

ΜΕΡΟΣ 2ο : ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο οδηγός διαστασιολόγησης οδοστρωμάτων αποτελείται από νομογραφήματα που παρέχουν τη δυνατότητα υπολογισμού του πάχους των ασφαλτικών στρώσεων ευκάμπτων οδοστρωμάτων, συναρτήσει της φέρουσας ικανότητας του υπεδάφους και του κυκλοφοριακού φόρτου και σε σχέση με το πάχος της βάσης και υπόβασης. Η φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους εκφράζεται συναρτήσει του Καλιφορνιακού δείκτη φέρουσας ικανότητας (CBR) ενώ ο κυκλοφοριακός φόρτος σε Ισοδύναμους Τυπικούς Άξονες (ITA).

Για πρακτικούς λόγους το πάχος της βάσης/υπόβασης λαμβάνει τρεις διακεκριμένες τιμές: 200mm, 300mm και 400mm.

Λόγω της επίδρασης της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος στις μηχανικές ιδιότητες των ασφαλτομιγμάτων, τα νομογραφήματα καλύπτουν δύο διακεκριμένες θερμοκρασίες, οι οποίες είναι αντιπροσωπευτικές για όλο το έργο της Εγνατίας οδού. Οι θερμοκρασίες αυτές είναι 13 °C και 16 °C που αντιπροσωπεύουν την ελαχίστη και τη μέγιστη Μέση Ετήσια Θερμοκρασία Αέρος (ΜΕΘΑ) που εκτιμάται ότι θα εμφανισθούν σε όλο το μήκος της Εγνατίας οδού. Για περιοχές με ενδιάμεσες ΜΕΘΑ η διαστασιολόγηση των οδοστρωμάτων γίνεται με γραμμική παρεμβολή.

Τα νομογραφήματα παρήχθησαν όχι μόνο για το συνήθη τύπο ασφάλτου που χρησιμοποιείται, 50/70pen, αλλά και για τη σκληρότερη άσφαλο, 40/50pen. Τα ασφαλτομίγματα με 40/50pen μπορούν να χαρακτηρισθούν ως μίγματα βαριάς κυκλοφορίας. Το είδος του ασφαλτομίγματος που λήφθηκε υπόψη για την ανάπτυξη των νομογραφημάτων ήταν σε όλες τις περιπτώσεις το πυκνό ασφαλτικό σκυρόδεμα (κλειστού τύπου).

Για τη δημιουργία των νομογραφημάτων διαστασιολόγησης ευκάμπτων οδοστρωμάτων χρησιμοποιήθηκε η ελαστική θεωρία πολυστρωματικών συστημάτων, κατά την οποία τα υλικά χαρακτηρίζονται από το μέτρο ελαστικότητας (μέτρο Young) και το λόγο Poisson. Κάθε διακεκριμένη στρώση του οδοστρώματος θεωρήθηκε ότι αποτελείται από ομογενές και ισότροπο υλικό που εκτείνεται στο ημι-άπειρο στο οριζόντιο επίπεδο και ειδικότερα για το υπέδαφος εκτείνεται στο ημι-άπειρο και στο κάθετο επίπεδο. Όλοι οι υπολογισμοί τάσεων/παραμορφώσεων καθώς και του πάχους των στρώσεων έγιναν κάνοντας χρήση του προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή BISAR-PC¹ και του SPDM-PC².

2. ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ

Τα βασικά σχεδιαστικά κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των νομογραφημάτων διαστασιολόγησης έτσι ώστε να διασφαλίζεται η ικανοποιητική λειτουργία του οδοστρώματος καθ' όλη τη διάρκεια σχεδιασμού, αλλά και κατά τη διάρκεια της κατασκευής, είναι:

- α) Οι ασφαλτικές στρώσεις δεν θα πρέπει να ρηγματώνονται κάτω από την επίδραση των φορτίων της κυκλοφορίας. Αυτό ελέγχεται από την αναπτυσσόμενη εφελκυστική τάση ή εφελκυστική ανηγμένη παραμόρφωση στην κατώτατη επιφάνεια της ασφαλτικής βάσης.
- β) Το υπέδαφος θα πρέπει να μπορεί να παραλάβει τα επαναλαμβανόμενα φορτία της κυκλοφορίας δίχως να επέρχεται υπερβολική παραμόρφωση αυτού. Αυτό ελέγχεται

από την αναπτυσσόμενη θλιπτική τάση ή θλιπτική ανηγμένη παραμόρφωση στην ανώτατη επιφάνεια της σκάφης (ανώτατη επιφάνεια υπεδάφους ή εξυγιαντικής στρώσης).

- γ) Το πάχος της βάσης/υπόβασης από ασύνδετα αδρανή και της εξυγιαντικής στρώσης (όταν κατασκευάζεται) πρέπει να είναι επαρκές έτσι ώστε κατά τη διάρκεια της κατασκευής (πριν τη διάστρωση των ασφαλικών στρώσεων) να μην υπερφορτίζεται το υπέδαφος από τις διελεύσεις των κατασκευαστικών οχημάτων.

Ο κυκλοφοριακός φόρτος εκφράζεται σε φορτία τυπικών αξόνων που δρουν κάθετα ή/και οριζόντια στην επιφάνεια και θεωρείται ότι κατανέμονται ομοιόμορφα σε δύο κυκλικές περιοχές. Το οδόστρωμα θεωρείται ότι αποτελείται από 3 ή περισσότερες διακεκριμένες στρώσεις, ανάλογα με το είδος των υλικών σε κάθε στρώση.

Το πρόγραμμα BISAR, το οποίο είναι ενσωματωμένο στο πρόγραμμα SPDM-PC, υπολογίζει, για δεδομένη δομή του οδοστρώματος, τη μέγιστη θλιπτική ανηγμένη παραμόρφωση στην ανώτατη επιφάνεια του υπεδάφους και τη μέγιστη εφελκυστική ανηγμένη παραμόρφωση που συνήθως εμφανίζεται στην κατώτατη επιφάνεια της ασφαλικής βάσης. Αν η αναπτυσσόμενη θλιπτική ανηγμένη παραμόρφωση είναι μεγάλη, μεγαλύτερη της επιτρεπτής, θα προκαλέσει παραμένουσα παραμόρφωση στο υπέδαφος με αποτέλεσμα την εμφάνιση βύθισης στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Ομοίως, αν η εφελκυστική ανηγμένη παραμόρφωση είναι μεγάλη, μεγαλύτερη της επιτρεπτής, θα προκαλέσει ρηγμάτωση της ασφαλικής στρώσης η οποία σύντομα θα εμφανιστεί και στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Οι μέγιστες επιτρεπτές ανηγμένες παραμορφώσεις καθορίζονται από αντιπροσωπευτικές εξισώσεις κόπωσης των υλικών. Το πάχος του οδοστρώματος καθορίζεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι αναπτυσσόμενες ανηγμένες παραμορφώσεις να είναι ίσες ή ελαφρώς μικρότερες των μεγίστων επιτρεπτών.

Το πρόγραμμα BISAR επίσης χρησιμοποιήθηκε για τον καθορισμό της θλιπτικής ανηγμένης παραμόρφωσης στην επιφάνεια του υπεδάφους όταν το οδόστρωμα συνίστατο μόνο από βάση/υπόβαση. Με τον τρόπο αυτό καθοριζέτο εάν το πάχος της βάσης/υπόβασης ήταν επαρκές και κατά τη διάρκεια της κατασκευής.

3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ, ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

3.1 Μέτρο ελαστικότητας του υπεδάφους

Το μέτρο ελαστικότητας του υπεδάφους ($E_{\text{υπεδάφους}}$), που αποτελεί μια από τις βασικότερες παραμέτρους στους αναλυτικούς υπολογισμούς, προσδιορίστηκε από τον Καλιφορνιακό δείκτη (CBR). Το CBR δεν εκφράζει τη δυσκαμψία της στρώσης σε θεμελιώδεις μονάδες, πλην όμως η χρήση του είναι πολύ διαδεδομένη και έχει αποκτηθεί σημαντική εμπειρία σχετικά με αυτό. Από διάφορους διεθνείς οργανισμούς έχουν αναπτυχθεί εμπειρικές σχέσεις μεταξύ του μέτρου ελαστικότητας και του CBR. Οι περισσότεροι διαδεδομένες είναι αυτές που αναπτύχθηκαν από το Asphalt Institute³ και από το TRL Αγγλίας⁴. Γραφική απεικόνιση και σύγκριση των εξισώσεων παρατίθεται στο Παράρτημα Β, Σχήμα Β-1. Η εξίσωση του TRL καταλήγει σε πιο συντηρητικά αποτελέσματα για τιμές CBR >5%.

Στην παρούσα μεθοδολογία υιοθετήθηκε η σχέση που αναπτύχθηκε από το TRL Αγγλίας και είναι:

$$E_{\text{υπεδάφους}} = 17,6 \times \text{CBR}^{0,64} \quad (1)$$

Η παραπάνω σχέση έχει καλή πιστότητα για τιμές CBR μεταξύ 2% και 12%. Για τιμές CBR μεγαλύτερες του 12%, όπως 15% και 20% που χρησιμοποιήθηκαν, ως αντιπροσωπευτικές τιμές μέτρων ελαστικότητας υπεδάφους ελήφθησαν τα 100 MPa και 120 MPa, αντίστοιχα, με βάση τη διεθνή εμπειρία.

3.2 Μέτρο ελαστικότητας βάσης/υπόβασης

Το μέτρο ελαστικότητας των στρώσεων από ασύνδετα αδρανή (βάσης/υπόβασης) καθορίστηκε από το μέτρο ελαστικότητας του υπεδάφους σε συνάρτηση με το πάχος της βάσης/υπόβασης. Η προσέγγιση αυτή προτάθηκε και χρησιμοποιήθηκε από τη μεθοδολογία διαστασιολόγησης οδοστρωμάτων της Shell και το Συμπλήρωμά της του 1985⁵. Η σχέση είναι η εξής:

$$E_{\text{βάσης/υπόβασης}} = k \times E_{\text{υπεδάφους}} \quad (2)$$

$$\text{όπου } k = 0,2 \times (h_{\text{βάσης/υπόβασης}})^{0,45} \quad (\text{όρια του } k: 2 < k < 4) \quad (3)$$

Η παραπάνω σχέση ισχύει για επίπεδο εμπιστοσύνης 50%. Για επίπεδο εμπιστοσύνης 85%, που χρησιμοποιήθηκε, η τιμή k διορθώνεται σύμφωνα με το Συμπλήρωμα του 1985. Εντούτοις, το μέγιστο μέτρο ελαστικότητας αυτής της στρώσης περιορίστηκε στα 150MPa, με βάση τη διεθνή εμπειρία.

3.3 Μέγιστη επιτρεπόμενη θλιπτική ανηγμένη παραμόρφωση υπεδάφους

Η μέγιστη επιτρεπόμενη θλιπτική ανηγμένη παραμόρφωση συσχετίζεται άμεσα με την καθίζηση του υπεδάφους. Εκτεταμένες έρευνες από διάφορα εργαστήρια και οργανισμούς της αλλοδαπής καθόρισαν μαθηματικές εξισώσεις από τις οποίες είναι δυνατόν να καθορισθεί η μέγιστη επιτρεπόμενη θλιπτική ανηγμένη παραμόρφωση του υπεδάφους συναρτήσει του συνολικού αριθμού επαναλαμβανόμενης φόρτισης ισοδύναμου τυπικού άξονα. Οι σχέσεις αυτές έχουν τη γενική μορφή:

$$\epsilon_c = a \times N^b \quad (4)$$

όπου ϵ_c = μέγιστη επιτρεπτή θλιπτική ανηγμένη παραμόρφωση στην ανώτατη επιφάνεια του υπεδάφους
 N = συνολικός αριθμός ισοδυνάμων τυπικών αξόνων
 a και b = συντελεστές συσχέτισης

και στις περισσότερες περιπτώσεις αστοχία θεωρείται μια συγκεκριμένη παραμόρφωση του υπεδάφους που έχει σαν συνέπεια περίπου 20mm βύθιση στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Για λόγους σύγκρισης οι περισσότεροι γνωστές εξισώσεις που έχουν αναπτυχθεί παρατίθενται στο Παράρτημα Β, Σχήμα Β-2. Όπως φαίνεται, η εξίσωση του AASHTO⁶ δίνει τα πιο αισιόδοξα αποτελέσματα, επιτρέπει μ' άλλα λόγια την ανάπτυξη υψηλότερης θλιπτικής παραμόρφωσης στο υπεδάφος.

Στον Οδηγό Διαστασιολόγησης Οδοστρωμάτων (ΟΔΟ) που αναπτύχθηκε η σχέση που υιοθετήθηκε ήταν αυτή του TRL, η οποία χρησιμοποιείται στην ισχύουσα Βρετανική μεθοδολογία διαστασιολόγησης οδοστρωμάτων⁷. Η σχέση αυτή επιλέχθηκε γιατί δίνει λιγότερο αισιόδοξα αποτελέσματα και έτσι συντείνει στην πιθανότητα να επιτευχθεί από το οδόστρωμα η απαιτούμενη διάρκεια ζωής.

3.4 Μέτρο δυσκαμψίας ασφατομίγματος

Το μέτρο δυσκαμψίας των ασφατομιγμάτων προσδιορίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα SPDM-PC, βάσει της μελέτης των Bonnaure et.al.⁸. Το μέτρο δυσκαμψίας των ασφατομιγμάτων προσδιορίζεται από τις ιδιότητες και τους σχετικούς όγκους των συστατικών τους. Με άλλα λόγια από τη δυσκαμψία της ασφάλτου, το ποσοστό κατ' όγκο της ασφάλτου και το ποσοστό κατ' όγκο των αδρανών. Ο προσδιορισμός της δυσκαμψίας της ασφάλτου γίνεται επίσης αυτόματα από το πρόγραμμα, βάσει της εργασίας του Van der Poel⁹. Σύμφωνα με αυτή, η επίδραση της θερμοκρασίας αέρος, των ιδιοτήτων της ασφάλτου και του χρόνου φόρτισης λαμβάνονται όλα υπόψη στον καθορισμό της δυσκαμψίας της ασφάλτου.

Πρέπει να σημειωθεί, σχετικά με τη θερμοκρασία αέρος στον καθορισμό του μέτρου δυσκαμψίας του ασφατομίγματος, ότι το πρόγραμμα δεν χρησιμοποιεί τη μέση ετήσια θερμοκρασία αλλά ακολουθώντας μια συγκεκριμένη διαδικασία προσδιορίζει τη σταθμισμένη μέση ετήσια θερμοκρασία και από αυτήν την ενεργό θερμοκρασία του ασφατομίγματος. Η ενεργός θερμοκρασία του ασφατομίγματος εξαρτάται επίσης από το πάχος της ασφαλικής στρώσης και είναι πάντα υψηλότερη από τη μέση ετήσια θερμοκρασία αέρος. Λεπτομέρειες για τη διαδικασία αυτή περιέχονται στη σχετική βιβλιογραφία⁵.

3.5 Κόπωση ασφατομιγμάτων

Η κόπωση των ασφατομιγμάτων λόγω των αναπτυσσομένων εφελκυστικών τάσεων και παραμορφώσεων προκαλεί ρηγματώση αυτών. Η συμπεριφορά των ασφατομιγμάτων σε κόπωση επηρεάζεται από διάφορες παραμέτρους και κυρίως τον τύπο και τη σύνθεση του ασφατομίγματος, τις χαρακτηριστικές ιδιότητες της ασφάλτου, τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος (θερμοκρασία ασφαλικών στρώσεων) και τις συνθήκες φόρτισης. Οι ασφαλικές στρώσεις κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες φόρτισης και θερμοκρασίας μπορούν να παραλάβουν ένα συγκεκριμένο αριθμό φορτίων πριν ρηγματωθούν.

Αρκετά νομογραφήματα και εξισώσεις έχουν αναπτυχθεί για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς σε κόπωση των ασφατομιγμάτων. Καθένα διαφέρει σε πολυπλοκότητα, δηλ. στον αριθμό των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται για το χαρακτηρισμό του μίγματος και της ασφάλτου, στις συνθήκες διενέργειας της δοκιμής κλπ., και στο είδος και αριθμό μιγμάτων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη της μεθόδου από πειραματικά δεδομένα.

Για την ανάπτυξη των νομογραφημάτων της παρούσης μεθοδολογίας η εξίσωση κόπωσης που χρησιμοποιήθηκε είναι αυτή που προτείνεται από τους Valkering και Stapel¹⁰. Η εξίσωση αναπτύχθηκε μετά από πολύχρονους εργαστηριακούς ελέγχους χρησιμοποιώντας διάφορες συνθέσεις ασφατομιγμάτων, συμπεριλαμβανομένου του ασφαλικού σκυροδέματος. Η εξίσωση που χρησιμοποιήθηκε είναι:

$$\epsilon_{\text{εφελκ.}} = (0,856V_{\text{ασφλ.}} + 1,08)(S_{\text{μιγμ.}})^{-0,36} \times (N_{\text{κοπ.}})^{-0,2} \quad (5)$$

όπου	$\epsilon_{\text{εφελκ.}}$	=	η εφελκυστική ανηγμένη παραμόρφωση για να επέλθει κόπωση μετά από N αριθμό φορτίων ΙΤΑ
	$V_{\text{ασφλ.}}$	=	ο όγκος της ασφάλτου στο μίγμα, %
	$S_{\text{μιγμ.}}$	=	το μέτρο δυσκαμψίας του ασφατομίγματος, MPa
	$N_{\text{κοπ.}}$	=	ο αθροιστικός αριθμός των ΙΤΑ για να επέλθει κόπωση

3.6 Αντιπροσωπευτικά ασφαλτομίγματα

Τα αντιπροσωπευτικά ασφαλτομίγματα που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση ήταν το ασφαλτικό σκυρόδεμα τάπητα κυκλοφορίας της ΠΤΠ Α265, το ασφαλτικό σκυρόδεμα συνδετικής στρώσης της ΠΤΠ Α265 Συνδ./Ισοπ. και το ασφαλτικό σκυρόδεμα βάσης της ΠΤΠ Α260, τα οποία χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα. Τα βασικά χαρακτηριστικά αυτών δίνονται στον Πίνακα 1.

Εξετάστηκαν επίσης και άλλα μίγματα αλλά μόνο για την κατασκευή της αντιολισθηρής στρώσης. Τα μίγματα αυτά ήταν: πυκνό ασφαλτικό σκυρόδεμα για αντιολισθηρή στρώση, πορώδης τάπητας, Slurry seal (micro surfacing) και Stone Mastic Asphalt (SMA). Τα βασικά χαρακτηριστικά αυτών δίνονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 1 Χαρακτηριστικά τυπικών πυκνών ασφαλτομιγμάτων

Τύπος ασφαλτομίγματος	Χαρακτηριστικά μίγματος			
	Ποσοστό ασφάλτου (%)	Ποσοστό κενών (%)	Όγκος ασφάλτου στο μίγμα (%)	Όγκος αδρανών στο μίγμα (%)
A265 Τάπητα κυκλοφορίας	5,3	4	12,5	83,5
A265 Συνδετικής στρώσης	4,6	6	10,6	83,4
A260 Ασφαλτικής βάσης	4,0	8	9,0	83,0

Πίνακας 2 Χαρακτηριστικά θερμών ασφαλτομιγμάτων για αντιολισθηρή στρώση

Τύπος ασφαλτομίγματος	Χαρακτηριστικά μίγματος			
	Ποσοστό ασφάλτου (%)	Ποσοστό κενών (%)	Όγκος ασφάλτου στο μίγμα (%)	Όγκος αδρανών στο μίγμα (%)
Ασφ/κό σκυρ/μα αντιολ. στρώσης	5,3	4	12,5	83,5
Πορώδης τάπητας	4,5	20	9,2	70,8
Stone Mastic Asphalt	7,0	3,5	16	80,5

3.7 Τύποι ασφάλτων

Οι ασφαλτοι που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση ήταν όλες κοινές ασφαλτοι: 40/50pen, 50/70pen και 80/100pen. Ως χαρακτηριστικές ιδιότητες ελήφθησαν: για την ασφαλτο 50/70: διεισδυτικότητα 65pen και Μάλθωση 46,5 °C, για την ασφαλτο 40/50: διεισδυτικότητα 45pen, Μάλθωση 52 °C και για την ασφαλτο 80/100: διεισδυτικότητα 90pen και Μάλθωση 43 °C.

3.8 Άλλα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν

Επίπεδο εμπιστοσύνης	:	85%
Μέση ταχύτητα οχημάτων	:	50 km/h
Θερμοκρασία ασφαλτομιγμάτων	:	Μεταβαλλόμενη (βλ. παράγραφο 3.4)
Λόγος Poisson	:	0,35 για όλες τις στρώσεις
Ισοδύναμος τυπικός άξονας		
Φορτίο άξονα	:	80 kN
Αριθμός τροχών	:	2 δίδυμοι εκατέρωθεν
Ακτίνα επιφάνειας επαφής κάθε τροχού	:	105 mm

4. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Τα βήματα για τη μεθοδολογία διαστασιολόγησης οδοστρωμάτων που αναπτύχθηκε απεικονίζονται σχηματικά στο λογικό διάγραμμα ροής του Σχήματος 2 και είναι τα εξής:

1. Καθορισμός των σχεδιαστικών παραμέτρων
 - (α) Κυκλοφοριακός φόρτος (ΙΤΑ)
 - (β) CBR του υπεδάφους
 - (γ) Μέση ετήσια θερμοκρασία αέρος (ΜΕΘΑ)
2. Καθορισμός εξυγιαντικής στρώσης
(Χρήση Πίνακα 4)
3. Καθορισμός πάχους βάσης/υπόβασης
(Χρήση Πίνακα 4)
4. Καθορισμός ολικού πάχους ασφαλτικών στρώσεων για τις συγκεκριμένες συνθήκες του έργου (βάσει των σχεδιαστικών παραμέτρων)
(Χρήση σχετικών νομογραφημάτων)
5. Επιλογή της κατάλληλης αντιολισθηρής στρώσης
(Βλέπε παρ. 11)
6. Καθορισμός πάχους της κάθε ασφαλτικής στρώσης
(Χρήση Πινάκων 4 και 7)
7. Επιλογή σταδιακής ή μη κατασκευής
(Βλέπε παρ. 13)
Αν ναι, διαστασιολόγηση για σταδιακή κατασκευή
8. Οικονομική ανάλυση των διάφορων λύσεων
(Βλέπε παρ. 14)
9. Επιλογή τελικής λύσης σχεδιασμού

5. ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΣ ΦΟΡΤΟΣ

Ο κυκλοφοριακός φόρτος θα πρέπει να εκφράζεται συναρτήσει του αριθμού των Ισοδυνάμων Τυπικών Αξόνων (ΙΤΑ) και όχι συναρτήσει του αριθμού των οχημάτων. Επιπροσθέτως, ο κυκλοφοριακός φόρτος σε ΙΤΑ θα πρέπει να υπολογίζεται για ολόκληρη τη διάρκεια σχεδιασμού του οδοστρώματος (συνολικός ή αθροιστικός αριθμός ΙΤΑ) και θα πρέπει να αναφέρεται στη λωρίδα μελέτης ανά μία κατεύθυνση κυκλοφορίας.

Για τον υπολογισμό του συνολικού αριθμού των ΙΤΑ ($\Sigma(\text{ΙΤΑ})$) ανά κατεύθυνση στη λωρίδα μελέτης καθ' όλη τη διάρκεια σχεδιασμού του οδοστρώματος χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$\Sigma(\text{ΙΤΑ}) = (\text{ΙΤΑ}_{\text{ημερ.}}) \times \text{ΠΚΛΜ} \times 365 \times \text{ΑΣ} \quad (6)$$

- όπου $\text{ΙΤΑ}_{\text{ημερ.}}$ = ημερήσιος αριθμός ισοδυνάμων τυπικών αξόνων ανά κατεύθυνση κατά το έτος έναρξης λειτουργίας της οδού
 ΠΚΛΜ = ποσοστό κυκλοφορίας στη λωρίδα μελέτης
 ΑΣ = αθροιστικός συντελεστής ($=[(1+r)^n - 1]/r$)
 r = μέση ετήσια αύξηση της κυκλοφορίας (π.χ. 0,03 για 3% μέση ετήσια αύξηση)
 n = διάρκεια σχεδιασμού, σε έτη

α) Καθορισμός του $\text{ΙΤΑ}_{\text{ημερ.}}$

Για τον καθορισμό των ημερήσιων ισοδυνάμων αξόνων ανά κατεύθυνση, θα πρέπει να είναι γνωστά τα παρακάτω:

- α) ο αριθμός των εμπορικών οχημάτων ανά ημέρα και ανά κατεύθυνση
- β) η ανάλυση των εμπορικών οχημάτων σε πέντε κατηγορίες : Λεωφορεία, Ημιφορτηγά, Φορτηγά, Βαριά φορτηγά και Λοιπά οχήματα, κατά το έτος έναρξης λειτουργίας της οδού, και
- γ) οι συντελεστές ισοδυναμίας για κάθε κατηγορία οχήματος.

Σαν εμπορικό όχημα (μικτό βάρος >1,5 ton) ορίζεται κάθε όχημα εκτός από το επιβατικό αυτοκίνητο. Οι κατηγορίες των εμπορικών οχημάτων, όπως προαναφέρθηκαν, περιλαμβάνουν τους εξής τύπους οχημάτων:

Λεωφορεία :	όλα τα λεωφορεία, υπεραστικά/αστικά και τουρισμού
Ημιφορτηγά (ή ελαφριά φορτηγά) :	όλα τα οχήματα με δύο άξονες
Φορτηγά :	όλα τα οχήματα με τρεις σταθερούς άξονες ή τριαξονικά συρόμενα
Βαριά φορτηγά:	όλα τα οχήματα με τέσσερις ή περισσότερους σταθερούς άξονες ή συρόμενα με τέσσερις ή περισσότερους άξονες
Λοιπά οχήματα:	παντός είδους οχήματα που δεν συμπεριλαμβάνονται στις παραπάνω κατηγορίες, όπως γεωργικά, χωματουργικά μηχανήματα κλπ.

Για τη διαστασιολόγηση των οδοστρωμάτων της Εγνατίας οδού δημιουργήθηκε ένας πίνακας ο οποίος περιέχει το συνολικό ημερήσιο αριθμό (και στις δύο κατευθύνσεις) των εμπορικών οχημάτων σε κάθε τμήμα της οδού κατά το έτος έναρξης λειτουργίας (έτος 2000), βλέπε Παράρτημα Γ, Πίνακας Γ-1, στήλη 11. Ο πίνακας αυτός προέκυψε από δεδομένα της πρόσφατης κυκλοφοριακής μελέτης που εκπονήθηκε για την ΕΟΑΕ¹¹. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα στοιχεία του Πίνακα Γ-1 καθώς και όλα τα υπόλοιπα κυκλοφοριακά στοιχεία που θα αναφερθούν στις επόμενες παραγράφους αναφέρονται στο σενάριο μέσης ανάπτυξης ΑΕΠ (δηλ. ετήσια αύξηση ΑΕΠ 3%), με παραγόμενη κυκλοφορία. Η επιλογή αυτή έγινε λόγω του γεγονότος ότι το σενάριο αυτό θεωρήθηκε ως το πλέον πιθανό να συμβεί τα επόμενα χρόνια.

Από ανάλυση ευαισθησίας που έγινε βρέθηκε ότι ακόμη και αν ένα από τα άλλα δύο σενάρια επαληθευθεί (δηλ. μέση ετήσια αύξηση ΑΕΠ 2,5% ή 3,5%) δεν πρόκειται να αλλάξει αισθητά το πάχος του οδοστρώματος που υπολογίστηκε βάσει των κυκλοφοριακών στοιχείων που προκύπτουν από το σενάριο μέσης ανάπτυξης ΑΕΠ. Ειδικότερα, η μέγιστη μείωση του ημερήσιου αριθμού των ΙΤΑ που πρόκειται να επέλθει, εάν επαληθευθεί το σενάριο ανάπτυξης ΑΕΠ κατά 2,5%, είναι -5,64%. Το ποσοστό αυτό αναμένεται να επιφέρει μέγιστη μείωση του πάχους του οδοστρώματος (ασφαλτικές στρώσεις) της τάξεως του 0,9mm.

Αντίστοιχα, η μέγιστη αύξηση του ημερήσιου αριθμού των ΙΤΑ που πρόκειται να επέλθει, εάν επαληθευθεί το σενάριο 3,5% ετήσια αύξηση του ΑΕΠ, είναι +7,97%. Στην περίπτωση αυτή η επερχόμενη μέγιστη αύξηση του πάχους του οδοστρώματος (ασφαλτικές στρώσεις) θα είναι της τάξης του 1,25mm.

Τέλος, θα πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι ως αντιπροσωπευτική αναλογία εμπορικών/επιβατικών οχημάτων ελήφθη αυτή κατά το έτος 2025.

Επιπροσθέτως, δημιουργήθηκε και ένας πίνακας που δίνει τη σύνθεση των εμπορικών οχημάτων, σε ποσοστά, ανά κατηγορία οχήματος για κάθε τμήμα της Εγνατίας οδού, Παράρτημα Γ, Πίνακας Γ-2, στήλες (5) έως (9). Τα ποσοστά ανά κατηγορία οχήματος που περιέχονται στον Πίνακα Γ-2 προέκυψαν κατ' εκτίμηση από στοιχεία της εργασίας των Νικολαΐδη και Μίντση¹². Ο μελετητής μπορεί να χρησιμοποιήσει διαφορετική σύνθεση

κυκλοφορίας εάν αποδειχθεί (από αναλυτικές κυκλοφοριακές μελέτες) ότι η εκτιμηθείσα σύνθεση δεν είναι αντιπροσωπευτική της περιοχής.

Από τους Πίνακες Γ-1 και Γ-2 προκύπτει ο Πίνακας Γ-3 στον οποίο δίνεται ο συνολικός ημερήσιος αριθμός εμπορικών οχημάτων (στήλη 5), ο ημερήσιος αριθμός εμπορικών οχημάτων ανά κατηγορία (στήλες 6 έως 10) και ο αριθμός ημερήσιων ΙΤΑ (στήλη 11) (όλα τα στοιχεία ανά κατεύθυνση κυκλοφορίας).

Για τον καθορισμό των εμπορικών οχημάτων ανά κατεύθυνση έγινε η παραδοχή ότι η κυκλοφορία ισοκατανέμεται σε κάθε κατεύθυνση, δηλ. 50% και 50%. Ο μελετητής μπορεί να χρησιμοποιήσει διαφορετικά ποσοστά κατανομής, αν υπάρχουν διαθέσιμα πιο ακριβή στοιχεία σχετικά με την κυκλοφορία στην περιοχή.

Ο καθορισμός του αριθμού των ημερήσιων ΙΤΑ ($ITA_{\text{ημερ.}}$) ανά κατεύθυνση (Πίνακας Γ-3, στήλη 11) πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της παρακάτω σχέσης:

$$ITA_{\text{ημερ.}} = EO_1 \times \Sigma I_1 + EO_2 \times \Sigma I_2 + EO_3 \times \Sigma I_3 + EO_4 \times \Sigma I_4 + EO_5 \times \Sigma I_5 \quad (7)$$

όπου $EO_1, EO_2, EO_3, EO_4, EO_5,$ = ο αριθμός εμπορικών οχημάτων ανά κατηγορία 1, 2, 3, 4 και 5, αντίστοιχα
 $\Sigma I_1, \Sigma I_2, \Sigma I_3, \Sigma I_4, \Sigma I_5,$ = οι συντελεστές ισοδυναμίας για κάθε κατηγορία οχήματος 1, 2, 3, 4 και 5, αντίστοιχα (Πίνακας 3)

Οι συντελεστές ισοδυναμίας (ή συντελεστές ισοδύναμου καταστροφής) για κάθε κατηγορία οχήματος δίνονται στον Πίνακα 3. Οι συντελεστές αυτοί είναι αυτοί που προτείνονται από την εργασία των Νικολαΐδη και Μίντση¹². Στην εργασία αυτή οι προτεινόμενοι συντελεστές ισοδυναμίας για την Ελλάδα προέκυψαν από αντίστοιχους που προτείνονται και χρησιμοποιούνται στη Βρετανική μεθοδολογία διαστασιολόγησης¹³.

Ο συντελεστής ισοδύναμου καταστροφής αντιπροσωπεύει τη φθορά του οδοστρώματος από μια κατηγορία οχήματος σε σχέση με τη φθορά που προκαλείται από τον τυπικό άξονα. Έτσι, η φθορά που προκαλείται π.χ. από ένα λεωφορείο είναι 1,3 φορές μεγαλύτερη από τη φθορά που προκαλείται από έναν τυπικό άξονα. Η φθορά που προκαλείται από ένα επιβατικό αυτοκίνητο είναι αμελητέα και θεωρείται μηδενική.

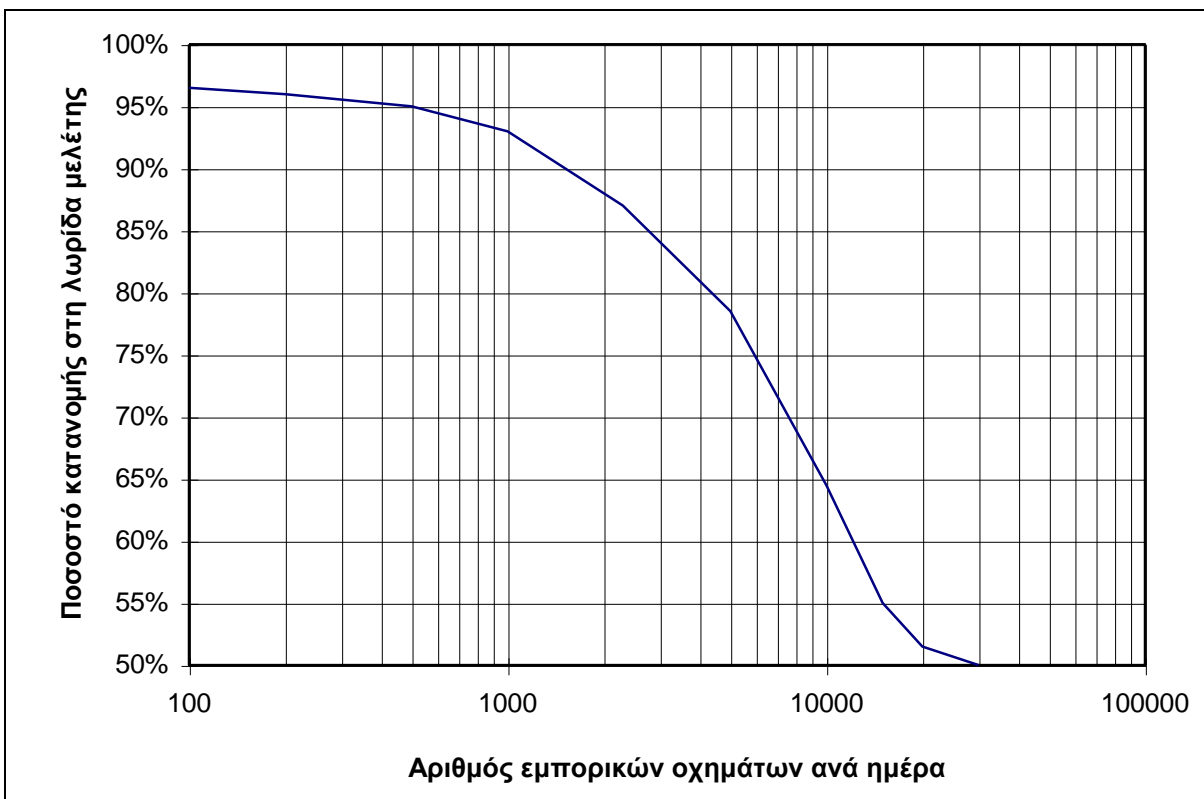
Πίνακας 3 Συντελεστές ισοδυναμίας οχημάτων με ισοδύναμο τυπικό άξονα

Κατηγορία οχήματος		Συντελεστής ισοδυναμίας (ΣΙ)
1	Λεωφορεία	1,3
2	Ημιφορτηγά (ελαφριά φορτηγά)	0,34
3	Φορτηγά	1,5
4	Βαριά φορτηγά	3,025
5	Λοιπά οχήματα	0,026
6	Επιβατικά αυτοκίνητα	0,0

β) Προσδιορισμός του ΠΚΛΜ

Στις περιπτώσεις που η οδός διαθέτει δύο λωρίδες ανά κατεύθυνση, όπως η Εγνατία οδός στα περισσότερα τμήματά της, δεν είναι ρεαλιστική η παραδοχή ότι όλη η κυκλοφορία θα διέλθει από μόνο μια λωρίδα. Τα περισσότερα εμπορικά οχήματα όμως θα χρησιμοποιήσουν τη δεξιά λωρίδα παρά την αριστερή που είναι ταχείας κυκλοφορίας. Η κατανομή της κυκλοφορίας ανά λωρίδα εξαρτάται κυρίως από τον όγκο της κυκλοφορίας και από τον αριθμό των λωρίδων. Άλλοι παράγοντες που μπορούν επίσης να επηρεάσουν την κατανομή της κυκλοφορίας στις λωρίδες είναι το είδος και η κατάταξη της οδού (αστική ή επαρχιακή, πρωτεύουσα ή δευτερεύουσα, αυτοκινητόδρομος, κλπ.).

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η Εγνατία είναι ένας 'ομογενής' τύπος οδού (αυτοκινητόδρομος), και επομένως δεν ισχύουν οι παράγοντες που αναφέρθηκαν στην τελευταία πρόταση, το ποσοστό της κυκλοφορίας στη λωρίδα μελέτης (ΠΚΛΜ), για τα τμήματα με δύο ή περισσότερες λωρίδες κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση, προσδιορίζεται από το Σχήμα 3.



Σχήμα 3 Καθορισμός ποσοστού εμπορικών οχημάτων στη λωρίδα μελέτης¹³

γ) Καθορισμός μέσης ετήσιας αύξησης κυκλοφορίας

Ο κυκλοφοριακός φόρτος με την πάροδο του χρόνου από την έναρξη λειτουργίας της οδού θα αυξηθεί, ή θα μειωθεί, ή θα παραμείνει σταθερός μέχρι το τέλος της διάρκειας σχεδιασμού που επιλέγεται. Είναι σημαντικό, αν και πολύ δύσκολο, να εκτιμηθεί όσο το δυνατόν ακριβέστερα η μέση ετήσια αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου. Απόκλιση από το εκτιμώμενο ποσοστό μέσης ετήσιας αύξησης θα έχει σαν αποτέλεσμα την υπό- ή υπέρ-διαστασιολόγηση του οδοστρώματος.

Για τη διαστασιολόγηση του οδοστρώματος της Εγνατίας οδού, αναπτύχθηκε ο Πίνακας Γ-4, Παράρτημα Γ, στον οποίο περιέχεται η μέση ετήσια αύξηση της κυκλοφορίας για κάθε τμήμα της Εγνατίας (στήλη 8). Ο μελετητής μπορεί να χρησιμοποιήσει τις τιμές αυτές για τη διαστασιολόγηση ενός οδοστρώματος για 20 ή 30 χρόνια. Οι τιμές αυτές θα

μπορούσαν επίσης να χρησιμοποιηθούν και για το σχεδιασμό του οδοστρώματος για 40 χρόνια, ελλείψει πιο μακροπρόθεσμων προβλέψεων.

Συνοπτικά η διαδικασία καθορισμού του αθροιστικού αριθμού ΙΤΑ ακολουθεί τα εξής βήματα:

- α) Χρήση της εξίσωσης 6
- β) Για τον καθορισμό του $ITA_{\text{ημερ.}}$ χρήση τιμών Πίνακα Γ-3, στήλη 11
Αν υπάρχουν περισσότερο αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα για την κατανομή των εμπορικών οχημάτων και γνωρίζοντας το συνολικό αριθμό εμπορικών οχημάτων ανά ημέρα, ο υπολογισμός των $ITA_{\text{ημερ.}}$ γίνεται από την εξίσωση 7 χρησιμοποιώντας τους συντελεστές ισοδυναμίας του Πίνακα 3
- γ) Για τον καθορισμό του ποσοστού κυκλοφορίας στη λωρίδα μελέτης, χρήση του Σχήματος 3
- δ) Για τον καθορισμό της ετήσιας αύξησης της κυκλοφορίας χρήση Πίνακα Γ-4, στήλη 8
- ε) Η διάρκεια σχεδιασμού, σε έτη, καθορίζεται από το μελετητή

5.1 Παραδείγματα υπολογισμού αθροιστικού αριθμού ΙΤΑ

Παράδειγμα 1

Να υπολογιστεί ο αθροιστικός αριθμός ΙΤΑ στο τμήμα Λαδοχώρι-Νεοχώρι για διάρκεια σχεδιασμού 30 χρόνια. Δεν υπάρχουν άλλα διαθέσιμα στοιχεία εκτός από αυτά που δίνονται στα Παραρτήματα της μεθοδολογίας διαστασιολόγησης.

Λύση

Για τον υπολογισμό των ΙΤΑ θα χρησιμοποιηθεί η εξίσωση 6.

Από τον Πίνακα Γ-3, στήλη 11, ο ημερήσιος αριθμός ΙΤΑ ανά κατεύθυνση ($ITA_{\text{ημερ.}}$) στο έτος έναρξης λειτουργίας είναι 300 ΙΤΑ.

Ο αριθμός εμπορικών οχημάτων ανά ημέρα, ανά κατεύθυνση είναι 392, Πίνακας Γ-3, στήλη 5.

Έτσι, από το Σχήμα 3, το ποσοστό της κυκλοφορίας στη λωρίδα μελέτης (ΠΚΛΜ) για 392 εμπορικά οχήματα ανά ημέρα, ανά κατεύθυνση, είναι 95,5%.

Από τον Πίνακα Γ-4, η μέση ετήσια αύξηση της κυκλοφορίας στο τμήμα αυτό είναι 4,3%.

Έτσι, ο αθροιστικός συντελεστής (ΑΣ) για περίοδο σχεδιασμού 30 χρόνια είναι:

$$ΑΣ = [(1+0,043)^{30}-1]/0,043 = 59,0$$

Από την εξίσωση 6 ο αθροιστικός αριθμός των ΙΤΑ ($\Sigma(ITA)$) κατά τη διάρκεια σχεδιασμού των 30 ετών θα είναι:

$$\Sigma(ITA) = 300 \times 0,955 \times 365 \times 59 = 6,17 \times 10^6 \text{ ΙΤΑ, ή } \mathbf{6,2 \times 10^6 \text{ ΙΤΑ}}$$

Παράδειγμα 2

Να υπολογιστεί ο αθροιστικός αριθμός ΙΤΑ στο τμήμα Διαβατά-Ευκαρπία για διάρκεια σχεδιασμού 20 ετών, όταν είναι γνωστό (κατά παραδοχή) ότι η ημερήσια κυκλοφορία στο έτος έναρξης λειτουργίας της οδού θα είναι : 6000 επιβατικά αυτοκίνητα και 3600 εμπορικά οχήματα. Η κατανομή των εμπορικών οχημάτων σε κατηγορίες δεν είναι γνωστή. Είναι όμως γνωστό ότι προς ανατολάς κινείται το 55% της συνολικής κυκλοφορίας. Σύμφωνα με τις προβλέψεις, η μέση ετήσια αύξηση της κυκλοφορίας θα είναι 3,2%.

Λύση

Τα ΙΤΑ_{ημερ.} υπολογίζονται από την εξίσωση 7.

Δεδομένου ότι δεν είναι γνωστή η κατανομή της κυκλοφορίας των εμπορικών οχημάτων, θα χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα που δίνονται στα Παραρτήματα της μεθοδολογίας διαστασιολόγησης.

Από τον Πίνακα Γ-2, στήλες 5 έως 9, με την παραδοχή ότι η κατανομή των εμπορικών οχημάτων ισχύει: από τα 31,2% εμπορικά οχήματα, 2% είναι λεωφορεία, 11% ημιφορτηγά, 12,7% φορτηγά, 5% βαριά φορτηγά και 0,5% λοιπά οχήματα.

Το ποσοστό των εμπορικών οχημάτων στο σύνολο της κυκλοφορίας, σύμφωνα με τα στοιχεία που δόθηκαν είναι $3600/9600 = 37,5\%$. Η προαναφερθείσα κατανομή της κυκλοφορίας αναπροσαρμόζεται για 37,5% εμπορικά οχήματα. Έτσι, η κατανομή των εμπορικών οχημάτων διαμορφώνεται σε: 2,4% λεωφορεία, 13,2% ημιφορτηγά, 15,3% φορτηγά, 6% βαριά φορτηγά και 0,6% λοιπά οχήματα.

Η κίνηση προς ανατολάς, η πιο βεβαρυμένη, συγκεντρώνει το 55% της συνολικής κυκλοφορίας, δηλ. 1980 οχήματα. Τα εμπορικά οχήματα σ' αυτή την κατεύθυνση θα είναι:

$$\begin{aligned} 1980 \times (2,4/37,5) &= 127 \text{ λεωφορεία,} \\ 1980 \times (13,2/37,5) &= 697 \text{ ημιφορτηγά,} \\ 1980 \times (15,3/37,5) &= 808 \text{ φορτηγά,} \\ 1980 \times (6/37,5) &= 316 \text{ βαριά φορτηγά και} \\ 1980 \times (0,6/37,5) &= 32 \text{ λοιπά οχήματα.} \end{aligned}$$

Έτσι, από την εξίσωση 7 με τις παραπάνω τιμές και τους ισοδύναμους συντελεστές του Πίνακα 3, οι ΙΤΑ_{ημερ.} προκύπτουν:

$$\text{ΙΤΑ}_{\text{ημερ.}} = 127 \times 1,3 + 697 \times 0,34 + 808 \times 1,5 + 316 \times 3,025 + 32 \times 0,026 = 2571 \text{ ΙΤΑ}$$

Από το Σχήμα 3 και όταν ο αριθμός εμπορικών οχημάτων ανά κατεύθυνση είναι 1980, το ποσοστό της κυκλοφορίας στη λωρίδα μελέτης (ΠΚΛΜ) είναι 88%.

Ο αθροιστικός συντελεστής (ΑΣ) για διάρκεια σχεδιασμού 20 χρόνια και 3,0% μέση ετήσια αύξηση είναι: $[(1+0,03)^{20} - 1]/0,03 = 26,87$

Έτσι, ο αθροιστικός αριθμός ΙΤΑ είναι:

$$\Sigma(\text{ΙΤΑ}) = 2571 \times 0,88 \times 365 \times 26,87 = 2,22 \times 10^7 \text{ ΙΤΑ, ή } \mathbf{2,2 \times 10^7 \text{ ΙΤΑ}}$$

6. ΥΠΕΔΑΦΟΣ

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

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

Εξαιρέση αποτελεί μόνο η περίπτωση μη διαταραγμένου εδαφικού υλικού φυσικώς σιμεντωμένου, σε όρυγμα με χαμηλό υδροφόρο ορίζοντα (>1m από την επιφάνεια), οπότε λαμβάνεται το CBR που αντιστοιχεί στο 95% της μέγιστης ξηρής πυκνότητας που καθορίζεται από την τροποποιημένη μέθοδο Proctor.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η συμπύκνωση 90% που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της σχεδιαστικής τιμής CBR δεν πρέπει να συγχέεται με τις απαιτήσεις για συμπύκνωση του υπεδάφους κατά την κατασκευή. Αυτή θα πρέπει να είναι πάντα μεγαλύτερη ή ίση της τιμής που καθορίζεται για συμπύκνωση επί του έργου (δηλ. 95% ή οποιαδήποτε άλλη τιμή της μέγιστης ξηρής πυκνότητας που καθορίζεται από τη δοκιμή Proctor).

Η σχεδιαστική τιμή CBR του υπεδάφους σε όλες τις περιπτώσεις (όρυγμα ή επίχωμα) θα πρέπει να καθορίζεται από το χειρότερο υλικό που βρίσκεται μέσα σε βάθος 600mm από τη σκάφη. Διευκρινίζεται ότι οι τιμές CBR του υπεδάφους (φέρουσα ικανότητα υπεδάφους) που δίνονται στον Πίνακα 4.5.1 του ΟΣΜΕΟ μπορούν να χρησιμοποιούνται μόνο σαν ενδεικτικές και σε στάδιο προμελέτης. Ο μελετητής, για την τελική αναλυτική διαστασιολόγηση, πρέπει να χρησιμοποιεί τις εργαστηριακές τιμές CBR από αντιπροσωπευτικά δείγματα των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή. Σε περίπτωση ανομοιομορφίας των υλικών, η τιμή που προκύπτει για το χειρότερο υλικό είναι αυτή που πρέπει να χρησιμοποιείται για τους περαιτέρω υπολογισμούς. Η παράγραφος αυτή πρέπει να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις για εξυγιαντική στρώση, παράγραφος 8.

Έτσι, για ένα οδόστρωμα που θα κατασκευαστεί σε όρυγμα όπου το υπέδαφος σε βάθος 600mm από τη σκάφη αποτελείται από υλικά E2 και E1, ο μελετητής, σε στάδιο προμελέτης, μπορεί να χρησιμοποιήσει τη χαμηλότερη τιμή CBR για κάθε υλικό, που δίνεται στον Πίνακα 4.5.2, δηλ. >5% (έστω 5,1%) και >3% (έστω 3,1%), αντίστοιχα, και η σχεδιαστική τιμή CBR θα είναι 3,1%.

Στην τελική αναλυτική διαστασιολόγηση ο μελετητής πρέπει να χρησιμοποιεί πάντα τις εργαστηριακές τιμές CBR και η σχεδιαστική τιμή CBR θα είναι η χαμηλότερη εκ των δύο υλικών που εξετάζονται, δηλ. αν το CBR του υλικού E2 ήταν 7% και του υλικού E1 ήταν 3,5%, η σχεδιαστική τιμή CBR θα είναι 3,5%. Στην περίπτωση αυτή, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της μεθοδολογίας, απαιτείται και εξυγιαντική στρώση, βλέπε παράγραφο 8.

Για οδόστρωμα που θα κατασκευαστεί σε γαιώδες ή βραχώδες επίχωμα, έχοντας υπόψη ότι οι ανώτερες στρώσεις του επιχώματος αποτελούν τη στρώση έδρασης, ισχύουν όσα αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους.

Εξαιρέση αποτελεί η κατασκευή οδοστρώματος σε βραχώδες όρυγμα. Ο μελετητής μπορεί να επιλέξει τιμές CBR υπεδάφους μεταξύ 15% και 20%, ανάλογα με την κατάσταση του βράχου και το υλικό της ισοπεδωτικής στρώσης. Για υγιή βράχο και καλής ποιότητας ισοπεδωτική στρώση χρησιμοποιείται η τιμή CBR = 20%. Για σαθρό βράχο με καλής ποιότητας ισοπεδωτική στρώση χρησιμοποιείται η τιμή CBR = 15%. Ωστόσο, οι περιπτώσεις αυτές μπορεί να μην ανακύψουν συχνά, αφού το τελικό πάχος του οδοστρώματος θα υπαγορεύεται πιθανότατα από τη διαστασιολόγηση των γειτονικών επιχωμάτων.

Όταν χρησιμοποιείται στραγγιστική στρώση, η σχεδιαστική τιμή CBR πρέπει πάντα να είναι αυτή του υλικού που βρίσκεται κάτω από τη στραγγιστική στρώση. Μ' άλλα λόγια δεν λαμβάνεται υπόψη η χρήση κοκκώδους υλικού στη στραγγιστική στρώση. Το ίδιο ισχύει και όταν χρησιμοποιείται αντιπαγετική στρώση.

Υδροφόρος ορίζοντας και διατήρηση σταθερής υγρασίας του υπεδάφους

Ο υδροφόρος ορίζοντας πρέπει να διατηρείται τουλάχιστον 50cm κάτω από τη στρώση έδρασης, όπως προκύπτει από την παράγραφο 3.8.3.2 του ΟΣΜΕΟ.

Δοκιμές επί του έργου κατά την κατασκευή

Οι δοκιμές επί του έργου κατά την κατασκευή σκοπό έχουν τον έλεγχο της εφαρμογής της μελέτης κατά την κατασκευή. Δεν έχουν σκοπό την τροποποίηση της μελέτης. Οι βασικότερες δοκιμές επί του έργου είναι: α) καθορισμός συμπύκνωσης (με τη μέθοδο κώνου άμμου ή με τη βοήθεια πυρηνικών συσκευών μέτρησης συμπύκνωσης) και β) καθορισμός του ποσοστού υγρασίας. Βλέπε επίσης και σχετικά άρθρα της ΤΣΥ.

Συνιστάται η διεξαγωγή της δοκιμής Proctor κάθε φορά που παρατηρείται σημαντική αλλαγή στα υλικά.

Επί του έργου δοκιμή CBR μπορεί να διεξαχθεί αλλά πάντως η σχεδιαστική τιμή του CBR προκύπτει από τις αντίστοιχες εργαστηριακές δοκιμές CBR, όπως προαναφέρθηκε.

7. ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΟΣ (ΜΕΘΑ)

Η θερμοκρασία αέρος επηρεάζει το μέτρο δυσκαμψίας των ασφαλτικών στρώσεων. Για τις ανάγκες της μεθοδολογίας είναι αναγκαίο να προσδιοριστεί μόνο η μέση ετήσια θερμοκρασία αέρος έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί το κατάλληλο νομογράφημα καθορισμού του πάχους των ασφαλτικών στρώσεων.

Ο προσδιορισμός της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας αέρος πραγματοποιείται βάσει στατιστικών στοιχείων από τον κοντινότερο στο έργο μετεωρολογικό σταθμό.

Για την ανάπτυξη των νομογραφημάτων διαστασιολόγησης, λήφθηκε υπόψη η μέση ετήσια θερμοκρασία τεσσάρων αντιπροσωπευτικών θέσεων/πόλεων κατά μήκος της Εγνατίας κατά τη δεκαετία 1981-1991. Οι θέσεις αυτές ήταν:

Ιωάννινα, με ΜΕΘΑ	= 14,4°C
Κοζάνη, με ΜΕΘΑ	= 13,0°C
Θεσσαλονίκη, με ΜΕΘΑ	= 15,8°C
Αλεξανδρούπολη, με ΜΕΘΑ	= 14,9°C

Εκτιμάται ότι οι παραπάνω θερμοκρασίες καλύπτουν όλο το πιθανό φάσμα θερμοκρασιών που πρόκειται να σημειωθούν σε οποιοδήποτε σημείο της Εγνατίας οδού. Ως εκ τούτου, αναπτύχθηκαν 2 σετ νομογραφημάτων, ένα για 13°C (ελάχιστη θερμοκρασία) και ένα για 16°C (μέγιστη θερμοκρασία).

Ο μελετητής, ανάλογα με τη θέση του έργου, θα πρέπει να εκτιμήσει την αντιπροσωπευτική ΜΕΘΑ της περιοχής και να χρησιμοποιήσει ένα από τα δύο σετ νομογραφημάτων. Σε περίπτωση που προκύψουν ενδιάμεσες θερμοκρασίες, ο μελετητής μπορεί να καθορίσει το πάχος των στρώσεων με γραμμική παρεμβολή, χρησιμοποιώντας ένα τρίτο σετ νομογραφημάτων που περιέχει το σύνολο των σχεδιαστικών καμπύλων, Παράρτημα Α, Σχήματα Α-7 έως Α-9 (μόνο για άσφαλτο 50/70pen).

8. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΕΞΥΓΙΑΝΤΙΚΗΣ ΣΤΡΩΣΗΣ

Εξυγιαντική στρώση απαιτείται όταν το CBR του υπεδάφους είναι μικρότερο από 5%. Το πάχος της εξυγιαντικής στρώσης καθορίζεται από το CBR του υπεδάφους. Η μεθοδολογία

αυτή διακρίνει δύο τιμές CBR και επομένως δύο πάχη εξυγιαντικής στρώσης. Ειδικότερα, όταν:

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

Τα προαναφερόμενα πάχη της εξυγιαντικής στρώσης συνδυάζονται με το πάχος της βάσης και υπόβασης, βλέπε επίσης Πίνακα 4.

Η σχεδιαστική τιμή CBR στις περιπτώσεις που το CBR του υπεδάφους είναι μικρότερο από 3% λαμβάνεται ίση με 3%. Σ' όλες τις άλλες περιπτώσεις, δηλ. CBR μεταξύ 3% και 5%, σαν σχεδιαστική τιμή CBR λαμβάνεται η μετρηθείσα τιμή CBR του υπεδάφους.

Σε περιπτώσεις που απαιτείται εξυγιαντική στρώση και η φυσική υγρασία του εδάφους είναι σχετικά υψηλή κατά την κατασκευή, και ειδικότερα όταν το CBR <2,5%, μπορεί να αποδειχθεί χρήσιμη η τοποθέτηση γεωσυνθετικού υλικού στην εκτιθέμενη επιφάνεια του υπεδάφους, μετά την απομάκρυνση των 600mm ή 300mm.

Αν το έδαφος είναι συνεκτικό, η σταθεροποίηση με ασβέστη είναι μια ακόμη εναλλακτική λύση για τη βελτίωση της φέρουσας ικανότητας του υπεδάφους. Με την προϋπόθεση της καταλληλότητας του εδάφους, η λύση αυτή μπορεί να αποδειχθεί πιο οικονομική σε σύγκριση με την εξυγιαντική στρώση από διαβαθμισμένο υλικό.

Αναφορά στα υλικά της εξυγιαντικής στρώσης γίνεται στο 3^ο Μέρος.

9. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΧΟΥΣ ΥΠΟΒΑΣΗΣ ΚΑΙ ΒΑΣΗΣ

Οι στρώσεις της υπόβασης και της βάσης αντιμετωπίζονται σαν μία στρώση ασύνδετου υλικού. Για πρακτικούς λόγους, το πάχος της στρώσης από ασύνδετα αδρανή επιλέχθηκε να έχει τρεις διακεκριμένες τιμές: 400mm, 300mm και 200mm. Επομένως ο μελετητής πρέπει να επιλέξει ένα από τα τρία προτεινόμενα πάχη για να προχωρήσει στη διαστασιολόγηση των ασφαλτικών στρώσεων.

Ωστόσο, το πάχος της βάσης/υπόβασης συνδέεται με το είδος του υπεδάφους, επομένως η επιλογή πάχους βάσης/υπόβασης γίνεται σύμφωνα με τον Πίνακα 4.

Πίνακας 4 Απαιτούμενα και συνιστώμενα πάχη βάσης/υπόβασης

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

Το κοκκώδες υλικό που χρησιμοποιείται στην κατασκευή της βάσης/υπόβασης πρέπει να είναι σύμφωνο με την προδιαγραφή ΠΤΠ Ο-155 και το άρθρο 67 της ΤΣΥ.

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

Σταθεροποιημένη με τσιμέντο υπόβαση ή/και βάση

Η υπόβαση και η βάση μπορούν να κατασκευαστούν από σταθεροποιημένο με τσιμέντο υλικό, σύμφωνα με το άρθρο 26 και 27 της ΤΣΥ. Στην περίπτωση αυτή η μεθοδολογία συνιστά το πάχος της υπόβασης ή/και βάσης να παραμείνει το ίδιο όπως και του ασύνδετου υλικού.

Όσον αφορά την επίδραση της χρήσης υλικού σταθεροποιημένου με τσιμέντο, αντί ασύνδετου υλικού, στο πάχος των ασφαλτικών στρώσεων, πρέπει να σημειωθούν τα κάτωθι. Θεωρητικά, η βελτίωση της αντοχής των υλικών της βάσης και υπόβασης έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του πάχους των ασφαλτικών στρώσεων.

Παρ' όλα αυτά, λαμβάνοντας υπόψη την αντοχή των σταθεροποιημένων υλικών (θλιπτική αντοχή 7 ημερών 7MPa και 3MPa, αντίστοιχα για τα υλικά που αναφέρονται στο άρθρο 26 και 27 της ΤΣΥ), τα φορτία των εργοταξιακών οχημάτων και μηχανημάτων καθώς και οι θερμοκρασιακές μεταβολές στη σταθεροποιημένη με τσιμέντο στρώση προκαλούν τη ρηγμάτωσή της. Το μέγεθος της ρηγμάτωσης εξαρτάται από τον όγκο της κυκλοφορίας κατά την κατασκευή, τη θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά την κατασκευή και τη δυσκαμψία του υπεδάφους. Τμήματα κατασκευής μεγάλου μήκους με λίγα σημεία εισόδου-εξόδου στο έργο κυκλοφορούνται από σχετικά μεγάλο αριθμό εργοταξιακών οχημάτων. Η κατασκευή κατά τη διάρκεια ημερών με σχετικά υψηλές θερμοκρασίες και σε θέσεις με σχετικά αδύναμο υπέδαφος δρουν αρνητικά ως προς την ανάπτυξη ρηγματώσεων. Ο βαθμός μελλοντικής επιδείνωσης της σταθεροποιημένης με τσιμέντο βάσης/υπόβασης και η συμβολή της στη δομική αντοχή του οδοστρώματος, υπό ευνοϊκότερες συνθήκες φόρτισης λόγω της ολοκλήρωσης της κατασκευής του οδοστρώματος, είναι αβέβαιη και εξαιρετικά δύσκολη να προσομοιωθεί και αναλυθεί.

Διευθύνως, δεν υπάρχει γενική αποδοχή ότι η σταθεροποιημένη με τσιμέντο βάση /υπόβαση αυτής της αντοχής, μπορεί να οδηγήσει σε ικανοποιητική συμπεριφορά του οδοστρώματος, αν μειωθεί το πάχος των ασφαλτικών στρώσεων. Αντίθετα, είναι γενικά αποδεκτό και συνήθης πρακτική, ελλείψει κατάλληλου, καλής ποιότητας υλικού για τη βάση/υπόβαση, να πραγματοποιείται σταθεροποίηση με τσιμέντο ώστε να χρησιμοποιείται και το οριακό ή ακατάλληλο διαθέσιμο υλικό. Παρ' όλα αυτά, σε διάφορες χώρες διεξάγεται σχετική έρευνα για το αν η χρήση υλικού σταθεροποιημένου με τσιμέντο ή με μίγμα τσιμέντου και ασβέστη, με θλιπτική αντοχή μέχρι 7MPa, μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των ασφαλτικών στρώσεων. Η έρευνα αυτή θα πρέπει να επαληθευθεί και με δοκιμαστικά τμήματα δρόμων.

Έχοντας υπόψη τα παραπάνω καθώς επίσης και ότι:

- α) υπάρχει μικρή σχετικά εμπειρία στην Ελλάδα,
- β) οι επεμβάσεις συντήρησης στην Εγνατία οδό, δεδομένου ότι θα είναι κύριος αυτοκινητόδρομος, πρέπει να είναι όσο το δυνατόν λιγότερο συχνές,
- γ) δεν υπάρχει έλλειψη καλού κοκκώδους υλικού για την κατασκευή της βάσης/υπόβασης κοντά στα περισσότερα τμήματα που θα κατασκευαστούν,

- δ) η σταθεροποίηση με τσιμέντο έχει μεγαλύτερο κόστος, ιδιαίτερα όταν δεν προβλέπεται μείωση του πάχους των ασφαλτικών στρώσεων,
- ε) θα απαιτηθεί επένδυση κεφαλαίου από τους κατασκευαστές για την απόκτηση νέου εξοπλισμού και για την εκπαίδευση του προσωπικού στη διάστρωση τέτοιων μιγμάτων, η μεθοδολογία συστήνει όπως, εφ' όσον χρησιμοποιηθεί υλικό σταθεροποιημένο με τσιμέντο, σύμφωνα με τα άρθρα 26 και 27, να αντιμετωπίζεται ως υποκατάστατο του ασύνδετου αδρανούς υλικού της βάσης/υπόβασης χωρίς μείωση του πάχους των ασφαλτικών στρώσεων. Η πιθανώς καλύτερη συμπεριφορά του οδοστρώματος θα συμβάλλει στην επιμήκυνση της διάρκειας ζωής του.

10. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΧΟΥΣ ΑΣΦΑΛΤΙΚΩΝ ΣΤΡΩΣΕΩΝ

Ο καθορισμός του πάχους των ασφαλτικών στρώσεων πραγματοποιείται με τη χρήση νομογραφημάτων που περιέχουν σχεδιαστικές καμπύλες σε διαφορετικές τιμές CBR, Σχήματα A-1 έως A-15, Παράρτημα Α.

Περιγραφή των σχεδιαστικών καμπύλων

Δύο βασικά σετ νομογραφημάτων έχουν αναπτυχθεί: ένα για μέση ετήσια θερμοκρασία αέρος (ΜΕΘΑ) 13°C, Σχήματα A-1 έως A-3, και ένα για ΜΕΘΑ 16°C, Σχήματα A-4 έως A-6. Κάθε σετ περιέχει νομογραφήματα για τρία διαφορετικά πάχη βάσης/υπόβασης, 400mm, 300mm και 200mm.

Ο καθορισμός του πάχους για θερμοκρασίες εκτός των 13°C και 16°C πραγματοποιείται με γραμμική παρεμβολή. Για τη διευκόλυνση της παρεμβολής παρατίθενται και τρία πρόσθετα συγκεντρωτικά νομογραφήματα με τις σχεδιαστικές καμπύλες των 13°C και 16°C, Σχήματα A-7 έως A-9.

Όλες οι σχεδιαστικές καμπύλες ισχύουν για πυκνό ασφαλτικό σκυρόδεμα, σύμφωνα με τις προδιαγραφές ΠΤΠ Α265 και ΠΤΠ Α260, με άσφαλο 50/70pen.

Εάν αποφασιστεί η χρήση ασφάλτου 40/50pen για την παραγωγή όλων των ασφαλτομιγμάτων, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν τα νομογραφήματα που περιέχονται στα Σχήματα A-10 έως A-15. Πρέπει να διευκρινιστεί ότι η χρήση σκληρότερης ασφάλτου σκοπό έχει να μειώσει την αναμενόμενη παραμένουσα παραμόρφωση των ασφαλτικών στρώσεων, λόγω των εγγενών ιδιοτήτων της ασφάλτου. Η ανάγκη χρήσης ασφάλτου 40/50 πιθανόν να παρουσιαστεί σε περιοχές με πολύ υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος μπορεί επίσης να επηρεάσει την απόφαση αυτή. Όταν αναμένεται υψηλή ΜΕΘΑ (15°C και 16°C) οι ασφαλτικές στρώσεις αναμένεται να επιδείξουν μεγαλύτερη παραμένουσα παραμόρφωση από ότι όταν η ΜΕΘΑ αναμένεται να είναι 13°C ή 14°C.

Αν ο μελετητής επιλέξει τη σχεδίαση μόνο του τάπητα κυκλοφορίας (40mm) ή των ανώτερων 50mm της συνδετικής στρώσης (στην περίπτωση πορώδους τάπητα) με άσφαλο 40/50, το πάχος των ασφαλτικών στρώσεων καθορίζεται από τα βασικά νομογραφήματα, δηλ. Σχήματα A-1 έως A-9.

Για τη διευκόλυνση του μελετητή, όσον αφορά το πότε και πού μπορεί να χρησιμοποιεί άσφαλο 40/50, αναπτύχθηκε ένα πρωτόκολλο το οποίο φαίνεται στον Πίνακα 5. Το πρωτόκολλο αυτό προέκυψε βάσει της προβλεπόμενης (κατ' εκτίμηση) παραμένουσας παραμόρφωσης για πάχη ασφαλτικών στρώσεων που καθορίστηκαν από τις σχεδιαστικές καμπύλες. Η προβλεπόμενη παραμένουσα παραμόρφωση για διάφορα σενάρια παρατίθεται στο Παράρτημα Δ, Σχήματα Δ-1 και Δ-2. Το κριτήριο που χρησιμοποιήθηκε

ήταν οι ασφαλικές στρώσεις να μην παρουσιάζουν βάθος τροχοαυλάκωσης πολύ μεγαλύτερο από 25mm στο τέλος της περιόδου σχεδιασμού.

Ο μελετητής αντί της κοινής ασφάλτου 40/50 pen στην ανώτερη στρώση μπορεί να χρησιμοποιήσει και τροποποιημένη ασφαλτο. Στην περίπτωση αυτή, δηλαδή όπου μόνο η ανώτερη στρώση (40 ή 50mm) κατασκευάζεται με τροποποιημένη ασφαλτο, η διαστασιολόγηση γίνεται από τα σχετικά νομογραφήματα, ως αναφέρονται στον Πίνακα 5.

Πίνακας 5 Πρωτόκολλο χρήσης κατάλληλου νομογραφήματος

Αθροιστική κυκλοφορία (ITA)	Μέση ετήσια θερμοκρασία αέρος (ΜΕΘΑ)	Τύπος ασφάλτου	Ποιες στρώσεις θα κατασκευαστούν με συγκεκριμένο τύπο ασφάλτου	Ποιο νομογράφημα θα χρησιμοποιηθεί
$\leq 1 \times 10^7$	13°C - 16°C	50/70 pen	Όλες	Σχ. A-1 έως A-9
$1 \times 10^7 - 5 \times 10^7$	13°C - 14°C	50/70 pen	Όλες	Σχ. A-1 έως A-9
	15°C - 16°C	40/50 pen	Μόνο η ανώτερη	Σχ. A-1 έως A-9
$> 5 \times 10^7$	13°C - 14°C	40/50 pen	Μόνο η ανώτερη	Σχ. A-1 έως A-9
	15°C - 16°C	40/50 pen	Όλες	Σχ. A-10 έως A-15

Τέλος, αν ο μελετητής επιλέξει τη χρήση ασφάλτου 80/100 για την ασφαλική βάση, μόνο, θα πρέπει να αυξήσει το πάχος της ασφαλικής βάσης κατά 7%. Η πρακτική αυτή δεν συνιστάται από τη μεθοδολογία, ιδιαίτερα σε περιοχές με ΜΕΘΑ >15°C ή με αθροιστική κυκλοφορία >5x10⁶ ITA, ανεξάρτητα της ΜΕΘΑ.

Χρήση των νομογραφημάτων

Γνωρίζοντας τον αθροιστικό αριθμό ITA και την τιμή CBR του υπεδάφους, το συνολικό πάχος των ασφαλικών στρώσεων, δηλ. τάπητα κυκλοφορίας, συνδετικής στρώσης και ασφαλικής βάσης, υπολογίζεται εύκολα όπως φαίνεται στο Σχήμα A-1. Το τελικό αποτέλεσμα στρογγυλεύεται στα αμέσως επόμενα μεγαλύτερα 5mm.

Σε περίπτωση που το CBR λαμβάνει τιμές μεταξύ αυτών που αναγράφονται στα νομογραφήματα, η τιμή στρογγυλεύεται στην αμέσως προηγούμενη ακέραιη μονάδα (δηλαδή, εάν CBR=6,7% χρησιμοποίησε το 6,0%) και ο καθορισμός του πάχους γίνεται με παρεμβολή.

Για τον καθορισμό του πάχους των επιμέρους ασφαλικών στρώσεων και του αντίστοιχου προτεινόμενου τύπου ασφαλτομίγματος χρησιμοποιείται ο Πίνακας 6.

Πίνακας 6 Καθορισμός πάχους επιμέρους ασφαλτικών στρώσεων

Συνολικό πάχος ασφ/κών στρώσεων (mm)	Τάπητας κυκλοφορίας		Συνδετική στρώση		Ασφαλτική βάση	
	Πάχος (mm) ^(1,2)	Τύπος ασφαλ/τος	Πάχος (mm)	Τύπος ασφαλ/τος ⁽³⁾	Πάχος (mm)	Τύπος ασφαλ/τος ⁽³⁾
100	40mm ή λιγότερο, ανάλογα με τον τύπο του ασφ/τος που χρησιμοποιείται ⁽¹⁾	Βλέπε Πίνακα 7	-	-	60	A260Δ (N19,0)
125			-	-	85	A260Δ (N19,0)
150			50	A265Γ/Συνδ. (N12,5)	60	A260Δ (N19,0)
200			50	A265Γ/Συνδ. (N12,5)	110	A260Δ (N19,0)
250			50	A265Γ/Συνδ. (N12,5)	160	A260Δ (N19,0)
300			100	A265B/Συνδ. (N19,0)	160	A260Γ (N25,0)
350			100	A265B/Συνδ. (N19,0)	210	A260Γ (N25,0)
400			100	A265B/Συνδ. (N19,0)	260	A260Γ (N25,0)
450			100	A265B/Συνδ. (N19,0)	310	A260Γ (N25,0)
500			100	A265B/Συνδ. (N19,0)	360	A260Γ (N25,0)
550			100	A265B/Συνδ. (N19,0)	410	A260Γ (N25,0)

Για ενδιάμεσες τιμές συνολικού πάχους ασφαλτικών στρώσεων, το υπολειπόμενο πάχος προστίθεται στην ασφαλτική βάση

- (1) Το πάχος του τάπητα κυκλοφορίας με αντιολισθηρές ιδιότητες μπορεί να είναι μέχρι και 10mm, περίπου. Αν, σε κάθε περίπτωση, το πάχος του τάπητα κυκλοφορίας είναι <30mm τότε απλά προστίθεται στην επιφάνεια, αυξάνοντας το συνολικό πάχος του οδοστρώματος. Η υποκείμενη στρώση σ' αυτές τις περιπτώσεις είναι 40mm πυκνού ασφαλτικού σκυροδέματος A265B (N12,5). Αν το πάχος της αντιολισθηρής στρώσης είναι ≥30mm, το υπολοιπόμενο πάχος (≤10mm) προστίθεται στο πάχος της συνδετικής στρώσης ή στο πάχος της ασφαλτικής βάσης. Όλα αυτά ισχύουν σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις του Πίνακα 7.
- (2) Το πάχος του ασφαλτικού σκυροδέματος για αντιολισθηρή στρώση, του πορώδους τάπητα και των ανοικτής διαβάθμισης ασφαλτικών μιγμάτων, για νέα κατασκευή, συνιστάται να είναι 40mm σε κάθε περίπτωση.
- (3) Τα μίγματα που χαρακτηρίζονται με το γράμμα N είναι προτεινόμενα νέα μίγματα, υποκείμενα σε έγκριση από την ΕΟΑΕ, περισσότερες πληροφορίες για τα μίγματα αυτά βλέπε 3^ο Μέρος.

11. ΑΝΤΙΟΛΙΣΘΗΡΕΣ ΣΤΡΩΣΕΙΣ

11.1 Τάπητας κυκλοφορίας με αντιολισθηρές ιδιότητες

Η επιφάνεια της ανώτερης στρώσης ενός ευκάμπτου οδοστρώματος πρέπει πάντα να έχει καλές αντιολισθηρές ιδιότητες. Ο μελετητής μπορεί να επιλέξει ανάμεσα σε πέντε εναλλακτικά ασφατομίγματα τα οποία παρέχουν καλή αντιολισθηρή επιφάνεια. Τα μίγματα αυτά καλούνται αντιολισθηρές στρώσεις κυκλοφορίας και είναι τα εξής:

- Ασφαλικό σκυρόδεμα για αντιολισθηρή στρώση ($A\Sigma_{ασ}$)
- Ανοικτής διαβάθμισης μίγματα για αντιολισθηρή στρώση ($A\Delta_{ασ}$)
- Πορώδης τάπητας (ΠΤ)
- Stone Mastic Asphalt (SMA)
- Slurry seal - microsurfacing (SL_{ms})

Μερικά από τα παραπάνω μίγματα έχουν διαφορετική δομική αντοχή και αερική διαπερατότητα από το πυκνό ασφαλικό σκυρόδεμα, το οποίο λήφθηκε σαν αντιπροσωπευτικό μίγμα για την ανάπτυξη των σχεδιαστικών καμπύλων. Θα πρέπει επομένως όταν επιλέγονται (σε νέα κατασκευή), σε ορισμένες περιπτώσεις, να τροποποιείται το συνολικό πάχος των ασφαλικών στρώσεων και το είδος της υποκείμενης στρώσης. Οι απαραίτητες τροποποιήσεις συνοψίζονται στον Πίνακα 7.

Πίνακας 7 Απαιτούμενες τροποποιήσεις λόγω χρήσης διαφορετικών αντιολισθηρών στρώσεων

Αντιολισθηρή στρώση	Απαιτούμενη αλλαγή πάχους	Απαιτούμενη αλλαγή στην υποκείμενη στρώση
$A\Sigma_{ασ}$	Καμία	Καμία
($A\Delta_{ασ}$) ή ΠΤ	Αύξηση συνολικού πάχους ασφαλικών στρώσεων κατά 20mm	Σε κάθε περίπτωση τα πρώτα 50mm της υποκείμενης στρώσης πρέπει να είναι από πυκνό ΑΣ A265-B (ή N 12,5) για τάπητα κυκλοφορίας (βλέπε επίσης σημείωση 1 & 3)
SMA	Καμία	Καμία
SL_{ms}	Καμία	Η υποκείμενη στρώση είναι από πυκνό ΑΣ A265-B (ή N 12,5) για τάπητα κυκλοφορίας (βλέπε επίσης σημείωση 2 & 3)

Σημειώσεις:

1. Όταν το συνολικό πάχος των ασφαλικών στρώσεων είναι <150mm, βλέπε Πίνακα 6, κατασκευάζεται συνδυαστική στρώση 40mm από πυκνό ασφαλικό σκυρόδεμα A265B (N12,5) για τάπητα κυκλοφορίας και προσαρμόζεται ανάλογα το πάχος της ασφαλικής βάσης
2. Το SL_{ms} είναι περίπου 10mm σε πάχος και δεν συμβάλλει καθόλου στην αντοχή του οδοστρώματος, απλά προστίθεται στην επιφάνεια του τάπητα κυκλοφορίας
3. Το μίγμα A265B (N12,5) παράγεται από θραυστά ασβεστολιθικά αδρανή

Περισσότερες λεπτομέρειες για τα μίγματα αντιολισθηρών στρώσεων περιέχονται στο 3^ο Μέρος.

Ο μελετητής μπορεί βέβαια να χρησιμοποιήσει οποιοδήποτε άλλο υλικό, εκτός των προαναφερομένων, για την κατασκευή αντιολισθηρής στρώσης, εάν αυτό έχει αποδειχθεί ότι είναι κατάλληλο για αντιολισθηρές στρώσεις.

11.2 Επιλογή αντιολισθηρής στρώσης

Η επιλογή του τύπου της αντιολισθηρής στρώσης είναι συνάρτηση διαφόρων παραμέτρων που διαφέρουν από έργο σε έργο. Είναι επομένως απόφαση του μελετητή, αφού συνυπολογίσει όλες τις παραμέτρους, να επιλέξει την καταλληλότερη αντιολισθηρή στρώση.

Οι κυριότερες παράμετροι που πρέπει να συνυπολογιστούν είναι:

- α) αντιολισθηρότητα (συντελεστής ολίσθησης ή αντίστασης σε ολίσθηση)
- β) κόστος (υλικού και κατασκευής λαμβάνοντας επίσης υπόψη τη συμβολή ή μη στη φέρουσα ικανότητα του οδοστρώματος, αφού πρόκειται για νέα κατασκευή. Άρα πρέπει να λαμβάνεται το συνολικό αποτελεσματικό κόστος)
- γ) διαθεσιμότητα υλικού στην αγορά
- δ) οικονομία σε σκληρά αδρανή (σε σχέση με τη διαθεσιμότητα σκληρών αδρανών και την προστασία των φυσικών πόρων)
- ε) αναμενόμενη διάρκεια ζωής
- στ) μείωση του παραγόμενου θορύβου
- ζ) ευκολία ανανέωσης ή συντήρησης

Για τη διευκόλυνση του μελετητή στην επιλογή της καταλληλότερης αντιολισθηρής στρώσης προτείνεται όπως ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

Αρχικά βαθμολογείται κάθε μίγμα συναρτήσει καθεμιάς από τις προαναφερόμενες παραμέτρους σε κλίμακα από 1 έως 5. Το 5 χαρακτηρίζει το μίγμα με την υψηλότερη αντιολισθηρότητα, το πιο φθινό, το πιο άμεσα διαθέσιμο στην αγορά, με τη μικρότερη απαίτηση σκληρών αδρανών, με τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, τη μεγαλύτερη μείωση θορύβου και το πιο εύκολο στην ανανέωση και συντήρηση. Για τις αντιολισθηρές στρώσεις που εξετάστηκαν, κατά την άποψη των συμβούλων, η βαθμολογία τους είναι αυτή που δίνεται στον Πίνακα 8.

Πίνακας 8 Βαθμολογία αντιολισθηρών στρώσεων

Τύπος αντιολισθηρής στρώσης	Αντιολισθηρότητα	Κόστος	Διαθεσιμότητα στην αγορά	Οικονομία σε σκληρά αδρανή	Αναμενόμενη διάρκεια ζωής	Μείωση θορύβου	Ευκολία ανανέωσης/ συντήρ.
AΣ _{ασ}	2	5	5	1	4	1	3
AΔ _{ασ}	4	2	3	2	2	5	2
ΠΤ	5	2	3	2	3	5	2
SMA	4	3	1	1	5	3	3
SL _{ms}	4	4	5	5	1	2	5

Κατόπιν εξετάζεται ποια από τις παραπάνω παραμέτρους είναι πιο σημαντική σε κάθε συγκεκριμένο έργο. Οι παράμετροι μπαίνουν σε φθίνουσα σειρά σπουδαιότητας και λαμβάνουν ένα συντελεστή βαρύτητας από το 7 ως το 1. Δηλαδή, εάν η σειρά σπουδαιότητας για ένα συγκεκριμένο έργο είναι: αντιολισθηρότητα, κόστος, οικονομία σε σκληρά αδρανή, αναμενόμενη διάρκεια ζωής, διαθεσιμότητα στην αγορά, μείωση

θορύβου και ευκολία ανανέωσης, οι συντελεστές βαρύτητας είναι από 7, η περισσότερο σημαντική, έως 1, η λιγότερο σημαντική παράμετρος.

Το αθροιστικό γινόμενο της βαθμολογίας της κάθε παραμέτρου ανά αντιολισθηρή στρώση και του αντίστοιχου συντελεστή βαρύτητας δίνει το συντελεστή λήψης απόφασης για κάθε αντιολισθηρή στρώση. Δηλαδή,

$$ΛΑ = \sum (ΣΒ)_i \times (ΣΚ)_i \quad (8)$$

όπου, ΛΑ = λήψη απόφασης για την αντιολισθηρή στρώση
ΣΒ = συντελεστής βαρύτητας, από το 1 ως το 7
ΣΚ = συντελεστής κατάταξης, από τον Πίνακα 8
i = παράμετρος που εξετάζεται

Συγκρινόμενες οι αριθμητικές τιμές ΛΑ για κάθε εναλλακτική αντιολισθηρή στρώση παρέχουν τη δυνατότητα αντικειμενικής επιλογής της βέλτιστης λύσης. Η καλύτερη επιλογή αντιολισθηρής στρώσης για το συγκεκριμένο έργο είναι αυτή που έχει τη μεγαλύτερη τιμή ΛΑ. Επεξήγηση της παραπάνω διαδικασίας δίνεται και στο παράδειγμα που ακολουθεί.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι παράμετροι που ελήφθησαν υπόψη μπορούν να επαυξηθούν όπως και ο αριθμός των εναλλακτικών για την κατασκευή αντιολισθηρής στρώσης. Επίσης θα μπορούσε να τροποποιηθεί ελαφρώς η προτεινόμενη βαθμολόγηση των παραμέτρων ανά αντιολισθηρή στρώση. Πλην όμως, διατηρώντας τις βασικές αρχές, η διαδικασία επιλογής της βέλτιστης αντιολισθηρής στρώσης παραμένει η ίδια.

Με την προαναφερθείσα διαδικασία επιτυγχάνεται μια πιο αντικειμενική επιλογή της αντιολισθηρής στρώσης για το συγκεκριμένο έργο. Για την τελική επιλογή, πάντως, θα πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη και το αποτέλεσμα της οικονομικής ανάλυσης (ανάλυση κόστους διάρκειας ζωής) του οδοστρώματος, η οποία επεξηγείται στην παράγραφο 14. Ο συνδυασμός των παραπάνω δύο διαδικασιών αποτελεί την πλέον επιστημονική και ορθότερη προσέγγιση κατά τη διαδικασία λήψης των αποφάσεων.

Παράδειγμα

Θεωρώντας ότι οι διαθέσιμες αντιολισθηρές στρώσεις είναι αυτές που αναφέρονται στην παράγραφο 11.1, να επιλεγεί η καταλληλότερη για ένα τμήμα οδού Α-Β.

Διαδικασία

Με την παραδοχή ότι στο συγκεκριμένο τμήμα της υπεραστικής οδού οι αποφασιστικές παράμετροι κατατάσσονται με την εξής σειρά σπουδαιότητας:

Αντιολισθηρότητα	= 7
Κόστος	= 6
Αναμενόμενη διάρκεια ζωής	= 5
Οικονομία σε σκληρά αδρανή	= 4
Διαθεσιμότητα στην αγορά	= 3
Ευκολία ανανέωσης	= 2
Μείωση θορύβου	= 1

Χρησιμοποιώντας τη σχέση (8) και τους συντελεστές κατάταξης του Πίνακα 8, ο συντελεστής λήψης απόφασης (ΛΑ) για κάθε αντιολισθηρή στρώση διαμορφώνεται σε:

$$\text{για } A\Sigma_{\text{ασ}}: \quad \Lambda A_1 = 7x2 + 6x5 + 5x4 + 4x1 + 3x5 + 2x3 + 1x1 = 90$$

$$\text{για } A\Delta_{\text{ασ}}: \quad \Lambda A_2 = 7x4 + 6x2 + 5x2 + 4x2 + 3x3 + 2x2 + 1x5 = 76$$

$$\text{για } \Pi\text{T} : \quad \Lambda A_3 = 7x5 + 6x2 + 5x3 + 4x2 + 3x3 + 2x2 + 1x5 = 88$$

$$\text{για } \text{SMA} : \quad \Lambda A_4 = 7x4 + 6x3 + 5x5 + 4x1 + 3x1 + 2x3 + 1x3 = 87$$

$$\text{για } \text{SL}_{\text{ms}}: \quad \Lambda A_5 = 7x4 + 6x4 + 5x1 + 4x5 + 3x5 + 2x5 + 1x2 = 104$$

Συμπερασματικά, για το συγκεκριμένο έργο, το slurry seal αποτελεί την καλύτερη εναλλακτική για την κατασκευή της αντιολισθηρής στρώσης κυκλοφορίας. Δεύτερο καλύτερο μίγμα το ασφαλτικό σκυρόδεμα με οριακή διαφορά από τον πορώδη τάπητα και το SMA.

12. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΠΑΧΟΥΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Να υπολογιστεί το πάχος οδοστρώματος όταν:

- Ο αθροιστικός αριθμός ΙΤΑ για διάρκεια σχεδιασμού 30 χρόνια με μέση ετήσια αύξηση 3% είναι 7×10^6
- Το CBR του υπεδάφους είναι 5,3%
- Μέση ετήσια θερμοκρασία αέρος (ΜΕΘΑ) είναι 16 °C

Λύση

Από τον Πίνακα 4, για CBR >5%, δεν απαιτείται εξυγιαντική στρώση και το πάχος της βάσης/υπόβασης πρέπει να είναι 400mm.

Το CBR είναι 5,3%, άρα στους υπολογισμούς θα χρησιμοποιηθεί CBR=5%.

Από τον Πίνακα 5, για ΙΤΑ= 7×10^6 και ΜΕΘΑ=16 °C, ο καθορισμός του πάχους των ασφαλτικών στρώσεων πραγματοποιείται με ένα από τα νομογραφήματα των Σχημάτων Α-1 έως Α-9 και ο τάπητας κυκλοφορίας συνιστάται να είναι από ασφαλτο 50/70pen. Σχετικό σχήμα για ΜΕΘΑ=16 °C και πάχος βάσης/υπόβασης = 400mm, το Σχήμα Α-4.

Από το Σχήμα Α-4, για ΙΤΑ= 7×10^6 και CBR=5%,
συνολικό πάχος ασφαλτικών στρώσεων = 283mm, στρογγυλεύεται σε: 285mm

Σύμφωνα με τον Πίνακα 6, για συνολικό πάχος 285mm, το πάχος των επιμέρους στρώσεων είναι:

Τάπητας κυκλοφορίας	= 40mm
Συνδετική στρώση	= 50mm
Ασφαλτική βάση	= 195mm [=160+(285-250)] (βλέπε βάση Πίνακα 6)

Ακολουθεί η επιλογή της αντιολισθηρής στρώσης. Για την επιλογή της κατάλληλης αντιολισθηρής στρώσης ο μελετητής ακολουθεί τις οδηγίες που δίνονται στην παράγραφο 11.

Έστω ότι επιλέχθηκε η χρήση πορώδους τάπητα.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 7, απαιτούνται οι εξής τροποποιήσεις: α) αύξηση του πάχους των ασφαλτικών στρώσεων κατά 20mm και β) κατασκευή στρώσης 50mm από πυκνό ασφαλτικό σκυρόδεμα (Α265-Β (ή Ν 12,5)) για τάπητα κυκλοφορίας με θραυστά ασβεστολιθικά αδρανή και ασφαλτο 50/70pen) κάτω από τον πορώδη τάπητα.

Έτσι, τα τελικά πάχη διαμορφώνονται:

Πορώδης τάπητας	=	40 mm
Τάπητας κυκλοφορίας	=	50 mm
Συνδετική στρώση	=	50 mm
Ασφαλτική βάση	=	<u>165 mm</u>
Σύνολο ασφ. στρώσεων	=	305 mm
Βάση/υπόβαση	=	<u>400 mm</u>
Συνολικό πάχος οδοστρώματος	=	705 mm

Εναλλακτικά, μπορούσε να χρησιμοποιηθεί slurry seal σαν αντιολισθηρή στρώση. Τότε, σύμφωνα με τον Πίνακα 7, η υποκείμενη στρώση θα ήταν από πυκνό ασφαλτικό σκυρόδεμα A265-B για τάπητα κυκλοφορίας, με ασβεστολιθικά αδρανή και άσφαλτο 50/70pen.

Έτσι, τα τελικά πάχη θα είναι:

Slurry seal-microsurfacing	=	(~10 mm)
Τάπητας κυκλοφορίας	=	40 mm
Συνδετική στρώση	=	50 mm
Ασφαλτική βάση	=	<u>195 mm</u>
Σύνολο ασφ. στρώσεων	=	285 mm
Βάση/υπόβαση	=	<u>400 mm</u>
Συνολικό πάχος οδοστρώματος	=	685 mm

Τέλος, αν είχε επιλεγεί αντιολισθηρή στρώση από ασφαλτικό σκυρόδεμα (ΑΣ_{ασ}) ή SMA, τα τελικά πάχη του οδοστρώματος θα ήταν:

ΑΣ _{ασ} ή SMA	=	40 mm
Συνδετική στρώση	=	50 mm
Ασφαλτική βάση	=	<u>195 mm</u>
Σύνολο ασφ. στρώσεων	=	285 mm
Βάση/υπόβαση	=	<u>400 mm</u>
Συνολικό πάχος οδοστρώματος	=	685 mm

13. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΕΝΗ ΣΤΑΔΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

13.1 Γενικά

Στο στάδιο αυτό διερευνάται αν η προγραμματισμένη σταδιακή κατασκευή του οδοστρώματος είναι προτιμότερη από την κατασκευή του οδοστρώματος σε ένα στάδιο. Η προγραμματισμένη σταδιακή κατασκευή συνίσταται στην κατασκευή των ασφαλτικών στρώσεων σε δύο, συνήθως, διαφορετικές χρονικές περιόδους σύμφωνα με τη μελέτη και το προκαθορισμένο χρονοδιάγραμμα.

Η προγραμματισμένη σταδιακή κατασκευή πλεονεκτεί όταν:

- α) δεν υπάρχει επαρκές κεφάλαιο για την κατασκευή του συνολικού πάχους του οδοστρώματος σε ένα στάδιο
- β) υπάρχει δυσκολία ή αβεβαιότητα στην εκτίμηση της κυκλοφορίας κατά την διάρκεια σχεδιασμού που λαμβάνεται υπόψη.

Επιπλέον, ορισμένες αρχές προτιμούν την προγραμματισμένη σταδιακή κατασκευή διότι διεπίστωσαν ότι επιτυγχάνεται καλύτερη συμπεριφορά του οδοστρώματος όταν αυτό αφεθεί να κυκλοφορηθεί για κάποιο χρονικό διάστημα και κατόπιν διαστρώσουν τη συμπληρωματική ενισχυτική επίστρωση, από την περίπτωση κατά την οποία το οδόστρωμα κατασκευασθεί σε ένα και μοναδικό στάδιο.

Εντούτοις, τονίζεται ιδιαίτερα ότι στην περίπτωση της προγραμματισμένης σταδιακής κατασκευής, το απαιτούμενο κεφάλαιο για τη μελλοντική ενίσχυση του οδοστρώματος πρέπει πάντα να είναι άμεσα διαθέσιμο. Επίσης είναι ουσιαστικής σημασίας να παρακολουθείται η εξέλιξη της κυκλοφορίας μεταξύ του πρώτου και δεύτερου σταδίου κατασκευής και να γίνονται συχνές εκτιμήσεις της δομικής κατάστασης του οδοστρώματος. Το δεύτερο παρέχει τη δυνατότητα άμεσης επέμβασης σε περίπτωση που η κατάσταση του οδοστρώματος επιδεινωθεί νωρίτερα από ότι είχε αρχικά προβλεφθεί. Σε κάθε περίπτωση το προγραμματισμένο δεύτερο στάδιο κατασκευής πρέπει πάντα να πραγματοποιείται όταν το οδόστρωμα παραμένει ακόμα σε καλή κατάσταση.

Συμπερασματικά, η επιλογή της προγραμματισμένης σταδιακής κατασκευής είναι μια πολύ ουσιαστική απόφαση και ο προσδιορισμός του δεύτερου σταδίου κατασκευής δεν είναι εύκολη υπόθεση.

Η διαστασιολόγηση της προγραμματισμένης σταδιακής κατασκευής δεν πρέπει να συγχέεται με το σχεδιασμό των έργων συντήρησης ή ανακατασκευής του υφιστάμενου οδοστρώματος.

13.2 Μέθοδος διαστασιολόγησης

Η μέθοδος διαστασιολόγησης που συνοψίζεται εδώ είναι παρόμοια αυτής που συστήνεται από το Asphalt Institute των Η.Π.Α. Ακολουθεί τρία βήματα: i) πρώτο στάδιο κατασκευής, ii) προκαταρκτική διαστασιολόγηση της συμπληρωματικής στρώσης του δεύτερου σταδίου και iii) τελική διαστασιολόγηση της συμπληρωματικής στρώσης του δεύτερου σταδίου.

i) Πρώτο στάδιο κατασκευής

Η διαστασιολόγηση του πρώτου σταδίου κατασκευής βασίζεται στην έννοια της εναπομένουσας διάρκειας ζωής¹⁴. Σύμφωνα με την έννοια αυτή, το πρώτο στάδιο κατασκευής διαστασιολογείται για διάρκεια σχεδιασμού μικρότερη από αυτή στην οποία επέρχεται κόπωση του οδοστρώματος. Η διάρκεια σχεδιασμού στην περίπτωση αυτή θεωρείται ως το 60% της περιόδου σχεδιασμού που θα λαμβανόταν υπόψη για κατασκευή σε ένα και μοναδικό στάδιο. Για να χρησιμοποιηθεί η έννοια αυτή, ο εκτιμώμενος αριθμός ΙΤΑ του πρώτου σταδίου, ITA_1 , πρέπει να προσαρμοστεί έτσι ώστε να παρέχεται και η απαιτούμενη εναπομένουσα διάρκεια ζωής στο τέλος του πρώτου σταδίου κατασκευής,

δηλ. προσαρμοσμένος αριθμός ΙΤΑ, $(\text{προσ}ITA_1) = 100/60 \times ITA_1 = 1,67 \times ITA_1$.

Μετά τον καθορισμό της κυκλοφορίας του πρώτου σταδίου κατασκευής, διαστασιολογείται το οδόστρωμα και κατασκευάζεται για την κυκλοφορία αυτή. Έστω το πάχος του οδοστρώματος στο πρώτο στάδιο κατασκευής είναι h_1 (μόνο των ασφαλτικών στρώσεων).

ii) Προκαταρκτική διαστασιολόγηση της συμπληρωματικής στρώσης του δεύτερου σταδίου
Το πάχος της συμπληρωματικής στρώσης υπολογίζεται επίσης με βάση την έννοια της εναπομένουσας διάρκειας ζωής. Κατά το στάδιο του αρχικού σχεδιασμού, στόχος είναι να υπολογισθεί το πάχος της συμπληρωματικής στρώσης έτσι ώστε να διασφαλίζεται ότι η τελική διατομή του οδοστρώματος θα αντέξει για όλη τη διάρκεια σχεδιασμού (πρώτο και δεύτερο στάδιο). Αυτό επιτυγχάνεται αφού προσαρμοσθεί η κυκλοφορία του δεύτερου σταδίου κατασκευής, ITA_2 , έτσι ώστε να αξιοποιηθεί η εναπομένουσα διάρκεια ζωής του οδοστρώματος από το πρώτο στάδιο κατασκευής. Στη διαδικασία προσαρμογής του κυκλοφοριακού φόρτου η εναπομένουσα διάρκεια ζωής είναι $100-60=40\%$.

Έτσι, ο προσαρμοσμένος προκαταρκτικός κυκλοφοριακός φόρτος του δεύτερου σταδίου είναι $(\text{προσ}ITA_2) = 100/40 \times ITA_2 = 2,5 \times ITA_2$.

Με τον προσαρμοσμένο προκαταρκτικό κυκλοφοριακό φόρτο του δεύτερου σταδίου διαστασιολογείται το οδόστρωμα, έστω πάχος h_2 (μόνο των ασφαλτικών στρώσεων).

Το πάχος της συμπληρωματικής ενισχυτικής στρώσης του δεύτερου σταδίου ($h_{ε\upsilon}$) καθορίζεται από την εξίσωση:

$$h_{ε\upsilon} = h_2 - h_1 \quad (9)$$

Το πάχος της συμπληρωματικής ενισχυτικής στρώσης πρέπει να κατασκευάζεται όπως προγραμματίστηκε και πριν το οδόστρωμα εμφανίσει έντονα σημάδια καταπόνησης. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε περαιτέρω οικονομική ανάλυση για την εκτίμηση μελλοντικών δαπανών. Παρ' όλα αυτά, λόγω της μη ακριβούς εκτίμησης της συμπεριφοράς του οδοστρώματος, το οδόστρωμα μπορεί να βρίσκεται σε καλύτερη ή χειρότερη κατάσταση από αυτήν που προβλέπεται στο τέλος του πρώτου σταδίου. Για το λόγο αυτό θα πρέπει πάντοτε να ακολουθεί και η τελική διαστασιολόγηση του δεύτερου σταδίου κατασκευής.

iii) Τελική διαστασιολόγηση συμπληρωματικής στρώσης δεύτερου σταδίου

Ο τελικός σχεδιασμός της συμπληρωματικής στρώσης του δεύτερου σταδίου εξαλείφει οποιαδήποτε εκτροπή από την αναμενόμενη κατάσταση του οδοστρώματος στο τέλος του πρώτου σταδίου. Για το λόγο αυτό, συνήθως ένα χρόνο πριν το τέλος του πρώτου σταδίου διενεργείται έλεγχος της κατάστασης του οδοστρώματος (μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε εγκεκριμένη μέθοδος από την ΕΟΑΕ).

Αν το οδόστρωμα δεν εμφανίζει σημάδια καταπόνησης και γενικότερα τεκμηριώνεται ότι υπάρχει ακόμα εναπομένουσα διάρκεια ζωής, δεν διαστρώνεται η συμπληρωματική στρώση και προγραμματίζεται άλλος έλεγχος τον επόμενο χρόνο ή σε κάποια άλλη κατάλληλη χρονική στιγμή.

Όταν φαίνεται ότι το οδόστρωμα πλησιάζει το αναμενόμενο επίπεδο κόπωσης, πλην όμως η κατάστασή του είναι ακόμη αποδεκτή, τότε είτε κατασκευάζεται η συμπληρωματική στρώση με πάχος όπως προσδιορίστηκε στο προκαταρκτικό δεύτερο στάδιο σχεδιασμού ή με πάχος που καθορίζεται από οποιαδήποτε εγκεκριμένη μεθοδολογία διαστασιολόγησης ασφαλτικών επιστρώσεων ενίσχυσης του οδοστρώματος.

Όλα τα παραπάνω επεξηγούνται στο παράδειγμα που ακολουθεί.

Παράδειγμα

Να εφαρμοστεί σταδιακή κατασκευή οδοστρώματος σε περιοχή με ΜΕΘΑ 13°C και CBR υπεδάφους 7,2%. Διάρκεια σχεδιασμού οδοστρώματος 20 χρόνια, ο αθροιστικός αριθμός ITA κατά το πρώτο στάδιο κατασκευής (5 χρόνια) εκτιμήθηκε σε $1,1 \times 10^6$ ITA και κατά τα επόμενα 15 χρόνια σε $4,7 \times 10^6$.

Λύση

i) Πρώτο στάδιο σχεδιασμού

Προσαρμοσμένος κυκλοφοριακός φόρτος πρώτου σταδίου :

$$(προσΙΤΑ_1) = 1,1 \times 10^6 \times 1,67 = 1,84 \times 10^6 \text{ ITA}$$

Από το Σχήμα A-1 το πάχος των ασφαλτικών στρώσεων είναι : **170mm**

Κατασκευάζεται επομένως ένα οδόστρωμα με πάχος ασφαλτικών στρώσεων 170mm και πάχος βάσης/υπόβασης 400mm.

ii) Προκαταρκτική διαστασιολόγηση ενίσχυσης δεύτερου σταδίου

Προσαρμοσμένος κυκλοφοριακός φόρτος δεύτερου σταδίου :

$$(προσΙΤΑ_2) = 4,7 \times 10^6 \times 2,5 = 1,18 \times 10^7 \text{ ITA}$$

Από το Σχήμα A-1 το πάχος των ασφαλτικών στρώσεων είναι : 250mm

Άρα για το προκαταρκτικό δεύτερο στάδιο σχεδιασμού το πάχος της ενίσχυσης (h_{ev}) είναι:

$$h_{ev} = 250 - 170 = \mathbf{80mm}$$

iii) Τελική διαστασιολόγηση συμπληρωματικής στρώσης δεύτερου σταδίου

Τον 4ο χρόνο μετά την αρχική κατασκευή διενεργείται έλεγχος του οδοστρώματος και αποφασίζεται αν θα κατασκευαστεί η συμπληρωματική στρώση τον 5ο χρόνο. Αν όχι, προγραμματίζεται δεύτερος έλεγχος τον επόμενο χρόνο ή σε άλλο κατάλληλο χρόνο. Το οδόστρωμα μέχρι τη στιγμή του δεύτερου ελέγχου, παρακολουθείται τακτικά για οποιαδήποτε σημάδια καταπόνησης μέσα σ' αυτό το χρονικό διάστημα. Ανάλογα με την κατάσταση του οδοστρώματος και τον τρόπο που εκτιμάται η κατάσταση του οδοστρώματος (οπτικά ή με κατάλληλες συσκευές, δηλ. falling weight deflectometer, δοκό Benkelman), αποφασίζεται η κατασκευή της συμπληρωματικής στρώσης με πάχος 80mm ή με άλλο πάχος που προκύπτει από αναλυτικούς υπολογισμούς.

14. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η κατασκευή ενός αυτοκινητοδρόμου θεωρείται ως μία επένδυση κεφαλαίου. Είναι επομένως απαραίτητη η διεξαγωγή οικονομικής σύγκρισης μεταξύ εναλλακτικών λύσεων σχεδιασμού. Μια εναλλακτική λύση σχεδιασμού επηρεάζεται από τη διάρκεια ζωής που επιλέγεται, δηλ. πόσα χρόνια θα πρέπει το οδόστρωμα να εξυπηρετεί το κοινό, ή από τα υλικά και τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή του. Ο μελετητής πρέπει να εξετάζει όλες τις εναλλακτικές για να καταλήξει στην πιο οικονομικά συμφέρουσα ή πλέον αρμόζουσα λύση. Οι διαδικασίες που ακολουθούνται είναι αυτές που εφαρμόζονται στις επενδύσεις κεφαλαίου.

Οι βασικές μέθοδοι ανάλυσης κόστους των έργων είναι δύο. Η πρώτη λαμβάνει υπόψη της όλα τα κόστη που εμπλέκονται για πλήρη κατασκευή του έργου (αυτοκινητόδρομος ή οδόστρωμα μόνο) και χρησιμοποιείται συνήθως για την εκτίμηση του κόστους κατασκευής για βραχυπρόθεσμες τραπεζικές εκταμιεύσεις. Η δεύτερη μέθοδος συνυπολογίζει όχι μόνο το κόστος κατασκευής αλλά και το κόστος της συντήρησης ή/και ανακατασκευής, το κόστος χρήστη λόγω καθυστερήσεων κατά την εκτέλεση εργασιών στο οδόστρωμα, το κόστος πιθανών ατυχημάτων και κάθε άλλο κόστος που πιθανόν να ανακύψει κατά την περίοδο ανάλυσης. Από τις δύο μεθόδους, μόνο η δεύτερη μέθοδος είναι χρήσιμη και απαραίτητη στην αξιολόγηση και σύγκριση των εναλλακτικών λύσεων σχεδιασμού ώστε να επιλεγεί η καταλληλότερη λύση για ένα συγκεκριμένο έργο. Αυτή η οικονομική ανάλυση είναι γνωστή σαν ανάλυση κόστους διάρκειας ζωής.

Για την ανάλυση κόστους διάρκειας ζωής πρέπει να είναι γνωστές οι εξής κύριες παράμετροι:

- α) το αρχικό κόστος κατασκευής του οδοστρώματος (με ή χωρίς το κόστος των στραγγιστικών έργων, των στηθαίων ασφαλείας, του φωτισμού κλπ.)
- β) το κόστος των μελλοντικών συντηρήσεων, ενισχυτικών επιστρώσεων, ανακατασκευής και παρόμοιων δραστηριοτήτων
- γ) ο χρόνος, σε έτη, από την κατασκευή μέχρι τη στιγμή που πραγματοποιείται κάθε κύρια επέμβαση
- δ) η περίοδος ανάλυσης
- ε) το επιτόκιο, ο πληθωρισμός ή το επιτόκιο επικαιροποίησης
- στ) η υπολειμματική αξία της τελευταίας επέμβασης ή η υπολειμματική αξία του οδοστρώματος

Η περισσότερο κοινή μέθοδος που χρησιμοποιείται για την ανάλυση κόστους διάρκειας ζωής είναι η μέθοδος της παρούσης αξίας.

14.1 Μέθοδος παρούσης αξίας

Με τη μέθοδο της παρούσης αξίας όλα τα κόστη ανάγονται σε παρούσες αξίες (σημερινές τιμές).

Η μαθηματική σχέση που χρησιμοποιείται στην ανάλυση της παρούσης αξίας είναι:

$$\text{ΠΑΣΚ} = K_0 + \sum_{t=0}^{t=n} EE_{i,t} [KA_t + K\Sigma_t + KX_t] - EE_{i,n} YA$$

όπου	ΠΑΣΚ	=	Παρούσα αξία συνολικού κόστους
	K_0	=	Αρχικό κόστος κατασκευής οδοστρώματος
	$EE_{i,t}$	=	Συντελεστής επικαιροποίησης για επιτόκιο επικαιροποίησης i στο χρόνο t , $= [1/(1+i)^t]$
	KA_t	=	Κόστος ανακατασκευής στο έτος t , εκφραζόμενο σε παρούσες τιμές κόστους
	$K\Sigma_t$	=	Κόστος συντήρησης στο έτος t , εκφραζόμενο σε παρούσες τιμές κόστους
	KX_t	=	Κόστος χρήστη στο έτος t στο οποίο γίνονται οι εργασίες συντήρησης, εκφραζόμενο σε παρούσες τιμές κόστους
	YA	=	Υπολειμματική αξία
	n	=	Περίοδος ανάλυσης, σε έτη

Αρχικό κόστος

Σαν αρχικό κόστος μπορεί να θεωρηθεί μόνο το κόστος κατασκευής του οδοστρώματος. Εντούτοις, ο μελετητής μπορεί να συμπεριλάβει όποιο άλλο αρχικό κόστος επιθυμεί.

Συντελεστής επικαιροποίησης - Επιτόκιο επικαιροποίησης

Ο συντελεστής επικαιροποίησης (επίσης γνωστός σαν συντελεστής παρούσης αξίας) προσαρμόζει το σημερινό κόστος μιας δραστηριότητας όταν αυτή πραγματοποιηθεί στο μέλλον και σχετίζεται με το επιτόκιο επικαιροποίησης.

Το επιτόκιο επικαιροποίησης αντικατοπτρίζει την πραγματική απόδοση του επενδυθέντος κεφαλαίου και συσχετίζεται τόσο με τον πληθωρισμό όσο και με το τραπεζικό επιτόκιο. Παρ' όλα αυτά, η χρήση του επιτοκίου επικαιροποίησης στην ανάλυση κόστους διάρκειας ζωής ενός οδοστρώματος δεν εκφράζει το επιτόκιο απόδοσης της κάθε εναλλακτικής λύσης διότι ο αντικειμενικός σκοπός της ανάλυσης κόστους διάρκειας ζωής είναι να

συγκρίνει το συνολικό επικαιροποιημένο κόστος μιας κατασκευαστικής λύσης έναντι μιας άλλης, κατά την περίοδο ανάλυσης που επιλέχθηκε.

Κόστος χρήση

Το κόστος χρήση στις περισσότερες περιπτώσεις είναι δύσκολο να καθοριστεί και γι' αυτό πολλές φορές δεν συμπεριλαμβάνεται στην ανάλυση κόστους διάρκειας ζωής. Πλην όμως αυτό είναι λάθος. Σε κάθε ανάλυση κόστους διάρκειας ζωής θα πρέπει να γίνεται κάθε δυνατή προσπάθεια για την εκτίμηση του κόστους αυτού και να συνυπολογίζεται στην ανάλυση. Μια εναλλακτική κατασκευαστική λύση, αν και ακριβότερη από άλλες, σε τιμές παρούσης αξίας, πιθανόν να αποδειχθεί πιο φθηνή αν συμπεριληφθεί και το κόστος χρήση. Για παράδειγμα, αν μια δραστηριότητα σε μια οδό χρειάζεται περισσότερο χρόνο για την ολοκλήρωσή της από μια άλλη, αν και μπορεί να είναι φθηνότερη σαν αρχικό κόστος κατασκευής, μπορεί στο τέλος να αποδειχθεί ακριβότερη αν συμπεριληφθεί και το κόστος του χρήστη.

Περίοδος ανάλυσης

Η περίοδος ανάλυσης είναι η χρονική περίοδος (σε έτη) που επιλέγεται για την εξέταση του κόστους διάρκειας ζωής. Δεν είναι η διάρκεια σχεδιασμού του οδοστρώματος και δεν θα πρέπει να συγχέεται με αυτή (αν και μερικές φορές μπορεί να συμπίπτουν). Η επιλογή της περιόδου ανάλυσης πρέπει να γίνεται έτσι ώστε: α) να μην ευνοεί κάποια εναλλακτική λύση ή διαδικασία συντήρησης σε βάρος κάποιας άλλης και β) να μην υπερβαίνει την περίοδο αξιόπιστης πρόβλεψης. Πολλές υπηρεσίες συχνά επιλέγουν τα 20, 30 ή 40 χρόνια στην ανάλυση κόστους διάρκειας ζωής. Συνηθίζεται να χαρακτηρίζεται το έτος αποπεράτωσης της κατασκευής σαν "έτος 0" και τα επόμενα έτη λειτουργίας σαν "έτος 1", "έτος 2" κλπ.

Υπολειμματική αξία

Η υπολειμματική αξία είναι η εναπομένουσα αξία του οδοστρώματος στο τέλος της περιόδου ανάλυσης. Στο τέλος της περιόδου ανάλυσης κάποια από τα υλικά του οδοστρώματος έχουν ακόμα κάποια αξία, το άθροισμα των οποίων συνθέτει την υπολειμματική αξία του οδοστρώματος. Δεδομένης της επιτακτικής ανάγκης για την προστασία του περιβάλλοντος και την εξοικονόμηση ενέργειας, η υπολειμματική αξία του οδοστρώματος θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στην ανάλυση κόστους διάρκειας ζωής διότι τα υλικά του παλαιού οδοστρώματος θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για ανακύκλωση. Η εκτίμηση της υπολειμματικής αξίας δεν είναι εύκολη υπόθεση. Ένας τρόπος είναι να λαμβάνεται το κόστος των υλικών αφού αφαιρεθεί το κόστος ανάκτησής τους (συμπεριλαμβανομένων και των τυχόν απωλειών κατά τη διαδικασία αυτή), εκφρασμένα σε τιμές παρούσης αξίας.

Συμπερασματικά, η ανάλυση κόστους διάρκειας ζωής συνιστάται σε κάθε διαστασιολόγηση οδοστρώματος. Η περίοδος ανάλυσης συνιστάται να είναι 20, 30 ή 40 χρόνια και το επιτόκιο επικαιροποίησης να κυμαίνεται μεταξύ 5% έως 12%, με το 7% να είναι η πιο ρεαλιστική τιμή σε σταθερές οικονομίες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Shell International Petroleum Co. Ltd., BISAR-PC, Stresses and strains calculations in pavement models, Release R1.0, 1987
2. Shell International Petroleum Co. Ltd., SPDM-PC, Shell pavement design method for use on a personal computer, Release 2.0, 1994
3. Asphalt Institute, Thickness design: Asphalt pavements for highways and Streets, Manual Series No.1 (MS-1), Asphalt Institute, Lexington, USA, 1991
4. TRRL LR 1132, The structural design of bituminous roads, Transport Research Laboratory, Crownthorn, 1984
5. Shell International Petroleum Company, Shell pavement design manual, London, 1978 και Addendum 1985
6. AASHTO, Guide for design of pavement structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, 1986
7. The Department of Transport, Design manual for roads and bridges, Vol.7, Pavement design and Maintenance, Section 2, Part 2: HD 25/94, London, 1994
8. Bonnaure et.al., Gest G., Gravois A. and Uge P., A new method of predicting the stiffness of asphalt paving mixtures, Proceedings of the Asphalt Paving Technologists, Vol. 46, p.66, 1977
9. Van der Poel C., A general system describing the visco-elastic properties of bitumen and its relation to rutting test data, journal of Applied Chemistry, Vol. 4, p.221, 1954
10. C.P. Valkering and F.D.R. Stapel, The Shell pavement design method on a personal computer, 7th International Conference on Asphalt Pavements, Vol. 1, p. 351, Nottingham, 1992
11. Κυκλοφοριακή μελέτη Εγνατίας οδού, 1997
12. Α. Νικολαΐδης, Γ. Μίντσης, Μετατροπή κυκλοφοριακού φόρτου οδικού δικτύου Ελλάδος σε ισοδύναμους τυπικούς άξονες, 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ασφαλτικών μιγμάτων και οδοστρωμάτων, Θεσσαλονίκη, 1996
13. The Department of Transport, Design manual for roads and bridges, Vol. 7, Pavement design and Maintenance, Section 2, Part 1: HD 24/94, London 1994
14. Asphalt Institute, Research and development of the Asphalt Institute's thickness design manual, RR-82-2, 1982