

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΟΔΟΥ ΑΠΟ Χ.Υ.Τ.Α ΞΕΡΟΛΑΚΚΑΣ ΕΩΣ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ
ΧΩΡΟ ΒΟΥΝΤΕΝΗΣ ΠΑΤΡΩΝ»**



ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ-ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

Γεωργούλη Κωνσταντίνα

Καθηγήτρια

ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ:

Νάτση Μαρία

ΠΑΤΡΑ 2024

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με τον σκοπό και την μελέτη κατασκευής οδού 700 m από την είσοδο Χ.Υ.Τ.Α Ξερόλακκας έως το αρχαιολογικό χώρο Βούντενης και την σύγκριση και ανάλυση πειραματικών αποτελεσμάτων με τα αποτελέσματα του Δήμου Πατρέων.

Το 1^ο κεφάλαιο αναφέρεται στον στόχο και στον σκοπό της διπλωματικής εργασίας.

Το 2^ο κεφάλαιο αναφέρεται στον γεωμετρικό σχεδιασμό μιας οδού, ποιες περιπτώσεις μπορεί να συναντήσουμε κατά την διάρκεια κατασκευής μιας οδού.

Το 3^ο κεφάλαιο περιγράφει τις κατηγορίες οδοστρωμάτων.

Το 4^ο κεφάλαιο αναφέρεται για τα εδαφικά και αδρανή υλικά.

Το 5^ο κεφάλαιο περιγράφει τύπους ασφάλτων και ασφαλτομιγμάτων.

Το 6^ο κεφάλαιο παρουσιάζει την μελέτη του έργου, σχέδια και φωτογραφίες από τους υπεύθυνους μηχανικούς του Δήμου Πατρέων.

Το 7^ο κεφάλαιο περιγράφει την πειραματική μελέτη και τον σχεδιασμό οδοστρώματος με την μέθοδο AASHTO 1993 για εύκαμπτα οδοστρώματα.

Το 8^ο κεφάλαιο αναφέρεται στα συμπεράσματα της πειραματικής μελέτης.

Λέξεις κλειδιά: AASHTO 1993, άσφαλτος, οδοστρώματα

ABSTRACT

This thesis deals with the purpose and the study of the construction of a 700 m road from the entrance of Xerolakkas to the archaeological site of Voudeni and the comparison and analysis of experimental results with the results of the Municipality of Patras.

Chapter 1 refers to the aim and purpose of the thesis.

Chapter 2 refers to the geometric design of a road, which cases can be encountered during the construction of a road.

Chapter 3 describes the categories of road pavements.

Chapter 4 is about soil and aggregates.

Chapter 5 describes types of asphalt and bituminous mixtures.

Chapter 6 presents the design of the project, drawings and photographs by the engineers in charge of the Municipality of Patras.

Chapter 7 describes the experimental study and pavement design using the AASHTO 1993 method for flexible pavements.

Chapter 8 deals with the conclusions of the experimental study.

Keywords: AASHTO 1993, bitumen, road surfaces

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με την κατασκευή οδού από την είσοδο Χ.Υ.Τ.Α Ξερόλακκας έως το αρχαιολογικό χώρο Βούντενης στην Πάτρα. Αναφέρονται αρχικά γενικά στοιχεία για την κατασκευή μιας οδού και γίνεται μια εστίαση όσον αφορά για την μεθοδολογία και τον σκοπό του έργου αυτού. Τέλος, ακολουθεί μια πειραματική μελέτη – συγκρίσεις αποτελεσμάτων με τα αποτελέσματα του Δήμου Πατρέων.

Για την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας σημαντική βοήθεια αποτέλεσε η συνεργασία από πρόσωπα του Ιδρύματος και η συνεργασία με τους μηχανικούς από την Δ/ση Έργων Υποδομής. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον υπεύθυνο μηχανικό του έργου Κωνσταντίνο Μπουρσινό, τον διευθυντή της Δ/σης Έργων Υποδομής του Δήμου Πατρέων Γεώργιο Σπηλιωτόπουλο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν και την επιβλέπουσα καθηγήτρια Γεωργούλη Κωνσταντίνα, για την εμπιστοσύνη και την συμπαράσταση που μου έδειξε σε όλη την διάρκεια της εργασίας καθώς και για την πολύτιμη βοήθεια που προσέφερε σε όλα τα στάδια της εργασίας. Οι παρατηρήσεις της κατά την διάρκεια συγγραφής της εργασίας ήταν επικοινωνητικές και συνέλαβαν στην διαμόρφωση του τελικού αποτελέσματος.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ΑΒΣΤΑΚΤ	3
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΟΔΩΝ.....	8
2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	8
2.2 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΟΔΟΥ.....	8
2.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΟΔΟΥ	9
2.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΟΔΟΥ	11
2.5 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΧΑΡΑΞΗ – ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΟΔΟΥ	12
2.5.1 Χάραξη Οδού.....	13
2.5.2 Οριζοντιογραφία.....	16
2.5.3 Μηκοτομή.....	22
2.5.4 Ερυθρά.....	23
2.5.5 Διατομές.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ	28
3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	28
3.2 ΕΥΚΑΜΠΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ	30
3.3 ΔΥΣΚΑΜΠΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ.....	32
3.4 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ - ΔΥΣΚΑΜΠΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ.....	35
3.5 ΗΜΙΕΥΚΑΜΠΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ	36
3.6 ΕΠΙΠΕΔΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΟΔΩΝ.....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΛΑΦΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΑΔΡΑΝΗ.....	41
4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	41
4.2 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	41
4.3 ΟΡΙΟ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ	45
4.4 ΟΡΙΟ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	46
4.5 ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	47
4.6 ΣΧΕΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ – ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΕΛΑΦΩΝ.....	48
4.7 ΜΕΘΟΔΟΣ PROCTOR.....	49
4.8 ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑΚΟΥ ΛΟΓΟΥ (CBR).....	51
4.9 ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ.....	56
4.9.1 Θραυστά αδρανή υλικά	56
4.10 ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	57
4.11 ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΔΡΑΝΩΝ	64

4.12 ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΑΠΟΣΛΑΘΡΩΣΗ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ.....	73
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΣΦΑΛΤΟΣ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΑ	77
5.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	77
5.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ.....	77
5.2.1 Δοκιμή διεισδυτικότητας	78
5.2.2 Δοκιμή μάλθωσης.....	79
5.2.3 Δείκτης διεισδυτικότητας	81
5.2.4 Δοκιμή ολκμότητας	82
5.2.5 Ιξώδες.....	84
5.3 ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΑ.....	85
5.3.1 Κατηγορίες ασφαλτομιγμάτων.....	86
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΜΕΛΕΤΗ ΕΡΓΟΥ.....	97
6.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	97
6.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	97
6.3 ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΟΥ.....	98
6.4 ΠΡΟΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	99
6.5 ΣΧΕΔΙΑ ΟΡΙΖΟΝΤΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	102
6.6 ΣΧΕΔΙΑ ΜΗΚΟΤΟΜΗΣ	105
6.7 ΣΧΕΔΙΑ ΔΙΑΤΟΜΩΝ.....	108
6.8 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΕ ΦΑΣΕΙΣ.....	113
6.9 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΕΤΕΠ	134
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΑΑΣΗΤΟ	149
7.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	149
7.2 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΑΣΗΤΟ.....	153
7.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΑΣΗΤΟ	156
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	165
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ.....	167

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η κατανόηση βημάτων και η παρουσίαση των διάφορων εργασιών που σχετίζονται με την μελέτη και κατασκευή μιας οδού.

Σκοπός είναι η ολοκλήρωση μελέτης μιας οδού από χάραξη έως την οδοστρωσία και για την επίτευξη στόχων πήραμε την μελέτη, η οποία είναι τοπική οδός και καταγράψαμε την διαδικασία που πρέπει να γίνει. Η τοπική οδός βασίστηκε σε τυπικές διατομές βάσει της εμπειρικής μεθόδου.

Χρησιμοποιώντας σαν παράδειγμα την μελέτη του έργου, διερεύνησα την εμπειρική μέθοδο και για την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας έγινε καταγραφή διαφορών και συμπερασμάτων με τις εμπειρικές μεθόδους σχεδιασμού του οδοστρώματος (AASHTO 1993).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΟΔΩΝ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η ΟΔΟΠΟΙΑ είναι η χάραξη και η κατασκευή των δρόμων και προέρχεται από την αρχαία ελληνική λέξη οδός + ποιία. Σκοπός της οδοποιίας είναι να προσφέρει ασφάλεια, οικονομικότητα στην κατασκευή και λειτουργία.

Η οδοποιία διακρίνεται σε 2 παράγοντες:

- Κυκλοφοριακή μελέτη: Ανάλυση και πρόγνωση όλων των κυκλοφοριακών μεγεθών και των στατιστικών ιδιοτήτων τους.
- Γεωλογική και εδαφοτεχνική μελέτη: Διερεύνηση των εδαφικών χαρακτηριστικών που καθορίζουν και επηρεάζουν στοιχεία της διατομής του οδικού έργου (κλίσεις πρανών, πάχος οδοστρώματος, σύστημα αποστράγγισης κ.λπ.) και τη γενική πορεία της χάραξης της οδού.



Εικόνα 2.1: Οδοποιία

2.2 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΟΔΟΥ

Η οδοποιία αποτελεί ένα από τα κύρια ζητήματα των έργων υποδομής και διαθέτει βασικά χαρακτηριστικά όπως η μελέτη μιας οδού. Υπάρχουν πολλές λύσεις σε ένα οδικό έργο και κρίνεται απαραίτητος ο περιορισμός τους από τα πρώτα στάδια της

μελέτης ώστε να περιορισθούν οι σχετικές δαπάνες της. Ο όγκος των εργασιών που απαιτείται για την ολοκλήρωση της μελέτης της οδού είναι μεγάλος, ιδιαίτερα αν συνδυασθεί με άλλες παράλληλες μελέτες.

Σκοπός της μελέτης είναι ο καθορισμός της θέσης και η γεωμετρία της οδού. Η μελέτη συνεχίζεται με διερεύνηση παραλλαγών εντός της ζώνης διάβασης που προέκυψε από το προηγούμενο στάδιο της αναγνωριστικής μελέτης. Σε κάθε περίπτωση γίνεται συγκριτική αξιολόγηση. Η προμελέτη περιλαμβάνει:

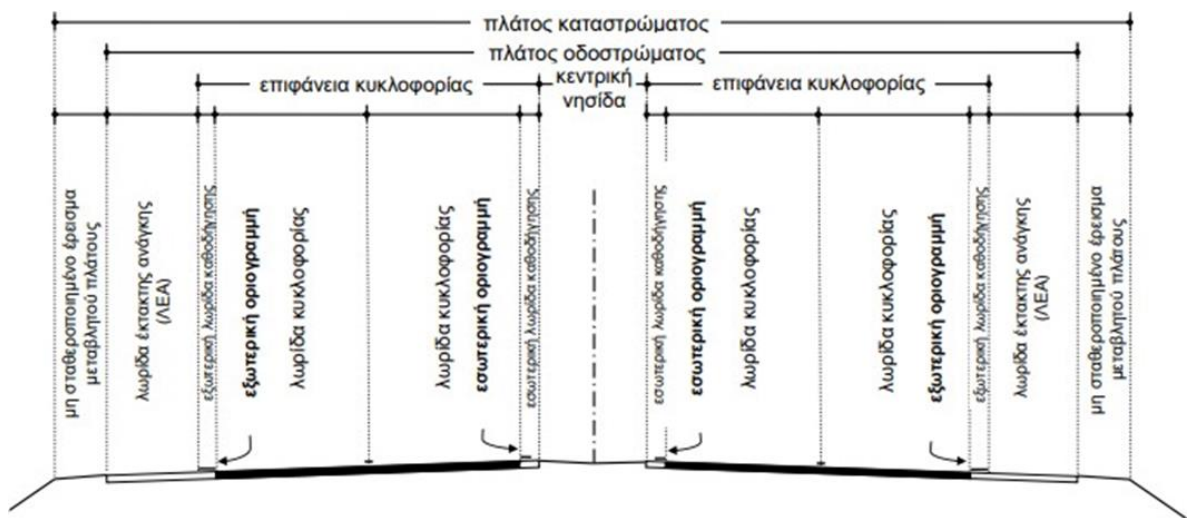
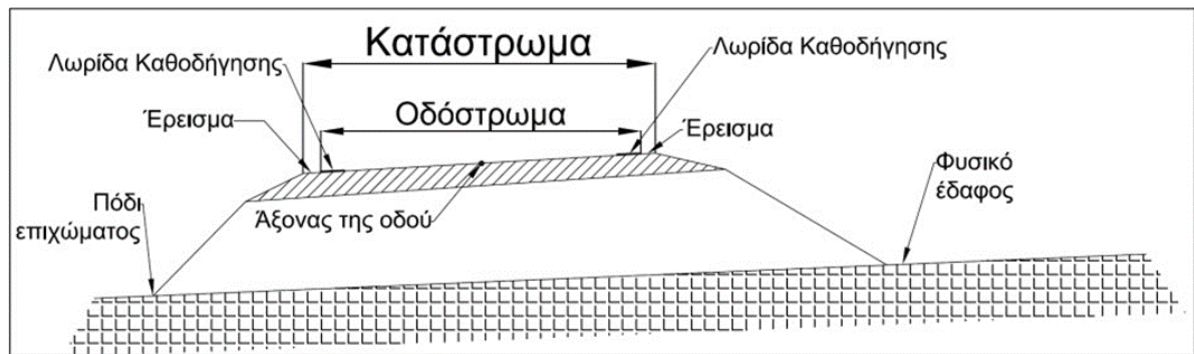
- Τοπογραφικό διάγραμμα στον άξονα της οδού
- Χάραξη Μηκοτομής
- Χάραξη Οριζοντιογραφίας
- Διατομές
- Προμετρήσεις και προϋπολογισμός
- Τεχνική έκθεση
- Άλλα βοηθητικά/επεξηγηματικά στοιχεία

2.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΟΔΟΥ

Ένας δρόμος αποτελείται από τα εξής χαρακτηριστικά:

- ✓ Οδός: Το τεχνικό έργο που έχει σκοπό την ασφαλή, ταχεία, οικονομική και άνετη κυκλοφορία των οχημάτων.
- ✓ Άξονας οδού: Η χωρική καμπύλη που καθορίζει τη θέση της οδού. Συμπίπτει γενικά με τη μέση γραμμή του καταστρώματος της οδού.
- ✓ Πρανές ορύγματος (επιχώματος): Η κεκλιμένη επιφάνεια των ορυγμάτων (επιχωμάτων).
- ✓ Τάφρος: Ο χώρος που διαμορφώνεται για την απορροή των όμβριων υδάτων από την οδό.
- ✓ Πλάτος κατάληψης: Η οριζόντια απόσταση που ορίζεται από τις τομές του φυσικού εδάφους με τα πρανή της οδού.
- ✓ Πλάτος απαλλοτρίωσης: Η οριζόντια απόσταση μεταξύ των ορίων απαλλοτρίωσης. Περιλαμβάνει το εύρος κατάληψης της οδού και ελεύθερο χώρο, και καθορίζει τα όρια της ιδιοκτησίας στο οδικό έργο.

- ✓ Ζώνη κατάληψης οδού: Η περιοχή του εδάφους που ορίζεται από το πλάτος κατάληψης της οδού.
- ✓ Ζώνη απαλλοτρίωσης οδού: Η περιοχή του εδάφους που ορίζεται από το πλάτος απαλλοτρίωσης της οδού.
- ✓ Μη σταθεροποιημένο έρεισμα: Ορίζεται από το άκρο του οδοστρώματος μέχρι τη στέψη των πρανών επιχωμάτων ή τη στέψη των τάφρων απορροής ομβρίων. Συνήθως δεν είναι ασφαλτοστρωμένο και χρησιμεύει για την τοποθέτηση στηθαίων ασφαλείας, πινακίδων σήμανσης, για εργασίες συντήρησης της οδού.
- ✓ Οδόστρωμα: Η επιφάνεια της οδού που καταλαμβάνουν οι λωρίδες κυκλοφορίας (κύριες και πρόσθετες), οι λωρίδες καθοδήγησης, η κεντρική νησίδα και οι λωρίδες έκτακτης ανάγκης. Η λέξη «οδόστρωμα» αναφέρεται και στο αντίστοιχο σώμα της οδού (π.χ. πάχος οδοστρώματος).
- ✓ Κατάστρωμα: Η επιφάνεια της οδού που ορίζεται από το οδόστρωμα και τα μη σταθεροποιημένα ερείσματα.
- ✓ Λωρίδα Κυκλοφορίας: Η επιφάνεια της οδού που είναι απαραίτητη για την ασφαλή κυκλοφορία ενός οχήματος. Διακρίνεται σε «κύρια», δηλαδή λωρίδα κανονικής κυκλοφορίας και σε «πρόσθετη» που εξυπηρετεί ανάγκες αριστερής/δεξιάς στροφής ή βραδυπορείας.
- ✓ Λωρίδα έκτακτης ανάγκης (Λ.Ε.Α.) - Σταθεροποιημένο έρεισμα: Η Λ.Ε.Α. είναι η λωρίδα που εξυπηρετεί έκτακτες ανάγκες στάσης των οχημάτων ή τη δυνατότητα ελιγμών παράκαμψης από οχήματα επείγουσας ανάγκης (ασθενοφόρα, αστυνομικά, κ.λπ.) σε περιπτώσεις κυκλοφοριακής συμφόρησης. Η συνεχής κίνηση επί της ΛΕΑ απαγορεύεται για κάθε είδους όχημα.
- ✓ Λωρίδες καθοδήγησης (εσωτερική - εξωτερική): Λωρίδες παρά τις λωρίδες κυκλοφορίας επί των οποίων κατασκευάζεται η οριζόντια διαγράμμιση. Η επιφάνεια που απομένει χρησιμεύει ως επιπλέον ασφαλική λωρίδα. Όταν υπάρχει, παραπλεύρως της λωρίδας καθοδήγησης, λωρίδα έκτακτης ανάγκης, (Λ.Ε.Α.), τότε το πλάτος της λωρίδας καθοδήγησης ταυτίζεται με το πλάτος της οριζόντιας διαγράμμισης.



Εικόνα 2.2: Σχεδιαγράμματα Οδοποιίας

2.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΟΔΟΥ

- Αγροτικός, επαρχιακός, εθνικός, κλπ. Συνήθως ορίζεται από τον Κύριο του Έργου (ΚτΕ).
- Η επιλογή της κατηγορίας οδού προκύπτει από συστηματικές, χρονοβόρες και δαπανηρές μελέτες.
- Ανάγκη για τη δημιουργία οδού: τοπικές κοινωνίες → αρμόδιες αρχές (Δήμος, Νομαρχία, Περιφέρεια, Υπουργείο) → ανάθεση Μελέτης Σκοπιμότητας και Μελέτης Οικονομοτεχνικής Ανάλυσης.
- Βασίζονται σε πληθυσμιακά, κοινωνικά και αναπτυξιακά δεδομένα, απασχόληση, δραστηριότητες κλπ.

- Μελέτες μεταφορών και κυκλοφοριακές μελέτες → αναμενόμενοι κυκλοφοριακοί φόρτοι.
- Κυκλοφοριακός φόρτος, επίπεδο εξυπηρέτησης και επιθυμητή ταχύτητα → λειτουργική κατάταξη οδού.
- ΟΜΟΕ-Χ (Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων).



Εικόνα 2.3: Οδοποιία

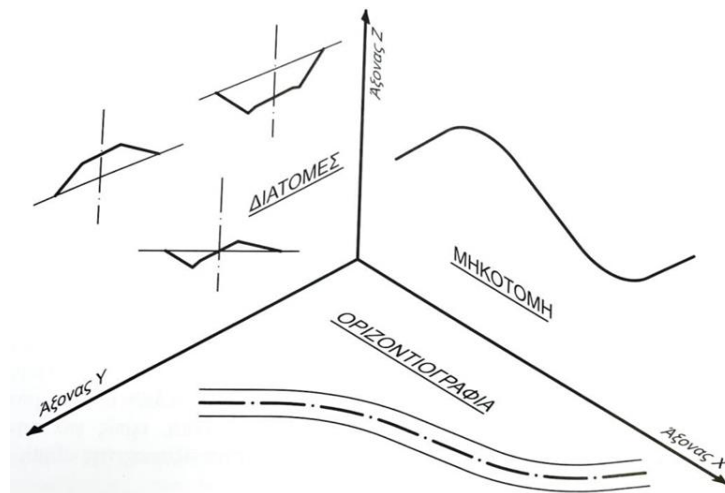
2.5 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΧΑΡΑΞΗ – ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΟΔΟΥ

Η απεικόνιση της οδού είναι οι προβολές της οδού σε 3 επίπεδα: XY, XZ, YZ.

Στο επίπεδο XY είναι η Οριζοντιογραφία.

Στο επίπεδο XZ είναι η Μηκοτομή.

Στο επίπεδο YZ είναι οι Διατομές.



Εικόνα 2.4: Απεικόνιση της οδού

Η γεωμετρική χάραξη ενός δρόμου αποτελείται:

- Χάραξη Οδού
- Χάραξη Οριζοντιογραφίας
- Χάραξη Μηκοτομής

2.5.1 Χάραξη Οδού

Η χάραξη της οδού, δηλαδή ο γεωμετρικός σχεδιασμός της οδού, πρέπει να επιτυγχάνει τους στόχους που θέτουν οι κανονισμοί χάραξης των οδών. Βασική αρχή στο σχεδιασμό των οδών είναι ότι η χάραξη μιας οδού, σε βάθος χρόνου 20 ετών, θα εξυπηρετεί την προβλεπόμενη ζήτηση (κυκλοφοριακός φόρτος) με το επιθυμητό επίπεδο εξυπηρέτησης και ασφάλειας.

Ο προσδιορισμός μιας συμφέρουσας συμβιβαστικής λύσης μεταξύ του κόστους κατασκευής και συντήρησης της οδού και του κόστους μετακίνησης αποτελεί αντικείμενο της διεργασίας για τον εντοπισμό μιας αποδεκτής και με όρους περιβαλλοντικής επίπτωσης χάραξης μιας οδού.

Η επιλογή της χάραξης μιας οδού είναι μια απαιτητική και σύνθετη διαδικασία η οποία απαιτεί την ταυτόχρονη θεώρηση παραμέτρων που περιλαμβάνουν την φυσική

υπόσταση της οδού, την λειτουργία της, το περιβάλλον από το οποίο διέρχεται και την οικονομική διάσταση του έργου.

Η γενική πορεία της χάραξης καθορίζεται:

- Από τη μορφολογία της περιοχής. Υπάρχουν χαρακτηριστικά σημεία από τα οποία πρέπει να περάσει η χάραξη, όπως αυχένες, κατάλληλες θέσεις διέλευσης ποταμών κλπ., ενώ αντίθετα απότομες πλαγιές, λίμνες, βάλτοι, αρχαιολογικοί χώροι κλπ. συνιστούν περιοχές από τις οποίες δεν πρέπει να περάσει η οδός.
- Από γεωλογικούς παράγοντες. Οι σταθερές ζώνες εδάφους που πρέπει να προτιμηθούν αντί των πλαγιών που κατολισθαίνουν.
- Από τα φυσικά χαρακτηριστικά των περιοχών κυρίως αυτών που έχουν σχέση με τις καιρικές συνθήκες.

«Κατασκευάστηκαν» 2 ομάδες σημείων από τα οποία θα πρέπει να περάσει ή να αποφύγει η χάραξη:

- Τα υποχρεωτικά σημεία που ορίζονται από τον χωροταξικό και τον πολεοδομικό σχεδιασμό του δικτύου των μεταφορών (π.χ. οικισμός, βιομηχανική ζώνη).
- Τα υποχρεωτικά σημεία που καθορίζουν οι διάφοροι μορφολογικοί και γεωκλιματικοί παράγοντες.

Βασικές παράμετροι για τον ορθό γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών είναι:

- Η ελάχιστη επιτρεπόμενη ακτίνα των οριζοντίων καμπυλών
- Η μέγιστη και η ελάχιστη επιτρεπόμενη κατά μήκος κλίση
- Οι ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτινών των κατακόρυφων κυρτών και κοίλων συναρμογών
- Η μέγιστη επιτρεπόμενη επίκλιση στις οριζόντιες καμπύλες
- Το ελάχιστο επιτρεπόμενο μήκος ορατότητας για στάση και για προσπέραση

Ο γεωμετρικός σχεδιασμός της οδού γίνεται πάνω σε κατάλληλο τοπογραφικό υπόβαθρο, δηλαδή σε τοπογραφικό διάγραμμα – χάρτη κατάλληλης κλίμακας, όπως ορίζει η κείμενη νομοθεσία (Π.Δ. 696/1974).

Βασική προϋπόθεση για τον επιτυχή γεωμετρικό σχεδιασμό μιας οδού είναι η λεπτομερής ανάγνωση και η αναγνώριση της μορφολογίας του εδάφους από το οποίο θα διέλθει η οδός και η οποία γίνεται μέσω του κατάλληλου τοπογραφικού διαγράμματος.

Η διάταξη των ισοϋψών γραμμών του τοπογραφικού διαγράμματος περιγράφει με σαφήνεια τη μορφολογία του εδάφους. Η πυκνότητα των ισοϋψών γραμμών, όπως αυτή εκφράζεται με την ισοδιάσταση του διαγράμματος, ορίζει και τη λεπτομέρεια της πληροφορίας που μπορεί να αντληθεί από το χάρτη.

Οι περιπτώσεις που συναντάμε σε μια χάραξη της οδού είναι οι εξής:

- Πλαγιά: Οι ισοϋψείς εμφανίζονται παράλληλα μεταξύ τους. Ο βαθμός πύκνωσης των ισοϋψών υποδηλώνει και την ύπαρξη μικρής ή μεγάλης εγκάρσιας κλίσης του εδάφους.
- Κορυφή ή κοίλωμα: Οι ισοϋψείς εμφανίζονται σε κλειστά καμπύλα περιγράμματα.
- Αυχένιας: Θέση μεταξύ διαδοχικών κορυφών.
- Χαράδρωση ή ράχη: Οι ισοϋψείς συγκλίνουν προς μία κορυφή. Όταν η σύγκλιση γίνεται με αύξουσα τιμή των υψομέτρων πρόκειται για χαράδρωση.
- Κοιλιάδα: Μεταξύ δύο πλαγιών και στο χαμηλό τμήμα αυτών δημιουργείται κοιλάδα.

Κεντρικός στόχος του σχεδιασμού των οδών είναι η εξυπηρέτηση της ζήτησης για κυκλοφορία οχημάτων και πεζών με όρους επιθυμητής ποιότητας. Για να μπορέσει μια οδός να ανταποκριθεί στους επιθυμητούς στόχους εξυπηρέτησης της κυκλοφορίας είναι απαραίτητο η χάραξη να ικανοποιεί τις βασικές τιμές παραμέτρων σχεδιασμού οι οποίες καθορίζονται από τους εκάστοτε κανονισμούς μιας χώρας.

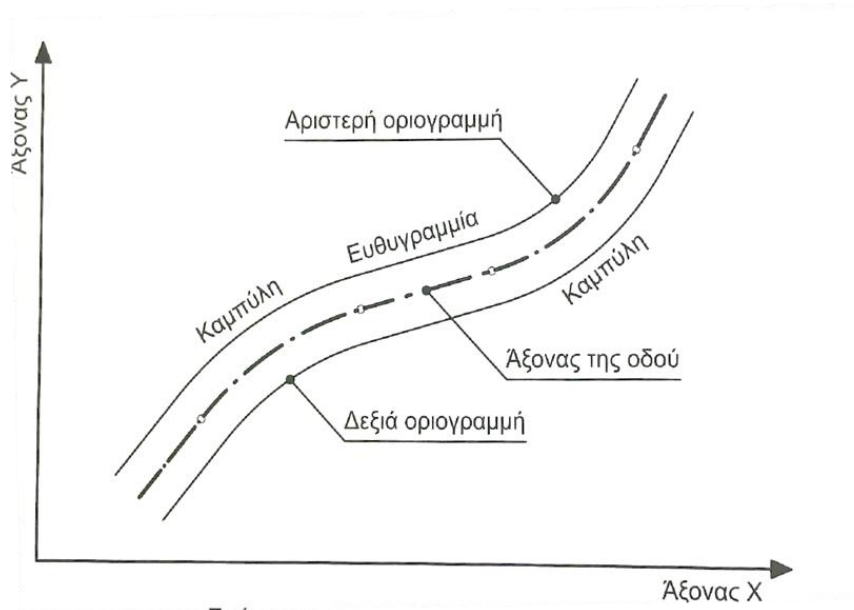
Για το σχεδιασμό υπεραστικών οδών, οι τοπογραφικές συνθήκες μιας περιοχής διαχωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- Πεδινό
- Ημιορεινό
- Ορεινό έδαφος

Το πεδινό έδαφος είναι σχετικά επίπεδο και μπορούν να επιτευχθούν μεγάλα μήκη ορατότητας τόσο σε οριζοντιογραφία όσο και μηκοτομή, χωρίς σημαντικές επιβαρύνσεις στα τεχνικά χαρακτηριστικά και το κόστος της οδού. Στο ημιορεινό έδαφος οι φυσικές κλίσεις του εδάφους βρίσκονται επάνω ή κάτω από την κλίση της οδού ενώ περιστασιακά απότομες κλίσεις θέτουν περιορισμούς στη χάραξη σε οριζοντιογραφία και σε μηκοτομή. Οι ταχύτητες των βαρέων οχημάτων μειώνονται σε σχέση με αυτές των επιβατικών σε μεγάλες κατά μήκος κλίσεις. Το ορεινό έδαφος παρουσιάζει έντονες αλλαγές στις κλίσεις του εδάφους τόσο κατά μήκος όσο και εγκάρσια στην οδό. Απαιτείται η κατασκευή επιχωμάτων και ορυγμάτων προκειμένου ο σχεδιασμός της οδού να είναι αποδεκτός τόσο σε οριζοντιογραφία όσο και σε μηκοτομή. Οι ταχύτητες των βαρέων οχημάτων μειώνονται σημαντικά σε σχέση με αυτές των επιβατικών στις κατά μήκος κλίσεις και σε κάποιες από αυτές μπορεί να αντιμετωπίζουν έντονα προβλήματα στην κίνησή τους.

2.5.2 Οριζοντιογραφία

Η Οριζοντιογραφία βρίσκεται στο επίπεδο XY και είναι η κατακόρυφη προβολή στο οριζόντιο επίπεδο (αυτό που βλέπουμε από ψηλά). Ο δρόμος αποτελείται από μια αλληλουχία ευθύγραμμων και καμπύλων τμημάτων. Διαθέτει τον άξονα οδού και 2 οριογραμμές της ασφάλτου. Κατά τη μελέτη της οριζοντιογραφίας χρησιμοποιείται ο άξονα της οδού.



Εικόνα 2.5: Οριζοντιογραφία

Η χάραξη της οδού σε οριζόντιο επίπεδο αποτελεί το πρώτο βήμα στη διαδικασία του γεωμετρικού σχεδιασμού των οδών. Με τη χάραξη της πολυγωνικής της οδού στο τοπογραφικό διάγραμμα τοποθετείται ο άξονας της υπό σχεδιασμό οδού στην οριζοντιογραφία.

Τα στοιχεία μελέτης κατά την οριζοντιογραφία είναι τα εξής:

- Ευθυγραμμία
- Κυκλικό τόξο
- Καμπύλη συναρμογής μεταξύ ευθείας και κυκλικού τόξου

Για την υλοποίηση της οριζοντιογραφίας ορίζονται:

- Η κατηγορία της οδού
- Η διατομή της οδού
- Η ταχύτητα μελέτης
- Η μορφολογία του εδάφους

- Οι οριακές / επιτρεπόμενες τιμές των παραμέτρων της οδού όπως αυτές ορίζονται από τις ισχύουσες οδηγίες χάραξης των οδών (π.χ. Ελλάδα – ΟΜΟΕ).

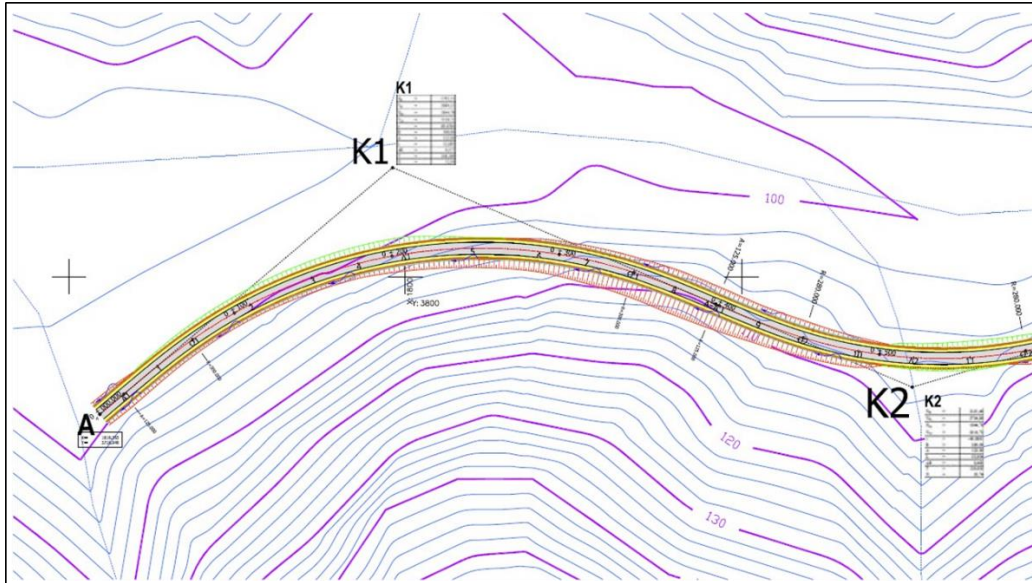
Βασικός κανόνας για την επιλογή και την τοποθέτηση μιας οριζόντιας καμπύλης σε πολυγωνική γωνία είναι η προσαρμογή της στην ισοκλινή και κατά συνέπεια στο φυσικό έδαφος με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Κάθε απόκλιση από την ισοκλινή συνεπάγεται τη δημιουργία χωματισμών ή την ανάγκη για την κατασκευή τεχνικών έργων όπως γέφυρες, σήραγγες, κ.λπ.

Διακρίνονται 2 διακριτές περιπτώσεις για τη διαδικασία τοποθέτησης των οριζοντίων καμπυλών στην οριζοντιογραφία:

- Τοποθέτηση των καμπυλών στις θέσεις όπου η ισοκλινής παρουσιάζει σαφή αλλαγή κατεύθυνσης πριν από την τοποθέτηση των ευθυγραμμίων της πολυγωνικής.
- Τοποθέτηση των καμπυλών στις γωνίες της ήδη σχεδιασμένης πολυγωνικής.

Στην τοποθέτηση των καμπυλών, στις θέσεις όπου η ισοκλινής παρουσιάζει αλλαγή κατεύθυνσης, παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι επιτυγχάνεται καλύτερα χωρίς κανένα περιορισμό, η προσαρμογή της καμπύλης στην ισοκλινή και στο φυσικό έδαφος. Αντίθετα στην τοποθέτηση καμπυλών στις ήδη υπάρχουσες γωνίες υπάρχει βαθμός ελευθερίας για την καλύτερη τοποθέτηση των ευθυγραμμίων.

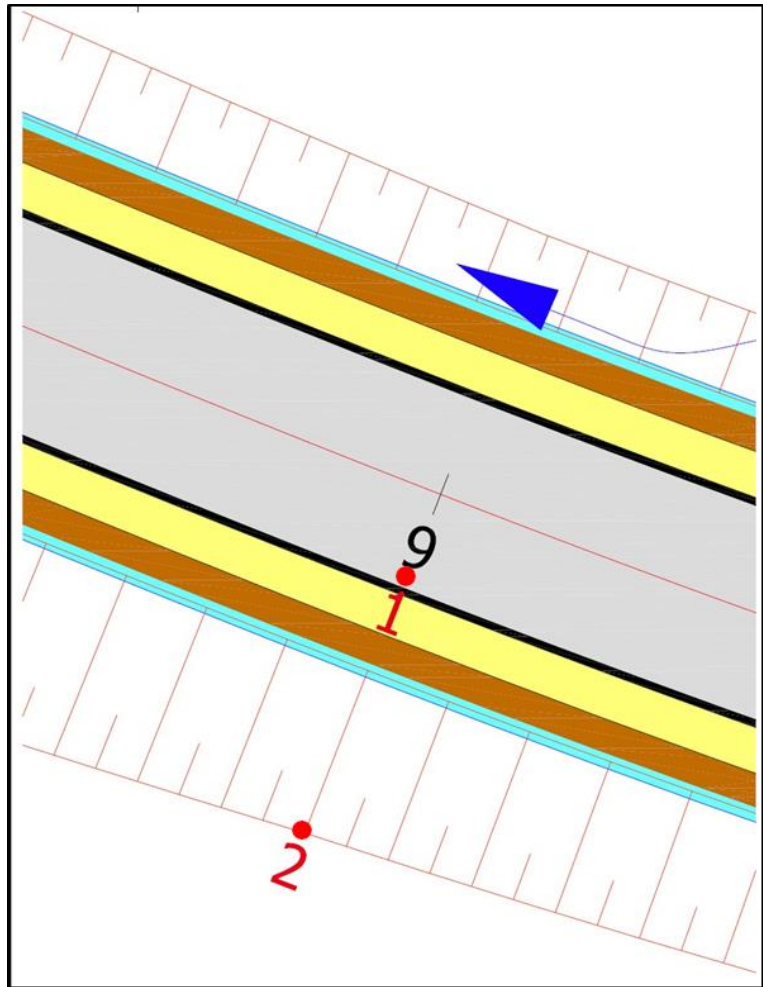
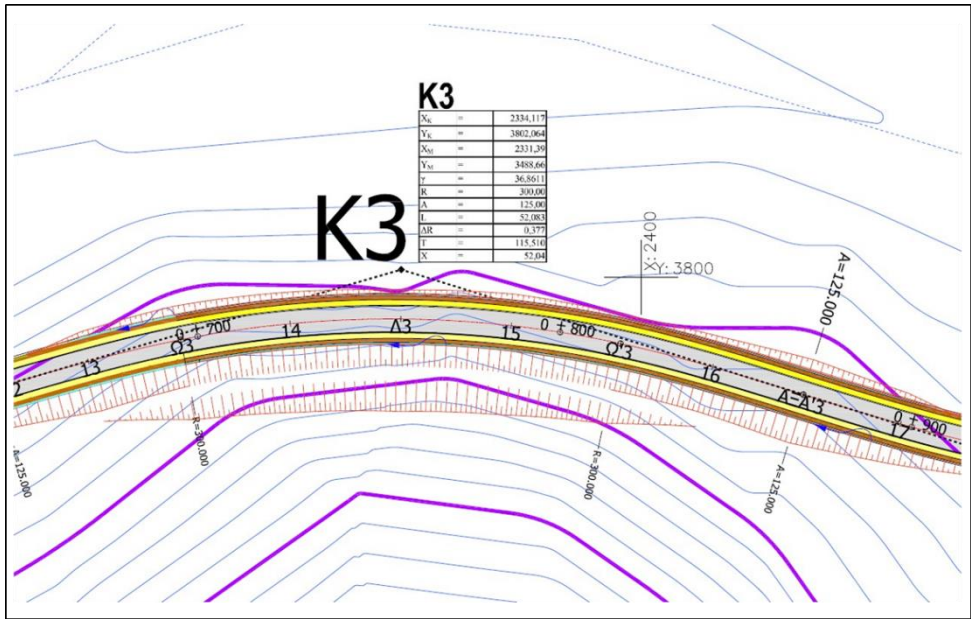
Η επιλογή της μορφής της οριζόντιας καμπύλης γίνεται από τον μελετητή και εξαρτάται από τη γεωμετρία της πολυγωνικής, τη μορφολογία του εδάφους, τις απαιτήσεις της δυναμικής της κίνησης για την κατηγορία που ανήκει η οδός καθώς και οι απαιτήσεις της αισθητικής της οδού.



Εικόνα 2.6: Οριζοντιογραφία

Το σχέδιο της οριζοντιογραφίας περιλαμβάνει:

- Τον άξονα της οδού ο οποίος συμβολίζεται με συνεχή ή διακεκομμένη γραμμή (παύλα-τελεία). Στον άξονα σημειώνονται όλες οι διατομές της οδού και η ακέραιη χιλιομέτρηση της οδού.
- Τοποθετείται το πλάτος του οδοστρώματος (λωρίδα κυκλοφορίας και λωρίδα καθοδήγησης) και οι οριογραμμές του (δεξιά και αριστερά).
- Εξωτερικά των οριογραμμών του οδοστρώματος σχεδιάζονται τα ερείσματα, τα όρια των οποίων συμβολίζονται με συνεχείς γραμμές. Με το σχεδιασμό των ερεισμάτων ορίζεται πλέον η επιφάνεια του καταστρώματος.
- Εξωτερικά των ερεισμάτων σχεδιάζονται τα υπόλοιπα στοιχεία της διατομής (ορύγματα, επιχώματα, τάφρος).



Εικόνα 2.7: Λεπτομέρειες Οριζοντιογραφίας

Για την επιτυχημένη χάραξη της οριζοντιογραφίας της οδού πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι παρακάτω επισημάνσεις:

- Οι χαράξεις με καμπυλότητα που προσαρμόζονται καλύτερα στο φυσικό έδαφος είναι προτιμότερες από τις πολύ ανοιχτές χαράξεις με κριτήρια οικονομίας, περιβάλλοντος και ασφάλειας.
- Οι ευθυγραμμίες με μεγάλο μήκος και σταθερή κλίση είναι μονότονες και κουραστικές για τον οδηγό. Προτρέπουν στην ανάπτυξη μεγάλων ταχυτήτων και δημιουργούν προβλήματα θάμβωσης από τα φώτα των αντίθετα κινούμενων οχημάτων στη διάρκεια της νύχτας.
- Η ασαφής εντύπωση που προκαλείται στον οδηγό από ευθυγραμμίες μεγάλου μήκους μπορεί να διορθωθεί στις πεδινές περιοχές με τη χρήση οριζόντιων καμπυλών μεγάλης ακτίνας. Στις ορεινές περιοχές μπορεί να διορθωθεί με τη χρήση κοίλων μεγάλης ακτίνας.
- Σε τμήματα της οδού με υψηλά επιχώματα που αναπτύσσονται σε μεγάλο μήκος πρέπει να αποφεύγεται η τοποθέτηση χαράξεων με οριακή γεωμετρία και απότομες εναλλαγές, αφού δεν υπάρχουν στον παρόδιο χώρο φυσικά ή δομικά στοιχεία που επιτρέπουν στον οδηγό να αντιληφθεί τη διαμόρφωση της γεωμετρίας.
- Ιδιαίτερη σημασία έχει η διασφάλιση ομαλής αλληλουχίας των στοιχείων της οριζοντιογραφίας έτσι ώστε να διασφαλίζεται η αρμονία στην οδήγηση (Κριτήρια Ασφαλείας I & II).

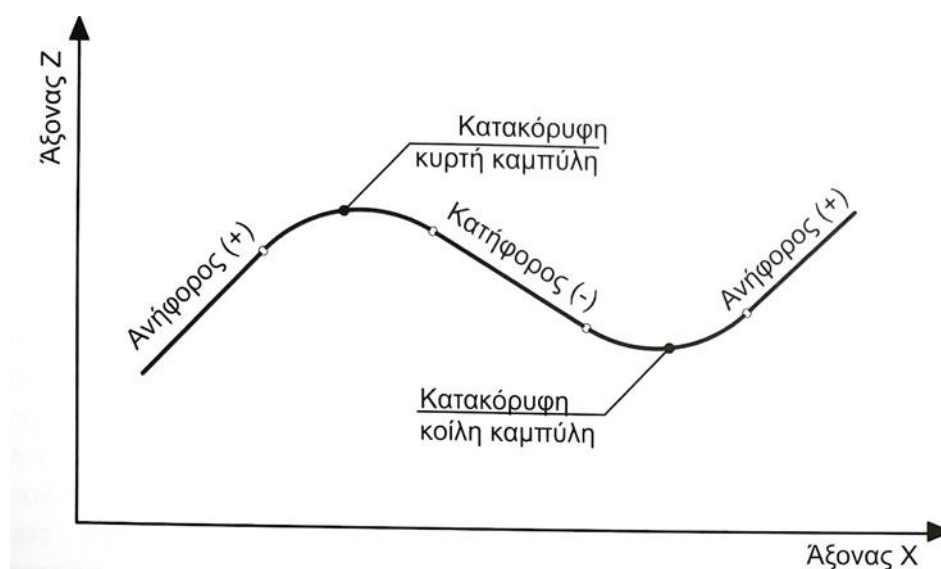
Κλωθοειδής καμπύλη είναι η καμπύλη η οποία έχει την ιδιότητα η καμπυλότητα σε κάθε σημείο να αυξάνει αναλογικά με το μήκος. Η επιλογή κλωθοειδούς καμπύλης:

- Κριτήριο δυναμικής της κυκλοφορίας
- Κριτήριο μεταβολής της κλίσης των οριογραμμών
- Κριτήριο οπτικής αντίληψης
- Κριτήριο ασφάλειας της κυκλοφορίας
- Συνδυασμός κριτηρίων

2.5.3 Μηκοτομή

Η Μηκοτομή βρίσκεται στο επίπεδο XZ και είναι η πλάγια προβολή της οδού στο κατακόρυφο επίπεδο (μόνο τον άξονα της οδού). Αποτελεί μια αλληλουχία ευθύγραμμων και καμπύλων τμημάτων. Διαθέτει ανηφόρες – κατηφόρες και κατακόρυφες καμπύλες. Οι κατακόρυφες καμπύλες χωρίζονται σε:

- Κυρτές κατακόρυφες καμπύλες (κοίλα προς τα κάτω)
- Κοίλες κατακόρυφες καμπύλες (κοίλα προς τα πάνω)



Εικόνα 2.8: Μηκοτομή

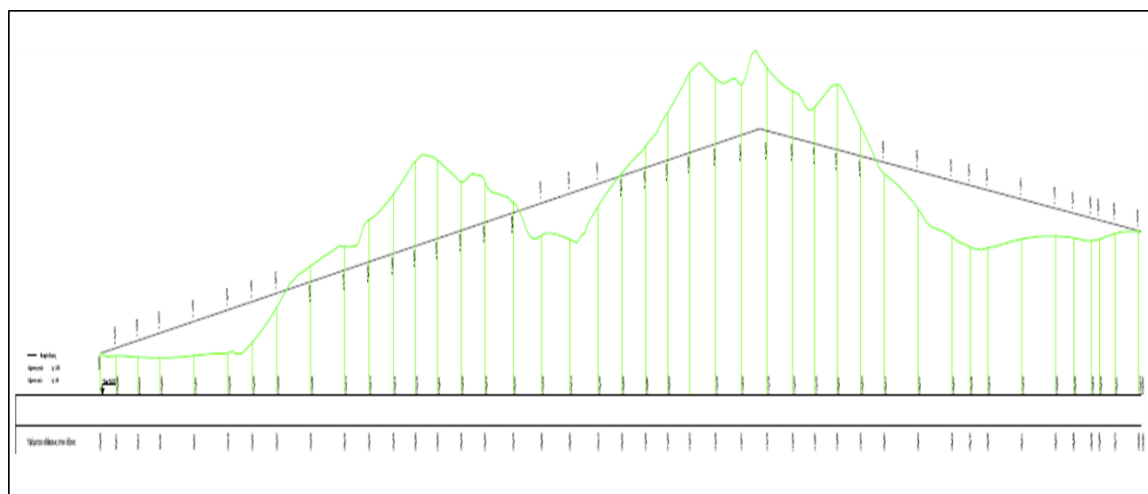
Η χάραξη σε μηκοτομή είναι η μελέτη στον άξονα της οδού. Λόγω των μικρών υψομετρικών διαφορών, σε σχέση με το μήκος της οδού, η μηκοτομή κατασκευάζεται σε στρεβλή κλίμακα. Η κλίμακα μηκών (άξονας X) είναι κατά κανόνα ίδια με αυτής της οριζοντιογραφίας, ενώ η κλίμακα υψών (άξονας Z) είναι δεκαπλάσια.

Στο διάγραμμα της μηκοτομής απεικονίζονται:

- Τα υψόμετρα του εδάφους κατά μήκος του άξονα της οδού.
- Τα υψόμετρα του άξονα της οδού – ερυθρά της οδού.

Για την κατασκευή του διαγράμματος της μηκοτομής απαιτείται η τοποθέτηση των διατομών στον άξονα της οδού. Ως διατομές ορίζονται σημεία του άξονα της οδού

μέσω των οποίων αποδίδεται το ανάγλυφο του εδάφους κατά μήκος του άξονα της οδού και η διαμόρφωση του άξονα της οδού υψομετρικά.



Εικόνα 2.9: Μηκοτομή

2.5.4 Ερυθρά

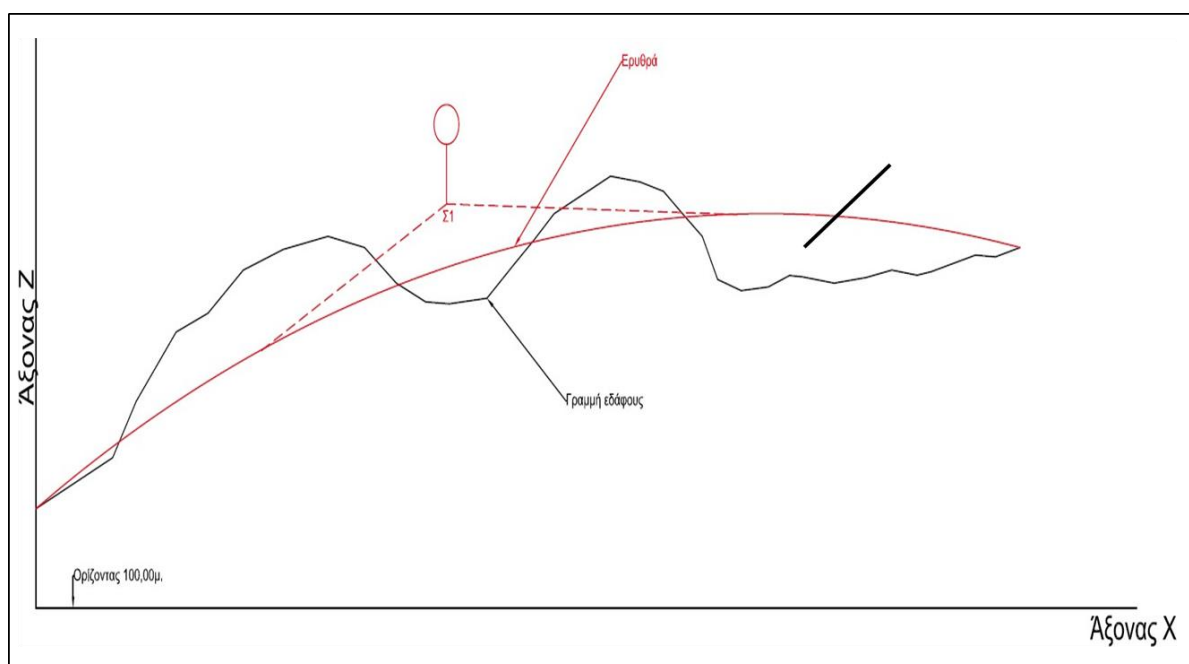
Αφού έχει σχεδιαστεί η τομή του εδάφους, στην Εικόνα 2.9, παρατηρούμε πως η γραμμή (πράσινη γραμμή) παρουσιάζει αρκετά ανεβο-κατεβάσματα και φυσικές ανωμαλίες, επομένως δεν μπορεί να κινηθεί όχημα επάνω σε αυτήν. Θα πρέπει με κάποιο τρόπο να την «ευθυγραμμίσουμε», να δημιουργηθεί μια πολυγωνική γραμμή. Η πολυγωνική γραμμή ονομάζεται ερυθρά της οδού (μπλε γραμμή).

Η ερυθρά είναι μια πολυγωνική γραμμή σε ένα κατακόρυφο επίπεδο, η οποία δημιουργεί πλευρές και κορυφές. Τις θέσεις των κορυφών, εκεί που η ερυθρά έχει θλάση, τις ονομάζουμε σημαίες.

Η τοποθέτηση της ερυθράς στο διάγραμμα της μηκοτομής είναι μια ιδιαίτερα σημαντική εργασία αφού καθορίζει τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά την οδό με λειτουργικούς και οικονομικούς όρους. Απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή και εμπειρία από τον μελετητή. Το κόστος των χωματουργικών εργασιών αντιστοιχεί στο 20% - 35% του συνολικού κόστους κατασκευής μίας υπεραστικής οδού.

Τα κριτήρια για τη χάραξη της ερυθράς είναι:

- Μέγιστη κατά μήκος κλίση
- Ελάχιστη κατά μήκος κλίση
- Ελάχιστη ακτίνα κυρτής κατακόρυφης συναρμογής
- Ελάχιστη ακτίνα κοίλης κατακόρυφης συναρμογής
- Ελαχιστοποίηση των χωματουργικών
- Εξισορρόπηση των χωματουργικών



Εικόνα 2.10: Χάραξη ερυθράς

Όπως στην χάραξη της οριζοντιογραφίας, έτσι και στη χάραξη της ερυθράς της οδού πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η ύπαρξη τυχόν υποχρεωτικών σημείων διέλευσης της ερυθράς. Ως υποχρεωτικά σημεία ορίζονται:

- Υπάρχουσα οδός ή σιδηροδρομική γραμμή με την οποία η υπό μελέτη οδός διασταυρώνεται ισόπεδα ή ανισόπεδα.
- Ποταμοί και ρέματα από όπου η οδός πρέπει να διέλθει με υψηλό επίχωμα και τεχνικό έργο ή με γέφυρα.

Η γραμμή που αν την ακολουθούσε η οριζοντιογραφία, η μηκοτομή της θα συνέπιπτε με το έδαφος, άρα μηδενικά χωματουργικά. Αυτό το «φαινόμενο» ονομάζεται μηδενική γραμμή.

Στάθμη των χωματουργικών -> αν από την ερυθρά αφαιρεθεί το πάχος του οδοστρώματος.

Η μελέτη της οριζοντιογραφίας σε συνδυασμό με τη μηκοτομή αποτελεί ένα αποφασιστικό βήμα για την οριστικοποίηση της χάραξης της οδού. Η συνδυαστική μελέτη οριζοντιογραφίας και μηκοτομής πραγματοποιείται για 2 λόγους:

- Την ελαχιστοποίηση του κόστους των χωματουργικών εργασιών για την κατασκευή της οδού.
- Τη δημιουργία μιας χάραξης που θα διασφαλίζει ασφάλεια, άνεση και οικονομία για το χρήστη της οδού.

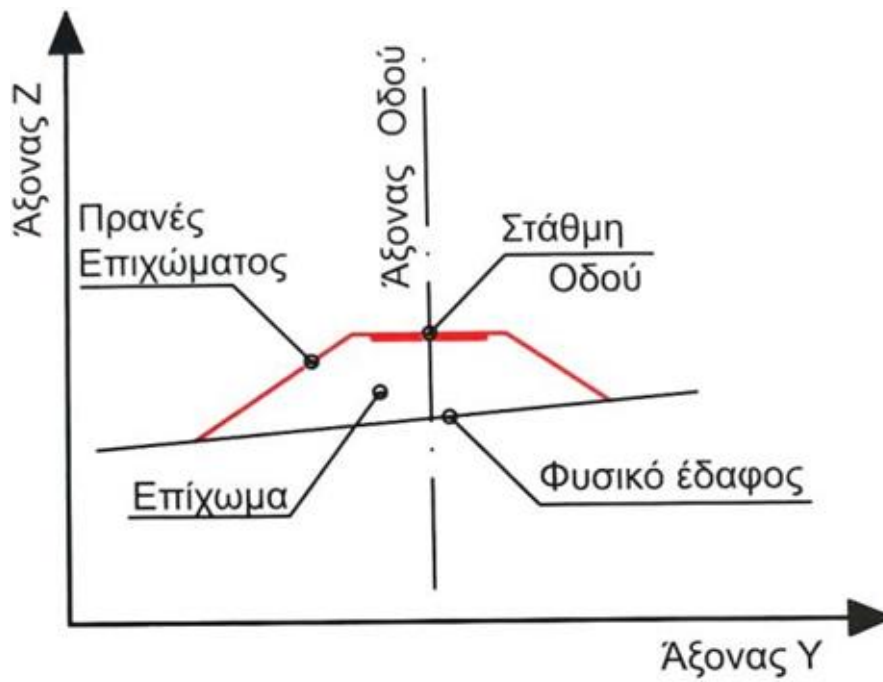
2.5.5 Διατομές

Η διατομή βρίσκεται στο επίπεδο YZ και είναι η προβολή μιας τομής της οδού, κάθετα προς τον άξονά της, στο κατακόρυφο επίπεδο. Κόβουμε τον δρόμο κάθετα προς τον άξονά του και προβάλλουμε την τομή που προκύπτει.

Σκοπός των διατομών είναι ο έλεγχος της χάραξης που έχουμε κάνει οριζοντιογραφικά και υψομετρικά. Η διατομή μας δίνει μια πλήρη εικόνα για το πως έχει τοποθετηθεί ο δρόμος σε σχέση με το έδαφος.

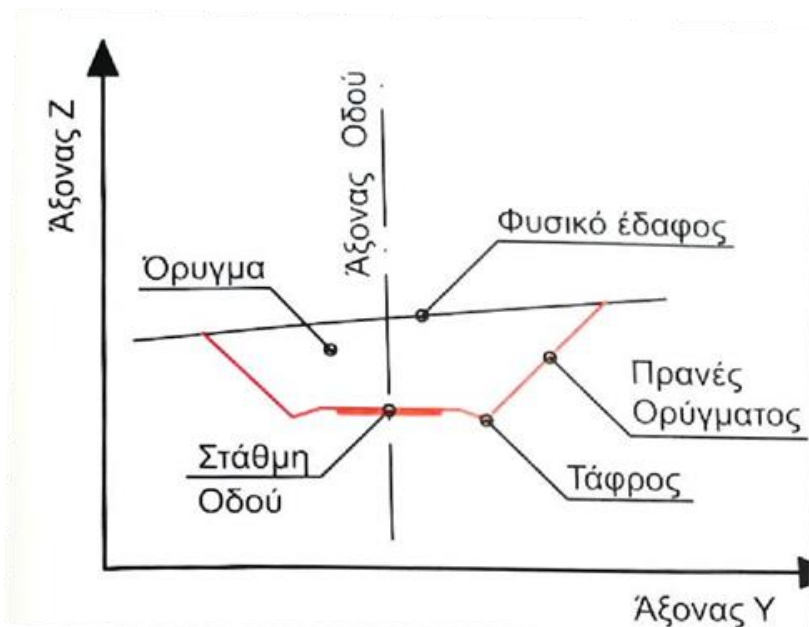
Η τομή διαθέτει επίχωμα, όρυγμα και μικτή διατομή.

Επίχωμα: Όταν η στάθμη της οδού είναι ψηλότερα από το φυσικό έδαφος, πρέπει να τοποθετηθεί χώμα για να φτάσουμε στην επιθυμητή στάθμη. Στα εκατέρωθεν κεκλιμένα τμήματα έχουμε πρανή.



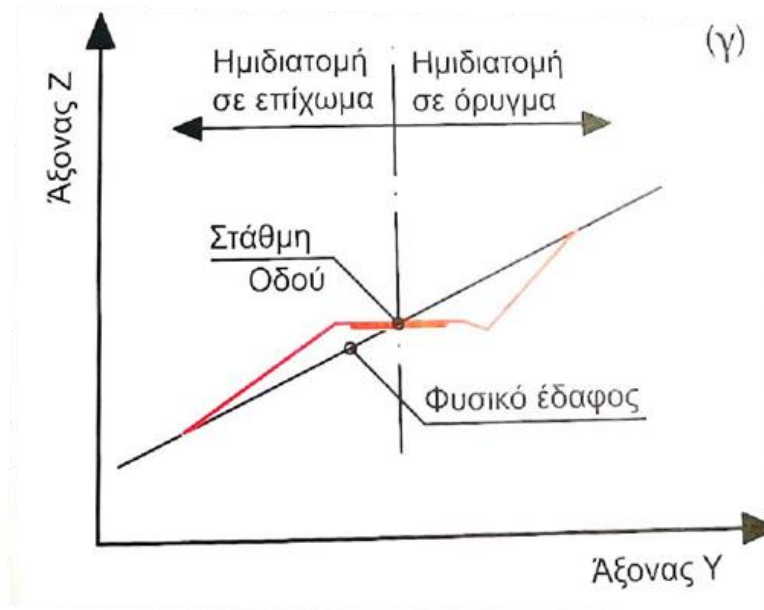
Εικόνα 2.11: Επίχωμα

Ορύγμα: Όταν η στάθμη της οδού είναι χαμηλότερα από το φυσικό έδαφος, πρέπει να αφαιρεθεί χώμα για να φτάσουμε στην επιθυμητή στάθμη. Στα εκατέρωθεν κεκλιμένα τμήματα έχουμε πρανή ορύγματος.



Εικόνα 2.12: Ορύγμα

Μικτή διατομή: Στην περίπτωση επικλινών εδαφών υπάρχει περίπτωση το ένα μέρος της οδού να βρίσκεται πάνω από το έδαφος και το άλλο κάτω.



Εικόνα 2.13: Μικτή διατομή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το *οδόστρωμα* αποτελεί το σύνολο των επαλλήλων στρώσεων που είναι τοποθετημένες πάνω από το φυσικό έδαφος για τη δημιουργία της οδού. Είναι μια σύνθετη κατασκευή που έχει να επιτελέσει διάφορες λειτουργίες, οι οποίες είναι ανόμοιες μεταξύ τους.

Σκοπός του οδοστρώματος είναι η παραλαβή των φορτίων της κυκλοφορίας και να τα καταναίμει στο υπέδαφος. Βασική επιδίωξη είναι οι μεταβιβαζόμενες στο υπέδαφος τάσεις να μειώνονται σε τέτοιο βαθμό, έτσι ώστε να μην επιφέρουν παραμορφώσεις ή μετατοπίσεις στην εδαφική στρώση του υπεδάφους. Να παρέχει μια αντολισθηρή και ανθεκτική στη λειαντική δράση των ελαστικών, ομαλή επιφάνεια κύλισης, βελτιώνοντας την άνεση της οδήγησης και μείωση του κόστους λειτουργίας των οχημάτων.



Εικόνα 3.1: Οδόστρωμα

Ο σχεδιασμός των οδοστρωμάτων σε μια κατασκευή συνήθως περιλαμβάνει πολλά στάδια και παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων των ακόλουθων:

1. **Γεωτεχνική αξιολόγηση:** Πριν από την έναρξη του σχεδιασμού, πραγματοποιείται μια αξιολόγηση του εδάφους για να καθοριστούν οι χαρακτηριστικές ιδιότητες του. Αυτό συμβάλλει στον κατάλληλο σχεδιασμό των οδοστρωμάτων.
2. **Σχεδιασμός Πολιτικής:** Αυτό περιλαμβάνει τον καθορισμό του είδους των οδοστρωμάτων (π.χ. ασφάλτου, σκυροδέματος), του πλάτους του, των στρώσεων και των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν.
3. **Υποδομή:** Οι βασικές υποδομές όπως η αποστράγγιση, τα πεζοδρόμια και οι ποδηλατοδρόμοι. Συνήθως συμπεριλαμβάνονται στον σχεδιασμό των οδοστρωμάτων.
4. **Υλικά:** Οι μηχανικοί επιλέγουν τα κατάλληλα υλικά για κάθε στρώση των οδοστρωμάτων, λαμβάνοντας υπόψη την προτιμώμενη διάρκεια ζωής, την αντοχή και άλλους παράγοντες.
5. **Υπολογισμοί:** Οι μηχανικοί κάνουν υπολογισμούς για την κατάλληλη διαμόρφωση των στρωμάτων του οδοστρώματος, λαμβάνοντας υπόψη την κίνηση των οχημάτων και την κλιματική συνθήκη της περιοχής.
6. **Διάταξη και Κατασκευή:** Οι λεπτομερείς σχεδιασμοί περιλαμβάνουν τη διάταξη των στρωμάτων, την τοποθέτηση των απαραίτητων στοιχείων όπως αγωγούς, και την οριστική κατασκευή του οδοστρώματος.

Κάθε κατασκευή οδοστρώματος είναι μοναδική και απαιτεί σχολαστικό σχεδιασμό και εκτέλεση για να εξασφαλιστεί η ασφάλεια και η αντοχή της στον χρόνο. Οι κυριότεροι παράγοντες που καθορίζουν το είδος και το πάχος του οδοστρώματος είναι:

- Ο κυκλοφοριακός φόρτος (πυκνότητα και σύνθεση κυκλοφορίας)
- Η ποιότητα του εδάφους του οδοστρώματος
- Οι κλιματολογικές συνθήκες (ύψος βροχοπτώσεων, παγετός, υγρασία-ξηρασία, μεταβολές θερμοκρασίας)
- Η ποιότητα και το κόστος των διαθέσιμων υλικών

Υπάρχουν 3 τύποι οδοστρωμάτων:

- Εύκαμπτα οδοστρώματα
- Δύσκαμπτα οδοστρώματα
- Ημιάκαμπτα οδοστρώματα

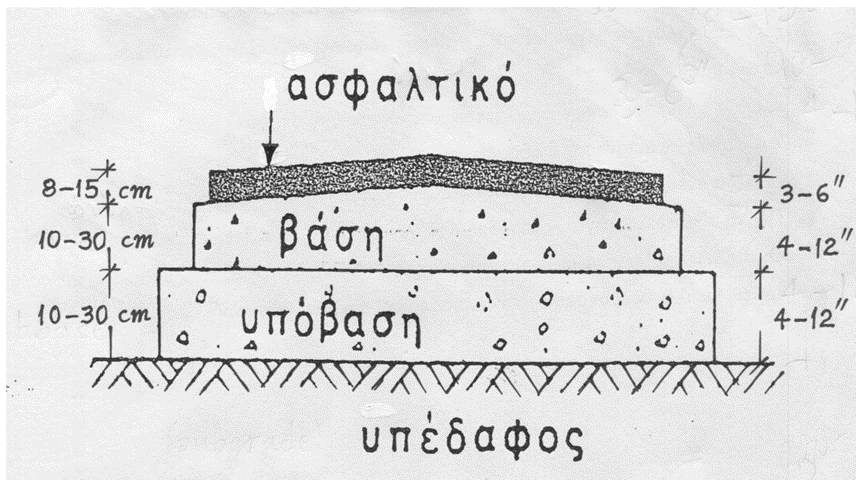
3.2 ΕΥΚΑΜΠΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ

Τα εύκαμπτα οδοστρώματα αποτελούνται από επάλληλες στρώσεις φυσικών εδαφικών και θραυστών αδρανών υλικών που συνήθως καλύπτονται επιφανειακά από ασφαλτοτάπητες. Αποτελούν περίπου το 94 % των οδοστρωμάτων.

Τα εύκαμπτα οδοστρώματα διαθέτουν:

- Υπέδαφος
- Υπόβαση
- Βάση
- Ασφαλτική στρώση

Η ασφαλτική στρώση είναι ένα μίγμα ασφάλτου και αδρανών, η βάση και η υπόβαση αποτελούνται από ασύνδετα ή σταθεροποιημένα (με τσιμέντο) αδρανή, ενώ το άνω μέρος του υπεδάφους (μέχρι 60 cm) είναι συμπυκνωμένο. Η πλάκα σκυροδέματος είναι μίγμα τσιμέντου και αδρανών. Το βασικό χαρακτηριστικό ενός εύκαμπτου οδοστρώματος είναι ότι η ποιότητα των υλικών μειώνεται από τα άνω προς το υπέδαφος διότι οι μεταβιβαζόμενες από την επιφάνεια προς το υπέδαφος τάσεις (μέσω των στρώσεων) μειώνονται σταδιακά λόγω κατανομής του ίδιου φορτίου σε μεγαλύτερη επιφάνεια (εμβαδόν). Το συνολικό πάχος του οδοστρώματος καθορίζεται με βάση το κριτήριο, όταν οι τάσεις φθάσουν στο υπέδαφος να μπορούν να παραληφθούν από αυτό με ασφάλεια.



Εικόνα 3.2: Χαρακτηριστική διατομή εύκαμπτου οδοστρώματος

Στα εύκαμπτα οδοστρώματα οι στρώσεις υπόβασης-βάσης κατασκευάζονται διότι:

- Βοηθούν την κατανομή των φορτίων στο έδαφος δια μέσου των στρώσεων
- Αυξάνουν τη φέρουσα ικανότητα
- Συντελούν στην αποστράγγιση
- Παρέχουν προστασία από τον παγετό
- Αποτρέπουν την άνοδο του νερού λόγω τριχοειδών φαινομένων

Για τον υπολογισμό του πάχους των στρώσεων εύκαμπτων οδοστρωμάτων, χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι που βασίζονται σε προσεκτικές παρατηρήσεις της συμπεριφοράς υπαρχόντων οδοστρωμάτων.

Οι υπάρχουσες μέθοδοι σχεδιασμού εύκαμπτων οδοστρωμάτων μπορούν να καταταγούν σε 2 κατηγορίες:

- Τις εμπειρικές μεθόδους, που βασίζονται σε εμπειρικές εξισώσεις από πειράματα πεδίου σε οδοστρώματα.
- Τις μηχανιστικές-εμπειρικές, που συνδυάζουν αρχές της μηχανικής για τον προσδιορισμό της απόκρισης του οδοστρώματος (τάσεις, παραμορφώσεις) σε επιβαλλόμενα φορτία οχημάτων με εμπειρικές σχέσεις καταπόνησης-αστοχίας.

Στα εύκαμπτα οδοστρώματα τα 2 σημαντικά κριτήρια αστοχίας είναι αυτά που ασχολούνται με:

- Την ρηγμάτωση λόγω κόπωσης της ασφαλτικής άνω στρώσης
- Την αυλάκωση της επιφάνειας του οδοστρώματος

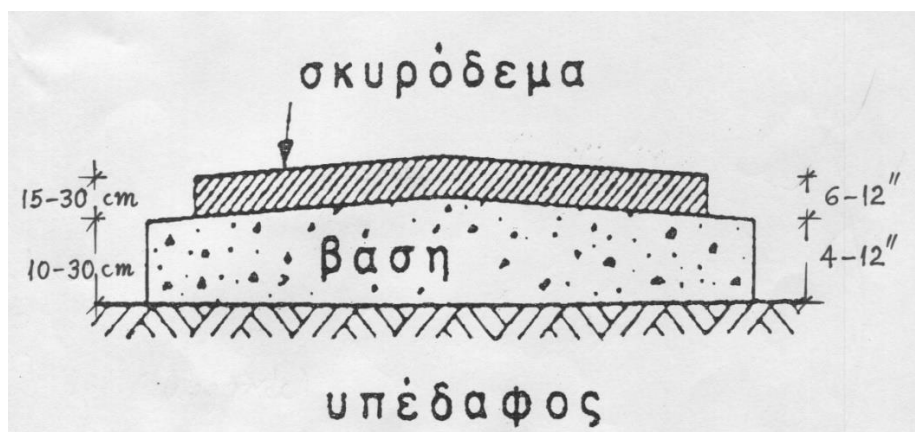
Το κριτήριο ρηγμάτωσης λόγω κόπωσης σε εύκαμπτα οδοστρώματα βασίζεται στην οριζόντια εφελκυστική παραμόρφωση στην κάτω επιφάνεια της ασφαλτικής στρώσης. Το κριτήριο αστοχίας συσχετίζει τον επιτρεπόμενο αριθμό επαναλήψεων διελεύσεων φορτίου με την ανωτέρω εφελκυστική παραμόρφωση. Αντίθετα, το βασικό κριτήριο αστοχίας της αυλάκωσης βασίζεται στην κατακόρυφη θλιπτική παραμόρφωση της άνω επιφάνειας της στρώσης έδρασης.

3.3 ΔΥΣΚΑΜΠΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ

Τα δύσκαμπτα οδοστρώματα διαθέτουν πλάκα σκυροδέματος. Η πλάκα σκυροδέματος μπορεί να λειτουργεί ως βάση και ως επιφάνεια κυκλοφορίας. Η έδραση της πλάκας γίνεται πάνω σε υπόβαση από φυσικό ή θραυστό υλικό.

Τα δύσκαμπτα οδοστρώματα διαθέτουν:

- Υπέδαφος
- Βάση
- Πλάκα σκυροδέματος



Εικόνα 3.3: Χαρακτηριστική διατομή δύσκαμπτου οδοστρώματος

Στα δύσκαμπτα οδοστρώματα η στρώση της βάσης κατασκευάζεται διότι:

- Διευκολύνει την κατασκευή
- Αυξάνει την αντοχή του οδοστρώματος (πλάκα σκυροδέματος)
- Αποτρέπει καθιζήσεις του εδάφους
- Παρέχει προστασία από τον παγετό
- Αποτρέπει την άνοδο του νερού λόγω τριχοειδών φαινομένων

Η εφαρμογή δύσκαμπτων οδοστρωμάτων γίνεται:

- Αγροτικοί και δασικοί δρόμοι



Εικόνα 3.4: Αγροτικός δρόμος

- Αυτοκινητόδρομοι (σταθμοί διοδίων, κόμβοι)



Εικόνα 3.5: Αυτοκινητόδρομος (σταθμοί διοδίων)

- Σταθμοί επιβίβασης και στάθμευσης λεωφορείων



Εικόνα 3.6: Στάθμευση λεωφορείων

- Λιμάνια (επιβατικά και εμπορικά)



Εικόνα 3.7: Λιμάνι

- Αεροδρόμια



Εικόνα 3.8: Αεροδρόμιο

3.4 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ - ΔΥΣΚΑΜΠΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

- Η πίεση που μεταβιβάζεται στο φυσικό έδαφος (με ίδιο πάχος και ίδιο φορτίο) για εύκαμπτο και δύσκαμπτο οδόστρωμα, είναι πολύ μεγαλύτερη στο εύκαμπτο. Υπολογίζεται ότι στο εύκαμπτο μεταβιβάζεται το 15% των φορτίων κυκλοφορίας ενώ στο δύσκαμπτο το 2%-3%.
- Τα δύσκαμπτα οδοστρώματα είναι πιο ανθεκτικά σε διάφορα καταστροφικά φαινόμενα που οφείλονται σε υψηλούς κυκλοφοριακούς φόρτους. Τα οδοστρώματα σκυροδέματος θεωρούνται καταλληλότερα σε ορισμένες περιπτώσεις όπου βαριά οχήματα σταθμεύουν ή κινούνται πολύ αργά (π.χ. λιμάνια, αεροδρόμια) διότι οι παραμορφώσεις στην ασφαλτο εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου οπότε η μακροχρόνια δράση ισχυρών φορτίων θα προκαλούσε τοπικές παραμορφώσεις.
- Το κόστος κατασκευής είναι μεγαλύτερο για τα δύσκαμπτα οδοστρώματα.
- Τα δύσκαμπτα οδοστρώματα έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής (40 περίπου χρόνια) σε σχέση με τα εύκαμπτα (25 περίπου χρόνια).

3.5 ΗΜΙΕΥΚΑΜΠΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ

Ως ημιεύκαμπτα οδοστρώματα ορίζονται τα ασφαλικά οδοστρώματα τα οποία έχουν σταθεροποιημένη βάση που αποτελείται από αδρανή (θραυστό αμμοχάλικο) και τσιμέντο.

Τα ημιεύκαμπτα οδοστρώματα διαθέτουν:

- Υπέδαφος
- Σταθεροποιημένη υπόβαση
- Σταθεροποιημένη βάση
- Ασφαλτική στρώση

Στα ημιεύκαμπτα οδοστρώματα γίνεται κατεργασία του θραυστού αμμοχάλικου της υπόβασης-βάσης με τσιμέντο, διότι:

- Αυξάνει την αντοχή του οδοστρώματος
- Μειώνει τις καθιζήσεις
- Παρέχει προστασία από τον παγετό
- Αποτρέπει την άνοδο του νερού λόγω τριχοειδών φαινομένων

Κατά την φάση της λειτουργίας της οδού αναπτύσσεται μεταξύ οδοστρώματος και κυκλοφορίας μια σχέση που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τον γενικό σχεδιασμό των οδικών έργων. Οι γεωμετρικές προδιαγραφές για την κατασκευή του οδοστρώματος, καθορίζονται ανάλογα με τις απαιτήσεις της κυκλοφορίας. Το πλάτος των λωρίδων επιλέγεται ανάλογα με το μέγεθος και την ταχύτητα των οχημάτων ενώ τα επιφανειακά χαρακτηριστικά του οδοστρώματος προσδιορίζουν σε μεγάλο βαθμό την κυκλοφοριακή άνεση και ασφάλεια.

Οι ταχύτητες, τα φορτία και οι διαστάσεις οχημάτων δημιουργούν πρόσθετες απαιτήσεις για τα λειτουργικά στοιχεία της οδού, με συνέπεια την διόγκωση των δαπανών τόσο για την κατασκευή όσο και για την συντήρηση των έργων. Οι βλάβες και οι αστοχίες που εμφανίζονται κατά την διάρκεια του χρόνου, οφείλονται στην δράση των ασκούμενων φορτίων. Οι ρυθμίσεις κυκλοφοριακού χαρακτήρα, η

μονοδρόμηση, η σηματοδότηση, η διαπλάτυνση έχουν άμεσες συνέπειες στην λειτουργικότητα του οδοστρώματος.

3.6 ΕΠΙΠΕΔΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΟΔΩΝ

Το επίπεδο λειτουργικής ικανότητας οδών περιλαμβάνει γεωμετρικά και ποιοτικά στοιχεία τη οδού που προσδιορίζουν την άνεση και την ασφάλεια για οχήματα και επιβάτες. Συγκεκριμένα μπορούν να χαρακτηρισθούν ως συνιστώσες του επιπέδου λειτουργικής ικανότητας μιας οδού:

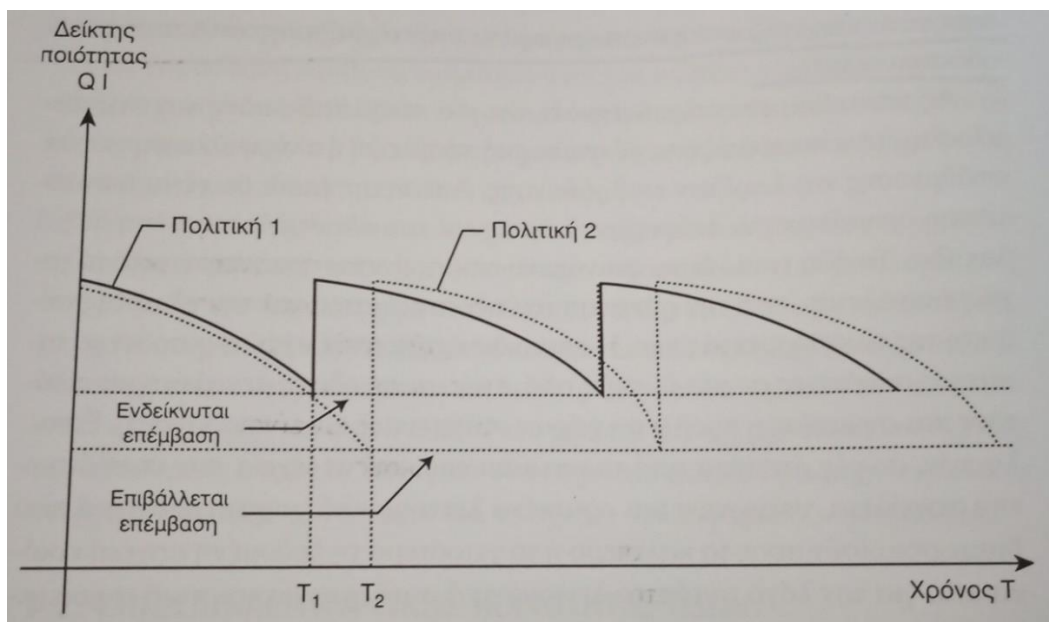
- η κατασκευαστική ικανότητα του οδοστρώματος να παραλαμβάνει και να μεταβιβάζει σε υποκείμενες στρώσεις τα φορτία των οχημάτων
- η καταλληλότητα της χάραξης και η προσαρμογή της οδού στο περιβάλλον
- η κυκλοφοριακή χωρητικότητα
- η στάθμη οδικής ασφάλειας που προκύπτει από γεωμετρικά και κατασκευαστικά δεδομένα
- η καταλληλότητα του συστήματος σήμανσης και σηματοδότησης
- η επάρκεια συστήματος παροχής υπηρεσιών συμπεριλαμβανομένων χώρων στάθμευσης

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά συνθέτουν μια γενική εικόνα της οδού, ενώ ορισμένα από αυτά εξελίσσονται μέσα στον χρόνο. Μεταβολή μπορεί να παρατηρηθεί στην σύνθεση και στα φορτία του όγκου της κυκλοφορίας. Τα λειτουργικά γνωρίσματα της οδού μπορούν να επηρεάζουν την συμπεριφορά και την εξέλιξη της κατάστασης των οδοστρωμάτων.

Το επίπεδο λειτουργικής ικανότητας μιας οδού είναι μια συνάρτηση που συνθέτει τα χαρακτηριστικά αυτά και μεταβάλλεται με τον χρόνο. Η μεταβολή εκφράζει τον ρυθμό φθοράς και καθορίζει τα χρονικά όρια, στα οποία μια επέμβαση συντήρησης πρέπει να υλοποιηθεί. Εκφράζεται από δείκτες ποιότητας (QI) της οδού.

Σε ένα διάγραμμα «λειτουργικής ικανότητας - χρόνου» αποδεικνύεται ότι η φθορά που εκφράζεται από την μείωση της τιμής του δείκτη ποιότητας (QI), όχι μόνο

αυξάνεται με τον χρόνο αλλά και επιταχύνεται, αφού η καμπύλη στρέφει τα κοίλα της προς τα κάτω. Ορίζονται 2 στάθμες, οι οποίες υποδηλώνουν καταστάσεις όπου η επέμβαση είναι επιθυμητή ή απαραίτητη. Οι τομές με την καμπύλη προσδιορίζουν τα χρονικά σημεία T_1 και T_2 για τις επεμβάσεις συντήρησης.



Εικόνα 3.9: Μεταβολή του επιπέδου λειτουργικής ικανότητας με τον χρόνο

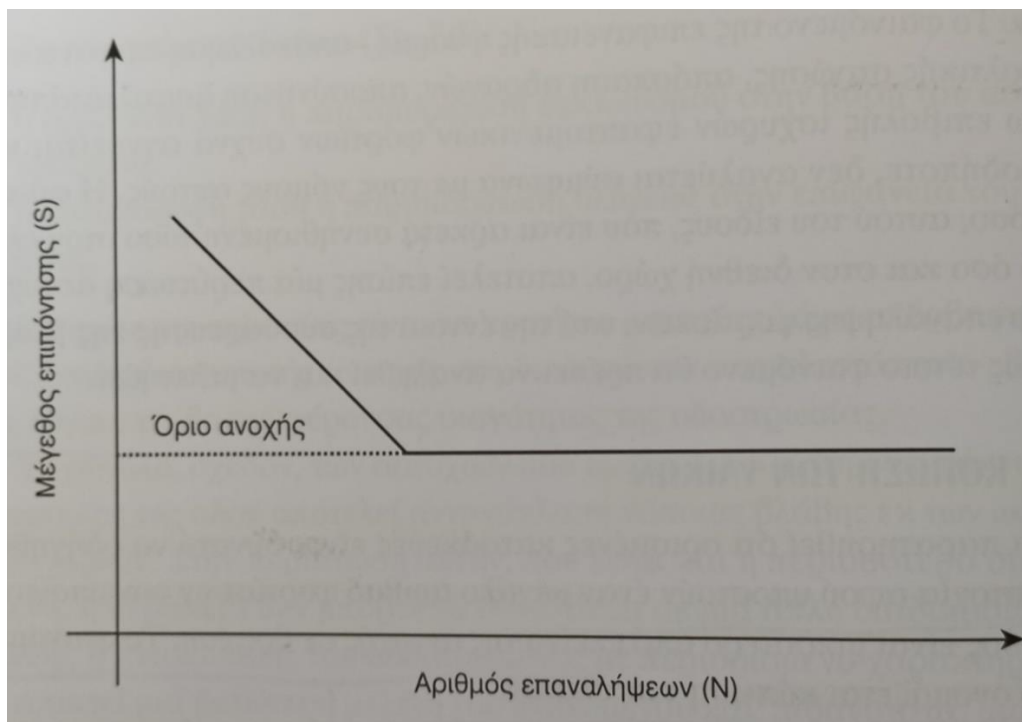
Η εξέλιξη του επιπέδου λειτουργικής ικανότητας της οδού μέσα στον χρόνο εξαρτάται τόσο από την δράση των φορτίων κυκλοφορίας και των άλλων εξωτερικών παραγόντων, όσο και από την ποιότητα της κατασκευής. Το οδόστρωμα είναι κύριο συστατικό της λειτουργικής ικανότητας των οδών, ενώ η προσφορά του στην οδική ασφάλεια και την κυκλοφοριακή άνεση είναι καθοριστική. Η εμφάνιση βλαβών σε ένα οδόστρωμα είναι ένα φαινόμενο που προσδιορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τον ρυθμό και την ένταση των εξωτερικών φορτίων. Οι κλιματικές συνθήκες, οι δυνατότητες αποστράγγισης, δηλαδή οι υπόλοιποι παράγοντες που επηρεάζουν τα φαινόμενα αστοχίας, συντελούν στην επιδείνωση της κατάστασης αλλά δεν μπορούν να δράσουν ανεξάρτητα από τα φορτία κυκλοφορίας.

Οι βλάβες που εμφανίζονται στα εύκαμπτα οδοστρώματα έχουν 2 στοιχεία της εντατικής κατάστασης της κατασκευής που ονομάζονται κριτήρια αστοχίας του οδοστρώματος. Τα στοιχεία αυτά είναι:

- η οριζόντια τάση ή παραμόρφωση εφελκυσμού στην βάση των ασφαλτικών στρώσεων του ασφαλτοτάπητα
- η κατακόρυφη θλιπτική τάση ή παραμόρφωση στην επιφάνεια της στρώσης έδρασης

Παρατηρείται ότι ορισμένες κατασκευές μπορούν να οδηγηθούν σε αστοχία αφού υποστούν έναν μεγάλο αριθμό φορτίσεων των οποίων το μέγεθος είναι μικρότερο από εκείνο της αντοχής σε θραύση. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται κόπωση των υλικών.

Η κόπωση των υλικών σχηματίζεται σε μορφή καμπύλης και αναπαριστά την σχέση μεταξύ μεγέθους επιπόνησης S και του οριακού αριθμού επαναλήψεων N .



Εικόνα 3.10: Καμπύλη κόπωσης

Το όριο ανοχής ή όριο κόπωσης είναι η μεγαλύτερη τιμή της επιπόνησης για την οποία η κατασκευή μπορεί να υποστεί απεριόριστο αριθμό φορτίσεων χωρίς να αστοχήσει.

Η εμφάνιση βλαβών στο οδόστρωμα συνδέεται με την δράση των φορτίων κυκλοφορίας. Η δράση αυτή τείνει από άλλους παράγοντες όπως:

- Έντονες θερμοκρασιακές μεταβολές: Αποτελούν αιτία καταστροφής του οδοστρώματος. Σε χαμηλές θερμοκρασίες, τα ασφαλτικά υλικά συμπεριφέρονται ως ψαθυρά υλικά με συνέπεια την εμφάνιση ρωγμών. Αντίθετα σε υψηλές θερμοκρασίες τείνουν να ρευστοποιηθούν και τα φορτία κυκλοφορίας παρουσιάζουν μόνιμες παραμορφώσεις.
- Παρουσία ύδατος: Η παρουσία του ύδατος σε όλες τις στρώσεις του οδοστρώματος επιταχύνει σημαντικά την φθορά του. Η διαβρωτική επίδραση γίνεται αισθητή καθ' όλη την διάρκεια ζωής της κατασκευής και κρίνεται απαραίτητη η εκτέλεση προστατευτικών έργων αποστράγγισης και αποχέτευσης.
- Φαινόμενο του παγετού: Η επίδραση του φαινομένου του παγετού σε περιοχές χαμηλών θερμοκρασιών έχει ως συνέπεια την μείωση της αντοχής της υποδομής και την εμφάνιση βλαβών.
- Κατασκευαστικές αστοχίες: Οφείλονται στην σύσταση και στην σύνθεση των υλικών, στην ανεπαρκή συμπύκνωση και σε άλλα αίτια που συντελούν στην εκδήλωση επιφανειακών βλαβών.

Η εμφάνιση κάποιας βλάβης στην επιφάνεια του οδοστρώματος αποτελεί σπάνιο αποκλειστικό προϊόν ενός φυσικού φαινομένου. Η επιφανειακή αστοχία εκδηλώνεται μετά από την δράση των φορτίων κυκλοφορίας και κυρίως των βαρέων οχημάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΛΑΦΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΑΔΡΑΝΗ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ο μηχανικός οδοποιίας θα πρέπει να γνωρίζει τους βασικούς ελέγχους (δοκιμές) που θα εκτελούνται στα εδαφικά υλικά καθώς και την σημασία των αποτελεσμάτων, ώστε να μπορεί να τα χρησιμοποιήσει τόσο στο στάδιο της προμελέτης (ανεύρεση βέλτιστης θέσης από όπου θα περάσει η οδός) όσο και στο στάδιο του σχεδιασμού και της κατασκευής του οδοστρώματος.

4.2 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Κοκκομετρική ανάλυση είναι ο καθορισμός, επί τοις εκατό, της κατανομής του μεγέθους των κόκκων που περιέχονται στο έδαφος. Η διαδικασία περιλαμβάνει 2 αναλύσεις:

- Ανάλυση με κόσκινα
- Ανάλυση με υδρόμετρο

Η ανάλυση με κόσκινα εκτελείται για τον καθορισμό της κατανομής του μεγέθους των κόκκων του εδάφους που συγκρατούνται στο κόσκινο 0,075 mm. Αντίθετα η ανάλυση με υδρόμετρο εκτελείται για τον καθορισμό της κατανομής του μεγέθους των πολύ λεπτών κόκκων που διέρχονται από το κόσκινο 0,075 mm, δηλαδή της ιλύος και της αργίλου.

Πίνακας 4.1: Περιπτώσεις κόκκων

Μέγεθος κόκκων (mm)				
Κροκάλες	Χαλίκια	Άμμος	Ιλύς	Άργιλος
> 75	75-2	2-0,075	0,075-0,002	< 0,002

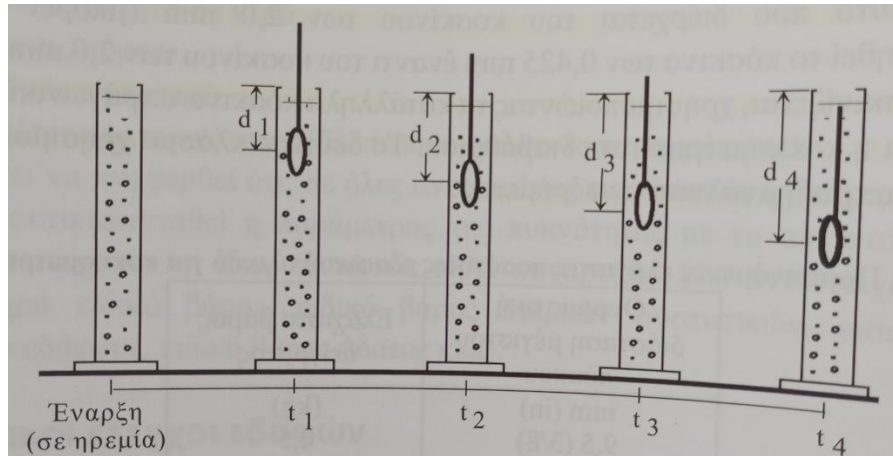
1) Κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα

Κατά την δοκιμή το εδαφικό υλικό, αφού ξηρανθεί και αποσβωλιασθεί, διαχωρίζεται σε 2 αρχικά κλάσματα. Αυτό που συγκρατεί στο κόσκινο των 2 mm και αυτό που διέρχεται από το κόσκινο των 2 mm. Το 1^ο κλάσμα κοσκινίζεται, χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα κόσκινα τετραγωνικής οπής και καθορίζεται η κοκκομετρική διαβάθμιση του. Το 2^ο κλάσμα χρησιμοποιείται για την κοκκομετρική ανάλυση με υδρόμετρο.

2) Κοκκομετρική ανάλυση με υδρόμετρο

Το 2^ο κλάσμα του εδαφικού υλικού από το συνολικό αρχικό δείγμα, τοποθετείται σε γυάλινο δοχείο 250 ml. Στο δοχείο προστίθενται 125 ml ειδικού υδατικού διαλύματος (πολυφωσφορικού νατρίου) για τον διαχωρισμό των λεπτότατων σωματιδίων που είναι συγκολλημένα μεταξύ τους. Το περιεχόμενο ανακατεύεται επαρκώς και αφήνεται για τουλάχιστον 12 ώρες. Μετά το πέρας των 12 ωρών το περιεχόμενο του δοχείου τοποθετείται σε ογκομετρικό σωλήνα 1000 ml και συμπληρώνεται με επαρκή ποσότητα από το ίδιο υδατικό διάλυμα, έτσι ώστε ο συνολικός όγκος να είναι 1000 ml. Ο ογκομετρικός σωλήνας τοποθετείται σε υδρόλουτρο σταθερής θερμοκρασίας 20°C μέχρι να αποκτήσει την ίδια θερμοκρασία με το υδρόλουτρο. Αφού τοποθετηθεί πλαστική τάπα ή κλείνοντας το άνοιγμα με το χέρι, ανακινείται επαρκώς έτσι ώστε όλο το εδαφικό υλικό να βρίσκεται σε αιώρηση. Μετά την ανακίνηση το περιεχόμενο του σωλήνα αφήνεται σε πλήρη ηρεμία.

Στην συνέχεια αρχίζει η μέτρηση της πυκνότητας του υδατικού διαλύματος σε τακτά χρονικά διαστήματα (μετά από 5, 15, 30, 60, 250 και 1440 λεπτά). Η μέτρηση γίνεται με την βοήθεια ειδικού πυκνομέτρου, με το οποίο μετράται το βάθος βύθισης (d) αυτού. Καθώς το διάλυμα βρίσκεται σε ηρεμία, οι εδαφικοί κόκκοι καθιζάνουν στον πυθμένα με συνέπεια να μειώνεται συνεχώς η πυκνότητα του διαλύματος.

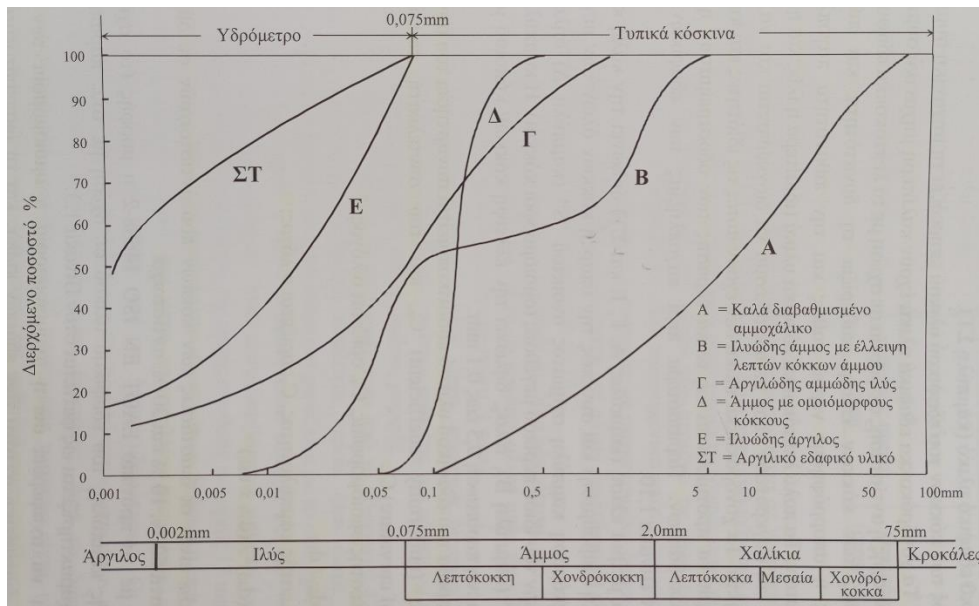


Εικόνα 4.1: Σχηματική παράσταση δοκιμής υδρομέτρου

Μετά το πέρας των μετρήσεων, όλο το περιεχόμενο αδειάζει πάνω σε κόσκινο των 0,075 mm (No. 200) και ξεπλένεται. Το συγκρατούμενο εδαφικό υλικό, ουσιαστικά 2 έως 0,075 mm, ξηραίνεται και κοσκινίζεται κανονικά. Από το κοσκίνισμα λαμβάνεται η κοκκομετρική καμπύλη. Η κοκκομετρική καμπύλη του κλάσματος που διέρχεται από το κόσκινο των 0,075 mm, λαμβάνεται από τις μετρήσεις του υδρομέτρου, καθορίζοντας την διάμετρο των σωματιδίων που βρίσκονται σε αιώρηση την δεδομένη χρονική στιγμή.

Η συνένωση των τριών κοκκομετρικών καμπύλων, δηλαδή αυτή του κλάσματος που συγκρατείται στο κόσκινο των 2 mm, του κλάσματος 2 έως 0,075 mm και του κλάσματος που διέρχεται από το κόσκινο των 0,075 mm, δίνει την τελική κοκκομετρική καμπύλη του εδαφικού υλικού προς εξέταση. Η εξέταση της κοκκομετρικής ανάλυσης με υδρόμετρο είναι αναγκαία μόνο για πολύ λεπτόκοκκα εδαφικά υλικά (αργιλικά εδάφη, ιλυώδες άμμοι, αργιλώδες άμμοι) ή εδαφικά υλικά που περιέχουν αρκετή ποσότητα υλικού διερχόμενου του κοσκίνου των 0,075 mm (μεγαλύτερη του 20%).

Η θέση, η μορφή και η κλίση της κοκκομετρικής καμπύλης παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για το εδαφικό υλικό. Η θέση της κοκκομετρικής διαβάθμισης χαρακτηρίζει την ομάδα του εδαφικού υλικού, ενώ η μορφή και η κλίση την ομοιομορφία ή μη της κατανομής των κόκκων και την έλλειψη ή μη κόκκων κάποιας διάστασης.



Εικόνα 4.2: Κοκκομετρικές καμπύλες εδαφικών υλικών

Το μέγεθος των κόκκων του εδαφικού υλικού επηρεάζει την μηχανική συμπεριφορά του εδάφους. Τα χονδρόκοκκα εδαφικά υλικά έχουν καλύτερη μηχανική συμπεριφορά από άποψη αντοχής ή αντίστασης σε φορτία σε σχέση με τα λεπτόκοκκα εδαφικά υλικά.

Επιπρόσθετα, το μέγεθος των κόκκων καθορίζει την δυνατότητα και πιθανότητα συγκράτησης ή απορρόφησης νερού καθώς και την πιθανότητα διόγκωσης. Τα πολύ λεπτόκοκκα εδαφικά υλικά, ιδιαίτερα η ιλύς και η άργιλος, απορροφούν και συγκρατούν νερό με αποτέλεσμα να διογκώνονται και να θεωρούνται παγόπληκτα. Τα χονδρόκοκκα υλικά δεν έχουν αυτές τις ιδιότητες και κινδύνους, με αποτέλεσμα να προτιμούνται ως υλικά έδρασης των οδοστρωμάτων.

Από την κοκκομετρική καμπύλη προκύπτει ο συντελεστής ομοιομορφίας C_u και ο συντελεστής καμπυλότητας C_c .

- Ως συντελεστής ομοιομορφίας C_u , ορίζεται ο λόγος: $C_u = d_{60} / d_{10}$
- Ως συντελεστής καμπυλότητας C_c , ορίζεται ο λόγος: $C_c = (d_{30})^2 / (d_{10} * d_{60})$

όπου d_{10} , d_{60} , d_{30} είναι οι διαστάσεις των κόκκων που αντιστοιχούν σε διερχόμενα ποσοστά 10%, 60% και 30% αντίστοιχα.

Πίνακας 4.2: Μορφή κοκκομετρικής καμπύλης

Σχήμα καμπύλης	C_u	C_c
Πολυβάθμια (μη ομοιόμορφη)	> 15	$1 < C_c < 3$
Μέτριας ομοιομορφίας	6-15	< 1
Ομοιόμορφη	< 6	< 1
Μη-συνεχούς διαβάθμιση	Συνήθως υψηλή τιμή	Οποιαδήποτε (συνήθως $< 0,5$)

4.3 ΟΡΙΟ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ

Το όριο υδαρότητας του εδάφους είναι η περιεκτικότητα σε νερό στο όριο μεταξύ ρευστής και στερεάς κατάστασης. Το όριο καθορίζεται αυθαίρετα από τον Atterberg ως η περιεκτικότητα σε νερό στην οποία το έδαφος αρχίζει να ρέει όταν επιβάλλονται ελαφρά χτυπήματα στο δίσκο που περιέχει το υγρό εδαφικό υλικό. Για τον λόγο αυτό αναπτύχθηκαν ειδικές μηχανικές συσκευές με συγκεκριμένο δίσκο και σύστημα επιβολής χτυπημάτων. Χρησιμοποιώντας την συσκευή, ως όριο υδαρότητας (WL) ορίζεται η περιεκτικότητα σε νερό κατά την οποία το εδαφικό υλικό μετά από 25 κτύπους ρέει κατά μια πολύ μικρή απόσταση (1 mm). Η συσκευή αποτελείται από μια μεταλλική κάψα, σύστημα διατάραξης (επιβολής χτυπημάτων) του εδαφικού υλικού και στέλεχος χάραξης του εδαφικού υλικού για την δημιουργία τυποποιημένης τομής τραπεζοειδούς μορφής.

Κατά την δοκιμή, το εδαφικό υλικό (διερχόμενο από το κόσκινο 0,425 mm) αφού αναμειχθεί καλά με την συγκεκριμένη ποσότητα νερού, έτσι ώστε να παραχθεί ομοιογενές προϊόν, τοποθετείται στην κάψα και χαράζεται με στο στέλεχος χάραξης. Με την βοήθεια του μηχανισμού η κάψα ανασηκώνεται ελαφρά στην βάσης της (1 χτύπημα). Αυτό επαναλαμβάνεται ρυθμικά έως ότου οι 2 πλευρές της βάσης του περιτυπώματος της τομής ενωθούν σε μήκος 13 mm. Στο σημείο αυτό καταγράφεται ο συνολικός αριθμός των χτυπημάτων. Η δοκιμή επαναλαμβάνεται με άλλη περιεκτικότητα νερού έως ότου επιτευχθούν τιμές (τουλάχιστον τρεις συνολικές τιμές) πάνω και κάτω από το όριο υδαρότητας. Οι τιμές αυτές τοποθετούνται σε διάγραμμα με τεταγμένη τον αριθμό των χτυπημάτων και τετημημένη το ποσό υγρασίας, κατά

βάρος ξηρού δείγματος. Από το διάγραμμα καθορίζεται το ποσοστό υγρασίας για 25 χτυπήματα το οποίο είναι το όριο υδαρότητας.

Οι πιθανές αιτίες την εξαγωγή εσφαλμένων αποτελεσμάτων είναι:

- Η επιφάνεια της κάψας να έχει χαραχθεί λόγω των πολλών χρήσεων
- Το εδαφικό υλικό που τοποθετείται στην κάψα να είναι μεγαλύτερου ή μικρότερου πάχους από το προβλεπόμενο
- Να μην επιβάλλεται σταθερός ρυθμός χτυπημάτων



Εικόνα 4.3: Συσκευή επιβολής χτυπημάτων

4.4 ΟΡΙΟ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Το όριο πλαστικότητα (WP) είναι η περιεκτικότητα του ύδατος στην οποία το εδαφικό υλικό γίνεται πολύ στεγνό και βρίσκεται στο όριο μεταξύ της πλαστικής και ημιστερεάς μορφής. Το όριο καθορίστηκε από τον Atterberg ως η υγρασία του εδαφικού υλικού κατά την οποία το εδαφικό υλικό αρχίζει να τρίβεται αφού έχει επιτευχθεί μικρός κύλινδρος (εδαφικού υλικού) διαμέτρου 3 mm με την βοήθεια της παλάμης ως πλάστη.

Για την εκτέλεση της δοκιμής χρησιμοποιείται υλικό διερχόμενο από κόσκινο των 0,450 mm. Τυπικές τιμές λαμβάνονται για ιλύες και αργίλους κυμαίνονται από 5% έως 30% με τα ιλυώδη εδάφη να έχουν χαμηλότερες τιμές. Η λεπτόκοκκη άμμος δεν μπορεί να πλαστεί σε κύλινδρο 3 mm, με αποτέλεσμα να χαρακτηρίζεται ως μη-πλαστική.



Εικόνα 4.4: Δημιουργία κυλίνδρου 3 mm

4.5 ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Ο δείκτης πλαστικότητας (IP) είναι η αριθμητική διαφορά μεταξύ ορίου υδαρότητας και ορίου πλαστικότητας. Δηλαδή $IP = WL - WP$. Είναι το ποσοστό της υγρασίας πάνω από το όριο πλαστικότητας που το έδαφος είναι σε πλαστική κατάσταση και συνεπώς έχει πλαστική συμπεριφορά. Εδάφη με μεγάλη τιμή δείκτη πλαστικότητας είναι ακατάλληλα για την έδραση οδοστρωμάτων.

Πίνακας 4.3: Πλαστικότητα εδαφών συναρτήσει του δείκτη πλαστικότητας

Έδαφος	Εύρος IP	Χαρακτηριστικά σε ξηρή κατάσταση
Πολύ υψηλής πλαστικότητας	> 35 ή >40	Υψηλή συνεκτικότητα, αδύνατη η θρυμμάτιση των σβώλων με το χέρι

Υψηλή πλαστικότητα	16-35 ή 20-40	Μέτρια – υψηλή συνεκτικότητα, δύσκολη η θρυμματίση των σβώλων με το χέρι
Μέτριας πλαστικότητας	7-15 ή 10-20	Χαμηλή – μέτρια συνεκτικότητα, με μικρή πίεση θρυμματίζονται οι σβώλοι
Χαμηλής πλαστικότητας	4-6 ή 5-10	Χαμηλή συνεκτικότητα, εύκολος θρυμματισμός των σβώλων με το χέρι
Ασήμαντης πλαστικότητας έως μη-πλαστικό	0-3 ή 0-5	Πολύ λίγη – καθόλου συνεκτικότητα, οι σβώλοι αποσυντίθενται με την επαφή

4.6 ΣΧΕΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ – ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΩΝ

Τα οδοστρώματα των αυτοκινητοδρόμων άλλα και των δρόμων άλλων κατηγοριών κατασκευάζονται αποκλειστικά πάνω σε επιχώματα εδαφικών υλικών. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις τα οδοστρώματα κατασκευάζονται πάνω σε όρυγμα ή αφού απομακρυνθεί η φυτική γη με αποτέλεσμα να διαταράσσεται η συμπίκνωση και η πυκνότητα του εδάφους έδρασης. Απαιτείται κατά ένα μεγάλο ή μικρό βαθμό επαρκής συμπίκνωση του εδαφικού υλικού, έτσι ώστε να μην παρατηρηθούν πρόωρες και έντονες καθιζήσεις της εδαφικής στρώσης (υπέδαφος).

Η συμπίκνωση των εδαφικών υλικών εξαρτάται από το ποσοστό υγρασίας που εμπεριέχεται σε αυτά (περιεκτικότητα σε νερό). Μέγιστη πυκνότητα μπορεί να επιτευχθεί μόνο εάν η περιεκτικότητα σε νερό κατά την συμπίκνωση είναι βέλτιστη. Ο καθορισμός της βέλτιστης υγρασίας για μέγιστη πυκνότητα επιτυγχάνεται με την μέθοδο Proctor.

4.7 ΜΕΘΟΔΟΣ PROCTOR

Η μέθοδος Proctor έχει σκοπό να προσδιορίσει την σχέση μεταξύ της πυκνότητας και της περιεχόμενης υγρασίας του εδαφικού υλικού και από την βέλτιστη υγρασία την μέγιστη πυκνότητα.

Κατά την δοκιμή, επαρκής ποσότητα εδαφικού υλικού αναμιγνύεται καλά με ποσότητα νερού και αφού τοποθετηθεί σε συγκεκριμένη μεταλλική μήτρα συμπυκνώνεται με ειδικό κόπανο βάρους 4,54 kg που πέφτει από ύψος 475,2 mm. Στο βάρος του κοπάνου και στο ύψος από το οποίο πέφτει οφείλεται ο όρος «τροποποιημένη δοκιμή» διότι στην «κανονική δοκιμή» χρησιμοποιείται μικρότερο βάρος, δηλαδή 2,5 kg. Η αλλαγή του βάρους και του ύψους προτάθηκε λόγω του γεγονός ότι στο έργο με την ανάπτυξη και την χρήση οδοστρωτήρων μεγάλου φορτίου, παρατηρήθηκε μεγάλη συμπύκνωση από αυτήν στο εργαστήριο και σε μικρότερη περιεκτικότητα υγρασίας.

Οι μήτρες που χρησιμοποιούνται για την συμπύκνωση έχουν ύψος 116,4 mm και διαθέτουν 2 διαφορετικές τυπικές διαμέτρους 101,6 mm και 152,4 mm αντίστοιχα. Το ποια μήτρα θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από το ποσοστό των υλικών που συγκρατούνται στο κόσκινο 4,75 mm. Εάν αυτό υπερβεί το 7%, χρησιμοποιείται η μεγάλη μήτρα. Ωστόσο συνίσταται να χρησιμοποιείται η μεγάλη μήτρα διότι ακόμη και στην περίπτωση που το εδαφικό υλικό είναι πολύ λεπτόκοκκο το αποτέλεσμα δεν αλλοιώνεται.

Λόγω της φυσικής διαστάσεως της μεγάλης μήτρας σε σχέση με το μέγιστο κόκκο του εδαφικού υλικού, συνίσταται όπως απομακρύνεται η ποσότητα που συγκρατείται στο κόσκινο 19 mm. Στην περίπτωση που το ποσοστό συγκρατείται από το κόσκινο 19 mm είναι μεταξύ 10% και 30%, το αντίστοιχο ισοδύναμο ποσοστό αντικαθίσταται στο μίγμα με επιπλέον υλικό που διέρχεται του κοσκίνου 19 mm και συγκρατείται στο κόσκινο 4,75 mm.

Η συμπύκνωση των δοκιμίων, εφόσον χρησιμοποιείται η μεγάλη μήτρα, γίνεται σε 5 ισόπαχες στρώσεις των 127 mm περίπου, όπου η κάθε στρώση δέχεται 56 ομοιόμορφα χτυπήματα. Μετά το πέρας της συμπύκνωσης η επιφάνεια επιπεδώνεται με ένα μαχαίρι και το υλικό μαζί με την μήτρα ζυγίζεται. Το ποσοστό υγρασίας και το

ξηρό φαινόμενο ειδικό βάρος (γ_d) του συμπυκνωμένου εδάφους υπολογίζεται από τις σχέσεις:

$$w = [(A+B) / (B-\Gamma)] * 100$$

$$\gamma_d = [\gamma / (w+100)] * 100$$

όπου:

w = ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας στο δοκίμιο, βασιζόμενη στο βάρος εδάφους που ξηράνθηκε στον κλίβανο μέσα στον υποδοχέα

A = βάρος υποδοχέα και υγρού εδάφους (g)

B = βάρος υποδοχέα και ξηρού εδάφους (g)

Γ = βάρος υποδοχέα (g)

γ_d = ξηρό φαινόμενο ειδικό βάρος συμπυκνωμένου εδάφους (kg/m^3)

γ = υγρό φαινόμενο ειδικό βάρος συμπυκνωμένου εδάφους (kg/m^3)

Το φαινόμενο ειδικό βάρος του συμπυκνωμένου εδάφους υπολογίζεται από την σχέση:

$$\gamma = E / V$$

όπου:

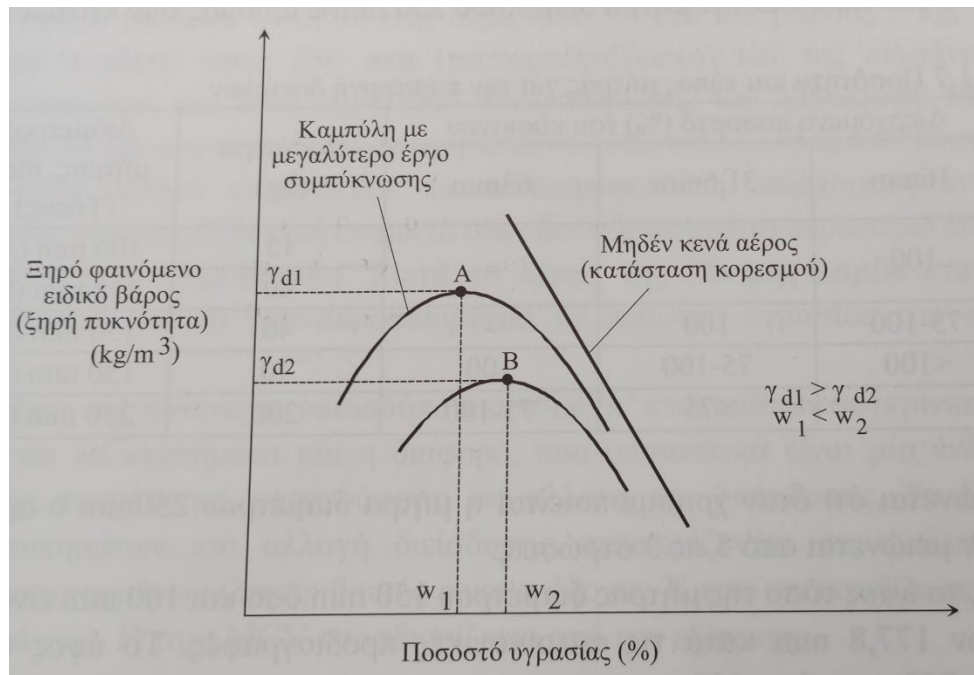
E = βάρος του υγρού συμπυκνωμένου εδάφους μέσα στην μήτρα (kg)

V = όγκος μήτρας (m^3)

✓ Μεγάλη μήτρα: $V = 2,1231 * 10^{-3}$

✓ Μικρή μήτρα: $V = 0,943 * 10^{-3}$

Αφού επαναληφθεί η παραπάνω διαδικασία για διαφορετικές περιεκτικότητες υγρασίας (2 δοκίμια ανά ποσοστό υγρασίας), τα ζεύγη τιμών (ποσοστό υγρασίας, ξηρή πυκνότητα) τοποθετούνται σε άξονες συντεταγμένων γραμμικής κλίμακας. Η περιεχόμενη υγρασία που αντιστοιχεί στο ανώτατο σημείο της καμπύλης ορίζεται σαν «βέλτιστη υγρασία» για μέγιστη συμπύκνωση. Το μέγιστο ξηρό φαινόμενο ειδικό βάρος είναι τιμή που θα πρέπει να επιδιώκεται να επιτευχθεί στο έργο.



Εικόνα 4.5: Γραφική απεικόνιση σχέσεως πυκνότητας – υγρασίας

4.8 ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑΚΟΥ ΛΟΓΟΥ (CBR)

Η μέθοδος αναπτύχθηκε από την Διεύθυνση Οδοποιίας της Καλιφόρνιας την δεκαετία του 1930. Η μέθοδος προτάθηκε και τροποποιήθηκε από ορισμένους οργανισμούς, κυρίως ως προς την υγρασία του συμπυκνωμένου εδαφικού υλικού κατά την δοκιμή. Σκοπός της δοκιμής είναι ο καθορισμός της φέρουσας ικανότητας εδαφικών υλικών CBR, όταν συμπυκνωθούν στο εργαστήριο στην βέλτιστη υγρασία κατά Proctor για διαφορετικούς βαθμούς συμπύκνωσης (μεταβάλλοντας τον αριθμό των χτυπημάτων της σφύρας κατά την συμπύκνωση).

Ως CBR ορίζεται ο λόγος, επί τοις εκατό, της δύναμης ή τάσης η οποία απαιτείται για να διεισδύσει το έμβολο της συσκευής εντός του εδαφικού υλικού κατά ένα συγκεκριμένο βάθος, προς την δύναμη ή τάση που απαιτείται για αντίστοιχο βάθος διείσδυσης ενός πρότυπου υλικού.

1) Συμπύκνωση δοκιμίου

Το εδαφικό υλικό, αφού κονιορτοποιηθεί (να μην υπάρχουν σβώλοι), θα πρέπει να διέρχεται όλο από το κόσκινο 19 mm. Στην περίπτωση που υπάρχουν αδρανή συκρατούμενα στο κόσκινο 19 mm, η ποσότητα αυτών αντικαθίσταται με ισοβαρές υλικό, από το ίδιο εδαφικό υλικό, το οποίο διέρχεται από το κόσκινο 19 mm και συκρατείται στο κόσκινο 4,75 mm. Η αντικατάσταση αυτή κρίνεται αναγκαία για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων στην περίπτωση που τα εδαφικά υλικά είναι χονδρόκοκκα.

Επαρκής ποσότητα εδαφικού υλικού, περίπου 35 kg, έχοντας την συγκεκριμένη υγρασία για βέλτιστη συμπύκνωση, όπως καθορίστηκε από την μέθοδο Proctor, τοποθετείται σε ειδικές κυλινδρικές μεταλλικές μήτρες διαμέτρου 152,4 mm και ύψους 177,8 mm, συμπυκνώνεται με κόπανο όμοιο με αυτόν που χρησιμοποιείται κατά την τροποποιημένη δοκιμή συμπύκνωσης κατά Proctor (βάρος κοπάνου 4,54 kg, κυκλικής διατομής διαμέτρου 50,8 mm και ύψους 475 mm). Η συμπύκνωση του δοκιμίου γίνεται σε 3 ισόπαχες στρώσεις, έτσι ώστε το τελικό πάχος του συμπυκνωμένου εδαφικού δοκιμίου να είναι περίπου 125 mm. Η κάθε στρώση δέχεται έναν ορισμένο αριθμό χτύπων. Ο αριθμός των χτύπων, ο ίδιος για κάθε στρώση, καθορίζεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να επιτευχθεί ανά δοκίμιο, πυκνότητα λίγο μικρότερη και λίγο μεγαλύτερη από την μέγιστη πυκνότητα κατά Proctor. Συνήθως χρησιμοποιούνται 10, 30, και 65 χτύποι για 3 διαφορετικά δοκίμια.

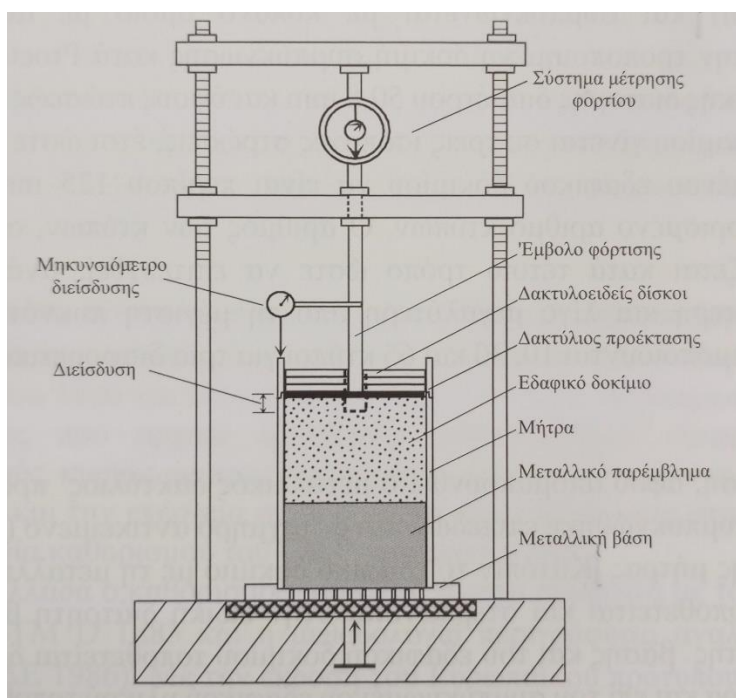
2) Υδρεμποτισμός

Μετά την συμπύκνωση, αφού απομακρυνθεί ο μεταλλικός δακτύλιος προέκτασης, το εδαφικό υλικό που συμπυκνώθηκε επιπεδώνεται με αιχμηρό αντικείμενο (μαχαίρι ή σπάτουλα) στο ύψος της μήτρας. Το εδαφικό δοκίμιο με την μεταλλική μήτρα αναστρέφεται, επανατοποθετείται και στερεώνεται στην ειδική διάτρητη βάση. Μέσα στην μήτρα και επι του συμπυκνωμένου εδαφικού υλικού τοποθετούνται επαρκή δακτυλιοειδή βάρη για την προσομοίωση του βάρους των υποκείμενων στρώσεων και όλα μαζί εμβαπτίζονται σε νερό (η στάθμη του νερού είναι πάνω από την επιφάνεια του δοκιμίου κατά 25 mm). Αμέσως, επί της μήτρας τοποθετείται ειδικός τρίποδας με μηκυνσιόμετρο. Λαμβάνεται η αρχική ένδειξη αυτού και όλο το σύστημα αφήνεται αδιατάρακτο για 96 ώρες. Μετά την πάροδο των 96 ωρών υδρεμποτισμού και αφού

ληφθεί η τελική ένδειξη του μηκνσιομέτρου, το όλο σύστημα απομακρύνεται από το υδρόλουτρο, αφαιρούνται ο τρίποδας και τα βάρη και το δοκίμιο αφήνεται για 15 λεπτά να στραγγίσει. Μετά το πέρας των 15 λεπτών, το συμπυκνωμένο εδαφικό δοκίμιο είναι έτοιμο να υποβληθεί στην δοκιμή καθορισμού του CBR. Από τις μετρήσεις του μηκνσιομέτρου (αρχική και τελική ένδειξη) καθορίζεται το ποσοστό διόγκωσης του εδαφικού υλικού.

3) Επιβολή φορτίου – μέτρηση διείσδυσης

Το συμπυκνωμένο και υγρό εδαφικό δοκίμιο τοποθετείται στην συσκευή CBR αφού προηγουμένως επανατοποθετηθούν τα δακτυλοειδή βάρη (μεταλλικοί δίσκοι 2,26 kg ο καθένας, με κυκλική οπή διαμέτρου μεγαλύτερης από την διάμετρο του εμβόλου επιβολής του φορτίου). Η συσκευή επιβάλλει σταθερά αυξανόμενο θλιπτικό φορτίο διαμέσου κυλινδρικού εμβόλου διαμέτρου 49,63 mm, με ταχύτητα διείσδυσης 1,3 mm/min. Το έμβολο διεισδύσεως της συσκευής αφήνεται να έρθει σε επαφή με την επιφάνεια του δοκιμίου, μηδενίζονται οι ενδείξεις των οργάνων μέτρησης της διείσδυσης και του φορτίου και αρχίζει η επιβολή του φορτίου. Σε τακτά διαστήματα βάθους διείσδυσης λαμβάνονται και καταγράφονται οι αντίστοιχες ενδείξεις φορτίου. Η φόρτιση σταματά όταν έχει επιτευχθεί διείσδυση 8 mm.



Εικόνα 4.6: Συσκευή CBR

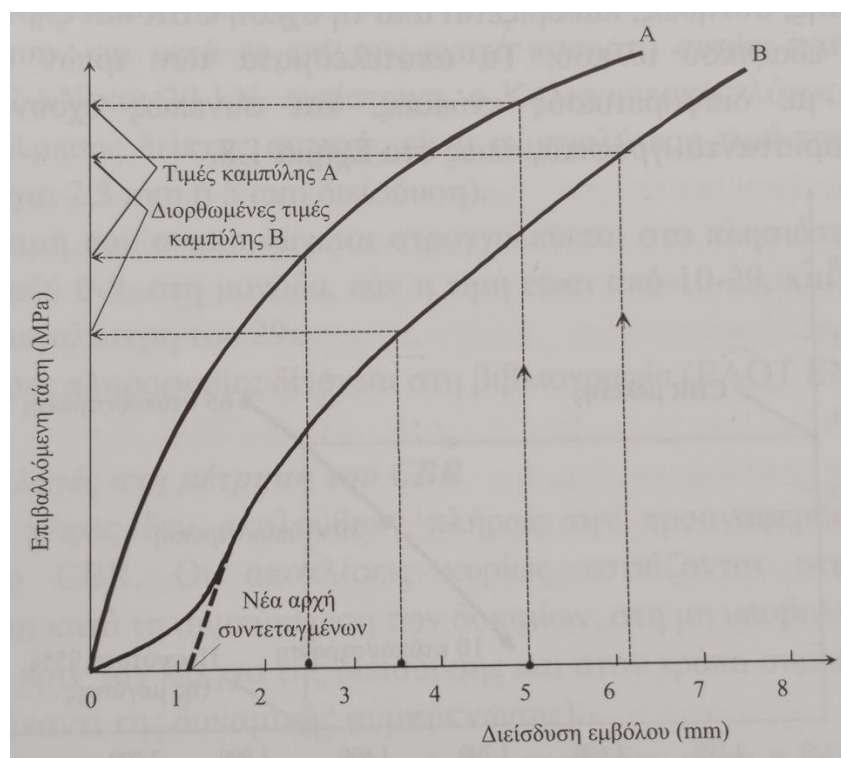
4) Υπολογισμός CBR

Τα ζεύγη τιμών (διείσδυση εμβόλου και επιβαλλόμενο φορτίο / τάση) τοποθετούνται σε γραμμικές συντεταγμένες και λαμβάνεται η καμπύλη της μορφής A ή B (Εικόνα 5.7). Οι καμπύλες είναι συναρτήσεις της επιβαλλόμενης τάσης, η οποία υπολογίστηκε από την θεμελιώδη εξίσωση:

$$\text{Τάση} = \text{Φορτίο} / \text{Επιφάνεια}$$

Η επιφάνεια είναι ίση με την επιφάνεια διατομής του εμβόλου $1935,2 \text{ mm}^2$. Η επιβαλλόμενη τάση είναι ίση με την αντίσταση σε διείσδυση.

Εάν επιτευχθεί καμπύλη της μορφής A, δεν απαιτείται καμία διόρθωση. Εάν επιτευχθεί καμπύλη της μορφής B, δηλαδή η καμπύλη να είναι κοίλη προς τα πάνω στο αρχικό διάστημα φόρτισης τότε απαιτείται διόρθωση. Η διόρθωση της καμπύλης συνίσταται στο επαναπροσδιορισμό της αρχής των συντεταγμένων. Η νέα θέση της αρχής των συντεταγμένων καθορίζεται από το σημείο τομής της προέκτασης του ευθύγραμμου τμήματος της καμπύλης με τον άξονα των τεταγμένων.



Εικόνα 4.7: Διάγραμμα υπολογισμού CBR

Από την καμπύλη Α ή την καμπύλη Β (μετά την διόρθωση) καθορίζονται οι επιβαλλόμενες τάσεις για να προκληθεί διείσδυση 2,5 mm και 5 mm αντίστοιχα. Ο CBR υπολογίζεται από την σχέση:

$$\text{CBR} = [(\text{Τάση για 2,5 ή 5 mm διείσδυση}) / (6,89 \text{ ή } 10,34)] * 100$$

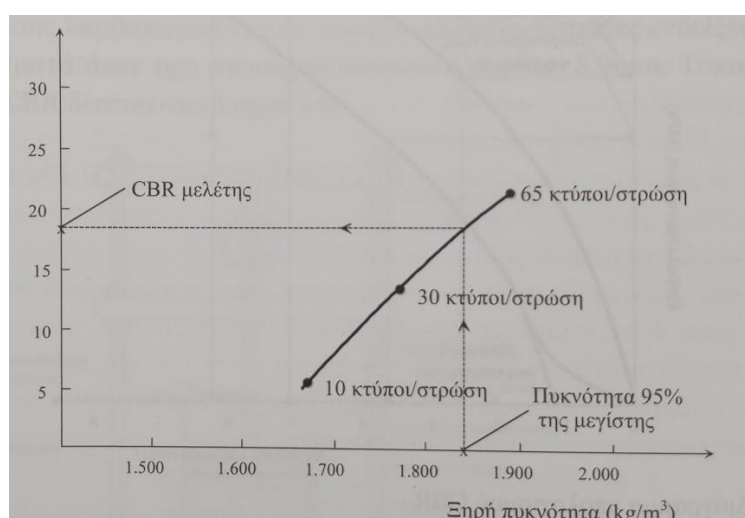
όπου:

6,89 ή 10,34 η επιβαλλόμενη τάση (MPa) που προκαλεί διείσδυση του εμβόλου σε πρότυπο υλικό μεγέθους 2,5 mm και 5 mm αντίστοιχα

Η τιμή του CBR είναι αυτή που αντιστοιχεί σε διείσδυση 2,5 mm, εφόσον η τιμή που λαμβάνεται είναι μεγαλύτερη αυτής που αντιστοιχεί σε διείσδυση 5 mm. Σε αντίθετη περίπτωση η δοκιμή επαναλαμβάνεται. Εάν η δοκιμή επαλήθευσης δώσει ξανά το ίδιο αποτέλεσμα τότε και μόνο τότε ως CBR λαμβάνεται η τιμή που αντιστοιχεί σε διείσδυση 5 mm. Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε ακέραιους αριθμούς εφόσον το CBR λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες του 10%.

5) Καθορισμός CBR μελέτης

Το CBR μελέτης καθορίζεται από την σχέση CBR και της ξηρής πυκνότητας συμπυκνωμένου εδαφικού υλικού. Τα αποτελέσματα των 3 δοκιμών που συμπυκνώθηκαν με διαφορετικούς χτύπους και έχουν διαφορετική πυκνότητα. Από την καμπύλη που ορίζεται, ως CBR μελέτης λαμβάνεται η τιμή που αντιστοιχεί σε πυκνότητα ίση με το 95% της μέγιστης πυκνότητας κατά Proctor.



Εικόνα 4.8: Καθορισμός CBR μελέτης

Ορισμένες χώρες δεν ακολουθούν πλήρως την μεθοδολογία μέτρησης του CBR. Οι αποκλίσεις εστιάζονται στην υγρασία που χρησιμοποιείται κατά την συμπύκνωση των δοκιμίων, στην μη υποβολή των δοκιμίων σε υδρεμποτισμό πριν τον έλεγχο της διείσδυσης και στον τρόπο συμπύκνωσης.

Στις περιπτώσεις αυτές, η υγρασία συμπύκνωσης δεν είναι η βέλτιστη για μέγιστη πυκνότητα αλλά η υγρασία στην οποία θα βρίσκεται το υπέδαφος κατά την κατασκευή ή κάποια μέση αντιπροσωπευτική υγρασία του εδάφους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα δοκίμια να μην υπόκειται σε υδρεμποτισμό πριν την δοκιμή διείσδυσης. Η σχεδιαστική τιμή του CBR καθορίζεται από την σχέση CBR και υγρασίας. Ως σχεδιαστική τιμή λαμβάνεται αυτή που θα αντιστοιχεί στην μέση πιθανή υγρασία στην οποία θα βρεθεί το υπέδαφος καθ' όλη την διάρκεια ζωής του οδοστρώματος.

Συνεπώς, οποιαδήποτε μέθοδος συμπύκνωσης και τρόπος καθαρισμού της σχεδιαστικής τιμής CBR χρησιμοποιηθεί, θα πρέπει να αναφέρεται ρητά στην μελέτη έτσι ώστε να είναι δυνατός σε μεταγενέστερο χρόνο ο έλεγχος του CBR κατά την κατασκευή του έργου.

4.9 ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ

4.9.1 Θραυστά αδρανή υλικά

Τα *αδρανή υλικά* που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των οδοστρωμάτων μπορεί να είναι θραυστά αδρανή υλικά, φυσικά αδρανή υλικά, απορρίμματα ορυχείων, υλικά κατεδάφισης, τεχνητά αδρανή ή οποιοδήποτε άλλο υλικό που πληρεί τις απαιτούμενες μηχανικές, φυσικές και χημικές ιδιότητες για την στρώση που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί.

Τα θραυστά αδρανή παράγονται σε λατομεία από διάφορα πετρώματα με κατάλληλες μηχανικές και χημικές ιδιότητες. Τα πετρώματα κατατάσσονται σε 3 κατηγορίες:

- Πυριγενή
- Ιζηματογενή
- Μεταμορφωσιγενή

4.10 ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Οι έλεγχοι σκληρότητας και ανθεκτικότητας είναι απολύτως απαραίτητοι για τον έμμεσο καθορισμό της μηχανικής συμπεριφοράς των αδρανών κάτω από την επίδραση της κυκλοφορίας αλλά και της φθοράς που υφίστανται τα αδρανή κατά την παραγωγή και την συμπύκνωση των ασφαλτομιγμάτων. Οι δοκιμές που εκτελούνται για τον καθορισμό της σκληρότητας και ανθεκτικότητας των αδρανών είναι:

- Δοκιμή αντίστασης σε θρυμματισμό κατά Los Angeles
- Δοκιμή αντίστασης σε κρούση
- Δοκιμή αντίστασης σε λείανση
- Δοκιμή αντίστασης σε επιφανειακή απότριψη
- Δοκιμή αντίστασης σε φθορά κατά micro-Deval

1) Δοκιμή αντίστασης σε θρυμματισμό κατά Los Angeles

Η δοκιμή εκτελείται κατά το Ευρωπαϊκό πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1097-2, σε αδρανή μεγέθους 10/14 mm χρησιμοποιώντας την ειδική συσκευή Los Angeles. Κατά την δοκιμή καθορίζεται η φθορά που επέρχεται στα διαβαθμισμένα αδρανή κάτω από την επίδραση δυνάμεων κρούσης και τριβής. Οι δυνάμεις αυτές αναπτύσσονται κατά την περιστροφή του μεταλλικού κάδου της συσκευής μέσα στον οποίο συνυπάρχουν τα προς έλεγχο αδρανή και ειδικές μεταλλικές σφαίρες. Ο μεταλλικός κάδος έχει εσωτερικές διαστάσεις 711 mm διάμετρο και 508 mm μήκος.

Το δείγμα των αδρανών που ελέγχεται έχει βάρος 5000 ± 5 g και προέρχεται από μάζα αδρανών τουλάχιστον 15 kg, μεγέθους 10 mm έως 14 mm. Η δοκιμή εκτελείται σε κλάσμα αδρανών που διέρχεται από κόσκινο των 14 mm και συγκρατείται στο κόσκινο των 10 mm. Στο κλάσμα 10/14 mm το 60% έως 70% της μάζας θα πρέπει να διέρχεται του κοσκίνου 12,5 mm.



Εικόνα 4.24: Συσκευή Los Angeles

Στην συσκευή, πλην του ξηρού δείγματος των αδρανών τοποθετούνται και 11 μεταλλικές σφαίρες διαμέτρου 45-49 mm και βάρους 400-445 g η κάθε μια. Ο κάδος με τα αδρανή υλικά και τις σφαίρες περιστρέφεται για 500 περιστροφές με σταθερή ταχύτητα 31 έως 33 στροφές / λεπτό. Μετά την συμπλήρωση των περιστροφών, τα αδρανή κοσκινίζονται με πλύσιμο και στέγνωμα χρησιμοποιώντας κόσκινο 1,6 mm.

Ο συντελεστής Los Angeles (LA) υπολογίζεται από την σχέση:

$$LA = (5000 - m) / 50$$

όπου:

m = μάζα που συγκρατεί στο κόσκινο 1,6 mm σε γραμμάρια

2) Δοκιμή αντίστασης σε κρούση

Η δοκιμή αντίστασης σε κρούση χρησιμοποιείται ως εναλλακτική δοκιμή αυτής της αντίστασης σε θρυμματισμό κατά Los Angeles και εκτελείται κατά ΕΛΟΤ EN 1097-2. Κατά την δοκιμή, κλάσμα αδρανών 8/12,5 mm τοποθετείται σε μεταλλική μήτρα και θρυμματίζεται υπό την επίδραση πίπτοντος φορτίου (10 φορές χτυπήματα από ύψος

370 mm). Τα αδρανή μετά την θραύση κοσκινίζονται κατά ΕΛΟΤ EN 933-1 χρησιμοποιώντας τα κόσκινα 0,2 mm, 0,63 mm, 2 mm, 5 mm και 8 mm.

Η τιμή της αντίστασης σε κρούση (SZ) υπολογίζεται από την σχέση:

$$SZ = M / 5 (\%)$$

όπου:

M = το άθροισμα του ποσοστού της διερχόμενης μάζας από κάθε ένα από τα 5 προαναφερθέντα κόσκινα

3) Δοκιμή αντίστασης σε λείανση

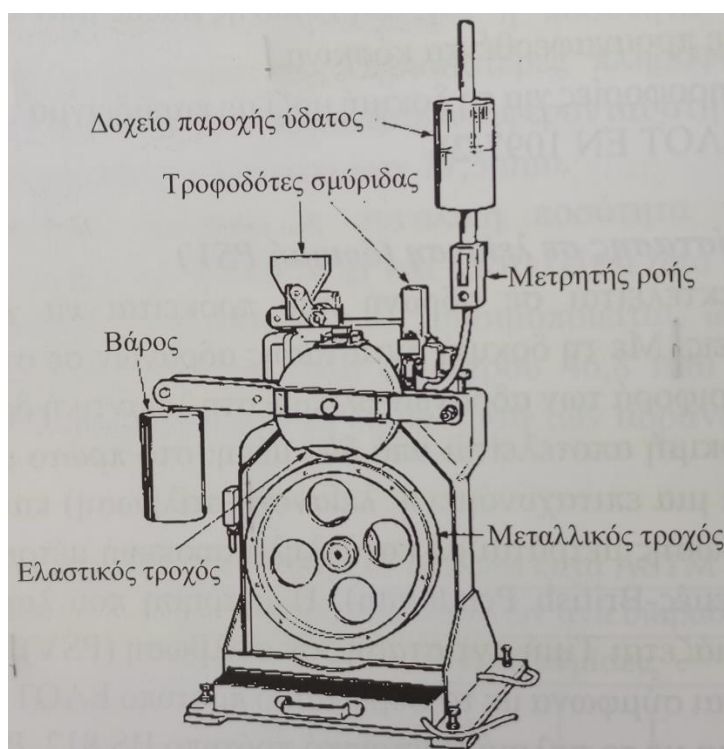
Η δοκιμή αυτή εκτελείται σε αδρανή που πρόκειται σε χρησιμοποιηθούν σε επιφανειακές στρώσεις. Με την δοκιμή αντίστασης αδρανών σε λείανση καθορίζεται η συμπεριφορά των αδρανών υλικών στην λειαντική δράση των ελαστικών οχημάτων. Η δοκιμή αποτελείται από 2 μέρη:

- ✓ Πρώτο μέρος: Οι κόκκοι των αδρανών υφίσταται μια επιταχυνόμενη λείανση
- ✓ Δεύτερο μέρος: Το μέγεθος της λείανσης μετράται με κατάλληλη συσκευή μέτρησης ολισθηρότητας

Η μέτρηση που λαμβάνεται μετά από το μέγεθος αυτής ονομάζεται Τιμή αντίστασης σε λείανση (PSV).

Κατά το Ευρωπαϊκό πρότυπο τα αδρανή θα πρέπει να διέρχονται από το κοινό κόσκινο των 10 mm και να συγκρατούνται από το κόσκινο πλέγματος 7,2 mm. Το λειαντικό μέσο είναι παιπάλη 2 διαβαθμίσεων, ο αριθμός των τροχών είναι 2 (ένας για κάθε τύπο παιπάλης) και ο χρόνος λείανσης 6 ώρες (3+3). Κατά τα Αμερικανικά πρότυπα τα αδρανή θα πρέπει να διέρχονται από το κοινό κόσκινο 12,5 mm και να συγκρατούνται στο κοινό κόσκινο 9,5 mm. Το λειαντικό μέσο είναι ειδική άμμος, χρησιμοποιείται ένας μόνο τροχός και η συνολική διάρκεια λείανσης μπορεί να φτάσει μέχρι και 10 ώρες. Με βάση τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι το τελικό αποτέλεσμα που λαμβάνεται δεν μπορεί να είναι το ίδιο.

Περίπου 36 έως 46 κόκκοι τοποθετούνται σε μια στρώση πάνω σε ειδική κυρτή μεταλλική μήτρα. Τα διάκενα μεταξύ των αδρανών γεμίζουν με λεπτόκοκκη άμμο. Η ποσότητα της άμμου είναι τόση ώστε να προεξέχει περίπου 1/4 της διαμέτρου των αδρανών. Το υπόλοιπο της μήτρας σκεπάζεται πλήρως με εποξειδική ρητίνη. Το πλεόνασμα της ρητίνης απομακρύνεται με σπάτουλα. Μετά την σκλήρυνση της ρητίνης το δοκίμιο εξάγεται από την μήτρα, καθαρίζεται επιμελώς από την άμμο και τοποθετείται στην συσκευή λείανσης. Η συσκευή λείανσης φέρει μεταλλικό τροχό διαμέτρου 406 mm, στην περιφέρεια του οποίου προσαρμίζονται τα δοκίμια με τα προς εξέταση αδρανή όπως και τα δοκίμια με τα πρότυπα αδρανή.



Εικόνα 4.25: Συσκευή λείανσης αδρανών

Επί του τροχού τοποθετούνται 14 συνολικά δοκίμια. Ο τροχός περιστρέφεται κατά την εκτέλεση της δοκιμής με ταχύτητα 320 στροφές ανά λεπτό. Πριν την έναρξη της δοκιμής, ειδικός ελαστικός τροχός έρχεται σε επαφή και πιέζει τις μήτρες με δύναμη 725 N. Μεταξύ του ελαστικού τροχού και των μητρών, κατά την διάρκεια της δοκιμής, τροφοδοτείται συνεχώς για τις 3 πρώτες ώρες παιπάλη σε ποσότητα (27 ± 7) g/λεπτό και ικανοποιητική ποσότητα νερού. Η σμύριδα είναι ειδικής διαβάθμισης και το 98-100% των κόκκων διέρχεται από το κόσκινο 600 mm.

Μετά το πέρας των 3 πρώτων ωρών, τοποθετείται ο 2^{ος} τροχός και η δοκιμή επαναλαμβάνεται για 3 ακόμη ώρες, τροφοδοτώντας αυτή την φορά πολύ λεπτότερη παιπάλη . Οι ποσότητες παιπάλης και νερού, στο στάδιο αυτό είναι (3±1) g/λεπτό.

Μετά το πέρας των 6 συνολικά ωρών, οι μήτρες με τα λειασμένα αδρανή καθορίζονται και τοποθετούνται μια-μια στην ειδική βάση του Βρετανικού εκκρεμούς. Με την συσκευή αυτή μετρείται η τιμή αντίστασης σε ολίσθηση των λειασμένων αδρανών.

Ο δείκτης αντίστασης σε λείανση (PSV) των αδρανών υπολογίζεται από την σχέση:

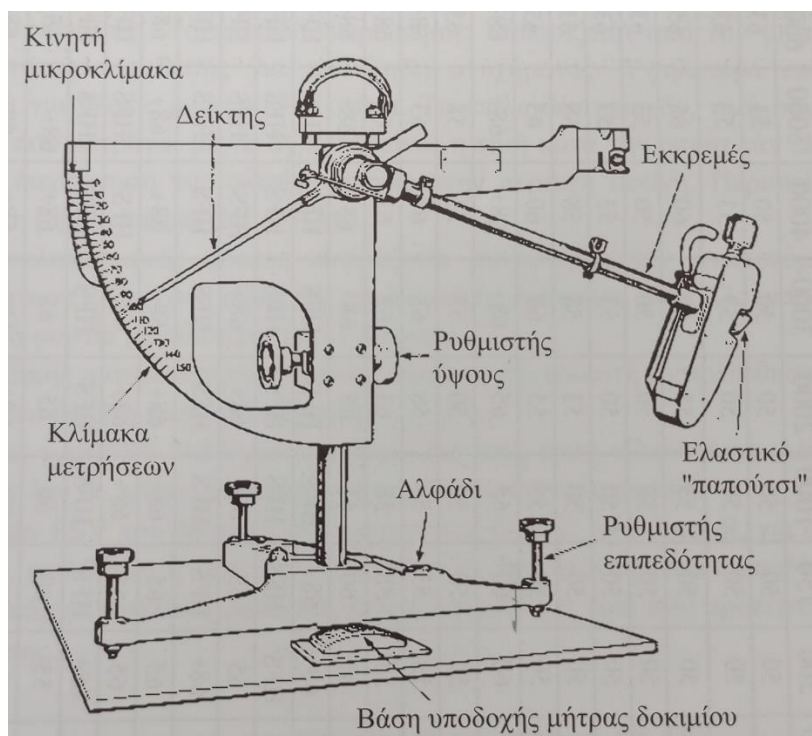
$$PSV = S + 52,5 - C$$

όπου:

S = μέσος όρος τιμών αντίστασης σε ολίσθηση λειασμένων αδρανών σε 4 δοκίμια (μήτρες)

C = μέσος όρος τιμών αντίστασης σε ολίσθηση λειασμένων πρότυπων αδρανών από 4 δοκίμια

- ✓ Η τιμή πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 49,5 – 55,5 αλλιώς η σχέση δεν ισχύει



Εικόνα 4.26: Συσκευή μέτρησης αντίστασης σε ολίσθηση

Ο καθορισμός του δείκτη PSV κρίνεται απολύτως αναγκαίος για την εξακρίβωση της καταλληλότητας των αδρανών για επιφανειακές στρώσεις ή ασφαλικές επαλείψεις. Αδρανή θεωρούνται σκληρά και κατάλληλα για τις παραπάνω εργασίες όταν ο δείκτης λείανσης PSV είναι μεγαλύτερος ή ίσος των τιμών που ορίζονται από τις προδιαγραφές.

4) Δοκιμή αντίστασης σε επιφανειακή απότριψη

Με την δοκιμή αντίστασης σε απότριψη καθορίζεται η συμπεριφορά των αδρανών σε απότριψη κάτω από την επίδραση των ελαστικών οχημάτων. Η δοκιμή κατά το Ευρωπαϊκό πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1097-8 εκτελείται σε χονδρόκοκκα αδρανή διερχόμενα από το κόσκινο 14 mm και συγκρατούνται στο ειδικό κόσκινο πλέγματος 10,2 mm Η δοκιμή θεωρείται ως εναλλακτική της δοκιμής PSV του αδρανούς αναμένεται να είναι ≥ 60 .

Τα αδρανή τοποθετούνται με το χέρι, σε μια στρώση, σε ειδική επίπεδη μεταλλική μήτρα. Το διάκενο μεταξύ των αδρανών γεμίζουν με λίγη άμμο έτσι ώστε να προεξέχει περίπου 1/4 της διαμέτρου των αδρανών. Το υπόλοιπο της μήτρας σκεπάζεται με εποξειδική ρητίνη και τοποθετείται μεταλλική πλάκα, η οποία έχει προεπαλειφθεί με γράσο. Μετά την σκλήρυνση της ρητίνης, το δοκίμιο εξάγεται από την μήτρα, καθαρίζεται επιμελώς από την άμμο και τοποθετείται στην συσκευή απότριψης.

Η συσκευή απότριψης αποτελείται από έναν δίσκο στον οποίο τοποθετούνται αντιδιαμετρικά, 2 δοκίμια (2 δοκίμια από το ίδιο αδρανές). Επί των δοκιμίων εφαρμόζει η κεφαλή απότριψης και ένα βάρος (2000 ± 10) g. Ο δίσκος περιστρέφεται σε οριζόντιο επίπεδο για 500 πλήρεις περιστροφές, με ταχύτητα 28-30 στροφές/λεπτό. Καθ'όλη την διάρκεια λειτουργίας της συσκευής, διεπιφάνεια των αδρανών και της κεφαλής απότριψης, τροφοδοτείται ειδική λειαντική άμμος με ρυθμό (800 ± 100) g/λεπτό. Μετά το πέρας της απότριψης τα δοκίμια καθαρίζονται επιμελώς και ζυγίζονται με ακρίβεια 0,1 g.

Ο δείκτης απότριψης (AAV) μαζί με τον δείκτη λείανσης (PSV) χαρακτηρίζουν πλήρως την σκληρότητα των αδρανών και την καταλληλότητά τους για χρήση σε επιφανειακές στρώσεις οδοστρωμάτων ή ασφαλικές επαλείψεις.

Ο δείκτης απότριψης των αδρανών (AAV) υπολογίζεται συναρτήσει τις απώλειας βάρους του δοκιμίου χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση:

$$AAV = 3(A+B) / \rho_{ssd}$$

όπου:

A = βάρος δοκιμίου πριν την απότριψη (gr)

B = βάρος δοκιμίου μετά την απότριψη (gr)

ρ_{ssd} = πυκνότητα κορεσμένων και επιφανειακά ξηρών αδρανών



Εικόνα 4.27: Συσκευή απότριψης

5) Δοκιμή αντίστασης σε φθορά κατά micro-Deval

Η δοκιμή αναπτύχθηκε στην Γαλλία από τον μηχανικό Deval και είναι παρόμοια με τον έλεγχο ανθεκτικότητας κατά Los Angeles. Κατά το Ευρωπαϊκό πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1097-1, η δοκιμή εκτελείται σε αδρανή συγκεκριμένου μεγέθους 14/10 mm (διερχόμενα από το πρώτο κόσκινο των 14 mm και συγκρατούμενα στο 2^ο κόσκινο των 10 mm), όπως και στην δοκιμή Los Angeles. Οι διαφορές με την δοκιμή Los Angeles είναι ότι:

- Η ποσότητα των αδρανών που χρησιμοποιείται είναι μικρότερη (500 ± 2) g
- Ο κάδος της συσκευής είναι μικρότερος (εσωτερική διάμετρος 200 ± 1 mm και μήκος 154 ± 1 mm)
- Ο χρόνος περιστροφής είναι μεγαλύτερος κατά 2 ώρες
- Η ταχύτητα περιστροφής είναι μεγαλύτερη (100 στροφές/λεπτό)
- Η διάμετρος μεταλλικών σφαιριδίων που προστίθενται είναι μικρότερη ($10 \pm 0,5$) mm
- Στο μεταλλικό κάδο εκτός των μεταλλικών σφαιρών προστίθεται και η συγκεκριμένη ποσότητα ύδατος ($2,5 \pm 0,05$)

Ο συντελεστής micro-Deval (M_{DE}) υπολογίζεται από την σχέση:

$$M_{DE} = (500 - m) / 5$$

όπου:

m = μάζα που συγκρατείται στο κόσκινο 1,6 mm σε γραμμάρια

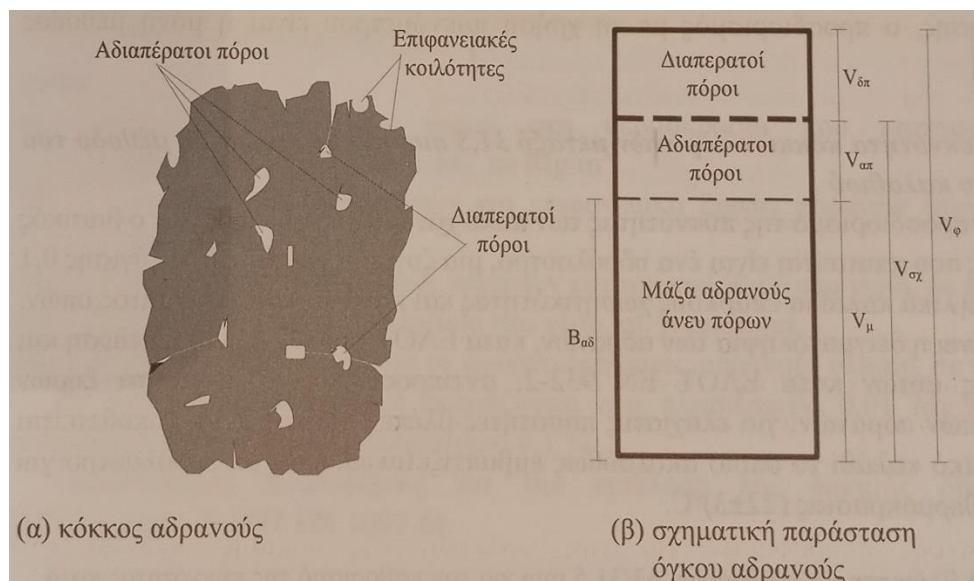
4.11 ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΔΡΑΝΩΝ

Ο καθορισμός της πυκνότητας ή του ειδικού βάρους των αδρανών είναι ουσιαστικής σημασίας δεδομένου ότι χαρακτηριστική ιδιότητα εμπλέκεται σε αρκετούς υπολογισμούς όπου σύνθεσης μίγματος αδρανών και ασφαλτομίγματος, καθορισμού των κενών στο ασφαλτόμιγμα.

Ως πυκνότητα ορίζεται ο λόγος της μάζας των αδρανών προς τον όγκο που καταλαμβάνουν τα αδρανή στο νερό και η μονάδα μέτρησης είναι g/cm^3 ή kg/m^3 . Ως ειδικό βάρος ορίζεται ο λόγος της μάζας (βάρους) της μονάδας όγκου του αδρανούς προς την μάζα (βάρος) ίσου όγκου νερού σε κάποια θερμοκρασία συνήθως $25^\circ C$ ή $23^\circ C$.

Στην περίπτωση που τα αδρανή δεν έχουν κανένα εσωτερικά εγκλωβισμένο μακροπόρο ή μακροπόρο, ο μετρούμενος όγκος (V) συμπίπτει με τον όγκο των αδρανών. Στην συγκεκριμένη περίπτωση καθορίζεται η απόλυτη πυκνότητα (ρ) ή το απόλυτο ειδικό βάρος των αδρανών (G). Ωστόσο υπάρχουν ορισμένοι διαπεράτοι

μικροπόροι εγκλωβισμένοι στην μάζα του αδρανούς, με αποτέλεσμα ο μετρούμενος όγκος δεν είναι πραγματικός αλλά «φαινόμενος».



Εικόνα 4.28: Σχηματική επεξήγηση πόρων αδρανούς υλικού και αντίστοιχων όγκων στην μάζα αδρανούς (B =βάρος, V =όγκος)

Στην πραγματικότητα τα αδρανή έχουν επιφανειακούς πόρους που εμφανίζονται ως κοιλότητες ή πόρους που συνδέονται με τις επιφανειακές κοιλότητες. Ο προσδιορισμός της πυκνότητας των κόκκων των αδρανών καθώς και της απορροφητικότητας ύδατος κατά Ευρωπαϊκά πρότυπα γίνεται σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1097-6. Κατά το Ευρωπαϊκό πρότυπο, ο προσδιορισμός της πυκνότητας αδρανών που διέρχονται από το κόσκινο των 63 mm και συγκρατούνται στο κόσκινο των 31,5 mm ή στο κόσκινο 63 mm, γίνεται με την χρήση συρμάτινου καλαθιού. Ο προσδιορισμός των αδρανών που διέρχονται από το κόσκινο 31,5 mm και συγκρατούνται στο κόσκινο 0,063 mm γίνεται με την χρήση πυκνόμετρων.

Με την χρήση καλαθιού μπορεί να γίνει ο προσδιορισμός και των αδρανών από 4 mm έως 31,5 mm. Σε περίπτωση αμφισβήτησης ο προσδιορισμός με την χρήση πυκνόμετρου είναι η μόνη λύση.

1) Πυκνότητα κόκκων αδρανών μεταξύ 31,5 mm και 63 mm με την μέθοδο του συρμάτινου καλαθιού

Για τον προσδιορισμό της πυκνότητας των πολύ χονδρόκοκκων αδρανών ο βασικός εξοπλισμός που απαιτείται είναι ένα υδρόλουτρο, μια ζυγαριά δυνατότητας ζύγισης 0,1 gr και μεταλλικά καλάθια επαρκούς χωρητικότητας και κατάλληλου ανοίγματος οπών.

Αφού γίνει η δειγματοληψία των αδρανών κατά ΕΛΟΤ EN 932-1, ποσότητα ξηρών χονδρόκοκκων αδρανών τοποθετείται στο μεταλλικό καλάθι το οποίο εμβαπτίζεται πλήρως σε υδρόλουτρο για $24 \pm 0,5$ h, θερμοκρασίας $22 \pm 3^\circ\text{C}$.

Πίνακας 4.4: Ελάχιστες μάζες αδρανών 63/31,5 mm για τον καθορισμό της πυκνότητας κατά ΕΛΟΤ EN 1097-6

Μέγιστος κόκκος αδρανών (mm)	Ελάχιστη μάζα δείγματος (kg)
63	15
45	7

Μετά την πάροδο των 24 ωρών το καλάθι με τα αδρανή ζυγίζονται (M_2) σε νερό θερμοκρασίας $22 \pm 3^\circ\text{C}$. Η θερμοκρασία του νερού καταγράφεται όταν καθορίζεται η μάζα M_2 . Αφαιρείται προσεκτικά η ποσότητα των αδρανών από το καλάθι και το καλάθι ζυγίζεται σε νερό (M_3). Τα αδρανή που έχουν τοποθετηθεί πάνω σε απορροφητικό χαρτί σκουπίζονται μέχρι να απομακρυνθεί η περίσσεια του νερού από την επιφάνεια και κατόπιν ζυγίζονται (M_1). Τέλος τα αδρανή μεταφέρονται σε ταγί, τοποθετούνται σε φούρνο $110 \pm 5^\circ\text{C}$ για όση ώρα απαιτείται έτσι ώστε να έχουν σταθερή μάζα και έπειτα ζυγίζονται (M_4).

Η φαινόμενη πυκνότητα (ρ_a) των αδρανών, η πυκνότητα ξηρών αδρανών στο φούρνο (ρ_{rd}) και η πυκνότητα κορεσμένων και επιφανειακά ξηρών αδρανών (ρ_{ssd}), υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$\rho_a = \rho_w * M_4 / [M_4 - (M_2 - M_3)] \quad (\text{Mg/m}^3)$$

$$\rho_{rd} = \rho_w * M_4 / [M_1 - (M_2 - M_3)] \quad (\text{Mg/m}^3)$$

$$\rho_{ssd} = \rho_w * M_1 / [M_1 - (M_2 - M_3)] \quad (\text{Mg/m}^3)$$

Η απορρόφηση των κόκκων σε νερό (WA_{24}), ως ποσοστό της ξηρής μάζας του δείγματος μετά την διατήρηση του δείγματος στο νερό για 24 ώρες υπολογίζεται από την σχέση:

$$WA_{24} = 100 * (M_1 - M_4) / M_4$$

όπου:

ρ_w = πυκνότητα νερού στην θερμοκρασία που κατεγράφη όταν προσδιορίστηκε η μάζα M_2 (Mg/m^3)

M_1 = μάζα κορεσμένων και επιφανειακά ξηρών αδρανών στον αέρα (gr)

M_2 = μάζα κορεσμένων αδρανών και του καλαθιού στο νερό (gr)

M_3 = μάζα άδειου καλαθιού στο νερό (gr)

M_4 = μάζα ξηραμένου σε φούρνο δείγματος αδρανούς υλικού (gr)

2) Πυκνότητα κόκκων αδρανών μεταξύ 4 mm και 31,5 mm με την μέθοδο του πυκνόμετρου

Για τον προσδιορισμό της πυκνότητας κόκκων των αδρανών μεταξύ 4 mm και 31,5 mm με την μέθοδο του πυκνόμετρου απαιτούνται πλην του βασικού εξοπλισμού και κατάλληλης χωρητικότητας πυκνόμετρα (1000 ml έως 5000 ml).

Αφού γίνει η δειγματοληψία των αδρανών κατά ΕΛΟΤ EN 932-1, ποσότητα ξηρών αδρανών τοποθετείται στο πυκνόμετρο με νερό το οποίο τοποθετείται σε υδρόλουτρο θερμοκρασίας $22 \pm 3^\circ C$ για $24 \pm 0,5$ h, αφού προηγουμένως ανακινηθούν τα αδρανή για την απομάκρυνση εγκλωβισμένου αέρα.

Πίνακας 4.5: Ελάχιστες μάζες αδρανών για τον καθορισμό της πυκνότητας αδρανών 4/31,5 mm κατά ΕΛΟΤ EN 1097-6

Μέγιστος κόκκος αδρανών (mm)	Ελάχιστη μάζα δείγματος (kg)
31,5	5
16	2
8	1

Μετά από 24 ώρες το πυκνόμετρο με τα αδρανή γεμίζει πλήρως με νερό και αφού τοποθετηθεί το καπάκι του σκουπίζεται καλά εξωτερικά και ζυγίζεται (M_2). Στο σημείο αυτό μετράται και η θερμοκρασία του νερού. Έπειτα απομακρύνονται τα αδρανή και το πυκνόμετρο γεμίζει πλήρως με νερό, σκουπίζεται εξωτερικά και ζυγίζεται μαζί με το καπάκι του (M_3). Επίσης καταγράφεται και η θερμοκρασία του νερού. Οι δύο θερμοκρασίες κατά τα ζυγίσματα M_2 και M_3 δεν πρέπει να διαφέρουν περισσότερο από 2°C . Τα βρεγμένα αδρανή απομακρύνονται, τοποθετούνται σε απορροφητικό χαρτί και σκουπίζονται προσεκτικά μέχρι να μην είναι εμφανής καμία ποσότητα νερού στις επιφάνειές τους. Τα βρεγμένα αδρανή μεταφέρονται σε ταψί και ζυγίζονται (M_1). Έπειτα ξηραίνονται σε φούρνο $110\pm 5^\circ\text{C}$ μέχρι να επιτευχθεί σταθερή μάζα και ζυγίζονται (M_4).

Η φαινόμενη πυκνότητα (ρ_a) των αδρανών, η πυκνότητα ξηρών αδρανών στο φούρνο (ρ_{rd}) και η πυκνότητα κορεσμένων και επιφανειακά ξηρών αδρανών (ρ_{ssd}), υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$\rho_a = M_4 / [M_4 - (M_2 - M_3)] \quad (\text{Mg/m}^3)$$

$$\rho_{rd} = M_4 / [M_1 - (M_2 - M_3)] \quad (\text{Mg/m}^3)$$

$$\rho_{ssd} = M_1 / [M_1 - (M_2 - M_3)] \quad (\text{Mg/m}^3)$$

Η απορρόφηση των κόκκων σε νερό (WA_{24}), ως ποσοστό της ξηρής μάζας του δείγματος μετά την διατήρηση του δείγματος στο νερό για 24 ώρες υπολογίζεται από την σχέση:

$$WA_{24} = 100 * (M_1 - M_4) / M_4$$

όπου:

M_1 = μάζα κορεσμένων και επιφανειακά ξηρών αδρανών στον αέρα (gr)

M_2 = μάζα του πυκνόμετρου και των κορεσμένων αδρανών (gr)

M_3 = μάζα του πυκνόμετρου με νερό (gr)

M_4 = μάζα ξηραμένου σε φούρνο δείγματος αδρανούς υλικού (gr)

Η γνώση του ποσοστού απορρόφησης σε νερό είναι ουσιαστικής σημασίας όταν τα αδρανή πρόκειται να χρησιμοποιηθούν στην οδοστρωσία και την παραγωγή ασφαλτομιγμάτων. Αδρανή με κάποιο ποσοστό απορρόφησης ύδατος αυξάνουν την μάζα τους όταν βραχούν, απαιτούν μεγαλύτερο ποσοστό ύδατος για την βέλτιστη συμπύκνωση σε σύγκριση με τα αδρανή που έχουν μικρό ή σχεδόν μηδενικό ποσοστό απορρόφησης ύδατος. Το ποσοστό απορρόφησης ύδατος των αδρανών που χρησιμοποιούνται στην οδοστρωσία κυμαίνεται από 0,1% έως 4%. Τα ασβεστολιθικά πετρώματα, τα αμμοχάλικα και ορισμένα πυριγενή έχουν ποσοστό συνήθως 0,1% έως 0,8%. Σε άλλα πετρώματα όπως βασάλτης, ψαμμόλιθος το ποσοστό κυμαίνεται από 0,5% έως 2%.

3) Πυκνότητα κόκκων αδρανών μεταξύ 0,063 mm και 4 mm με την μέθοδο του πυκνόμετρου

Η μέθοδος προσδιορισμού της πυκνότητα κόκκων αδρανών μεταξύ 0,063 mm και 4 mm με την μέθοδο του πυκνόμετρου είναι παρόμοια με την αυτήν για μέθοδος κόκκων 4 mm έως 31,5 mm. Η διαφορά είναι στην ποσότητα δείγματος του αδρανούς που ελέγχεται δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη του 1 kg και τα πυκνόμετρα να είναι μικρότερων διαστάσεων (500 ml έως 2000 ml). Πριν την έναρξη της δοκιμής τα αδρανή κοσκινίζονται έτσι ώστε όλοι οι κόκκοι να διέρχονται από το κόσκινο 4 mm και συγκρατούνται στο κόσκινο 0,063 mm. Ακολουθώντας την προηγούμενη διαδικασία που περιγράψαμε και χρησιμοποιώντας τις ίδιες εξισώσεις, προσδιορίζεται η πυκνότητα των αδρανών με κόκκους 4 mm έως 0,063 mm.

4) Μέθοδοι προσδιορισμού πυκνότητας προ-ξηραμένων αδρανών

Στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1097-6 περιγράφεται η μέθοδος προσδιορισμού πυκνότητας προ-ξηραμένων αδρανών. Η πυκνότητα των πολύ χονδρόκοκκων αδρανών 31,5 mm έως 63 mm προσδιορίζεται με την μέθοδο του συρμάτινου καλαθιού ενώ τα αδρανή από 0,063 mm έως 31,5 mm με την μέθοδο του πυκνόμετρου. Στην 1^η περίπτωση, ο όγκος των αδρανών προσδιορίζεται μετά από μείωση βάρους λόγω ζυγίσματος σε νερό αλλά με σύντομη εμβάπτιση αυτών για 10 λεπτά. Στην 2^η περίπτωση, ο όγκος των αδρανών προσδιορίζεται από εμβάπτιση αυτών σε πυκνόμετρου γνωστού όγκου.

Μετά την εκτέλεση των δοκιμών η πυκνότητα των προ-ξηραμένων αδρανών (ρ_p) με την μέθοδο συρμάτινου καλαθιού υπολογίζεται από την σχέση:

$$\rho_p = \rho_w * M_1 / [M_1 - (M_2 - M_3)] \quad (\text{Mg/m}^3)$$

όπου:

ρ_p = πυκνότητα νερού στην θερμοκρασία που κατεγράφη όταν προσδιορίστηκε η μάζα M_2 (Mg/m^3)

M_1 = μάζα ξηρών αδρανών στον αέρα (gr)

M_2 = μάζα αδρανών και του καλαθιού στο νερό (gr)

M_3 = μάζα άδειου καλαθιού στο νερό (gr)

Μετά την εκτέλεση των δοκιμών η πυκνότητα των προ-ξηραμένων αδρανών (ρ_p) με την μέθοδο πυκνόμετρου υπολογίζεται από την σχέση:

$$\rho_p = \rho_w * (M_2 - M_1) / [V - (M_3 - M_2)] \quad (\text{Mg/m}^3)$$

όπου:

ρ_p = πυκνότητα νερού στην θερμοκρασία που κατεγράφη όταν προσδιορίστηκε η μάζα M_2 (Mg/m^3)

M_1 = μάζα πυκνόμετρου με το καπάκι (gr)

M_2 = μάζα πυκνόμετρου του καπακιού και των αδρανών (gr)

M_3 = μάζα πυκνόμετρου του καπακιού των αδρανών και του νερού (gr)

V = όγκος πυκνόμετρου (ml)

5) Πυκνότητα λεπτότατου υλικού πλήρωσης

Ο προσδιορισμός της πυκνότητας του λεπτότατου υλικού πλήρωσης γίνεται με την μέθοδο του πυκνόμετρου. Στην περίπτωση αυτή τα πυκνόμετρα είναι μικρότερα για τον προσδιορισμό της πυκνότητας των αδρανών. Η χωρητικότητα των πυκνόμετρων είναι συνήθως 50 ml.

Κατά το Ευρωπαϊκό πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1097-7, μικρή ποσότητα ξηρού φύλλερ 10±1 g τοποθετείται σε πυκνόμετρο μαζί με κατάλληλο υγρό. Η καταλληλότητα του υγρού καθορίζεται από την ικανότητα να αποκολλά τους λεπτότατους κόκκους. Τέτοια υγρά μπορεί να είναι το νερό, η κηροζίνη.

Η πυκνότητα του φύλλερ (ρ_f) υπολογίζεται από την σχέση:

$$\rho_f = (m_1 - m_0) / [V - (m_2 - m_1) / \rho_1] \quad (\text{Mg/m}^3)$$

όπου:

ρ_1 = πυκνότητα υγρού στους 25°C (Mg/m³)

m_0 = μάζα πυκνόμετρου με το καπάκι (gr)

m_1 = μάζα πυκνόμετρου με το καπάκι και το φύλλερ (gr)

m_2 = μάζα πυκνόμετρου του καπακιού, το φύλλερ και το υγρό πλήρους πλήρωσης του πυκνόμετρου (gr)

V = όγκος πυκνόμετρου (ml)

6) Προσδιορισμός πυκνότητας μίγματος αδρανών

Όταν ο καθορισμός των πυκνοτήτων ενός μίγματος αδρανών γίνεται ξεχωριστά για κάθε κλάσμα αδρανών, τότε η αντιπροσωπευτική τιμή της πυκνότητας του μίγματος των αδρανών υπολογίζεται από την σχέση:

$$\rho_\chi = 100 / [(\rho_1 / \rho_{\chi 1}) + (\rho_2 / \rho_{\chi 2}) + \dots + (\rho_n / \rho_{\chi n})]$$

όπου:

ρ_χ = πυκνότητα μίγματος αδρανών (Mg/m³)

$\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ = ποσοστό αναλογίας κλάσματος αδρανών στο μίγμα (%)

$\rho_{\chi 1}, \rho_{\chi 2}, \dots, \rho_{\chi n}$ = αντίστοιχη πυκνότητα κλάσματος αδρανών (Mg/m³)

n = αριθμός κλασμάτων αδρανών στο μίγμα

7) Πυκνότητα μάζας χαλαρών αδρανών και κενών

Ως πυκνότητα μάζας χαλαρών αδρανών ορίζεται το πηλίκο της μάζας ξηρών αδρανών που γεμίζει δοχείο συγκεκριμένου όγκου χωρίς καμία συμπίκνωση προς τον όγκο του δοχείου. Η δοκιμή εκτελείται κατά το Ευρωπαϊκό πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1097-3 και εφαρμόζεται τόσο σε φυσικά και θραυστά αδρανή όσο και σε τεχνητά αδρανή.

Πίνακας 4.6: Ελάχιστη χωρητικότητα δοχείου κατά ΕΛΟΤ EN 1097-3

Μέγιστος κόκκος αδρανών (mm)	Χωρητικότητα (lt)
έως 4	1
έως 16	5
έως 31,5	10
έως 63	20

Η πυκνότητα της μάζας χαλαρού αδρανούς (ρ_b) υπολογίζεται από την σχέση:

$$\rho_b = (m_2 - m_1) / V \quad (\text{Mg/m}^3)$$

όπου:

m_1 = μάζα άδειου δοχείου (kg)

m_2 = μάζα δοχείου με τα αδρανή (kg)

V = χωρητικότητα δοχείου (lt)

Τα κενά (v) στα χαλαρά αδρανή υπολογίζονται από την σχέση:

$$v = [(\rho_p - \rho_b) / \rho_p] * 100$$

όπου:

v = ποσοστό κενών (%)

ρ_b = πυκνότητα μάζας χαλαρού αδρανούς (Mg/m^3)

ρ_p = πυκνότητα ξηρού αδρανούς στο φούρνο ή πυκνότητα προ-ξηραμένου αδρανούς (Mg/m^3)

4.12 ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ

1) Δοκιμή θεικού μαγνησίου

Η δοκιμή ανθεκτικότητας σε αποσάθρωση ή δοκιμή θεικού μαγνησίου καθορίζει την ανθεκτικότητα σε αποσάθρωση λόγω εναλλασσόμενων καιρικών επιδράσεων και κυρίως της ψύξης και της θέρμανσης. Με την εναλλαγή εποχιακών θερμοκρασιών επέρχεται μικρομεταβολή του όγκου των αδρανών υλικών και στην περίπτωση κατά την οποία τα αδρανή δεν είναι ανθεκτικά επέρχεται θρυμματισμός με καταστρεπτικά αποτελέσματα για το οδόστρωμα.

Η προσομοίωση της μεταβολής του όγκου των αδρανών γίνεται με την κρυσταλλοποίηση αλάτων θεικού μαγνησίου κατά την φάση της ξήρανσης των κορεσμένων αδρανών. Ποσότητα αδρανών 500 g αδρανή μεγέθους 10 mm έως 14 mm, κατά το Ευρωπαϊκό πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1367-2, εμβαπτίζεται για 17 ± 1 h σε διάλυμα θεικού μαγνησίου. Αφού αποστραγγίσουν για $2 \pm 0,25$ h ξηραίνονται σε θερμοκρασία $110 \pm 5^\circ\text{C}$ για 24 ± 1 h και η διαδικασία επαναλαμβάνεται 5 φορές.

Μετά το πέρας των επαναλαμβανόμενων βυθίσεων και του στεγνώματος, τα αδρανή ξεπλένονται με νερό ώστε να φύγει όλο το θεικό μαγνήσιο. Τα ξεπλυμένα αδρανή ξηραίνονται στους $110 \pm 5^\circ\text{C}$ και κατόπιν κοσκινίζονται με το χέρι χρησιμοποιώντας το κόσκινο των 10 mm. Η απώλεια βάρους λόγω της φθοράς καταγράφεται και εκφράζεται επι τοις εκατό κατά βάρος δείγματος. Ως αντιπροσωπευτική τιμή αποσάθρωσης σε θεικό μαγνήσιο λαμβάνεται ο μέσος όρος 2 δοκιμίων. Μέγιστες τιμές ανθεκτικότητας σε αποσάθρωση με θεικό μαγνήσιο που συνήθως χρησιμοποιούνται για αδρανή ασφαλτικών στρώσεων είναι 18% ή 25%.

2) Δοκιμή αντίστασης σε «πάγωμα και λιώσιμο»

Η δοκιμή αντίστασης σε «πάγωμα και λιώσιμο» δίνει πληροφορίες για το πως θα συμπεριφερθεί ένα αδρανές υλικό όταν αυτό υπόκειται σε κυκλική επίδραση «παγώματος» και «λιώσιμου». Η δοκιμή κατά το Ευρωπαϊκό πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1367-1, εκτελείται σε οποιαδήποτε μέγεθος αδρανούς υλικού από 4 mm έως 63 mm.

Προκαθορισμένη ποσότητα ξηρών αδρανών, αφού αφεθεί σε υδρόλουτρο $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ για 24 ώρες, υποβάλλεται σε σταδιακή ψύξη έως -20°C για προκαθορισμένο χρονικό διάστημα και έπειτα το δείγμα ξεπαγώνει σε θερμοκρασία $20\pm 3^{\circ}\text{C}$. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται 10 φορές.

Μετά το πέρας των 10 κύκλων το δείγμα κοσκινίζεται χρησιμοποιώντας το μικρότερο κόσκινο από αυτά που καθόρισαν το δείγμα. Η απώλεια βάρους λόγω της φθοράς που επήλθε καταγράφεται και εκφράζεται επι τοις εκατό κατά βάρος δείγματος. Ως αντιπροσωπευτική τιμή αντίστασης σε «πάγωμα και λιώσιμο» λαμβάνεται ο μέσος όρος 3 δοκιμίων.

3) Δοκιμή αντίστασης σε θερμικό σοκ

Με την δοκιμή αυτή καθορίζεται η αντίσταση των αδρανών σε θερμικό σοκ καθώς υποβάλλεται σε θέρμανση και ξήρανση κατά την παραγωγή των θερμών ασφαλτικών μιγμάτων. Η δοκιμή για τον καθορισμό της αντίστασης του αδρανούς υλικού σε θερμικό σοκ κατά ΕΛΟΤ EN 1367-5 προϋποθέτει και την εκτέλεση της δοκιμής σε θρυμματισμό κατά Los Angeles ή θρυμματισμό από κρούση (κατά ΕΛΟΤ EN 1097-2).

Διαδοχικά δείγματα αδρανών μεγέθους 14 mm / 10 mm και μάζας 1000 g αφού αφεθούν σε υδρόλουτρο θερμοκρασίας δωματίου για $2\pm 0,5$ h, τοποθετούνται σε ταψί και κατόπιν σε φούρνο, αφού προηγουμένως στεγνώσουν επιφανειακά με την βοήθεια απορροφητικού χαρτιού. Το δείγμα των αδρανών αφήνεται σε φούρνο θερμοκρασίας $700\pm 50^{\circ}\text{C}$ για 180 ± 5 sec. Μετά την απομάκρυνση των αδρανών από τον φούρνο, αφήνονται να κρυώσουν σε θερμοκρασίες δωματίου. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται σε δείγματα των 1000 g ώστε να υπάρξει επαρκής ποσότητα αδρανών για την δοκιμή θρυμματισμού κατά ΕΛΟΤ EN 1097-2. Αφού παραχθεί επαρκής ποσότητα για την εκτέλεση της δοκιμής θρυμματισμού, όλη η μάζα των αδρανών κοσκινίζεται από το κόσκινο 5 mm και η διερχόμενη ποσότητα καταγράφεται (M_2).

Το ποσοστό μείωσης του μεγέθους (I) λόγω του θερμικού σοκ υπολογίζεται από την σχέση:

$$I = (M_1 - M_2) / M_1 * 100$$

όπου:

M_1 = συνολική μάζα δείγματος του αδρανούς (g)

M_2 = συνολική μάζα δείγματος που διέρχεται του κόσκινου 5 mm (g)

Επιπρόσθετα εκτελείται 2 φορές η δοκιμή θρυμματισμού κατά Los Angeles ή λόγω κρούσης σύμφωνα με την ΕΛΟΤ EN 1097-2. Την 1^η φορά σε αδρανή που υπερβλήθησαν σε θερμικό σοκ και την 2^η σε αδρανή που δεν έχουν υποβληθεί σε θερμικό σοκ.

Η αντίσταση σε θερμικό σοκ ή της απώλειας αντοχής (V_{LA} ή V_{SZ}), ανάλογα με ποια δοκιμή εκτελείται (Los Angeles ή κρούσης) υπολογίζεται από την σχέση:

$$V_{LA} = LA_2 - LA_1 \quad \text{ή} \quad V_{SZ} = SZ_2 - SZ_1$$

όπου:

LA_1 = συντελεστής κατά Los Angeles κατά ΕΛΟΤ EN 1097-2

LA_2 = συντελεστής κατά Los Angeles αδρανών που υπερβλήθησαν σε θερμικό σοκ κατά ΕΛΟΤ EN 1097-2

SZ_1 = τιμή αντίστασης σε κρούση κατά ΕΛΟΤ EN 1097-2

SZ_2 = τιμή αντίστασης σε κρούση αδρανών που υπερβλήθησαν σε θερμικό σοκ κατά ΕΛΟΤ EN 1097-2

4) Περιεκτικότητα ύδατος στα αδρανή

Η περιεκτικότητα ύδατος των αδρανών υλικών σε νερό προσδιορίζεται με την ξήρανση αυτών σε αεριζόμενο φούρνο $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Η δοκιμή περιγράφεται από το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1097-5.

Κατά το πρότυπο, επαρκής ποσότητα αδρανούς υλικού τοποθετείται σε κατάλληλα ταψιά, ζυγίζεται μαζί με το ταψί και τοποθετείται στον φούρνο $110\pm 5^{\circ}\text{C}$. Η επαρκής ποσότητα του δείγματος είναι συνάρτηση του μέγιστου κόκκου των αδρανών (D).

- Εάν $D \geq 1 \text{ mm}$, η ελάχιστη ποσότητα του δείγματος είναι $0,2 D$.
- Εάν $D < 1 \text{ mm}$, η ελάχιστη ποσότητα του δείγματος είναι $0,2 \text{ kg}$

Το βάρος του δείγματος των αδρανών (M_1) καθορίζεται αφού αφαιρεθεί η μάζα του ταψιού (M_2). Τα αδρανή υλικά αφήνονται στον φούρνο μέχρι να αποκτήσουν σταθερό βάρος (M_3), αφού αφαιρεθεί η μάζα του ταψιού (M_2). Το σταθερό βάρος καθορίζεται από διαδοχικά ζυγίσματα, αφήνοντας το δείγμα να κρυώσει σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Όταν η διαφορά της μάζας του «ξηρού» δείγματος μεταξύ διαδοχικών ζυγισμάτων είναι $0,1\%$ της προηγούμενης ξηρής μάζας, τότε το δείγμα έχει αποκτήσει σταθερή μάζα. Σε αντίθετη περίπτωση το δείγμα τοποθετείται ξανά στον φούρνο για τουλάχιστον 1 ώρα και κατόπιν ξαναζυγίζεται.

Η περιεκτικότητα των αδρανών σε νερό (w) είναι η ποσότητα του νερού στο δείγμα των αδρανών εκφραζόμενη ως ποσοστό της μάζας του ξηρού δείγματος. Το ποσοστό υπολογίζεται από την σχέση:

$$w = [(M_1 - M_3) / M_3] * 100$$

όπου:

M_1 = μάζα δείγματος των αδρανών (g)

M_3 = μάζα ξηρών αδρανών (g)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΣΦΑΛΤΟΣ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΑ

5.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ασφαλτικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην οδοποιία, είναι η καθαρή άσφαλτος, τα παράγωγα αυτής ασφαλτικά διαλύματα και ασφαλτικά γαλακτώματα καθώς και κάθε είδους ασφαλτικά υλικά.

Η άσφαλτος γενικά προέρχεται από τη διύλιση του αργού πετρελαίου ή από κοιτάσματα φυσικής ασφάλτου. Ειδικά η χρησιμοποιούμενη στην οδοποιία άσφαλτος είναι το υπόλειμμα της διύλισης του αργού πετρελαίου. Με ρύθμιση της θερμοκρασίας κατά την απόσταξη παραμένουν στο υπόλειμμα λιγότερα ή περισσότερα ελαιώδη συστατικά και έτσι η παραγόμενη άσφαλτος είναι σκληρή ή μαλακή, αντίστοιχα. Στις περιοχές που έχουν ψυχρό κλίμα χρησιμοποιείται συνήθως μαλακή άσφαλτος, ενώ σε θερμότερα κλίματα χρησιμοποιείται σχετικά σκληρή άσφαλτος.

Κάθε τύπος ασφάλτου χαρακτηρίζεται από το βάθος στο οποίο διεισδύει μέσα στη μάζα αυτής πρότυπη βελόνα υπό την πίεση βάρους 100 gr που ενεργεί κάθετα επί χρόνο 5sec και σε θερμοκρασία 25°C. Έτσι υπάρχουν τύποι ασφάλτου 40/50, 80/100, 180/200 κλπ. Ο τύπος, π.χ., 80/100 σημαίνει ότι η βελόνα διεισδύει μέσα στη μάζα της ασφάλτου του τύπου αυτού σε βάθος 8 έως 10 mm. Στην Ελλάδα χρησιμοποιείται κατά κανόνα η άσφαλτος τύπου 80/100. Για τον έλεγχο της ασφάλτου οδοστρωσίας αποστέλλεται δείγμα στο εργαστήριο βάρους 1 έως 2 kg το οποίο υποβάλλεται σε δοκιμές.

5.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ

Οι εργαστηριακές δοκιμές που εκτελούνται στην άσφαλτο έχουν σκοπό να καθορίσουν τις χαρακτηριστικές ιδιότητες αυτής για να διαπιστωθεί η καταλληλότητα και να προβλεφθεί η συμπεριφορά αυτής καθώς και τους ασφαλτομίγματος κατά την διάρκεια ζωής του οδοστρώματος. Οι εργαστηριακοί έλεγχοι που συναντάμε είναι οι εξής:

- Δοκιμή διεισδυτικότητας
- Δοκιμή μάλθωσης
- Δείκτης διεισδυτικότητας
- Δοκιμή ολκιμότητας
- Ιξώδες

5.2.1 Δοκιμή διεισδυτικότητας

Με την δοκιμή διεισδυτικότητας μετράται έμμεσα η συνεκτικότητα και κατ' επέκταση η σκληρότητα της ασφάλτου. Η δοκιμή συνίσταται στο καθορισμό του βάθους διείσδυσης πρότυπης βελόνης μέσα σε δοκίμιο ασφάλτου κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας 25°C, φορτίου και χρόνου διείσδυσης. Η τυποποιημένη βελόνη έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια του δοκίμιου της ασφάλτου που βρίσκεται μέσα σε κυλινδρικό δοχείο και υπό την επίδραση του ίδιου βάρους της καθώς και συμπληρωματικού φορτίου έτσι ώστε το συνολικό φορτίο να είναι 100±0,1 g, αφήνεται ελεύθερη να εισχωρήσει για 5 sec στην άσφαλο. Μετά το πέρας της φόρτισης μετράται το βάθος διείσδυσης της βελόνας σε 0,1 mm. Η μονάδα αυτή είναι επίσης γνωστή ως «pen» (1 pen = 0,1 mm). Η δοκιμή περιγράφεται στο Ευρωπαϊκό πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1426.

Κατά το Ευρωπαϊκό πρότυπο, το εσωτερικό βάθος του μεταλλικού δοχείου θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 mm μεγαλύτερο της αναμενόμενης διείσδυσης και όχι μικρότερο των 35 mm. Η εσωτερική διάμετρος θα πρέπει να είναι 55 mm έως 70 mm.

Κατά την εκτέλεση της δοκιμής λαμβάνονται 3 τουλάχιστον μετρήσεις σε διαφορετικά σημεία της επιφάνειας του δοκίμιου (απόσταση μεταξύ των όχι μικρότερη των 10 mm) και κατόπιν εξάγεται ο μέσος όρος των τιμών αυτών (στρογγύλευση προς την πλησιέστερη μονάδα) που είναι η τελική τιμή διείσδυσης της ασφάλτου. Για ασφάλτους με διεισδυτικότητα μεγαλύτερη των 200 pen έως και 350 pen αλλάζει μόνο το μέγεθος του κυλινδρικού δοχείου διαμέτρου 55 mm και ύψους 70 mm. Για μαλακότερες των 350 pen ασφάλτους αλλάζει τόσο το δοχείο όσο και το μήκος της τυπικής βελόνης.

Άλλες τυπικές συνθήκες ελέγχου είναι σε χαμηλότερες θερμοκρασίες όπως 0°C ή 4°C όπου αλλάζει το συνολικό φορτίο και ο χρόνος φόρτισης, 200 gr και 60 sec

αντίστοιχα, ή σε υψηλότερες θερμοκρασίες όπως 46,1°C, όπου οι αντίστοιχες μεταβολές είναι 50 gr και 5 sec.

Ωστόσο, βασική προϋπόθεση είναι η διατήρηση της θερμοκρασίας ελέγχου καθ' όλη την διάρκεια των μετρήσεων. Αυτό επιτυγχάνεται με υδρόλουτρο όπου το νερό κυκλοφορεί μέσω συστήματος θέρμανσης και ψύξης (ψυκτικό μηχάνημα χρειάζεται όταν οι θερμοκρασίες περιβάλλοντος είναι μεγαλύτερες των 25°C). Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στην προετοιμασία των δοκιμίων της ασφάλτου έτσι ώστε να μην δημιουργούνται εγκλωβισμένες φυσαλίδες αέρος στην μάζα της ασφάλτου ή μη καλή επιπεδότητα ή ύπαρξη σκόνης και άλλων ξένων μικροσωμάτων στην επιφάνεια.



Εικόνα 5.1: Συσκευή δοκιμής διείδυσης

5.2.2 Δοκιμή μάλθωσης

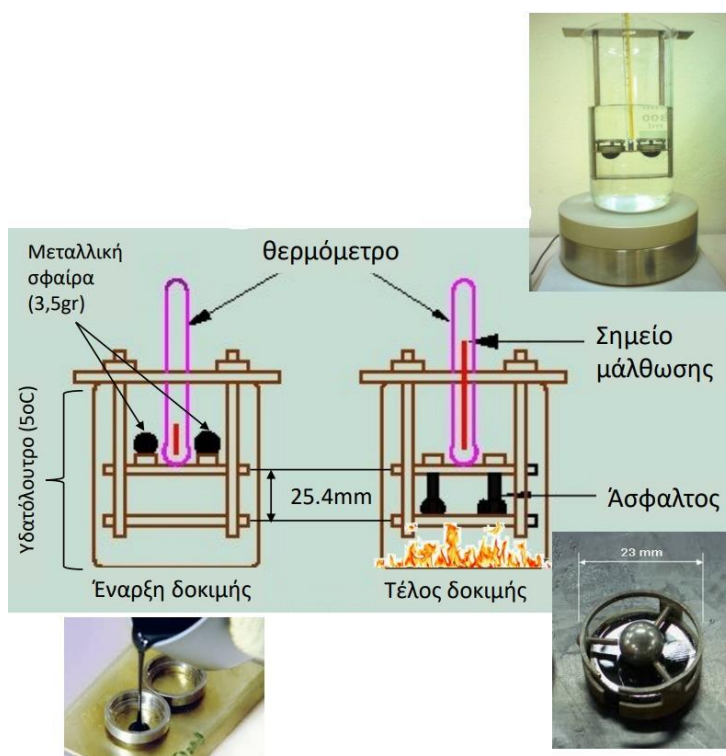
Η συνεκτικότητα της ασφάλτου μπορεί να καθορισθεί εμπειρικά και από την δοκιμή μάλθωσης ή δοκιμή «δακτυλίου και σφαίρας». Μαζί με την δοκιμή της διείδυσης, η δοκιμή μάλθωσης χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του τύπου των οξειδωμένων ασφάλτων. Με την δοκιμή αυτή καθορίζεται το σημείο μάλθωσης στην περιοχή των 30°C έως 150°C.

Ως σημείο μάλθωσης ορίζεται η θερμοκρασία στην οποία συγκεκριμένη ποσότητα ασφάλτου κάτω από ειδικές συνθήκες φόρτισης διανύει απόσταση 25,4 mm. Έτσι

καθορίζεται η θερμοκρασία σταδιακής μεταβολής της ασφάλτου από στερεή σε ρευστή κατάσταση. Η ασφαλτος ως ιξωδοελαστικό υλικό δεν έχει συγκεκριμένο σημείο τήξης. Με την αύξηση της θερμοκρασίας αρχίζει να μαλακώνει και να γίνεται περισσότερο ρευστή.

Η ποσότητα της ασφάλτου είναι αυτή που περικλείεται από τυπικό δακτύλιο και το φορτίο εξασκείται από τυπική μεταλλική σφαίρα διαμέτρου 9,5 mm και βάρους 3,5 gr. Ο δακτύλιος με την ασφαλτο τοποθετείται σε ειδική πλατφόρμα που βρίσκεται σε υδρόλουτρο με πάγο. Ο δακτύλιος αφήνεται μέσα στο υδρόλουτρο για περίπου 15 λεπτά ώστε να επιτευχθεί ομοιόμορφη θερμοκρασία σε όλη την μάζα της ασφάλτου. Κατόπιν τοποθετείται η μεταλλική σφαίρα στο κέντρο του δακτυλίου και αμέσως θερμαίνεται το υδρόλουτρο με σταθερό ρυθμό (5°C/λεπτό).

Κατά την δοκιμή χρησιμοποιούνται 2 δακτύλιοι προς επίτευξη 2 ταυτοχρόνων μετρήσεων. Ο μέσος όρος των μετρήσεων, στρογγυλεμένος στους πλησιέστερους 0,2°C για ασφάλτους με σημείο μάλθωσης έως και 80°C οδοστρωσίας ή στους 0,5°C για ασφάλτους με σημείο μάλθωσης >80°C, ορίζεται η θερμοκρασία ή το σημείο μάλθωσης. Εάν οι 2 μετρήσεις για μάλθωση $\leq 80^\circ\text{C}$ διαφέρουν μεταξύ τους πλέον του 1°C και πλέον των 2°C για μάλθωση >80°C, η δοκιμή επαναλαμβάνεται.



Εικόνα 5.2: Συσκευή δοκιμής μάλθωσης

Για τροποποιημένες ασφάλτους η δοκιμή επαναλαμβάνεται όταν:

- Η διαφορά μεταξύ 2 μετρήσεων είναι $>2^{\circ}\text{C}$
- Η μεταλλική σφαίρα διαχωρίζεται από τον υμένα ασφάλτου που την περιβάλλει πριν την επαφή με την κάτω πλατφόρμα
- Παρατηρηθεί μερική αποκόλληση της ασφάλτου από την μεταλλική σφαίρα

Για ασφάλτους που αναμένεται να έχουν σημείο μάλθωσης πάνω από 80°C το νερό αντικαθίσταται με γλυκερίνη και η θερμοκρασία έναρξης της δοκιμής είναι οι 30°C . Αντί για νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και μίγμα αιθυλογλυκόζης. Το μίγμα αυτό παρέχει την δυνατότητα να ελεγχθούν ασφάλτοι με αναμενόμενο σημείο μάλθωσης έως και 110°C .

Το σημείο μάλθωσης κοινών ασφάλτων οδοστρωσίας μπορεί να καθορισθεί, σε περίπτωση έλλειψης χρόνου ή συσκευής, από την διείσδυση αυτής με την προϋπόθεση ότι έχει καθορισθεί η σχέση των 2 παραμέτρων. Μετά από εκτεταμένους εργαστηριακούς ελέγχους σε ασφάλτους οδοστρωσίας ορίζεται η σχέση:

$$\text{Σημείο μάλθωσης } (^{\circ}\text{C}) = 87,3 - 22,5 * \log(\text{Pen})$$

όπου:

Pen = διείσδυση στους 25°C

5.2.3 Δείκτης διεισδυτικότητας

Η θερμοκρασιακή ευαισθησία της ασφάλτου, δηλαδή το πόσο εύκολα μαλακώνει με την αύξηση της θερμοκρασίας και το πόσο σκληραίνει με την πτώση της θερμοκρασίας, δεν μπορεί να προσδιοριστεί από την διείσδυση ή από το σημείο μάλθωσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι και οι 2 δοκιμές αναφέρονται σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία. Για τον καλύτερο προσδιορισμό της θερμοκρασιακής ευαισθησίας των ασφάλτων, προτάθηκε ο Δείκτης διεισδυτικότητας (PI). Ο καθορισμός του δείκτη διείσδυσης γίνεται υπολογιστικά χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα της διείσδυσης και του σημείου μάλθωσης.

Ο δείκτης διεισδυτικότητας ορίζεται από την σχέση:

$$PI = (1952 - 500 * \log Pen_{25} - 20 \times T_s) / (50 * \log Pen_{25} - T_s - 120)$$

όπου:

Pen_{25} = διείσδυση στους 25°C

T_s = σημείο μάλθωσης (°C)

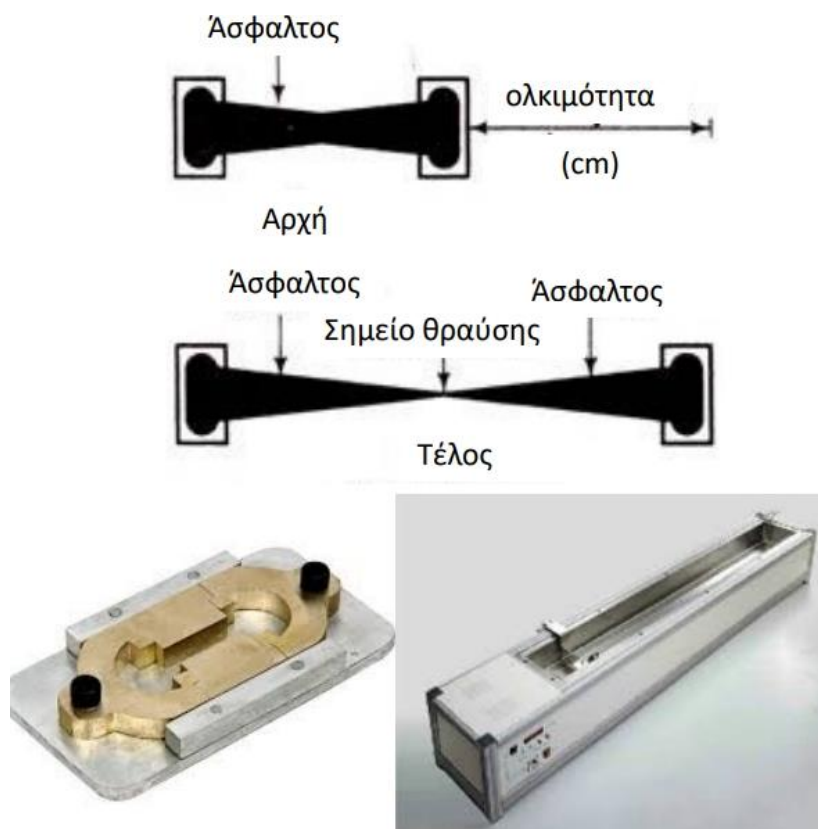
Οι οριακές θεωρητικές τιμές του δείκτη διείσδυσης είναι -10 για ασφάλτους με πάρα πολύ μεγάλη επιδεκτικότητα σε θερμοκρασιακές μεταβολές έως +20 για ασφάλτους σχεδόν ανεξάρτητες των θερμοκρασιακών μεταβολών. Για ασφάλτους οδοστρωσίας, ο δείκτης διείσδυσης μεταβάλλεται μεταξύ -3 και +7. Όσο μικρότερος είναι ο δείκτης διεισδυτικότητας τόσο πιο ευαίσθητη είναι η ασφαλτος στις θερμοκρασιακές μεταβολές. Η τιμή δείκτη διείσδυσης ίση με μηδέν θεωρείται ότι αντιστοιχεί σε ασφαλτο με διείσδυση 200 pen και σημείο μάλθωσης 40°C.

5.2.4 Δοκιμή ολκιμότητας

Η δοκιμή ολκιμότητας εξετάζει την αντοχή της ασφάλτου σε εφελκυσμό. Κατά την δοκιμή αυτή εξετάζεται κατά πόσο μια ασφαλτος δύναται να επιμηκυνθεί. Το γεγονός ότι όλες σχεδόν οι ασφαλτοι οδοστρωσίας, στην θερμοκρασία των 25°C, ικανοποιούν πλήρως την απαίτηση των προδιαγραφών έχει ως συνέπεια ο εμπειρικός έλεγχος να αμφισβητείται από πολλούς ερευνητές.

Κατά την δοκιμή της ολκιμότητας κατά ASTM D 113, δοκίμιο ασφάλτου επιμηκύνεται σε ειδική συσκευή κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες ταχύτητας και θερμοκρασίας (5 cm/min, 25°C) μέχρι να σπάσει. Το μήκος της επιμήκυνσης μόλις επέλθει θραύση, ορίζεται ως ολκιμότητα της ασφάλτου. Η δοκιμή εκτελείται σε 3 δοκίμια και σαν αντιπροσωπευτική τιμή λαμβάνεται ο μέσος όρος των 3 αποτελεσμάτων. Για να είναι αποδεκτό το αποτέλεσμα, η τυπική απόκλιση των αποτελεσμάτων θα πρέπει να είναι σύμφωνη με την τιμή που ορίζεται από τις προδιαγραφές.

Η παρασκευή των δοκιμών γίνεται δια εγχύσεως της θερμής ασφάλτου μέσα σε ειδικές επίπεδες ορειχάλκινες μήτρες οι οποίες παρέχουν την δυνατότητα, το μεσαίο τμήμα αυτών να αποσπάται αφήνοντας έτσι την ασφαλτο ελεύθερη να επιμηκυνθεί. Κατά την παρασκευή των δοκιμών θα πρέπει να αποφεύγεται η δημιουργία φυσαλίδων και να διασφαλίζεται η ομοιόμορφη ποσότητα και καθαρότητα της ασφάλτου μέσα στην μήτρα. Επιπλέον πρέπει να διασφαλίζεται η εύκολη αποκόλληση των μεσαίων τμημάτων της μήτρας λίγο πριν την έναρξη της δοκιμής. Αυτό επιτυγχάνεται αλείφοντας τα τοιχώματα με μίγμα ταλκ και γλυκερίνης. Κατά την διάρκεια του ελέγχου θα πρέπει να διατηρείται σταθερή η θερμοκρασία του υδρόλουτρου και να αποφεύγονται οι οποιοσδήποτε ταλαντώσεις ή κυματισμοί που προκαλούν την πρόωρη θραύση της ασφάλτου.



Εικόνα 5.3: Συσκευή δοκιμής ολκιμότητας

5.2.5 Ιξώδες

Το ιξώδες είναι μια θεμελιώδης χαρακτηριστική ιδιότητα της ασφάλτου διότι καθορίζει πως αυτή θα συμπεριφερθεί σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία ή σε ένα φάσμα θερμοκρασιών. Ως ιξώδες ορίζεται η αντίσταση που παρουσιάζει το ρευστό στην ικανότητα του να ρέει. Όταν το ρευστό επιβάλλεται μια δύναμη, όσο μικρότερη είναι η μετακίνηση τόσο μεγαλύτερο είναι το ιξώδες αυτού. Το ιξώδες μπορεί να μετρηθεί και με ιξωδόμετρα όπου η κίνηση ή αναπτυσσόμενη δύναμη οφείλεται στην βαρύτητα, δηλαδή στο ίδιο βάρος του ρευστού.



Εικόνα 5.4: Ιξώδες

5.3 ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΑ

Τα ασφαλτομίγματα έχουν χρήση κυρίως στην οδοποιία αλλά και σε άλλες κατασκευές (πχ αθλητικές εγκαταστάσεις), επομένως η ποιότητα τους μπορεί να επηρεάσει άμεσα την ποιότητα και την ασφάλεια αυτών των έργων. Τα ασφαλτομίγματα περιλαμβάνουν άσφαλο και αδρανή υλικά.

Οι στρώσεις που περιλαμβάνουν τα ασφαλτομίγματα είναι οι εξής:

- Στρώση έδρασης
- Στρώση υπόβασης από ασύνδετα αμμοχάλικα
- Στρώση βάσης από ασύνδετα αμμοχάλικα
- Ασφαλτικές στρώσεις



Εικόνα 5.5: Στρώσεις ασφαλτομίματος

Οι ασφαλτικές στρώσεις έρχονται σε άμεση επαφή με τα φορτία της κυκλοφορίας. Τα υλικά είναι ανώτερης ποιότητας. Πρέπει να:

- Εξασφαλίζουν υψηλά επίπεδα αντιολισθητικής ικανότητας, ομαλότητας, ηχοαπορρόφησης

- Να ανθίσταται σε παραμορφώσεις
- Να παρέχουν καλή αποστράγγιση

Οι ασφαλικές στρώσεις χωρίζονται σε 3 κατηγορίες:

- Επιφανειακή στρώση (αντιολισθηρή)
- Ισοπεδωτική / συνδετική στρώση
- Ασφαλική βάση

Η επιφανειακή (αντιολισθηρή) στρώση διαθέτει άμεση επαφή με τα φορτία της κυκλοφορίας, φθείρεται με το χρόνο αλλά μπορεί να αφαιρεθεί και να τοποθετηθεί καινούργια. Αντίθετα η ασφαλική βάση αποτελεί το κύριο μέρος της δομής ενός εύκαμπτου οδοστρώματος και υπάρχει κατανομή του φορτίου.

5.3.1 Κατηγορίες ασφαλτομιγμάτων

Τα ασφαλτομίγματα διακρίνονται σε 2 κατηγορίες:

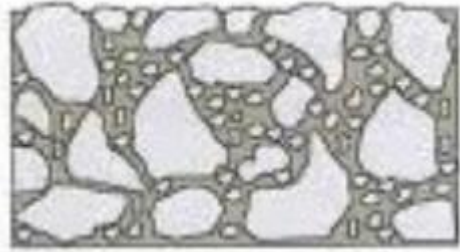
- Θερμά
- Ψυχρά

1) Θερμά ασφαλτομίγματα

Θερμό ασφαλτόμιγμα ορίζεται το μίγμα ασφάλτου και μίγματος αδρανών υλικών που παράγεται «εν θερμώ» σε μόνιμη εγκατάσταση και διαστρώνεται πριν την απόδοση της ασφαλικής στρώσεις στην κυκλοφορία. Χωρίζονται στα κλειστού τύπου και ανοιχτού τύπου. Η διαδικασία τους γίνεται ως εξής:



Εικόνα 5.6: Σκυρομαστίχη ασφάλτου (SMA)



Εικόνα 5.7: Ασφαλτικό σκυρόδεμα



Εικόνα 5.8: Macadam



Εικόνα 5.9: Ασφαλτόμιγμα πορώδους σύνθεσης

2) Ψυχρά ασφαλτομίγματα

Ψυχρά ασφαλτομίγματα είναι τα ασφαλτομίγματα στα οποία το συνδετικό υλικό είναι ασφαλτικό γαλάκτωμα. Η παραγωγή τους γίνεται σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος, σε αντίθεση με τα θερμά ασφαλτομίγματα στα οποία η θέρμανση της ασφάλτου και των αδρανών είναι αναγκαία. Χωρίζονται σε ασφαλτικές βάσεις και σε αντιολισθηρές στρώσεις ή επιστρώσεις βάσεις.

Οι ασφαλτικές βάσεις ή τάπητες κυκλοφορίας είναι παρόμοια κοκκομετρική σύνθεση με ασφαλτικό σκυρόδεμα. Οι αντιολισθηρές και ασφαλτικές επιστρώσεις έχουν λεπτόκοκκα αδρανή και μεγάλη περιεκτικότητα νερού → Slurry seals.

Το **ασφαλτικό σκυρόδεμα** αποτελεί μελέτη της σύνθεσης αδρανών και ασφάλτου για τη δημιουργία του ασφαλτικού σκυροδέματος. Το μίγμα των αδρανών (σκύρα, άμμος και παιπάλη) πρέπει να είναι ομαλά διαβαθμισμένο μεταξύ των καθορισμένων ορίων της κατηγορίας ασφαλτικού σκυροδέματος που επιλέχτηκε. Κατά τη σύνθεση αυτή πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι εξής παράγοντες που επηρεάζουν ευμενώς την ευστάθεια του ασφαλτικού σκυροδέματος, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις βαριάς κυκλοφορίας και μεγάλου ανά τροχό φορτίου:

- Χρησιμοποίηση αδρανών της μέγιστης δυνατής διάστασης κόκκων
- Χρησιμοποίηση αδρανών της μέγιστης δυνατής αναλογίας χοντρόκοκκων αδρανών
- Έλεγχος του χρησιμοποιούμενου ποσοστού παιπάλης προς αποφυγή δημιουργίας πλαστικότητας στο ασφαλτικό σκυρόδεμα

Οι μέθοδοι υπολογισμού της μελέτης σύνθεσης αναπτύσσονται στις ακόλουθες φάσεις:

- Προσδιορισμός αναλογιών των τριών κλασμάτων των αδρανών, ήτοι, σκύρων, άμμου και παιπάλης
- Εκλογή δοκιμαστικού ποσοστού (%) ασφάλτου, για την παροχή στο μίγμα της κατάλληλης ευστάθειας και άλλων χαρακτηριστικών
- Δοκιμασία του εκλεγέντος ασφαλτικού σκυροδέματος για την διαπίστωση όλων των απαιτούμενων ιδιοτήτων. Περιγραφή της δοκιμασίας ευστάθειας για τον καθορισμό του χρησιμοποιηθέντος τελικού μίγματος και των κατασκευαστικών ιδιοτήτων του

Για τις ποσοτικές αναλογίες σκύρων, άμμου και παιπάλης δεν έχουν καθοριστεί αυστηροί και άκαμπτοι μέθοδοι. Από την πείρα έχει αποδειχθεί ότι η ποσότητα των σκύρων εντός του ασφαλτικού σκυροδέματος πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 40 και 65% του ολικού βάρους των αδρανών. Σε ποσότητες μικρότερες των 40% τα σκύρα διακινούνται ή αναδεύονται μέσα στο μίγμα. Έτσι δεν παρουσιάζουν μηχανική εμπλοκή με αποτέλεσμα να μειώνεται η ευστάθεια του μίγματος, λόγω μείωσης της γωνίας εσωτερικής τριβής. Σε αναλογία μεγαλύτερη του 65% τα σκύρα θα αφήνουν στη μάζα του μίγματος μεγάλο ποσοστό κενών με αποτέλεσμα να μειωθεί το φαινόμενο βάρος και η ευστάθεια.

Η εργασία προσδιορισμού του ποσοστού της ασφάλτου με τη μέθοδο των επιφανειακών εμβαδών θεωρείται ως δοκιμαστική μέθοδος και πρέπει να επαληθεύεται με εργαστηριακή μέθοδο σε ασφαλτόμιγμα που περιέχει την ποσότητα ασφάλτου που προσδιορίστηκε με αυτόν τον τρόπο. Η περισσότερο παραδεκτή εργαστηριακή μέθοδος μελέτης σύνθεσης ασφαλτικών σκυροδεμάτων είναι η **μέθοδος Marshall** (AASHTO T245-97, 1998) που εφαρμόζεται και στη χώρα μας λόγω των παρακάτω πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει:

- Η συσκευή δοκιμασίας είναι ελαφριά και μεταφέρεται εύκολα
- Εκτός από την απλότητά της, δίνει γρήγορα ασφαλή αποτελέσματα
- Μπορεί να εφαρμοστεί για τον έλεγχο των ασφαλτομιγμάτων αμέσως μόλις βγουν από την εγκατάσταση ανάμιξης

Η εργαστηριακή αυτή μέθοδος, που επινοήθηκε από τον Αμερικανό μηχανικό Marshall, χρησιμοποιεί τυποποιημένα κυλινδρικά δοκίμια ασφαλτομίγματος διαμέτρου 10,16 cm και ύψους 6,45 cm τα οποία παρασκευάζονται με ειδικές μεθόδους θέρμανσης, ανάμιξης και συμπίκνωσης των αδρανών με διάφορες αναλογίες ασφάλτου. Η παρακάτω περιγραφή της παρούσας υποενοότητας έχει βασιστεί στο βιβλίο του Νικολαΐδη (2002).

Τα κύρια χαρακτηριστικά της μεθόδου είναι η διερεύνηση των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων του συμπτυκνωθέντος ασφαλτικού σκυροδέματος. Οι ανωτέρω ιδιότητες ορίζονται ως εξής:

- Ευστάθεια ενός δοκίμιου είναι το μέγιστο φορτίο σε lbs ή kN που μπορεί να φέρει ένα πρότυπο δοκίμιο στους 60°C όταν φορτίζεται κατά προδιαγεγραμμένη μέθοδο μέχρι τη θραύση του.
- Υποχώρηση ή διαρροή του παραπάνω δοκίμιου ορίζεται η μετακίνηση ή η παραμόρφωση σε in/100 την οποία παρουσιάζει μεταξύ του μηδενικού φορτίου και του μέγιστου φορτίου (θραύσης) κατά την παραπάνω δοκιμασία της ευστάθειας.
- Φαινόμενο ειδικό βάρος, ρ_{gf} , είναι το υπολογιζόμενο ειδικό βάρος του ασφαλτομίγματος σε ρ_{cf} ή gr^*/cm^3 .
- Ποσοστό (%) κενών αέρα ολικού μίγματος, V_a , είναι το (%) ποσοστό του όγκου των κενών αέρα μέσα στο ολικό συμπτυκνωμένο μίγμα.

- Ποσοστό (%) κενών στο σκελετό των αδρανών, VMA, είναι το (%) ποσοστό του όγκου των κενών στο σκελετό του συμπυκνωμένου μίγματος.
- Ποσοστό (%) κενών που έχουν γέμιση με άσφαλτο, VFA, είναι το (%) ποσοστό του όγκου των κενών μέσα στα αδρανή που έχει γεμίσει με άσφαλτο.

Σύμφωνα με τη μέθοδο Marshall (AASHTO T245-97, 1998) παρασκευάζεται μία σειρά από 5 δοκίμια ασφαλτομίγματος με διαφορετική περιεκτικότητα σε άσφαλτο τα οποία υποβάλλονται σε εργαστηριακές δοκιμές και υπολογισμούς για τον προσδιορισμό των ανωτέρω έξι ιδιοτήτων (ευστάθεια, υποχώρηση, ρ_{gp} , V_a , VMA, VFA) ως συνάρτηση των παραπάνω ποσοστών της ασφάλτου, ενώνοντας τα πειραματικά σημεία προκύπτουν καμπύλες.

Ο **προσδιορισμός κενών (V_a)** υπολογίζεται από την σχέση:

$$V_a = (\rho_m - \rho_b) / \rho_m * 100\%$$

όπου:

ρ_m = το μέγιστο θεωρητικό ειδικό βάρος (Kgr/ m³)

ρ_b = το φαινόμενο ειδικό βάρος (Kgr/ m³)

Το **μέγιστο θεωρητικό ειδικό βάρος χαλαρού ασφαλτομίγματος** υπολογίζεται από την σχέση:

$$\rho_m = (m_2 - m_1) / (V_p - (m_3 - m_2 / \rho_w))$$

όπου:

m_1 = η μάζα του πυκνομέτρου (Kgr)

m_2 = η μάζα πυκνομέτρου και δείγματος (Kgr)

m_3 = η συνολική μάζα πυκνομέτρου, δείγματος και νερού στους 25oC (Kgr)

V_p = ο όγκος του πυκνομέτρου (m³)

ρ_w = η πυκνότητα του νερού στη θερμοκρασία ελέγχου (Kgr/ m³)

Το φαινόμενο ειδικό βάρος των δοκιμίων Marshall υπολογίζεται από την σχέση:

$$\rho_b = (m_1 * \rho_w) / (m_3 - m_2)$$

όπου:

m_1 = η μάζα του ξηρού δοκιμίου στον αέρα (Kgr)

m_2 = η μάζα του δοκιμίου στο νερό (Kgr)

m_3 = η μάζα του υγρού (κορεσμένου) δοκιμίου στον αέρα (Kgr)

ρ_w = η πυκνότητα του νερού στη θερμοκρασία ελέγχου (Kgr/ m³)

Ο προσδιορισμός κενών στο σκελετό των αδρανών (VMA) υπολογίζεται από την σχέση:

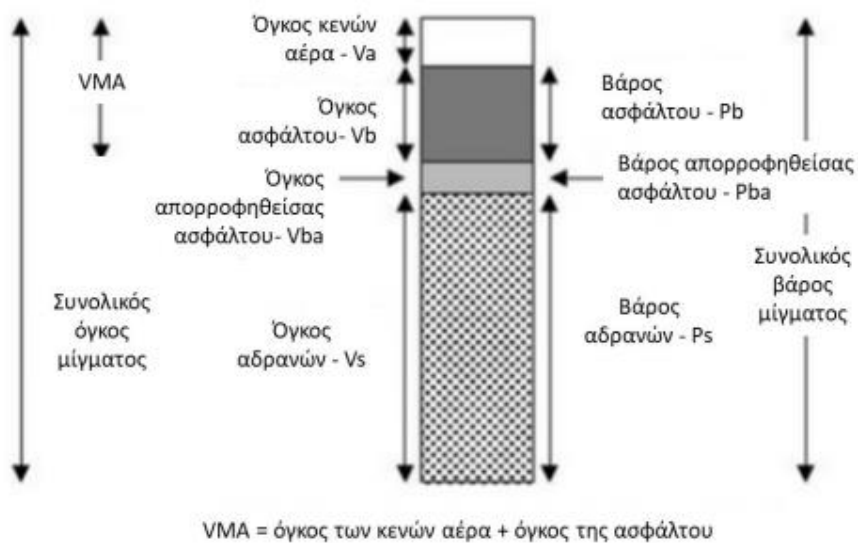
$$VMA = 100 - (\rho_b \times P_s / G_{sb})$$

όπου:

ρ_b = το φαινόμενο ειδικό βάρος (Kgr/ m³)

P_s = το ποσοστό των αδρανών (%) στο μίγμα

G_{sb} = το φαινόμενο ειδικό βάρος των αδρανών (Kgr/ m³)



Εικόνα 5.11: Προσδιορισμός κενών στο σκελετό των αδρανών (VMA)

Για τον υπολογισμό του φαινομένου βάρους των αδρανών γίνεται εμβάπτιση αδρανών στο νερό σε θερμοκρασία 250°C για περίπου 15-19 ώρες. Το δείγμα βγαίνει από το νερό, σκουπίζεται επιφανειακά με πετσέτα και ζυγίζεται (B). Έπειτα το δείγμα τοποθετείται σε καλάθι, στη συνέχεια στο νερό και ζυγίζεται (C). Το δείγμα βγαίνει από το νερό και τοποθετείται σε φούρνο για να στεγνώσει. Αφήνεται σε θερμοκρασία δωματίου 1-3 ώρες και ζυγίζεται (A).

Το φαινόμενο ειδικό βάρος αδρανών υπολογίζεται από την σχέση:

$$G_{sb} = A / (B - C)$$

Τα κενά που γέμισαν με ασφάλτο (VFA) υπολογίζονται από την σχέση:

$$VFA = (VMA - V_m / VMA) * 100 \%$$

$$VFA = (V_b / VMA) * 100 \%$$

όπου:

VMA = % κενών στον σκελετό των αδρανών

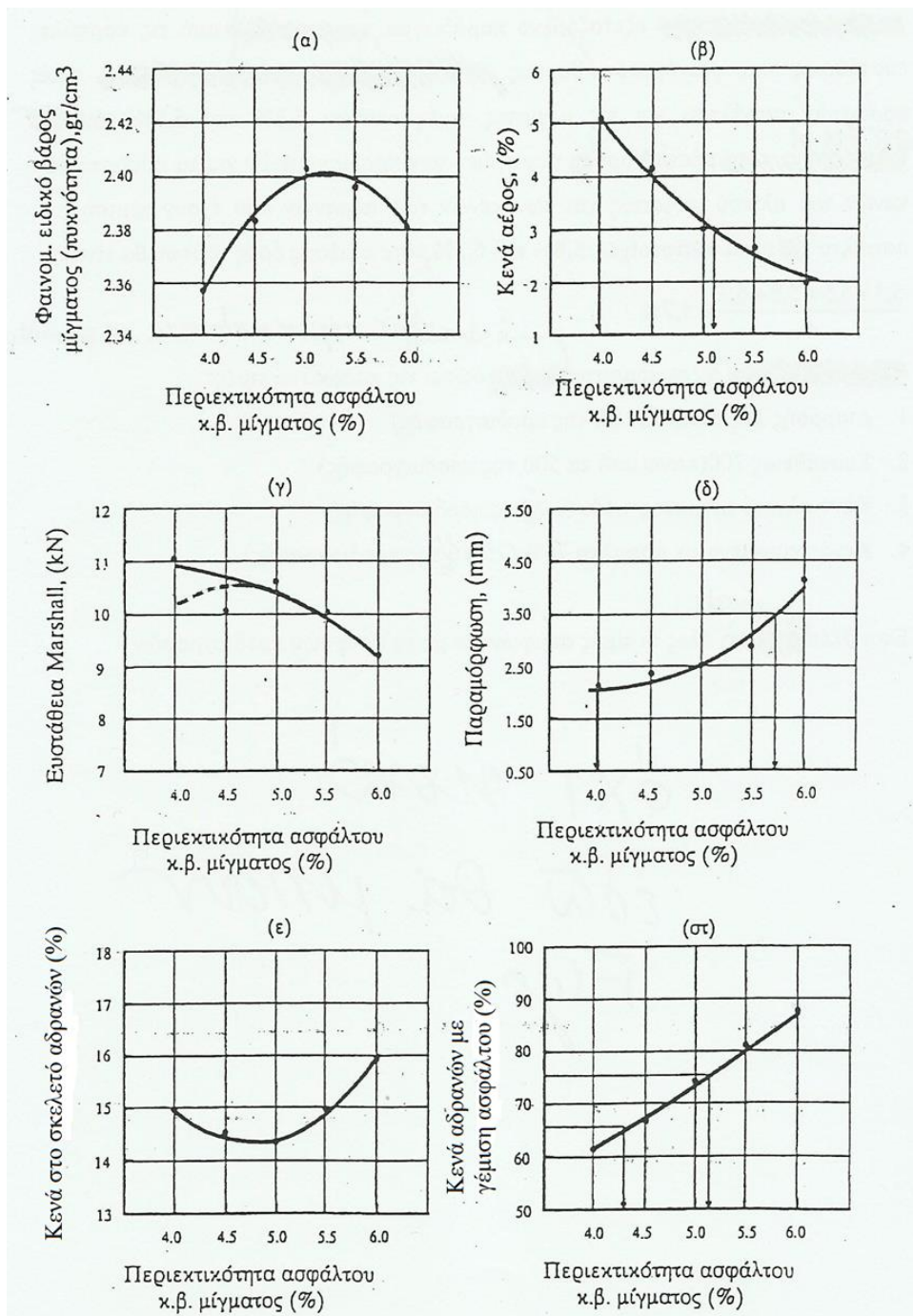
V_m = % κενών αέρα

V_b = % ασφάλτου

Από τη μελέτη τυπικών καμπυλών της εργαστηριακής δοκιμασίας κατά Marshall προκύπτει ότι:

- Το φαινόμενο ειδικό βάρος ρ_{gp} αυξάνει με την αύξηση του ποσοστού της ασφάλτου μέχρι μιας μέγιστης τιμής και κατόπιν μειώνεται (Σχ.6.23.α).
- Τα επί τοις εκατό κενά του ολικού μίγματος V_a μειώνονται με την αύξηση του ποσοστού της ασφάλτου μέχρι μηδενισμού (Σχ.6.23.β).
- Η τιμή της ευστάθειας αυξάνει με την αύξηση του ποσοστού της ασφάλτου μέχρι ενός μεγίστου και κατόπιν μειώνεται μέχρι μιας ελάχιστης τιμής (Σχ.6.23.γ). Εδώ θα πρέπει να τονιστεί ότι η καμπύλη ευστάθειας δεν έχει συνήθως μονοσήμαντη μέγιστη τιμή.

- Η διαρροή (υποχώρηση ή παραμόρφωση) αυξάνει με την αύξηση του ποσοστού της ασφάλτου (Σχ.6.23.δ).
- Τα (%) κενά των αδρανών, VMA, αρχικά μειώνονται και μετά αυξάνονται με το ποσοστό της ασφάλτου (Σχ.6.23.ε).
- Τα (%) κενά των αδρανών που έχουν γεμίσει από άσφαλτο, VFA, αυξάνουν με την αύξηση του ποσοστού της ασφάλτου μέχρι μιας ορισμένης τιμής.



Εικόνα 5.12: Τυπικές καμπύλες αποτελεσμάτων δοκιμών κατά Marshall (από Νικολαΐδη, 2002)

Το βέλτιστο ποσοστό της ασφάλτου για ένα ασφαλτικό σκυρόδεμα προκύπτει με βάση τις προδιαγραφές του Asphalt Institute (1994) για τις διάφορες ιδιότητες της μεθόδου Marshall, όπως αυτές περιγράφονται στον Πίνακα 6.2, όπου κ/φ σημαίνει κυκλοφοριακός φόρτος και ΙΤΑ=ESAL. Το βέλτιστο μίγμα είναι αυτό που ικανοποιεί ταυτόχρονα όλες τις προδιαγραφές του Πίνακα 6.2. Επειδή τέτοια μίγματα είναι περισσότερα από ένα, το τελικό μίγμα επιλέγεται με τη βοήθεια της Εικόνας 6.23, στο οποίο καταγράφονται οι προδιαγραφές των έξι ιδιοτήτων της μεθόδου Marshall με τις αντίστοιχες οριακές τιμές του ποσοστού ασφάλτου στο μίγμα που προσδιορίζονται με συνδυασμό της Εικόνας 6.23 και του Πίνακα 6.2.

Πίνακας 5.1: Προδιαγραφές ιδιοτήτων μεθόδου Marshall κατά Asphalt Institute (1994), (από Νικολαΐδη, 2002)

Κριτήρια Marshall	Μικρός κ/φ ΙΤΑ < 10 ⁴	Μέσος κ/φ ΙΤΑ 10 ⁴ -10 ⁶	Μεγάλος κ/φ ΙΤΑ > 10 ⁶	
	Στρώσεις κυκλοφορίας και βάσεις			
Συμπύκνωση, κτύποι	2x35	2x50	2x75	
Ελάχιστη ευστάθεια, kN (lb)	3.34 (750)	5.34(1200)	8.01 (1800)	
Παραμόρφωση, mm	2.0 - 4.5	2.0 - 4.0	2.0 - 3.5	
Κενά αέρος, %	3 - 5	3 - 5	3 - 5	
Κενά που γέμισαν με άσφαλτο, VFA, %	70 - 80	65 - 78	65 - 75	
	Για όλες τις περιπτώσεις			
	Ονομαστικό μέγεθος αδρανών ^(α) (mm)	Ελάχιστο VMA, (%), για κενά αέρος ^(β) :		
		3%	4%	5%
	63 (2.5")	9.0	10.0	11.0
	50 (2.0")	9.5	10.5	11.5
Κενά στο σκελετό των αδρανών (VMA), %	37.5 (1.5")	10.0	11.0	12.0
	25.0 (1.0")	11.0	12.0	13.0
	19.0 (3/4")	12.0	13.0	14.0
	12.5 (1/2")	13.0	14.0	15.0
	9.5 (3/8")	14.0	15.0	16.0
	4.75 (No. 4)	16.0	17.0	18.0
	2.36 (No. 8)	19.0	20.0	21.0
	1.18 (No. 16)	21.5	22.5	23.5

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

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

Το ασφαλτικό σκυρόδεμα κλειστού τύπου στην Ελλάδα προδιαγράφεται βάσει της εγκυκλίου 17/9-9-2016 του Υ.ΥΠΟ.ΜΕ.ΔΙ., από την ΠΕΤΕΠ 05-03-11-04:2016 (Υ.ΥΠΟ.ΜΕ.ΔΙ. 2016). Η προδιαγραφή αυτή είναι αναθεώρηση της ΕΛΟΤ ΤΟ 1501-05-03-11-04:2009, η οποία προήλθε από την ΠΕΤΕΠ 05-03-11-04:2006.

Οι απαιτήσεις ΠΕΤΕΠ αποτελεί χαρακτηριστικό ασφαλτικού σκυροδέματος για όλες τις ασφαλτικές στρώσεις.

Πίνακας 5.2: Απαιτήσεις ΠΕΤΕΠ

Χαρακτηριστικά κριτήρια		Για όλες τις κατηγορίες οδών			
Βαθμός συμπύκνωσης, κτύποι		2x75			
Ευστάθεια (kN)		> 8,0			
Παραμόρφωση (mm)		2,0 - 4,0			
Κενά αέρος (%)		3,0 - 5,0			
Κενά που γέμισαν με άσφαλτο(%)		65 - 74			
Κενά συμπυκνωμένων αδρανών (Κενά στο σκελετό των αδρανών) %		Για όλες τις περιπτώσεις			
		Ονομαστικό μέγεθος μίγματος αδρανών (mm)	Για κενά αέρος		
			3%	4%	5%
		40	> 10,0	> 11,0	>12,0
		31,5	> 11,0	> 12,0	>13,0
		20	> 12,0	> 13,0	>14,0
		12,5	> 13,0	> 14,0	>15,0
10	> 14,0	> 15,0	>16,0		

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΜΕΛΕΤΗ ΕΡΓΟΥ

6.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Το αντικείμενο του ανώτερου έργου περιλαμβάνει τις εργασίες κατασκευής οδού από την είσοδο του Χ.Υ.Τ.Α Ξερόλακκας έως τον αρχαιολογικό χώρο Βούντηνης. Το συνολικό μήκος της κατασκευής οδού είναι περίπου 700 m και εκτελέστηκαν εργασίες χωματουργικών, τεχνικών, οδοστρωσίας, ασφαλτικών, Η/Μ και σήμανσης.

Το έργο περιλαμβάνει τις εξής παρακάτω ενέργειες:

- Κατασκευή οδοστρωσίας πλάτους 6 m
- Κατασκευή πεζοδρομίων στην αριστερή παρειά πλάτους 2 m προσπελάσιμα από άτομα με ΑΜΕΑ με την κατασκευή κεκλιμένων επιπέδων (ράμπες)
- Τοποθέτηση προστατευτικών κιγκλιδωμάτων στην αριστερή παρειά των πεζοδρομίων
- Κατασκευή τοίχων αντιστήριξης οπλισμένου σκυροδέματος και μεταβλητών διατομών στην αριστερή παρειά προκειμένου να εξασφαλιστεί η ευστάθεια του ανάντι πρανούς
- Κατασκευή επενδεδυμένης τάφρου στην δεξιά παρειά του οδοστρώματος για την απορροή των υδάτων και προστασία του οδοστρώματος
- Κατασκευή αγωγού ύδρευσης όπισθεν της επενδεδυμένης τάφρου και στραγγιστηρίου
- Κατασκευή δικτύου αποχέτευσης ομβρίων υδάτων της οδού
- Τοποθέτηση μονών επίστυλων φωτιστικών LED οδικού φωτισμού ύψους 7 m

6.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Στόχος της Αναδόχου Εταιρίας (ΑΤΕΧΑ) είναι η κατασκευή του έργου το οποίο θα ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις ποιότητας που επιβάλλονται αλλά και η διασφάλιση της αντοχής του στον χρόνο. Για την επίτευξη, προτάθηκε η εξής μεθοδολογία κατασκευής:

- Διάνοιξη κατά τμήματα με βάση την αρχή του έργου στην είσοδο της Ξερόλακας με γνώμονα πάντα την απρόσκοπτη κυκλοφορία των περιόικων και των επισκεπτών του αρχαιολογικού χώρου
- Ακολουθεί στα έτοιμα τμήματα της κατασκευής μια πρώτη στρώση υπόβασης για την κυκλοφορία
- Κατασκευή αγωγού ομβρίων και ύδρευσης και των σχαρών ομβρίων
- Κατασκευή επενδεδυμένης τάφρου, κρασπεδορείθρων και πεζοδρομίων
- Τοποθέτηση βάσεων Η/Φ
- Ακολουθεί οδοστρωσία και πρώτος τάπητας ασφάλτου
- Κατασκευή πεζοδρομίων και τοποθέτηση Η/Φ
- Κατασκευή τελικού τάπητα

6.3 ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΟΥ

Στόχος του έργου είναι η βελτίωση της υφιστάμενης οδού από την είσοδο του Χ.Υ.Τ.Α Ξερόλακας έως την είσοδο του Αρχαιολογικού χώρου της Βούντενης προκειμένου να καταστεί ασφαλέστερη και ευκολότερη η μετακίνηση προς τον αρχαιολογικό χώρο.

Η περιοχή μελέτης του έργου υπάγεται στο διοικητικά όρια του Δήμου Πατρέων. Το έργο αφορά στην κατασκευή της οδού από την είσοδο του Χ.Υ.Τ.Α Ξερόλακας έως τον Αρχαιολογικό Χώρο της Βούντενης μέσω της κατασκευής των απαραίτητων τεχνικών έργων.

Σκοπός του έργου είναι η βελτίωση της υφισταμένης οδού προκειμένου να γίνει ασφαλέστερη η διέλευση των οχημάτων από την περιοχή που συνδέει τον οικισμό με τον κεντρικό δρόμο και την είσοδο στο Χ.Υ.Τ.Α Ξερόλακας.

Με την μελέτη έργου προβλέπεται η διαπλάτυνση τμήματος υφιστάμενης ασφαλτοστρωμένης δημοτικής οδού μέσου πλάτους 6 m και η κατασκευή πεζοδρόμιου πλάτους 2,05 m στην κατάντη πλευρά, με έρεισμα μεταβλητού πλάτους. Η οδός αυτή αποτελεί δευτερεύουσα οδό της Βούντενης και συνδέει τον οικισμό με τον κεντρικό δρόμο και την είσοδο στο Χ.Υ.Τ.Α Ξερόλακας.

Το τμήμα που έχει διαπλατυνθεί έχει μήκος περίπου 700 m και εκτείνεται από την είσοδο του Χ.Υ.Τ.Α μέχρι τον ήδη κατασκευασμένο χώρο στάθμευσης (parking) του Αρχαιολογικού χώρου της Βούντενης, τον οποίο εξυπηρετεί κυρίως. Η περιοχή επέμβασης βρίσκεται εκτός των ορίων της περιοχής του εθνικού καταλόγου του Ευρωπαϊκού Οικολογικού Δικτύου NATURA 2000. Φορέας υλοποίησης του ανωτέρω έργου είναι ο Δήμος Πατρέων.

6.4 ΠΡΟΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ο προϋπολογισμός μελέτης εκτιμά το κόστος ολοκλήρωσης του έργου. Μετράνε την μισθοδοσία, τα υλικά και τον εξοπλισμό.

Πίνακας 6.1: Πίνακας Προϋπολογισμού Μελέτης

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΔΗΜΟΣ ΠΑΤΡΕΩΝ

ΕΡΓΟ : ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΟΔΟΥ ΑΠΟ ΕΙΣΟΔΟ
ΧΥΤΑ ΞΕΡΟΛΑΚΑΣ ΕΩΣ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ
ΧΩΡΟ ΒΟΥΝΤΕΝΗΣ

ΠΡΟΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

ΑΑ	Είδος Εργασιών	Κωδικός Αρθρού	Α.Τ.	Κωδικός Αναθεώρησης	Μον. Μετρ.	Ποσότητα	Τιμή Μονάδας (Ευρώ)	Δαπάνη (Ευρώ)	
								Μερική Δαπάνη	Ολική Δαπάνη
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Χωματοουργικά									
1	ΕΚΣΚΑΦΗ ΧΑΝΔΑΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΛΩΔΙΩΝ Η ΣΩΛΗΝΩΝ	ΑΤΗΕ Ν9302.1	1	ΟΙΚ2123	μ3	195	21,76	4.243,20	
2	ΔΙΕΛΕΥΣΗ ΚΑΛΩΔΙΩΝ Η ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΕΜΠΟΔΙΑ	ΝΑΟΙΚ Ν20.04.04	2	ΟΙΚ 2122	τεμ	2	50,00	100,00	
3	Εκκαθαφή χαλαρών εδαφών	ΝΑΟΔΟ ΑΙΑ01	3	ΝΟΔΟ 1110	m3	3.579,81	0,82	2.935,44	
4	Γενικές Εκκαθαρές σε έδαφος γαιώδες - ημιβραχώδες	ΝΑΟΔΟ ΑΙΑ02	45	ΝΟΔΟ 1123.Α	m3	6.812,05	1,14	7.765,74	
5	Διάνοξη τάφρου σε έδαφος γαιώδες - ημιβραχώδες	ΝΑΟΔΟ ΑΙΑ04.1	46	ΝΟΔΟ 1212	m3	65	2,09	135,85	
6	Καθαίρεση περιφράξεων με σιμωτόπλεγμα	ΝΑΟΔΟ ΑΙΑ10	47	ΟΙΚ 6448	m	606	6,60	3.999,60	
7	Καθαίρεση οπλισμένων σκυροδεμάτων	ΝΑΟΔΟ ΑΙΑ12	48	ΟΙΚ 2227	m3	20,5	26,94	552,27	
8	Καθαρισμός οχετών ανοίγματος μέχρι και 3,0m	ΝΑΟΔΟ ΑΙΑ15	49	ΝΟΔΟ 1320	m	40	11,50	460,00	
9	Άρση καταπτώσεων για κάθε είδους έδαφος	ΝΑΟΔΟ ΑΙΑ16	50	ΝΟΔΟ 1420	m3	10	1,64	16,40	
10	Προμήθεια κοκκώδους υλικού μεγέθους κόκκων έως 200mm	ΝΑΟΔΟ ΑΙΑ19	51	ΝΟΔΟ 3121B	m3	1.440,64	17,70	25.499,33	
11	Κατασκευή επιχωμάτων	ΝΑΟΔΟ ΑΙΑ20	52	ΝΟΔΟ 1530	m3	1.440,64	1,05	1.512,67	
12	Επένδυση τραπεζών με γαιοκυμέλες και φυτική γη	ΝΑΟΔΟ ΑΙΑ24.2	53	ΝΟΔΟ 1610	m2	6.500	11,50	74.750,00	
13	Διαπλάτυση και εκβάθυνση ρεμάτων	ΝΑΟΔΟ ΑΙΑ28	54	ΥΔΡ 6054	m3	235	2,64	620,40	
Σύνολο 1. Χωματοουργικά								122.590,90	122.590,90
2. Τεχνικά Έργα									
1	Εκκαθαφή θεμελίων τεχνικών έργων και τάφρων πλάτους έως 5,00 m	ΝΑΟΔΟ ΑΙΒ01	55	ΝΟΔΟ 2151	m3	935	4,44	4.151,40	
2	Κατασκευή από άοπλο σκυρόδεμα C8/10	ΝΑΟΔΟ ΑΙΒ29.1.2	56	ΝΟΔΟ 2521	m3	435	72,00	31.320,00	
3	Κοιτοστρώσεις, περιβλήματα αγωγών, εξομαλυντικές στρώσεις κλπ από σκυρόδεμα C12/15	ΝΑΟΔΟ ΑΙΒ29.2.2	57	ΝΟΔΟ 2531	m3	570	89,80	51.186,00	
4	Κατασκευή ρείθρων, τραπεζοειδών τάφρων, στρώσεων προστασίας στεγάνωσης γεφυρών κλπ με σκυρόδεμα C16/20	ΝΑΟΔΟ ΑΙΒ29.3.1	58	ΝΟΔΟ 2532	m3	115	94,20	10.833,00	
5	Κατασκευή τοίχων, πεζοδρομίων γεφυρών, επένδυσης πασσαλοστοιχιών κ.λ.π. από σκυρόδεμα C16/20	ΝΑΟΔΟ ΑΙΒ29.3.2	59	ΝΟΔΟ 2532	m3	165	104,00	17.160,00	
6	Κατασκευή βαθρών, πλακών πρόσβασης, τοίχων, θωρακίων κλπ με σκυρόδεμα C20/25	ΝΑΟΔΟ ΑΙΒ29.4.5	60	ΝΟΔΟ 2551	m3	493	133,00	65.569,00	
7	Μικροκατασκευές (φρέστα, ορθογώνιες τάφροι κλπ) με σκυρόδεμα C16/20	ΝΑΟΔΟ ΑΙΒ29.3.4	61	ΝΟΔΟ 2532	m3	128	126,00	16.128,00	
8	Χαλύβδινος οπλισμός σκυροδεμάτων, χάλυβας οπλισμού σκυροδέματος B500C	ΝΑΟΔΟ ΑΙΒ30.2	62	ΝΟΔΟ 2612	kg	350.000	1,15	402.500,00	
Σε μεταφορά								598.847,40	122.590,90

Πίνακας 6.1: Πίνακας Προϋπολογισμού Μελέτης

ΑΑ	Είδος Εργασιών	Κωδικός Αρθρου	Α.Τ.	Κωδικός Αναθεώρησης	Μον. Μετρ.	Ποσότητα	Τιμή Μονάδας (Ευρώ)	Δαπάνη (Ευρώ)	
								Μερική Δαπάνη	Ολική Δαπάνη
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Από μεταφορά								598.847,40	122.590,90
9	Χαλύβδινος οπλισμός σκυροδεμάτων, χαλύβδινο δομικό πλέγμα Β500C	ΝΑΟΔΟ ΑΙΒ30.3	63	ΥΔΡ 7018	kg	3.200	1,15	3.680,00	
10	Χυτοσιδηρά καλύμματα φρεατίων, σχάρες υπονόμων	ΝΑΟΔΟ ΑΙΒ49	64	ΥΔΡ 6752	kg	600	1,45	870,00	
11	Σιδηροσωλήνες γαλβανισμένοι απορροής ομβρίων τεχνικών, Φ4" κατά ΕΛΟΤ EN 20255 κλάσεως L (114,3 mm, πάχος τοιχώματος 3,6 mm)	ΝΑΟΔΟ ΑΙΒ60.1	65	ΗΛΜ 5	m	16	32,90	526,40	
12	Σιδηροσωλήνες γαλβανισμένοι απορροής ομβρίων τεχνικών, Φ6" κατά ΕΛΟΤ EN 20255 κλάσεως L (δεξ=165,1 mm, πάχος τοιχώματος 4,5 mm)	ΝΑΟΔΟ ΑΙΒ60.2	66	ΗΛΜ 5	m	80	58,10	4.648,00	
13	Τυποποιημένα φρέατα αποστράγγισης και αποχέτευσης ομβρίων (ΠΚΕ), φρέατο υδροσυλλογής τύπου Φ1Ν (ΠΚΕ)	ΝΑΟΔΟ ΑΙΒ66.1	67	ΝΟΔΟ 2548	τεμ	45	438,00	19.710,00	
14	Σιδηροσωλήνες γαλβανισμένοι διέλευσης καλωδίων DN100	ΝΑΟΔΟ ΑΙΒ59	68	ΗΛΜ 5	m	690	27,40	18.906,00	
15	Πρόχυτα κράσπεδα από σκυρόδεμα	ΝΑΟΔΟ ΑΙΒ51	69	ΝΟΔΟ 2921	m	1.360	9,60	13.056,00	
16	Πλακοστρώσεις με πλάκες από σκυρόδεμα διαστάσεων 40x40cm	ΝΑΟΔΟ ΑΙΒ81	70	ΝΟΔΟ 2922	m ²	1.400	17,30	24.220,00	
17	Διαμόρφωση διαβάσεων απόμων με ειδικές ανάγκες σε πεζοδρόμια και νησίδες	ΝΑΟΔΟ ΑΙΒ82	71	ΝΟΔΟ 2922	τεμ	6	115,00	690,00	
18	Προμήθεια, μεταφορά στη θέση εγκατάστασης, και τοποθέτηση προκατασκευασμένων τσιμεντοσωλήνων κατά ΕΛΟΤ EN 1916 Τσιμεντοσωλήνες αποχέτευσης κλάσεως αντοχής 120 κατά ΕΛΟΤ EN 1916 Ονομαστικής διαμέτρου 400 mm	ΝΑΥΔΡ ΑΙ12.01.01.07	80	ΥΔΡ 6551.7	m	25	144,00	3.600,00	
19	Κατασκευή ρείθρων, επενδεδυμένων τάφρων, διαμορφώσεις πυθμένα κλπ. με σκυρόδεμα C20/25	ΝΑΟΔΟ ΑΙΒ29.4.1	81	ΝΟΔΟ 2522	m ³	130	104,00	13.520,00	
Σύνολο 2. Τεχνικά Έργα								702.273,80	702.273,80
3. Οδοστρωσία									
1	Υπόβαση οδοστρωσίας μεταβλητού πάχους	ΝΑΟΔΟ ΑΙΓ01.1	72	ΝΟΔΟ 3121B	m ³	1.290	21,00	27.090,00	
2	Βάση οδοστρωσίας μεταβλητού πάχους	ΝΑΟΔΟ ΑΙΓ02.1	73	ΝΟΔΟ 3211B	m ³	1.209	21,00	25.389,00	
3	Κατασκευή ερεισμάτων	ΝΑΟΔΟ ΑΙΓ05	74	ΝΟΔΟ 3311B	m ³	65	22,10	1.436,50	
Σύνολο 3. Οδοστρωσία								53.915,50	53.915,50
4. Ασφαλτικά									
1	Τομή οδοστρώματος με ασφαλτοκόπτη	ΝΑΟΔΟ ΑΙΔ01	75	ΟΙΚ 2269Α	m	20	1,00	20,00	
2	Ασφαλτική προεπάλειψη	ΝΑΟΔΟ ΑΙΔ03	76	ΝΟΔΟ 4110	m ²	3.385	1,20	4.062,00	
3	Ασφαλτική στρώση κυκλοφορίας, συμπτυκνωμένου πάχους 0,05 m με χρήση κοινής ασφάλτου	ΝΑΟΔΟ ΑΙΔ08.1	77	ΝΟΔΟ 4521B	m ²	6.769	8,25	55.844,25	
4	Ασφαλτική ισοπεδωτική στρώση μεταβλητού πάχους	ΝΑΟΔΟ ΑΙΔ06	78	ΝΟΔΟ 4421B	ton	30	92,16	2.764,80	
5	Αντιολισθηρές ασφαλτικές στρώσεις κυκλοφορίας συμπτυκνωμένου πάχους 0,04 m με χρήση κοινής ασφάλτου	ΝΑΟΔΟ ΑΙΔ09.1	79	ΝΟΔΟ 4521B	m ²	3.385	9,35	31.649,75	
Σύνολο 4. Ασφαλτικά								94.340,80	94.340,80
5. Ηλεκτρομηχανολογικά									
Σε μεταφορά									973.121,00

Πίνακας 6.1: Πίνακας Προϋπολογισμού Μελέτης

ΑΑ	Είδος Εργασιών	Κωδικός Αρθρου	Α.Τ.	Κωδικός Αναθεώρησης	Μον. Μετρ.	Ποσότητα	Τιμή Μονάδας (Ευρώ)	Δαπάνη (Ευρώ)	
								Μερική Δαπάνη	Ολική Δαπάνη
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Από μεταφορά									973.121,00
1	ΠΛΑΣΤΙΚΟΣ ΣΩΛΗΝΑΣ ΑΠΟ ΠΟΛΥΑΙΘΥΛΕΝΙΟ ΡΕ Φ90	ΑΤΗΕ Ν9315.3	12	ΗΛΜ 8	m	690	8,00	5.520,00	
2	ΦΡΕΑΤΙΟ ΔΙΑΚΛΑΔΩΣΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ 30Χ30 cm	ΑΤΗΕ Ν9307.3	4	ΗΛΜ 1 50% ΗΛΜ 10 50%	τεμ	39	81,00	3.159,00	
3	ΥΠΟΓΕΙΑ ΣΤΕΓΑΝΗ ΔΙΑΚΛΑΔΩΣΗ ΚΑΛΩΔΙΩΝ	ΑΤΗΕ Ν9335.2	5	ΗΛΜ 104	ΤΕΜ	3	20,00	60,00	
4	ΣΙΔΗΡΟΣΩΛΗΝΑΣ ΓΑΛΒΑΝΙΣΜΕΝΟΣ 4 INS	ΑΤΗΕ Ν9316.9	13	ΗΛΜ 5	m	17	43,76	743,92	
5	ΚΑΛΩΔΙΟ J1VV-U 5 X 4 MM2	ΑΤΗΕ Ν9337.4.2	7	ΗΛΜ 102	m	840	10,11	8.492,40	
6	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ ΓΕΙΩΣΕΩΣ	ΑΤΗΕ Ν9342	8	ΗΛΜ 5	ΤΕΜ	15	38,28	574,20	
7	ΑΓΩΓΟΣ ΓΥΜΝΟΣ ΧΑΛΚΙΝΟΣ ΠΟΛΥΚΛΩΝΟΣ 25MM2	ΑΤΗΕ Ν9340.3	9	ΗΛΜ 45	m	730	6,70	4.891,00	
8	ΠΙΛΛΑΡ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ-ΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ-ΓΕΙΩΣΗ	ΑΤΗΕ Ν9350	10	ΗΛΜ 52	ΤΕΜ	1	2.800,00	2.800,00	
9	ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΚΤΗ ΤΗΛΕ-ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΦΩΤΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΠΙΝΑΚΑ	ΑΤΗΕ Ν9351.1	11	ΗΛΜ 53	τεμ	1	1.950,00	1.950,00	
10	ΕΠΙΣΤΥΛΟ ΜΟΝΟ ΦΩΤΙΣΤΙΚΟ LED ΟΔΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΥΨΟΥΣ 7Μ (ΦΩΤΙΣΤΙΚΟ, ΙΣΤΟΣ, ΒΑΣΗ)	ΑΤΗΕ Ν9361.9	14	ΗΛΜ 101 50% ΗΛΜ 103 50%	ΤΕΜ	38	3.190,00	121.220,00	
Σύνολο 5. Ηλεκτρομηχανολογικά								149.410,52	149.410,52
6. Σημανση - Ασφάλεια									
1	Πλευρικές πληροφοριακές πινακίδες με αναγραφές και σύμβολα από μικροπρισματική αντανάκλαστική μεμβράνη τύπου 3 (με ΕΤΑ και ασφάλιση CE)	ΝΑΟΔΟ ΑΙΕ08.2.1	82	ΟΙΚ 6541	m2	1	156,00	156,00	
2	Πινακίδες επικίνδυνων θέσεων, τριγωνικές, πλευράς 0,90 m	ΝΑΟΔΟ ΑΙΕ09.1	83	ΟΙΚ 6541	τεμ	5	53,70	268,50	
3	Πινακίδες ρυθμιστικές μεσαίου μεγέθους	ΝΑΟΔΟ ΑΙΕ09.4	84	ΟΙΚ 6541	τεμ	10	53,70	537,00	
4	Στύλος πινακίδων από γαλβανισμένο σιδηροσωλήνα DN 40 mm (1 1/2")	ΝΑΟΔΟ ΑΙΕ10.1	85	ΝΟΔΟ 2653	τεμ	16	31,10	497,60	
5	Σιδηρά κγκλιδώματα	ΝΑΟΔΟ ΑΙΕ04.2	86	ΝΟΔΟ 2652	kg	15.000	2,70	40.500,00	
6	Μονόπλευρα χαλύβδινα στηθαία ασφαλείας ερείσματος με ικανότητα συγκράτησης H4b που τοποθετούνται με έμπηξη, σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 1317-2, λειτουργικού πλάτους W7, κατηγορίας σφοδρότητας	ΝΑΟΔΟ ΑΙΕ01.8.1	88	ΝΟΔΟ 2653	m	680	95,00	64.600,00	
7	Διαγράμμιση οδοστρώματος με ανακλαστική βαφή	ΝΑΟΔΟ ΑΙΕ17.1	89	ΟΙΚ 7788	m2	1.250	3,80	4.750,00	
Σύνολο 6. Σημανση - Ασφάλεια								111.309,10	111.309,10

6.5 ΣΧΕΔΙΑ ΟΡΙΖΟΝΤΟΓΡΑΦΙΑΣ

Παρουσιάζονται τα εξής σχέδια Οριζοντιογραφίας:



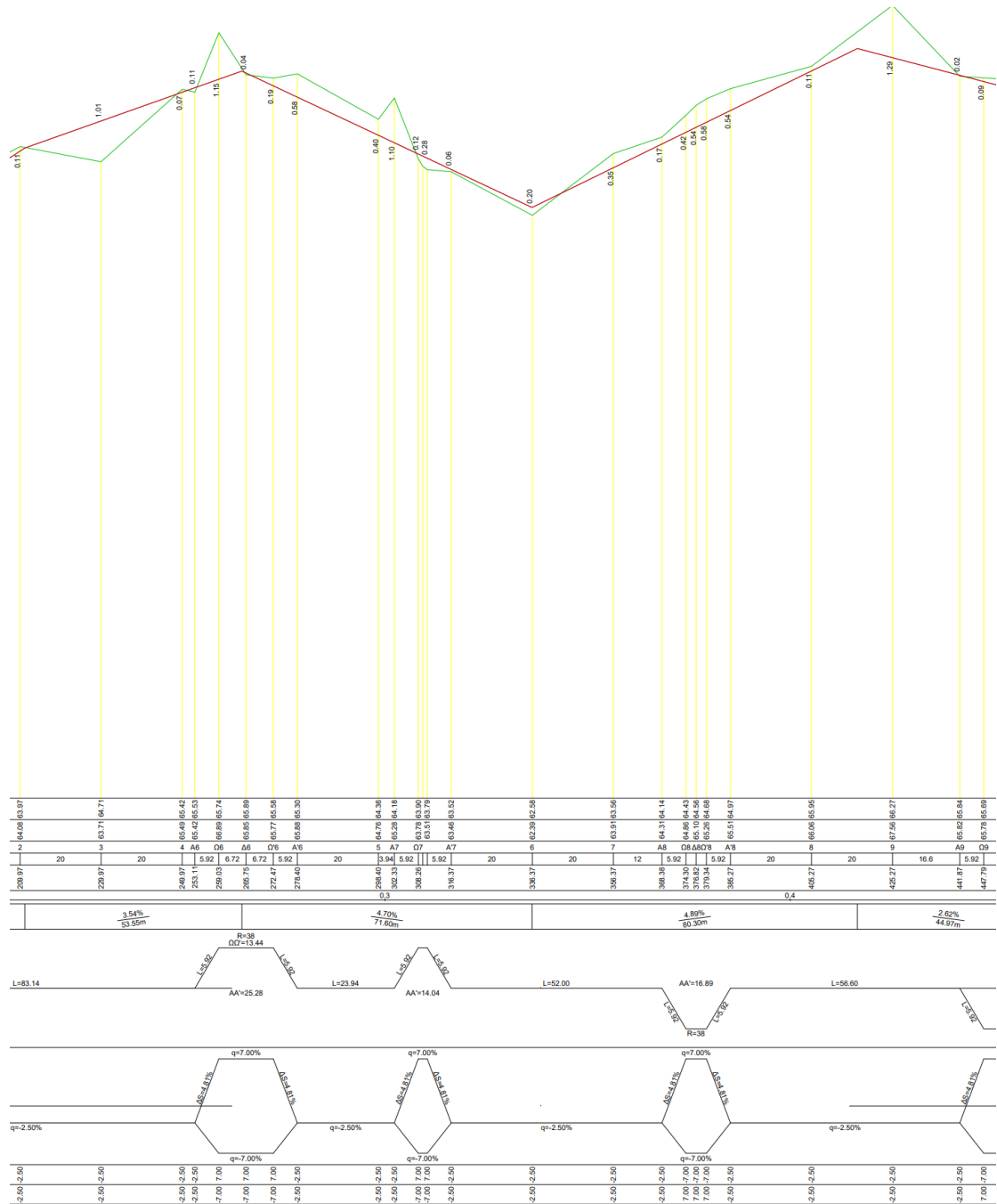
Εικόνα 6.1: Σχέδιο Οριζοντιογραφίας



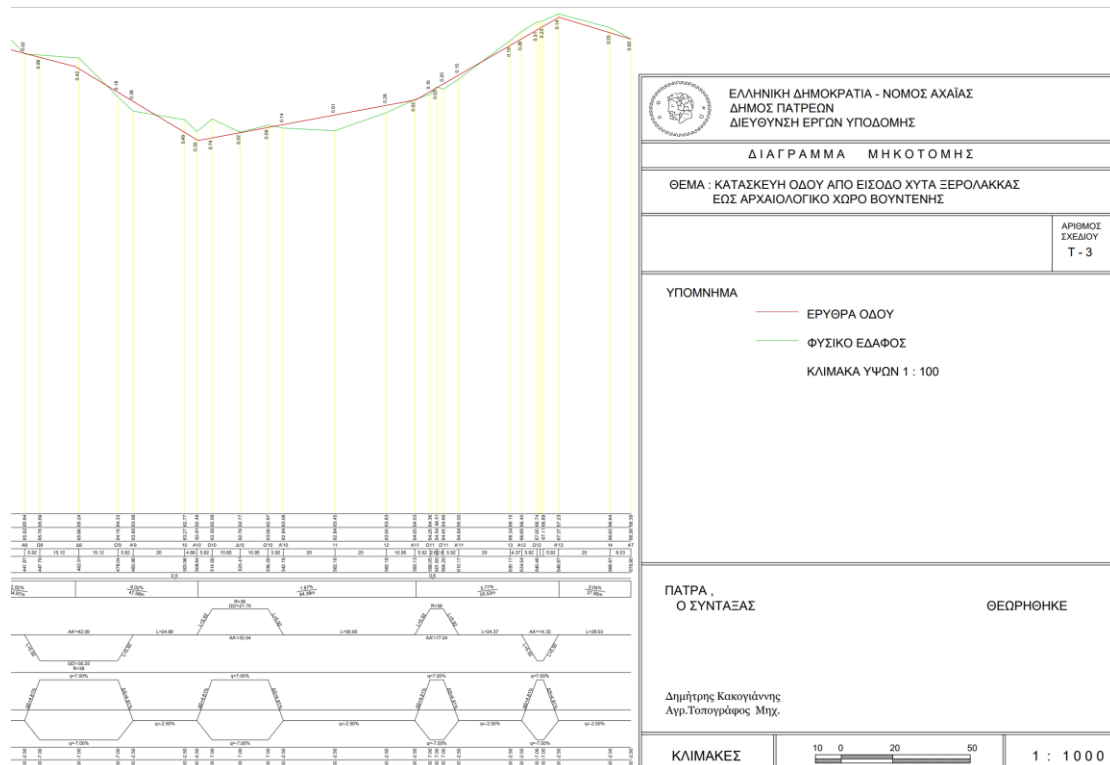
Εικόνα 6.2: Σχέδιο Οριζοντιογραφίας



Εικόνα 6.3: Σχέδιο Οριζοντιογραφίας



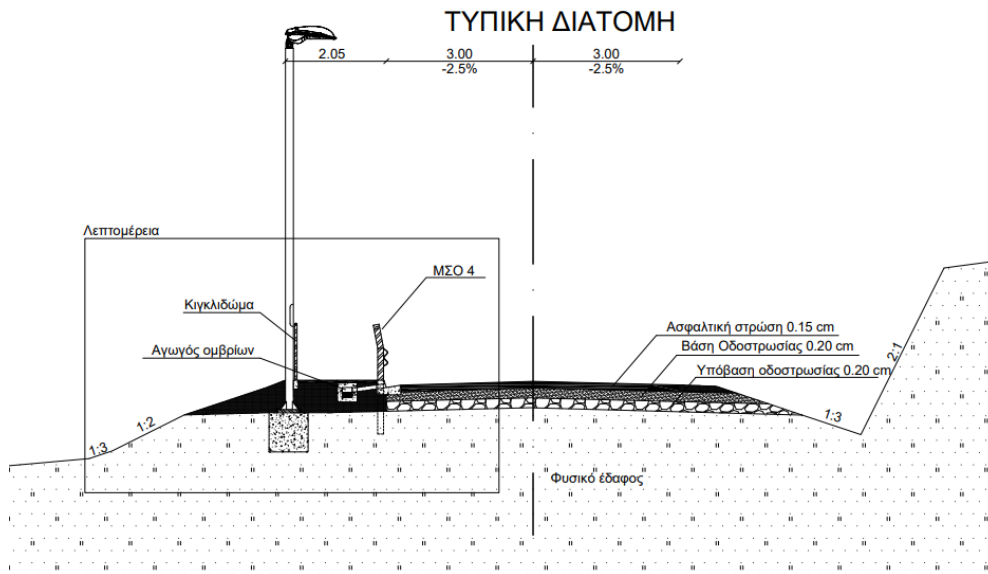
Εικόνα 6.5: Σχέδιο Μηκοτομής



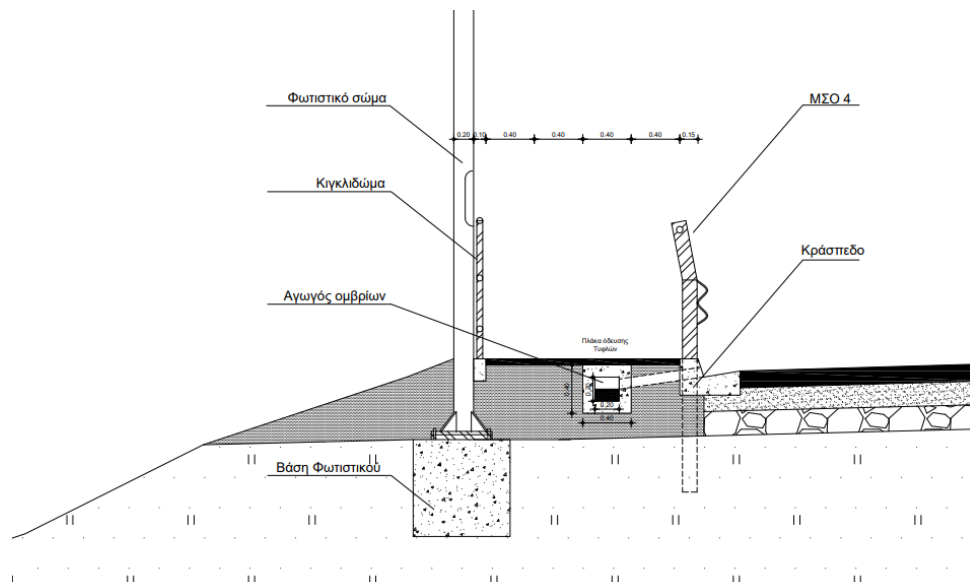
Εικόνα 6.6: Σχέδιο Μηκοτομής

6.7 ΣΧΕΔΙΑ ΔΙΑΤΟΜΩΝ

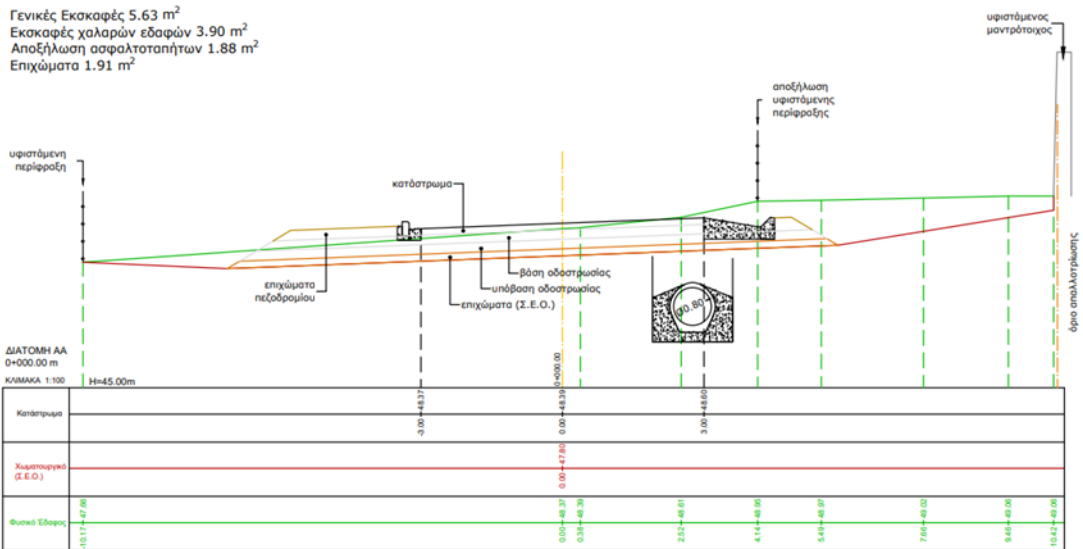
Παρουσιάζονται τα εξής σχέδια Διατομών:



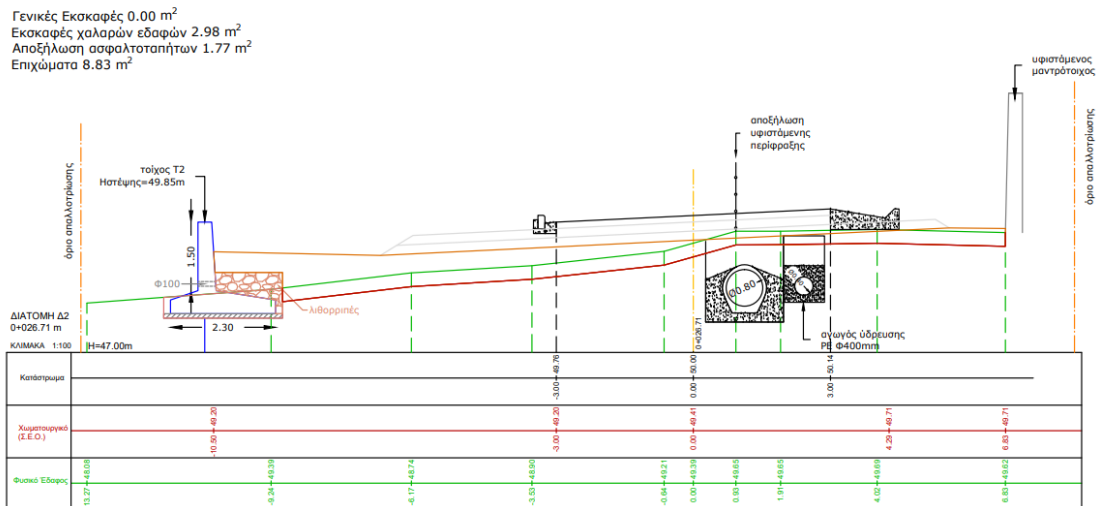
Εικόνα 6.7: Σχέδιο Διατομής



Εικόνα 6.8: Σχέδιο Διατομής

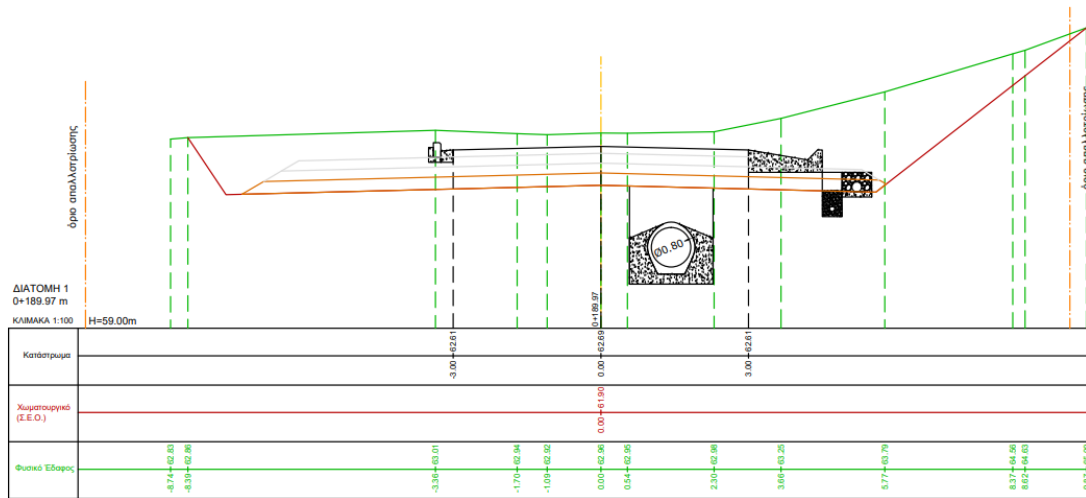


Εικόνα 6.9: Σχέδιο Διατομής

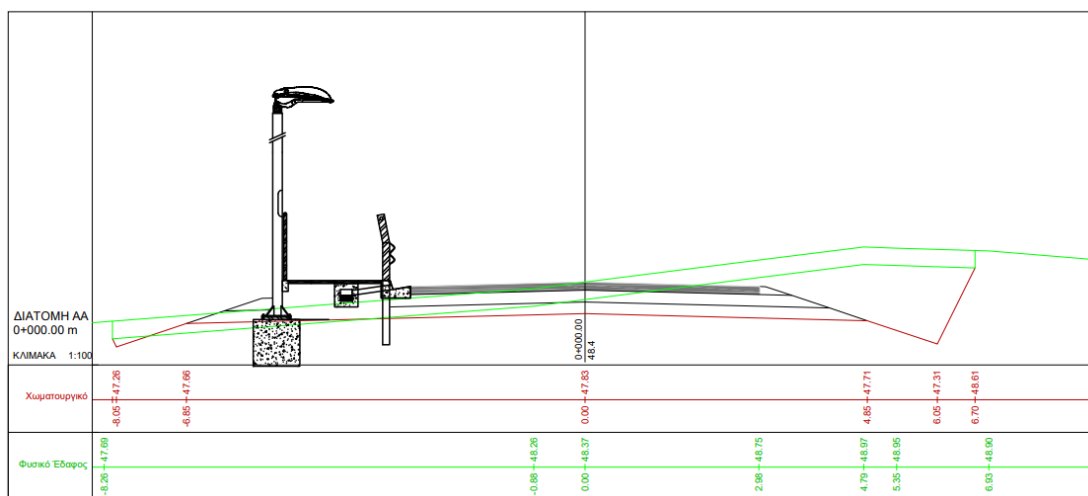


Εικόνα 6.10: Σχέδιο Διατομής

Γενικές Εκκαφές 15.57 m²
 Εκκαφές χαλάρων εδαφών 2.58 m²
 Αποξήλωση ασφαλτοπατητών 2.76 m²
 Επιχώματα 3.19 m²



Εικόνα 6.11: Σχέδιο Διατομής



Εικόνα 6.12: Σχέδιο Διατομής

6.8 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΕ ΦΑΣΕΙΣ

Τα χωματουργικά έργα αναλύονται στις εξής φάσεις:

- Γενικές εκσκαφές
- Εκσκαφές ταφρών
- Καθαιρέσεις
- Κατεδαφίσεις
- Επιχώσεις

Τα τεχνικά έργα αναλύονται στις εξής φάσεις:

- Εκσκαφές ταφρών
- Κατασκευή φέροντος οργανισμού από οπλισμένο σκυρόδεμα
- Τοποθέτηση Η/Μ εξοπλισμού
- Γενικές εκσκαφές
- Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος
- Επενδύσεις δαπέδων

Η οδοστρωσία αναλύεται στις εξής φάσεις:

- Επιχώσεις

Τα ασφαλτικά αναλύονται στις εξής φάσεις:

- Ασφαλτοστρώσεις

Η σήμανση – ασφάλεια αναλύεται στις εξής φάσεις:

- Τοποθέτηση σήμανσης στηθαίων

ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΡΓΑ



Εικόνα 6.18: Γενικές εκσκαφές



Εικόνα 6.19: Γενικές εκσκαφές



Εικόνα 6.20: Γενικές εκσκαφές



Εικόνα 6.21: Γενικές εκσκαφές



Εικόνα 6.22: Γενικές εκσκαφές σε όλο το πλάτος της απαλοτρίωση



Εικόνα 6.23: Γενικές εκσκαφές σε όλο το πλάτος της απαλοτρίωση

ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ



Εικόνα 6.24: Σκυροδέτηση με μπετό καθαριότητας για την κατασκευή τοιχείου



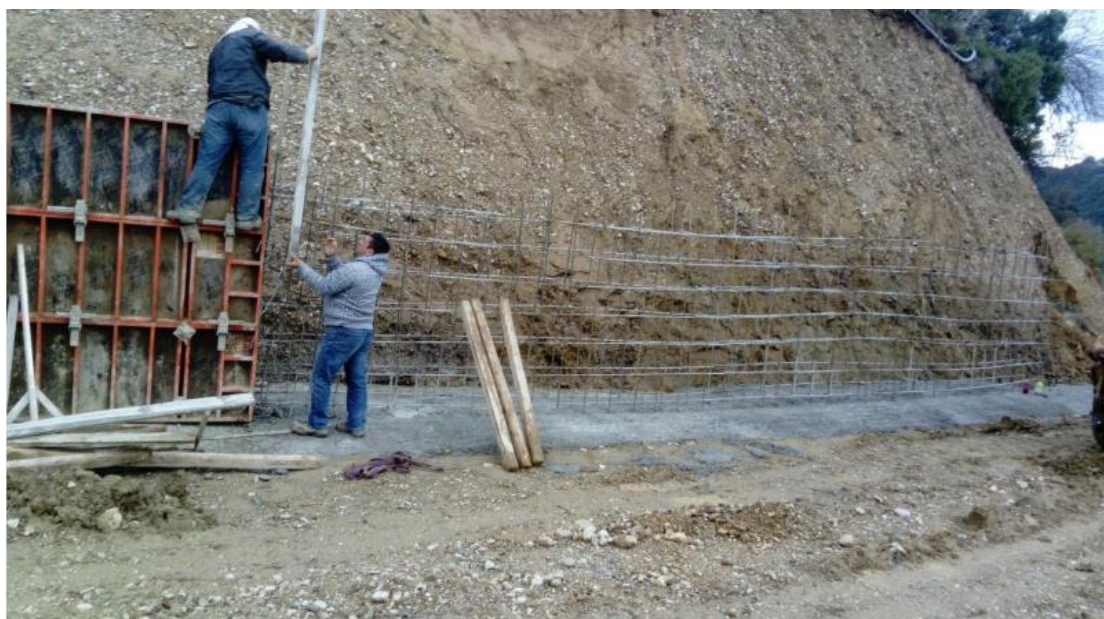
Εικόνα 6.25: Σκυροδέτηση με μπετό καθαριότητας για την κατασκευή τοιχείου



Εικόνα 6.26: Καλούπωμα για ολοκλήρωση κατασκευής τοιχείου



Εικόνα 6.27: Κατασκευή αγωγού ομβρίων D800



Εικόνα 6.28: Τοποθέτηση οπλισμού και σκυροδέτηση για την κατασκευή τοιχείου



Εικόνα 6.29: Καλούπωμα και τοποθέτηση οπλισμού για την κατασκευή τοιχείου



Εικόνα 6.30: Κατασκευή στραγγιστηρίου



Εικόνα 6.31: Σκυροδέτηση και οπλισμός βάσης για την κατασκευή τοιχείου



Εικόνα 6.32: Επίχωση και συμπίκνωση έτοιμου τοιχείου



Εικόνα 6.33: Τοποθέτηση οπλισμού για την κατασκευή πεζοδρομίων



Εικόνα 6.34: Σκυροδέτηση πεζοδρομίων



Εικόνα 6.35: Κατασκευή τσιμεντόδρομου



Εικόνα 6.36: Πλακοστρώσεις πεζοδρομίων



Εικόνα 6.37: Πλακοστρώσεις πεζοδρομίων

ΟΔΟΣΤΡΩΣΙΑ



Εικόνα 6.38: Διάστρωση υπόβασης



Εικόνα 6.39: Διάστρωση υπόβασης



Εικόνα 6.40: Διάστρωση βάσης



Εικόνα 6.41: Διάστρωση βάσης

ΑΣΦΑΛΤΙΚΑ



Εικόνα 6.42: Ασφαλτικές εργασίες



Εικόνα 6.43: Ασφαλτικές εργασίες



Εικόνα 6.44: Ασφαλτικές εργασίες



Εικόνα 6.45: Ασφαλτικές εργασίες

ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ



Εικόνα 6.45: Προετοιμασία για τοποθέτηση στύλου φωτισμού



Εικόνα 6.46: Τοποθέτηση Pillar και σύνδεση εκκινητών

ΣΗΜΑΝΣΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑ



Εικόνα 6.47: Τοποθέτηση πινακίδων σήμανσης



Εικόνα 6.48: Τοποθέτηση πινακίδων σήμανσης



Εικόνα 6.49: Εργασίες διαγράμμισης – Τοποθέτηση στηθαίων ασφαλείας και κιγκλιδωμάτων



Εικόνα 6.50: Εργασίες διαγράμμισης – Τοποθέτηση στηθαίων ασφαλείας και κιγκλιδωμάτων

ΤΕΛΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ



Εικόνα 6.51: Ολοκλήρωση έργου



Εικόνα 6.52: Ολοκλήρωση έργου



Εικόνα 6.53: Ολοκλήρωση έργου



Εικόνα 6.54: Ολοκλήρωση έργου



Εικόνα 6.55: Ολοκλήρωση έργου



Εικόνα 6.56: Ολοκλήρωση έργου

6.9 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΕΤΕΠ

1) Στρώση έδρασης οδοστρώματος από ασύνδετα εδαφικά υλικά (ΠΕΤΕΠ 05-03-01-00)

Η παρούσα προδιαγραφή αφορά στις εργασίες κατασκευής της στρώσης έδρασης οδοστρωμάτων οδών, αεροδρομίων, δαπέδων στάθμευσης κλπ. από ασύνδετα εδαφικά υλικά. Ως Στρώση Έδρασης Οδοστρώματος (ΣΕΟ) ορίζεται το αμέσως κάτω του οδοστρώματος συμπυκνωμένο και διαμορφωμένο, σύμφωνα με την παρούσα, έδαφος ή υλικό επίχωσης.

- Γαιώδη υλικά

α) Τα γαιώδη υλικά, από πλευράς καταλληλότητα αυτών, κατατάσσονται στις 5 κατηγορίες Ε0, Ε1, Ε2, Ε3 και Ε4, των οποίων τα χαρακτηριστικά δίδονται στον Πίνακα 6.1.

β) Τα Υλικά κατηγορίας Ε0 δεν είναι αποδεκτά για την στρώση έδρασης, εάν προηγουμένως δεν έχουν υποστεί κατάλληλη επεξεργασία (βελτίωση), σύμφωνα με τα οριζόμενα στις ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-02-09-01-00 και ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-05-03-02-01, ή /και τα προβλεπόμενα από τη γεωτεχνική μελέτη του έργου.

γ) Η φέρουσα ικανότητα της ΣΕΟ και το είδος του υλικού που χρησιμοποιείται για την κατασκευή της είναι καθοριστικά για τον προσδιορισμό του απαιτούμενου πάχους και του είδους του οδοστρώματος.

δ) Εδαφικά υλικά, τα οποία περιέχουν διαλυτά θειικά άλατα σε ποσότητα εκφρασμένη ως SO₃ μεγαλύτερη από 1,9 gr/L, μετρούμενη σύμφωνα με την μέθοδο BS 1377 δοκιμή 10, με λόγο «νερού/εδαφικά υλικά» 2:1, δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται σε θέσεις που απέχουν λιγότερο από 50 cm από κατασκευές σκυροδέματος ή από κατεργασμένο θραυστό αμμοχάλικο με τσιμέντο (ΚΘΑ) ή από Σταθεροποιημένο Εδαφικό Υλικό με Τσιμέντο (ΣΕΥ).

ε) Υλικά με ολική περιεκτικότητα σε θειικά άλατα (-SO₃) μεγαλύτερη από 0,5% κατά βάρος, μετρούμενη σύμφωνα με την μέθοδο BS 1377-3 δοκιμή 9 δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται σε θέσεις που απέχουν λιγότερο από 50 cm από μεταλλικές κατασκευές.

Πίνακας 6.2: Κατηγορίες γαιωδών εδαφικών υλικών

α/α	Κατηγορία εδαφικού υλικού	Χαρακτηριστικά υλικού	Όρια Atterberg	Μέγιστη πυκνότητα κατά την τροποποιημένη δοκιμή συμπίκνωσης [kgf/m ³]	CBR ⁽¹⁾	Περιεκτικότητα σε οργανικά ⁽³⁾	Αξιολόγηση υλικού	
1	2	3	4	5	6	7	8	
1	E4	Μέγιστος κόκκος <80 mm Διερχόμενο % από κόσκινο ΕΛΟΤ EN 933-2 ανοίγματος 0,063 mm <25%	LL<30 και PI<10		>20 και μηδενική διόγκωση ⁽²⁾	0%	Επίλεκτο II	
2	E3	Μέγιστος κόκκος <80 mm Διερχόμενο % από κόσκινο ΕΛΟΤ EN 933-2 ανοίγματος 0,063 mm <25%	LL<30 και PI<10		>10 και μηδενική διόγκωση ⁽²⁾	0%	Επίλεκτο I	
3	E2	Μέγιστος κόκκος <100 mm Διερχόμενο % από κόσκινο ΕΛΟΤ EN 933-2 ανοίγματος 0,063 mm <35%	LL<40	>1.940	>5 και διόγκωση ⁽²⁾ <2%	<1%	Κατάλληλο	
4	E1	Γαιώδες υλικό με μέγιστη διάσταση κόκκου D<150 mm Περιεκτικότητα σε κόκκους 100<D<150 mm μέχρι 25%	LL<40 ή LL<65 και PI<(0,6xL-9)	>1.600	>3 και διόγκωση ⁽²⁾ <3%	<3%	Αποδεκτό	
5	E0	Εδαφικό υλικό που δεν ανήκει στις άλλες κατηγορίες						Ακατάλληλο, εφόσον δεν υπάρξει μελέτη βελτίωσής του για χρήση

Όπου :

⁽¹⁾ CBR = Τιμή του Καλιφορνιακού Λόγου Φέρουσας Ικανότητας

⁽²⁾ Κατά τη δοκιμή CBR

⁽³⁾ Θα προσδιορισθεί με τη μέθοδο της "υγρής οξειδωσης" (AASHTO T-194)

LL = Όριο Υδαρότητας (E 105-86 Μέθοδος 5)

PI = Δείκτης Πλαστικότητας (E 105-86 Μέθοδος 6)

Κόσκινο ΕΛΟΤ EN 933-2 ανοίγματος 0,063 mm

Παρατήρηση:

Η τιμή CBR προσδιορίζεται σύμφωνα με τη Μέθοδο 12 των Προδιαγραφών Εργαστηριακών Δοκιμών Εδαφομηχανικής (E 105-86) επί δοκιμών, τα οποία συμπυκνώνονται στο 90% της μέγιστης πυκνότητας της Τροποποιημένης Δοκιμής Συμπύκνωσης (E 105-86 Μέθοδος 11 - Προδιαγραφή ΥΠΕΧΩΔΕ – βλ. Βιβλιογραφία), με τη βέλτιστη υγρασία και μετά από υδρεμποτισμό 4 ημερών. Κατ' εξαίρεση επί φυσικώς συγκολλημένων εδαφών και για έργα σε όρυγμα, για τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας της «υποκειμένης στρώσης» οδοστρωμάτων θα γίνεται συμπληρωματικά και προσδιορισμός του CBR με δοκιμή «επί τόπου».

Το τελικό πάχος των συμπυκνωμένων στρώσεων δεν επιτρέπεται να είναι μεγαλύτερο από 25 cm, εκτός από ειδικές περιπτώσεις, μετά από έγκριση της Υπηρεσίας, και εφόσον κατά την κατασκευή του δοκιμαστικού τμήματος αποδειχθεί ότι επιτυγχάνεται ο απαιτούμενος βαθμός και η ομοιομορφία συμπύκνωσης κατά την έννοια του βάθους. Δεν επιτρέπεται να διαστρώνεται επικείμενη στρώση, αν δεν έχει επαληθευθεί ότι η υποκείμενη συμμορφώνεται προς τις απαιτήσεις της παρούσας. Ιδιαίτερος επισημαίνονται οι απαιτήσεις που αφορούν τον βαθμό συμπύκνωσης και την επιπεδότητα της επιφάνεια της στρώσης. Όταν η υποκείμενη στρώση εμφανίζει αυξημένη υγρασία (π.χ. λόγω βροχοπτώσεων) δεν επιτρέπεται να διαστρώνεται η επικείμενη πριν επέλθει επαρκής αποξήρανση αυτής.

- Μόρφωση πυθμένα εκσκαφής

Στη στάθμη χωματουργικών (πυθμένα) των βραχιδών ορυγμάτων, εάν προβλέπεται από τη μελέτη, κατασκευάζεται ισοπεδωτική στρώση συμπυκνωμένου υλικού, σύμφωνα με τα καθοριζόμενα στην ΠΕΤΕΠ 05-03-03-00 μέσου πάχους 0,10 m και ελάχιστου πάνω από τις εξάρσεις 0,08 m. Η εν λόγω στρώση συνυπολογίζεται στο πάχος της ΣΕΟ.

- Συμπύκνωση

Για τα εδαφικά υλικά της Στρώσης Έδρασης Οδοστρώματος (ΣΕΟ), αν δεν γίνεται ιδιαίτερη μνεία στην Μελέτη, εξασφαλίζεται ελάχιστη ξηρή φαινόμενη πυκνότητα 98% της πρότυπης εργαστηριακής πυκνότητας και της τροποποιημένης μεθόδου Proctor (ΕΛΟΤ EN 13286-02).

Ο έλεγχος της συμπύκνωσης μπορεί να γίνεται και επί τόπου, και με συσκευές ραδιοϊσοτόπων, σύμφωνα με το ASTM D 6938-10 «Standard Test Method for In-Place Density and Water Content of Soil and Soil Aggregate by Nuclear Methods (Shallow Depth)», μετά από κατάλληλη βαθμονόμηση αυτών (συνιστάται να γίνεται κατά την κατασκευή των δοκιμαστικών τμημάτων). Κατά τους ελέγχους συμπύκνωσης δεν επιτρέπεται να γίνεται διόρθωση της εργαστηριακής πυκνότητας Proctor, επειδή όπου απαιτείται η διόρθωση, αυτή έχει ήδη γίνει κατά τη δοκιμή Proctor.

2) Στρώσεις οδοστρωμάτων από ασύνδετα εδαφικά υλικά (ΠΕΤΕΠ 05-03-03-00)

Η παρούσα προδιαγραφή αφορά την κατασκευή στρώσεων έδρασης από ασύνδετα εδαφικά υλικά, οποίες χρησιμοποιούνται ως βάσεις και υποβάσεις σε οδοστρώματα οδών, αεροδρομίων, δαπέδων στάθμευσης κλπ.

- Χονδρόκοκκο αδρανές υλικό

Στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί θραυστό αμμοχάλικο ποταμού ή ορυχείων ως χονδρόκοκκο υλικό για την κατασκευή της βάσης ή της υπόβασης, ποσοστό τουλάχιστον 50% των τεμαχίων κατά βάρος πρέπει να είναι σπασμένα προερχόμενα από σύνθλιψη και/ή θραύση, όπως ορίζεται και ελέγχεται από το πρότυπο EN 933-5:1998, και το ποσοστό των 'τελείως' σφαιρικών κόκκων δεν πρέπει να ξεπερνά το 10% κατά βάρος.

Η φθορά κατά τη δοκιμή θρυμματισμού από τριβή και κρούση (κατά Los Angeles) σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN-1097-2: άρθρο 5, του χονδρόκοκκου υλικού δεν πρέπει να υπερβαίνει το 40% για τη βάση και την υπόβαση. Κατ' εξαίρεση, η φθορά σε θρυμματισμό από τριβή και κρούση (κατά Los Angeles) δεν πρέπει να υπερβαίνει το 50% για την κατασκευή της υπόβασης σε υπεραστικούς ή αστικούς δρόμους μικρής ή μέσης κυκλοφορίας στο Επαρχιακό, ή Νομαρχιακό, ή Εθνικό δίκτυο, με μία λωρίδα κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση, ή γενικότερα σε οδούς δευτερευούσης σημασίας και μετά από σύμφωνη γνώμη της Υπηρεσίας.

Το σχήμα του χονδρόκοκκου αδρανούς που καθορίζεται από το Δείκτη πλακοειδούς σύμφωνα με το πρότυπο EN 933-3:1997 δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 35%.

- Λεπτόκοκκο αδρανές υλικό

Το λεπτόκοκκο αδρανές υλικό, υλικό μεγέθους 2 mm καλούμενο στο εξής λεπτόκοκκο υλικό, θα πρέπει να προέρχεται από τη θραύση του πετρώματος για την παραγωγή των χονδρόκοκκων αδρανών. Σε περίπτωση που υπάρχει διαθέσιμη και κατάλληλη φυσική άμμος ή άλλο κατάλληλο λεπτόκοκκο υλικό μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο μίγμα των αδρανών για την επίτευξη της επιθυμητής κοκκομετρικής διαβάθμισης. Στην περίπτωση αυτή το προστιθέμενο ποσοστό φυσικής άμμου δεν πρέπει να ξεπερνά το 10% της συνολικής ποσότητας των αδρανών υλικών στο μίγμα.

Το διερχόμενο από το κόσκινο 0,5 mm (ή 0,42 mm-No.40) υλικό πρέπει να έχει όριο υδαρότητας «μικρότερο ή ίσο του 25 και δείκτη πλαστικότητας PI μικρότερο ή ίσο του 3, για την κατασκευή της βάσης, και μικρότερο ή ίσο του 4, για την κατασκευή της υπόβασης, όπως αυτά προσδιορίζονται από την προδιαγραφή E 105-86/5 και E 105-86/6, αντίστοιχα με προσέγγιση ακέραιας μονάδας. Κατ' εξαίρεση, ο δείκτης πλαστικότητας του υλικού μπορεί να είναι μικρότερος ή ίσος του 6 και το όριο υδαρότητας μικρότερο ή ίσο του 30 για την κατασκευή της υπόβασης σε υπεραστικούς ή αστικούς δρόμους μικρής ή μέσης κυκλοφορίας στο Επαρχιακό, ή Νομαρχιακό, ή Εθνικό δίκτυο, με μία λωρίδα κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση, ή γενικότερα σε οδούς δευτερεύουσας σημασίας σε περιπτώσεις όπου η υπόβαση εκτείνεται σε βάθος μεγαλύτερο των 400 mm από την τελική επιφάνεια του οδοστρώματος,

Το διερχόμενο από το κόσκινο 4 mm υλικό πρέπει να έχει ισοδύναμο άμμου μεγαλύτερο ή ίσο του 40, όπως προσδιορίζεται από το πρότυπο EN 933-8:1999.

- Κοκκομετρική διαβάθμιση μίγματος αδρανών υλικών

Ο έλεγχος της κοκκομετρικής διαβάθμισης θα γίνεται μετά από πλύσιμο, σύμφωνα με το πρότυπο EN 933-1:1997. Η κοκκομετρική διαβάθμιση του υλικού θα πρέπει πάντοτε να βρίσκεται εντός των ορίων που αναγράφονται στον Πίνακα 6.2. Ο Τύπος I χρησιμοποιείται για την κατασκευή της βάσης ή/και της υπόβασης.

Πίνακας 6.3: Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης μίγματος αδρανών υλικών

Ονομαστικό άνοιγμα οπής κόσκινου	Διερχόμενο ποσοστό κατά βάρος
Κατά EN 933-2:1995	Τύπος I
63 mm	
40 mm	100
31,5 mm	85-99
20 mm	

16 mm	55-85
10 mm	
8 mm	35-65
4 mm	25-50
2 mm	19-40,5
1 mm	13,5-31
0,5 mm	8-24
0,063 mm	0-11

Η κοκκομετρική διαβάθμιση του μίγματος των αδρανών υλικών που συγκεντρώνονται ή αποθηκεύονται σε σωρούς προς χρήση, ή του μίγματος των αδρανών υλικών που ενσωματώνονται στο έργο, και γενικότερα της κάθε ποσότητας υλικών που παραδίδεται, δεν θα πρέπει να αποκλίνει από την κοκκομετρική διαβάθμιση του μίγματος των αδρανών υλικών που υποβάλλεται από τον Ανάδοχο πριν την έναρξη των εργασιών, διάστρωσης εφαρμόζοντας τις επιτρεπτές αποκλίσεις που δίνονται στον Πίνακα 6.4.

Πίνακας 6.4: Μέγιστες επιτρεπόμενες αποκλίσεις

Ονομαστικό άνοιγμα οπής κόσκινου	Διερχόμενο ποσοστό κατά βάρος
Κατά EN 933-2	Τύπος I
63 mm	
	0%
40 mm	0%
	±5%
31,5 mm	±5%
20 mm	+8%

	±8%
16 mm	+8%
10 mm	±8%
	±8%
8 mm	±8%
	±8%
4 mm	±8%
	±5%
0,5 mm	±5%
	±3%
0,063 mm	±3%

Στην συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκε:

- Ασφαλτική βάση (ΑΣ 20)
- Ασφαλτική ισοπεδωτική (ΑΣ 12,5)
- Αντιολισθηρή στρώση ασφαλτικού σκυροδέματος

1) Ασφαλτική βάση (ΑΣ 20)

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΞΕΤΑΣΕΩΝ ΑΣΦΑΛΤΟΥ

Η Μελέτη Συνθέσεως των Ασφαλτομιγμάτων έγινε με την χρησιμοποίηση ασφάλτου τύπου 50/70, τα αποτελέσματα των εξετάσεων της οποίας σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ EN 12591 είναι οι εξής:

Πίνακας 6.5: Αποτελέσματα ασφάλτου (ασφαλτική βάση)

Δοκιμή	Απαιτήσεις (τύπος 50/70)	Αποτελέσματα εξέτασης	Μεθοδολογία
Σημείο αναφλέξεως (°C)	≥230	306	AASHO T-48

Εισδυτικότητα σε 25 °C	60-70	69	ΕΛΟΤ EN 1426
Σημείο μάλθωσης (°C)	48-56	50	ΕΛΟΤ EN 1427
Δείκτης εισδύσεως (PI)	-1.+0,7	-0,7	
Ολκιμότητα σε 25 °C (cm)	>=100	>100	AASHO T-51
Τέφρα % κατά βάρος	<0-5	0,59%	AASHO T-111-83
Εισδυτικότητα μετά την θέρμανση	>80	87,32%	ASTM D 5-1997
Διαλυτότητα σε CCl ₄ %	>=99	99,80	AASHO T-45

Πίνακας 6.6: Αναλογίες συνθέσεως μίγματος αδρανών

Άμμος	30 % κ.β.
Γαρμπίλι	35 % κ.β.
Χαλίκι	35 % κ.β.
Ειδικό βάρος μίγματος αδρανών	2,665 gr/cm ³
Ενεργό Ειδικό βάρος μίγματος αδρανών	2,672 gr/cm ³
Σχετικό Ειδικό βάρος μίγματος αδρανών	2,694 gr/cm ³

ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΣΥΝΘΕΣΕΩΣ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΟΣ (ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΣΦΑΛΤΟΥ)

Το βέλτιστο ποσοστό ασφάλτου (τύπου 50/70) με την μέθοδο Marshall είναι 4,30 % κ.β. αδρανών υλικών.

Πίνακας 6.7: Χαρακτηριστικά ασφαλτομίγματος

Τα χαρακτηριστικά του ασφαλτομίγματος συμπυκνωθέντος σε δοκίμια Marshall δια 75 χτύπων (σε κάθε πλευρά των δοκιμίων) είναι τα εξής:

Χαρακτηριστικά	Όρια	Αποτελέσματα μελέτης	Μεθοδολογία
Ευστάθεια κατά Marshall (KN)	≥ 8	9,3	EN 12697-34+A1
Παραμόρφωση δοκιμ. σε mm	2-3,5	2,8	EN 12697-34+A1
Κενά αέρα συμπυκν. ασφ/τος (%)	3-5	4,62	EN 12697-8
Κενά που γέμισαν με ασφαλτο (%)	65-74	68	EN 12697-8
Κενά συμπυκνωμένων αδρανών (%)	>13	14,4	EN 12697-8
Φαινόμενο ειδικό βάρος ασφ/τος (kg/m^3)	-	2378,6	EN 12697-6+A1
Θεωρ. Μέγιστο ειδικό βάρος ασφ/τος (kg/m^3)		2500	EN 12697-5+A1
Θεωρ. Μέγιστη πυκνότητα (gr/cm^3)	-	2492	EN 12697-5+A1

Λόγος ποσοστού παιπάλης / ασφάλτου	0,6-1,2	1	
--	---------	---	--

Πίνακας 6.8: Υπολογιστικά στοιχεία ασφαλτομίγματος

Ποσοστό ασφάλτου κ.β. ασφαλτομίγματος	4,12 %
Ποσότητα ασφάλτου ανά m ³ συμπυκν. ασφαλτομίγματος	98,1 kg
Ποσότητα ασφάλτου ανά tn ασφαλτομίγματος	41,2 kg

2) Ασφαλτική ισοπεδωτική (ΑΣ 12,5)

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΞΕΤΑΣΕΩΝ ΑΣΦΑΛΤΟΥ

Η Μελέτη Συνθέσεως των Ασφαλτομιγμάτων έγινε με την χρησιμοποίηση ασφάλτου τύπου 50/70, τα αποτελέσματα των εξετάσεων της οποίας σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ EN 12591 είναι οι εξής:

Πίνακας 6.9: Αποτελέσματα ασφάλτου (ασφαλτική ισοπεδωτική)

Δοκιμή	Απαιτήσεις (τύπος 50/70)	Αποτελέσματα εξέτασης	Μεθοδολογία
Σημείο αναφλέξεως (°C)	>=230	306	AASHO T-48
Εισδυστικότητα σε 25 °C	60-70	69	ΕΛΟΤ EN 1426
Σημείο μάλθωσης (°C)	48-56	50	ΕΛΟΤ EN 1427
	-1.+0,7	-0,7	

Δείκτης εισδύσεως (PI)			
Ολκιμότητα σε 25 °C (cm)	≥ 100	> 100	AASHO T-51
Τέφρα % κατά βάρος	$< 0-5$	0,59%	AASHO T-111-83
Εισδυτικότητα μετά την θέρμανση	> 80	87,32%	ASTM D 5-1997
Διαλυτότητα σε CCl ₄ %	≥ 99	99,80	AASHO T-45

Πίνακας 6.10: Αναλογίες συνθέσεως μίγματος αδρανών

Άμμος	37 % κ.β.
Γαμπίλι	53 % κ.β.
Χαλίκι	10 % κ.β.
Ειδικό βάρος μίγματος αδρανών	2,662 gr/cm ³
Ενεργό Ειδικό βάρος μίγματος αδρανών	2,673 gr/cm ³
Σχετικό Ειδικό βάρος μίγματος αδρανών	2,696 gr/cm ³

ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΣΥΝΘΕΣΕΩΣ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΟΣ (ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΣΦΑΛΤΟΥ)

Το βέλτιστο ποσοστό ασφάλτου (τύπου 50/70) με την μέθοδο Marshall είναι 4,50 % κ.β. αδρανών υλικών.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΟΣ

Τα χαρακτηριστικά του ασφαλτομίγματος συμπυκνωθέντος σε δοκίμια Marshall δια 75 χτύπων (σε κάθε πλευρά των δοκιμίων) είναι τα εξής:

Πίνακας 6.11: Χαρακτηριστικά ασφαλτομίγματος

Χαρακτηριστικά	Όρια	Αποτελέσματα μελέτης	Μεθοδολογία
Ευστάθεια κατά Marshall (KN)	≥ 8	9,1	EN 12697-34+A1
Παραμόρφωση δοκιμ. σε mm	2-3,5	2,8	EN 12697-34+A1
Κενά αέρα συμπυκν. ασφ/τος (%)	3-5	4,58	EN 12697-8
Κενά που γέμισαν με άσφαλτο (%)	65-74	69	EN 12697-8
Κενά συμπυκνωμένων αδρανών (%)	>14	14,8	EN 12697-8
Φαινόμενο ειδικό βάρος ασφ/τος (kg/m^3)	-	2370,5	EN 12697-6+A1
Θεωρ. Μέγιστο ειδικό βάρος ασφ/τος (kg/m^3)		2493	EN 12697-5+A1
Θεωρ. Μέγιστη πυκνότητα (gr/cm^3)	-	2486	EN 12697-5+A1
Λόγος ποσοστού παιπάλης / ασφάλτου	0,6-1,2	1,17	

Πίνακας 6.12: Υπολογιστικά στοιχεία του ασφαλτομίγματος

Ποσοστό ασφάλτου κ.β. ασφαλτομίγματος	4,31 %
Ποσότητα ασφάλτου ανά m ³ συμπυκν. ασφαλτομίγματος	102,1 kg
Ποσότητα ασφάλτου ανά tn ασφαλτομίγματος	43,1 kg

3) Αντιολισθηρή στρώση ασφαλτικού σκυροδέματος

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΞΕΤΑΣΕΩΝ ΑΣΦΑΛΤΟΥ

Η Μελέτη Συνθέσεως των Ασφαλτομιγμάτων έγινε με την χρησιμοποίηση ασφάλτου τύπου 50/70, τα αποτελέσματα των εξετάσεων της οποίας σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ EN 12591 είναι οι εξής:

Πίνακας 6.13: Αποτελέσματα ασφάλτου (αντιολισθηρή στρώση ασφαλτικού σκυροδέματος)

Δοκιμή	Απαιτήσεις (τύπος 50/70)	Αποτελέσματα εξέτασης	Μεθοδολογία
Σημείο αναφλέξεως (°C)	≥230	306	EN 22792
Εισδυτικότητα σε 25 °C	60-70	69	ΕΛΟΤ EN 1426
Σημείο μάλθωσης (°C)	48-56	50	ΕΛΟΤ EN 1427
Δείκτης εισδύσεως (PI)	-1.+0,7	-0,7	

Πίνακας 6.14: Αναλογίες συνθέσεως μίγματος αδρανών

Άμμος	45 % κ.β.
Ψηφίδα	55 % κ.β.
Ειδικό βάρος μίγματος αδρανών	2,654 gr/cm ³
Ενεργό Ειδικό βάρος μίγματος αδρανών	2,666 gr/cm ³
Σχετικό Ειδικό βάρος μίγματος αδρανών	2,689 gr/cm ³

ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΣΥΝΘΕΣΕΩΣ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΟΣ (ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΣΦΑΛΤΟΥ)

Το βέλτιστο ποσοστό ασφάλτου (τύπου 50/70) με την μέθοδο Marshall είναι 4,80 % κ.β. αδρανών υλικών.

Πίνακας 6.15: Χαρακτηριστικά ασφαλτομίγματος

Τα χαρακτηριστικά του ασφαλτομίγματος συμπυκνωθέντος σε δοκίμια Marshall δια 75 χτύπων (σε κάθε πλευρά των δοκιμίων) είναι τα εξής:

Χαρακτηριστικά	Όρια	Αποτελέσματα μελέτης	Μεθοδολογία
Ευστάθεια κατά Marshall (KN)	>=8	8,74	EN 12697-34+A1
Παραμόρφωση δοκιμ. σε mm	2-4	3,3	EN 12697-34+A1
Κενά αέρα συμπυκν. ασφ/τος (%)	3-5	4,23	EN 12697-8
Κενά που γέμισαν με ασφαλτο (%)	-	71,9	EN 12697-8

Κενά συμπυκνωμένων αδρανών (%)	-	15,1	EN 12697-8
Φαινόμενο ειδικό βάρος ασφ/τος (kg/m ³)	-	2362,7	EN 12697-6+A1
Θεωρ. Μέγιστο ειδικό βάρος ασφ/τος (kg/m ³)		2477	EN 12697-5+A1
Θεωρ. Μέγιστη πυκνότητα (gr/cm ³)	-	2469	EN 12697-5+A1

Πίνακας 6.16: Υπολογιστικά στοιχεία του ασφαλτομίγματος

Ποσοστό ασφάλτου κ.β. ασφαλτομίγματος	4,58 %
Ποσότητα ασφάλτου ανά m ³ συμπυκν. ασφαλτομίγματος	108,2 kg
Ποσότητα ασφάλτου ανά tn ασφαλτομίγματος	45,8 kg

Άρα η διατομή που προτείνεται είναι η εξής:

- 4 cm αντιολισθηρή
- 10 cm ασφαλτόστρωση (5+5 cm)
- 20 cm βάση
- 20 cm υπόβαση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ AASHTO

7.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η μέθοδος σχεδιασμού εύκαμπτων οδοστρωμάτων AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993) είναι μία εμπειρική μέθοδος που βασίζεται σε πειραματικά αποτελέσματα πεδίου (AASHTO Road Test, 1962), παρατηρήσεις από κατασκευασθέντα οδοστρώματα και λίγη θεωρία. Η μέθοδος αποτελεί βελτίωση της αρχικής μεθόδου AASHTO των 1972/1981. Η βελτίωση αυτή έγινε το 1986 και πρακτικά η έκδοση του 1993 είναι ίδια με αυτή του 1986.

Η μέθοδος βασίζεται στον προσδιορισμό του απαιτούμενου δείκτη δομικής αντοχής ή δομικού αριθμού SN (Structural Number), που είναι ένας αριθμός που προκύπτει από την ανάλυση των παρακάτω στοιχείων:

1) Σχεδιαστικές μεταβλητές

- Κυκλοφοριακός φόρτος, που εκφράζεται σε ισοδύναμους τυπικούς άξονες (ESAL) ως συνάρτηση του αξονικού φορτίου, του δείκτη λειτουργικότητας p_t και του δομικού αριθμού SN. Για νέα οδοστρώματα προτείνονται οι τιμές $p_t=2,5$ και $SN=5$. Ο αριθμός ισοδύναμων αξόνων στη λωρίδα μελέτης W_{18} υπολογίζεται ως:

$$W_{18} = D_D * D_L * w_{18}$$

όπου:

D_D = το ποσοστό κατανομής αξόνων ανά κατεύθυνση (π.χ., 50% /50%)

D_L = το ποσοστό κατανομής αξόνων στη λωρίδα μελέτης (π.χ., 80-100% για 2 λωρίδες ανά κατεύθυνση)

w_{18} = ο συνολικός αριθμός ισοδύναμων αξόνων για όλη τη χρονική διάρκεια και στις δύο κατευθύνσεις

- Διάρκεια σχεδιασμού, η οποία αναφέρεται στην περίοδο ανάλυσης ή σχεδιαστική διάρκεια ζωής του οδοστρώματος (συνήθως 20 έτη ή και μέχρι 50 έτη) και στην περίοδο συμπεριφοράς, κατά τη διάρκεια της οποίας το οδόστρωμα χρειάζεται μόνο συντήρηση και όχι αποκατάσταση (ελάχιστη 10 χρόνια και μέγιστη 15-20 χρόνια).
- Αξιοπιστία, που εκφράζεται ως η πιθανότητα R ικανοποιητικής συμπεριφοράς του οδοστρώματος καθ' όλη τη διάρκεια σχεδιασμού (συνήθως $R=75-99\%$) και συνοδεύεται από την τυπική απόκλιση S_o (συνήθως $=0,40-0,50$).
- Περιβαλλοντικοί παράγοντες, όπως η διόγκωση υπεδάφους αργιλικής φύσης και η ανύψωση λόγω παγετού. Η επίδρασή τους συνίσταται στην μείωση της λειτουργικότητας οδοστρώματος ΔPSI, η οποία δίνεται από εμπειρικούς τύπους.

2) Στάθμες λειτουργικότητας

Λειτουργικότητα ονομάζεται η ικανότητα του οδοστρώματος να εξυπηρετεί την κυκλοφορία με άνεση, ασφάλεια και οικονομία. Η μεταβολή της λειτουργικότητας με το χρόνο ή με τον αριθμό των φορτίων που κυκλοφορούν, συνιστά την συμπεριφορά του οδοστρώματος. Η λειτουργικότητα έχει συνδεθεί με μετρήσεις της κατασκευής του οδοστρώματος, όπως με την επιφάνεια των επισκευών, το μήκος των ρωγμών, το βάθος των αυλακώσεων και την διακύμανση της κατά μήκος κλίσης, σε ένα ενιαίο δείκτη που ονομάζεται δείκτης λειτουργικότητας p_i .

Οι στάθμες λειτουργικότητας καθορίζονται από τον αρχικό, τον τελικό και τον παρόντα δείκτη λειτουργικότητας p_o , p_i και ΔPSI, αντίστοιχα. Συνήθεις τιμές των δεικτών αυτών είναι $p_o=5$ (πρακτικά 4.2), $p_i \geq 2.0$ ή 2.5, ενώ είναι $\Delta PSI=p_o-p_i$ και γι' αυτό ο δείκτης ΔPSI αναφέρεται επίσης και ως απώλεια λειτουργικότητας.

3) Ιδιότητες υλικών

- Μηχανικές ιδιότητες. Για υλικά, όπως βάσεις και ασφαλτομίγματα, οι ιδιότητες αυτές καθορίζονται από το μέτρο ελαστικότητας E (elastic modulus), ενώ για το υπέδαφος από το εποχιακά μεταβαλλόμενο μέτρο επανάκτησης M_r (resilient modulus) που ουσιαστικά είναι ένα μέτρο ελαστικότητας.

- Δομικοί συντελεστές στρώσεων a_i , που είναι συνάρτηση της μηχανικής αντοχής των στρώσεων. Με βάση αυτούς, ορίζονται ο δομικός αριθμός SN_i της στρώσης i ως $SN_i = a_i \cdot D_i$ και ο συνολικός δομικός αριθμός.

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot m_3$$

όπου:

D_i = το πάχος της στρώσης i .

m_i = συντελεστής αποστράγγισης

Οι συντελεστές a_i για ασφαλική στρώση, βάση και υπόβαση δίνονται από τα νομογραφήματα των Εικόνων 7.1-7.3, αντίστοιχα.

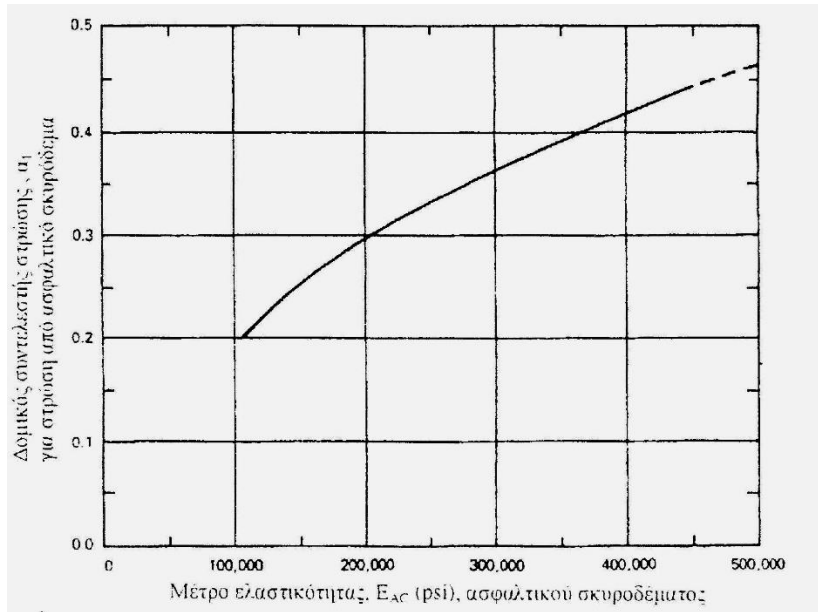
4) Αποστραγγιστική ικανότητα οδοστρώματος

Αφορά σε όλες τις στρώσεις εκτός της ασφαλικής. Αυτή η ικανότητα λαμβάνεται υπόψη με τη βοήθεια συντελεστών αποστράγγισης m_2, m_3, \dots που πολλαπλασιάζουν τους δομικούς συντελεστές a_2, a_3, \dots , αντίστοιχα στη σχέση (7.2). Οι συντελεστές αυτοί δίνονται από τον Πίνακα 7.1.

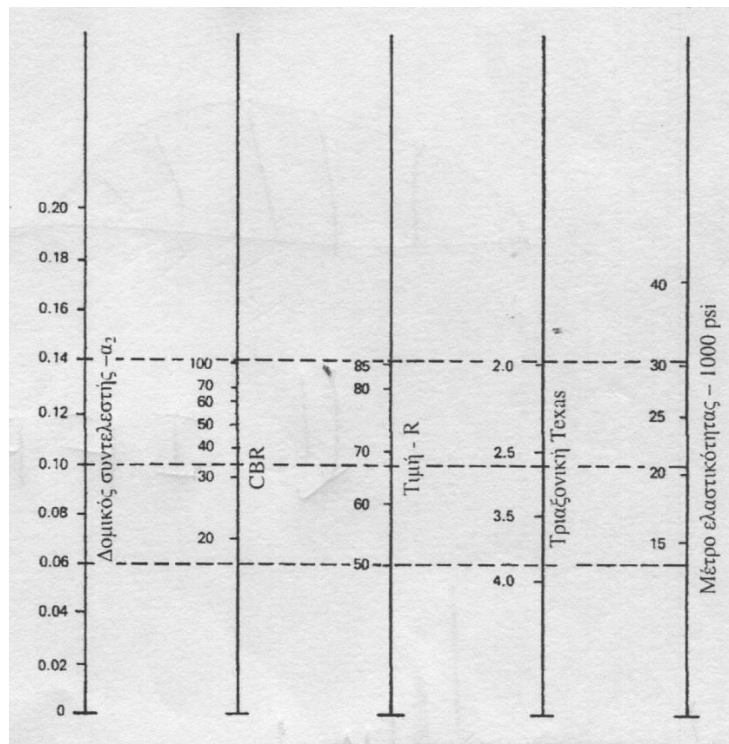
Πίνακας 7.1: Συντελεστές αποστράγγισης m_2, m_3, \dots (από Νικολαΐδη, 2002)

Αποστραγγιστική Ικανότητα	Ποσοστό χρόνου που το οδόστρωμα εκτίθεται σε υγρασία που πλησιάζει την κατάσταση κορεσμού			
	< 1%	1 - 5%	5 - 25%	> 25%
Άριστη (Α.Υ. ⁽¹⁾ σε 2 ώρες)	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Καλή (Α.Υ. σε 1 μέρα)	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Αρκετά καλή (Α.Υ. σε 1 εβδ.)	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Κακή (Α.Υ. σε 1 μήνα)	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Πολύ κακή (το νερό δεν αποστραγγίζεται)	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

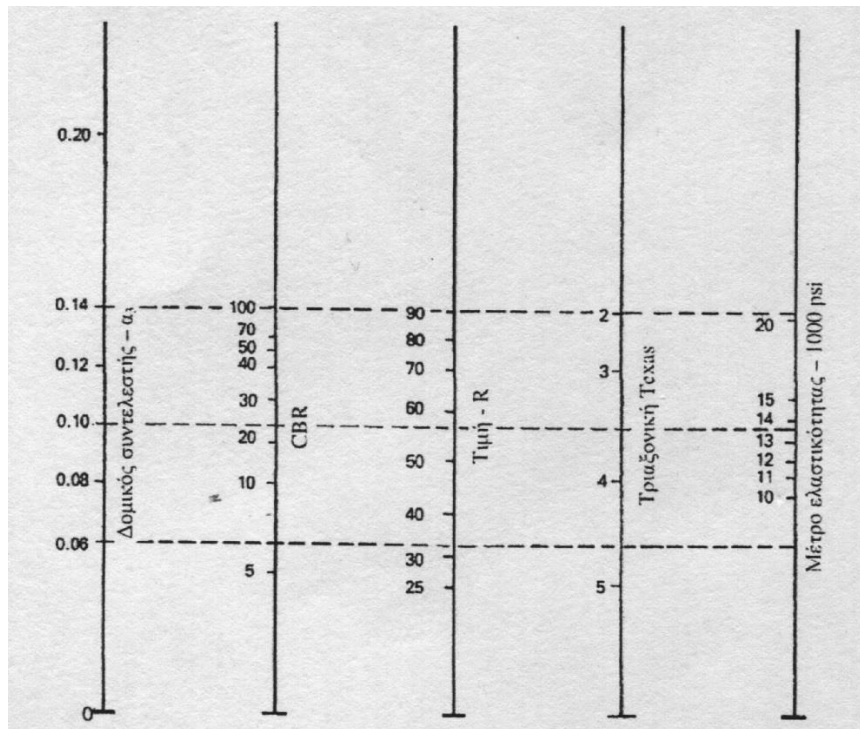
⁽¹⁾ Α.Υ. = Απομάκρυνση ύδατος



Εικόνα 7.1: Διάγραμμα υπολογισμού συντελεστών στρώσεων από ασφαλτικό σκυρόδεμα a_1 (από Νικολαΐδη, 2002)



Εικόνα 7.2: Νομογράφημα υπολογισμού συντελεστών βάσης από ασύνδετα αδρανή (a_2) (από Νικολαΐδη, 2002)



Εικόνα 7.3: Νομογράφημα υπολογισμού συντελεστών υπόβασης από ασύνδετα αδρανή (a_3) (από Νικολαΐδη, 2002)

7.2 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ AASHTO

Η διαδικασία διαστασιολόγησης βασίζεται στο νομογράφημα της Εικόνας 7.4 με το οποίο μπορεί κανείς να προσδιορίσει τον δομικό αριθμό SN_i κάθε στρώσης και στη σχέση (7.2) με την οποία μπορεί κανείς να προσδιορίσει τα πάχη των στρώσεων D_i του οδοστρώματος. Η όλη διαδικασία προϋποθέτει ότι έχουν ήδη καθοριστεί και είναι γνωστά:

- Ο συνολικός αριθμός ισοδύναμων τυπικών αξόνων (ESAL) στη λωρίδα μελέτης
- Η αξιοπιστία R και η τυπική της απόκλιση S_o
- Το μέτρο επανάκτησης M_r του υπεδάφους
- Η απώλεια του δείκτη λειτουργικότητας ΔPSI

Αν υποθέσει κανείς οδόστρωμα με 3 στρώσεις (ασφαλτική πάχους D_1 , βάση πάχους D_2 , υπόβαση πάχους D_3) επί υπεδάφους, όπως αυτό της Εικόνας 7.5, η διαδικασία προσδιορισμού των παχών D_1 , D_2 , και D_3 (διαστασιολόγηση) έχει ως εξής:

1) Με χρήση του νομογραφήματος της Εικόνας 7.4 προσδιορίζονται οι δομικοί αριθμοί SN_1 , SN_2 και SN_3 .

2) Με χρήση των νομογραφημάτων των Εικόνων 7.1-7.3 προσδιορίζονται οι δομικοί συντελεστές α_1 , α_2 και α_3 .

3) Με χρήση της σχέσης $SN = \sum \alpha_i D_i$ για $i=1$ προσδιορίζεται το ελάχιστο πάχος της πρώτης στρώσης ως:

$$D_1 \geq SN_1 / \alpha_1$$

Αν χρειάζεται στρογγύλευση του D_1 προς τα πάνω και προκύψει νέα τιμή D_1^* , τότε θα πρέπει:

$$SN_1^* = \alpha_1 D_1^* > SN_1$$

4) Με χρήση της σχέσης $SN = \sum \alpha_i D_i$ για $i=2$ προσδιορίζεται το ελάχιστο πάχος της δεύτερης στρώσης ως:

$$D_2 = (SN_2 - SN_1^*) / \alpha_2$$

Αν χρειάζεται στρογγύλευση του D_2 προς τα πάνω και προκύψει νέα τιμή D_2^* , τότε θα πρέπει:

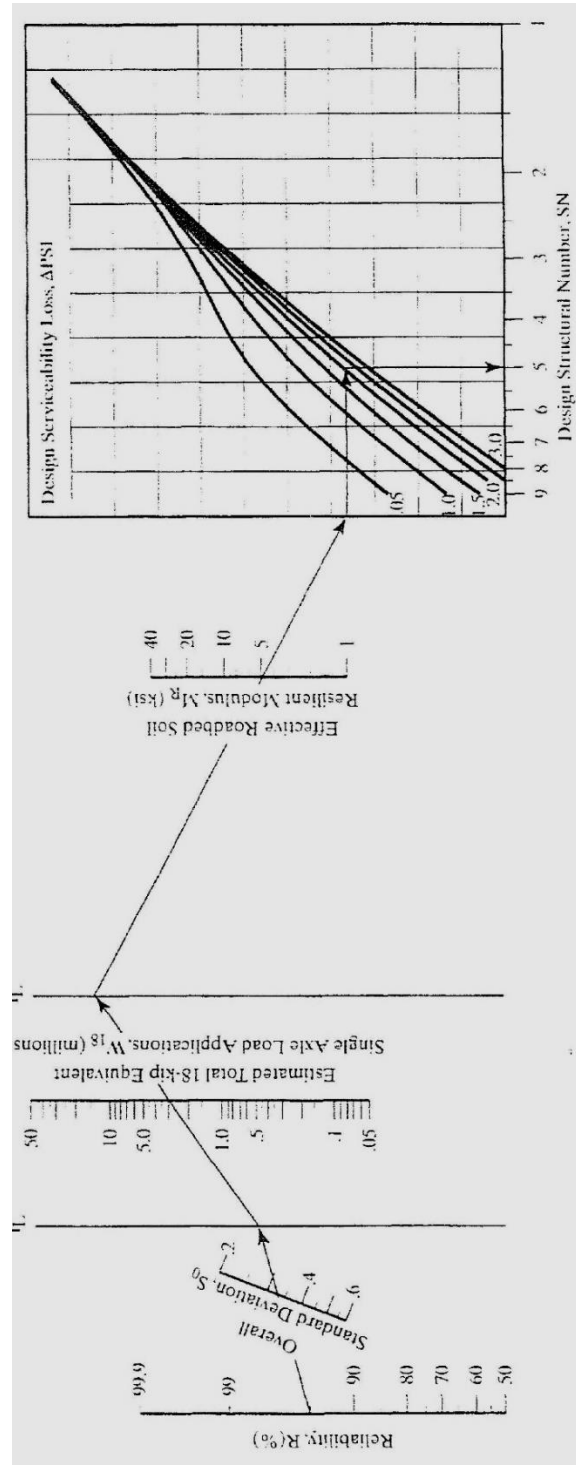
$$SN_2^* = D_2^* \alpha_2 \quad , \quad SN_1^* + SN_2^* > SN_2$$

5) Με την ίδια όπως ανωτέρω διαδικασία υπολογίζεται και το πάχος D_3 ως:

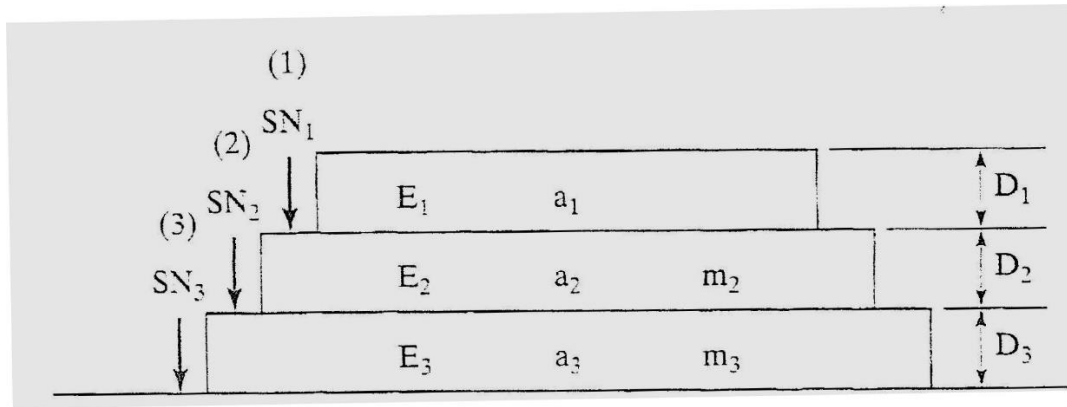
$$D_3 = [SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)] / \alpha_3$$

και αν χρειάζεται στρογγυλεύεται σε D_3^* και επακολουθεί έλεγχος του SN_3^* .

Ας σημειωθεί ότι στην ανωτέρω διαδικασία δεν ελήφθησαν υπόψη περιβαλλοντικοί παράγοντες καθώς και η επιρροή της ικανότητας αποστράγγισης. Ο Πίνακας 7.2 που ακολουθεί, παρέχει τα ελάχιστα πάχη των στρώσεων εύκαμπτου οδοστρώματος ως συνάρτηση του κυκλοφοριακού φόρτου σε ESAL.



Εικόνα 7.4: Νομογράφημα προσδιορισμού δομικού αριθμού (SN) στρώσης και εύκαμπτου οδοστρώματος (από AASHTO, 1993)



Εικόνα 7.5: Τυπικό εύκαμπτο οδόστρωμα σε τομή

Πίνακας 7.2: Ελάχιστο πάχος ασφαλτικής στρώσης και βάσης αδρανών συναρτήσει κυκλοφοριακού φορτίου (από AASHTO, 1993)

Traffic (ESAL)	Asphalt concrete	Aggregate base
Less than 50,000	1.0	4
50,001–150,000	2.0	4
150,001–500,000	2.5	4
500,001–2,000,000	3.0	6
2,000,001–7,000,000	3.5	6
Greater than 7,000,000	4.0	6

Note. Minimum thickness is in in.: 1 in. = 25.4 mm.

7.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΑSHTO

Στόχος της πειραματικής μελέτης με την μέθοδο ΑΑSHTO είναι η εύρεση και η σύγκριση παχών με τα πάχη που βρέθηκαν από την μελέτη που προέκυψαν από τα αποτελέσματα του Δήμου Πατρέων. Παρουσιάζεται η εξής παρακάτω πειραματική μελέτη για 2 περιπτώσεις:

1) Περίπτωση Α: Εάν έχουμε $P_T = 2$

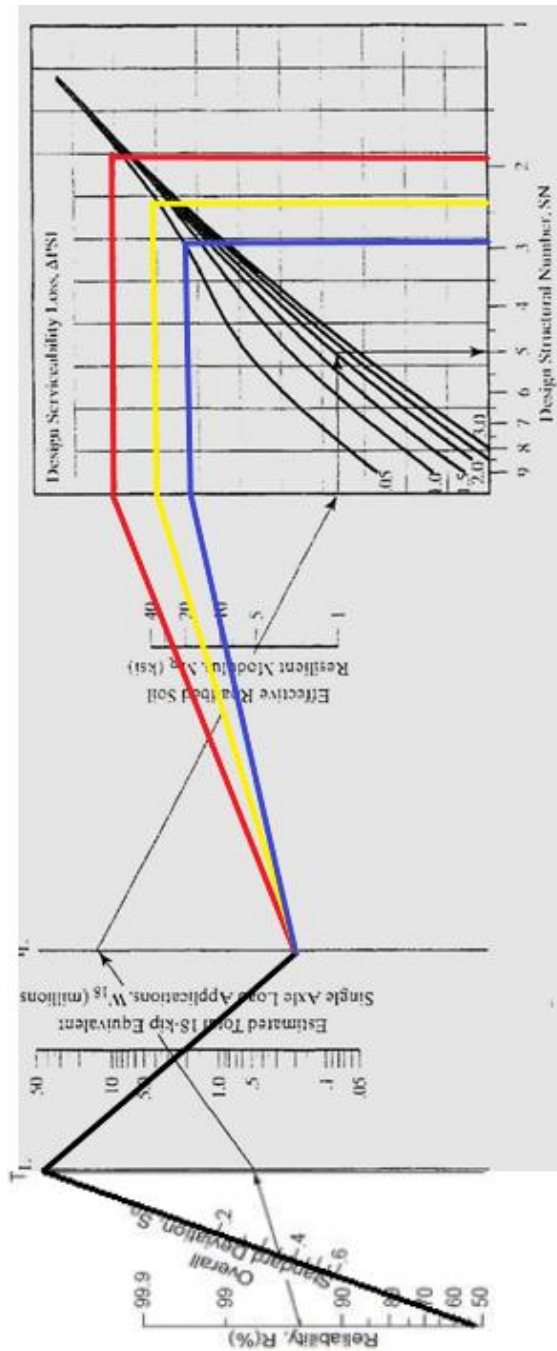
$$R = 50\% = 0,5$$

$$S_o = 0,49$$

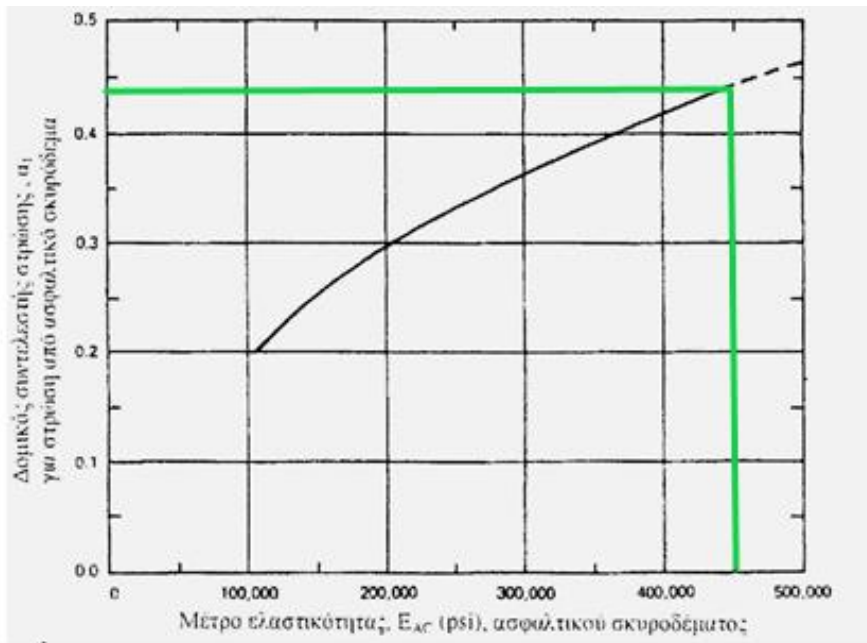
$$\Delta PSI = P_o - P_T = 4,2 - 2 = 2,2$$

Για ESALS χρησιμοποιούμε 2.000.000

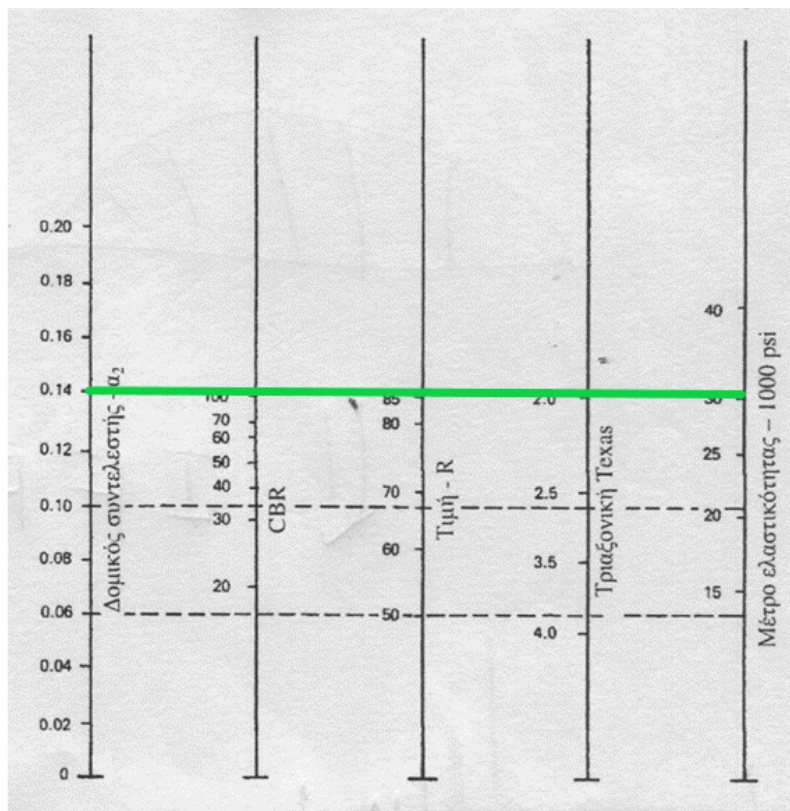
Για την εύρεση του SN:



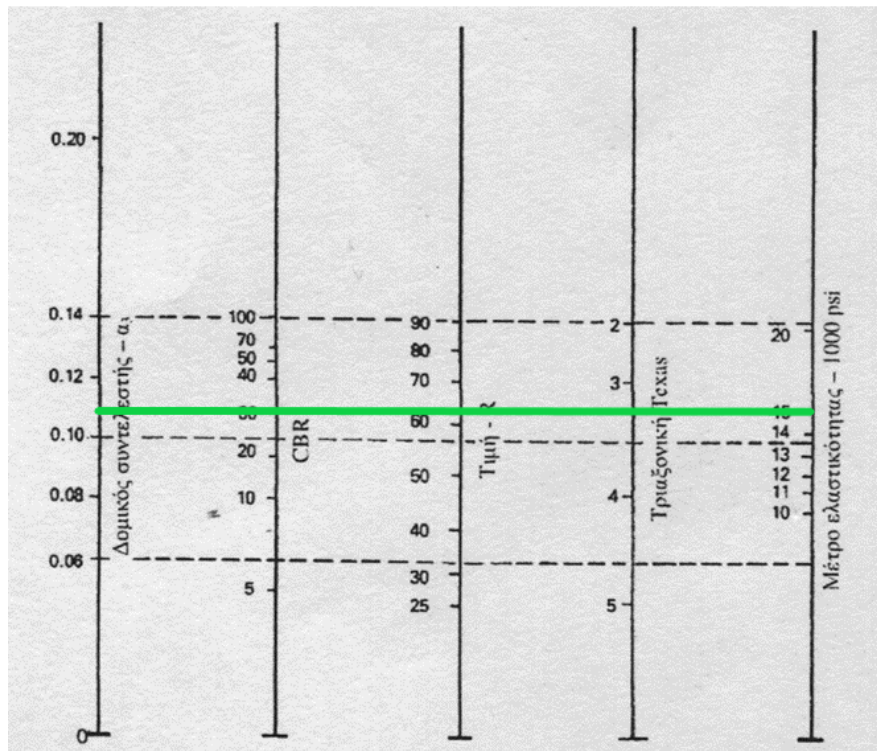
Για την εύρεση του a_1 :



Για την εύρεση του a_2 :



Για την εύρεση του α_3 :



- Για το SN_1 έχουμε:

$$M_r = 30.000 \text{ PSI} = 0,21 \text{ MPa}$$

Από το νομογράφημα προκύπτει ότι: $SN_1 = 1,7$ (βάση)

$$\text{Ξέρουμε ότι } SN_1 = \alpha_1 * D_1$$

$$\text{Θεωρούμε για τα ασφαλτικά } M_r = 450.000 \text{ PSI} = 3102,64 \text{ MPa}$$

Άρα από το διάγραμμα έχουμε: $\alpha_1 = 0,44$

$$D_1 = SN_1 / \alpha_1 = 1,7 / 0,44 = 3,86 \text{ inch}$$

Με στρογγυλοποίηση : $D_1^* = 4 \text{ inch}$

$$SN_1^* = \alpha_1 * D_1^* = 0,44 * 4 = 1,76$$

- Για το SN_2 έχουμε:

$$M_r = 15.000 \text{ PSI} = 0,1 \text{ MPa}$$

Από το νομογράφημα προκύπτει ότι: $SN_2 = 2,2$ (υπόβαση)

$$\Xiέρουμε ότι $SN_2 = \alpha_1 * D_1^* + \alpha_2 * D_2 * m_2 \rightarrow D_2 = (SN_2 - SN_1^*) / (\alpha_2 * m_2) \quad (1)$$$

Άρα από το διάγραμμα έχουμε: $\alpha_2 = 0,14$

$$(1) \rightarrow D_2 = (2,2 - 1,76) / (0,14 * 1) = 0,44 / 0,14 = 3,14 \text{ inch}$$

$$SN_2^* = \alpha_2 * D_2 = 0,14 * 3,14 = 0,44$$

- Για το SN_3 έχουμε:

$$M_r = 10.000 \text{ PSI} = 0,07 \text{ MPa}$$

Από το νομογράφημα προκύπτει ότι: $SN_3 = 2,7$

$$\Xiέρουμε ότι $SN_3 = \alpha_1 * D_1^* + \alpha_2 * D_2 * m_2 + \alpha_3 * D_3 * m_3$$$

$$\rightarrow D_3 = SN_3 - (SN_2^* + SN_1^*) * m_2 / (\alpha_3 * m_3) \quad (2)$$

Άρα από το διάγραμμα έχουμε: $\alpha_3 = 0,11$

$$(2) \rightarrow D_3 = 2,7 - (0,44 + 1,76) * 1 / (0,11 * 1) = 0,5 / 0,11 = 4,5 \text{ inch}$$

Με στρογγυλοποίηση : $D_3^* = 5 \text{ inch}$

Από τον Πίνακα 7.2 για ESAL 2.000.000, η χαμηλότερη τιμή για τα πάχη βάσης και υπόβασης είναι 6 inch και για την ασφαλική βάση η χαμηλότερη τιμή είναι 3 inch.

Έχουμε βρει τα εξής:

$$D_1 = 3,86 \text{ inch} > 3 \text{ inch} \text{ άρα } D_1 = 3,86 \text{ inch} = 10 \text{ cm}$$

$$D_2 = 3,14 \text{ inch} < 6 \text{ inch} \text{ άρα } D_2 = 6 \text{ inch} = 15 \text{ cm}$$

$$D_3 = 5 \text{ inch} < 6 \text{ inch} \text{ άρα } D_3 = 6 \text{ inch} = 15 \text{ cm}$$

Σύγκριση με τα αποτελέσματα του Δήμου Πατρέων:

$$D_1 = 10 \text{ cm} \leq 10 \text{ cm}$$

$$D_2 = 15 \text{ cm} < 20 \text{ cm}$$

$$D_3 = 15 \text{ cm} < 20 \text{ cm}$$

2) Περίπτωση Β: Εάν έχουμε $P_T = 2,5$

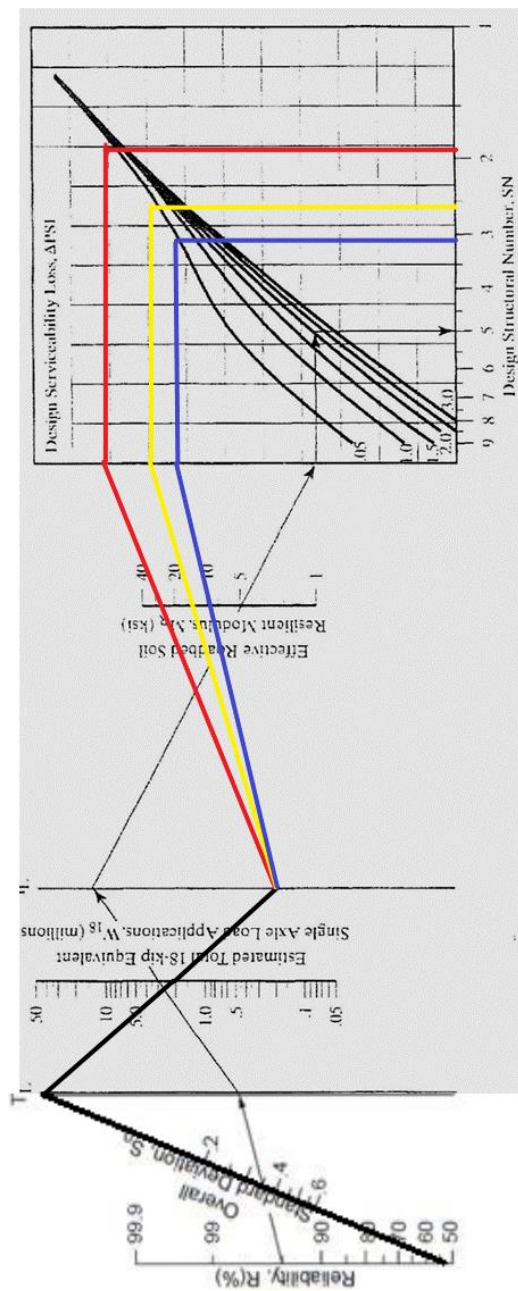
$R = 50\% = 0,5$

$S_o = 0,49$

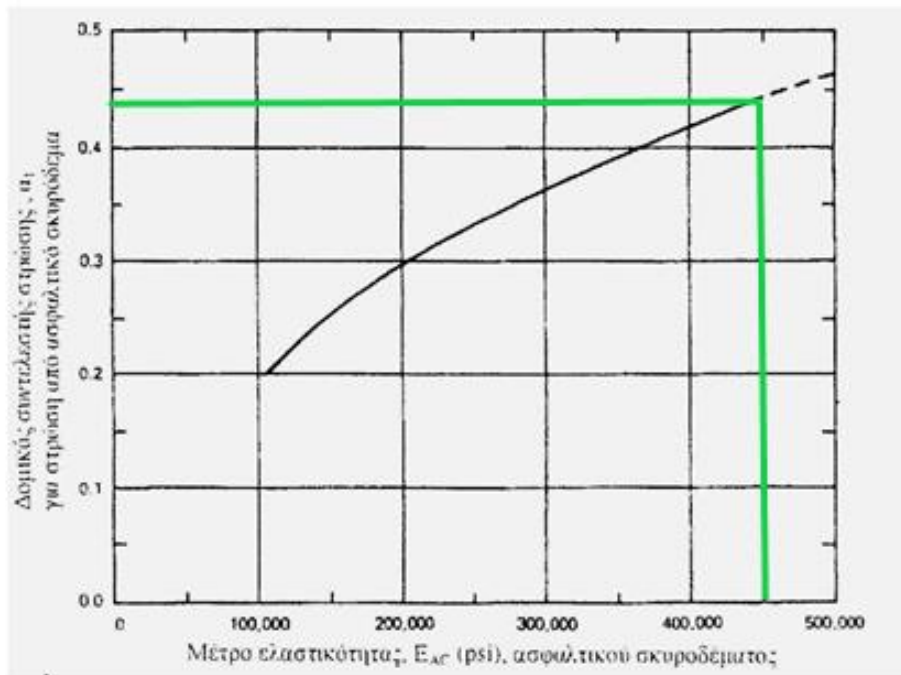
$\Delta PSI = P_o - P_T = 4,2 - 2,5 = 1,7$

Για ESALS χρησιμοποιούμε 2.000.000

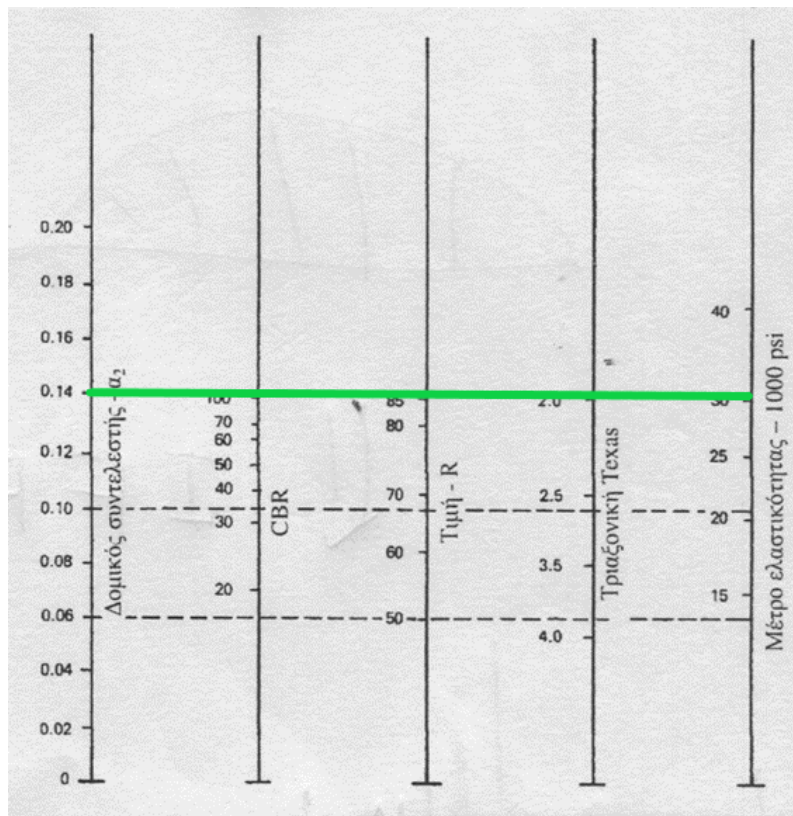
Για την εύρεση του SN:



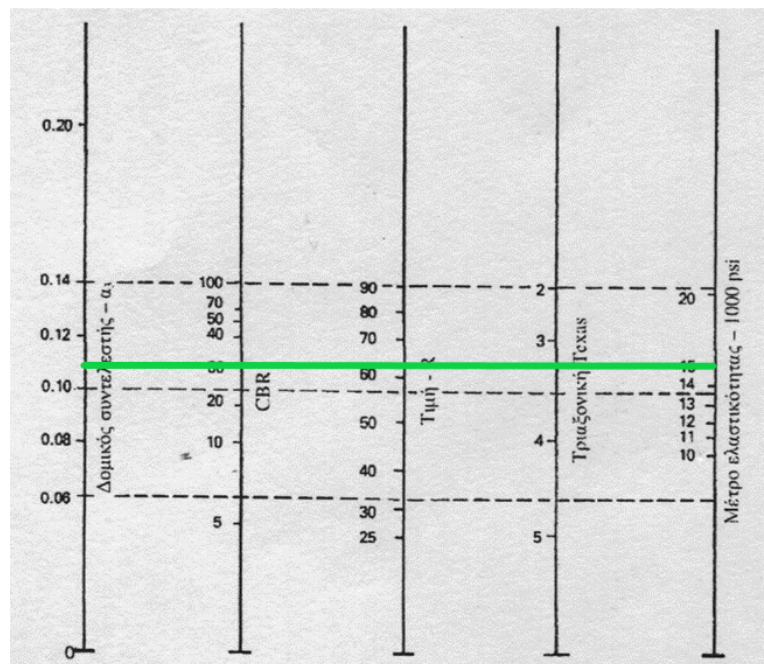
Για την εύρεση του α_1 :



Για την εύρεση του α_2 :



Για την εύρεση του α_3 :



- Για το SN_1 έχουμε:

$$M_r = 30.000 \text{ PSI} = 0,21 \text{ MPa}$$

Από το νομογράφημα προκύπτει ότι: $SN_1 = 1,8$ (βάση)

$$\text{Ξέρουμε ότι } SN_1 = \alpha_1 * D_1$$

$$\text{Θεωρούμε για τα ασφαλτικά } M_r = 450.000 \text{ PSI} = 3102,64 \text{ MPa}$$

Άρα από το διάγραμμα έχουμε: $\alpha_1 = 0,44$

$$D_1 = SN_1 / \alpha_1 = 1,8 / 0,44 = 4,09 \text{ inch}$$

Με στρογγυλοποίηση : $D_1^* = 4,1 \text{ inch}$

$$SN_1^* = \alpha_1 * D_1^* = 0,44 * 4,1 = 1,8$$

- Για το SN_2 έχουμε:

$$M_r = 15.000 \text{ PSI} = 0,1 \text{ MPa}$$

Από το νομογράφημα προκύπτει ότι: $SN_2 = 2,4$ (υπόβαση)

$$\text{Ξέρουμε ότι } SN_2 = \alpha_1 * D_1^* + \alpha_2 * D_2 * m_2 \rightarrow D_2 = (SN_2 - SN_1^*) / (\alpha_2 * m_2) \quad (1)$$

Άρα από το διάγραμμα έχουμε: $\alpha_2 = 0,14$

$$(1) \rightarrow D_2 = (2,4 - 1,8) / (0,14 * 1) = 0,6 / 0,14 = 4,28 \text{ inch}$$

Με στρογγυλοποίηση : $D_2^* = 4,3 \text{ inch}$

$$SN_2^* = \alpha_2 * D_2^* = 0,14 * 4,3 = 0,6$$

- Για το SN_3 έχουμε:

$$M_r = 10.000 \text{ PSI} = 0,07 \text{ MPa}$$

Από το νομογράφημα προκύπτει ότι: $SN_3 = 3,1$

$$\text{Ξέρουμε ότι } SN_3 = \alpha_1 * D_1^* + \alpha_2 * D_2^* * m_2 + \alpha_3 * D_3 * m_3$$

$$\rightarrow D_3 = SN_3 - (SN_2^* + SN_1^*) * m_2 / (\alpha_3 * m_3) \quad (2)$$

Άρα από το διάγραμμα έχουμε: $\alpha_3 = 0,11$

$$(2) \rightarrow D_3 = 3,1 - (1,8 + 0,6) * 1 / (0,11 * 1) = 0,7 / 0,11 = 6,36 \text{ inch}$$

Με στρογγυλοποίηση : $D_3^* = 6,4 \text{ inch}$

Από τον Πίνακα 7.2 με ESAL 2.000.000, η χαμηλότερη τιμή για τα πάχη βάσης και υπόβασης είναι 6 inch και για την ασφαλική βάση η χαμηλότερη τιμή είναι 3 inch.

Έχουμε βρει τα εξής:

$$D_1 = 4,09 \text{ inch} > 3 \text{ inch} \text{ άρα } D_1 = 4,09 \text{ inch} = 10 \text{ cm}$$

$$D_2 = 4,25 \text{ inch} < 6 \text{ inch} \text{ άρα } D_2 = 6 \text{ inch} = 15 \text{ cm}$$

$$D_3 = 6,4 \text{ inch} > 6 \text{ inch} \text{ άρα } D_3 = 6,4 \text{ inch} = 16 \text{ cm}$$

Σύγκριση με τα αποτελέσματα του Δήμου Πατρέων:

$$D_1 = 10 \text{ cm} \leq 10 \text{ cm}$$

$$D_2 = 15 \text{ cm} < 20 \text{ cm}$$

$$D_3 = 16 \text{ cm} < 20 \text{ cm}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας τα εξής αποτελέσματα:

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΗΜΟΥ ΠΑΤΡΕΩΝ:

4 cm αντιολισθηρή

10 cm ασφαλική στρώση (5+5 cm)

20 cm βάση

20 cm υπόβαση

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΑΧΟΣ: $20+20+10+4 = 54$ cm

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΓΙΑ $P_t = 2$:

$D_1 = 10$ cm ≤ 10 cm

$D_2 = 15$ cm < 20 cm

$D_3 = 15$ cm < 20 cm

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΑΧΟΣ: $10+15+15= 40$ cm

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΓΙΑ $P_t = 2,5$:

$D_1 = 10$ cm ≤ 10 cm

$D_2 = 15$ cm < 20 cm

$D_3 = 16$ cm < 20 cm

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΑΧΟΣ: $10+15+16= 41$ cm

Για την υλοποίηση ενός κατασκευαστικού έργου, η μελέτη αποτελείται από πολλαπλά στάδια. Εκτός από χρονοβόρα διαδικασία, είναι και μια πολύπλοκη δουλειά που απαιτεί συνεργασία πολλών ειδικοτήτων.

Συμπερασματικά έχουμε τα εξής «στοιχεία»:

- Δεν συνηθίζεται μέθοδος διαστασιολόγησης σε τοπικές οδούς. Βασίζονται στην εμπειρία του μηχανικού από παρόμοια κατασκευαστικά έργα.

- Όταν έχουμε μικρότερη απώλεια εξυπηρευτικότητας διαφαίνεται ότι πρέπει να έχουμε περισσότερα πάχη.
- Η διαφορά εμπειρίας ενός μηχανικού με την εμπειρική μέθοδο AASHTO είναι στα πάχη των στρώσεων βάσης και υπόβασης. Οι ασφαλικές στρώσεις δίνουν ίδιο πάχος (βάζουμε την αντιολισθηρή 4 cm).
- Μικρότερα πάχη δίνει η Μέθοδος AASHTO. Επομένως θα ήταν οικονομικότερα εάν η μελέτη γίνονταν με την Μέθοδο AASHTO.
- Εφόσον το κύριο στοιχείο είναι η ασφαλική στρώση που έχει ίδιο πάχος, η διατομή που προκύπτει από την μελέτη είναι ικανοποιητική.

ΠΑΡΑΤΗΤΗΣΗ: Το συνολικό πάχος δεν θα πρέπει να ξεπερνάει τις απαιτήσεις της ερυθράς. Πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν ο γεωμετρικός σχεδιασμός της οδού και συγκεκριμένα της ερυθράς. Σε περίπτωση που τα πάχη δεν φτάνουν στις απαιτήσεις της ερυθράς θα πρέπει να αυξηθούν τα πάχη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ

- <https://eclass.uop.gr/modules/document/?course=3402>
- <https://opencourses.auth.gr/modules/document/file.php/OCRS372/%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82%20%CE%9C%CE%B1%CE%B8%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%82/%CE%98%CE%B5%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%95%CE%BD%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1%203%20%26%204%20%CE%A7%CE%AC%CF%81%CE%B1%CE%BE%CE%B7%20%CE%9F%CE%B4%CE%BF%CF%8D.pdf>
- <https://eclass.uop.gr/modules/document/?course=3403>
- <https://eclass.upatras.gr/modules/document/?course=CIV1766>
- <https://eclass.emt.ihu.gr/modules/document/index.php?course=FD242&download=/638f69ad3msx.pdf>
- <https://eclass.uop.gr/modules/document/?course=3320>
- <https://eclass.uop.gr/courses/3402/>
- https://www.paver.gr/images/tecnica/prodiagrafes/59petep/A26-petep-05-03-01-00_.pdf
- <https://www.ggde.gr/dmdocuments/05-03-03-00.pdf>
- <https://www.ggde.gr/dmdocuments/05-03-11-04.pdf>
- Βιβλίο: «Οδοποιία η διαχείριση των οδικών έργων» - Αναστάσιος Κ. Μουρατίδης
- Βιβλίο: «Οδοποιία Οδοστρώματα – Υλικά – Έλεγχος ποιότητας» - Αθ. Φ. Νικολαΐδης