

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΗΣΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ
MODERN APPLICATIONS ON ROAD PAVEMENTS



ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ – ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

Σαραντόπουλος Ανδρέας

Καθηγητής

ΦΟΙΤΗΤΕΣ:

Σόγια Αλεξάνδρα Α.Μ. 5679

Δέσποινα Παπαθανάση Α.Μ.

5672

ΠΑΤΡΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2020

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ολοκληρώνοντας την Πτυχιακή Εργασία μας αισθανόμαστε την ανάγκη να ευχαριστήσουμε τον Επιβλέπων καθηγητή της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας, τον κύριο Σαραντόπουλο Ανδρέα, καθηγητή λέκτορα εφαρμογών στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου, για την πολύτιμη βοήθεια που μας προσέφερε κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, για τη συνεχή καθοδήγησή του και την υπομονή του.

Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους, κύριο Λυκουργιώτη Σωτήρη ως προηγούμενο επιβλέπων της εργασίας μας και τον καθηγητή Rui Micaelo από το πρόγραμμα Erasmus, για την συνεισφορά τους και την καθοδήγησή τους .

Πάτρα, ΙΟΥΝΙΟΣ 2020

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας είναι η παρουσίαση και η ανάλυση των μεθόδων μελέτης και κατασκευής των οδοστρωμάτων στη Πορτογαλία. Η επιλογή του θέματος έγινε λόγω της συμμετοχής μας στο πρόγραμμα Erasmus.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται βασικοί ορισμοί με θέμα την οδοποιία.

Στη συνέχεια, το δεύτερο κεφάλαιο εστιάζει στις βασικές έννοιες των οδοστρωμάτων και την δομή εύκαμπτων οδοστρωμάτων.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι μέθοδοι σχεδιασμού εύκαμπτων οδοστρωμάτων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο συνοψίζονται στον σχεδιασμό οδοστρωμάτων στην Πορτογαλία.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η περίπτωση μελέτης.

Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο φαίνεται η οικονομική ανάλυση οδοστρωμάτων που εκπονήθηκε σε δύο περιοχές της Πορτογαλίας.

Υπεύθυνη Δήλωση φοιτητών:

Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι σπουδαστές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κείμενου, έχουμε δε αναφέρει στη Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα.

Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομα του και την πηγή προέλευσης.

Οι φοιτητές :

**ΠΑΠΠΑΘΑΝΑΣΗ
ΔΕΣΠΟΙΝΑ**

**ΣΟΓΙΑ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ**

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:	ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΟΡΙΣΜΟΙ
7	
1.1 Εισαγωγή - Introduction.....	7
1.2 Ορισμοί / Ορολογία - Definitions / Terminology.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Βασικές έννοιες των οδοστρωμάτων - Basic concepts of road pavement	25
2.1 Τύποι οδοστρωμάτων - Types of pavements	25
2.2 Εύκαμπτα οδοστρώματα - Flexible pavement	26
2.2.1 Δομή εύκαμπτων οδοστρωμάτων - Pavements structure of flexible pavements .	27

2.2.1.1	Επιφανειακή στρώση - Surface Course	27
2.2.1.2	Στρώση βάσης - Base Course	28
2.2.1.3	Στρώση υπόβασης - Subbase Course.....	29
2.2.2	Ασφαλτικά μίγματα - Bituminous mixtures	30
2.3	Άκαμπα οδοστρώματα - Rigid Pavement	30
2.3.1	Δομή άκαμπτων οδοστρωμάτων - Pavement structure of rigid pavement..	31
2.3.1.1	Επιφάνεια - Surface	32
2.3.1.2	Στρώση βάσης - Base course	32
2.3.1.3	Στρώση υπόβασης - Subbase course	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Μέθοδοι σχεδιασμού εύκαμπτων οδοστρωμάτων -Design methodologies for flexible pavements		34
3.1	Μεθοδολογία - Methodology.....	34
3.2	Κίνηση - Traffic	38
3.3	Υπόστρωμα (φυσικό έδαφος) - Sub grade	42
3.4	Περιβαλλοντικές συνθήκες - Environmental Conditions.....	44
3.5	Δοκιμές - Fatigue laws.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. - Pavement design method in Portugal.....		48
4.1	Εισαγωγή - Introduction	48
4.2	Περιβαλλοντικές συνθήκες - Environmental Conditions.....	49
4.3	Κίνηση - Traffic	49
4.4	Υπόβαση - Subgrade	52
4.5	Υλικά επίστρωσης - Paving materials	54
4.6	Προτεινόμενες δομές οδοστρωμάτων - Proposed pavement structures	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Περίπτωση μελέτης - Case study.....		63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Οικονομική ανάλυση - Economic analysis		95
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ		97
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		98
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ - ΠΙΝΑΚΩΝ.....		99

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΟΡΙΣΜΟΙ

1.1 Εισαγωγή - Introduction

Pavement design and road construction in general are one of the most basic problems faced by civil engineers in co-operation with other organizations. The challenges in this area of construction are enough, because most constructions are public and must meet all the requirements to meet the demands of the public.

Since ancient times, pioneers in street-building techniques have been considered to be Romans, due to their large-scale venture across Europe, even with today's benchmarks. Initially, roads were constructed purely for military purposes and had no economic significance for the simple world. At that time, the roads were made of selected materials of the area and slabs of quarry stones. After the first millennium AD the roads started to improve due to the development of trade and more recent years due to the use of vehicles.

Although the design of pavements gradually evolved from art to science, experience continues to play an important role to this day. By the early 1920s, road surface thickness was calculated based on experience. The same pavement thickness was used on different sections of the road, even though the existing ground characteristics along the road changed. Over time and the experience gained, various

methods have been developed by various global organizations to calculate the required road surface thickness.

The difficulty in engineering is that it has to find the optimal solution to the pavement design, because it has to make the right layout of the pavement to meet the requirements for the strength and the functionality of the construction and at the same time to be a financial project for the whole the design life of the pavement.

The Portuguese road network mainly consists of asphalt pavements, composed of upper layers in asphalt concrete and unbound granular layers of base and sub-base in crushed natural aggregates. Important research is being developed in order to improve the determination of the mechanical performance of materials and to implement the appropriate characteristics in pavement modeling and pavement design. For this purpose, laboratory tests and the performance evaluation of experimental or full-scale sections during in situ load tests have a special importance.

Elaborate on the basis of Typical European catalog of pavements' design. Similar layers are used in European countries - European Union. In Europe the most popular pavements are flexible, semi-flexible and rigid pavements.

1.2 Ορισμοί / Ορολογία - Definitions / Terminology

- I. **ΟΔΟΠΟΙΑ:** Είναι το σύνολο των εργασιών για την κατασκευή μιας οδού και η εχνική για τη διαμόρφωση και την κατασκευή αυτή.
- II. **ΟΔΟΣ:** Είναι η λωρίδα του εδάφους, που διαμορφώνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτρέπει την κυκλοφορία τροχοφόρων και πεζών επάνω της.
- III. **ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ:** Είναι το μέρος της οδού το οποίο προορίζεται για την κυκλοφορία των τροχοφόρων. Διακρίνεται σε εύκαμπτο και δύσκαμπτο οδόστρωμα, κατά κανόνα.
- IV. **ΕΡΕΙΣΜΑΤΑ:** Είναι εδαφικές ζώνες δεξιά και αριστερά του οδοστρώματος. Στις αστικές οδούς έχουν τη μορφή του πεζοδρομίου.
- V. **ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ ΟΔΟΥ:** Είναι το σύνολο της επιφάνειας του οδοστρώματος και των ερεισμάτων μιας οδού.
- VI. **ΟΡΥΓΜΑ:** Είναι το τμήμα του φυσικού εδάφους που σκάβουμε για να διαμορφώσουμε την οδό.

- VII. **ΕΚΧΩΜΑΤΑ:** Είναι τα προϊόντα της εκσκαφής των ορυγμάτων. Κατά κανόνα χρησιμοποιούνται για τη διαμόρφωση της οδού στα τμήματα που η επιφάνειά τους είναι ψηλότερη από το φυσικό έδαφος (επιχώματα).
- VIII. **ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ:** Είναι το υλικό που τοποθετείται εκεί, όπου η επιφάνεια της οδού προβλέπεται να είναι ψηλότερη από το φυσικό έδαφος.
- IX. **ΑΞΟΝΑΣ ΟΔΟΥ:** Είναι η τομή του άξονα της οδού με το φυσικό έδαφος, πάντα σε οριζόντια προβολή.
- X. **ΜΗΚΟΤΟΜΗ ΟΔΟΥ:** Είναι η τομή του άξονα της οδού με το κατάστρωμά της.
- XI. **ΜΗΚΟΤΟΜΗ ΕΔΑΦΟΥΣ:** Είναι η τομή του άξονα της οδού με το φυσικό έδαφος.
- XII. **ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΜΗ Ή ΔΙΑΤΟΜΗ:** Είναι η τομή της οδού και του εδάφους με επίπεδα κατακόρυφα και κάθετα στον άξονα της οδού.
- XIII. **ΟΔΟΣ ΣΕ ΟΡΥΓΜΑ:** Είναι η οδός που το κατάστρωμά της είναι κάτω από το φυσικό έδαφος.
- XIV. **ΟΔΟΣ ΣΕ ΕΠΙΧΩΜΑ:** Είναι η οδός που το κατάστρωμά της είναι πάνω από το φυσικό έδαφος.
- XV. **ΟΔΟΣ ΜΕ ΜΕΙΚΤΗ ΔΙΑΤΟΜΗ:** Είναι η οδός που ένα μέρος του καταστρώματος της είναι σε όρυγμα και το υπόλοιπο μέρος της είναι σε επίχωμα.
- XVI. **ΤΑΦΡΟΙ:** Είναι τα αυλάκια που ανοίγονται κατά κανόνα δεξιά και αριστερά στα ορύγματα των οδών της υπαίθρου, για να φεύγουν τα ύδατα της βροχής.
- XVII. **ΠΡΑΝΗ ΟΡΥΓΜΑΤΟΣ:** Είναι οι πλευρικές επιφάνειες του ορύγματος που δημιουργούνται από την εκσκαφή του φυσικού εδάφους για την κατασκευή της οδού.
- XVIII. **ΠΡΑΝΗ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ:** Είναι οι πλευρικές επιφάνειες του επιχώματος που συνδέουν το κατάστρωμα της οδού με το φυσικό έδαφος.
- XIX. **ΦΡΥΔΙ ΟΡΥΓΜΑΤΟΣ:** Είναι το σημείο που ορίζεται από την τομή του πρανούς του ορύγματος με το φυσικό έδαφος.
- XX. **ΠΟΔΙ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ:** Είναι το σημείο που ορίζεται από την τομή του πρανούς του επιχώματος με το φυσικό έδαφος.

XXI.ΧΩΜΑΤΙΣΜΟΙ: Είναι το σύνολο των εργασιών της εκσκαφής και διάθεσης των χωμάτων (επιχωματώσεις, αποθέσεις ή δάνεια) για την κατασκευή ενός τμήματος της οδού.

XXII.ΟΔΟΣ ΙΣΟΠΕΔΗ: Είναι η οδός που το κατάστρωμά της, από άποψη θέσης στο χώρο, δεν διαφέρει αισθητά από το φυσικό έδαφος.

XXIII.ΠΛΑΤΟΣ ΚΑΤΑΛΗΨΗΣ ΤΗΣ ΟΔΟΥ: Είναι η οριζόντια απόσταση που ορίζεται από τις τομές των πρανών με το φυσικό έδαφος.

XXIV.ΖΩΝΗ ΚΑΤΑΛΗΨΗΣ ΤΗΣ ΟΔΟΥ: Είναι η επιφάνεια που ορίζεται μεταξύ των δυο γραμμών που συνδέουν τα όρια του πλάτους της οδού.

XXV.ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ ΟΔΟΥ: Είναι η παράσταση της οδού σε οριζόντια προβολή με κλίμακα.

XXVI.ΑΝΩΦΕΡΕΙΑ: Είναι το τμήμα της οδού που στην κατά μήκος τομή έχει κλίση θετική. Θεωρούμε ως αφετηρία την αρχή της χιλιομέτρησης.

XXVII.ΚΑΤΩΦΕΡΕΙΑ: Είναι το τμήμα της οδού που στην κατά μήκος τομή έχει κλίση αρνητική. Θεωρούμε ως αφετηρία την αρχή της χιλιομέτρησης.

XXVIII.ΡΕΙΘΡΟ: Είναι κατασκευή που γίνεται στην άκρη του οδοστρώματος της οδού για να ρέουν τα ύδατα της βροχής.

XXIX.ΠΕΖΟΔΡΟΜΙΑ: Είναι τα υπερυψωμένα ερείσματα αστικής οδού, που χρησιμοποιούνται για την κυκλοφορία των πεζών.

ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΡΓΑ

Χωματουργικά έργα ονομάζουμε τα έργα εκείνα που υπερυψώνουν ή χαμηλώνουν και διαμορφώνουν την επιφάνεια του φυσικού εδάφους μέχρι ενός προβλεπόμενου ύψους.

Η δαπάνη κατασκευής μιας οδού διαμορφώνεται, κυρίως, από τα προβλεπόμενα χωματουργικά και τεχνικά έργα.

I. **ΥΠΟΔΟΜΗ:** Ονομάζουμε το σύνολο των έργων (χωματουργικά και τεχνικά) που δίνουν στην οδό την κατάλληλη μορφή, ώστε να δεχθεί το οδόστρωμα με ασφάλεια και την ομαλή αποχέτευση των υδάτων μέχρι μιας φυσικής ροής.

II. **ΕΠΙΧΩΜΑ:** Ονομάζουμε μια υπερυψωμένη κατασκευή εδάφους, που είναι μίγμα εδάφους και αδρανών υλικών πετρωμάτων.

- III. **ΕΔΡΑΣΗ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ:** Ονομάζουμε το υλικό όπου πάνω του κατασκευάζεται το επίχωμα.
- IV. **ΥΠΕΔΑΦΟΣ:** Ονομάζουμε το έδαφος, αμέσως κάτω από το οδόστρωμα που προπαρασκευάσαμε, μορφώσαμε και συμπυκνώσαμε και που εκτείνεται μέχρι βάθους που επηρεάζεται από τα φορτία κυκλοφορίας.
- V. **ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ:** Ονομάζουμε το πάνω τμήμα της διατομής της οδού που αποτελείται, κατά κανόνα, από στρώσεις υπόβασης, βάσης και στρώσεις κυκλοφορίας.
- VI. **ΥΠΟΒΑΣΗ:** Είναι η στρώση για ενίσχυση του οδοστρώματος που είναι μεταξύ υπεδάφους και βάσης και έχει σκοπό την ελάττωση των εισαγόμενων τάσεων στο έδαφος.
- VII. **ΒΑΣΗ:** Είναι η στρώση του οδοστρώματος μεταξύ υπόβασης και στρώσης κυκλοφορίας που παραλαμβάνει τα εισαγόμενα φορτία από την κυκλοφορία.
- VIII. **ΣΤΡΩΣΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ:** Είναι η ανώτερη στρώση του οδοστρώματος που παρέχει ομαλή και άνετη κίνηση στα οχήματα, παραλαμβάνει δε τις εφαπτομενικές και λοιπές δυνάμεις.

ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΟΔΟΥ

Ο **άξονας της οδού** τοποθετείται κατά κανόνα στο μέσον του οδοστρώματος και αποτελεί τον άξονα αναφοράς για τον υπολογισμό των στοιχείων της.

Το **πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας** είναι το μέρος του οδοστρώματος που προορίζεται για την κίνηση ενός οχήματος.

Λωρίδα καθοδήγησης είναι το πρόσθετο πλάτος του οδοστρώματος είτε προς τα δεξιά πλευρά του κινούμενου οχήματος (εξωτερική λωρίδα καθοδήγησης) είτε προς την αριστερή πλευρά (εσωτερική λωρίδα καθοδήγησης), σε περίπτωση διαχωρισμένων οδοστρωμάτων. Οι λωρίδες αυτές συνήθως διαχωρίζονται με μια συνεχή άσπρη λωρίδα φαρδύτερη από τις υπόλοιπες διαγραμμίσεις του οδοστρώματος.

Λωρίδα Έκτακτης Ανάγκης (ΛΕΑ) είναι μια πρόσθετη ασφαλτοστρωμένη λωρίδα στο δεξί μέρος του οδοστρώματος και προορίζεται για περιπτώσεις ανάγκης και για την κίνηση των ειδικών οχημάτων (ασθενοφόρα, αστυνομικά, πυροσβεστικά,

Οδικής Βοήθειας, κλπ.). Η ΛΕΑ κατασκευάζεται με το ίδιο οδόστρωμα που κατασκευάζονται οι υπόλοιπες λωρίδες κυκλοφορίας.

Το σύνολο του ασφαλτοστρωμένου τμήματος ονομάζεται **πλάτος οδοστρώματος** που στην περίπτωση διαχωρισμένων οδοστρωμάτων περιλαμβάνει και την διαχωριστική νησίδα.

ΤΟ ΞΕΚΙΝΗΜΑ ΤΗΣ ΧΑΡΑΞΗΣ ΜΙΑΣ ΟΔΟΥ

ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΔΑΦΟΥΣ

Η Μελέτη Οδοποιίας, όπως εξ άλλου και όλες οι Τεχνικές Μελέτης, γίνονται με τη χρήση Ηλεκτρονικών Υπολογιστών. Για να είναι δυνατή η ηλεκτρονική επεξεργασία, το τοπογραφικό υπόβαθρο πρέπει να έχει κάποια συγκεκριμένη μορφή. Το Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. έχει εκδώσει σχετική Εγκύκλιο για το πως πρέπει να συντάσσεται ένα τοπογραφικό υπόβαθρο για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μελέτες Οδοποιίας (ΠΨΥΜΟ).

Τα επεξεργάσιμα αυτά τοπογραφικά τα ονομάζουμε **Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους** (Digital Terrain Models- **DTM**) και περιέχουν πλέγμα τρισδιάστατων τριγώνων (μορφής 3d- face) που υλοποιούν το ανάγλυφο του φυσικού εδάφους.

Πριν ξεκινήσουμε λοιπόν μια Μελέτη Οδοποιίας θα πρέπει να βεβαιωθούμε ότι το τοπογραφικό υπόβαθρο το οποίο διαθέτουμε είναι κατάλληλης και επεξεργάσιμης μορφής.

Μια **ισοϋψής καμπύλη** ορίζεται σαν ο γεωμετρικός τόπος των σημείων που έχουν το ίδιο υψόμετρο. Δηλαδή πάνω στην ισοϋψή 100 κάθε σημείο της έχει υψόμετρο 100μ. Προκύπτει δε από την τομή του επιπέδου $Z= 100$ με το φυσικό έδαφος και την προβολή της τομής αυτής στο οριζόντιο επίπεδο.

Όσο πυκνότερα δίδονται οι ισοϋψείς τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια μας παρέχει το τοπογραφικό διάγραμμα.

Η υψομετρική διαφορά από τη μια ισοϋψή στην άλλη λέγεται **ισοδιάσταση (δ)** και είναι σταθερή δε ένα τοπογραφικό διάγραμμα μιας συγκεκριμένης κλίμακας. Οι Κανονισμοί σύνταξης τοπογραφικών διαγραμμάτων ορίζουν και την απαιτούμενη

ισοδιάσταση ανάλογα με την κλίμακα και το είδος της περιοχής πχ. πεδινό, λοφώδες, ορεινό, κλπ.

Όταν οι ισοϋψείς είναι σχεδόν παράλληλες μεταξύ τους τότε παριστάνουν μια **πλαγιά**. Όσο πυκνότερες είναι οι ισοϋψείς τόσο πιο απότομη είναι η πλαγιά, δηλαδή τόσο μεγαλύτερη είναι η κλίση της πλαγιάς.

Όταν οι ισοϋψείς είναι κλειστής μορφής και συγκλίνουν προς ένα μικρότερο κύκλο τότε:

- Εάν η ισοϋψής του μικρότερου κύκλου είναι μεγαλύτερη πρόκειται για το υψηλότερο σημείο άρα παριστάνει **κορυφή**,
- Ενώ εάν είναι μικρότερη πρόκειται για χαμηλότερο σημείο και παριστάνει **βαθούλωμα**.

Όταν οι ισοϋψείς συγκλίνουν προς μια γραμμή τότε:

- Είτε δημιουργείται χαμηλή (βαθιά γραμμή) και λέγεται **μισάγγεια**,
- Είτε δημιουργείται υψηλή γραμμή (κορφιάς) και λέγεται **ράχη**.

Μεταξύ δυο κορυφών δημιουργείται ένα «σαμάρι» που λέγεται **αυχένας**.

Μεταξύ δυο πλαγιών δημιουργείται μια χαμηλή ζώνη που λέγεται **ρέμα**, ή σε μεγάλες εκτάσεις **χείμαρρος** ή **ποταμός**.

ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ

Σε δομικές εργασίες, όπως επιχώματα, υποβάσεις, βάσεις κλπ., χρειάζεται ομοιόμορφη συμπίκνωση του εδάφους κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Με τη συμπίκνωση του εδάφους επιτυγχάνεται ο περιορισμός του όγκου των πόρων με αποτέλεσμα να αυξάνει η αντοχή του εδάφους, λόγω της συνεκτικότερης υφής του.

Ιδιαίτερα στα έργα οδοποιίας, στα οποία παρουσιάζονται μεγάλα δυναμικά και στατικά φορτία, η καλή συμπίκνωση όλων των στρωμάτων από την υπόβαση μέχρι τη στρώση κυκλοφορίας αποτελεί το βασικό παράγοντα για την εν γένει συμπεριφορά του έργου από άποψη διαμόρφωσης λόγω της επίδρασης της κυκλοφορίας.

Το ποσοστό κενών εδάφους είναι συνάρτηση της κοκκομετρικής διαβάθμισης και της διάταξης των κόκκων του εδάφους. Η διάταξη των κόκκων εξαρτάται από την ενέργεια συμπίκνωσης, της οποίας η μέγιστη δράση της αναπτύσσεται όταν η περιεχόμενη υγρασία είναι η βέλτιστη.

Η συμπίκνωση του εδάφους μετριέται ποσοτικά με την πυκνότητα του. Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν μετριέται η φαινόμενη πυκνότητα του εδάφους που συμυκνώθηκε, αλλά η ξηρή φαινόμενη πυκνότητά του γ_d , δηλαδή μετριέται η πυκνότητα του εδάφους αφού έχουμε αφαιρέσει το βάρος του ύδατος που περιέχεται.

Το κριτήριο της επιλογής του μηχανήματος συμπίκνωσης για μια δεδομένη περίπτωση, είναι η ικανότητά του να συμυκνώνει το έδαφος στο βαθμό που θέλουμε, με το οικονομικότερο τρόπο. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπίκνωση του εδάφους με μηχανικά μέσα είναι:

- Η φύση και η κοκκομετρική διαβάθμιση του εδάφους
- Η περιεκτικότητα του εδάφους σε υγρασία
- Το μέγιστο πάχος της εδαφικής στρώσης
- Ο αριθμός των διελεύσεων του μηχανήματος συμπίκνωσης
- Ο τύπος του μηχανήματος συμπίκνωσης.

Η συμπίκνωση των εδαφών γίνεται με εφαρμογή ενέργειας με τρεις διαφορετικούς τρόπους και διακρίνεται ανάλογα με τη διάρκεια των τάσεων που εφαρμόζονται. Αυτές οι τάσεις είναι:

1. Πίεση (κυλίνδρωση)
2. Δόνηση
3. Κρούση.

Η κυλίνδρωση γίνεται με κοινούς οδοστρωτήρες, η δόνηση γίνεται με δονητικούς οδοστρωτήρες και δονητικές πλάκες και η κρούση με διάφορους τύπους κοπάνων. Ο Μηχανικός, πριν αρχίσουν οι εργασίες συμπίκνωσης, πρέπει να έχει υπόψη του τα παρακάτω:

- Τον βαθμό συμπίκνωσης που πρέπει να επιτύχει
- Την περιεκτικότητα υγρασίας που πρέπει να περιέχει το έδαφος για την καλύτερη συμπίκνωση
- Την απόδοση του μηχανήματος που θα χρησιμοποιηθεί για τη συμπίκνωση.

ΟΔΟΝΤΩΤΟΙ ΟΔΟΣΤΡΩΤΗΡΕΣ (με κατσικοπόδαρα)

Συνήθως είναι ρυμουλκούμενα μηχανήματα τα οποία αποτελούνται από ένα κενό κυλινδρικό τύμπανο που περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα με πλαίσιο. Το τύμπανο μπορεί να γεμίσει με άμμο ή με νερό. Πάνω στο τύμπανο είναι στερεωμένα μεταλλικά δόντια με άκρες από σκληρό χάλυβα. Παράγοντες που επηρεάζουν την συμπίκνωση μιας εδαφικής στρώσης είναι:

- Οι διαστάσεις των δοντιών
- Η πίεση των δοντιών
- Το πάχος της εδαφικής στρώσης
- Ο αριθμός διελεύσεων

ΟΔΟΣΤΡΩΤΗΡΕΣ ΜΕ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥΣ ΤΡΟΧΟΥΣ

Οδοστρωτήρες με ελαστικούς τροχούς, υπάρχουν αυτοκινούμενοι ή ρυμουλκούμενοι.

Ο οδοστρωτήρας με ελαστικούς τροχούς, αντίθετα από τον οδοντωτό οδοστρωτήρα ο οποίος συνθλίβει του εδαφικούς κόκκους και συμπυκνώνει με τη συσπείρωση των κόκκων που προκαλεί, χωρίς να τους μετακινεί σημαντικά.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των οδοστρωτήρων με ελαστικούς τροχούς τα οποία επηρεάζουν την απόδοσή τους στην συμπύκνωση, είναι η επιφάνεια έδρασης των ελαστικών και η πίεση του αέρα στον αεροθάλαμο.

Παράγοντες που επηρεάζουν την συμπύκνωση εδαφικού υλικού με οδοστρωτήρα με ελαστικούς τροχούς είναι:

- Πίεση ελαστικού
- Πάχος εδαφικής στρώσης
- Αριθμός διελεύσεων μηχανήματος

Ένα από τα πλεονεκτήματα του ελαστικοφόρου οδοστρωτήρα είναι η δημιουργία οριζόντιων δυνάμεων συμπύκνωσης, εκτός από των κατακόρυφων.

ΔΟΝΗΤΕΣ

Είναι μηχανήματα αυτοκινούμενα ή ρυμουλκούμενα τα οποία συμπυκνώνουν το έδαφος με δόνηση. Διακρίνονται σε δυο κατηγορίες:

- Δονητικοί κύλινδροι
- Επίπεδοι δονητές

Η συμπύκνωση του εδάφους με δονητή παρουσιάζει το πλεονέκτημα της γρήγορης διευθέτησης των εδαφικών κόκκων σε πυκνότερη θέση με εφαρμογή μικρότερης ενέργειας συμπύκνωσης και μικρότερο βάρος εξοπλισμού.

Η συμπύκνωση με δονητή είναι τόσο αποτελεσματικότερη, όσο το έδαφος παρουσιάζει μεγαλύτερη γωνία εσωτερικής τριβής και μικρή συνοχή, επειδή οι δυνάμεις συνοχής μεταξύ των κόκκων εμποδίζουν την γρηγορότερη διευθέτησή τους. Άρα για να έχει επιτυχία η συμπύκνωση με δονητή, θα πρέπει το έδαφος να παρουσιάζει γωνία τριβής, δηλαδή να είναι κοκκώδες.

ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΚΟΠΑΝΟΙ (Βάτραχοι)

Είναι μηχανήματα με περιορισμένη χρήση και με μεγάλο κόστος συμπύκνωσης. Λειτουργούν με πεπιεσμένο αέρα ή με μηχανές εσωτερικής καύσης και συμπυκνώνουν το έδαφος με διαδοχικές κρούσεις οι οποίες προκαλούνται με αναπήδηση του μηχανήματος γι' αυτό και ονομάστηκαν «βάτραχοι».

Οι μηχανικοί κόπανοι χρησιμοποιούνται για τη συμπύκνωση μικρών επιφανειών ή θέσεων, όπου είναι δύσκολη ή αδύνατη η λειτουργία άλλου μεγαλύτερου μηχανήματος και είναι κατάλληλοι για τη συμπύκνωση συνεκτικών και λεπτόκοκκων εδαφών.

Γενικά αυτά τα μηχανήματα δεν αποδίδουν δε πολύ υγρά συνεκτικά εδάφη.

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τα αδρανή υλικά λαμβάνονται από ορυχεία ή λατομεία, με θραύση και μετέπειτα κοκκίνισμά τους.

Ένα συγκρότημα παραγωγής αδρανών υλικών λειτουργεί για θραύση του φυσικού υλικού και άλλων στερεών ή συναφών θρυμμάτων, κατόπιν διαχωρίζει την παροχή σε σωρούς ή σε δοχεία διαφόρου μεγέθους για τον σκοπό της διαβάθμισης.

Διακρίνονται δυο τυπικές μορφές συγκροτημάτων θραύσης και διαβάθμισης των αδρανών υλικών:

1. Κατακόρυφη διάταξη

Τα μηχανήματα τοποθετούνται το ένα κάτω του άλλου και έτσι η ροή γίνεται με τη βαρύτητα χωρίς βοηθητικά ή ανυψωτικά μέσα.

2. Επίπεδη διάταξη

Σε αυτή τη διάταξη τα μηχανήματα τοποθετούνται σε σειρά στο ίδιο περίπου επίπεδο.

Για την αποθήκευση των υλικών χρησιμοποιούνται σιλό από σκυρόδεμα ή από σιδερένια ελάσματα με περιορισμένη χωρητικότητα.

Για τη μεταφορά των προϊόντων θραύσης μεγάλη εφαρμογή βρίσκουν οι ελαστικοί μεταφορικοί ιμάντες οι οποίοι είναι πολύ ασφαλείς κατά τη λειτουργία και έχουν μεγάλη μεταφορική απόδοση.

Η **βασική σειρά λειτουργίας** για την παραγωγή των αδρανών υλικών είναι η παρακάτω:

- Αφαίρεση της πρώτης ύλης
- Σημειώνεται το υλικό (σχήμα ή μέγεθος) με το οποίο μπορεί να εργασθεί το θραυστικό συγκρότημα και στη συνέχεια, εάν χρειάζεται, πλύση για να φύγουν οι ξένες προσμίξεις
- Μεταφορά του υλικού στο συγκρότημα θραύσης
- Τροφοδοσία του σπαστήρα με το υλικό, θραύση του ή και άλλη κατεργασία, ώστε να παραχθεί το τελικό αδρανές μίγμα

Το παραγόμενο υλικό περνάει από ελέγχους για πολλά από τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Σκληρότητα
- Αντοχή σε κρούση
- Αντίσταση σε τριβή
- Ειδικό βάρος

- Σχήμα σωματιδίου
- Οργανικές ακαθαρσίες
- Υγρασία επιφάνειας
- Μαλακά σωματίδια
- Διαβάθμιση

ΜΗΧΑΝΕΣ ΘΡΑΥΣΗΣ

Για τη μηχανική θραύση των πετρωμάτων χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι σπαστήρων και τριβείων (δευτερεύουσα κατεργασία). Οι σπαστήρες αρχικής κατεργασίας παίρνουν την πρώτη ύλη που χρειάζεται σμίκρυνση και την σπάζουν σε μικρότερα κομμάτια.

Οι σπαστήρες δευτερεύουσας κατεργασίας (τριβεία) λειτουργούν σε υλικό με μικρότερο μέγεθος, το οποίο έχει περάσει από τον αρχικό σπαστήρα ή έχει ληφθεί από αμμοχάλικο και χρειάζεται παραπέρα σπάσιμο.

Όλοι οι σπαστήρες έχουν κατασκευασθεί για να έχουν, είτε ισχύ κρούσης, είτε πίεση στο βραχώδες υλικό.

ΣΠΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ ΣΙΑΓΟΝΕΣ

Αυτοί αποτελούνται από ένα θάλαμο τροφοδότησης μέσα στο οποίο ρίχνεται το πέτρωμα για να σπάσει, το οποίο στη συνέχεια διέρχεται μεταξύ δυο πλακών από χυτό χάλυβα, οι οποίες ονομάζονται σιαγόνες. Το πέτρωμα σπάσει μεταξύ των σιαγόνων μέχρι των επιθυμητών διαστάσεων.

ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΟΙ ΣΠΑΣΤΗΡΕΣ

Οι περιστροφικοί σπαστήρες θραύουν τα πετρώματα με τη βοήθεια ενός κώνου, ο οποίος κινείται έκκεντρα στο εσωτερικό του μανδύα, ο οποίος μπορεί να έχει διάφορα σχήματα. Η κίνηση που μεταδίδεται στον κώνο είναι, αφ' ενός μεν περιστροφική, αφ' ετέρου περιστρεφόμενη, έτσι ώστε να πλησιάζει διαδοχικά όλα τα σημεία της εσωτερικής επιφάνειας του μανδύα.

Η εξωτερική επιφάνεια του κώνου και η εσωτερική του μανδύα κατασκευάζονται από ειδικό χάλυβα και μπορούν να αντικατασταθούν εύκολα.

ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΟΣ ΣΠΑΣΤΗΡΑΣ ΜΕ ΣΦΥΡΕΣ

Αυτός ο σπαστήρας αποτελείται από ένα μεταλλικό περίβλημα, όπου στο εσωτερικό του είναι συνδεδεμένες με αρθρώσεις σε περιστρεφόμενο δίσκο σταθερές ή λίγο κινητές σφύρες.

ΣΠΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ ΚΥΛΙΝΔΡΟΥΣ

Αυτοί χρησιμοποιούνται για την παραγωγή θραυστού υλικού πολύ μικρών διαστάσεων. Η θραύση του πετρώματος γίνεται από δυο ισχυρούς κυλίνδρους οι οποίοι είναι τοποθετημένοι πολύ κοντά ο ένας στον άλλον και οι οποίοι περιστρέφονται κατά αντίθετη φορά, συντρίβοντας έτσι το πέτρωμα.

ΜΥΛΟΣ ΑΛΕΣΗΣ

Για πολύ λεπτό υλικό της περιοχής 0,1mm (φίλλερ) το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ασφαλτικά σκυροδέματα, γύψο, τσιμέντο, χρωμάτων κλπ., χρησιμοποιούνται περιστρεφόμενοι μύλοι άλεσης. Αυτοί αποτελούνται από ένα περιστροφικό τύμπανο στο εσωτερικό του οποίου εισάγονται χαλύβδινες σφαίρες περίπου στο 35% της χωρητικότητας του τυμπάνου. Κατά την περιστροφή του τυμπάνου του υλικό παρεμβάλλεται μεταξύ των σφαιρών και συνθλίβεται είτε με κρούση είτε με πίεση. Το άλεσμα συνεχίζεται έως όπου επιτευχθεί η επιθυμητή λεπτότητα.

ΚΟΣΚΙΝΙΣΜΑ

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε τεχνικά έργα, πχ στην οδοποιία, είναι απαραίτητο, κατά κανόνα, να διαχωρίζονται σε διάφορα μεγέθη κόκκων.

Για τον διαχωρισμό των υλικών χρησιμοποιούνται κόσκινα τα οποία, συνήθως, είναι διάτρητα μεταλλικά ελάσματα με συνήθως στρογγυλές ή σπανιότερο

τετραγωνικές οπές ή μεταλλικά πλέγματα με τετραγωνικές οπές. Η ταξινόμηση των αδρανών υλικών, με μηχανικά ή άλλα μέσα, σε ομάδες ανάλογα του μεγέθους των κόκκων και σύμφωνα με τις προδιαγραφές ονομάζεται «κοσκίνισμα» ή «διαβάθμιση».

ΣΤΑΘΕΡΑ ΚΟΣΚΙΝΑ

Για έργα μικρής σπουδαιότητας η πιο απλή μορφή κοσκίνων είναι κόσκινα τα οποία αποτελούνται, συνήθως, από ένα ξύλινο πλαίσιο το οποίο φέρει μεταλλικό πλέγμα με την επιθυμητή διάμετρο οπών. Αυτό το κόσκινο τοποθετείται στο έδαφος υπό γωνία 45° ή 60°.

ΔΟΝΟΥΜΕΝΑ ΚΟΣΚΙΝΑ

Τα δονούμενα κόσκινα αποτελούνται από σχεδόν οριζόντια επίπεδα κόσκινα (διάτρητα ελάσματα ή πλέγματα) στα οποία δίνεται δονητική κίνηση. Τα πλαίσια κοσκίνων στηρίζονται με τη βοήθεια ελατηρίων ή χαλύβδινων ελασμάτων στο σκελετό του μηχανήματος. Με την παλμική κίνηση το υλικό επιτυγχάνεται και κινείται μέχρι του σημείου αναστροφής.

ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΑ ΚΟΣΚΙΝΑ Ή ΤΥΜΠΑΝΑ

Τα περιστροφικά κόσκινα ή τύμπανα αποτελούνται από περισσότερα διάτρητα ελασμάτινα τύμπανα (σπάνια από πλέγματα) τα οποία έχουν διάταξη κατά αύξουσα διάσταση διαμέτρου οπής και έχουν κλίση συνήθως 8-10%.

ΠΛΥΣΙΜΟ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τα αδρανή υλικά, ιδιαίτερα τα φυσικής προέλευσης περιέχουν διάφορες ρυπαρές προσμίξεις, όπως άργιλο, πηλό κλπ. οι οποίες μειώνουν την αντοχή του τσιμεντοσκυροδέματος.

Η πλύση των αδρανών υλικών είναι μια δαπανηρή εργασία για μεγάλους όγκους αδρανών υλικών. Έτσι, πριν αποφασισθεί η εγκατάσταση τέτοιου είδους

μηχανών, θα πρέπει να γίνεται προσεκτική μελέτη κόστους της εγκατάστασης και της δαπάνης της πλύσης.

Ανάλογα με την περίπτωση εφαρμόζονται οι παρακάτω μέθοδοι πλύσης:

- Πλύση με δονητικά κόσκινα
- Περιστροφικό πλυντήριο
- Περιστροφικό πλυντήριο διαβάθμισης.

ΑΣΦΑΛΤΙΚΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Τα ασφαλτικά σκυροδέματα είναι ασφαλτομίγματα, που το συνδετικό υλικό είναι καθαρή άσφαλτος και που έχουν σκελετό από υλικό χονδρόκοκκο, λεπτόκοκκο και παιπάλη με αναλογίες πολύ μελετημένες.

Γενικά σαν ασφαλτικό σκυρόδεμα ορίζεται ένα ομοιογενές μίγμα, που παρασκευάζεται σε μόνιμη εγκατάσταση με ανάμιξη θερμών και ξηρών αδρανών χονδρόκοκκων, λεπτόκοκκων και παιπάλης, μαζί με θερμή καθαρή άσφαλτο ως συνδετικό και που έχει ανοχές και όρια πολύ αυστηρά. Τα ασφαλτικά σκυροδέματα χρησιμοποιούνται για έργα οδοποιίας, για έργα αεροδρομίων και για έργα στεγανοποίησης.

Για να έχει το ασφαλτικό σκυρόδεμα μεγάλη αντοχή και να είναι συγχρόνως εύκαμπτο, θα πρέπει το μίγμα των αδρανών να έχει μεγάλη ειδική επιφάνεια (πλούσιο σε λεπτά στοιχεία), ώστε οι επιφάνειες μεταξύ των κόκκων να αυξηθούν στο μέγιστο ποσοστό και ο υμένας του συνδετικού υλικού, που θα επικαλύψει τα αδρανή, να είναι λεπτός.

Για την μελέτη ενός ασφαλτικού σκυροδέματος πρέπει να ακολουθήσουμε τα παρακάτω στάδια:

- 1) Ποιοτική εξέταση των αδρανών και της ασφάλτου

- 2) Μελέτη σύνθεσης των αδρανών υλικών κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να έχουμε την καλύτερη διαβάθμιση του μίγματος.
- 3) Προσδιορισμός του βέλτιστου ποσοστού ασφάλτου, ώστε ο ασφαλικός τάπητας να έχει τα χαρακτηριστικά, που απαιτούν οι προδιαγραφές.
- 4) Έλεγχος της επίδρασης του νερού στην συνοχή του ασφαλτομίγματος μετά την συμπίκνωση.

ΑΣΦΑΛΤΙΚΟ ΣΥΝΔΕΤΙΚΟ

Ως συνδετικό υλικό του ασφαλικού σκυροδέματος, χρησιμοποιείται αποκλειστικά καθαρή άσφαλτος του τύπου: 50/60, 60/70, 80/100, 120/150, 180/220.

Ο τύπος της ασφάλτου, που θα χρησιμοποιηθεί, καθορίζεται κάθε φορά ανάλογα με τις κλιματολογικές συνθήκες, που επικρατούν στο έργο, την σύνθεση του ασφαλικού σκυροδέματος, το είδος του υποστρώματος της οδού και των φορτίων ή άλλων χαρακτηριστικών της κυκλοφορίας.

ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ

Το ασφαλικό σκυρόδεμα απαιτεί για τα αδρανή υλικά μια συνεχή κοκκομετρική διαβάθμιση, που επιτυγχάνεται με τα παρακάτω υλικά:

- Χονδρόκοκκο αδρανές υλικό
- Άμμος
- Παιπάλη.

Τα αδρανή υλικά πρέπει να πληρούν, από άποψη ποιότητας, τις προδιαγραφές.

ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΑΣΦΑΛΤΙΚΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η μελέτη σύνθεσης ασφαλικού σκυροδέματος έχει ως σκοπό να υπολογίσει τα πιο κατάλληλα ποσοστά των επιμέρους αδρανών για τη σύνθεσή τους, ώστε το μίγμα να έχει κοκκομετρική διαβάθμιση ομαλή και μέσα στα όρια των προδιαγραφών (κοκκομετρική καμπύλη ισαπέχουσα των ορίων) και να υπολογίσει το βέλτιστο ποσοστό ασφάλτου, που πρέπει να χρησιμοποιηθεί στο ασφαλικό σκυρόδεμα.

ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΑΣΦΑΛΤΙΚΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η παρασκευή του ασφαλτικού σκυροδέματος γίνεται πάντα σε μόνιμη εγκατάσταση.

Τα κυριότερα στοιχεία μιας μόνιμης εγκατάστασης είναι:

1. Η αποθήκευση του ψυχρού αδρανούς
2. Η τροφοδότηση, με ψυχρό αδρανές, του ξηραντήρα.
3. Το σύστημα για το κοσκίνισμα, για την αποθήκευση και το ζύγισμα του θερμού υλικού (μετά την έξοδο από τον ξηραντήρα, το αδρανές με την βοήθεια των κοσκίνων διαχωρίζεται από άποψη μεγέθους κόκκων και αποθηκεύεται σε διάφορα σιλό. Από τα σιλό, με κατάλληλες διατάξεις, φέρεται τελικά στον αναμικτήρα με ταυτόχρονη ζύγιση των διαφόρων ποσοστών, ώστε να επιτευχθεί η κοκκομετρική σύνθεση, που θέλουμε).
4. Η τροφοδότηση με το απαιτούμενο ποσοστό θερμής ασφάλτου
5. Η ανάμιξη της θερμής ασφάλτου με τα αδρανή
6. Η μεταφορά του έτοιμου ασφαλτικού σκυροδέματος, στο σιλό φόρτωσης.

ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΑΣΦΑΛΤΙΚΩΝ ΜΙΓΜΑΤΩΝ

Η συμπύκνωση ενός καλά μελετημένου και παρασκευασμένου ασφαλτομίγματος, είναι ο μεγαλύτερος παράγοντας για την επιτυχία του.

Η ευστάθεια του μίγματος, η διαπερατότητα και η αντοχή στον εφελκυσμό, που είναι το κυριότερο στοιχείο για τον υπολογισμό του πάχους των οδοστρωμάτων, η ομαλή επιφάνεια και η αντοχή σε κόπωση, βρίσκονται σε άμεση σχέση με την συμπύκνωσή του, δηλαδή με τα περιεχόμενα κενά αέρα. Ο έλεγχος της συμπύκνωσης σε ένα ασφαλτόμιγμα, που κυλινδρώθηκε, γίνεται συνήθως με σύγκριση της πυκνότητας που επιτεύχθηκε προς την Εργαστηριακή πυκνότητα (95%).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Βασικές έννοιες των οδοστρωμάτων – Basic concepts of road pavement

2.1 Τύποι οδοστρωμάτων - Types of pavements

Generally, all surfaced pavement types can be categorized into two groups, flexible and rigid. Flexible pavements are those which are surfaced with bituminous (or asphalt) materials. These can be either in the form of HMA surface courses (generally used on higher volume roads such as the Interstate highway network) or pavement surface treatments (such as a bituminous surface treatment (BST) generally found on lower volume roads). These types of pavements are called "flexible" since the total pavement structure "deflects" or "bends" due to traffic loads.

A flexible pavement structure is generally composed of several layers of materials which can allow this "flexing". On the other hand, rigid pavements are composed of a PCC surface course. Such pavements are substantially "stiffer" than flexible pavements due to the high modulus of elasticity of the PCC material.

Furthermore these pavements can have reinforcing steel, which is generally used to reduce or eliminate joints. Each of these pavement types distribute loads over the subgrade in a different manner. Flexible pavement uses more flexible surface course and distributes loads over a smaller area. It relies on a combination of layers for transmitting load to the subgrade. Rigid pavement, because of PCC's high elastic modulus (stiffness), tends to distribute the load over a relatively wide area of subgrade (see Figure 2.1). The concrete slab itself supplies most of a rigid pavements structural capacity.



Εικόνα 1. Rigid and Flexible Pavement Load Distribution.

Overall, it may be somewhat confusing as to why one pavement is used versus another. In general, state highway agencies generally select pavement type either by policy, economics, or both. Flexible pavements usually require some sort of maintenance or rehabilitation every 10 to 15 years. Rigid pavements, on the other hand, can often serve 20 to 40 years with little or no maintenance or rehabilitation. Thus, it should come as no surprise that rigid pavements are often used in urban, high traffic areas, but, naturally, there are trade-offs. For example, when a flexible pavement requires maintenance and rehabilitation, the options are generally less expensive and quicker to perform than for rigid pavements.

2.2 Εύκαμπτα οδοστρώματα - Flexible pavement

The term flexible pavement is derived by the fact that the total pavement structure deflects, or flexes, under loading. A flexible pavement structure is typically composed of several layers of material. Each layer receives the loads from the above layer, spreads this load, then passes on these loads to the next layer below. Thus, the further down in the pavement structure a particular layer is, the less load (in terms of force per area) it will carry.

In order to take maximum advantage of this property, material layers are usually arranged in order of descending load bearing capacity with the highest load bearing capacity material (and most expensive) on the top and the lowest load bearing capacity material (and least expensive) on the bottom. This section describes the typical flexible pavement structure consisting of:

- Surface course.

This is the top layer and the layer that comes in contact with traffic. It may be composed of one or several different HMA sublayers.

- Base course.

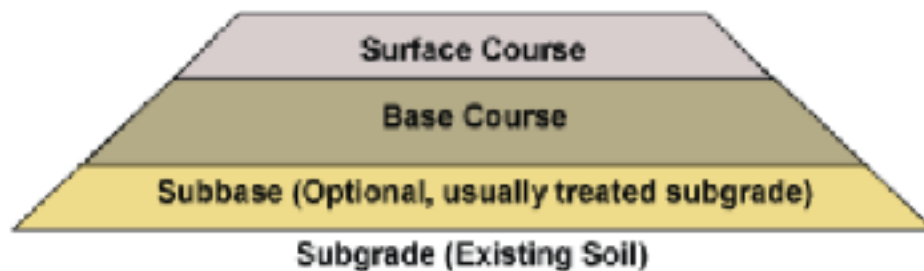
This is the layer directly below the HMA layer and generally consists of aggregate (either stabilized or unstabilized).

- Subbase course.

This is the layer (or layers) under the base layer. A subbase is not always needed.

2.2.1 Δομή εύκαμπτων οδοστρωμάτων - Pavements structure of flexible pavements

A typical flexible pavement structure (see Figure 2.2) consists of the surface course underlying base and subbase courses. Each of these layers contributes to structural support and drainage. The surface course (typically an HMA layer) is the stiffest (measured by resilient modulus) and contributes the most to pavement strength. The underlying layers are less stiff but are still important to pavement strength as well as drainage and frost protection. A typical structural design results in a series of layers that gradually decrease in material quality with depth.



Εικόνα 2. Flexible Pavement Structure

2.2.1.1 Επιφανειακή στρώση - Surface Course

The surface course is the layer in contact with the traffic loads and normally contains the highest quality materials. It has characteristics such as friction, smoothness, noise control, rutting, shoving resistance, and drainage. In addition, it prevents excessive quantities of surface water entering into the underlying base, subbase, and subgrade. The top structural layer of material is sometimes subdivided into two layers :

1. Wearing Course.

This is the layer in direct contact with the traffic loads. It is used to take the brunt of traffic wear and can be removed and replaced when it becomes worn. A properly designed (and funded) maintenance program should be able to identify

pavement surface distress while it is still confined to the wearing course. Consequently, the wearing course can be rehabilitated before distress propagates into the underlying intermediate/binder course.

2. Intermediate/Binder Course.

This layer provides the bulk of the HMA structure. Its purpose is to distribute load.

2.2.1.2 Στρώση βάσης - Base Course

The base course is immediately beneath the surface course. It provides additional load distribution and contributes to drainage and frost resistance. Base courses are usually constructed out of:

1. Natural Aggregate.

Base courses are most typically constructed from durable aggregates that will not be damaged by moisture or frost action. Aggregates can be either stabilized or unstabilized with binders, soils are not usually need.

2. HMA.

In certain situations where high base stiffness is desired, base courses can be constructed using a variety of HMA mixes. In relation to surface course HMA mixes, base course mixes usually contain larger maximum aggregate sizes, are more open graded and are subject to more demanding specifications.



Εικόνα 3. Limerock Base Course Undergoing Final Grading.

2.2.1.3 Στρώση υπόβασης - Subbase Course

The subbase course, positioned between the base course and the subgrade, functions primarily as structural support and it can also:

1. Minimize the intrusion of fines from the subgrade into the pavement structure.
2. Improve drainage.
3. Minimize frost action damage.
4. Provide a working platform for construction.

A subbase course is not always needed or used. It consists of lower quality materials than the base course but possesses higher quality material when compared to the subgrade soils. For example, a pavement constructed over a high quality, stiff subgrade may not need the additional features offered by a subbase

course and can consequently be omitted from design. However, a pavement constructed over a low quality soil such as a swelling clay may require the additional load distribution characteristic that a subbase course can offer. In this scenario the subbase course may consist of high quality soil used to replace poor quality subgrade.

2.2.2 Ασφαλτικά μίγματα - Bituminous mixtures

The European Standard is one of a series of standards as listed below:

1. Asphalt concrete
2. Asphalt concrete for very thin layers
3. Soft asphalt
4. Hot Rolled asphalt
5. Stone mastic asphalt
6. Mastic asphalt
7. Porous asphalt

Three of the more common types of bituminous mixtures types use.:

- Dense-graded HMA.

Dense-graded HMA is a versatile, all-around mix making it the most common and well-understood mix type.

- Stone matrix asphalt (SMA).

SMA, has been used in Europe as a surface course for years to support heavy traffic loads and resist studded tire wear. It is specified by the European Standards EN 13108.

- Porous asphalt

This includes both open-graded friction course (OGFC) and asphalt treated permeable materials (ATPM). Open-graded mixes are typically used as wearing courses (OGFC) or underlying drainage layers (ATPM) because of the special advantages offered by their porosity.

2.3 Άκαμπα οδοστρώματα - Rigid Pavement

Rigid pavements are so named because the pavement structure deflects very little under loading due to the high modulus of elasticity of their surface course. A rigid pavement structure is typically composed of a PCC surface course built on top of either (1) the subgrade or (2) an underlying base course. Because of its relative rigidity, the pavement structure distributes loads over a wide area with only one, or at most two, structural layers. This section describes the typical rigid pavement structure consisting of:

- Surface course.

This is the top layer, which consists of the PCC slab.

- Base course.

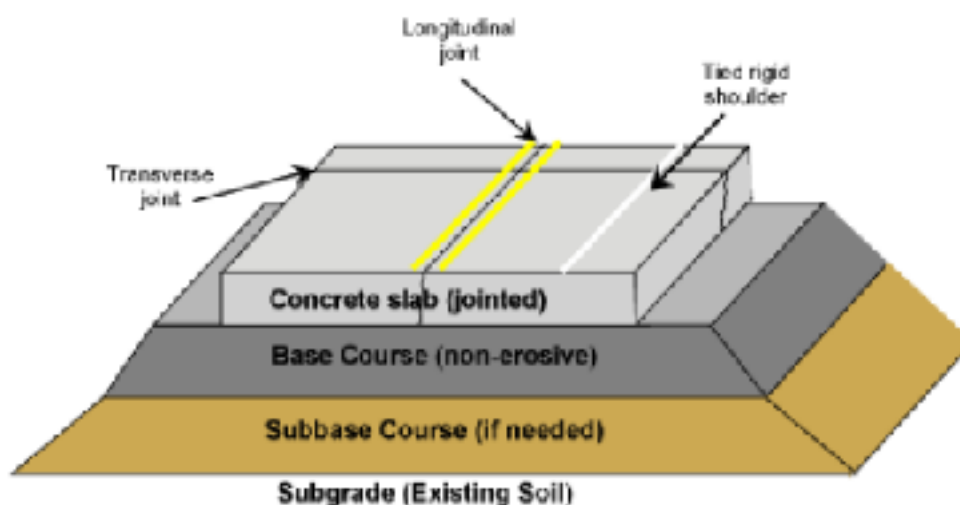
This is the layer directly below the PCC layer and generally consists of aggregate or stabilized subgrade.

- Subbase course.

This is the layer (or layers) under the base layer. A subbase is not always needed and therefore may often be omitted.

2.3.1 Δομή άκαμπτων οδοστρωμάτων - Pavement structure of rigid pavement

A typical rigid pavement structure consists of the surface course and the underlying base and subbase courses (if used).



Εικόνα 4. Basic pavement rigid structure.

The surface course (made of PCC) is the stiffest (as measured by resilient modulus) and provides the majority of strength. The underlying layers are orders of magnitude less stiff but still make important contributions to pavement strength as well as drainage and frost protection.

2.3.1.1 Επιφάνεια - Surface

The surface course is the layer in contact with traffic loads and is made of PCC. It provides characteristics such as friction (see Figure 2.5), smoothness, noise control and drainage. In addition, it serves as a waterproofing layer to the underlying base, subbase and subgrade. The surface course can vary in thickness but is usually between 150 mm (for light loading) and 300mm (12 inches) (for heavy loads and high traffic). Figure 2.6 shows a 300 mm surface course.



Εικόνα 5. PCC Surface
Thickness

Rigid Pavement (Surface course)

2.3.1.2 Στρώση βάσης - Base course

The base course is immediately beneath the surface course. It provides

- (1) additional load distribution,
- (2) contributes to drainage and frost resistance,
- (3) uniform support to the pavement and
- (4) a stable platform for construction equipment (ACPA, 2001). Bases also help prevent subgrade soil movement due to slab pumping and are usually constructed out of

1. Aggregate base. A simple base course of crushed aggregate has been a common option since the early 1900s and is still appropriate in many situations today.

2. Stabilized aggregate or soil. Stabilizing agents are used to bind otherwise loose particles to one another, providing strength and cohesion. Cement treated bases (CTBs) can be built to as much as 20 - 25 percent of the surface course strength (FHWA, 1999).

3. Dense-graded HMA. In situations where high base stiffness is desired base courses can be constructed using a dense-graded HMA layer.

4. Permeable HMA. In certain situations where high base stiffness and excellent drainage is desired, base courses can be constructed using an open graded HMA. Recent research may indicate some significant problems with ATPB use.

5. Lean concrete. Contains less portland cement paste than a typical PCC and is stronger than a stabilized aggregate. Lean concrete bases (LCBs) can be built to as much as 25 - 50 percent of the surface course strength (FHWA, 1999).



Εικόνα 6. Completed CTB with Curing Seal.

2.3.1.3 Στρώση υπόβασης - Subbase course

The subbase course is the portion of the pavement structure between the base course and the subgrade. It functions primarily as structural support but it can also:

1. Minimize the intrusion of fines from the subgrade into the pavement structure.
2. Improve drainage.
3. Minimize frost action damage.
4. Provide a working platform for construction.

The subbase generally consists of lower quality materials than the base course but possesses a higher quality than the subgrade soils. Appropriate materials are aggregate and high quality structural filler. A subbase course is not always needed or used.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Μέθοδοι σχεδιασμού εύκαμπτων οδοστρωμάτων -Design methodologies for flexible pavements

3.1 Μεθοδολογία - Methodology

Flexible pavements are constructed with several layers of asphalt. The description arises because, when a heavy commercial vehicle traverses the pavement, it flexes vertically by an imperceptible amount. In the UK, the maximum gross vehicle weight of a commercial vehicle is 44 tonnes, with a maximum axle load of approximately 8 tonnes. However, these values vary widely throughout the world. Rigid pavements are constructed entirely with a cementitious material. Composite pavements consist of a combination of asphalt and cementitious layers.

The foundation is the platform on which the more expensive layers are placed and carries the load bearing layers of the pavement.

The base is the main structural layer in the pavement, and its main function is to distribute the stresses generated within it efficiently to the foundation. It must be able to sustain the stresses and strains generated within itself without excessive or rapid deterioration of any kind.

The binder course is necessary to allow asphalt contractors to achieve the very high standards of surface regularity required on modern road pavements.

There are two approaches to pavement design: empirical and analytical. Most design methods in current practice around the world are empirical, being based on experience accumulated in practice and from specially constructed test sections. There is an assumption within this approach that the performance of the pavement will be the same irrespective of the properties of the pavement or the constituent materials. In contrast, the analytical approach uses theoretical analysis of the mechanical properties of materials, and is capable, in principle, of dealing with any design situation. Efficient pavement design can only be achieved through the use of accurate analytical methods.

The philosophy of an analytical approach to pavement design is that the structure should be treated in the same way as other civil engineering structures.

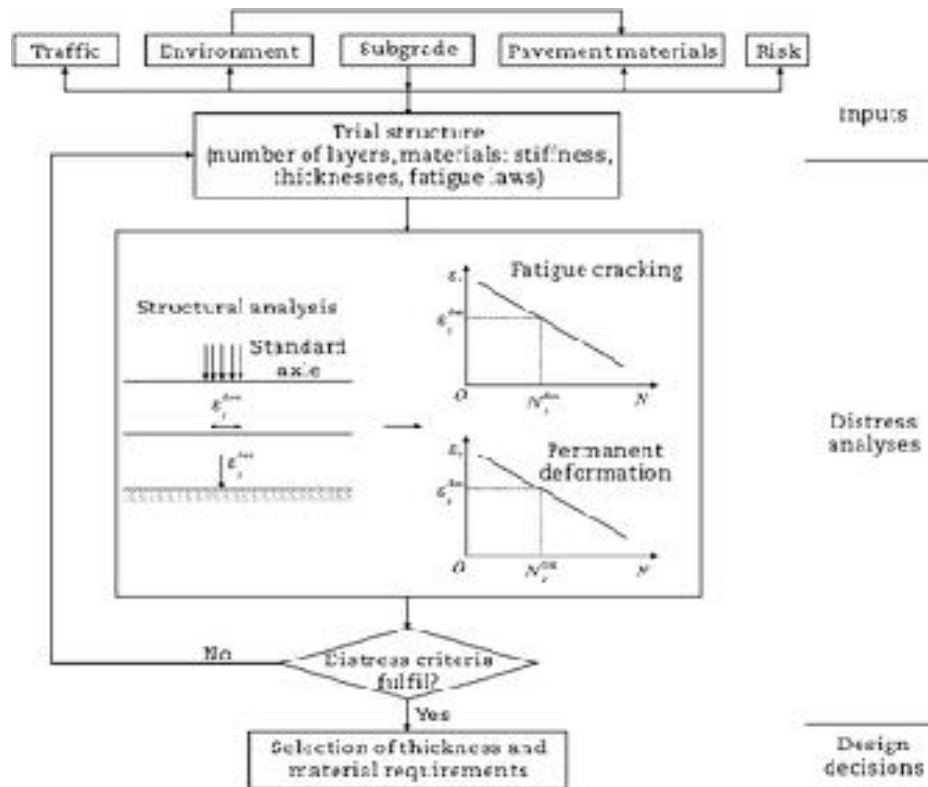
The basic procedure is as follows:

1. Assume a form for the structure, usually involving rational simplification of the actual structure to facilitate analysis
2. Specify the loading.
3. Estimate the size of the components.
4. Carry out a structural analysis to determine the stresses, strains and deflections at critical points in the structure.
5. Compare these values with the maximum allowable values to assess whether the design is satisfactory.
6. Adjust the materials or geometry repeating steps 3, 4 and 5 until a satisfactory design is achieved.
7. Consider the economic feasibility of the result.

Since the introduction of the Shell pavement design method by Claussen et al. (1977) in Europe has been changed from the empirical to the mechanistic-empirical approach, where distresses in the pavement are correlated with the mechanical behavior of the pavement materials, in specific points on the pavement. This design requires an analysis of the level of stress, strain and deflections, with the objective of controlling fatigue cracking in the asphalt mixes and the permanent deformation due to subgrade soil contribution. Thermal cracking and permanent deformation in the

asphalt mixes are controlled, indirectly, during the design of the asphalt mixes (Brovelli et al., 2015). Top down cracking is not controlled in the European mechanistic-empirical pavement design methods.

The pavement design through the mechanistic-empirical method is an iterative process with three parts, input, distress analysis, and design decisions.



Εικόνα 7. Empirical pavement design framework.

The input part of the mechanistic-empirical method includes five groups of data to define a trial pavement structure, which composed of a given number of layers, each defined by its thickness and mechanical properties expressed by the stiffness and the Poisson ratio, as only linear-elastic analysis is considered. The main data for the definition of the trial structure is the traffic and the subgrade characteristics.

The traffic is expressed in terms of ESAL (Equivalent Standard Axle Load) for a standard axle, usually 80 kN or 130 kN, depending on the design method. The conversion of the number of vehicles to ESAL, is derived from the AASHTO road test. The subgrade is considered by the CBR value of the soil, which is used to predict the stiffness of the pavement foundation.

The other factors include the climatic conditions, the degree of risk and the available materials. Climatic conditions take into account the temperature on the pavement, which is used to define the characteristics of asphalt mixes and the water for the definition of the drainage system of the road, as well as properties of granular

materials, mainly the subgrade CBR. The degree of risk is assumed in the definition of the properties of the materials, as well as in the fatigue laws used to predict distresses in the pavement structure.

Available materials, associated with the importance of the road and the degree of safety and comfort, together with other factors (traffic, subgrade, climatic conditions, and degree of risk), allow defining the trial pavement structure for the pavement design, composed by a number of layers of specific materials and their thicknesses and boundary conditions.

The second part of the pavement design process, the distress analysis, calculates the strains and stresses at specific points, related with the distresses considered in the design. Usually, two distress modes are considered in the design,

- i) fatigue cracking in the asphalt mixes and
- ii) pavement permanent deformation due to the subgrade soil.

These distresses are considered in the design by controlling the horizontal tensile strain at the bottom of the asphalt layer and the vertical compressive strain at the top of the subgrade.

Prediction of pavement life is carried out through fatigue laws developed in laboratory and calibrated with in situ results. To consider the fatigue cracking, fatigue law relates the horizontal tensile strain at the bottom of asphalt mixes, with the number of cycles to failure, which here considered as a given crack density. Permanent deformation due to the subgrade soil is controlled using fatigue laws, relating the vertical compressive strain at the top of the subgrade with the number of cycles responsible for a certain rut depth.

Typically, pavement damage, defined as the ratio between the expected traffic and the number of ESAL cycles applications that the pavement can stand, is used as the design criteria in the pavement design process. Depending on the pavement design method, different damage ratios are considered in the third part of the design.

The French pavement design method (LCPC, 1981) includes:

- i) an explanation of the basis of the pavement design method,
- ii) the relation between pavement design options and road management system,
- iii) the role of pavement surface course,
- iv) the role of pavement foundation,
- v) pavements material, and
- vi) design of new pavement.

Preliminary design consists of choosing the wearing course, according to the category of the road and weather conditions and then, making a preliminary design of

the pavement, having as a reference comparable situation. The design of the wearing course follows the procedures used for asphalt mixes design. Aggregate gradation for wearing course is defined in the standards as well as the type of binder.

The control of the fatigue of the subgrade consists in the comparison between the calculated stresses/strains with the admissible values that are determined according to the expected traffic, the accepted failure risk, the strength of the materials, and thermal effects.

The adjustment of the pavement system and calculated layer thickness were taken into considerations,

- i) restrictions of minimum and maximum thickness of each material to achieve the compaction and evenness objectives,
- ii) risk of debonding by limitation of the number of interfaces,
- iii) and the suitable protection of the base layers.

The last step in the pavement design according to the French method is the verification of the frost/thaw behavior, which includes the following evaluations.

- The atmospheric frost index chosen as reference, IR that characterizes the severity of winter against which the pavement is protected.
- The atmospheric frost index that the pavement is able to withstand, which defines the allowed frost index IA.

IR is evaluated according to the frost susceptibility of the subgrade, the thermal protection and mechanical function fulfilled by the pavement. The pavement structure is designed so that the allowed frost index (IA) of the pavement is higher than the reference frost index (IR).

IA is the calculated function of the susceptibility of the pavement foundation provided by the non frost-susceptible materials of the capping layer and of the subgrade. It is also the function of the quantity of frost that will be allowed to be transmitted through to the deeper, frost-susceptible layers of the underground. Different types of pavement structures are considered to design road pavement, which include flexible, rigid and composite pavement. Flexible pavement has two variants: pavements with granular base variants and full depth asphalt pavement can have slabs or be constituted by continuous reinforced concrete. Composite pavement includes the use of asphalt layers and cement treated layers on base layers.(LCPC,1994)

3.2 Κίνηση - Traffic

The thickness of a road pavement is dependent upon the number, weight and speed of load repetitions from the tyres of commercial vehicles. This has led to the concept of millions of standard axles during the design life of the road (m.s.a.) as the parameter for thickness design, though for very lightly trafficked applications the number of commercial vehicles may be more appropriate.

The total number of Standard Axles is built up of four factors:

- (1) Number of commercial vehicles per lane per day.
- (2) Their vehicle wear factor i.e. how many standard axles per vehicle.
- (3) The design life of the pavement.
- (4) The anticipated growth in commercial vehicles over the design life.

The speed of load repetitions has more effect on the performance of the materials in the surfacing layer rather than its thickness and is taken into account in designing the required deformation resistance.

Traffic data constitutes one of the key elements required for the design and analysis of pavement structures. The first equivalency factors used to determine the number of ESAL were based on the present serviceability index (PSI) concept.

The ESAL uses the concept of the equivalent axle load factor (EALF), which defines the ratio between the damage caused by the passage of an axle on a pavement and the damage caused by the passage of a standard axle on the same pavement. This EALF is used in pavement design to convert the spectrum of vehicles with different loads and types of axles (single, tandem, and tridem) into single axles with dual tires, i.e., the ESAL.

P_x is the actual axle load, P_{80} is the load of the standard axle (80KN), and a is a coefficient function of the pavement stiffness.

$$EALF = (P_x / P_{80})^a \quad (1)$$

This equation fails to consider the type of axle (single, tandem, tridem) in the calculation of EALF, and only considers the total load of the axles. However, the French pavement design manual (LCPC, 1994) considers the type of axles, where k is a coefficient function of the type of axle (single, tandem or tridem)

P_{130} is the load of the standard axle (130 kN) adopted in the French pavement design manual.

$$EALF=K(P_x/P_{130})$$

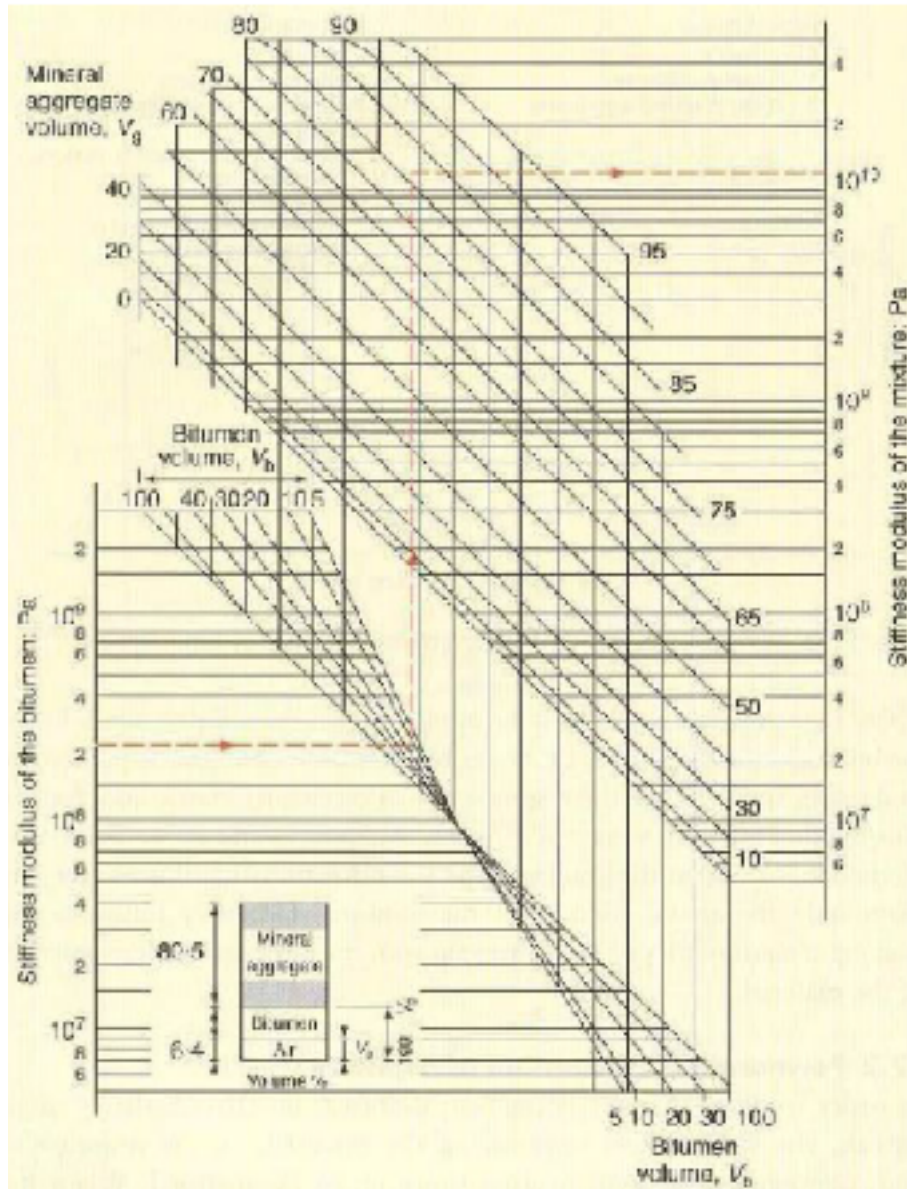
The k coefficient does not take into account the variety of flexible pavement, both in terms of thickness and stiffness of the pavement layers. Another factor which is not taken into account is the distance between the axles (tandem and tridem axles), which has an important effect on the state of stress and strain on the pavement and thus has an important effect on the load equivalency factor. In terms of standard axle, the French pavement design manual adopted the 130 kN standard axle, with dual tires of wheel loads, for both flexible and rigid pavement, which corresponds to the maximum legal limit in France.

The Shell Pavement Design Manual used a different approach to consider the traffic for pavement design. The standard design single axle load adopted was 80 kN, applied through two wheels of 20 kN. The gap between the two wheels was equal to the radius.

The calculation of the number of standard axles is made by the Eq. (3), where N is the number of standard axles and L is the axle load to be transformed (kN). This equation is equivalent to the Eq. (1), considering 4 as the exponent. The coefficient $2.2 \cdot 10^{-8}$ corresponds to a standard axle of 82 kN.

$$N^{1/4} = 2.2 \cdot 10^{-8} L^4 \quad (3)$$

Tandem and tridem axles are treated as two and three separate axles. A loading time of 0.02 s is considered, which corresponds to a speed of 50-60 km/h.



Εικόνα 8.

3.3 Υπόστρωμα (φυσικό έδαφος) - Sub grade

The subgrade will also play a very important role in determining the performance of the pavement, including the length of its service life. The subgrade has to perform in two different sets of circumstances.

- During construction it has to protect the subgrade and withstand the relatively high stresses generated within it by construction traffic (i.e. excavators, lorries, pavers, etc.). Although the number of stress repetitions will be lower than when it is in service and the line travelled by plant is not as channelised as that taken by traffic when the pavement is in service, the intensity of individual loads will be much higher because site traffic travels directly on the foundation. In addition, it may well be exposed to adverse weather conditions without the protection of the overlying pavement layers.
- In service, traffic, in terms of the line travelled, is much more disciplined. The load intensity will be reduced because of the effect of the intervening pavement. However, the number of stress repetitions will be very much higher than was the case during construction.

Like the subgrade, constructing the foundation requires great care. The material chosen must be appropriate for the role it has to fulfil. In addition, it has to be placed in a strict conformance with the specification if it is to perform adequately (layer thickness, compaction passes, etc.).

For design purposes, the mechanical behavior of soils in the pavement foundation is characterized in a very simple way through the CBR value.

In the Shell pavement design method, the definition of the subgrade properties for pavement design consists in the determination of the subgrade modulus, which is considered in this method into two ways:

1. The CBR value of the subgrade soil.
2. The classification of the subgrade soil, either by the AASHO soil classification or by the Unified soil classification.

Subgrade modulus (Pa) is given by Eq. (5), which must be used with accuracy since the model has a factor of two between the values given by the model and current values (Claussen et al., 1977).

$E = \frac{1}{4} 107 \text{CBR} (5)$

where CBR is the bearing capacity of the subgrade (%).

In the UK method, the stiffness of the subgrade (MPa) is defined in function of the

CBR through the Eq. (6).

$$E = 17.6 \text{ CBR}^{0.64} \quad (6)$$

In this method, the pavement structure is also composed of a capping layer when the CBR of the subgrade is inferior to 5%, in order to provide a working platform on which sub-base construction can proceed with minimum interruption in wet weather and to minimize the effect of a weak subgrade on road performance. The capping layer reduces the risk of damage during construction operations to any cement-bound materials above the capping layer and thus improving the structural contribution of these layers.

In terms of permanent deformation, the different pavement design manuals have fatigue laws, which relate the strain level at the top of the subgrade with the number of loading cycles. Shell manual (Shell International Petroleum Company, Ltd, 1978) has different fatigue laws in function of the confidence interval, as indicated in Eq. (7), where $a = 2.8 \times 10^{-2}$ for 50% confidence, $a = 2.1 \times 10^{-2}$ for 85% confidence and $a = 1.8 \times 10^{-2}$ for 95% confidence.

$$\epsilon = a N^{0.25} \quad (7)$$

The permanent deformation in the UK design method is considered by the model presented in Eq. (8).

$$P \log \delta = 7.21 + 3.95 \log \delta^3 z \quad (8)$$

In the French design method, the permanent deformation due to the subgrade is considered in function of the traffic volume through the Eq. (9), where $a = 0.012$ for traffic $\geq T_3$ and $a = 0.016$ for traffic $< T_3$.

$$\delta = a N^{0.222} \quad (9)$$

These models, for the definition of the subgrade modulus and the permanent deformation resistance of the pavement foundation, are easily applied due to their simplicity. However, due to their simplicity they include great simplifications by not including the effect of all variables inherent to the phenomenon that they try to simulate. Thus, their application must be done with all precautions because the obtained results may not represent the real behavior of the pavement.

3.4 Περιβαλλοντικές συνθήκες – Environmental Conditions

Climate is a major factor affecting pavement performance. Climatic effects, such as temperature and moisture, influence the response of the pavement to axle loads. In addition, the climate may affect the pavement more directly and accelerate deterioration, either by itself or in combination with heavy vehicle loads. The importance of the effects considered in a pavement design methods depends on the geographical location of each particular country.

The countries of Northern Europe that are exposed severe winter conditions (Denmark, Finland, Norway and Sweden) and countries with all or part of their territory under the influence of a Continental climate (Germany, Austria, Poland, Slovenia) implicitly take frost into account in their design processes.

Mediterranean countries (Spain, Greece, and Portugal) do not consider frost into account in their design process.

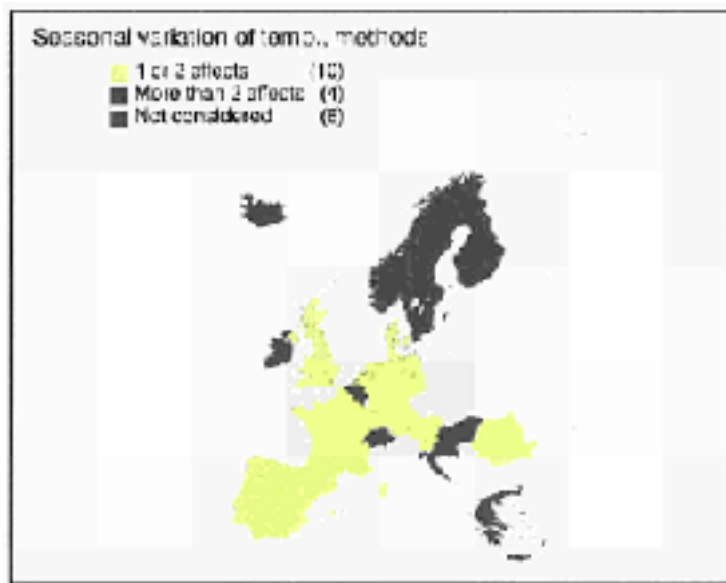
Effects arising from seasonal temperature variations are widely considered in pavement design methods of many European countries. Mostly, the effects of one or two factors are considered. The most common being the temperature dependency of the stiffness modulus of asphalt. Four countries, Belgium, Finland, Sweden and Greece, consider more than two factors, whereas several countries (Hungary, Ireland, Iceland, Switzerland) do not consider temperature variations in their pavement design methods.

Ten countries (Belgium, Finland, Ireland, Germany, Hungary, The Netherlands, Portugal, Romania, Slovenia and the United-Kingdom) consider effects arising from variations in hydrological conditions.

Consideration of seasonal temperature variation effects in pavement design methods:

Figure 3.6 Seasonal variation of temperature in Europe “Transport COST 333 Research, development of new bituminous pavement design method”

Freeze/thaw



Εικόνα 9.

For obvious reasons Portugal do not consider frost action in their design method. Many countries allow an occasional and limited penetration of the frost front into the surface of the subgrade.

Preventive methods, based on an empirical approach, consist of specifying a minimum thickness of non-frost susceptible material for the surface layers of the road. This ensures there is only a remote probability of frost reaching the susceptible subgrade. The value of this minimal thickness depends on several factors.

The most common of which are:

- The frost index (expressed in °C.day or °C.hour) and/or the frost penetration depth. These are either calculated or measured locally, or determined using charts or maps provided by the meteorological services of the country.
- The class of frost susceptibility of the subgrade materials. This is usually determined empirically, either with the help of tables indicating the usual behaviour of a given material, or from the particle grading. There are usually three or four classes of frost susceptibility.
- The type of structure. This is linked to the thermal conductivity and their insulating character of the materials in the road.

The intervening factors in a more specific way are:

- Hydrological condition of the subgrade (proximity of the ground water, conditions of drainage: as in UK, Germany).
- Environmental conditions (presence of roadside, orientation of the road, cut zone or fill: as in Germany).

For freeze/thaw, Mediterranean countries do not consider frost in their pavement design method, since frost is not a problem in these countries. In the other European countries, freeze/thaw events are taken into account in pavement design methods through checks or preventive measures.

Bituminous mixtures

Layers bound with bituminous binders are required to have one or more of the following characteristics:

- Stability
- Durability
- Flexibility
- Fatigue resistance
- Impermeability
- Workability
- Compressibility

The determining characteristics depend on the floor layer in which the mixture is placed and the type of mixture. It is intended to ensure a good level in terms of economy, durability and ease of execution.

Stability Ability to withstand the permanent deformations produced by the loads under certain application conditions. Slow loads, high temperatures: main contribution is due to the composition of the aggregate. Fast loads, reduced temperatures: some bitumen contribution. Resistance depends essentially on the internal friction of the materials (aggregate granulometry, particle shape, density of the mixture and the amount and type of bitumen) and their cohesion

3.5 Δοκιμές – Fatigue laws

The fatigue of the bituminous mixtures due to the tensile horizontal strains developed results in cracking of the bituminous layer. The fatigue behaviour is affected by various parameters and primarily from the type and composition of the mixture, the characteristic properties of the bitumen, the environmental temperature and the stress conditions. Under given conditions the bituminous layers can take a certain number of traffic loading before they crack.

Several nomographs and equations have been developed for the prediction of fatigue performance of the bituminous mixtures. Each one differs in complexity, i.e.

in the number of parameters taken in order to characterize the mixture and the bitumen, the test conditions etc., and in the type and number of mixtures covered in the experimental data which were used to device the method.

In the present study the fatigue equation used was the one based on the work reported by Valkering and Stapel.

The equation was developed after many years laboratory work using various types of bituminous mixtures inclusive asphaltic concrete type. The equation used is as follows:

$$\epsilon_{\text{εφρδκ}} = (0.856V_{\text{ασφκ}} + 1.08)(S_{\text{μσφμ}})^{-3.36} \times (N_{\text{αακ}})^{-0.2}$$

where $\epsilon_{\text{εφρδκ}}$ = horizontal tensile strain
 $V_{\text{ασφκ}}$ = volume of bitumen, %
 $S_{\text{μσφμ}}$ = stiffness modulus of the bituminous mixture, MPa
 $N_{\text{αακ}}$ = cumulative number ESA to cause fatigue

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. – Pavement design method in Portugal

4.1 Εισαγωγή – Introduction

The Portuguese pavement design guide for flexible, semi-rigid and rigid pavements is based on a catalogue of standard pavement structures for 6 traffic categories and 4 foundation (subgrade + capping layer) categories. This catalogue is intended to be used to select the types of pavement structures to be used in the national network and it is a preliminary design of pavements. The final pavement design must be confirmed with a detailed mechanical analysis. Furthermore, if traffic is too low or too high to fit into the 6 categories, a specific analysis must be performed.

The catalogue was developed using an analytical approach, considering the limitation of the tensile strain at the bottom of the bituminous layers and the compressive strain at the top of the foundation as design criteria for fatigue cracking and rutting, respectively. Traffic is expressed in terms of the equivalent number of 80 or 130 kN standard axles. Climatic effects were considered, and three climatic zones were established; the guide provides indications on the type of bituminous binder to be used in the bituminous mixtures according to the climatic zone and to the traffic category.

Nominal design life is 20 years, although the guide strongly advises an economic analysis for a period of 40 years to select the final design life. The guide also gives some indications about the type of materials to be used in granular and bituminous layers (for example, maximum dimension of aggregate, depending on layer thickness), as well as the type of materials or soil improvements for the pavements foundation - capping layer.

The next Table indicates the suggested pavement design period to be used in the analysis of the three types of pavements. Flexible and semi-rigid pavements are design for 20 years, and rigid pavements for 30 years.

Τύπος στρώματος	Περίοδος διαimensionamento (έτος)
flexível	20
semi-rígido	20
rígido	30

Πίνακας 1. Pavement design period

4.2 Περιβαλλοντικές συνθήκες – Environmental Conditions














In Portugal the weather along the northern coasts and in the center of the country is milder; Lisbon has an average high temperature of 14°C in January and 27°C in August. Southern Portugal is warmer. The ocean moderates coastal temperatures, but the interior of the Alentejo can be quite warm, with temperatures sometimes above 40°C during the summer months.[2]

Because of its Mediterranean climate, most of Portugal's rainfall occurs in the winter, the north receiving much more rain than the south.

Mediterranean countries (Spain, Greece, and Portugal) do not consider frost into account in their design process. Small countries like Hungary do not include climatic effects specifically in their design method because there are no local climatic variations and the whole country can be treated as single climatic zone.

4.3 Κίνηση - Traffic

The design of the pavement structure is based on the Yearly Average Daily Truck Traffic (TMDAp). The classes of vehicles admitted in Portuguese roads are listed in next Table. However, for the design only the vehicles from classes f to k are considered.

a		VELOCÍPEDIAS S/ MOTOR AUXILIAR
b		VELOCÍPEDIAS C/ MOTOR AUXILIAR
c		MOTOCICLETAS E MOTONETAS
d		AUTOMÓVEIS C/ OU S/ REBOQUE, INCLUINDO OS VEÍCULOS COMPLETANDO O MÁXIMO DE NOVE LUGARES
e		CAMIONETAS ATÉ 3000 kg DE CARGA C/ OU S/ REBOQUE
f		CAMIÕES DE MAIS DE 3000 kg DE CARGA S/ REBOQUE
g		CAMIÕES C/ UM OU MAIS REBOQUES
h		TRACTORES C/ SEMI-REBOQUE
i		TRACTORES C/ SEMI-REBOQUE E UM OU MAIS REBOQUES
j		TRACTORES C/ UM OU MAIS REBOQUES
k		AUTOCARROS E TRóleibus
		TRACTORES S/ REBOQUE OU SEMI-REBOQUE TRACTORES AGRÍCOLAS E VEÍCULOS ESPECIAIS (MÁQUINAS, BULDOZERS, ETC)
		AUTOCARROS DE TURISMO

Πίνακας 2. Types of the vehicles, vehicles from f item are included in the pavement design

Classe de tráfego	TMDA	Factor de agressividade	
		eixo padrão de 80 kN	eixo padrão de 130 kN
T ₆	50 - 150	2	0,5
T ₅	150 - 300	3	0,6
T ₄	300 - 500	4	0,7
T ₃	500 - 800	4,5	0,8
T ₂	800 - 1200	5	0,9
T ₁	1200 - 2000	5,5	1,0

Πίνακας 3. Aggressive factor, “Manual de concepção de pavimentos para a rede rodoviária nacional”

In the case of the semi-rigid structures the evaluation of the capacity is made in terms of a standard axis of 130 kN, then using a heavy traffic aggressiveness factor ranging from 0.5 to 1 as indicated in previous Table.

Taking into account the values admitted for the average annual growth rate and for the aggressiveness factor, the cumulative traffic of standard axes during the sizing period, corresponding to the various traffic classes by:

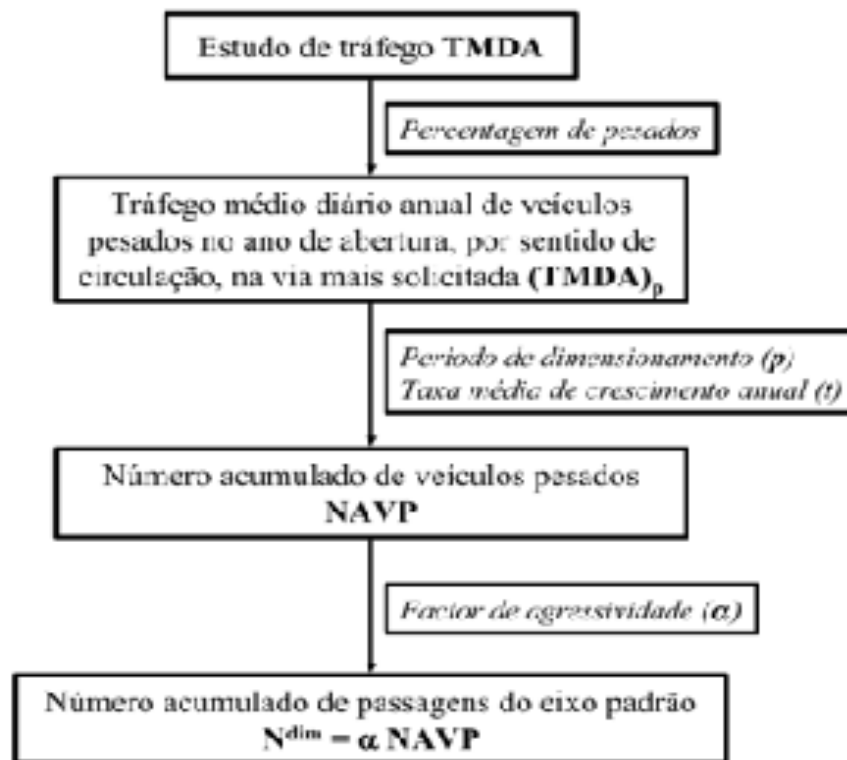
$$N_{\text{ax}}^* = 365 \times (TMDA)_p \times C \times \alpha \times p$$

em que:

- N_{ax}^* é o número acumulado de passagens do eixo padrão
- t é a taxa média de crescimento anual do tráfego pesado
- α é o factor de agressividade do tráfego
- p período de dimensionamento
- C é o factor de crescimento do tráfego, que tem em conta o período de dimensionamento (p) e a taxa média de crescimento anual (t), sendo dado por:

$$C = \frac{(1+t)^p - 1}{p \times t}$$

Consideração do tráfego no dimensionamento



$$NAVP = 365 \times (TMDA)_p \times C \times p$$

$$\text{Factor de crescimento de tráfego: } C = \frac{(1+t)^p - 1}{p \times t}$$

7

4.4 Υπόβαση - Subgrade

The following table shows the relation between traffic (traffic volume) and the foundation bearing capacity. For the smallest traffic category as T5 and T6 is suitable F1 class of foundation but for higher traffic volumes is advised to have better foundation conditions as the F4 class. [1]

Classe de fundação	Módulo da fundação (MPa)		Classe de tráfego
	Gama	Valor de cálculo	
F ₁	> 30 a ≤ 50	30	T ₃ , T ₄
F ₂	> 50 a ≤ 80	60	T ₃ , T ₄ , T ₅ , T ₆
F ₃	> 80 a ≤ 150	100	T ₁ , T ₂ , T ₃ , T ₄ , T ₅ , T ₆
F ₄	> 150	150	T ₁ , T ₂ , T ₃ , T ₄ , T ₅ , T ₆

Πίνακας 4. Classification of foundations, “Manual de concepção de pavimentos para a rede rodoviária nacional”

Categories of rating bearing capacity , determined on a CBR coefficient is determined type of foundation.

The manual distinguishes 5 types of soil conditions with different rating bearing capacity concern to applied foundation. Types of foundation require different soils. Particular group of soils are proper to use specific foundation.

S ₁	I _p (MPa) CBR (%)	S ₂	S ₃	S ₄
		> 50 a ≤ 80	> 80 a ≤ 150	> 150
S ₂	3-5	estudo especial		
S ₃	5-10	20 ST ₁ ou 25 ST ₂	40 ST ₁	—
S ₄	10-20	—	40 ST ₁ ou 25 ST ₂	40 ST ₁
S ₅	20-30	—	—	25 ST ₁
S ₆	30-40	—	—	—

Πίνακας 5. Dependence between soil and foundation, “ Manual de concepção de pavimentos para a rede rodoviária nacional”

Informations mentioned below could be implied in this way : roughly layer of soil S₂ could be used to foundation F₁ , but as well could be used thinner layer of soil S₃. During design of base should be guided by economy.

The next indicate the thicknesses of non-bonded or treated materials with lime or hydraulic binders to be used in the pavement layers, to obtain the class of intended foundation.

		F ₁	F ₂	F ₃	F ₄
	E (MPa) EBL (%)	> 30 a ≤ 50	> 50 a ≤ 80	> 80 a ≤ 150	> 150
S ₀	< 3	estudo especial			em pedraplano ou em arcos com materiais do tipo sol- cimentado, com uma camada de leito de pavimento em material pétrico de espessura não inferior a 15 cm
S ₁	≥ 3 a < 5	30 S ₂ ou 20 S ₃	60 S ₃ ou 40 S ₄		
S ₂	≥ 5 a < 10	(1)	30 S ₃ ou 15 S ₄	60 S ₃ ou 30 S ₄	
S ₃	≥ 10 a < 20	—	(1)	20 S ₄	
S ₄ , S ₅	≥ 20	—	—	(1)	

Πίνακας 6. Layer in non-bonded materials.

4.5 Υλικά επίστρωσης - Paving materials

The Portuguese road network mainly consists of asphalt pavements composed of upper layers in asphalt concrete and unbound granular layers of base and sub-base in crushed natural aggregates.

Characteristics of granular materials that used in Portugal

Símbolo	Código	Principais características
BGr	03.1.2.2	material britado recomposto em central granulometria extensa dimensão máxima: 25 mm equivalente de areia mínimo: 70 % <i>Los Angeles</i> máximo: 30 % (granulometria G)
BG	03.1.2.1	material britado sem recomposição (<i>tout-venant</i>) aplicado em camada de base granulometria extensa dimensão máxima: 37,5 mm equivalente de areia mínimo: 50 % <i>Los Angeles</i> máximo: 35 % (granulometria F)
SbG	03.1.1.3	material britado sem recomposição (<i>tout-venant</i>) aplicado em camada de sub-base granulometria extensa dimensão máxima: 50 mm equivalente de areia mínimo: 50 % <i>Los Angeles</i> máximo: 40 % (granulometria B)
GN	03.1.1.2	material não britado granulometria extensa dimensão máxima: 75 mm equivalente de areia mínimo: 30 % <i>Los Angeles</i> máximo: 40 % (granulometria B)
SS	03.1.1.1	solo seleccionado índice de plasticidade ≤ 6 % limite de liquidez ≤ 25 % CBR > 10 % (grau de compact. = 95 %; Proctor modificado) equivalente de areia mínimo: 25 %

Πίνακας 7. Granular materials

Código	Módulo de deformabilidade (E)	Coefficiente de Poisson (ν)
BGr	$\approx 2,5 \times E$ camada inferior	0,35
BG	$\approx 2 \times E$ camada inferior	0,35
SbG	$\approx 2 \times E$ camada inferior	0,35
GN	$\approx 1,5 \times E$ camada inferior	0,35
SS	$\approx 1,2 \times E$ camada inferior	0,40

Πίνακας 8. Deformability characteristics of granular materials:

Símbolo	Código	Principais características
MB	03.4.1.1	macadame betuminoso em camada de base dimensão máxima do agregado: 37,5 mm teor em betume: 4,0 - 4,8 % porosidade: 6 - 9 % espessura recomendável: 9 - 15 cm (mín. 8 cm; max. 16 cm)
MB	03.4.2.2	macadame betuminoso em camada de regularização dimensão máxima do agregado: 25 mm teor em betume: 4,0 - 4,8 % porosidade: 8 - 10 % espessura recomendável: 8 - 12 cm
MBD	03.4.2.3	mistura betuminosa densa em camada de regularização dimensão máxima do agregado: 16 mm teor em betume: 4,8 - 5,4 % porosidade: 4 - 6 % espessura recomendável: 5 - 8 cm
BD	03.4.3.1	betão betuminoso em camada de desgaste dimensão máxima do agregado: 14 mm teor em betume: 5,2 - 5,8 % porosidade: 3 - 5 % espessura recomendável: 4 - 6 cm

Πίνακας 9. Hot asphalt mixtures characteristics:

In Portuguese road constructions used three types of bituminous currently:

BD: Asphalt concrete applied in the wearing course with crushed aggregates, sand filler with a bitumen binder.

MBD: Asphalt concrete applied as binder layer with crushed aggregates, sand filler with a bitumen binder.

MB: Bituminous macadam applied in the base layer and composed of crushed aggregates, sand filler with a bitumen binder.

Código	Composição volumétrica (%)		
	agregado (V _a)	betume (V _b)	vazios (V _v)
BD	84	12	4
MBD	84	11	5
MB	84	9	7

Πίνακας 10. Volumetric characteristics of hot bituminous mixtures

		Zona térmica		
		Temperada	Média	Quente
T r ã r e g o	T ₁	60/70	40/50	40/50
	T ₂	60/70	60/70	40/50
	T ₃	60/70	60/70	60/70
	T ₄	60/70	60/70	60/70
	T ₅	60/70	60/70	60/70
	T ₆	60/70	60/70	60/70

Πίνακας 11. Classes of bitumen to be used for hot bituminous mixtures

4.6 Προτεινόμενες δομές οδοστρωμάτων - Proposed pavement structures

Using tables are taken from” Manual de concepção de pavimentos para a rede rodoviária nacional, all of the following tables and pictures” as a example of pavements’ constructions.[1]

1. Types of flexible pavement (class F3 foundation)
2. First layer – BD – it is surface layer (asphalt concrete)
3. Second layer – MB/MBD – base layer (asphalt concrete)

Third layer – SbG – granular subbase



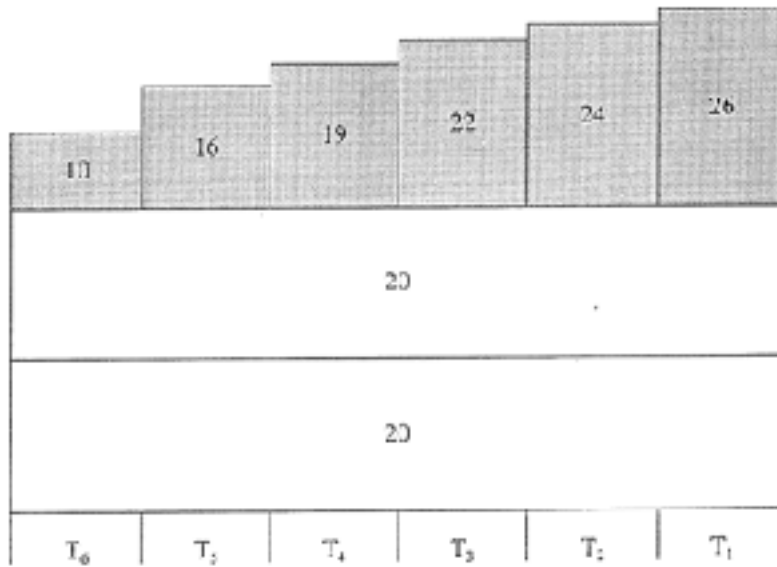


F_1	não adequado
F_2	+ 4 cm
F_3	- 2 cm

2. Types of flexible pavement (class F3 foundation)

1. First layer - BD - it is surface layer (asphalt concrete)
2. Second layer - MB/MBD - base layer (asphalt concrete)
3. Third layer - BG - crushed stone aggregate
4. Fourth layer - SbG - granular subbase



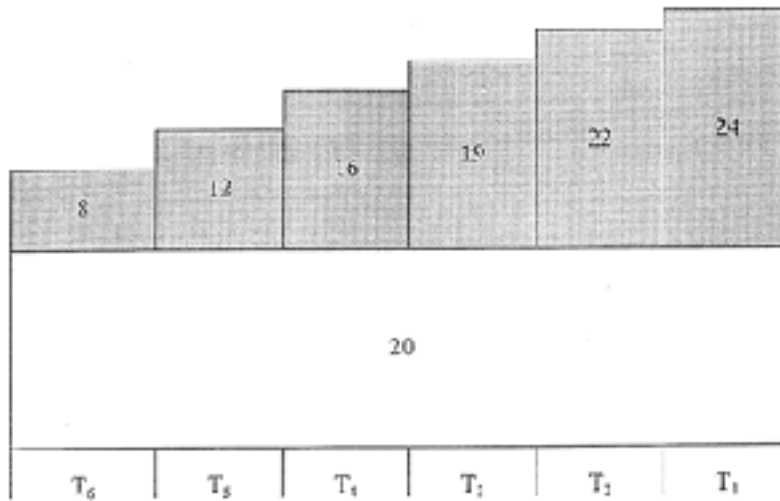


F ₁	+ 5 cm (T ₅ , T ₆)
F ₂	+ 2 cm
F ₄	não adequado

3. Types of flexible pavement (class F3 foundation)

1. First layer - BD - it is surface layer (asphalt concrete)
2. Second layer - MB/MBD - base layer (asphalt concrete)
3. Third layer - Sc - cement soil



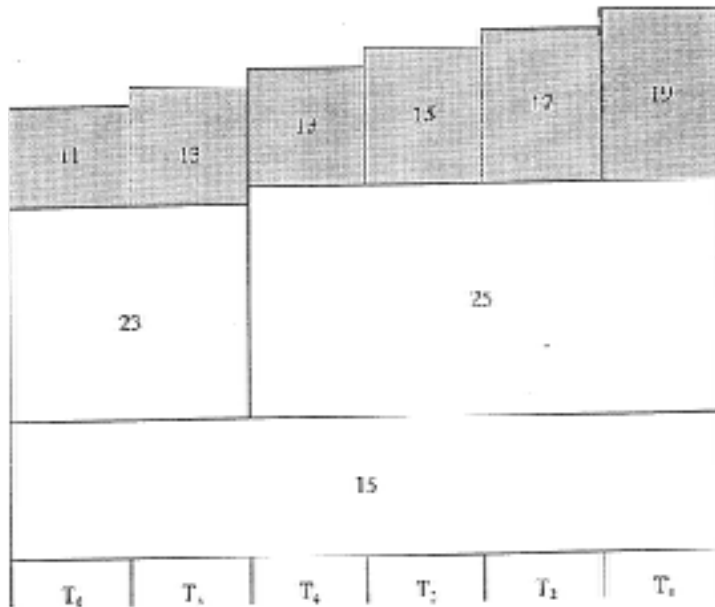


F_1	não adequado
F_2	+ 4 cm
F_3	não adequado

4. Types of semi-rigid pavement (class F3 foundation)

1. First layer - BD - it is surface layer (asphalt concrete)
2. Second layer - MB/MBD - base layer (asphalt concrete)
3. Third layer - BP2 - lean concrete
4. Fourth layer - SbG - granular subbase



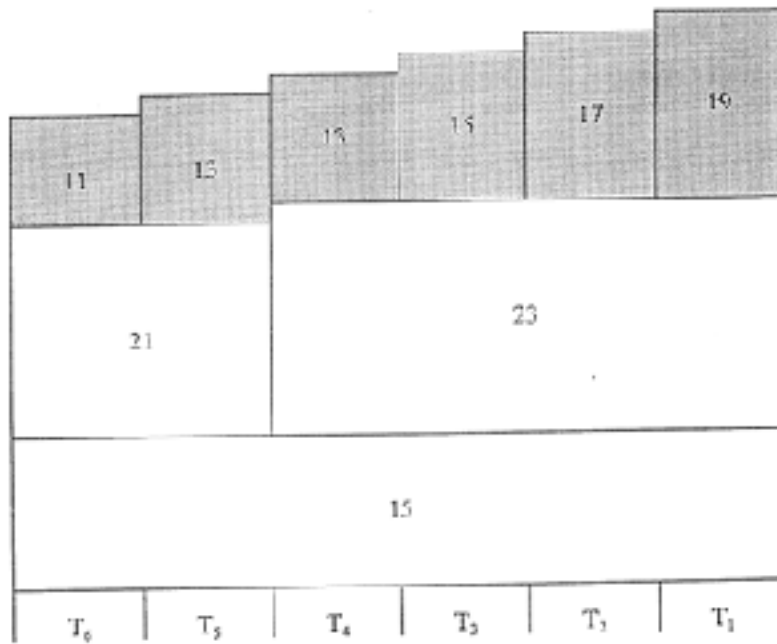


F_1	+ 4 cm (T_4 ; T_6)
F_2	+ 2 cm
F_4	- 2 cm

Types of semi-rigid pavement (class F3 foundation)

1. First layer - BD - it is surface layer (asphalt concrete)
2. Second layer - MB/MBD - base layer (asphalt concrete)
3. Third layer - BP2 - lean concrete
4. Fourth layer - SC - cement soil





F ₁	+ 4 cm (T ₅ ; T ₆)
F ₂	+ 2 cm
F ₃	- 2 cm

Types of semi-rigid pavement (class F3 foundation) :

1. First layer - BD - it is surface layer (asphalt concrete)
2. Second layer - MB/MBD - base layer (asphalt concrete)
3. Third layer - MG1 - soil
4. Fourth layer - BP2 - lean concrete



F ₁	+ 4 cm (T ₅ ; T ₆)
F ₂	+ 2 cm
F ₄	- 2 cm

		15	17	18	19
10	13				
15					
21					
T_6	T_5	T_4	T_3	T_2	T_1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Περίπτωση μελέτης – Case study

Pavement design with the Shell Method.

Contain the following elements:

- basic considerations for the sizing of the pavement,
- pre-design according to MACOPAV,
- justification of the proposed pavement structure with the Shell Method,
- specification of selected materials.

Traffic	Description
TA	<p>TMDA^{Ano 0} = 4000 vehicles (per way) 15% heavy Growth rate: 3,5% (1ºs 5 years); 2,0% (afterwards)</p>
TB	<p>TMDA^{Ano 0} = 7500 vehicles (per way) 12% heavy Growth rate: 4,0% (1ºs 5 years); 1,5% (afterwards)</p>

Foundation	Description
FA	Silty sand with gravel (SM), CBR = 12%
FB	Clay and sand (SC), CBR = 5%

Material	Custo

Soil for subgrade improvement	10€/m ³
Crushed aggregate (2,15 Mg/m ³)	0,90€/m ² + 6€/ton
AC base layer (2,35 Mg/m ³)	1€/m ² + 35€/ton
AC wearing layer (2,35 Mg/m ³)	1€/m ² + 42€/ton
Impregnation coating (bituminous emulsion)	0,75€/m ²
Bond coating (bituminous emulsion)	0,75€/m ²

Temperature

Shell is using a specific model to calculate the average temperature by using the figures 5.4 and 5.5

Based on a large number of calculations, Shell researchers concluded that it is possible to define a weighted mean annual air temperature (w-MAAT) such that the damage that accumulates over one year is the same as by taking into account varying temperature conditions over a year. In order to so, a weighing factor has to be determined using the mean monthly air temperature (MMAT) as input. When the weighing factor is known, the weighted mean annual air temperature can be determined.

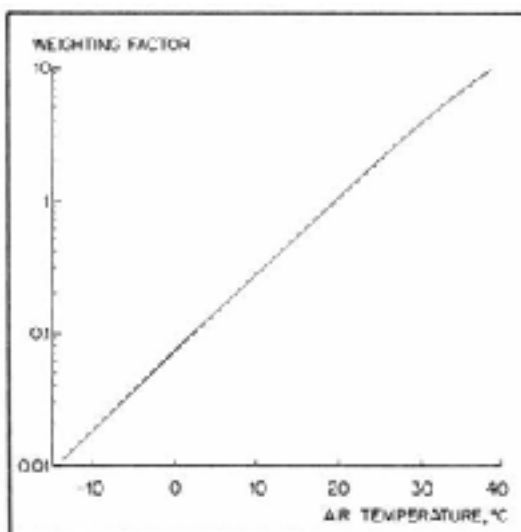


Figure 5.4 shows the monthly average air temperature

Figure 5.4 Temperature weighing chart.

monthly temperature $w_TMMA = 0,00723 * e^{0,1296 * TMMA}$

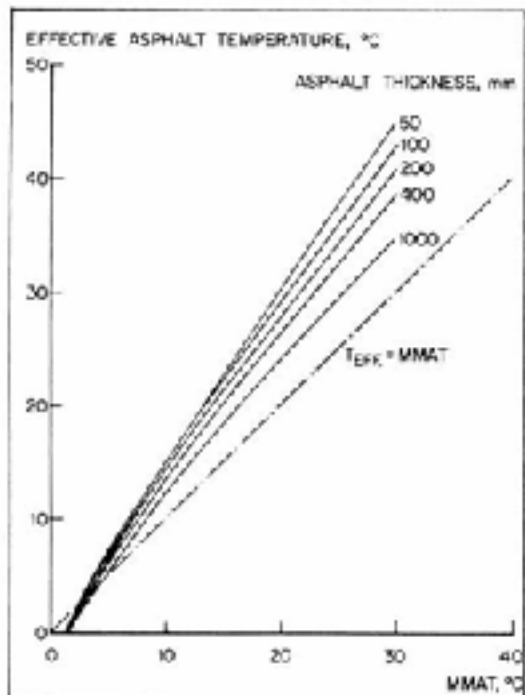
average year temperature $\text{Sum}(w_TMMA)/12$

Final temperature $TMMA = 7,7068$

Figure 5.5 is used if the weighted mean annual air temperature is known.

Figure 5.5 Pavement temperature versus

Air Temperature



The Shell procedure described here can be used for the thickness design of asphalt pavements but not for permanent deformation analyses. In those case one should take into account the real temperature distributions.

- First Case- Location: CASTELO BRANCO -

Informations about the traffic:

(TMDA)_p Traffic= 4000 Vlic/ day

15% heavy

80kN

3.5% Period of design $p=5$ years

2.0% remaining

Table 5.1 shows the relative elements at the various classes of traffic, with the number of the axles of 80 or 130 kN, consider respectively in the case of flexible or semi-rigid.

Table 5.1 Relative traffic elements.

Classe	(TMDA) _p	Taxa de crescimento médio (t)	Pavimentos flexíveis		Pavimentos semi-rígidos	
			Fator de agressividade (α)	N ₈₀ ^{dim} (20 anos)	Fator de aumento de vida (γ)	N ₁₃₀ ^{dim} (20 anos)
T ₁	< 50		estudo específico			
T ₂	50- 150	3	2	2 x 10 ⁶	0,5	5 x 10 ⁵
T ₃	150- 300		3	8 x 10 ⁶	0,6	2 x 10 ⁶
T ₄	300- 500	4	4	2 x 10 ⁷	0,7	4 x 10 ⁶
T ₅	500- 800		4,5	4 x 10 ⁷	0,8	7 x 10 ⁶
T ₆	800-1200	5	5	7 x 10 ⁷	0,9	10 ⁷
T ₇	1200-2000		5,5	10 ⁸	1,0	2 x 10 ⁷
T ₈	> 2000		estudo específico			

(TMDA)_p tráfego médio diário anual de veículos pesados no ano de abertura, por sentido e na via mais solicitada.

N₈₀^{dim} número acumulado de eixos padrão de 80 kN

N₁₃₀^{dim} número acumulado de eixos padrão de 130 kN

Using the formula :

$$C = \frac{(1+t)^p - 1}{p \cdot t} N_{80/130}^{dim} = 365 \cdot TMDA_p \cdot C \cdot p \cdot \alpha$$

N^{dim} – is the cumulative number of standard axle

t - is the average annual growth of heavy traffic

p -period of design

C - is the factor of traffic growth, which takes into account the period of design

α – aggressive factor of traffic

Results = class T3

Aggressive factor of traffic α= 4,5

$N^{dim}=2,64 \cdot 10^7$ Class T4

Table 5.2 present the foreseeable inclusion of the different soil types, included 6 classes of foundation soil..

Table 5.2 Classes of foundation soil.

Classe	CBR (%)	Tipo de solo	Descrição	Resilição		
				Alto (corço)	Leito	Sub-base
S ₁	< 5	OL	siltes orgânicos e siltes argilosos orgânicos de baixa plasticidade. (1)	N	N	N
		OH	argilas orgânicas de plasticidade média a elevada; siltes orgânicos. (2)	P	N	N
		CH	argilas inorgânicas de plasticidade elevada; argilas gordas. (3)	P	N	N
		MH	siltes inorgânicos; argilas finas micáceas; siltes micáceos. (4)	P	N	N
S ₁	≥ 3 a < 5	OL	idem (1)	S	N	N
		OH	idem (2)	S	N	N
		CH	idem (3)	S	N	N
		MH	idem (4)	S	N	N
S ₂	≥ 5 a < 10	CH	idem (3)	S	N	N
		MH	idem (4)	S	N	N
		CL	argilas inorgânicas de plasticidade baixa a média; argilas com seixo, argilas arenosas, argilas silteosas e areias moitas.	S	N	N
		ML	siltes inorgânicos e areias muito finas; areias finas, silteosas ou argilosas; siltes argilosos de baixa plasticidade.	S	N	N
S ₃	≥ 10 a < 20	SC	areia argilosa; areia argilosa com cascalho. (5)	S	P	N
		SM	areia silteosa; areia silteosa com cascalho.	S	S	N
		SP	areias mal graduadas; areias mal graduadas com cascalho.	S	S	N
S ₄	≥ 20	SW	areias bem graduadas; areias bem graduadas com cascalho.	S	S	P
		GC	cascalho argiloso; cascalho argiloso com areia.	S	S	P
		GM-a	cascalho silteoso; cascalho silteoso com areia. (6)	S	S	P
		GP	cascalho mal graduado; cascalho mal graduado com areia. (7)	S	S	P
S ₅	≥ 40	GM-g	idem (6)	S	S	S
		GP	idem (7)	S	S	S
		GW	cascalho bem graduado; cascalho bem graduado com areia.	S	S	S

N - não admissível
P - possível
S - admissível

From the Table 5.2 we have the results:

Subgrade (FA)

Category of the soil class SM= Silty Sand with gravel

CBR=12%

Class= S3

From Table 4.7:

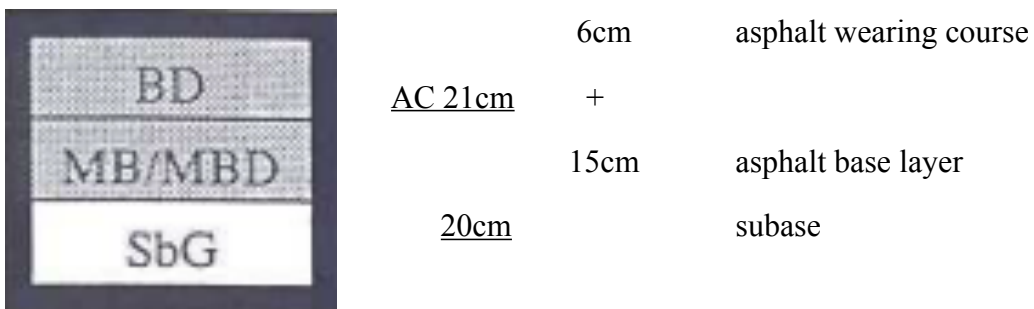
The layer: improvement subgrade with 20cm natural S4

The Model is Class F3 , E =100 MPa

Bitumen Conditions

<u>Bitumen</u>	<u>Pen</u>	<u>Tab</u>
35/50	42,5	54
50/70	60	50

Case 1. Pre-design pavement structure CLASS T4/ F3



Mechanical analysis based in MACOPAV:

LAYERS	E (MPa)	V	H (cm)
1	5620	0.35	6.0
2	4180	0.35	15.0
3	210	0.35	20.0
4	100	0.45	SEMI-INFINITE

CARGA TOTAL F= 20.0 kN

PRESSAO DE ENCHIMENTO P= 577.4 kPa (83.8 psi)

RAIO DE IMPRESS R= 10.5 cm

LOCALIZACAO DOS PNEUS NO PLANO Z=0

N X(cm) Y(cm)

1 -15.750 0.000

2 15.750 0.000

LOCALIZACAO DOS PONTOS ONDE SE PRETENDEM
RESULTADOS

PROFUNDIDADE (cm)

Z= 21.0 41.0

COORDENADAS SEGUNDO X-Y (cm)

X= 0.0 15.8

Y= 0.0 0.0

Z= 21.00

X= 0.00 15.75

Y= 0.00 0.00

TENSOES NORMAIS (MPa)

SXX 0.413E+00 0.476E+00

SYX 0.572E+00 0.573E+00

SZZ -0.445E-01 -0.455E-01

TENSOES TANGENCIAIS (MPa)

SXY 0.000E+00 0.000E+00

SXZ 0.000E+00 -0.813E-02

SYZ 0.000E+00 0.000E+00

TENSOES PRINCIPAIS (MPa)

PS 1 0.572E+00 0.573E+00

PS 2 0.413E+00 0.476E+00

PS 3 -0.445E-01 -0.456E-01

TENSOES TANGENCIAIS MAXIMAS (MPa)

PSS1 0.308E+00 0.309E+00

PSS2 0.793E-01 0.486E-01

PSS3 0.229E+00 0.261E+00

DESLOCAMENTOS (mm)

UX 0.000E+00 0.994E-02

UY 0.000E+00 0.000E+00

UZ 0.260E+00 0.254E+00

EXTENSOES NORMAIS

EXX 0.547E-04 0.696E-04

EYY 0.106E-03 0.101E-03

EZZ -0.932E-04 -0.987E-04

EXTENSOES TANGENCIAIS

EXY 0.000E+00 0.000E+00

EXZ 0.000E+00 -0.525E-05

EYZ 0.000E+00 0.000E+00

EXTENSOES PRINCIPAIS

PE 1 0.106E-03 0.101E-03

PE 2 0.547E-04 0.697E-04

PE 3 -0.932E-04 -0.988E-04

EXTENSOES TANGENCIAIS MAXIMAS

PSE1 0.199E-03 0.200E-03

PSE2 0.512E-04 0.314E-04

PSE3 0.148E-03 0.168E-03

(+) TRACCAO ; (-) COMPRESSAO

Z= 41.00 CAMADA NO 3

X= 0.00 15.75

Y= 0.00 0.00

TENSOES NORMAIS (MPa)

SXX 0.154E-01 0.131E-01

SYX 0.179E-01 0.163E-01

SZZ -0.242E-01 -0.224E-01

TENSOES TANGENCIAIS (MPa)

SXY 0.000E+00 0.000E+00

SXZ 0.000E+00 -0.311E-02

SYZ 0.000E+00 0.000E+00

TENSOES PRINCIPAIS (MPa)

PS 1 0.179E-01 0.163E-01

PS 2 0.154E-01 0.134E-01

PS 3 -0.242E-01 -0.227E-01

TENSOES TANGENCIAIS MAXIMAS (MPa)

PSS1 0.210E-01 0.195E-01

PSS2 0.127E-02 0.142E-02

PSS3 0.198E-01 0.180E-00

DESLOCAMENTOS (mm)

UX 0.000E+00 0.126E-01

UY 0.000E+00 0.000E+00

UZ 0.223E+00 0.218E+00

EXTENSOES NORMAIS

EXX 0.836E-04 0.728E-04

EYY 0.999E-04 0.928E-04

EZZ -0.171E-03 -0.156E-03

EXTENSOES TANGENCIAIS

EXY 0.000E+00 0.000E+00

EXZ 0.000E+00 -0.400E-04

EYZ 0.000E+00 0.000E+00

EXTENSOES PRINCIPAIS

PE 1 0.999E-04 0.928E-04

PE 2 0.836E-04 0.746E-04

PE 3 -0.171E-03 -0.157E-03

EXTENSOES TANGENCIAIS MAXIMAS

PSE1 0.270E-03 0.250E-03 PSE2 0.163E-04 0.183E-04

PSE3 0.254E-03 0.232E-03

(+) TRACCAO ; (-) COMPRESSAO

Et= 0,106 * 10⁻³ Damage 138%

Edb=0,171 * 10⁻³ Damage 22%

OK

Case 2. Pre-design pavement structure



AC 6cm
AC 20cm AC 14cm
20cm
20cm

Mechanical analysis based in MACOPAV:

	E	V	H
LAYERS (MPa)			(cm)
1	5620	0.35	6.0
2	4225	0.35	14.0
3	290	0.35	40.0
4	100	0.45	<u>SEMI-INFINITE</u>

CARGA TOTAL

F= 20.0 kN

PRESSAO DE ENCHIMENTO P= 577.4 kPa (83.8 psi)

 RAIO DE IMPRESS R= 10.5 cm

 LOCALIZACAO DOS PNEUS NO PLANO Z=0

 N X(cm) Y(cm)

 1 -15.750 0.000

 2 15.750 0.000

 LOCALIZACAO DOS PONTOS ONDE SE PRETENDEM
 RESULTADOS

 PROFUNDIDADE (cm)

 Z= 20.0 60.0

 COORDENADAS SEGUNDO X-Y (cm)

 X= 0.0 15.8

 Y= 0.0 0.0

 Z= 20.00 CAMADA NO 2

 X= 0.00 15.75

 Y= 0.00 0.00

 TENSOES NORMAIS (MPa)

 SXX 0.330E+00 0.416E+00

 SYY 0.497E+00 0.511E+00

 SZZ -0.602E-01 -0.625E-01

 TENSOES TANGENCIAIS (MPa)

 SXY 0.000E+00 0.000E+00

 SXZ 0.000E+00 -0.107E-01

SYZ 0.000E+00 0.000E+00

TENSOES PRINCIPAIS (MPa)

PS 1 0.497E+00 0.511E+00

PS 2 0.330E+00 0.417E+00

PS 3 -0.602E-01 -0.627E-01

TENSOES TANGENCIAIS MAXIMAS (MPa)

PSS1 0.279E+00 0.287E+00

PSS2 0.838E-01 0.474E-01

PSS3 0.195E+00 0.240E+00

DESLOCAMENTOS (mm)

UX 0.000E+00 0.826E-02

UY 0.000E+00 0.000E+00

UZ 0.233E+00 0.230E+00

EXTENSOES NORMAIS

EXX 0.419E-04 0.613E-04

EYY 0.954E-04 0.917E-04

EZZ -0.828E-04 -0.916E-04

EXTENSOES TANGENCIAIS

EXY 0.000E+00 0.000E+00

EXZ 0.000E+00 -0.682E-05

EYZ 0.000E+00 0.000E+00

EXTENSOES PRINCIPAIS

PE 1 0.954E-04 0.917E-04

PE 2 0.419E-04 0.614E-04

PE 3 -0.828E-04 -0.917E-04

EXTENSOES TANGENCIAIS MAXIMAS

PSE1 0.178E-03 0.183E-03

PSE2 0.535E-04 0.303E-04

PSE3 0.125E-03 0.153E-03

(+) TRACCAO ; (-) COMPRESSAO

Z= 60.00 CAMADA NO 3

X= 0.00 15.75

Y= 0.00 0.00

TENSOES NORMAIS (MPa)

SXX 0.203E-01 0.179E-01

SY Y 0.218E-01 0.201E-01

SZZ -0.161E-01 -0.154E-01

TENSOES TANGENCIAIS (MPa)

SXY 0.000E+00 0.000E+00

SXZ 0.000E+00 -0.203E-02

SYZ 0.000E+00 0.000E+00

TENSOES PRINCIPAIS (MPa)

PS 1 0.218E-01 0.201E-01

PS 2 0.203E-01 0.180E-01

PS 3 -0.161E-01 -0.155E-01

TENSOES TANGENCIAIS MAXIMAS (MPa)

PSS1 0.189E-01 0.178E-01

PSS2 0.710E-03 0.102E-02

PSS3 0.182E-01 0.168E-01

DESLOCAMENTOS (mm)

UX 0.000E+00 0.978E-02

UY 0.000E+00 0.000E+00

UZ 0.179E+00 0.179E+00

EXTENSOES NORMAIS

EXX 0.633E-04 0.561E-04

EYY 0.699E-04 0.662E-04

EZZ -0.106E-03 -0.989E-04

EXTENSOES TANGENCIAIS

EXY 0.000E+00 0.000E+00

EXZ 0.000E+00 -0.189E-04

EYZ 0.000E+00 0.000E+00

EXTENSOES PRINCIPAIS

PE 1 0.699E-04 0.662E-04

PE 2 0.633E-04 0.567E-04

PE 3 -0.106E-03 -0.995E-04

EXTENSOES TANGENCIAIS MAXIMAS

PSE1 0.176E-03 0.166E-03

PSE2 0.661E-05 0.951E-05

PSE3 0.170E-03 0.156E-03

(+) TRACCAO ; (-) COMPRESSA

E= 296 MPa

Et=0,954*10⁻⁴ Damage 83%

Edb=0,106*10⁻³ Damage 3%

OK

-Second case-Location: COIMBRA -

Traffic (TMDA)_p =900 Vlic/day

T2=80kN

Ndim= 43,9*10⁶

Class T2 7*10⁷

From Table 5.3: FB CBR=5%,

Category : SC Soil Clay ash sand, 30 cm S4

Soil on top of natural subgrade F3

The model is F3 Modulus=100Mpa

Case 1. Pre-design structure CLASS T2/ F3



- AC 0/14 -6cm
- AC 26cm AC 0/25 -10cm

- AC 0/25 -10. 20cm

Mechanical analysis based in MACOPAV:

	E	V	H
LAYERS	(MPa)	(cm)	
1	5750	0.35	6.0
2	4520	0.35	10.0
3	3810	0.35	10.0
4	210	0.35	20.0
5	100	0.45	SEMI-INFINITE

CARGA TOTAL F= 20.0 kN

PRESSAO DE ENCHIMENTO P= 577.4 kPa (83.8 psi)

RAIO DE IMPRESS R= 10.5 cm

LOCALIZACAO DOS PNEUS NO PLANO Z=0

N X(cm) Y(cm)

1 -15.750 0.000

2 15.750 0.000

LOCALIZACAO DOS PONTOS ONDE SE PRETENDEM RESULTADOS

PROFUNDIDADE (cm)

Z= 26.0 46.0

COORDENADAS SEGUNDO X-Y (cm)

X= 0.0 15.8

Y= 0.0 0.0

Z= 26.00 CAMADA NO 3

X= 0.00 15.75

Y= 0.00 0.00

TENSOES NORMAIS (MPa)

SXX 0.329E+00 0.334E+00

SYX 0.417E+00 0.399E+00

SZZ -0.326E-01 -0.321E-01

TENSOES TANGENCIAIS (MPa)

SXY 0.000E+00 0.000E+00

SXZ 0.000E+00 -0.613E-02

SYZ 0.000E+00 0.000E+00

TENSOES PRINCIPAIS (MPa)

PS 1 0.417E+00 0.399E+00

PS 2 0.329E+00 0.334E+00

PS 3 -0.326E-01 -0.322E-01

TENSOES TANGENCIAIS MAXIMAS (MPa)

PSS1 0.225E+00 0.215E+00

PSS2 0.441E-01 0.323E-01

PSS3 0.181E+00 0.183E+00

DESLOCAMENTOS (mm)

UX 0.000E+00 0.846E-02

UY 0.000E+00 0.000E+00

UZ 0.220E+00 0.217E+00

EXTENSOES NORMAIS

EXX 0.510E-04 0.540E-04

EYY 0.822E-04 0.769E-04

EZZ -0.771E-04 -0.757E-04

EXTENSOES TANGENCIAIS

EXY 0.000E+00 0.000E+00

EXZ 0.000E+00 -0.434E-05

EYZ 0.000E+00 0.000E+00

EXTENSOES PRINCIPAIS

PE 1 0.822E-04 0.769E-04

PE 2 0.510E-04 0.540E-04

PE 3 -0.771E-04 -0.757E-04

EXTENSOES TANGENCIAIS MAXIMAS

PSE1 0.159E-03 0.153E-03

PSE2 0.312E-04 0.229E-04

PSE3 0.128E-03 0.130E-03

(+) TRACCAO ; (-) COMPRESSAO

Z= 46.00 CAMADA NO 4

X= 0.00 15.75

Y= 0.00 0.00

TENSOES NORMAIS (MPa)

SXX 0.120E-01 0.101E-01

SY Y 0.136E-01 0.122E-01

SZZ -0.180E-01 -0.169E-01

TENSOES TANGENCIAIS (MPa)

SXY 0.000E+00 0.000E+00

SXZ 0.000E+00 -0.223E-02

SYZ 0.000E+00 0.000E+00

TENSOES PRINCIPAIS (MPa)

PS 1 0.136E-01 0.122E-01

PS 2 0.120E-01 0.103E-01

PS 3 -0.180E-01 -0.171E-01

TENSOES TANGENCIAIS MAXIMAS (MPa)

PSS1 0.158E-01 0.146E-01

PSS2 0.798E-03 0.940E-03

PSS3 0.150E-01 0.137E-01

DESLOCAMENTOS (mm)

UX 0.000E+00 0.983E-02

UY 0.000E+00 0.000E+00

UZ 0.191E+00 0.191E+00

EXTENSOES NORMAIS

EXX 0.645E-04 0.560E-04

EYY 0.747E-04 0.693E-04

EZZ -0.128E-03 -0.118E-03

EXTENSOES TANGENCIAIS

EXY 0.000E+00 0.000E+00

EXZ 0.000E+00 -0.286E-04

EYZ 0.000E+00 0.000E+00

EXTENSOES PRINCIPAIS

PE 1 0.747E-04 0.693E-04

PE 2 0.645E-04 0.572E-04

PE 3 -0.128E-03 -0.119E-03

EXTENSOES TANGENCIAIS MAXIMAS

PSE1 0.203E-03 0.188E-03

PSE2 0.103E-04 0.121E-04

PSE3 0.193E-03 0.176E-03

(+) TRACCAO ; (-) COMPRESSAO

Et=0,822*10^-4 - Damage 55%

Edp=0,128*10^-3 - Damage 11%

OVERDESIGNED

Case 2. Pre-design structure Structure



AC 6cm
AC 22cm AC 8cm
AC 8cm
20

Mechanical analysis based in MACOPAV:

	E	V	H
LAYERS (MPa)			(cm)
1	5750	0.35	6.0
2	4630	0.35	8.0
3	3970	0.35	8.0
4	210	0.35	20.0
5	100	0.45	SEMI-INFINITE

CARGA TOTAL F= 20.0 kN

PRESSAO DE ENCHIMENTO P= 577.4 kPa (83.8 psi)

RAIO DE IMPRESS R= 10.5 cm

LOCALIZACAO DOS PNEUS NO PLANO Z=0

N X(cm) Y(cm)

1 -15.750 0.000

2 15.750 0.000

LOCALIZACAO DOS PONTOS ONDE SE PRETENDEM
RESULTADOS

PROFUNDIDADE (cm)

Z= 22.0 42.0

COORDENADAS SEGUNDO X-Y (cm)

X= 0.0 15.8

Y= 0.0 0.0

Z= 22.00

X= 0.00 15.75

Y= 0.00 0.00

TENSOES NORMAIS (MPa)

SXX 0.386E+00 0.428E+00

SYX 0.521E+00 0.515E+00

SZZ -0.414E-01 -0.418E-01

TENSOES TANGENCIAIS (MPa)

SXY 0.000E+00 0.000E+00

SXZ 0.000E+00 -0.767E-02

SYZ 0.000E+00 0.000E+00

TENSOES PRINCIPAIS (MPa)

PS 1 0.521E+00 0.515E+00

PS 2 0.386E+00 0.428E+00

PS 3 -0.414E-01 -0.420E-01

TENSOES TANGENCIAIS MAXIMAS (MPa)

PSS1 0.281E+00 0.278E+00

PSS2 0.673E-01 0.432E-01

PSS3 0.214E+00 0.235E+00

DESLOCAMENTOS (mm)

UX 0.000E+00 0.970E-02

UY 0.000E+00 0.000E+00

UZ 0.250E+00 0.245E+00

EXTENSOES NORMAIS

EXX 0.550E-04 0.662E-04

EYY 0.101E-03 0.956E-04

EZZ -0.904E-04 -0.937E-04

EXTENSOES TANGENCIAIS

EXY 0.000E+00 0.000E+00

EXZ 0.000E+00 -0.521E-05

EYZ 0.000E+00 0.000E+00

EXTENSOES PRINCIPAIS

PE 1 0.101E-03 0.956E-04

PE 2 0.550E-04 0.662E-04

PE 3 -0.904E-04 -0.937E-04

EXTENSOES TANGENCIAIS MAXIMAS

PSE1 0.191E-03 0.189E-03

PSE2 0.458E-04 0.294E-04

PSE3 0.145E-03 0.160E-03

(+) TRACCAO ; (-) COMPRESSAO

Z= 42.00

X= 0.00 15.75

Y= 0.00 0.00

TENSOES NORMAIS (MPa)

SXX 0.146E-01 0.124E-01

SY Y 0.168E-01 0.152E-01

SZZ -0.226E-01 -0.210E-01

TENSOES TANGENCIAIS (MPa)

SXY 0.000E+00 0.000E+00

SXZ 0.000E+00 -0.288E-02

SYZ 0.000E+00 0.000E+00

TENSOES PRINCIPAIS (MPa)

PS 1 0.168E-01 0.152E-01

PS 2 0.146E-01 0.127E-01

PS 3 -0.226E-01 -0.212E-01

TENSOES TANGENCIAIS MAXIMAS (MPa)

PSS1 0.197E-01 0.182E-01

PSS2 0.113E-02 0.128E-02

PSS3 0.186E-01 0.170E-01

DESLOCAMENTOS (mm)

UX 0.000E+00 0.120E-01

UY 0.000E+00 0.000E+00

UZ 0.216E+00 0.212E+00

EXTENSOES NORMAIS

EXX 0.790E-04 0.688E-04

EYY 0.935E-04 0.868E-04

EZZ -0.160E-03 -0.146E-03

EXTENSOES TANGENCIAIS

EXY 0.000E+00 0.000E+00

EXZ 0.000E+00 -0.370E-04

EYZ 0.000E+00 0.000E+00

EXTENSOES PRINCIPAIS

PE 1 0.935E-04 0.868E-04

PE 2 0.790E-04 0.703E-04

PE 3 -0.160E-03 -0.148E-03

EXTENSOES TANGENCIAIS MAXIMAS

PSE1 0.253E-03 0.234E-03

PSE2 0.145E-04 0.165E-04

PSE3 0.239E-03 0.218E-03

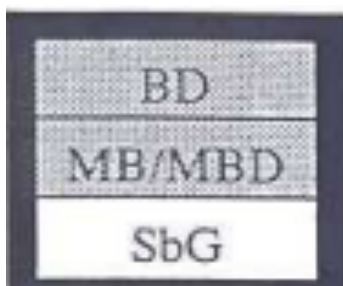
(+) TRACCAO ; (-) COMPRESSAO

$E_t=0,101*10^{-3}$ - Damage 165%

$E_{dp}=0,160*10^{-3}$ - Damage 27%

OK

Case 3. Pre-design pavement structure CLASS T3 / F3



6cm

24cm 8cm

10cm

20cm

Mechanical analysis:

	E	V	H
LAYERS	(MPa)		(cm)
1	5750	0.35	6.0
2	4630	0.35	8.0
3	3910	0.35	10.0
4	210	0.35	20.0
5	100	0.45	SEMI-INFINITO

CARGA TOTAL F= 20.0 kN

PRESSAO DE ENCHIMENTO P= 577.4 kPa (83.8 psi)

RAIO DE IMPRESS R= 10.5 cm

LOCALIZACAO DOS PNEUS NO PLANO Z=0

N X(cm) Y(cm)

1 -15.750 0.000

2 15.750 0.000

LOCALIZACAO DOS PONTOS ONDE SE PRETENDEM
RESULTADOS

PROFUNDIDADE (cm)

Z= 24.0 44.0

COORDENADAS SEGUNDO X-Y (cm)

X= 0.0 15.8

Y= 0.0 0.0

Z= 24.00

X= 0.00 15.75

Y= 0.00 0.00

TENSOES NORMAIS (MPa)

SXX 0.359E+00 0.379E+00

SYX 0.467E+00 0.454E+00

SZZ -0.366E-01 -0.364E-01

TENSOES TANGENCIAIS (MPa)

SXY 0.000E+00 0.000E+00

SXZ 0.000E+00 -0.683E-02

SYZ 0.000E+00 0.000E+00

TENSOES PRINCIPAIS (MPa)

PS 1 0.467E+00 0.454E+00

PS 2 0.359E+00 0.379E+00

PS 3 -0.366E-01 -0.365E-01

TENSOES TANGENCIAIS MAXIMAS (MPa)

PSS1 0.252E+00 0.245E+00

PSS2 0.544E-01 0.374E-01

PSS3 0.198E+00 0.208E+00

DESLOCAMENTOS (mm)

UX 0.000E+00 0.904E-02

UY 0.000E+00 0.000E+00

UZ 0.234E+00 0.230E+00

EXTENSOES NORMAIS

EXX 0.531E-04 0.595E-04

EYY 0.907E-04 0.854E-04

EZZ -0.833E-04 -0.838E-04

EXTENSOES TANGENCIAIS

EXY 0.000E+00 0.000E+00

EXZ 0.000E+00 -0.471E-05

EYZ 0.000E+00 0.000E+00

EXTENSOES PRINCIPAIS

PE 1 0.907E-04 0.854E-04

PE 2 0.531E-04 0.595E-04

PE 3 -0.833E-04 -0.839E-04

EXTENSOES TANGENCIAIS MAXIMAS

PSE1 0.174E-03 0.169E-03

PSE2 0.376E-04 0.258E-04

PSE3 0.136E-03 0.143E-03

(+) TRACCAO ; (-) COMPRESSAO

Z= 44.00

X= 0.00 15.75

Y= 0.00 0.00

TENSOES NORMAIS (MPa)

SXX 0.132E-01 0.112E-01

SYX 0.151E-01 0.136E-01
SYZ 0.000E+00 0.000E+00
SZZ -0.201E-01 -0.188E-01

TENSOES TANGENCIAIS (MPa)

SXY 0.000E+00 0.000E+00
SXZ 0.000E+00 -0.252E-02
SYZ 0.000E+00 0.000E+00

TENSOES PRINCIPAIS (MPa)

PS 1 0.151E-01 0.136E-01
PS 2 0.132E-01 0.114E-01
PS 3 -0.201E-01 -0.190E-01

TENSOES TANGENCIAIS MAXIMAS (MPa)

PSS1 0.176E-01 0.163E-01
PSS2 0.943E-03 0.109E-02
PSS3 0.166E-01 0.152E-01

DESLOCAMENTOS (mm)

UX 0.000E+00 0.108E-01
UY 0.000E+00 0.000E+00
UZ 0.203E+00 0.201E+00

EXTENSOES NORMAIS

EXX 0.712E-04 0.618E-04
EYY 0.833E-04 0.772E-04
EZZ -0.143E-03 -0.131E-03

EXTENSOES TANGENCIAIS

EXY 0.000E+00 0.000E+00

EXZ 0.000E+00 -0.324E-04

EYZ 0.000E+00 0.000E+00

EXTENSOES PRINCIPAIS

PE 1 0.833E-04 0.772E-04

PE 2 0.712E-04 0.632E-04

PE 3 -0.143E-03 -0.132E-03

EXTENSOES TANGENCIAIS MAXIMAS

PSE1 0.226E-03 0.209E-03

PSE2 0.121E-04 0.140E-04

PSE3 0.214E-03 0.195E-03

(+) TRACCAO ; (-) COMPRESSAO

Et =0,907 *10^-4 - Damage 94%

Edp=0,143*10^-3 - Damage 17%

OK

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Οικονομική ανάλυση – Economic analysis

CASTELO BRANCO

1. Case

$$AC (6cm) = 1+1*1*1*0,06*2,35*42= 6,9 \text{ Euro/m}^2$$

$$AC (14cm)= 1+1*1*0,14*2,35*35=12,5 \text{ Euro/m}^2$$

$$\text{Subgrade} = 0,90+1*1*0,20*2,15*6= 6,06 \text{ Euro/m}^2$$

$$\text{Layer} =0,75 *2= 1,5 \text{ Euro/m}^2$$

$$\text{Sum1} =26,96 \text{ Euro/m}^2$$

2. Case

$$AC (6cm) = 6,9$$

$$AC (15cm)= 1+1*1*0,15*2,35*35= 13,3 \text{ Euro/m}^2$$

$$\text{Subgrade}= 0,9+1*1*0,2*2,15*6*2=12,12\text{Euro/m}^2$$

$$\text{Layer} =0,75 *3=2,25 \text{ Euro/m}^2$$

$$\text{Sum2}= 34,57 \text{ Euro/m}^2$$

$$\text{SUM}= \text{Sum1}+\text{Sum2}= 26,96 + 34,57 = 61,53 \text{ Euro/m}^2$$

COIMBRA

1. Case

$$\text{AC (6cm)} = 6,9 \text{ Euro m}^2$$

$$\text{AC (10cm)} = 1+1*1*0,10*2,35*35=8,2 \text{ Euro m}^2$$

$$\text{AC(10cm)} = 1+1*1*0,10*2,35*35=8,22 \text{ Euro m}^2$$

$$\text{Subgrade} = 12,12 \text{ Euro m}^2$$

$$\text{Layer} = 0,75 * 2 = 1,5 \text{ Euro m}^2$$

$$\text{Sum1} = 36,96 \text{ Euro m}^2$$

2. Case

$$\text{AC (6cm)} = 6,9 \text{ Euro m}^2$$

$$\text{AC (8cm)} = 1+1*1*0,08*2,35*35=6,58 \text{ Euro m}^2$$

$$\text{AC (8cm)} = 1+1*1*0,08*2,35*35=6,58 \text{ Euro m}^2$$

$$\text{Subgrade} = 12,12 \text{ Euro m}^2$$

$$\text{Layer} = 0,75 * 2 = 1,5 \text{ Euro m}^2$$

$$\text{Sum2} = 33,68 \text{ Euro m}^2$$

3. Case

$$\text{AC (6cm)} = 6,9 \text{ Euro m}^2$$

$$\text{AC (8cm)} = 6,58 \text{ Euro m}^2$$

$$\text{AC (10cm)} = 8,22 \text{ Euro m}^2$$

$$\text{Subgrade} = 12,12 \text{ Euro m}^2$$

$$\text{Layer} = 0,75 * 2 = 1, \text{Euro m}^2$$

$$\text{Sum3} = 35,32 \text{ Euro m}^2$$

$$\text{SUM} = \text{Sum1} + \text{Sum2} + \text{Sum3} = 36,96 + 33,68 + 35,32 = 105,96 \text{ Euro/m}^2$$

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ολοκληρώνοντας την εργασία μας παρατηρούμε ότι οι γνώσεις περί οδοποιίας ισχύουν σε διεθνές επίπεδο και το επάγγελμα του μηχανικού μπορεί να ασκηθεί από τον οποιαδήποτε μηχανικό σε άλλη Χώρα.

Φυσικά κάθε Χώρα έχει τις ιδιομορφίες της που προκύπτουν είτε από την ισχύουσα νομοθεσία είτε από τις κλιματολογικές συνθήκες. Όμως βασικός στόχος του μηχανικού ανεξαρτήτου Χώρας και συνθηκών είναι η ορθή εφαρμογή της προβλεπόμενης μελέτης και της αυστηρής επίβλεψης κατά την διάρκεια διαφόρων σταδίων της κατασκευής, έτσι ώστε κατά την παράδοση της οδού (σε όποια κατηγορία κ αν ανήκει) να παρέχει την μέγιστη ασφάλεια κ άνεση της κυκλοφορίας των οχημάτων.

Για να μειωθούν επιτέλους στο ελάχιστο δυνατό τα τροχαία δυστυχήματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΣΧΕΔΙΟ Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ), Τεύχος 3 : Χαράξεις (ΟΜΟΕ-Χ), Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. , Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων, Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας, ΣΧΕΔΙΟ 2013.
2. «Σημειώσεις Οδοποιίας Ι», Β. Ψαριανός, Εργαστήριο Συγκοινωνιακής Τεχνικής, ΕΜΠ/ΤΑΤΜ, 2001.
3. «Στοιχεία Οδοποιίας», Ι. Κοφίτσας, Εκδόσεις «ΙΩΝ», 1997.
4. Caterpillar Performance Handbook, 9th edition, Peoria, Illinois, USA, 1978.
5. Day, D.A., Construction Equipment Guide, J. Willey and Sons, 1973.
6. EN 12591, Bitumen and bituminous binders — Specifications for paving grade bitumens
7. Abaza, K.A., 2002. Optimum flexible pavement life-cycle analysis model. Journal of Transportation Engineering, 128(6), 542– 549.
8. Daniel, J.S. and Ghassan, R.C., 2008. Use of RAP mixtures mechanistic empirical pavement design guide.
9. Tangarina J. (2011) Análise comparativa de metodologias para a avaliação da condições de fundação de pavimentos rodoviários. Dissertação de Mestrado.
10. Branco P., Pereira P. Santos LP (2005). Pavimentos Rodoviários. Edições Almedina, Coimbra.
11. Huang Y. (2004) Pavement Analysis and Design. Pearson Prentice Hall.
12. Read J., Whiteoak D. (2003) the Shell bitumen Handbook. Thomas Telford.
13. Pereira_Pais_2017_Main flexible pavement and mix design methods in Europe and challenges.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ - ΠΙΝΑΚΩΝ

Εικόνα 1. Rigid and Flexible Pavement Load Distribution	20
Εικόνα 2. Flexible Pavement Structure	22
Εικόνα 3. Limerock Base Course Undergoing Final Grading	23
Εικόνα 4. Basic pavement rigid structure	26
Εικόνα 5. PCC Surface	Rigid Pavement (Surface course)
Thickness	27
Εικόνα 6. Completed CTB with Curing Seal	28
Εικόνα 7. Empirical pavement design framework	30
Εικόνα 8	35
Εικόνα 9	39
Πίνακας 1. Pavement design period	42
Πίνακας 2. Types of the vehicles, vehicles from f item are included in the pavement design	44
Πίνακας 3. Aggressive factor, “Manual de concepção de pavimentos para a rede rodoviária nacional”	44
Πίνακας 4. Classification of foundations, “Manual de concepção de pavimentos para a rede rodoviária nacional”	46
Πίνακας 5. Dependence between soil and foundation, “ Manual de concepção de pavimentos para a rede rodoviária nacional”	46
Πίνακας 6. Layer in non-bonded materials	47
Πίνακας 7. Granular materials	48

Πίνακας 8. Deformability characteristics of granular materials:	48
Πίνακας 9. Hot asphalt mixtures characteristics:	49
Πίνακας 10. Volumetric characteristics of hot bituminous mixtures	49
Πίνακας 11. Classes of bitumen to be used for hot bituminous mixtures	50