγμών αλιγάτορα εφ' όσον οφείλονται στη μειωμένη ευστάθεια του εδάφους έδρασης συνίσταται:

- i. στην πλήρη απομάκρυνση όλων των ασφαλικών στρώσεων, των στρώσεων με ασύνδετα αδρανή και μέρους του εδάφους έδρασης,
- ii. στη λήψη κατάλληλων μέτρων για την υποβάθμιση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα και
- iii. στην ανακατασκευή όλων των στρώσεων με νέα κατάλληλα υλικά. Για καλύτερα αποτελέσματα συνιστάται να αντικαθίστανται όλες οι στρώσεις με ασφαλικό σκυρόδεμα.

Η επιφάνεια που θα ανοιχθεί για επισκευή θα πρέπει να επεκτείνεται, κατά πλάτος, περίπου μισό μέτρο μέσα στην υγιή περιοχή. Επίσης, συνιστάται να ψεκάζονται οι κάθετες αλλά και οριζόντιες επιφάνειες της περιοχής που ανοίχθηκε με κατάλληλο κατιονικό γαλάκτωμα. Μετά από τη διάστρωση της κάθε στρώσης, σε πάχος όχι μεγαλύτερο των 100-150mm, απαιτείται επαρκής συμπύκνωση με κατάλληλο, δονητικό κατά προτίμηση, μηχάνημα.

Μετά τη διάστρωση και συμπύκνωση της τελευταίας ασφαλικής στρώσης, συνιστάται όπως τοποθετείται ειδικό ελαστομερές ασφαλικό υλικό (χυτό υλικό) σε όλη την περίμετρο της τομής μεταξύ της παλιάς και της νέας επιφάνειας, σε πλάτος περίπου 40-50mm, για να επιτυγχάνεται η άριστη στεγάνωση του ασθενούς αυτού σημείου. Το ελαστομερές ασφαλικό υλικό είναι αυτό που χρησιμοποιείται στη γενική περίπτωση σφράγισης ρωγμών. Το παραπάνω ισχύει για όλες τις περιπτώσεις που γίνονται τομές και αποκατάσταση αυτών στο οδόστρωμα.



Η παραπάνω εργασία, δηλαδή της αποξήλωσης μιας ή περισσότερων στρώσεων και η ανακατασκευή αυτής (-ων) με νέα υλικά, είναι γνωστή ως "μπάλωμα" (patching).

## β) Μεγάλης έκτασης

Όταν οι ρωγμές τύπου αλιγάτορα οφείλονται σε κόπωση του οδοστρώματος, η θεραπεία γίνεται μόνο με αποκατάσταση του τάπητα, δηλαδή με μια πρόσθετη ασφαλική στρώση πάχους ανάλογου της κατάστασης του οδοστρώματος, μετά ή άνευ απομάκρυνσης του ρηγματωμένου τάπητα κυκλοφορίας. Στην περίπτωση που δεν απομακρύνεται ο ρηγματωμένος τάπητας, συνιστάται η διάστρωση ισοπεδωτικής στρώσης, πριν τη διάστρωση του νέου τάπητα. Η διάστρωση ισοπεδωτικής στρώσης είναι απολύτως αναγκαία στην περίπτωση που ορισμένα κομμάτια έχουν αποκολληθεί ή εμφανίζονται ταυτόχρονα και τοπικές καθιζήσεις.

Τα τελευταία χρόνια για τη συντήρηση των ρωγμών αυτών χρησιμοποιούνται και τα ασφαλτοϋφάσματα ή οι μεμβράνες απορρόφησης τάσεων. Τα ασφαλτοϋφάσματα ή οι μεμβράνες τοποθετούνται επί της ρηγματωμένης επιφάνειας ή επί της ισοπεδωτικής (αν απαιτείται να χρησιμοποιηθεί).

Στην περίπτωση που το άνοιγμα των ρωγμών τύπου αλιγάτορα είναι μικρότερο των 3mm η προσωρινή συντήρηση της επιφάνειας μπορεί να γίνει και με σφραγιστικά ψυχρά ασφαλτομίγματα τύπου Slurry Seal, διαβάθμισης I ή II, ή με μεμβράνη απορρόφησης τάσεων (SAM).

### • Ρωγμές στα άκρα του οδοστρώματος

Η συντήρηση των ρωγμών αυτών συνίσταται στην πλήρωση αυτών με κατάλληλη τροποποιημένη άσφαλτο, μετά από επιμελή καθαρισμό. Εάν στην περιοχή παρουσιάζεται και καθίζηση τότε αυτή θα πρέπει να πληρούται με τη

διάστρωση ψυχρού ή θερμού ασφαλτομίγματος. Ψυχρό ασφαλτόμιγμα τύπου Slurry, διαβάθμισης III ή IV , διαστρώνεται όταν η καθίζηση είναι μικρότερη των 25mm, άλλως χρησιμοποιείται θερμό. ασφαλτόμιγμα. Αν υπάρχει πρόβλημα αποστράγγισης του οδοστρώματος αυτό εντοπίζεται και αποκαθίσταται.

- **Ρωγμές από ανάκλαση και ρωγμές μεταξύ λωρίδων διάστρωσης ή διαπλάτυνσης και ρωγμές συρρίκνωσης**

Ο τρόπος συντήρησης των ρωγμών από ανάκλαση εξαρτάται από το μέγεθος και την έκταση αυτών, όπως:

α) Όταν οι ρωγμές έχουν άνοιγμα μικρότερο των 3mm περίπου και είναι σε μικρή έκταση, η συντήρηση γίνεται με τη σφράγιση / πλήρωση αυτών με τροποποιημένη άσφαλτο.

β) Όταν οι ρωγμές έχουν άνοιγμα μικρότερο των 3mm περίπου και είναι σε μεγάλη έκταση, η συντήρηση μπορεί να γίνει με απλή ασφαλική επάλειψη.

γ) Όταν οι ρωγμές έχουν άνοιγμα μεγαλύτερο των 3-5mm και σε μικρή έκταση, τότε η συντήρηση αυτών γίνεται ως ακολούθως:

1. οι ρωγμές ανοίγονται με ειδικό κόφτη σε βάθος 10-15 mm και πλάτος όσο το πλάτος που δημιουργείται από τον κόφτη (10-15 mm). Ο ειδικός κόφτης έχει τη δυνατότητα να ακολουθεί τη ρωγμή, δηλαδή μπορεί να στρίβει εύκολα υπό οξείες γωνίες. Με αυτό επιτυγχάνεται η απομάκρυνση των χαλαρών (σαθρών) μικρών τεμαχίων του ασφαλτομίγματος που έχουν δημιουργηθεί στη ρωγμή,
2. η διευρυμένη ρωγμή καθαρίζεται με συμπιεσμένο αέρα, κατόπιν στεγνώνεται και θερμαίνεται με ειδικό φλόγιστρο υπόθερμου αέρα, και
3. η καθαρισμένη ρωγμή γεμίζει αμέσως μετά τη θέρμανση, με ειδική ελαστομερή άσφαλτο. Η-πλήρωση της διευρυμένης ρωγμής μπορεί να γίνει με ψυχρό ασφαλτόμιγμα τύπου slurry - διαβάθμισης I.

Σε ορισμένες χώρες, όπως η Αγγλία, η ελαστομερής άσφαλτος – όταν το πλάτος της λωρίδας που δημιουργείται είναι μεγαλύτερο των 20mm περιέχει και λεπτόκοκκη σκληρή άμμο έτσι ώστε η επιφάνεια να έχει ικανοποιητικό συντελεστή αντίστασης σε ολίσθηση. Η ίδια απαίτηση υπάρχει στην Αγγλία και στην περίπτωση θεραπείας όπως, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για διαμήκεις ρωγμές.

Σε περιπτώσεις που οι ανακλαστικές ρωγμές είναι αρκετά μεγάλες (>5mm) ή επειδή δημιουργήθηκαν λόγω ύπαρξης παλαιού υποκείμενου δύσκαμπτου οδοστρώματος, από ορισμένους οργανισμούς και υπηρεσίες του εξωτερικού ακολουθείται σήμερα η παρακάτω θεραπεία:

1. οι ρωγμές "φρεζάζονται" κατά τη διαμήκη τους διεύθυνση, με ειδικές μικρές φρέζες σε βάθος 10-20 mm και πλάτος όσο το δημιουργημένο μικρό πλάτος της φρέζας,
2. η φρεζαρισμένη επιφάνεια, αφού καθαρισθεί, πληρούται με ελαστομερή άσφαλτο και
3. πάνω στην ελαστομερή άσφαλτο διαστρώνονται μονόκοκκα αδρανή (6mm περίπου) για τη δημιουργία αντιολισθηρής επιφάνειας.

Εναλλακτικά, για την παραπάνω περίπτωση, η ρωγμή μπορεί να διανοιχτεί σε πλάτος 50-100mm και βάθος περίπου 40mm, το ασφαλτόμιγμα να αφαιρεθεί και να πληρωθεί με καινούργιο κατάλληλο ασφαλτόμιγμα.

δ) Όταν οι ρωγμές έχουν άνοιγμα μεγαλύτερο των 3 χιλιοστών περίπου και είναι σε μεγάλη έκταση, επειδή η παραπάνω θεραπεία είναι χρονοβόρα, εξετάζεται, βάσει τεχνο-οικονομικής ανάλυσης, μια από τις παρακάτω τεχνικές συντήρησης:

- απλή ή διπλή ασφαλτική επάλειψη
- χρήση μεμβράνης απορρόφησης τάσεων (SMA)
- μεμβράνη με ίνες
- ψυχρό ασφαλτικό μίγμα τύπου Slurry με ελαστομερή άσφαλτο και ίνες
- λεπτοτάπητας με θερμό ασφαλτόμιγμα με τροποποιημένη άσφαλτο

- ή ακόμη και ασφαλική επίστρωση πάχους 40-50 mm μετά ή άνευ ασφαλτοϋφάσματος. Η ασφαλική επίστρωση είναι σοβαρός υποψήφιος στην περίπτωση που συντρέχει και άλλος λόγος όπως ενίσχυση του οδοστρώματος, οπότε στην περίπτωση αυτή το πάχος της στρώσης καθορίζεται ανάλογα με τις συνθήκες και τις απαιτήσεις.

Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις, όταν οι ρωγμές είναι τοπικές και πυκνές σε σχετικά μικρή επιφάνεια ορισμένων τετραγωνικών μέτρων, είναι σύνηθες το φαινόμενο να αποξηλώνεται η τελευταία ασφαλική στρώση και να αποκαθίσταται με νέο κατάλληλο ασφαλτόμιγμα. Η εκτέλεση των εργασιών είναι όμοια με αυτήν της αποκατάστασης τοπικών ρωγμών τύπου αλιγάτορα.

- **Ρωγμές από ολίσθηση ταπήτων**

Η συντήρηση των ρωγμών αυτών γίνεται μόνο με την απομάκρυνση του τάπητα κυκλοφορίας γύρω από τη ρωγμή, μέχρι του σημείου όπου υπάρχει καλή συνοχή ταπήτων, και κατόπιν πλήρωση της αποξηλωμένη επιφάνειας με θερμό ασφαλτόμιγμα. Πριν την πλήρωση η επιφάνεια θα πρέπει να καθαριστεί επιμελώς και κατόπιν να ψεκαστεί επ' αυτής και επί των καθέτων τοιχωμάτων της συγκολλητική επάλειψη από κατιονικό γαλάκτωμα. Τέλος, απαιτείται επαρκής συμπίκνωση της πληρωθείσης επιφάνειας με δονητικό μηχάνημα ή οδοστρωτήρα.

- **Ρωγμές στην τροχιά των τροχών**

Η συντήρηση των ρωγμών αυτών, όταν οφείλονται αποκλειστικά και μόνο στην εποχιακή μείωση της φέρουσας ικανότητας του υπεδάφους, γίνεται όπως και στις ρωγμές από ανάκλαση με παράλληλη ρύθμιση του επιπέδου του υδροφόρου ορίζοντα (στραγγιστικά έργα).

Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις το οδόστρωμα χρειάζεται ενίσχυση. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διάστρωση νέας ασφαλτικής στρώσης .

- **Ελικοειδείς ρωγμές.**

Οι ρωγμές αυτές συντηρούνται όπως και οι ρωγμές από ανάκλαση.

### **6.3.2 Παραμορφώσεις (στρεβλώσεις) της επιφάνειας**

- **Αυλακώσεις στις τροχιές των τροχών**

Η συντήρηση των αυλακώσεων στην πρώτη περίπτωση γίνεται με την πλήρωση της αυλάκωσης με κατάλληλο θερμό ή ψυχρό ασφαλτόμιγμα τύπου Slurry-διαβάθμισης II ή III, αφού προηγουμένως ψεκαστεί συγκολλητική επάλειψη με κατ ιονικό γαλάκτωμα σε ποσότητα 0.25 έως 0.5 λίτρα/m<sup>2</sup>.

Για τη συντήρηση των αυλακώσεων της δεύτερης περίπτωσης, δηλαδή λόγω υψηλής παραμόρφωσης του ασφαλτομίγματος, απαιτείται οπωσδήποτε η απομάκρυνση της συγκεκριμένης ασφαλτικής στρώσης και κατόπιν η επαναδιάστρωση αυτής με νέο κατάλληλο ασφαλτόμιγμα. Η απομάκρυνση της λωρίδας γίνεται με φρεζάρισμα σε βάθος συνήθως 40-50 mm, ή αναλόγως του πάχους του τάπητα που πρέπει να αποξηλωθεί. Πριν τη διάστρωση του νέου ασφαλτομίγματος απαιτείται συγκολλητική επάλειψη με κατιονικό γαλάκτωμα σε ποσότητες περίπου 0.25 - 0.35 λίτρα/m<sup>2</sup>.

- **Κυματώσεις (ρυτιδώσεις)**

Η συντήρηση των οδοστρωμάτων με ρυτιδώσεις ή απωθήσεις γίνεται με φρεζάρισμα της επιφάνειας σε βάθος 20-50 mm, ή ανάλογο του πάχους της

στρώσης, και τη διάστρωση νέου τάπητα από θερμό ασφαλτόμιγμα, αφού προηγουμένως ψεκαστεί συγκολλητική επάλειψη με κατιονικό γαλάκτωμα.

Αν η συντήρηση αποφασιστεί να γίνει μόνο με φρεζάρισμα, δίχως τη διάστρωση νέου τάπητα, τότε η επιφάνεια πρέπει να σφραγίζεται με σφραγιστικό λεπτοτάπητα τύπου slurry, διαβάθμισης III ή με απλή ασφαλτική επάλειψη. Η απόφαση του να φρεζαρισθεί, σε μικρό πάχος, δίχως τη διάστρωση νέου τάπητα βασίζεται στο μέγεθος και την έκταση των κυματισμών, δηλαδή εάν εμφανίζονται σε μικρή σχετικά επιφάνεια και όχι σε όλο το μήκος της οδού.

Όταν το οδόστρωμα αποτελείται από μία μόνο ασφαλτική στρώση πάχους 40-50 mm και βάση από ασύνδετα αδρανή (3A) η συντήρηση μπορεί να γίνει (μάλιστα συνιστάται σε ορισμένες χώρες) με σπάσιμο του τάπητα με ειδικό μηχάνημα, την αναμόχλευση αυτού και μέρους της βάσης, την προσθήκη μικρής ποσότητας ασφάλτου ή γαλακτώματος και τέλος τη διαμόρφωση και κυλίνδρωση του μίγματος (θραύσματα, αδρανή βάσης και συνδετικό υλικό). Μετά την κυλίνδρωση μπορεί να διαστρωθεί μια απλή ή διπλή ασφαλτική επάλειψη ή ένας ψυχρός λεπτοτάπητας τύπου slurry, ή ακόμη και μια ασφαλτική επίστρωση από θερμό ασφαλτόμιγμα.

- **Τοπικές καθιζήσεις και τοπικές καθιζήσεις σε τομές οδοστρώματος**

Η συντήρηση των τοπικών καθιζήσεων γίνεται είτε με τη διάστρωση θερμού ασφαλτομίγματος είτε με τη διάστρωση ψυχρού λεπτοτάπητα τύπου slurry, ανάλογα με το βάθος της βύθισης.

Όταν το βάθος της καθιζήσης είναι μεγαλύτερο των 25 mm περίπου, η συντήρηση γίνεται με θερμό ασφαλτόμιγμα, αφού προηγουμένως αποξηλωθεί ο τάπητας σε βάθος τουλάχιστον 40 mm και ψεκασθεί η περιοχή με συγκολλητική επάλειψη από κατιονικό γαλάκτωμα (0.25-0.5 λίτρα/m<sup>2</sup>). Το ασφαλτόμιγμα διαστρώνεται και συμπυκνώνεται κατάλληλα, έτσι ώστε να μη δημιουργηθεί ανισοϋψία με την παλαιά επιφάνεια.

Όταν το μέγιστο βάθος βύθισης είναι μικρότερο των 20-30 mm, η τοπική καθίζηση πληρούται με ψυχρό σφραγιστικό ασφαλτόμιγμα τύπου slurry, διαβάθμισης III, σε μία, δύο ή και τρεις στρώσεις (όσες χρειασθούν), αφού προηγουμένως η περιοχή καθαριστεί και ψεκασθεί με συγκολλητική. Σε άλλες περιπτώσεις χρησιμοποιείται το θερμό ασφαλτόμιγμα το οποίο διαστρώνεται κατάλληλα έτσι ώστε να μη δημιουργηθεί "δόντι". Και στις δύο περιπτώσεις απαιτείται επαρκής συμπύκνωση με οδοστρωτήρα 6-8 τόνων.

- **Τοπικές διογκώσεις**

Η συντήρηση των τοπικών διογκώσεων είναι η ίδια με τη ριζική επισκευή των ρωγμών τύπου αλιγάτορα.

### **6.3.3 Αποσύνθεση**

Η επισκευή της φθοράς γίνεται με τη διάστρωση ψυχρού ασφαλτικού μίγματος slurry seal, διαβαθμίσεις II ή III, ή με επιφανειακές επαλείψεις. Επίσης, όταν η κατάσταση του οδοστρώματος είναι πολύ κακή, εξετάζεται και η περίπτωση πρόσθετης ασφαλτικής στρώσης.

- **Λακκούβες**

Η συντήρηση των λάκκων μπορεί να είναι προσωρινή ή οριστική. Κατά την προσωρινή συντήρηση γίνεται απλός καθαρισμός της λακκούβας και πλήρωση αυτής με κατάλληλο θερμό ή ψυχρό ασφαλτόμιγμα ή έτοιμο συσκευασμένο ψυχρό ασφαλτόμιγμα (BITUMIX ή παρόμοιου τύπου).

Κατά την οριστική συντήρηση γίνεται κόψιμο και τετραγωνισμός της λακκούβας κατά τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει υγιές πλευρικό υλικό στρώσης.

επιμελής καθαρισμός, ψεκασμός των τοιχωμάτων και της επιφάνειας με κατιονικό γαλάκτωμα, πλήρωση αυτής με κατάλληλο θερμό ή ψυχρό ασφαλτόμιγμα και τέλος κατάλληλη κυλίνδρωση.

Το ψυχρό ασφαλτόμιγμα μπορεί να παρασκευαστεί επί του έργου ή σε μόνιμες εγκαταστάσεις, με κατάλληλο κατιονικό γαλάκτωμα. Επίσης ψυχρό ασφαλτόμιγμα μπορεί να παρασκευασθεί με τη χρήση ειδικών διαλυτών. Η χρήση διαλυτών παρέχει τη δυνατότητα αποθήκευσης αυτού για μακρό χρονικό διάστημα μέχρι και 8 μήνες, αφού προηγουμένως συσκευασθεί κατάλληλα. Το μίγμα αυτό, επειδή μπορεί να αποθηκευθεί και να χρησιμοποιηθεί όποτε χρειαστεί, λύνει το πρόβλημα της έλλειψης θερμού ασφαλτομίγματος κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών. Επίσης, λύνει το πρόβλημα των περιοχών που στερούνται συγκροτημάτων παραγωγής ασφαλτομιγμάτων, ή της ανεύρεσης μικρών ποσοτήτων ασφαλτομίγματος για τοπικές επουλώσεις. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα του μίγματος αυτού είναι η ευκολία στη χρήση του που συνίσταται στο άνοιγμα του δοχείου, εναπόθεση του μίγματος στη λακκούβα και ελαφρά κυλίνδρωση.

#### **6.3.4 Λεία επιφάνεια οδοστρώματος**

- **Λείανση των αδρανών – Ολισθηρότητα**

Η συντήρηση της επιφάνειας και η αποκατάσταση της αντιολισθηρής ικανότητας αυτής, δηλαδή αύξηση του συντελεστή αντίστασης σε ολίσθηση, γίνεται με μια από τις παρακάτω μεθόδους:

- α) Διάστρωση νέου τάπητα από κατάλληλο θερμό ασφαλτόμιγμα με σκληρά αδρανή
- β) Διάστρωση πορώδους τάπητα
- γ) Μέθοδος προεπαλειμμένων ψηφίδων
- δ) Κατασκευή ψυχρού αντιολισθηρού λεπτοτάπητα τύπου slurry



ε) Ασφαλτική επάλειψη (απλή ή διπλή στρώση)

στ) Κατασκευή θερμών λεπτοταπήτων

ζ) Απόξεση της επιφάνειας με ειδική φρέζα.

Σε όλες τις παραπάνω μεθόδους, πλην της (ζ), απαραίτητη προϋπόθεση είναι η χρήση κατάλληλων σκληρών αδρανών, μη ασβεστολιθικών. Η καταλληλότητα των αδρανών αυτών ελέγχεται με τους ελέγχους Αντίστασης σε λείανση (συντελεστής PSV) και Αντίστασης σε απότριψη (συντελεστής AAV) συμπεριλαμβανομένων και όλων των άλλων απαιτήσεων για την καταλληλότητα αυτών για ασφαλτομίγματα, όπως απώλεια κατά Los Angeles, ισοδύναμο άμμου, υδροφιλία, αντίσταση σε κρούση και θλίψη, έλεγχος υγείας και απορροφητικότητας σε νερό.

#### **α) Διάστρωση νέου τάπητα από κατάλληλο θερμό ασφαλτόμιγμα με σκληρά αδρανή**

Η κατασκευή νέου τάπητα από θερμό ασφαλτόμιγμα για την αντιμετώπιση της ολισθηρότητας προϋποθέτει τη χρήση κατάλληλης κοκκομετρικής διαβάθμισης των σκληρών αδρανών, έτσι ώστε να είναι δυνατόν να επιτυγχάνεται επιφάνεια με άριστη μακροϋφή. Βασικό μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι διαστρώνεται τάπητας πάχους 40 mm-50 mm και συνεπώς χρησιμοποιούνται μεγάλες ποσότητες σκληρών αδρανών (περίπου 70-110 Kg/m<sup>2</sup>). Το πρώτο έχει σαν αποτέλεσμα τη δίχως αιτία αύξηση της στάθμης της οδού με όλα τα συνεπακόλουθα μειονεκτήματα, ενώ το δεύτερο έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους κατασκευής. Η τιμή των σκληρών αδρανών είναι πέντε φορές περίπου υψηλότερη αυτής των ασβεστολιθικών αδρανών (τιμές 1995).

## **β) Διάστρωση πορώδους τάπητα**

Η διάστρωση πορώδους τάπητα εκμηδενίζει παράλληλα και την πιθανότητα ανάπτυξης υδρολίσθησης, καθώς επίσης μειώνει αισθητά και την ανάπτυξη σταγονιδίων ύδατος που εκτοξεύονται από τα ελαστικά των αυτοκινήτων. Πλην όμως, η κατασκευή πορώδους τάπητα προϋποθέτει την ύπαρξη καλής εγκάρσιας κλίσης και στεγανότητας της υποκείμενης στρώσης. Έτσι, σε περίπτωση αποκατάστασης της αντιολισθηρής ικανότητας του οδοστρώματος, θα πρέπει απαραίτητως να διασφαλίζονται οι παραπάνω δύο προϋποθέσεις. Βεβαίως, και στην περίπτωση αυτή επέρχεται υπερύψωση της στάθμης του οδοστρώματος όσο το πάχος της στρώσης (40-50 mm).

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η διάστρωση πορώδους τάπητα δε συμβάλλει αποτελεσματικά στην ενίσχυση του οδοστρώματος και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από μόνη της σε περιπτώσεις όπου απαιτείται και παράλληλη ενίσχυση του τάπητα. Το τελευταίο επιτυγχάνεται με την επιπρόσθετη διάστρωση ασφαλτοτάπητα πυκνής υφής.

## **γ) Μέθοδος προεπαλειμμένων ψηφίδων**

Παρόμοιο μειονέκτημα, δηλαδή της αύξησης της στάθμης του οδοστρώματος, έχει και η μέθοδος των προεπαλειμμένων ψηφίδων, δεδομένου ότι προαπαίτηση είναι η κατασκευή τάπητα πάχους συνήθως 40 mm για την έμπηξη των ψηφίδων.

Ένα επίσης βασικό μειονέκτημα της μεθόδου των προεπαλειμμένων ψηφίδων είναι η δυσκολία δημιουργίας και διατήρησης ομοιόμορφης επιφάνειας εξαιτίας είτε της κακής αρχικής ανισοκατανομής, είτε της σταδιακής αποκόλλησης των ψηφίδων, είτε ακόμη λόγω της βύθισης των ψηφίδων. Όλες σχεδόν οι εφαρμογές προεπαλειμμένων ψηφίδων στην Ελλάδα, μέχρι σήμερα, παρουσιάζουν τα παραπάνω προβλήματα.

Η μέθοδος των προεπαλειμμένων ψηφίδων συνίσταται στη διασπορά (κατανομή) συγκεκριμένης ποσότητας μονόκοκκων αδρανών (ψηφίδων) τα οποία έχουν προεπαλειφθεί με μικρή ποσότητα ασφάλτου (τύπου 40/50 ή 60/70 pen). Οι ψηφίδες που χρησιμοποιούνται έχουν, συνήθως, δύο ονομαστικά μεγέθη:

- 10-14mm και
- 14-20mm,

αναλόγως της μακροϋφής που επιδιώκεται να επιτευχθεί.

Για τα δύο ονομαστικά μεγέθη, οι ποσότητες που συνιστώνται να κατανέμονται, από τις Ελληνικές τεχνικές οδηγίες, είναι: για 10-14 mm,  $7 \pm 1 \text{ kg/m}^2$ , ενώ για 14-20 mm,  $10 \pm 1 \text{ kg/m}^2$ . Το ποσοστό ασφάλτου που χρησιμοποιείται για την προεπάλειψη των ψηφίδων κυμαίνεται από 1-1.5%, για αδρανή υλικά με ειδικό βάρος 2.6-2.8  $\text{gr/cm}^3$  και κανονικό πορώδες.

Η κατανομή των προεπαλειμμένων ψηφίδων γίνεται από ειδικό αυτοκινούμενο μηχάνημα-κατανομέα που ακολουθεί το διαστρωτήρα σε απόσταση 10 περίπου μέτρων.

Το ασφαλτόμιγμα υποδοχής των προεπαλειμμένων ψηφίδων θα πρέπει να έχει κοκκομετρική διαβάθμιση εντός των προδιαγραφόμενων ορίων.

#### **δ) Μέθοδος Slurry Seal**

Η κατασκευή ψυχρού αντλιοσθηρού λεπτοτάπητα με τη μέθοδο slurry sealing προϋποθέτει και αυτή τη χρήση κατάλληλων σκληρών αδρανών, πλην όμως οι απαιτούμενες ποσότητες ανά τετραγωνικό μέτρο είναι κατά πολύ μικρότερες, περίπου το 10%-15%, της ποσότητας που απαιτείται στη μέθοδο. Συνεπώς, με τη μέθοδο αυτή αφενός μειώνεται το κόστος της κατασκευής και αφετέρου γίνεται εξοικονόμηση των φυσικών αποθέσεων σκληρών αδρανών.

Η εξοικονόμηση των φυσικών αποθέσεων δεν οφείλεται μόνο στο γεγονός ότι χρησιμοποιούνται μικρές ποσότητες αδρανών αλλά και στο ότι

χρησιμοποιείται όλο το φάσμα των λεπτόκοκκων (σε αντίθεση με τις προεπαλειμμένες ψηφίδες που είναι μονόκοκκα αδρανή).

Άλλα βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι η μη αισθητή αύξηση της υψομετρικής στάθμης του οδοστρώματος (πάχος περίπου 10 mm), η ταχύτητα κατασκευής και η εύκολη αποκατάσταση των τυχόν τοπικών κατασκευαστικών αστοχιών, ή της μελλοντικής τοπικής επιδιόρθωσης.



**Σχήμα 46. Τάπητας slurry seal**

Ο λεπτοτάπητας (σχ.46) που κατασκευάζεται με τη μέθοδο αυτή είναι μόνο για την επίτευξη αντιολισθηρής και σφραγιστικής επιφάνειας και όχι για την αύξηση της φέρουσας ικανότητας του οδοστρώματος (αύξηση του αριθμού ισοδύναμων αξόνων που μπορεί να παραλάβει το οδόστρωμα).

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται εδώ και δέκα περίπου χρόνια στην Ελλάδα, με πολύ καλά αποτελέσματα.

#### **ε) Μέθοδος ασφαλτικών επαλείψεων**

Η μέθοδος των ασφαλτικών επαλείψεων συνίσταται στον ψεκάσμο συνδετικού υλικού (άσφαλτος, ή ασφαλτικό ελαστομερές γαλάκτωμα ή

ελαστομερής άσφαλτος) και στη διασπορά μονόκοκκων αδρανών συγκεκριμένου μεγέθους σε μία 11 δύο στρώσεις. Οι ποσότητες του συνδετικού υλικού και των αδρανών ανά μονάδα επιφάνειας, καθώς επίσης και το κατάλληλο μέγεθος των αδρανών εξαρτάται από το είδος του συνδετικού υλικού, τη σκληρότητα της επιφάνειας και τον κυκλοφοριακό φόρτο.

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι το σχετικά χαμηλό κόστος κατασκευής και η ευκολία της κατασκευής. Το μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η περιοδική αποκόλληση των αδρανών, ιδιαίτερα σε δρόμους υψηλών ταχυτήτων και με μεγάλο κυκλοφοριακό φόρτο. Η μέθοδος αυτή, αν και χρησιμοποιείται ευρέως στο εξωτερικό, δεν έχει μέχρι σήμερα εφαρμοστεί στην Ελλάδα (πλην μιας μικρής πειραματικής έκτασης στην περιοχή των Ιωαννίνων).

#### **στ) Λεπτοτάπητες από θερμό ασφαλτόμιγμα**

Η τεχνική των θερμών λεπτοταπήτων άρχισε να εφαρμόζεται τα τελευταία δέκα περίπου χρόνια για να αντιμετωπίσει το πρόβλημα της αποκατάστασης της αντιστοιχισθρότητας δίχως να σπαταλούνται μεγάλες ποσότητες σκληρών αδρανών. Η τεχνική συνίσταται στη χρήση θερμών ασφαλτομιγμάτων που δύνανται να διαστρωθούν σε λεπτές (20-30 mm) έως πολύ λεπτές (15-20 mm) στρώσεις. Τέτοια μίγματα είναι το SMA και ορισμένα πατενταρισμένα ασφαλτομίγματα τα οποία προϋποθέτουν τη χρήση ειδικών μηχανημάτων διάστρωσης.

#### **ζ) Επαναδημιουργία υφής με μηχανικά μέσα**

Η επαναδημιουργία υφής με κατάλληλα μηχανικά μέσα αποσκοπεί στην προσωρινή αποκατάσταση της αντιστοιχισθρής ικανότητας και όχι στη μονιμότερη αποκατάσταση που επέρχεται με όλες τις άλλες μεθόδους. Τα μηχανικά μέσα που χρησιμοποιούνται είναι: εκτοξευτήρες θερμού

συμπιεσμένου αέρα, ειδικές φρέζες και ειδικά κρουστικά μηχανήματα. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονισθεί το γεγονός ότι τα συνήθη μηχανήματα που χρησιμοποιούνται για την αποξήλωση του φθαρμένου τάπητα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν, διότι αυτά συνήθως αφήνουν διαμήκεις συνεχείς ραβδώσεις. Οι ραβδώσεις αυτές είναι πολύ επικίνδυνες για την οδήγηση και δε συμβάλλουν καθόλου στην επίτευξη αντιολισθηρής επιφάνειας. Τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται δημιουργούν τυχαία μακροϋφή στο οδόστρωμα.

Η τεχνική αυτή, εάν χρησιμοποιηθεί, προϋποθέτει ότι ο τάπητας κυκλοφορίας θα είναι σε καλή κατάσταση και δε θα παρουσιάζει άλλες φθορές. Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου αυτής σε χώρες με θερμό κλίμα όπως η Ελλάδα αμφισβητείται, εκτός από την περίπτωση αντιμετώπισης του φαινομένου ανάδυσης της ασφάλτου.

### **Παρατηρήσεις επί των μεθόδων αντιμετώπισης της ολισθηρότητας**

Οι μέθοδοι (α) και (γ) θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο στην περίπτωση κατά την οποία συνυπάρχουν και άλλες φθορές στο οδόστρωμα και ιδιαίτερα όταν επιζητείται και παράλληλη ενίσχυση του οδοστρώματος ή όταν πρόκειται για καινούργιο οδόστρωμα. Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου (γ), των προεπαλειμμένων ψηφίδων, στην Ελλάδα δεν ήταν η αναμενόμενη. Για το λόγο αυτό συνιστάται να αποφεύγεται, εκτός εάν διασφαλίζεται από τον κατασκευαστή η ποιότητα της κατασκευής.

Η μέθοδος του πορώδους τάπητα έχει δώσει πολύ καλά αποτελέσματα σε χώρες όπου έχει χρησιμοποιηθεί που κατά κανόνα είναι χώρες της βόρειας Ευρώπης. Σε ορισμένες μάλιστα χώρες, όπως η Αγγλία, είναι μία από τις δύο επίσημα αναγνωρισμένες μεθόδους παροχής αντιολισθηρής επιφάνειας σε νέες κατασκευές, ενώ στην Ολλανδία συνιστάται ως η πρώτη επιλογή κυρίως σε αυτοκινητοδρόμους εντός κατοικημένων περιοχών. Σε περίπτωση χρήσης της μεθόδου αυτής σε παλαιό τάπητα θα πρέπει να διασφαλίζεται η επαρκής

εγκάρσια κλίση της οδού και η στεγανότητα της υποκείμενης επιφάνειας. Σε όλες τις περιπτώσεις θα πρέπει να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα διευθέτησης των επιφανειακών υδάτων που απορρέουν από τη στρώση.

Στην Ελλάδα η μέθοδος του πορώδους τάπητα βρίσκεται ακόμη στο στάδιο της δοκιμασίας. Τα πρώτα αποτελέσματα είναι θετικά, όμως η αποτελεσματική λειτουργία της σε ξηρό και θερμό περιβάλλον με πολύ σκόνη όπως της Ελλάδος, είναι υπό κρίση.

Η μέθοδος των ψυχρών λεπτοταπήτων έχει δώσει πολύ καλά αποτελέσματα μετά από δεκαετή εφαρμογή στην Ελλάδα και συνιστάται να χρησιμοποιείται σε όλες τις περιπτώσεις αποκατάστασης αντιολισθηρής ικανότητας των παλαιών οδοστρωμάτων. Σε περίπτωση νέων κατασκευών, συνιστάται η χρήση της να γίνεται κατόπιν τεχνο-οικονομικής σύγκρισης με άλλες ενδεδειγμένες μεθόδους, όπως οι (α), (β) και (στ).

Οι ασφαλικές επαλείψεις είναι μια τεχνική που δίνει και αυτή πολύ καλά αποτελέσματα και χρησιμοποιείται ευρέως στο εξωτερικό. Η χρήση της αρχικά περιοριζόταν σε όλες τις κατηγορίες δρόμων εκτός από τους αυτοκινητοδρόμους. Πλην όμως σήμερα, με τη ραγδαία ανάπτυξη των τροποποιημένων ασφάλτων, ο περιορισμός αυτός τείνει να εξαλειφθεί. Στην Ελλάδα οι ασφαλικές επαλείψεις δεν έχουν ακόμη εφαρμοσθεί. Συνιστάται να χρησιμοποιηθούν τουλάχιστον σε όλους τους δρόμους εκτός από τους αυτοκινητοδρόμους, δεδομένου ότι παρέχουν μια αποδεδειγμένα καλή και οικονομική εναλλακτική λύση.

Οι λεπτοτάπητες με θερμό ασφαλτόμιγμα, παρ' όλη την περιορισμένη εμπειρία από τη χρήση τους και στο εξωτερικό (πλην του μίγματος SMA) φαίνεται ότι παρέχουν μια καλή λύση αντιμετώπισης της ολισθηρότητας των οδοστρωμάτων. Στην Ελλάδα δεν έχουν ακόμη εφαρμοσθεί, ούτε σε πειραματικό στάδιο.

Η επαναδημιουργία υφής με μηχανικά μέσα συνιστάται να χρησιμοποιείται μόνο σε περιπτώσεις προσωρινής αποκατάστασης της αντιστοιχισθρότητας ή τοπικής αποκατάστασης αυτής στην περίπτωση ανάδυσσης της ασφάλτου .

- **Ανάδυση ασφάλτου**

Τοπική ανάδυση ασφάλτου αποκαθίσταται συνήθως με διασπορά και κυλίνδρωση θερμών λεπτόκοκκων αδρανών, ή με εκτοξευτήρες θερμού αέρα. Στην περίπτωση διασποράς θερμών αδρανών συνιστάται να γίνονται οι εργασίες τις θερμότερες μέρες του έτους. Σε ορισμένες περιπτώσεις η επιφάνεια μπορεί να φρεζαρισθεί με ειδικές φρέζες (αυτές που χρησιμοποιούνται για την αποκατάσταση της αντιστοιχισθρότητας). Οι εργασίες στην περίπτωση αυτή καλό είναι να γίνονται με χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

Όταν η ανάδυση ασφάλτου είναι σε μεγάλη έκταση, και ιδιαίτερα όταν αυτή είναι σοβαρή (δηλαδή σχετικά μεγάλο πάχος υμένα), συνιστάται να αποξηλώνεται όλη η στρώση και να αποκαθίσταται με νέο ασφαλτόμιγμα. Ορισμένες φορές, η διάστρωση ισχνής ισοπεδωτικής στρώσης με παράλληλη κατασκευή νέας ασφαλικής στρώσης είναι η μόνη εναλλακτική λύση.

## **6.4 Φθορές δύσκαμπτων οδοστρωμάτων**

### **6.4.1 Ρηγματώσεις – Αρμοί**

- **Φθορές στους αρμούς**

Η συντήρηση πρέπει να γίνεται μόλις εμφανισθούν τα πρώτα σημάδια της φθοράς, έτσι ώστε να μην επιδεινωθεί η γενικότερη κατάσταση του οδοστρώματος με την εισροή ύδατος. Η συντήρηση του αρμού γίνεται με την



απομάκρυνση του παλαιού υλικού, χρησιμοποιώντας κατάλληλο μηχανικό μέσο, τον καθαρισμό αυτού με συμπιεσμένο υπέρθερμο αέρα, ή / και αμμοβολή (αν χρειαστεί) και την πλήρωσή του με νέο ασφαλικό ελαστομερές υλικό, κατάλληλο για αρμούς. Πριν την πλήρωση του καθαρού αρμού τοποθετείται καινούργιο υλικό πωματισμού του αρμού (σήμερα χρησιμοποιείται ειδικό "σφουγγάρι" πολυαιθυλενίου, ανθεκτικό σε υψηλές θερμοκρασίες).

Η ελαστομερής άσφαλτος που χρησιμοποιείται θα πρέπει να εκπληρώνει, όπως και σε όλες τις περιπτώσεις πλήρωσης ρωγμών, τις απαιτήσεις της προδιαγραφής ASTM D 1190, ή της προδιαγραφής BS 2499. Η πλήρωση στην προκειμένη περίπτωση γίνεται "εν θερμώ" .

Στους αρμούς των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων αεροδρομίων, και ιδιαίτερα στην περιοχή στάθμευσης των αεροσκαφών, υπάρχει η απαίτηση για το υλικό πλήρωσης να μπορεί να ανθίσταται στην καταστρεπτική επίδραση των καυσίμων και λαδιών. Στις περιπτώσεις αυτές το ελαστομερές υλικό, που συνήθως παράγεται από πίσσα, θα πρέπει να πληρεί τις απαιτήσεις της προδιαγραφής ASTM D 1854.

- **Γωνιώδεις (γωνιακές) ρωγμές**

Η συντήρηση της ρωγμής, όπως και κάθε άλλης ρωγμής, συνίσταται στον καθαρισμό και στην πλήρωση αυτής με κατάλληλο ελαστομερές υλικό.

Στην περίπτωση που το γωνιακό ρηγματωμένο κομμάτι έχει αποκολληθεί πλήρως, αυτό απομακρύνεται και η δημιουργηθείσα λακκούβα γεμίζει, αναλόγως του μεγέθους της, με ελαστομερές ασφαλικό υλικό (εάν η λακκούβα είναι μικρή), ή με θερμό ή ψυχρό ασφαλτόμιγμα, (εάν η λακκούβα είναι σχετικά μεγάλη). Στη δεύτερη περίπτωση συνιστάται να αφήνεται το κενό του αρμού, το οποίο πληρούται με ελαστομερή άσφαλτο. Το θερμό ασφαλτόμιγμα μπορεί να είναι ασφαλικό σκυρόδεμα τύπου A 265B ή Γ. Το ψυχρό ασφαλτόμιγμα είναι

αυτό που χρησιμοποιείται για την πλήρωση λάκκων και το οποίο διατίθεται συσκευασμένο. Και στις δύο περιπτώσεις, μετά τον καθαρισμό απαιτείται ψεκασμός συγκολλητικής και επαρκής συμπύκνωση.

- **Διαμήκειες ρωγμές**

Είναι οι ρωγμές που εμφανίζονται παράλληλα με τον άξονα του οδοστρώματος. Οφείλονται κυρίως στη συστολή της πλάκας και την ανυπαρξία κατάλληλου αριθμού διαμήκων αρμών. Πιθανές αιτίες μπορούν επίσης να είναι και η διαστολή της υποκείμενης στρώσης, οι τάσεις στρέβλωσης που αναπτύσσονται σε συνδυασμό με τα φορτία της κυκλοφορίας, ή η μειωμένη υποστήριξη του εδάφους έδρασης.

Η επισκευή των ρωγμών γίνεται με καθαρισμό αυτών και της εκατέρωθεν περιοχής, τουλάχιστον 25mm εκατέρωθεν, με αμμοβολή ή συμπιεσμένο υπέρθερμο αέρα και κατόπιν πλήρωση με κατάλληλη ελαστομερή άσφαλτο. Σε περίπτωση που το οδόστρωμα αμέσως μετά τη συντήρηση δοθεί στην κυκλοφορία, συνιστάται να διασπέρνεται μικρή ποσότητα άμμου επί του υλικού πλήρωσης.

- **Εγκάρσιες ρωγμές**

Είναι οι ρωγμές που εμφανίζονται σχεδόν κάθετα στον άξονα του οδοστρώματος και συνήθως στο κέντρο της πλάκας. Οφείλονται στην υπερφόρτιση και ανάπτυξη μεγάλων ροπών κάμψης, ή στην ανυπαρξία κατάλληλου αριθμού εγκαρσίων αρμών, ή στην ύπαρξη ασθενούς υπεδάφους.

Η συντήρηση αυτών γίνεται όπως προαναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο.

- **Διαγώνιες ρωγμές**

Είναι οι ρωγμές που εμφανίζονται στις γωνίες των πλακών σχηματίζοντας μεγαλύτερα τρίγωνα από αυτά που σχηματίζονται από τις γωνιώδεις ρωγμές. Οι αιτίες για την ανάπτυξη αυτών είναι οι ίδιες με αυτές των γωνιωδών ρωγμών και η συντήρηση αυτών γίνεται όπως αναφέρεται στην προηγούμενη παράγραφο

#### **6.4.2 Επιφανειακές παραμορφώσεις δύσκαμπτων οδοστρωμάτων**

Οι επιφανειακές παραμορφώσεις στα δύσκαμπτα οδοστρώματα περιορίζονται αποκλειστικά και μόνο σε καθιζήσεις. Οι διαφορικές καθιζήσεις των πλακών μπορεί να οφείλονται στο ανεπαρκές σύστημα μεταφοράς του φορτίου από πλάκα σε πλάκα ή στην περαιτέρω συμπύκνωση ή συστολή του εδάφους έδρασης. Διαφορική καθίζηση μπορεί επίσης να αναπτυχθεί αν λόγω ατελούς πλήρωσης του αρμού "αντληθούν" προς τα έξω τα λεπτόκοκκα υλικά του εδάφους έδρασης. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να αναμένεται και ρηγμάτωση και θραύση κατά μήκος της ακμής της πλάκας.

Ορισμένες καθιζήσεις μικρού μεγέθους μπορούν να συντηρηθούν και να αποκατασταθούν χρησιμοποιώντας κατάλληλο ασφαλικό ελαστομερές υλικό και σφραγιστικό ασφαλτόμιγμα τύπου slurry. Τις περισσότερες όμως φορές η συντήρηση και η αποκατάσταση των καθιζήσεων γίνεται μόνο με πρόσθετη στρώση ασφαλοτάπητα, αφού προηγουμένως εξομαλυνθούν οι καθιζήσεις με μια ισοπεδωτική στρώση.

Στις περιπτώσεις όπου εμφανίζεται και άντληση λεπτόκοκκων υλικών, θα πρέπει πρώτα να γίνει σχολαστικά η πλήρωση του κενού που δημιουργήθηκε. Η επαρκής πλήρωση του κενού αυτού, που είναι αρκετά δύσκολη, γίνεται με ειδικό ασφαλικό υλικό υψηλού σημείου μάλθωσης. Το υλικό αυτό εφαρμόζεται με αντλία και θα πρέπει να πληρεί τις απαιτήσεις της προ-διαγραφής.

### **6.4.3 Αποσύνθεση δύσκαμπτων οδοστρωμάτων**

Αποσύνθεση της επιφάνειας δύσκαμπτου οδοστρώματος είναι τόσο η αποκόλληση λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων αδρανών από την επιφάνεια του σκυροδέματος όσο και ο θρυμματισμός των ακμών και των γωνιών των πλακών. Η αποκόλληση των αδρανών οφείλεται στη μη καλή ανάμιξη του μίγματος, στη χρήση ακατάλληλων αδρανών, στις μη κατάλληλες συνθήκες πήξης του σκυροδέματος και στη χημική δράση του άλατος που πιθανόν να χρησιμοποιείται για την αποφυγή δημιουργίας πάγου στο οδόστρωμα.

- **Αποκόλληση αδρανών - λεπίδωση**

Η συντήρηση των περιοχών που παρουσιάζουν αποκολλήσεις, σε βάθος όχι μεγαλύτερο των 25mm, γίνεται μόνο με τη διάστρωση ψυχρού σφραγιστικού ασφαλτομίγματος τύπου slurry, διαβάθμισης II ή III σε περίπτωση που η αποκόλληση των αδρανών έχει δημιουργήσει "φωλιές" βάθους μεγαλύτερου των 25 mm η συντήρηση γίνεται συνήθως με τη διάστρωση θερμού ασφαλτομίγματος. Πριν τη διάστρωση του θερμού ασφαλτομίγματος, απαιτείται συγκολλητική επάλειψη με κατιονικό γαλάκτωμα ταχείας διάσπασης KE-1 ή KE-2 (ποσότητες περίπου 0.25-0.50 λίτρα/m<sup>2</sup>).

- **Θρυμματισμός πλακών**

Ο θρυμματισμός των πλακών στις ακμές και στις γωνίες, ή ακόμη και στο μέσο της πλάκας, οφείλεται κυρίως στη διαστολή αυτών και, ορισμένες μόνο φορές, στις μεγάλες ανωστικές πιέσεις του υπεδάφους. Παράγοντες που συντελούν στην εμφάνιση της θραύσης είναι το ασθενές σκυρόδεμα, η

πιθανότητα εγκλωβισμού αδρανών μέσα στον αρμό και η κακή κατασκευή του αρμού.

Όταν ο θρυμματισμός ή / και η αποκόλληση τμημάτων σκυροδέματος είναι σοβαρή, η οποιαδήποτε συντήρηση δεν είναι αποτελεσματική. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται πλήρης αποκατάσταση του οδοστρώματος. Η αποκατάσταση μπορεί να γίνει είτε με την ανακατασκευή των πλακών, είτε με διάστρωση ενισχυτικής ασφαλικής επίστρωσης, ή ακόμη και με διάστρωση νέας ενισχυτικής στρώσης από σκυρόδεμα.

Ανακατασκευή πλακών επιλέγεται μόνον όταν οι φθαρμένες πλάκες είναι περιορισμένες σε αριθμό, αλλιώς επιλέγεται μια από τις άλλες δύο εναλλακτικές λύσεις. Η ανακατασκευή γίνεται και πάλι από σκυρόδεμα, αφού απομακρυνθεί όλη η φθαρμένη πλάκα και αντικατασταθεί (αν χρειασθεί) η υπόβαση. Κατά την ανακατασκευή ανακατασκευάζονται και οι ανάλογοι αρμοί.

Η διάστρωση νέας ενισχυτικής στρώσης συνήθως γίνεται με ασφαλτόμιγμα και όχι από σκυρόδεμα δεδομένου ότι το δεύτερο παρουσιάζει αρκετές κατασκευαστικές δυσκολίες.

Η συνηθέστερη μέθοδος αποκατάστασης δύσκαμπτων οδοστρωμάτων, η κατασκευή ασφαλικής ενισχυτικής στρώσης, εγκυμονεί κινδύνους πρόωρης εμφάνισης ανακλαστικών ρωγμών, κυρίως στα σημεία ύπαρξης αρμών και χαλαρών τεμαχίων της πλάκας του οδοστρώματος. Για την αποφυγή εμφάνισης ρωγμών, η νέα επίστρωση θα πρέπει να έχει το ενδεδειγμένο πάχος ή / και να λαμβάνονται πρόσθετα μέτρα όπως:

α) κατασκευή πρόσθετης ασφαλικής στρώσης εκτόνωσης ρωγμών, μεταξύ της υφισταμένης πλάκας και της νέας επίστρωσης, ή

β) περαιτέρω διάσπαση της πλάκας και βύθιση των τεμαχίων στην υπόβαση. Οι παραπάνω δύο τεχνικές αναπτύσσονται εν συντομία παρακάτω.

Για την αποφυγή ανάπτυξης ανακλαστικών ρωγμών μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα γεωπλέγματα ή ασφαλτοϋφάσματα ή ακόμη και μεμβράνες απορρόφησης τάσεων μετά ή άνευ ινών. Τα αποτελέσματα,

θεωρητικά τουλάχιστον, θα πρέπει να είναι θετικά. Μέχρι σήμερα δεν έχουν εξαχθεί πάγια συμπεράσματα που να βασίζονται σε τεχνο-οικονομικά συγκριτικά στοιχεία, επειδή δεν υπάρχει μακροχρόνια παρακολούθηση της συμπεριφοράς αυτών.

### **Ασφαλτική στρώση εκτόνωσης ρωγμών**

Η ασφαλτική στρώση εκτόνωσης ρωγμών κατασκευάζεται από θερμό ασφαλτόμιγμα ανοικτού τύπου, με πολλά κενά και με πολύ χονδρόκοκκα θραυστά αδρανή. Το υψηλό ποσοστό κενών του μίγματος είναι αυτό που συντελεί στη μη-άμεση μετάδοση των μετακινήσεων των θραυσμένων πλακών, οι οποίες είναι και η μόνη αιτία δημιουργίας ρωγμών στη νέα ασφαλτική επίστρωση.

Το τελικό μίγμα έχει κενά από 25% έως 35%, αναλόγως της διαβάθμισης που θα χρησιμοποιηθεί.

Το πάχος της στρώσης εκτόνωσης συνιστάται να είναι 90mm. Επί αυτής διαστρώνεται ισοπεδωτική στρώση ασφαλτικού σκυροδέματος κλειστού τύπου και μια στρώση κυκλοφορίας πάλι από ασφαλτικό σκυρόδεμα κλειστού τύπου. Το συνολικό πάχος όλων των στρώσεων συμπεριλαμβανομένης και της στρώσης εκτόνωσης θα πρέπει να είναι από 175mm έως 225mm.

Πριν τη διάστρωση της στρώσης εκτόνωσης, η επιφάνεια ψεκάζεται με επαρκή ποσότητα διαλυμένου ασφαλτικού γαλακτώματος KE-4 ή AE - 4 (αναλογία διάλυσης με νερό 50/50), Η ποσότητα που ψεκάζεται είναι περίπου  $2.7 \text{ kg/m}^2$ .

Η διάστρωση του μίγματος γίνεται με ενισχυμένο διαστρωτήρα και η συμπύκνωση αυτού με στατικό οδοστρωτήρα 4-10 τόνων. Βαρύτεροι οδοστρωτήρες δε χρησιμοποιούνται διότι θα θρυμματίσουν τα αδρανή. Δύο έως τρεις διελεύσεις είναι αρκετές για επαρκή συμπύκνωση. Πάνω στη διαστρωμένη

επιφάνεια δεν επιτρέπεται να κυκλοφορεί κανένα όχημα εκτός εάν διαστρωθεί και η ισοπεδωτική στρώση.

Η παραπάνω τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο στα άοπλα όσο και στα οπλισμένα οδοστρώματα από σκυρόδεμα.

- **Διάσπαση και βύθιση**

Η διάσπαση της πλάκας και η βύθιση των τεμαχίων με πολύ βαρύ συρόμενο οδοστρωτήρα είναι σχετικά παλαιά τεχνική η οποία μπορεί να εφαρμοσθεί μόνο στα άοπλα οδοστρώματα από σκυρόδεμα. Η τεχνική απαιτεί ειδικό μηχάνημα για τη θραύση των πλακών, όπως υδραυλική ή αέρος σφύρα ή πίπτουσα σφύρα, και πολύ βαρύ συρόμενο μεταλλικό οδοστρωτήρα (50 τόνων). Εάν υπάρχει καμιά παλαιά ασφαλτική επίστρωση θα πρέπει να αφαιρεθεί πριν την έναρξη της θραύσης.

Κατά την τεχνική αυτή δεν απαιτείται σπάσιμο όλων των πλακών αλλά μόνο αυτών που έχουν χάσει την έδρασή τους πάνω στην υπόβαση, κυρίως λόγω άντλησης των λεπτόκοκκων υλικών. Ο εντοπισμός της πλάκας που πρόκειται να σπαστεί γίνεται με τη διέλευση του βαριού οδοστρωτήρα. Όποια πλάκα μετακινείται κατά τη διέλευσή του σημειώνεται και θραύεται.

Τα τεμάχια που προκύπτουν κυλινδρώνονται καλά (συνήθως 2-3 διελεύσεις) έτσι ώστε να βυθισθούν και να σταθεροποιηθούν μέσα στην υπόβαση. Μετά το πέρας των εργασιών και πριν τη διάστρωση της ασφαλτικής επίστρωσης, η επιφάνεια ψεκάζεται με επαρκή ποσότητα γαλακτώματος και κατόπιν διαστρώνεται ισοπεδωτική στρώση. Η επίστρωση μπορεί να είναι και από σκυρόδεμα (οπλισμένο με συνεχή οπλισμό είναι πιο τεχνο-οικονομικό). Και στην περίπτωση αυτή απαιτείται ισοπεδωτική στρώση.

#### 6.4.4 Ολισθηρότητα επιφανείας

Η ολισθηρότητα της επιφάνειας των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στη λείανση των αδρανών (χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων). Η αντιμετώπιση και η αποκατάσταση της αντιολισθηρής ικανότητας της επιφανείας γίνεται

- με τη δημιουργία αυλακώσεων, χρησιμοποιώντας κατάλληλους αυτοκινούμενους κόφτες,
- με τη χρήση ειδικών χημικών ουσιών οι οποίες μετά τη χημική αντίδραση με τα υλικά της επιφανείας δημιουργούν μια ικανοποιητική υφή και
- με μια από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται στα εύκαμπτα οδοστρώματα.

Η πρώτη μέθοδος είναι αρκετά δαπανηρή και χρονοβόρα και προϋποθέτει άριστη κατάσταση επιφανείας, ελεύθερη από κάθε άλλου είδους φθορά. Η δεύτερη είναι αρκετά ακριβή αλλά και μη φιλική προς το περιβάλλον, διότι τα χημικά που χρησιμοποιούνται μολύνουν το υπέδαφος της περιοχής.

Η εφαρμογή μιας από τις μεθόδους που προαναφέρθηκαν για την αποκατάσταση της αντιολισθηρής ικανότητας της επιφάνειας δύσκαμπτων οδοστρωμάτων, προϋποθέτει συντήρηση των αρμών (αν χρειασθεί). Η πλέον αποτελεσματική και οικονομική λύση για την αποκατάσταση της αντιολισθηρότητας είναι η διάστρωση ψυχρού λεπτοτάπητα ή ασφαλικών επαλείψεων. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οποιαδήποτε μέθοδος με ασφαλτόμιγμα, γενικότερα, και αν χρησιμοποιηθεί, αργά ή γρήγορα, αναμένεται να εμφανιστούν μικρορωγμές στα σημεία ύπαρξης αρμών.



## **6.5 Νέες μέθοδοι για τη συντήρηση ή αποκατάσταση ρηγματωμένων επιφανειών**

### **6.5.1 Χρήση ασφαλτοϋφασμάτων**

Τα τελευταία χρόνια για τη συντήρηση ή αποκατάσταση των ρηγματωμένων επιφανειών χρησιμοποιούνται τα ασφαλτοϋφάσματα. Τα ασφαλτοϋφάσματα αποτελούνται από συνθετικές ή φυσικές ίνες και είναι της ίδιας μορφής και υφής με αυτά των γεωϋφασμάτων που χρησιμοποιούνται στις στρώσεις από ασύνδετα αδρανή (συνήθως μεταξύ υπεδάφους και υπόβασης). Η βασική διαφορά τους είναι ότι τα ασφαλτοϋφάσματα είναι ανθεκτικά (δε λειώνουν) στις υψηλές θερμοκρασίες, που έχει το ασφαλτόμιγμα κατά τη διάστρωση. Η ονομασία ασφαλτοϋφασμα χρησιμοποιείται για να γίνεται αντιδιαστολή με τα γεωϋφάσματα.

Με τη χρήση των ασφαλτοϋφασμάτων, λόγω της καλής εφελκυστικής αντοχής τους, επιβραδύνεται η εμφάνιση των ανακλαστικών ρωγμών στη νέα ασφαλτική επίστρωση. Επίσης, επειδή εμποτίζονται με άσφαλο, τα ασφαλτοϋφάσματα δρουν και ως υγρομονωτική στρώση, προστατεύοντας έτσι τις υποκείμενες στρώσεις από την καταστρεπτική επίδραση των επιφανειακών υδάτων που πιθανόν να διαπεράσουν τη νέα ασφαλτική επίστρωση. Η χρήση τους σήμερα είναι περιορισμένη, παρ' όλα τα θετικά αποτελέσματα που έχουν εξαχθεί από τις περισσότερες των περιπτώσεων όπου εφαρμόστηκαν, πιθανότατα λόγω του πρόσθετου κόστους κατασκευής.

Το ασφαλτοϋφασμα τοποθετείται επί της ρηγματωμένης επιφάνειας αφού προηγουμένως καθαρισθεί επιμελώς και ψεκάσθει με συγκολλητική στρώση από κατιονικό ασφαλτικό γαλάκτωμα ταχείας διάσπασης (KE-1). Η ποσότητα που απαιτείται εξαρτάται από τον τύπο του ασφαλτοϋφάσματος και την κατάσταση της ρηγματωμένης επιφάνειας. Συνήθως οι ποσότητες που απαιτούνται είναι 0.9 - 1.2 kg/m<sup>2</sup>. Η διάστρωση του ασφαλτοϋφάσματος, που

διατίθεται σε ρολό (πλάτους 3.5-4.0 m και μήκους συνήθως 100m), γίνεται με κατάλληλα διαμορφωμένο τρακτέρ. Κατά τη διάστρωση θα πρέπει να αποφεύγεται η δημιουργία πτυχώσεων και να επιδιώκεται η αλληλοκάλυψη των άκρων κατά 10-15 cm περίπου κατά την εγκάρσια διεύθυνση και κατά 5-10cm κατά τη διαμήκη διεύθυνση (στα σημεία αλληλοκάλυψης ψεκάζεται επί του ασφαλτοϋφάσματος επιπλέον ποσότητα γαλακτώματος που βοηθά στη συγκόλληση των άκρων).

Τα ασφαλτοϋφάσματα που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις για ελάχιστη εφελκυστική αντοχή, για ελάχιστο ποσοστό επιμήκυνσης και για αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες (> 150° C). Οριακές τιμές που να είναι αποδεκτές διεθνώς επί του παρόντος δεν υπάρχουν.

### **6.5.2 Μεμβράνη ή μίγμα απορρόφησης**

Η τεχνική αυτή είναι παρόμοια της απλής επιφανειακής επάλειψης με μόνη τη διαφορά ότι η ποσότητα του ασφαλτικού υλικού που ψεκάζεται είναι μεγαλύτερη και το ασφαλτικό υλικό είναι κατ' αποκλειστικότητα τροποποιημένη άσφαλτος. Η τεχνική συνίσταται στη δημιουργία μιας μεμβράνης, πάχους περίπου 3.5mm, ικανής να αποσβένει τις εφελκυστικές τάσεις που αναπτύσσονται. Έτσι, η τεχνική έλαβε την ονομασία "stress absorbing membrane" (SAM). Επί της δημιουργημένης μεμβράνης διαστρώνονται μονόκοκκα αδρανή μεγέθους κόκκου 8-10 mm ή 10-16 mm, τα οποία κυλινδρώνονται ελαφρώς με ελαστικοφόρο οδοστρωτήρα. Η μεμβράνη απόσβεσης των τάσεων δημιουργείται από τον ψεκασμό ειδικής τροποποιημένης (πολυμερούς) ασφάλτου μεγάλου ιξώδους. Η τεχνική αυτή, που αρχικά αναπτύχθηκε στην Αμερική και σύντομα εφαρμόστηκε στην Ευρώπη(,), έχει το πλεονέκτημα ότι αποφεύγεται η δημιουργία πτυχώσεων και διασφαλίζεται η καλή συγκόλλησή της με την υποκείμενη στρώση. Επίσης, δεν

απαιτείται η χρήση επιπλέον μηχανημάτων για τη διάστρωση της μεμβράνης, όπως στην περίπτωση του ασφαλτοϋφάσματος.

Τα αδρανή που διαστρώνονται θα πρέπει να είναι σκληρά, κατάλληλα για αντιολισθηρές στρώσεις. Τα αδρανή διαστρώνονται σε θερμοκρασίες 130°C - 150°C. Η θερμοκρασία ψεκασμού της τροποποιημένης ασφάλτου δίνεται από τον κατασκευαστή και είναι συνήθως 170 - 200°C. Οι ποσότητες των υλικών που ψεκάζονται και διαστρώνονται είναι ως ακολούθως:

- τροποποιημένη ασφαλτος: 2.5 - 2.8 kg/m<sup>2</sup> και επ' αυτής 18 g/m<sup>2</sup> μονόκοκκο καθαρό αδρανές μεγέθους 10-16mm
- τροποποιημένη ασφαλτος: 2.0 - 2.3 kg/m<sup>2</sup> και επ' αυτής 15 kg/m<sup>2</sup> μονόκοκκο καθαρό αδρανές μεγέθους 8-10 mm.

Η τεχνική αυτή όταν εφαρμόζεται, όπως παραπάνω, σκοπό έχει την προσωρινή συντήρηση του οδοστρώματος για την προστασία αυτού από περαιτέρω ρηγμάτωση και αποσάθρωση.

Όταν επί της μεμβράνης με τα αδρανή διαστρώνεται και τάπητας πάχους 40mm, η τεχνική ονομάζεται SAMI, λόγω της δημιουργίας ενδιάμεσης στρώσης με SAM. Η τροποποιημένη αυτή τεχνική σκοπό έχει τη μονιμότερη συντήρηση (αποκατάσταση) του ρηγματωμένου οδοστρώματος. Στην περίπτωση αυτή τα μονόκοκκα αδρανή δεν είναι αναγκαίο να είναι από σκληρά αδρανή.

### **6.5.3 Μεμβράνη οπλισμένη με ίνες**

Η τεχνική αυτή είναι παρόμοια με την τεχνική SAM με μόνη τη διαφορά ότι αμέσως μετά τον ψεκασμό της ασφάλτου διαστρώνονται κατάλληλες συνθετικές ή φυσικές ίνες και κατόπιν ακολουθεί νέος ψεκασμός της επιφάνειας. Η παραπάνω διαδικασία εκτελείται με ειδικό μηχάνημα ψεκασμού και διασποράς των ινών. Επί της διαμορφωθείσης οπλισμένης μεμβράνης μπορεί να διαστρωθεί η ασφαλική επίστρωση ή τα μονόκοκκα αδρανή,

αναλόγως των περιπτώσεων. Οι ποσότητες που απαιτούνται ανά υλικό, προδιαγράφονται από τον παραγωγό, όπως και ο τύπος της ασφάλτου που θα χρησιμοποιηθεί. Τα αποτελέσματα αυτής της τεχνικής είναι εξίσου καλά με αυτά που επιτυγχάνονται με ασφαλτούφασμα, πλην όμως το κόστος είναι αισθητά χαμηλότερο.

## 6.6 Ασφαλικές επαλείψεις

Η ασφαλική επάλειψη ή επιφανειακή επάλειψη ή surface dressing, όπως είναι γνωστή διεθνώς, είναι μία από τις παλαιότερες μεθόδους συντήρησης των οδοστρωμάτων. Εφαρμόζεται ευρέως σε πολλές χώρες για την αποκατάσταση της αντιολισθηρής ικανότητας της επιφάνειας, τη σφράγιση αυτής από την καταστρεπτική επίδραση του ύδατος και την αναχαίτιση της αποσύνθεσης του οδοστρώματος. Θα πρέπει να τονισθεί ότι, η ασφαλική επάλειψη δεν μπορεί να αποκαταστήσει την επιπεδότητα της οδού ή να συμβάλλει στη δομική ενίσχυση του οδοστρώματος.

Η τυπική τεχνική της ασφαλικής επάλειψης συνίσταται στον ψεκασμό της υφιστάμενης επιφάνειας με συνδετικό υλικό και στην άμεση επικάλυψη της ψεκασμένης επιφάνειας με θραυστό μονόκοκκο αδρανές. Το ασφαλικό υλικό μπορεί να είναι,

- κοινή άσφαλτος (σε ορισμένες χώρες χρησιμοποιείται εναλλακτικά και μίγμα ασφάλτου και πίσσας),
- ασφαλικό γαλάκτωμα με κοινή άσφαλτο,
- τροποποιημένη άσφαλτος,
- ή ασφαλικό γαλάκτωμα με τροποποιημένη άσφαλτο.

Αρχικά, τα πεδία εφαρμογής της μεθόδου αυτής ήταν δρόμοι με μικρή και μέση κυκλοφορία. Σήμερα, με τη βελτίωση των συνδετικών υλικών, οι

ασφαλτικές επαλείψεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλες τις κατηγορίες των οδών που έχουν κατασκευασθεί από εύκαμπτα ή δύσκαμπτα οδοστρώματα.

### **6.6.1 Τύποι ασφαλτικών επαλείψεων**

Οι τύποι των ασφαλτικών επαλείψεων, όπως διακρίνονται διεθνώς, είναι πέντε και περιγράφονται παρακάτω.

- **Απλή ασφαλτική επάλειψη (ΑΑΕ)**

Είναι ο θεμελιώδης τύπος, ο απλούστερος στην κατασκευή, χρησιμοποιεί τις μικρότερες ποσότητες συνδετικού υλικού και αδρανών και είναι ο πλέον κατάλληλος τύπος για μη κύριες οδούς, εκτός εάν χρησιμοποιηθεί ασφαλτικό συνδετικό υλικό με εποξειδική ρητίνη και τεχνητά αδρανή (όπως πεφρυγμένος βωξίτης).

- **Απλή ασφαλτική επάλειψη με προστατευτική στρώση (ΑΑΕ+ΠΣ)**

Στον τύπο αυτό η απλή ασφαλτική επάλειψη εφαρμόζεται αφού προηγουμένως διαστρωθεί άλλη ασφαλτική επάλειψη με λεπτότερα αδρανή. Ο τύπος αυτός χρησιμοποιείται σε σκληρές επιφάνειες όπως σκυρόδεμα ή ασφαλτόμιγμα του οποίου ή άσφαλτος έχει οξειδωθεί ή περιέχει μεγάλο ποσοστό χονδρόκοκκων αδρανών. Η πρώτη λεπτή επίστρωση λειτουργεί ως στρώση υποδοχής και προστασίας της ασφαλτικής επάλειψης.

- **Απλή ασφαλική επάλειψη με διπλή διάστρωση αδρανών (ΑΑΕ+ΔΔΑ)**

Στον τύπο αυτό το 90% περίπου των αδρανών που χρησιμοποιούνται στην ΑΑΕ διαστρώνεται ως ασφαλική επάλειψη και τα κενά που αφήνονται γεμίζουν με μια δεύτερη διάστρωση λεπτότερων αδρανών. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται καλύτερο μηχανικό "κλείδωμα" των αδρανών και έτσι λαμβάνεται πολύ πιο σταθερή δομή. Ο τύπος αυτός χρησιμοποιείται σε θέσεις όπου ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι μεγάλος και αναπτύσσονται υψηλές ταχύτητες.

- **Διπλή ασφαλική επάλειψη (ΔΑΕ)**

Η διπλή ασφαλική επάλειψη έχει δύο στρώσεις αδρανών, όπως και ο προηγούμενος τύπος, πλην όμως, πριν τη διάστρωση της δεύτερης στρώσης ψεκάζεται νέα ποσότητα συνδετικού υλικού. Έτσι, τα κενά μεταξύ των αδρανών της πρώτης στρώσης πληρούνται με συνδετικό υλικό. Ο τύπος αυτός είναι κατάλληλος για επιφάνειες που είναι "ισχνές" σε άσφαλτο. Το βάθος υφής που επιτυγχάνεται είναι κατά κανόνα μικρότερο αυτού που επιτυγχάνεται με τον τύπο (ΑΑΕ+ΔΔΑ).

- **Ασφαλική επάλειψη τύπου σάντουιτς (ΑΕΤΣ)**

Στην περίπτωση αυτή, επί της επιφάνειας του οδοστρώματος διαστρώνεται πρώτα μια στρώση χονδρόκοκκων αδρανών, επ' αυτών ψεκάζεται το συνδετικό υλικό και επί της ψεκασμένης επιφάνειας διαστρώνεται νέα στρώση λεπτόκοκκων αδρανών. Ο τύπος αυτός χρησιμοποιείται σε θέσεις όπου η επιφάνεια είναι πλούσια σε άσφαλτο.

Σε θέσεις με υψηλό κίνδυνο ατυχημάτων, όπου ταυτόχρονα αναπτύσσονται και μεγάλες οριζόντιες δυνάμεις λόγω πέδησης (διασταυρώσεις σε αστικές και υπεραστικές οδούς, κατάστρωμα γεφυρών εντός αστικών περιοχών κλπ.), σε αρκετές χώρες χρησιμοποιείται απλή ασφαλική επάλειψη με ασφαλτούχο συνδετικό υλικό εποξειδικής ρητίνης και πολύ σκληρά τεχνητά αδρανή, όπως πεφρυγμένος βωξίτης. Το σύστημα αυτό παρέχει πολύ υψηλή και μακράς διάρκειας αντίσταση στην ολίσθηση, πλην όμως είναι κατά πολύ ακριβότερο από όλους τους άλλους τύπους των ασφαλικών επαλείψεων.

### 6.6.2 Σχεδιασμός ασφαλικών επαλείψεων

- Επιλογή κατάλληλου τύπου ασφαλικής επάλειψης

Η επιλογή του κατάλληλου τύπου ασφαλικής επάλειψης γίνεται βάσει των παραμέτρων:

α) κυκλοφοριακός φόρτος,

β) χαρακτηριστικά της επιφάνειας του οδοστρώματος (σκληρή ή μη επιφάνεια, πλούσια ή ισχνή σε άσφαλτο, πορώδης ή μη),

γ) υψόμετρο θέσης και

δ) γεωμετρικά χαρακτηριστικά θέσης (ακτίνα καμπυλότητας και κατά μήκος κλίση της οδού).

Όλες οι παραπάνω παράμετροι επηρεάζουν έμμεσα ή άμεσα και τις ποσότητες των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν.

Ο κυκλοφοριακός φόρτος εκφράζεται σε ημερήσιο φόρτο εμπορικών οχημάτων (cnd) (εμπορικό όχημα, το όχημα με βάρος μεγαλύτερο των 1500 kg), ανά λωρίδα μελέτης. Για τις ανάγκες της επιλογής του τύπου της ασφαλικής επάλειψης αλλά και για τον καθορισμό των ποσοτήτων (αδρανών και συνδετικού υλικού) η κυκλοφορία γενικότερα χωρίζεται σε οκτώ διακεκριμένες κατηγορίες.

Η σκληρότητα της επιφάνειας του οδοστρώματος, που επηρεάζει το βαθμό μερικής βύθισης των αδρανών, μετράται με ειδικά όργανα (διεισδυσιόμετρο MEXET ή Καθετήρας TIS). Η αρχή των οργάνων αυτών είναι ότι βάρος 35kg επιβάλλεται διαμέσου μεταλλικού στελέχους επί της επιφάνειας για χρόνο 10 δευτερολέπτων. Μετά την πάροδο του χρόνου των 10sec, μετράται το βάθος της διείσδυσης του στελέχους (σε mm) και ταυτόχρονα καταγράφεται η θερμοκρασία της επιφάνειας του οδοστρώματος. Ο μέσος όρος δέκα μετρήσεων λαμβάνεται ως η αντιπροσωπευτική τιμή για το χαρακτηρισμό της σκληρότητας της επιφάνειας των ευκάμπτων οδοστρωμάτων .

Αναλόγως των τιμών που λαμβάνονται η επιφάνεια χαρακτηρίζεται από πολύ σκληρή έως πολύ μαλακή . Οι επιφάνειες των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων χαρακτηρίζονται όλες ως πολύ σκληρές. .

Το υψόμετρο της θέσης, που επηρεάζει τις ιδιότητες συνδετικού υλικού που συσχετίζονται με τη συγκόλληση των αδρανών, διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες: πάνω από 400m, από 300 έως 400m και κάτω από 300m.

Στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού, όσον αφορά την ακτίνα καμπυλότητας, διακρίνονται τέσσερις κατηγορίες: ακτίνα μήκους κάτω των 100m, από 100 έως 250m, από 250 έως 500m και πάνω από 500m. Όσον αφορά την κλίση, διακρίνονται δύο κατηγορίες: κλίση πάνω από 10% και κλίση έως 10%.

- Ιδιότητες των υλικών

#### **α) Αδρανή**

Τα αδρανή θα πρέπει να είναι θραυστά, κυβικής μορφής, από κατάλληλα σκληρά πετρώματα και απαλλαγμένα από σκόνη ή χώμα που θα επηρέαζε τη συνεκτικότητά τους με το συνδετικό υλικό. Η σκληρότητα των αδρανών καθορίζεται από το Δείκτη στίλβωσης (PSV) ενώ η καταλληλότητα της μορφής



των κόκκων καθορίζεται από το Δείκτη πλακοειδούς (μέγιστη επιτρεπτή τιμή 25).

Τα αδρανή θα πρέπει να είναι μονόκοκκα, το ονομαστικό μέγεθος των οποίων διακρίνεται σε τέσσερις κατηγορίες: 20mm, 14mm, 10mm, και 6mm.

## **β) Συνδετικό υλικό**

Το συνδετικό υλικό είναι συνήθως ασφαλικό γαλάκτωμα κατιονικού τύπου με περιεκτικότητα ασφάλτου 70% (χαρακτηρίζεται ως K1- 70), ή ασφαλικό διάλυμα 50sec έως 200sec ,αναλόγως της εποχής διάστρωσης (διάλυμα με μικρό σχετικά ιξώδες χρησιμοποιείται τους μήνες της άνοιξης ενώ με μεγαλύτερο ιξώδες τους θερινούς μήνες). Στις κατηγορίες κυκλοφορίας Α, Β και Γ συνιστάται όπως χρησιμοποιούνται ασφαλικά γαλακτώματα ή διαλύματα με τροποποιημένη άσφαλτο .

- **Κατασκευή ασφαλικών επαλείψεων**

Η κατασκευή των ασφαλικών επαλείψεων προϋποθέτει τη χρήση δύο βασικών μηχανημάτων: ενός διανομέα ασφάλτου (Federal) και ενός διανομέα αδρανών (ψηφιδιέρα). Ο διανομέας ασφάλτου θα πρέπει να είναι κατά προτίμηση ηλεκτρονικός έτσι ώστε να ελέγχεται με ακρίβεια η ποσότητα του ασφαλικού υλικού που ψεκάζεται.

Θα πρέπει να τονισθεί ιδιαίτερα ότι το στάδιο αυτό, δηλαδή του ψεκασμού της ενδεδειγμένης ποσότητας συνδετικού υλικού, είναι το πιο κρίσιμο της κατασκευής.

Όλες οι πρόωρες αστοχίες των ασφαλικών επαλείψεων οφείλονται είτε στο ότι ψεκάσθηκε λιγότερη από την κανονική ή περισσότερη από την κανονική ποσότητα συνδετικού υλικού. Το πρώτο θα έχει ως αποτέλεσμα την πρόωρη

αποκόλληση των αδρανών και εμφάνιση του ασφαλτικού υμένα, ενώ το δεύτερο την ανάδυση της ασφάλτου στην επιφάνεια.

Ο διανομέας αδρανών θα πρέπει να είναι κατάλληλος για τέτοιου είδους εργασία. Δύο είναι οι τύποι διανομέων που χρησιμοποιούνται:

- οι μεταφερόμενοι και
- οι αυτοκινούμενοι.

Οι μεταφερόμενοι, που είναι και οι πιο συνηθισμένοι, τοποθετούνται στο πίσω μέρος των φορτηγών και φέρουν συνήθως έναν ανεξάρτητο τροχό, ή σύστημα καταγραφής της ταχύτητας του φορτηγού. Ο τροχός αυτός έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια του οδοστρώματος και, καθώς το φορτηγό κινείται, καταγράφει την ταχύτητα κίνησης και ρυθμίζει αυτόματα την ποσότητα των αδρανών που κατανέμονται στην επιφάνεια. Δηλαδή εάν το φορτηγό κινείται αργά οι ποσότητες αυτόματα μειώνονται, ενώ σε αντίθετη περίπτωση οι ποσότητες αυξάνονται. Έτσι διασφαλίζεται η σωστή ποσότητα των αδρανών που πρέπει να διαστρωθεί.

Μετά τη διάστρωση των αδρανών, η οποία γίνεται σε σύντομο χρονικό διάστημα από τον ψεκασμό, η επιφάνεια κυλινδρώνεται με λαστιχοφόρο οδοστρωτήρα 6-8 τόνων (πίεση περίπου 0.5 MPa περίπου), ιδιαίτερα για δρόμους με μικρή κυκλοφορία.

Η επιτυχής κατασκευή της ασφαλτικής επάλειψης εξαρτάται, πλην των παραπάνω παραγόντων, από:

- α) τη χρονική διάρκεια που η επιφάνεια δεν πρέπει να κυκλοφορείται, η οποία εξαρτάται από το είδος του συνδετικού υλικού και τις καιρικές συνθήκες,
- β) τη μέγιστη ταχύτητα που αναπτύσσουν τα οχήματα όταν η επιφάνεια δίνεται σε κυκλοφορία (θα πρέπει να διατηρείται χαμηλή, μικρότερη των 30km/h, για τουλάχιστον μια ώρα ή περισσότερο, εάν οι κλιματολογικές συνθήκες σε σχέση με το συνδετικό που χρησιμοποιήθηκε δεν είναι ευνοϊκές),
- γ) την καλή λειτουργία του federal, έτσι ώστε να ψεκάζει ομοιόμορφα και με ποσοτική ακρίβεια,

- δ) την καθαρότητα των αδρανών υλικών και
- ε) την καθαρότητα της υφιστάμενης επιφάνειας.

Πριν τη διάστρωση της ασφαλικής επάλειψης οι οποιεσδήποτε μικρές φθορές του οδοστρώματος (κυρίως λακκούβες, τοπικές καθιζήσεις και μπαλώματα) θα πρέπει να επιδιορθώνονται.

- Έλεγχοι κατά την κατασκευή

Κατά την κατασκευή θα πρέπει να ελέγχονται δύο βασικές παράμετροι:

- α) η ποσότητα του συνδετικού υλικού που ψεκάζεται και
- β) η ποσότητα του αδρανούς υλικού που κατανέμεται.

Ο τρόπος ελέγχου είναι απλούστατος και συνίσταται στην τοποθέτηση λεπτού μεταλλικού δίσκου γνωστής επιφάνειας. Ο δίσκος αυτός τοποθετείται επί της επιφανείας και πάνω από αυτόν περνά το federal ή ο διανομέας των αδρανών, αντίστοιχα. Το βάρος του υλικού που συλλέγεται ανάγεται στο τετραγωνικό μέτρο και έτσι καθορίζεται η ποσότητα ανά τετραγωνικό μέτρο.

Βεβαίως θα πρέπει να ελέγχεται τόσο το αδρανές όσο και το συνδετικό υλικό, τα οποία θα πρέπει να είναι σύμφωνα με αυτά που καθορίστηκαν στη μελέτη. Η δειγματοληψία και για τα δύο υλικά συνιστάται να γίνεται από το φορτηγό ή από το federal αντίστοιχα.

## **6.7 Ενίσχυση οδοστρωμάτων**

Κατά την αποκατάσταση των οδοστρωμάτων συνιστάται όπως πάντοτε διερευνάται η περίπτωση παράλληλης ενίσχυσης του οδοστρώματος. Το πάχος της πρόσθετης στρώσης για ενίσχυση του οδοστρώματος δεν είναι τυχαίο αλλά καθορίζεται μετά από εξέταση της υφιστάμενης δομικής κατάστασης του οδοστρώματος .

Για τον υπολογισμό του πάχους της απαιτούμενης ενισχυτικής επίστρωσης χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι οι περισσότερες των οποίων βασίζονται στα αποτελέσματα που λαμβάνονται από τα μηχανήματα αξιολόγησης της δομικής κατάστασης των οδοστρωμάτων. Οι συνηθέστερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται διεθνώς για τον υπολογισμό του πάχους της ενισχυτικής ασφαλικής στρώσης επί ευκάμπτων ή μικτών ευκάμπτων οδοστρωμάτων, είναι:

- η μέθοδος των βυθίσεων και
- η μέθοδος του ισοδυνάμου πάχους.

Βεβαίως ο υπολογισμός του πάχους της ενισχυτικής ασφαλικής στρώσης μπορεί να γίνει και με αναλυτικές μεθόδους, όπως κατά τη διαστασιολόγηση των οδοστρωμάτων με αναλυτικές μεθόδους, βασιζόμενοι στα αποτελέσματα που λαμβάνονται από το Falling Weight Deflectometer .

Για τον υπολογισμό της ενισχυτικής επίστρωσης επί δύσκαμπτων οδοστρωμάτων, η οποία μπορεί να είναι είτε από σκυρόδεμα είτε από ασφαλτόμιγμα, έχει αναπτυχθεί η μεθοδολογία που προτείνεται από τις νεώτερες Βρετανικές προδιαγραφές και το Asphalt Institute, αντίστοιχα.

Σε όλες τις περιπτώσεις, συνιστάται όπως το ελάχιστο πάχος της ενισχυτικής ασφαλικής επίστρωσης επί ευκάμπτων οδοστρωμάτων είναι 40mm, ενώ επί δύσκαμπτων οδοστρωμάτων 100mm.

## 7. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΧΟΥΣ ΣΤΡΩΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΜΑΚΡΑΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ

### 7.1 Γενικά

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει λόγω της μεγάλης αύξησης της κυκλοφορίας τα ασφαλτικά οδοστρώματα υφίστανται μεγάλες καταπονήσεις με αποτέλεσμα το μεγάλο κόστος συντήρησης και αποκατάστασης τους. Για το λόγο αυτό υπάρχει η ανάγκη δημιουργίας οδοστρωμάτων με μεγάλη διάρκεια ζωής.

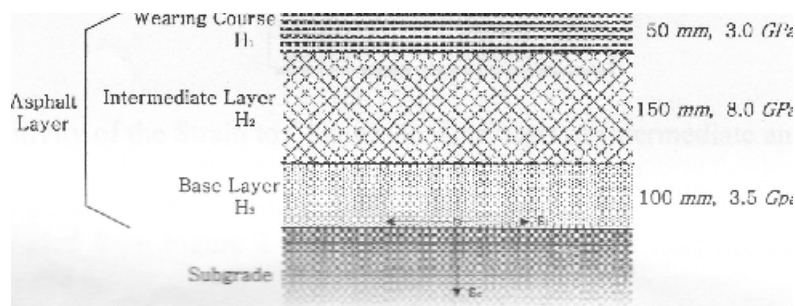
Πολλές μελέτες αποσκοπούν στην ανάπτυξη μιας απλής διαδικασίας για τον καθορισμό του πάχους και του μέτρου ελαστικότητας των οδοστρωμάτων έτσι ώστε να αποτελούν οδοστρώματα μακράς διάρκειας.

Στην παράγραφο που ακολουθεί, περιγράφεται η διαδικασία που οι Heemum Park, Yeonbok Kim, Jewon Kim και Hyunjong Lee ακολούθησαν.

### 7.2 Επίδραση του πάχους και του μέτρου ελαστικότητας των στρώσεων στην συμπεριφοράς των οδοστρωμάτων

Ένα τυπικό οδόστρωμα μακράς διάρκειας αποτελείται από τρεις διαφορετικές στρώσεις (σχ.47).

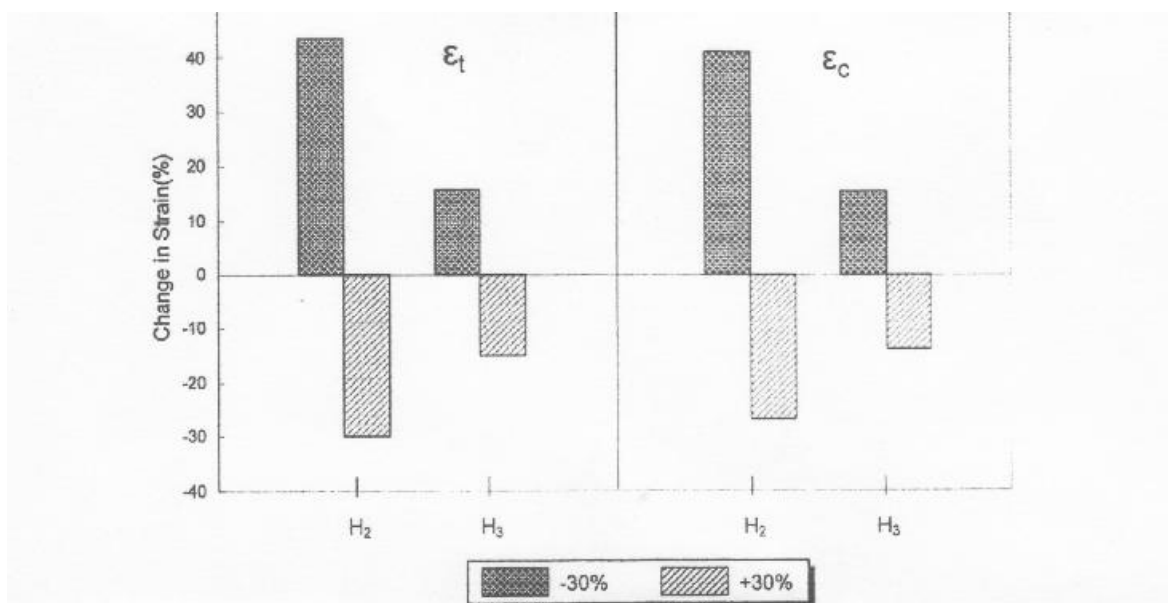
- Επιφανειακή στρώση
- Ενδιάμεση στρώση
- Βάση



Σχήμα 47. Τυπική διατομή οδοστρώματος μακράς διάρκειας

Το πάχος και το μέτρο ελαστικότητας στην ενδιάμεση στρώση και την βάση λαμβάνουν διάφορες τιμές ενώ οι άλλες μεταβλητές παραμένουν σταθερές. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν εκτιμώνται χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ILLIPAVE.

Το προκαθορισμένο πάχος της ενδιάμεσης στρώσης και της βάσης είναι 150mm και 100mm αντίστοιχα. Το πάχος κάθε στρώσης μεταβάλλεται  $\pm 30\%$  από την προκαθορισμένη τιμή (σχ.48).

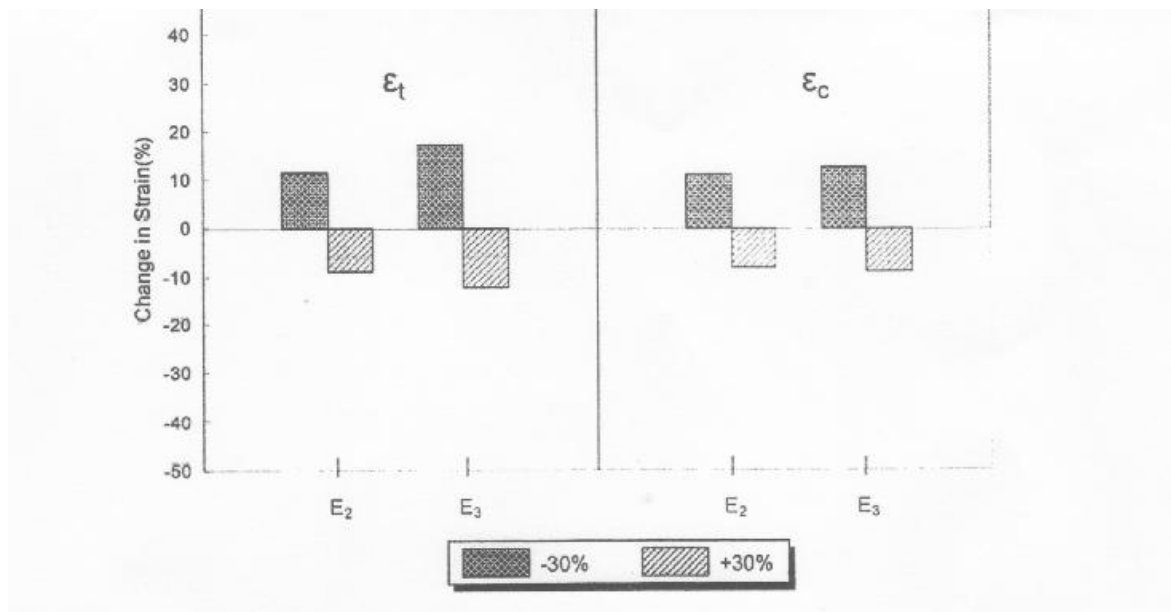


**Σχήμα 48.** Επιρροή του πάχους της ενδιάμεσης στρώσης ( $H_2$ ) και του πάχους της βάσης ( $H_3$ ), στην αντοχή του οδοστρώματος

Η εκατοστιαία μεταβολή της εφελκυστικής παραμόρφωσης ( $\epsilon_t$ ) και της θλιπτικής παραμόρφωσης ( $\epsilon_c$ ) στην ενδιάμεση στρώση είναι 2.3 φορές μεγαλύτερη από ότι στην βάση. Από το σχήμα συμπεραίνουμε ότι η μεταβολή του πάχους της ενδιάμεσης στρώσης είναι καθοριστική για το  $\epsilon_t$  και το  $\epsilon_c$ .

Το μέτρο ελαστικότητας στην ενδιάμεση στρώση και την βάση έχει καθοριστεί σε 8.0 MPa και 3.5MPa αντίστοιχα. Η εκατοστιαία μεταβολή της εφελκυστικής και θλιπτικής παραμόρφωσης λόγω της διαφοροποίησης των

τιμών του μέτρου ελαστικότητας  $\pm 30\%$  από την καθορισμένη τιμή αποτυπώνεται στο παρακάτω σχήμα (σχ.49) .



**Σχήμα 49. Επιρροή του μέτρου ελαστικότητας της ενδιάμεσης στρώσης ( $E_2$ ) και του πάχους της βάσης ( $E_3$ ), στην αντοχή του οδοστρώματος.**

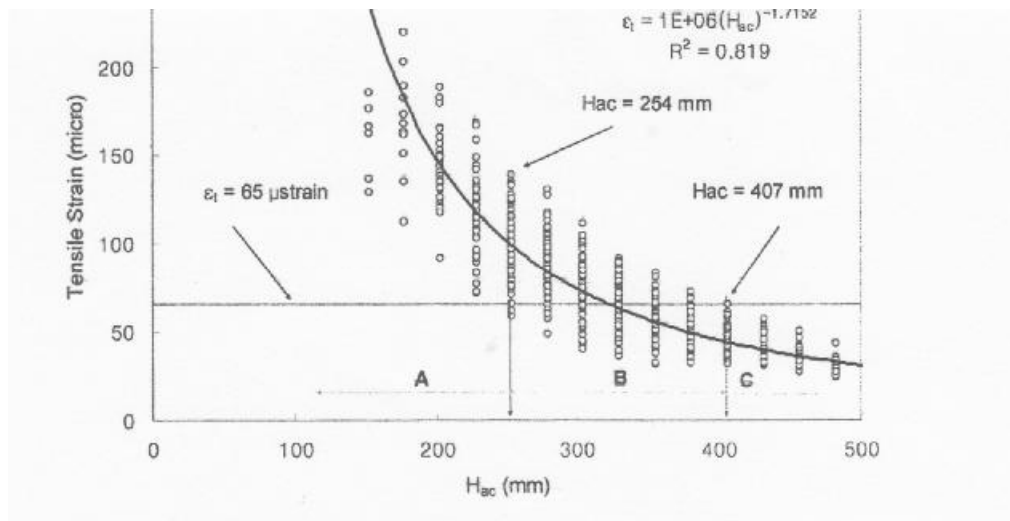
Από το σχήμα (σχ.49) παρατηρούμε η εκατοστιαία μεταβολή του  $\epsilon_t$  είναι 1.4 φορές μεγαλύτερη στην ενδιάμεση στρώση από ότι στην βάση. Συμπεραίνουμε λοιπόν, ότι το πάχος της ενδιάμεσης στρώσης είναι ο πιο καθοριστικός παράγοντας για την συμπεριφορά του οδοστρώματος. Γι' αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον καθορισμό του πάχους του οδοστρώματος.

Σύμφωνα με μελέτες έχει καθοριστεί σαν όριο η εφελκυστική παραμόρφωση στη βάση του ασφαλτικού οδοστρώματος να είναι ίση ή μικρότερη από 65 microstrains ( $\epsilon_t \leq 65$  micro strains) και η θλιπτική αντοχή στην κορυφή της ασφαλτικής στρώσης να είναι ίση ή μικρότερη από 200 microstrains ( $\epsilon_c \leq 200$  microstrains).

Τα σχήματα (σχ. 50 και 51) (Park et al., 2005) δείχνουν τη σχέση ανάμεσα στο ολικό πάχος  $H_{ac}$  ενός ασφαλτικού οδοστρώματος και στην εφελκυστική  $\epsilon_t$  και

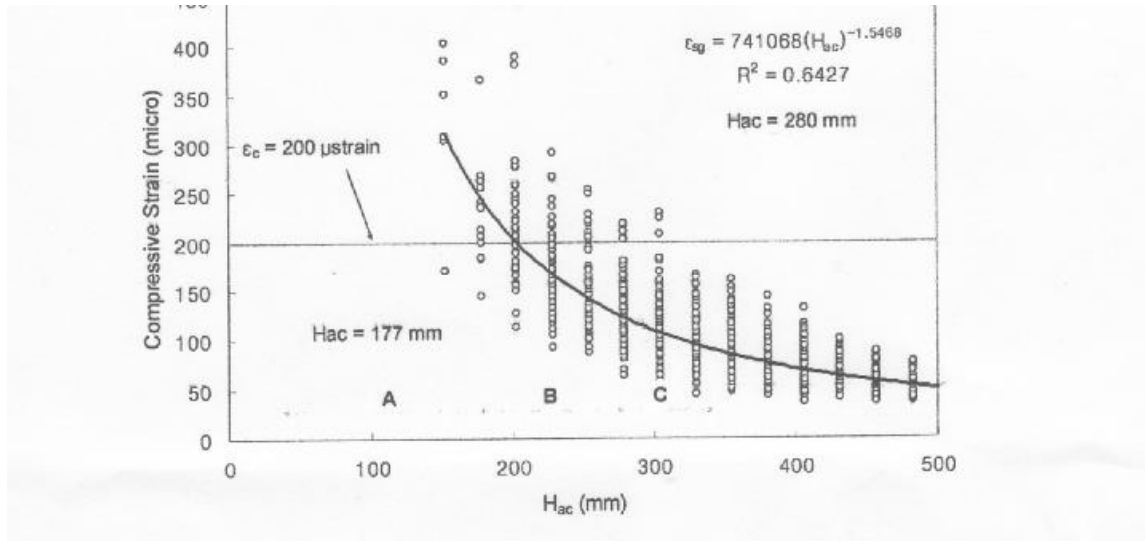
θλιπτική  $\epsilon_c$  παραμόρφωση. Αν το οδόστρωμα έχει εφελκυστική παραμόρφωση μικρότερη από 65 microstrains, θα έχει θλιπτική παραμόρφωση μικρότερη από 200 microstrains, επισημαίνοντας έτσι ότι η εφελκυστική παραμόρφωση είναι καθοριστικός παράγοντας για αυτήν τη σχέση.

Όταν το συνολικό πάχος  $H_{ac}$ , ενός ασφαλτικού οδοστρώματος είναι μικρότερο από 250mm, η υπολογιζόμενη αντοχή είναι στις περισσότερες περιπτώσεις είναι μεγαλύτερη από το όριο αντοχής ανεξάρτητα από το πάχος και το μέτρο ελαστικότητας της στρώσης. Αντά τα οδοστρώματα δεν μπορούν να θεωρηθούν ως οδοστρώματα μακράς διάρκειας. Αντιθέτως τα οδοστρώματα με συνολικό πάχος μεγαλύτερο από 410 mm θεωρούνται.



**Σχήμα 50.** Σχέση ολικού πάχους  $H_{ac}$  ασφαλτικού οδοστρώματος και εφελκυστικής παραμόρφωσης  $\epsilon_t$





**Σχήμα 51 .Σχέση ολικού πάχους  $H_{ac}$  ασφαλτικού οδοστρώματος και θλιπτικής παραμόρφωσης  $\epsilon_c$**

Οι συγγραφείς (Park et al., 2005) προτείνουν την ακόλουθη σχέση (Εξ. 1) για τον υπολογισμό της εφελκυστικής τάσης συναρτήσει του πάχους και του μέτρου ελαστικότητας της ενδιάμεσης στρώσης και της βάσης.

$$\text{Log}(\epsilon_t) = 5.545 - 1.191 \text{Log}(H_2) - 0.2731 \text{Log}(H_3) - 0.397 \text{Log}(E_2) - 0.288 \text{Log}(E_3) \quad (1)$$

όπου:  $\epsilon_t$  = η εφελκυστική αντοχή στη βάση του ασφαλτικού οδοστρώματος

$H_2$  = πάχος της ενδιάμεσης στρώσης

$H_3$  = πάχος της βάσης

$E_2$  = μέτρο ελαστικότητας της ενδιάμεσης στρώσης

$E_3$  = μέτρο ελαστικότητας της βάσης

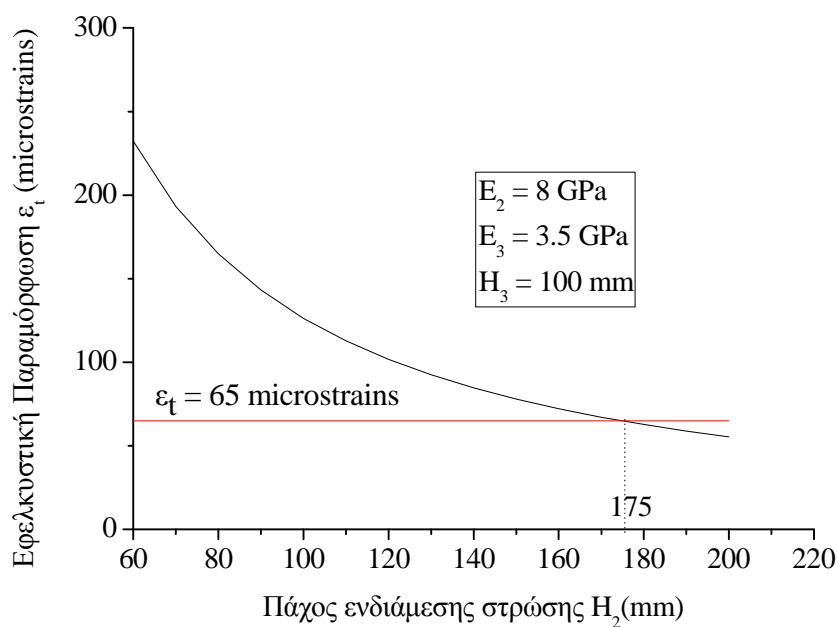
### 7.3 Παραμετρική διερεύνηση

Χρησιμοποιώντας την Εξ. 1, γίνεται παραμετρική διερεύνηση της επιρροής του πάχους και του μέτρου ελαστικότητας της ενδιάμεσης στρώσης στην εφελκυστική παραμόρφωση, προσδιορίζοντας έτσι τα όρια των παραμέτρων αυτών που καθορίζουν ένα οδόστρωμα ως οδόστρωμα μακράς διάρκειας.

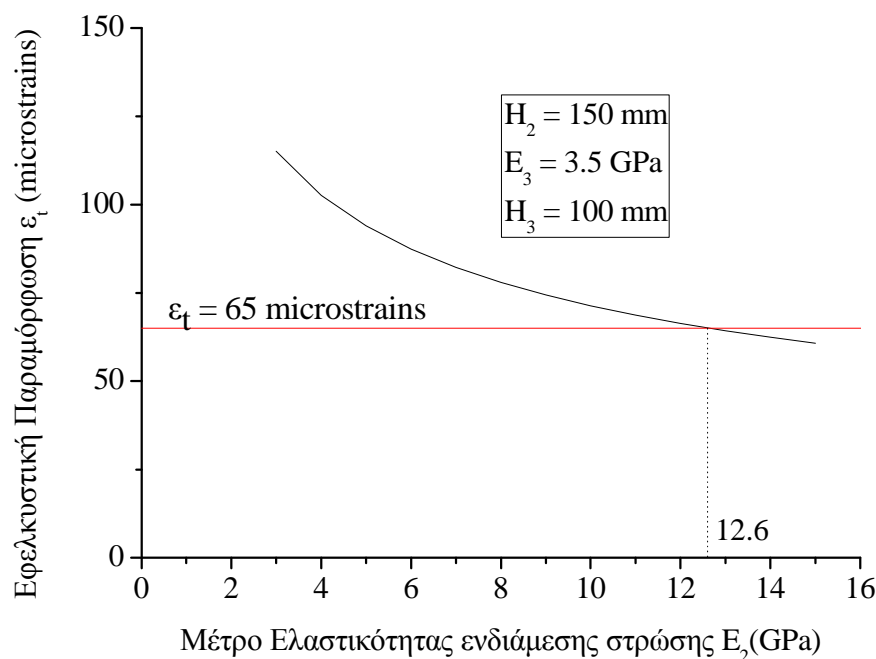
Στην παραπάνω εξίσωση (Εξ. 1) αρχικά διατηρούμε τις τιμές του πάχους της βάσης  $H_3$ , του μέτρου ελαστικότητας της ενδιάμεσης στρώσης  $E_2$  και του μέτρου ελαστικότητας της βάσης  $E_3$ , σταθερές και μεταβάλλουμε το πάχος της ενδιάμεσης στρώσης  $H_2$ .

Στη συνέχεια γίνεται παραμετρική διερεύνηση του μέτρου ελαστικότητας της ενδιάμεσης στρώσης  $E_2$ , διατηρώντας σταθερές τις τιμές του πάχους της ενδιάμεσης στρώσης και της βάσης, καθώς και του μέτρου ελαστικότητας της βάσης.

Τα αποτελέσματα των παραπάνω παραμετρικών διερευνήσεων φαίνονται στις γραφικές παραστάσεις που παρουσιάζονται στα Σχήματα 52 και 53.



**Σχήμα 52. Επιρροή του πάχους ( $H_2$ ) της ενδιάμεσης στρώσης στην εφελκυστική παραμόρφωση ( $\varepsilon_t$ ).**



**Σχήμα 53. Επιρροή του μέτρου ελαστικότητας ( $E_2$ ) της ενδιάμεσης στρώσης στην εφελκυστική παραμόρφωση ( $\epsilon_t$ ).**

Από τις παραπάνω παραμετρικές αναλύσεις συμπεραίνουμε ότι οδοστρώματα με πάχος ενδιάμεσης στρώσης  $H_2$  μικρότερο από 175 mm και μέτρο ελαστικότητας  $E_2$  της ενδιάμεσης στρώσης μικρότερο από 12.6 GPa, δεν αποτελούν οδοστρώματα μακράς διάρκειας διότι με τις ανωτέρω τιμές προκύπτει  $\epsilon_t$  μεγαλύτερο από 65  $\mu$ strain.

## 8. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Οι πρόσφατες εξελίξεις στην επιλογή των υλικών, τον σχεδιασμό των μιγμάτων, τις δοκιμές απόδοσης και τον σχεδιασμό των οδοστρωμάτων μπορούν να προσφέρουν την δυνατότητα κατασκευής οδοστρωμάτων τα οποία θα μπορούν να έχουν διάρκεια ζωής πάνω από 50 έτη, με περιοδικές αντικαταστάσεις των επιφανειακών τους στρώσεων. Η έννοια των οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας δεν είναι καινούργια, μερικές προσπάθειες είχαν αναπτυχθεί στην πολιτεία της Ουάσινγκτον και είναι σε λειτουργία για 40

χρόνια χωρίς ποτέ να παρουσιάσουν την ανάγκη για αντικατάσταση ή για αποκατάσταση μεγάλου βαθμού.

Τα οδοστρώματα μακράς διάρκειας προσφέρουν την δυνατότητα στους μελετητές να σχεδιάζουν για ειδικές περιπτώσεις εντάσεων. Ένας τυπικός σχεδιασμός οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας περιλαμβάνει ένα σχετικά παχύ στρώμα ασφάλτου τοποθετημένο πάνω από μία κοκκώδης στρώση βάσης. Το συνολικό πάχος αυτών των στρώσεων μπορεί να είναι μέχρι και 400 χιλιοστά. Το πάχος της ασφαλικής στρώσης μειώνει τις εντάσεις (φθορές λόγω των κυκλοφοριακών φορτίων) στο κατώτερο στρώμα της ασφαλικής στρώσης λόγω φορτίων. Αν η ασφαλική στρώση έχει αρκετά μεγάλο πάχος, οι τάσεις μειώνονται μέχρι ενός σημείου όπου η διάρκεια ζωής κόπωσης ( αστοχία προκαλούμενη από κυκλοφοριακά κυκλικά επαναλαμβανόμενα φορτία) του οδοστρώματος γίνεται απεριόριστη. Η αντίσταση στις ρωγμές που δημιουργούνται από τη βάση προς την κορυφή του ασφαλικού στρώματος παρέχεται από το κατώτερο ασφαλικό στρώμα (ασφαλική στρώση βάσης) το οποίο έχει υψηλή συνοχή και ποσοστό συνδετικού υλικού ή από το συνολικό πάχος του οδοστρώματος που μειώνει τις εφελκυστικές τάσεις σε ένα ασήμαντο επίπεδο. Το υψηλό ποσοστό συνδετικού υλικού στο μίγμα της στρώσης βάσης θα παρέχει επιπλέον ακαμψία. Το ενδιάμεσο ασφαλικό στρώμα (ασφαλική στρώση κυκλοφορίας) θα παρουσιάζει αντίσταση σε παραμορφώσεις μέσω της επαφής των αδρανών και της ανθεκτικότητας που προέρχεται από τη σωστή επιλογή των υλικών και την καλή κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών. Η ανώτερη αντιολισθηρή ασφαλική στρώση θα πρέπει να αντιστέκεται στις ρωγμές και παραμορφώσεις, στις ρηγματώσεις λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών, λόγω καιρικών και κλιματικών μεταβολών, πράγμα που επιτυγχάνεται με την χρησιμοποίηση των κατάλληλων ασφαλτομιγμάτων SMA ή Superpave πυκνής διαβάθμισης. Μια αντιολισθηρή στρώση από αδρανή ανοιχτού τύπου εξασφαλίζει στεγανότητα της επιφάνειας του οδοστρώματος και ανανέωση αυτής. Η νέα τάση στον σχεδιασμό των οδοστρωμάτων μακράς

διάρκειας είναι η επιλογή του κατάλληλου υλικού στην κάθε ασφαλική στρώση έτσι ώστε να αντιστέκεται στις φθορές που προκαλούνται, έχει ως αποτέλεσμα τον υπολογισμό μικρότερων παχών στρώσεων από την περίπτωση που σχεδιάζονταν οδόστρωμα μακράς διάρκειας με την χρήση ενός μόνο υλικού για τις ασφαλικές στρώσεις.

Οι γνώσεις και η ικανότητα των μελετητών στον σχεδιασμό τέτοιων οδοστρωμάτων υπάρχει. Ωστόσο, αυτές οι πληροφορίες και η διαδικασία σχεδιασμού θα πρέπει να συγκεντρωθούν σε μια βάση δεδομένων προσπελάσιμη από όλους τους ενδιαφερόμενους μηχανικούς. Επίσης, διευκρινήσεις και συμπληρώσεις πρέπει να γίνουν έτσι ώστε η μεθοδολογία αυτή να μπορεί να εφαρμοστεί ανάλογα με τις συνθήκες κάθε περιοχής. Συνιστάται να συγκροτηθεί μια διεθνής ομάδα ειδικών που θα αναλάβει αυτό το καθήκον. Θα είναι υπεύθυνοι:

- για τον καθορισμό προδιαγραφών και για την επιλογή των κατάλληλων υλικών τα
- τον καθορισμό των αναλογίων και των σχεδιασμό των μιγμάτων
- τον καθορισμό μεθοδολογίας σχεδιασμού οδοστρωμάτων μακράς διάρκειας
- τον καθορισμό μεθοδολογιών κατασκευής, αποτίμησης της κατάστασης και συντήρησης των οδοστρωμάτων.

Αναμένεται ότι οι ενδιαφερόμενες χώρες και περιοχές θα εφαρμόσουν και θα ακολουθήσουν αυτές τις οδηγίες ανάλογα με τις ανάγκες τους.

Τα οδοστρώματα μακράς διάρκειας έχουν αποκτήσει κύρος και κερδίζουν την διεθνή εκτίμηση και αναγνώριση και αυτό γιατί έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής σε σχέση με τα κοινά οδοστρώματα, παρέχουν ικανοποιητική ποιότητα οδήγησης και ασφάλεια στις μετακινήσεις, δεν χρειάζονται ριζικές επεμβάσεις συντήρησης παρά μια απλή ανανέωση της επιφανειακής στρώσης τους και τέλος είναι φιλικά προς το περιβάλλον και οικονομικά σαν επένδυση κατασκευής.

## Βιβλιογραφία:

1. Asphalt Pavement Alliance (2001) “Perpetual Pavement: Structured for the future”
2. Brown, E.R. and L.A.Cooley (1999), “Desinging Stone Matrix Asphalt Mixtures For Rut – Resistant Pavements”, Report No 425, National Cooperative Highway Research program, Trasportation Research Board, Washington D.C.
3. Corté Jean-François(2001), ” Development and Uses of Hard-Grade Asphalt and of High-Modulus Asphalt Mixes in France”, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (France), Trasportation Research Circular “Perpetual Bituminous Pavements”,pp. 12-31
4. Fee Frank (2002), “Perpetual Pavements from concept to implementation”, GITCO asphalt, Rocky Mountain Asphalt Conference
5. Harm Eric (2001), “Illinois Extended-Life Hot-Mix Asphalt Pavements”, Illinois Department of Transportation, Trasportation Research Circular “Perpetual Bituminous Pavements”,pp. 108-114
6. Hawai’i Asphalt Pavement Industry, “Hapi Asphalt Pavement Guide”
7. Hodgkinson J.R. (1996), “Long Term Performance Of Local Government Road Pavements Recycled By Cement Stabilisation”, Senior Engineer, Roads and pavements cement & concrete assosiation of Australia, 6<sup>th</sup> National Local Governmet Engineering Conference, Hobart,page 90
8. Illinois Department of Transportation (IDOT) (2001), “A Guide Specification For HMA Extended Life Pavements”, Draft Version, Springfield
9. Mahoney Joe P.(2001),” Study of Long-Lasting Pavements in Washington State”, University of Washington, Trasportation Research Circular “Perpetual Bituminous Pavements”,pp. 88-95
- 10.Martin Jim St., Harvey John T.and Herritt Kevin (2001),” Long-Life Rehabilitation Design and Construction:I-710 Freeway, Long Beach, California”, University of California–Berkeley, Trasportation Research Circular “Perpetual Bituminous Pavements”,pp. 50-65
- 11.Monismith, C. L., and F. Long. (1999), “Overlay Design for Cracked and Seated Portland Cement (PCC) Pavement - Interstate Route 710. Technical Memorandum”, TM UCB PRC 99-3, Pavement Research Center, Institute for Transportation Studies, University of California, Berkeley.
- 12.Myers Leslie Ann, Roque Reynaldo (2001), “ Evaluation of Top-Down Cracking in Thick Asphalt Pavements and the Implications for Pavement Design”, University of Florida, Trasportation Research Circular “Perpetual Bituminous Pavements”,pp. 79-87

13. Newcomb David E., Buncher Mark, Huddleston Ira J. (2001), "Concepts of Perpetual Pavements", Transportation Research Circular "Perpetual Bituminous Pavements", pp. 4-11
14. Newcomb E. D., Buncher M., and Huddleston I. J. (2001), "Concepts of Perpetual Pavements", Transportation Research Circular No.503, pp.4-11
15. Nunn Michael and Ferne Brian W. (2001), "Design and Assessment of Long-Life Flexible Pavements", Transport Research Laboratory (United Kingdom), Transportation Research Circular "Perpetual Bituminous Pavements", pp. 32-49
16. Nunn, M.E., A. Brown, D. Weston, and J. C. Nicholls. (1997), "Design of Long - Life Flexible Pavements for Heavy Traffic", TRL Report 250, Transport Research Laboratory, Crowthorne, U.K.
17. Park et al. (2005).
18. Projects with Surface Cracking in New Jersey, New Jersey Department of Transportation, Transportation Research Circular "Perpetual Bituminous Pavements", pp. 96-107
19. Rowe Geoffrey, Sauber Robert, Fee Frank and Soliman Nassef (2001), "Development of Long-Life Overlays for Existing Pavement Infrastructure"
20. Von Quintus Harold L (2001), "Hot-Mix Asphalt Layer Thickness Design for Longer-Life Bituminous Pavements", Fugro-Brent Rauhut Engineering, Inc., Transportation Research Circular "Perpetual Bituminous Pavements", pp. 66-78
21. Θεοδωρακόπουλος Δημήτριος Δ., "Σημειώσεις Κατασκευής Οδών", Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, εργαστήριο Συγκοινωνιακών έργων, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών,
22. Κοφίτσας Ιωάννης Δ. (2001), "Στοιχεία Οδοστρωμάτων", Γ' έκδοση.
23. Νικολαΐδης Αθανάσιος Φωτ. (1996), "Οδοποιία, οδοστρώματα – υλικά – έλεγχος ποιότητας", εκδόσεις Μ. Τριανταφύλλου και Σια, Θεσσαλονίκη.
24. Ρέζος Σπυρίδων (2005), "Οδοστρώματα Μακράς Διαρκείας", 2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας, Βόλος.
25. <http://www.asda.gr/gym8per/Programes/Via%20Romana/roads%20ancient%20Greece.htm>
26. <http://www.livepedia.gr/index.php/%ce%9f%ce%b4%cf%8c%cf%82>
27. [http://library.tee.gr/digital/techr/2007/techr\\_2007\\_3\\_kaltsounis.pdf](http://library.tee.gr/digital/techr/2007/techr_2007_3_kaltsounis.pdf)
28. AASHTO <http://tig.transportation.org/?siteid=57&pageid=1826>.
29. [www.asphaltwa.com](http://www.asphaltwa.com)

30. [www.Pavementinteractive.org](http://www.Pavementinteractive.org) bleeding PAVEMENT