

**ΕΝΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ- ΕΒΗΠΑΡ  
ΕΠΙΜΟΡΦΩΤΙΚΟ ΣΕΜΙΝΑΡΙΟ ΓΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥΣ  
ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ**

**ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΜΕ ΣΤΡΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΚΑΤΕΡΓΑΣΜΕΝΑ ΜΕ  
ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΚΟΝΙΕΣ ΑΔΡΑΝΗ Η΄ ΕΛΑΦΙΚΑ ΥΛΙΚΑ**

**Σ. ΚΟΛΙΑΣ - Μ. ΚΑΤΣΑΚΟΥ**

**ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2008**

**ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΜΕ ΣΤΡΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΚΑΤΕΡΓΑΣΜΕΝΑ ΜΕ  
ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΚΟΝΙΕΣ ΑΔΡΑΝΗ Ή ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΕΔΑΦΙΚΑ  
ΥΛΙΚΑ  
ΗΜΙΑΚΑΜΠΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ**

**Εισαγωγή - Ορισμοί**

Το οδόστρωμα είναι μία κατασκευή η οποία έχει σκοπό να εξασφαλίσει την απαιτούμενη ποιότητα κύλισης των οχημάτων για όλο το χρονικό διάστημα λειτουργίας του. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει να εξασφαλίζεται :

1. Η μετάδοση στο έδαφος των φορτίων των κυκλοφορούντων οχημάτων ελαττωμένων σε τέτοιο βαθμό, που να αποτρέπονται ανεπίτρεπτες σε μέγεθος μόνιμες παραμορφώσεις.
2. Η δομική επάρκεια του ίδιου του οδοστρώματος στις επαναλαμβανόμενες επιπονήσεις της κυκλοφορίας και του περιβάλλοντος δηλ αποφυγή ρηγματώσεων, παραμορφώσεων και αποφλοιώσεων.
3. Η προστασία του εδάφους θεμελίωσης του οδοστρώματος από τις επιδράσεις του περιβάλλοντος (παγετός, νερό), οι οποίες θα προκαλέσουν απώλεια φέρουσας ικανότητας και μόνιμες παραμορφώσεις.
4. Η διατήρηση ενός ελάχιστου επιτρεπόμενου επίπεδου αντιολισθητικών χαρακτηριστικών της στρώσεως κύλισης.

Δομικά ένα εύκαμπτο οδόστρωμα ή ένα οδόστρωμα με στρώσεις από κατεργασμένες με υδραυλικές κονίες αδρανή (ημιάκαμπτο οδόστρωμα) ή ένα οδόστρωμα με στρώση έδρασης από σταθεροποιημένα επιτόπου εδαφικά υλικά περιλαμβάνει (Σχήμα 1):

- Τις **ασφαλτικές στρώσεις**, με συνολικό πάχος που συνήθως κυμαίνεται - ανάλογα με την κυκλοφορία - από περίπου 4 cm έως 35 cm . Οι ασφαλτικές στρώσεις αποτελούνται από:
  - τη στρώση κύλισης, η οποία πρέπει να εξασφαλίζει τα απαιτούμενα αντιολισθητικά χαρακτηριστικά και την απαιτούμενη

ομαλότητα με πάχος, που ανάλογα με το αντιολισθητικό ασφαλτόμιγμα που χρησιμοποιείται, κυμαίνεται συνήθως από μερικά mm μέχρι 50 mm

- ο τη συνδετική στρώση, η οποία αποτελεί μαζί με την υποκείμενη ασφαλική βάση τις κυρίως φέρουσες ασφαλικές στρώσεις.
- ο Την ασφαλική βάση, η οποία στα αμιγώς εύκαμπτα οδοστρώματα επιπονείται σε κόπωση ενώ στα ημιάκαμπτα οδοστρώματα μπορεί να παραληφθεί.

- Τις **στρώσεις βάσης** που στα
  - ο αμιγώς εύκαμπτα οδοστρώματα αποτελείται από καλώς διαβαθμισμένο θραυστό «ασύνδετο» αμμοχάλικο πάχους 10 cm έως 30 cm (ΕΛΟΤ /EN 13242)
  - ο ημιάκαμπτα οδοστρώματα αποτελείται από στρώση σταθεροποιημένου/κατεργασμένου αμμοχάλικου πάχους 15 cm έως 35 cm (ΕΛΟΤ/EN 14227- 1, 2, και 3)
- Τις **στρώσεις υπόβασης** που στα
  - ο αμιγώς εύκαμπτα οδοστρώματα αποτελείται από καλώς διαβαθμισμένο «ασύνδετο» αμμοχάλικο (συλλεκτό ή θραυστό) πάχους 10 έως 30 cm (ΕΛΟΤ /EN 13242)
  - ο ημιάκαμπτα οδοστρώματα μεγάλης κυκλοφορίας αποτελείται από στρώση από σταθεροποιημένο/κατεργασμένο αμμοχάλικο πάχους 15 cm έως 25 cm ΕΛΟΤ/EN 14227- 1, 2, και 3

Σε ορισμένες περιπτώσεις (μέτρια κυκλοφορία, μεγάλη φέρουσα ικανότητα της στρώσης έδρασης) η υπόβαση μπορεί να παραληφθεί, όταν η στρώση βάσης κατασκευαστεί σε μεγάλο πάχος (πχ 30 ή 35 cm).

- Τη **στρώση έδρασης** η οποία είναι
  - ο μία στρώση πάχους, συνήθως 50 cm - 70 cm, επιλεγμένου εδαφικού υλικού ή μεταφερόμενου θραυστού ή φυσικού - συλλεκτού αμμοχαλικού (χωρίς αυστηρές απαιτήσεις ως προς την διαβάθμιση)
  - ο μία ή δύο στρώσεις από σταθεροποιημένο εδαφικό υλικό (EN 14227-10 έως και 14) συνολικού πάχους 40 cm - 60 cm. Στις περιπτώσεις αυτές, ανάλογα με τα μηχανικά χαρακτηριστικά του σταθεροποιημένου υλικού, είναι δυνατόν να γίνουν σημαντικές μειώσεις στα πάχη των στρώσεων του

οδοστρώματος και ειδικότερα στις ασφαλτικές στρώσεις. Σημειώνεται ότι τα τελευταία χρόνια τα οδοστρώματα με σταθεροποιημένες στρώσεις έδρασης παρουσιάζουν σημαντικά οικονομικά, περιβαλλοντικά και τεχνικά πλεονεκτήματα και βρίσκουν εκτεταμένη εφαρμογή.

<b>Ευκάμπτο οδόστρωμα</b>	<b>Ημιάκαμπτο οδόστρωμα 1 στρώση</b>	<b>Ημιάκαμπτο οδόστρωμα 2 στρώσεις</b>
Ασφαλτικές στρώσεις 4- 35 cm	Ασφαλτικές στρώσεις 6 - 18 cm	Ασφαλτικές στρώσεις 6 - 18 cm
Βάση Θραυστό αμμοχάλικο 10 - 30 cm	Κατεργασμένη στρώση 20 - 35 cm	Κατεργασμένη στρώση 15 - 25 cm
Υπόβαση Αμμοχάλικο 10 - 30 cm	Στρώση έδρασης	Κατεργασμένη στρώση 15 - 25 cm
Στρώση έδρασης (Επιλεγμένο εδαφικό υλικό ή συλλεκτό αμμοχάλικο) 50 - 70 cm	Φυσικό έδαφος ή επίχωμα	Στρώση έδρασης
Φυσικό έδαφος ή επίχωμα		Φυσικό έδαφος ή επίχωμα

**Οδόστρωμα με στρώση έδρασης από  
σταθεροποιημένο επιτόπου εδαφικό υλικό**

Ασφαλτικές στρώσεις
Βάση από θραυστό ασύνδετο αμμοχάλικο ή από κατεργασμένη με υδραυλικές κονίες στρώση
Υπόβαση από ασύνδετο αμμοχάλικο ή από κατεργασμένη με υδραυλικές κονίες στρώση
Στρώση έδρασης από σταθεροποιημένο επιτόπου εδαφικό υλικό
Φυσικό έδαφος

○  
Σχήμα 1: Δομή ευκάμπτων και ημιακάμπτων οδοστρωμάτων

## **2. Σταθεροποιημένα/κατεργασμένα με υδραυλικές κονίες εδαφικά ή κοκκώδη υλικά - Ευρωπαϊκά Πρότυπα**

Πρόκειται για μίγματα εδαφικών υλικών ή αδρανών υλικών αναμεμιγμένων με υδραυλικές κονίες και νερό. Μετά την ανάμιξή τους διαστρώνονται στο προς κατασκευή οδόστρωμα, σε στρώσεις προκαθορισμένου πάχους και συμπυκνώνονται, συνήθως με οδοστρωτήρα και σε σπανιότερες περιπτώσεις με ειδικά μηχανήματα. Οι στρώσεις που κατασκευάζονται με τον τρόπο αυτό αποτελούν τη βάση, την υπόβαση ή τη στρώση έδρασης του οδοστρώματος. Οι στρώσεις αυτές έχουν μεγάλη φέρουσα ικανότητα σε σχέση με τις αντίστοιχες στρώσεις που κατασκευάζονται από ασύνδετα υλικά και για τον λόγο αυτό το απαιτούμενο πάχος των ασφαλτικών στρώσεων είναι μειωμένο.

Τα κατεργασμένα μίγματα διακρίνονται ανάλογα με το υλικό που υφίσταται κατεργασία σε:

- Εδαφικά υλικά σταθεροποιημένα με υδραυλικές κονίες
- Κοκκώδη αδρανή υλικά (φυσικά - συλλεκτά ή θραυστά λατομείου ή φυσικές αποθέσεις) κατεργασμένα με υδραυλικές κονίες

Η πρώτη κατηγορία αφορά εργασίες που, κατά κανόνα, γίνονται επιτόπου με ειδικά αναμοχλευτικά - αναμικτικά μηχανήματα (φρέζες) χρησιμοποιώντας το επιτόπου εδαφικό υλικό, χωρίς μεταφορές υλικών (από το εργοτάξιο στον τόπο ανάμιξης και αντιστρόφως). Η δεύτερη συνήθως εκτελείται με ανάμιξη των αδρανών υλικών σε κεντρική εγκατάσταση ανάμιξης και στη συνέχεια με μεταφορά στη θέση κατασκευής του οδοστρώματος με ανατρεπόμενα αυτοκίνητα, διάστρωση με περαιωτές (finishers που έχουν υποστεί κάποιες τροποποιήσεις για να μπορούν να διαστρώνουν πάχη στρώσεων μέχρι και 30 cm ) και συμπύκνωση του μίγματος με δονητικούς οδοστρωτήρες. Το συμπυκνωμένο μίγμα προφυλάσσεται από εξάτμιση του περιεχόμενου νερού με επάλειψη με ασφαλτικό γαλάκτωμα ή σπανιότερα, με συχνά καταβρέγματα. Αν το μίγμα πληροί ορισμένες απαιτήσεις (συνήθως το μίγμα πρέπει να έχει  $CBR > 60$ ) η κυκλοφορία των αυτοκινήτων επιτρέπεται αμέσως μετά το πέρας της συμπύκνωσης, εφ' όσον ληφθούν μέτρα για την αποφυγή επιφανειακών φθορών (όπως ροδιές ή αποφλοιώσεις από απότομες αλλαγές επιτάχυνσης ή από απότομες

στροφές κ.α). Εννοείται ότι η ασφαλική επάλειψη προστατεύεται με διασκορπισμό ψηφίδας. Στις περιπτώσεις που δεν ικανοποιούνται οι προαναφερθείσες απαιτήσεις τότε απαγορεύεται η κυκλοφορία φορτηγών αυτοκινήτων επί τουλάχιστον 7 ημέρες.

Το νερό εξασφαλίζει δύο απαιτήσεις:

- Την πραγματοποίηση της χημικής αντίδρασης της υδραυλικής κονιάς, γεγονός που θα δημιουργήσει τους απαραίτητους συνδέσμους μεταξύ των κόκκων και θα βελτιώσει τα μηχανικά χαρακτηριστικά του μίγματος (αντοχή, μέτρο ελαστικότητας, φέρουσα ικανότητα)
- Την ικανοποιητική συμπίκνωση, η οποία γίνεται συνήθως με οδοστρωτήρα και σε σπάνιες περιπτώσεις με εσωτερικούς δονητές μάζας σκυροδέματος όταν χρησιμοποιούνται διαστρωτήρες ολισθαινόντων τύπων (slip-form pavers). Η απαίτηση για την μέγιστη δυνατή συμπίκνωση είναι εκείνη που καθορίζει την τελική ποσότητα του νερού που θα χρησιμοποιηθεί στο μίγμα, (βέλτιστη για συμπίκνωση υγρασία και όχι ο λόγος N/T).

Οι υδραυλικές κονίες συνήθως είναι:

- Τσιμέντο Πόρτλαντ (ΕΛΟΤ/EN 197)

Τα μίγματα ονομάζονται:

- Σταθεροποιημένα/κατεργασμένα με τσιμέντο εδαφικά υλικά (soil treated with cement) και διέπονται από την Προδιαγραφή ΕΛΟΤ/EN 14227.10
- Τσιμεντόδετα κοκκώδη μίγματα (cement bound granular mixtures) ή ΚΘΑ και διέπονται από την Προδιαγραφή ΕΛΟΤ/EN 14227.01, εφόσον τα προς κατεργασία υλικά είναι κοκκώδη αδρανή υλικά (που διέπονται από το πρότυπο ΕΛΟΤ/EN 13242) με συγκεκριμένες απαιτήσεις ως προς τη διαβάθμισή τους. Τα μίγματα πρέπει επιπλέον να ικανοποιούν ορισμένες απαιτήσεις ως προς την αντοχή ή και το μέτρο ελαστικότητας

Η παλαιά ονομασία για τα παραπάνω μίγματα είναι ΣΕΥ για τα εδαφικά υλικά σταθεροποιημένα/κατεργασμένα με τσιμέντο(σταθεροποιημένα εδαφικά υλικά) και ΚΘΑ για τα αμμοχάλικα (κατεργασμένα θραυστά αμμοχάλικα).

- Πυριτική ή Ασβεστούχος Ιπτάμενη Τέφρα (σύμφωνα με ΕΛΟΤ/EN 14227.04)

Τα μίγματα ονομάζονται:

- Εδαφικά υλικά σταθεροποιημένα με Ιπτάμενη Τέφρα (Soil treated by fly ash) και διέπονται από την Προδιαγραφή ΕΛΟΤ/EN 14227.14
- Αδρανή κατεργασμένα με Ιπτάμενη Τέφρα (Fly ash bound mixtures) και διέπονται από την Προδιαγραφή ΕΛΟΤ/EN 14227.03. Τα αδρανή πρέπει να είναι σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ/EN 13242 και να ικανοποιούν συγκεκριμένες απαιτήσεις ως προς τη διαβάθμιση τους. Τα μίγματα πρέπει επίσης να ικανοποιούν απαιτήσεις ως προς την αντοχή ή και το μέτρο ελαστικότητας

Η Ιπτάμενη Τέφρα, ανάλογα με το είδος της, χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με πρόσθετα υλικά όπως  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{CaO}$ , τσιμέντο, γύψο ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), κοκκοποιημένη σκωρία κ.α. Τα πρόσθετα αυτά ενεργοποιούν την ποζολανική αντίδραση ή επαυξάνουν άλλες αντιδράσεις.

- Ειδικές κονίες Οδοποιίας (ENV 13282 Hydraulic Road Binders – Composition, specifications and conformity criteria)

Τα μίγματα διέπονται από τις Προδιαγραφές EN 14227.13 (Soil treated by hydraulic road binder) και EN14227.05 (Hydraulic road binder bound mixtures) ανάλογα αν το προς κατεργασία υλικό είναι εδαφικό υλικό ή αδρανές υλικό (EN 13242) με ορισμένες απαιτήσεις ως προς τη διαβάθμιση αντίστοιχα. Τα κατεργασμένα αδρανή υλικά πρέπει, όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, να ικανοποιούν απαιτήσεις ως προς την αντοχή ή και το μέτρο ελαστικότητας

- Σκωρία Υψικαμίνων (EN 14227.02) σε συνδυασμό συνήθως με υδράσβεστο (EN 14227.11) ή με τσιμέντο (EN 197.01) ή γύψο ή άλλες σκωρίες

Τα μίγματα καλύπτονται από την Προδιαγραφή EN 14227.12 για εδαφικά υλικά και από την Προδιαγραφή 14227.02 για αδρανή με απαιτήσεις ως προς τη διαβάθμιση

- Υδράσβεστος ή Άσβεστος ( EN 459)

Πρόκειται για σταθεροποίηση ή βελτίωση εδαφικών υλικών για τη χρήση των εδαφών αυτών σε στρώσεις έδρασης ή άλλες στρώσεις οδοστρωμάτων, τα οποία διαφορετικά δεν θα ήταν δυνατόν να χρησιμοποιηθούν. Η Προδιαγραφή που διέπει τα υλικά αυτά είναι EN 14227.11

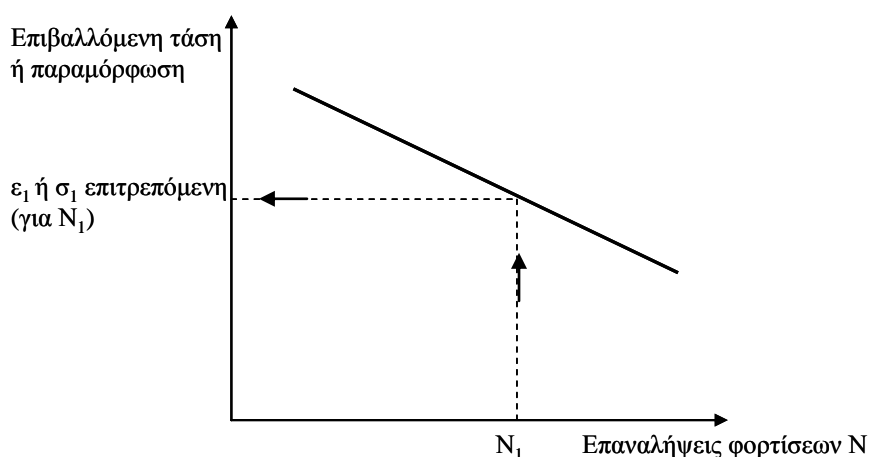
Πρέπει να τονιστεί ότι όλα τα παραπάνω αναφερόμενα Πρότυπα EN αφορούν κατηγοριοποίηση των μιγμάτων ως προς ορισμένες απαιτήσεις υλικών και μιγμάτων

και επίσης περιλαμβάνουν έλεγχο παραγωγής αυτών αλλά δεν περιλαμβάνουν καμία οδηγία ή απαίτηση για την κατασκευή των στρώσεων.

Είναι χαρακτηριστικό της σημασίας που αποδίδεται στα θέματα αυτά από την Ευρωπαϊκή Ένωση, το γεγονός της σύνταξης μεγάλου αριθμού τέτοιων λεπτομερών Προτύπων και Προδιαγραφών, που σκοπό έχουν να εναρμονίσουν την ποιότητα των υλικών οδοστρώσεως στην Ένωση. Εντούτοις, τα Πρότυπα αυτά δεν έχουν - προς το παρόν - υποχρεωτική μορφή και δεν περιλαμβάνουν το Προσάρτημα ΖΑ.

### 3. Βασικές αρχές υπολογισμού των οδοστρωμάτων - Συμβολή των κατεργασμένων στρώσεων στη συμπεριφορά των οδοστρωμάτων

Ο υπολογισμός του απαιτούμενου πάχους των οδοστρωμάτων γίνεται με ανάλυση και υπολογισμό των αναπτυσσόμενων τάσεων και παραμορφώσεων σε διάφορες κρίσιμες θέσεις του οδοστρώματος και σύγκριση αυτών με τα επιτρεπόμενα μεγέθη που καθορίζονται από την αντοχή σε κόπωση των υλικών (αντοχή σε επαναλαμβανόμενες φορτίσεις). Αναλυτικότερα, ο καθορισμός της επιτρεπόμενης τιμής της αντοχής ή της παραμόρφωσης γίνεται με βάση τον εργαστηριακά προσδιορισμένο νόμο κόπωσης του υλικού, ο οποίος παρέχει την σχέση μεταξύ της επιβαλλόμενης τάσης ή παραμόρφωσης και του αριθμού των επαναλήψεων των φορτίσεων που μπορούν να πραγματοποιηθούν πριν το υλικό αστοχήσει, Σχήμα 2.

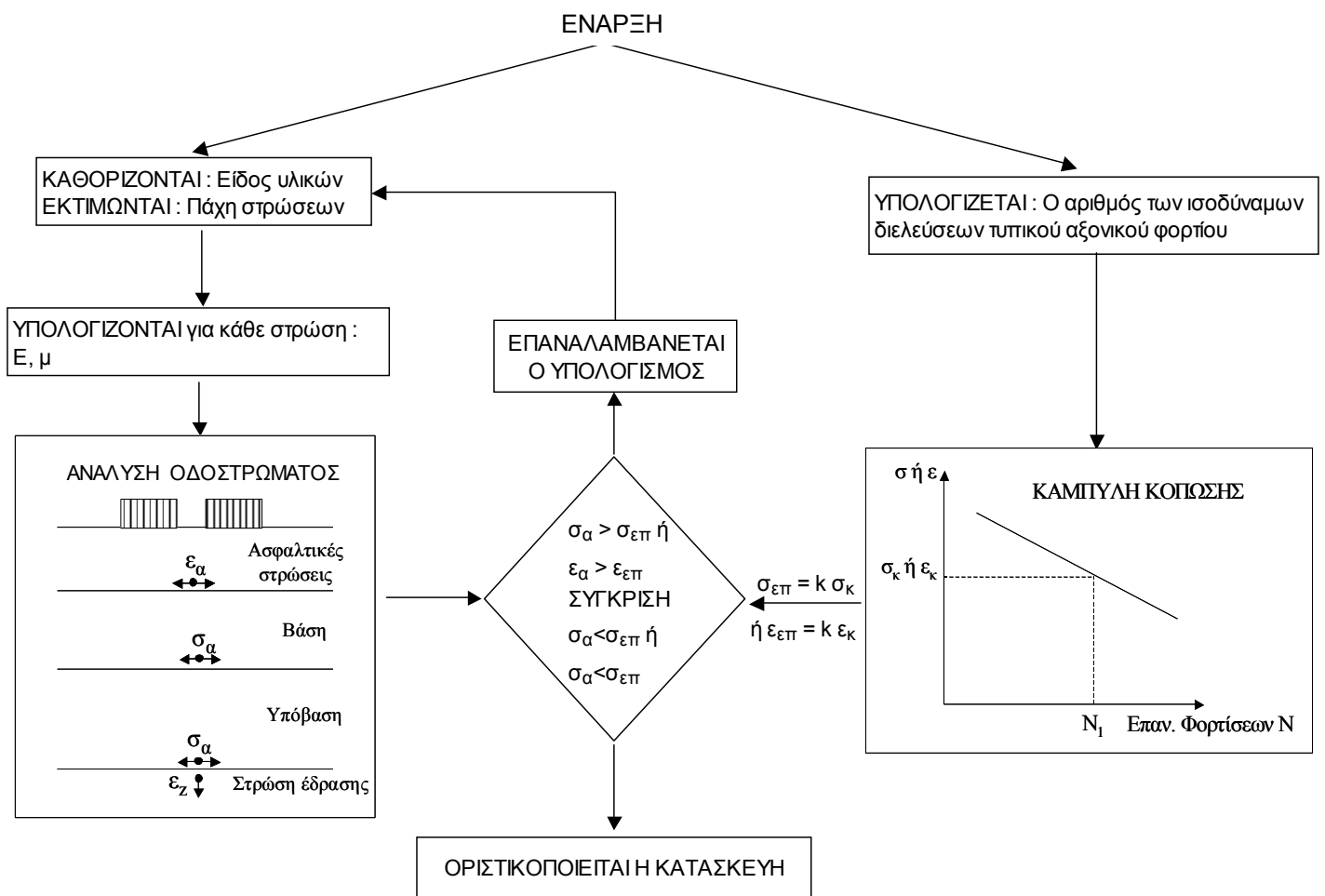


Σχ 2. : Προσδιορισμός της επιτρεπόμενης τιμής της επιβαλλόμενης τάσης ή παραμόρφωσης από τις προβλεπόμενες επαναλήψεις φορτίσεων



Για να ληφθούν υπόψη οι διαφορές μεταξύ εργαστηρίου και πραγματικού οδοστρώματος χρησιμοποιούνται ορισμένοι συντελεστές προσαρμογής (βαθμονόμηση του εργαστηριακού νόμου).

Οι αρχές του υπολογισμού αυτού παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.



Σχήμα 3: Γενική αρχή αναλυτικού υπολογισμού οδοστρώματων

Γενικά οι κατεργασμένες με υδραυλικές κονίες στρώσεις αμμοχαλίκων έχουν μεγάλη φέρουσα ικανότητα (μεγαλύτερη από εκείνη των ασφαλτικών στρώσεων) με αποτέλεσμα να είναι εκείνες που αναλαμβάνουν τα φορτία και επιπονούνται περισσότερο. Για το λόγο αυτό, η διαστασιολόγηση των στρώσεων αυτών πρέπει να γίνει με ιδιαίτερη προσοχή και ακρίβεια. Στις περιπτώσεις οδοστρώματων με

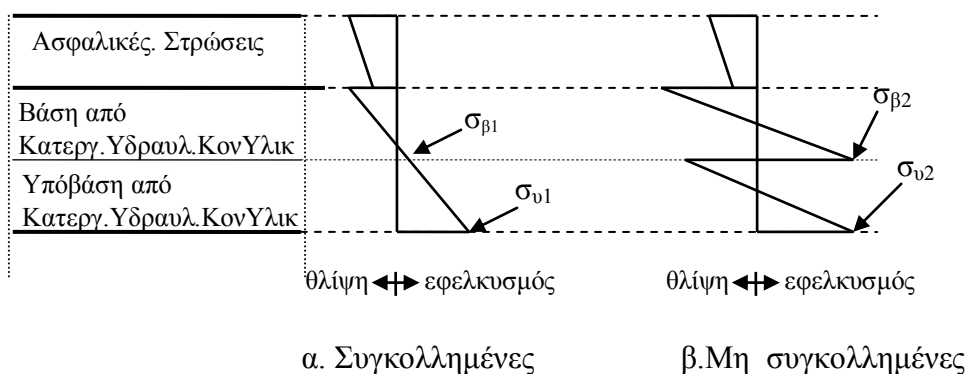
κατεργασμένες με υδραυλικές κονίες στρώσεις, οι ασφαλικές στρώσεις δεν επιπονούνται σε εφελκυσμό και επομένως δεν κινδυνεύουν από κόπωση και το πάχος τους καθορίζεται από πρακτικούς λόγους αποφυγής ρωγμών από ανάδυση.

Στην περίπτωση υπολογισμού ευκάμπτων οδοστρωμάτων υπολογίζονται οι οριζόντιες παραμορφώσεις στον πυθμένα της ασφαλικής στρώσης ( $\epsilon_a$ ) και οι κατακόρυφες παραμορφώσεις στην επιφάνεια της στρώσης έδρασης ( $\epsilon_z$ ), για τον υπολογισμό ημιάκαμπτων οδοστρωμάτων υπολογίζονται οι οριζόντιες τάσεις στον πυθμένα της ανακυκλωμένης στρώσης ( $\sigma_a$ ) και οι κατακόρυφες παραμορφώσεις στην επιφάνεια της στρώσης έδρασης ( $\epsilon_z$ ). Δεν απαιτείται ο υπολογισμός των παραμορφώσεων των ασφαλικών στρώσεων, αφού δεν επιπονούνται σε εφελκυσμό και επομένως δεν κινδυνεύουν από κόπωση. Συνεπώς, το πάχος τους καθορίζεται από πρακτικούς λόγους, άρα προκύπτει σημαντική οικονομική διαφορά στο κόστος υπέρ των ημιακάμπτων οδοστρωμάτων, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις μέσης ή μεγάλης κυκλοφορίας. Ο υπολογισμός του πάχους του οδοστρώματος αφορά κυρίως τις κατεργασμένες στρώσεις οι οποίες επιπονούνται σε εφελκυσμό από κάμψη. Οι αναπτυσσόμενες τάσεις πρέπει να επιτρέπουν ένα αριθμό επαναλήψεων φορτίσεων που δεν πρέπει να είναι μικρότερος από τις προβλεπόμενες από την κυκλοφορία φορτίσεις. Ο έλεγχος αυτός γίνεται με σύγκριση των επιτρεπόμενων επαναλήψεων φορτίσεων, με τις προβλεπόμενες από την κυκλοφοριακή μελέτη επαναλήψεις φορτίσεων. Οι επιτρεπόμενες φορτίσεις εκτιμούνται με βάση τον νόμο κόπωσης από την τιμή της αναπτυσσόμενης τάσης που υπολογίζεται. (πχ για αναπτυσσόμενη τάση  $\sigma_1$  προκύπτει από το σχήμα 2 ότι οι επιτρεπόμενες επαναλήψεις φορτίσεων είναι  $N_1$ ). Στην περίπτωση ημιακάμπτων οδοστρωμάτων τα οποία έχουν τη βάση και την υπόβαση από κατεργασμένα με υδραυλικές κονίες υλικά ο υπολογισμός συνιστάται να γίνεται υπό 2 συνθήκες:

Συνθήκη 1 θεωρείται ότι οι δύο στρώσεις είναι μεταξύ τους συγκολλημένες και οι δύο στρώσεις ουσιαστικά λειτουργούν ως μία ενιαία στρώση (αναπτυσσόμενες τάσεις:  $\sigma_{b1}$  στον πυθμένα της βάσης και  $\sigma_{v1}$  στον πυθμένα της υπόβασης βλ Σχ 4α)

Συνθήκη 2 θεωρείται ότι οι δύο στρώσεις δεν είναι μεταξύ τους συγκολλημένες (δηλ υπάρχει δυνατότητα σχετικής μετακίνησης στη διεπιφάνεια) οπότε οι στρώσεις λειτουργούν ως ανεξάρτητες στρώσεις και κάθε μία αναπτύσσει στον πυθμένα

της τάσεις εφελκυσμού ( $\sigma_{\beta 2}$  στη βάση και  $\sigma_{\nu 2}$  στην υπόβαση βλ Σχ4β)



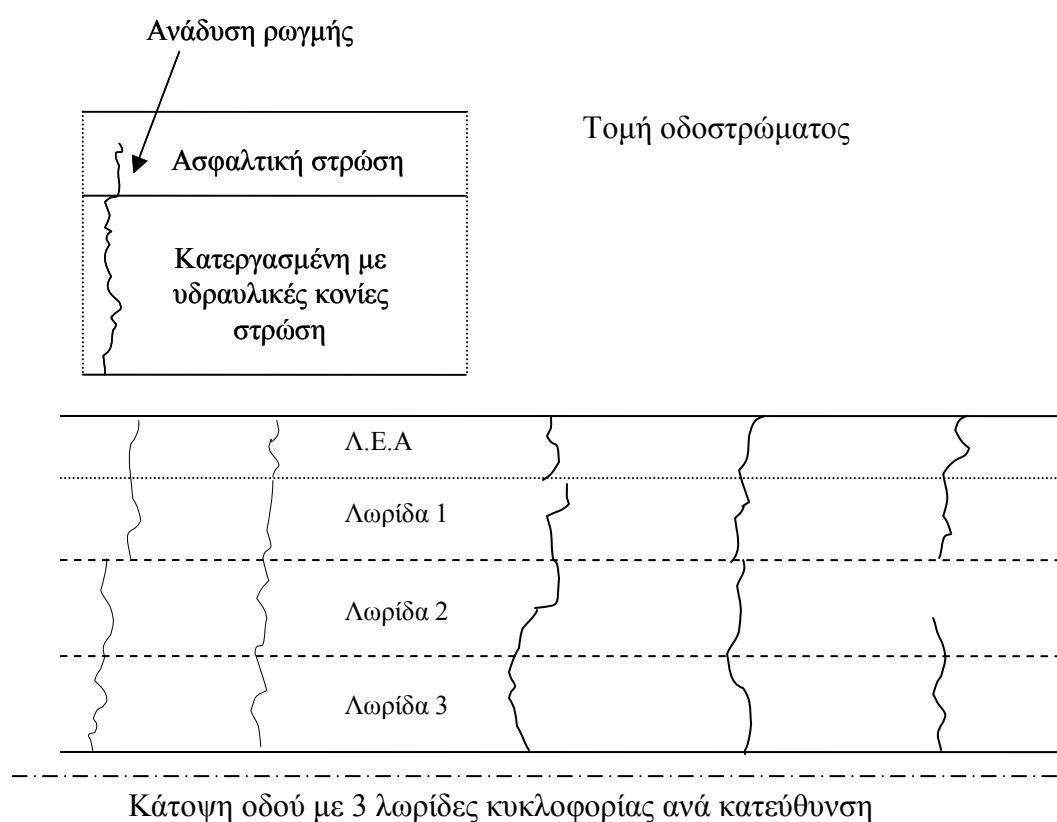
Σχήμα 4: Υπολογισμός τάσεων σε οδόστρωμα με βάση και υπόβαση από κατεργασμένα με υδραυλικές κονίες υλικά

Η θεώρηση ότι δεν υπάρχει συγκόλληση μεταξύ των δύο στρώσεων και επομένως επιτρέπεται ελεύθερα η σχετική μετακίνηση των δύο στρώσεων κατά τη διεπιφάνεια είναι στην πραγματικότητα εξαιρετικά δυσμενής συνθήκη διότι στη διεπιφάνεια αναπτύσσεται οπωσδήποτε σημαντική τριβή που εμποδίζει την οριζόντια μετακίνηση. Με βάση τις Γαλλικές Οδηγίες υπολογισμού η διαστασιολόγηση της βάσης και της υπόβασης γίνεται με το ημιάθροισμα  $(\sigma_{\beta 1} + \sigma_{\beta 2})/2$  και  $(\sigma_{\nu 1} + \sigma_{\nu 2})/2$  αντίστοιχα.

Το μειονέκτημα των κατεργασμένων με υδραυλικές κονίες αμμοχαλικωδών στρώσεων είναι ότι αναπτύσσουν εγκάρσιες προς τον άξονα της οδού ρωγμές (Σχήμα 4) που οφείλονται στην παρεμπόδιση των παραμορφώσεων που επιβάλλονται κυρίως λόγω των θερμοκρασιακών μεταβολών (ημέρα - νύχτα). Οι ρωγμές αυτές μπορούν να ληφθούν υπόψη στον υπολογισμό του οδοστρώματος έτσι ώστε να μην δημιουργούν δομική ανεπάρκεια στη στρώση. Εντούτοις, η παρουσία τους προκαλεί με τον χρόνο την ανάδυσή τους στην επιφάνεια του οδοστρώματος με δύο σοβαρές συνέπειες:

1. δημιουργία εντύπωσης αστοχίας του οδοστρώματος και επομένως απόρριψη αυτού από τους χρήστες

2. δημιουργία δυνατότητας διείσδυσης του νερού στις κατώτερες στρώσεις και ανάπτυξης του φαινομένου της «άντλησης νερού και λεπτών υλικών» (pumping) με αποτέλεσμα την επιτάχυνση της καταστροφής του οδοστρώματος. Οι ρωγμές αυτές πρέπει να σφραγίζονται με ειδικό ασφαλτικό σφραγιστικό μίγμα με ειδική απλή μικρού κόστους τεχνική γεφύρωσης του ανοίγματος της ρωγμής. Εντούτοις, οι σφραγισμένες αυτές ρωγμές επαυξάνουν την αρνητική εντύπωση για το οδόστρωμα που έχουν οι χρήστες, με αποτέλεσμα οι αρχές και οι παραχωρησιούχοι να μην επιλέγουν αυτό το είδος των οδοστρωμάτων παρόλη τη διαφορά κόστους.



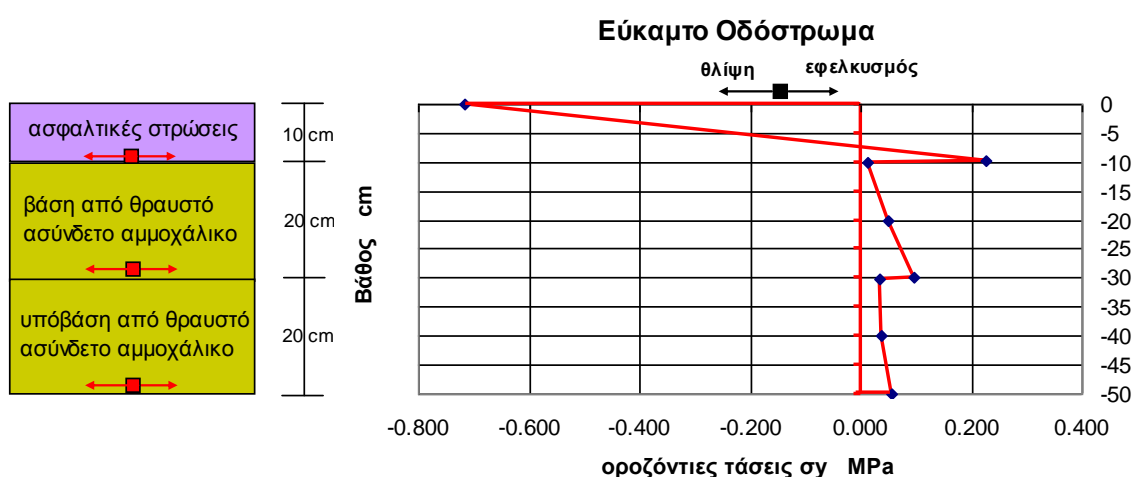
Σχήμα 4: Ανάδυση ρωγμών στην επιφάνεια της στρώσης κυκλοφορίας

Τα τελευταία χρόνια αναπτύχθηκε η τεχνική της προρηγμάτωσης της κατεργασμένης στρώσης σε αποστάσεις περί τα 3 m. Με την προρηγμάτωση επιτυγχάνεται μείωση του ανοιγοκλεισίματος των ρωγμών και αύξηση της συνεργασίας μεταξύ των δύο τμημάτων της στρώσης εκατέρωθεν της ρωγμής με αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση των αναδύσεων των ρωγμών στην επιφάνεια της ασφαλτικής στρώσης. Έχουν αναπτυχθεί επίσης και ειδικά μηχανήματα τα οποία εκτελούν την προρηγμάτωση

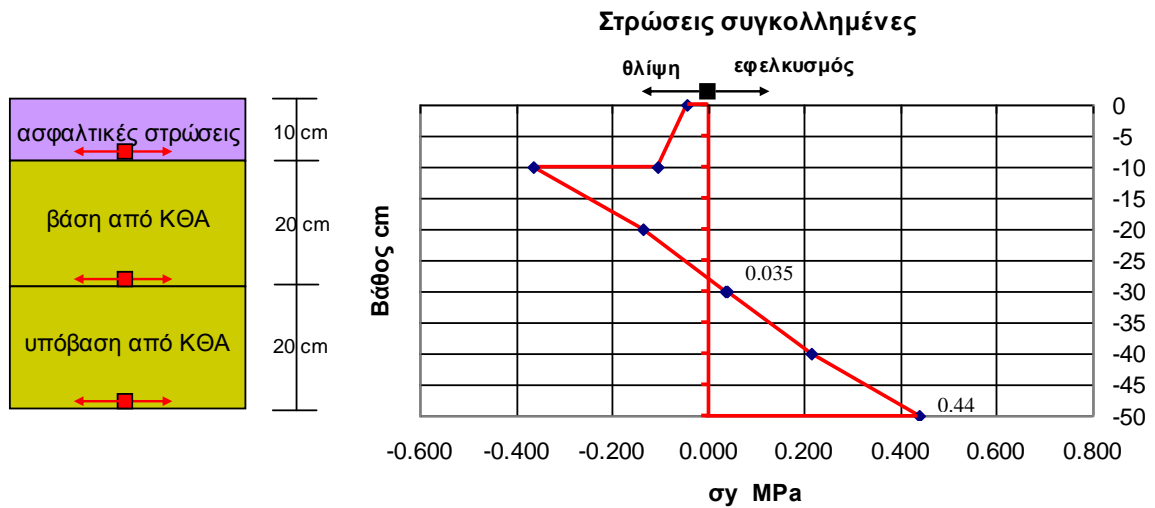
γρήγορα και οικονομικά. Φαίνεται ότι στο μέλλον οι κατεργασμένες με υδραυλικές κονίες στρώσεις θα κατασκευάζονται με προρηγμάτωση και θα έχουν απαλλαγεί από το μειονέκτημα της ανάδυσης των ρωγμών. Η προρηγμάτωση επαυξάνει το κόστος της κατασκευής της στρώσεως κατά περίπου 10%.

#### 4. Υπολογισμός πάχους οδοστρωμάτων

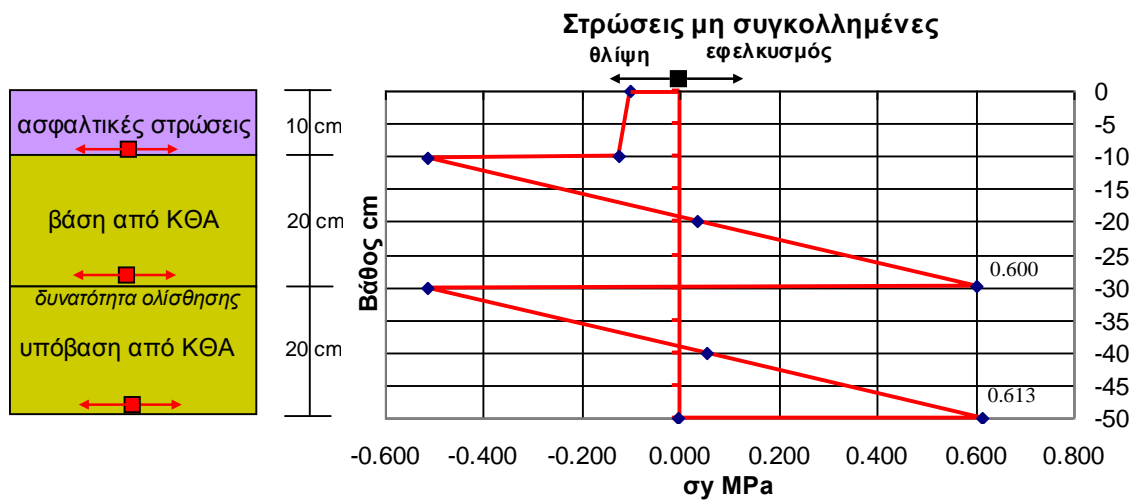
Για να αποκτηθεί μία εικόνα της εσωτερικής εντατικής κατάστασης που αναπτύσσεται στα οδοστρώματα, στα Σχήματα 5,6α και 6β παρουσιάζονται οι αναπτυσσόμενες τάσεις σε ένα αμιγώς εύκαμπτο οδόστρωμα (Σχ5) και σε ένα ημιάκαμπτο οδόστρωμα (Σχ6). Η φόρτιση γίνεται με φορτίο άξονα 13 t επί διπλών τροχών (Σχ7). Στην περίπτωση του ημιάκαμπτου οδοστρώματος, η ανάλυση των τάσεων έγινε με τις παραδοχές α) πλήρους συγκόλλησης (συνεργασίας) των δύο στρώσεων (Σχ6α) και β) παντελούς έλλειψης συνεργασίας (συγκόλλησης) των δύο στρώσεων (Σχ6β) (δυνατότητα ολίσθησης μεταξύ των δύο στρώσεων). Στην περίπτωση (α) οι δύο στρώσεις λειτουργούν ως ενιαία στρώση ενώ στην περίπτωση (β) οι δύο στρώσεις λειτουργούν ανεξάρτητα η μία της άλλης.. Είναι φανερό ότι οι αναπτυσσόμενες τάσεις είναι σημαντικά μεγαλύτερες όταν δεν είναι συγκολλημένες οι δύο στρώσεις.. Για τον λόγο αυτό πρέπει να καταβάλλεται κάθε δυνατή προσπάθεια ώστε κατά τη κατασκευή οι δύο στρώσεις να συγκολληθούν.



Σχήμα 6: Αναπτυσσόμενες τάσεις σε εύκαμπτο οδόστρωμα



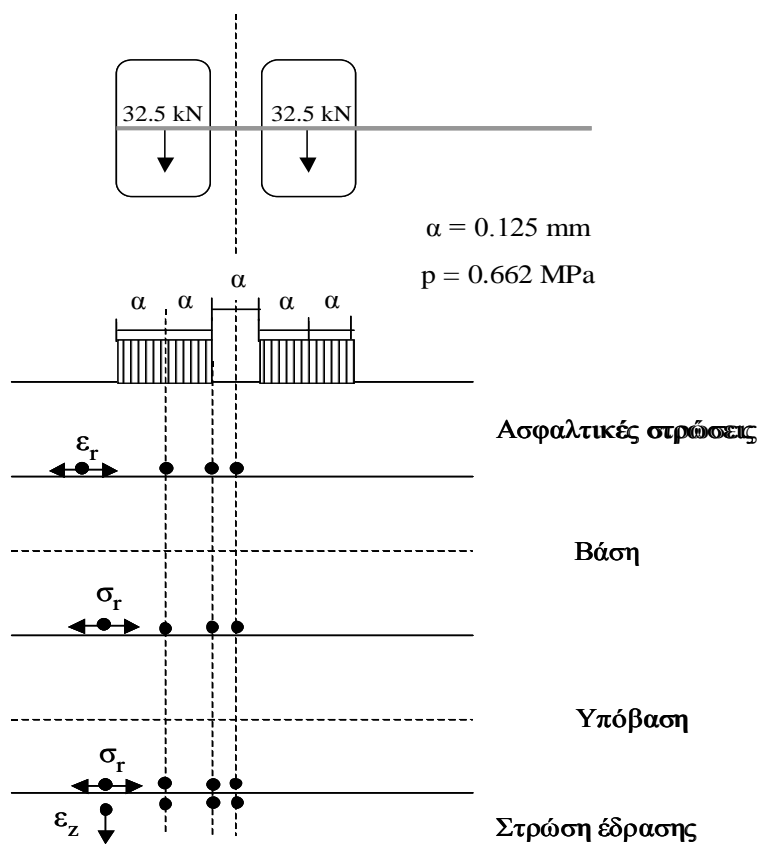
Σχήμα 6α : Αναπτυσσόμενες καμπτικές τάσεις σε ημιάκαμπτο οδόστρωμα για κατεργασμένες στρώσεις πλήρως συγκολλημένες.



Σχήμα 6β : Αναπτυσσόμενες καμπτικές τάσεις σε ημιάκαμπτο οδόστρωμα για κατεργασμένες στρώσεις χωρίς συγκόλληση

Οι διάφορες Προδιαγραφές κατασκευής προβλέπουν ειδικά μέτρα για την επίτευξη αυτής της συγκόλλησης, το πλέον αξιόπιστο των οποίων είναι η διάστρωση και συμπύκνωση της υπερκείμενης στρώσης αμέσως μετά το πέρας της συμπυκνώσεως

της υποκείμενης στρώσης με συνδυασμό χρήσεως επιβραδυντικών προσθέτων που επιβραδύνουν την πήξη των υδραυλικών κονιών. Δεδομένου όμως ότι υπάρχει κίνδυνος να μην επιτευχθεί πλήρης συγκόλληση στην πράξη, οι Γαλλικές Οδηγίες Υπολογισμού των οδοστρωμάτων συνιστούν ο υπολογισμός του πάχους να γίνεται με το ημίθροισμα των τάσεων. Επομένως η ανώτερη κατεργασμένη στρώση θα υπολογιστεί για να αντέχει τις προβλεπόμενες επαναλήψεις φορτίσεων για αναπτυσσόμενη τάση ίση προς  $(0.035+0.600)/2 = 0.32$  MPa ενώ η κατώτερη για τάση ίση με  $(0.613+0.44)/2 = 0.53$  MPa.



Σχήμα 7: Φόρτιση με το φορτίο υπολογισμού και κρίσιμες θέσεις για τον υπολογισμό του πάχους των οδοστρωμάτων

Για τα παραπάνω οδοστρώματα υπολογίστηκε επίσης και η αναπτυσσόμενη κατακόρυφη τάση  $\sigma_z$  στην επιφάνεια της στρώσης έδρασης, η οποία επίσης παρουσιάζεται στα παραπάνω σχήματα. Είναι φανερό ότι η αναπτυσσόμενη τάση  $\sigma_z$

στο ημιάκαμπτο οδόστρωμα είναι το 1/6 περίπου της τάσης του αμιγώς εύκαμπτου οδοστρώματος, γεγονός που καθιστά τον έλεγχο της αστοχίας της στρώσης έδρασης συνήθως μη αναγκαίο για τα ημιάκαμπτα οδοστρώματα. Αντίθετα για τα αμιγώς εύκαμπτα οδοστρώματα ο έλεγχος αυτός αποδεικνύεται πολύ συχνά κρίσιμος.

Προκειμένου να γίνει σύγκριση κόστους μεταξύ των δύο τύπων οδοστρωμάτων, ευκάμπτων και ημιακάμπτων υπολογίζονται δύο ισοδύναμα οδοστρώματα (δηλ. ένα εύκαμπτο και ένα ημιάκαμπτο οδόστρωμα) να αντέξουν την ίδια κυκλοφορία στο ίδιο χρονικό διάστημα.

Ο υπολογισμός γίνεται με τη Γαλλική μέθοδο υπολογισμού των οδοστρωμάτων (LCPC/SETRA Conception et Dimensionnement des Structures de Chaussée) με τα ακόλουθα δεδομένα :

- Θερμοκρασία 20 °C
- Φορτίο άξονα υπολογισμού 13t κατανεμημένο σε δύο δίδυμους τροχούς, όπως φαίνεται στο Σχήμα 8
- Δύο τιμές της φέρουσας ικανότητας της στρώσης έδρασης CBR=10% CBR=20%

Ο υπολογισμός έγινε με ανάλυση συστήματος επάλληλων ελαστικών στρώσεων, με το οποίο προσομοιάζεται το οδόστρωμα, και εύρεση των αναπτυσσόμενων τάσεων και παραμορφώσεων στις κρίσιμες θέσεις που φαίνονται στο Σχήμα 8. Οι υπολογισμένες τιμές με τους κατάλληλους συντελεστές προσαρμογής και τους νόμους αστοχίας του υπό εξέταση υλικού (ασφαλτόμιγμα και εδαφικό υλικό για τα εύκαμπτα οδοστρώματα, ΚΘΑ και εδαφικό υλικό για τα ημιάκαμπτα) παρέχουν τις επιτρεπόμενες διελεύσεις του φορτίου υπολογισμού για κάθε περίπτωση πάχους στρώσεων και τύπου οδοστρώματος. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον Πίνακα 1 για δεδομένη φέρουσα ικανότητα στρώσης έδρασης (CBR=10% ή CBR=20%) και δεδομένο αριθμό συνολικών διελεύσεων φορτίων υπολογισμού (ισοδύναμων διελεύσεων). Τα άλλα στοιχεία των οδοστρωμάτων είναι προεπιλεγμένα ως ακολούθως:



- αμπα οδοστρώματα: Συνολικό πάχος στρώσης βάσης από ασύνδετο καλώς διαβαθμισμένο θραυστό αμμοχάλικο 20 cm. Συνολικό πάχος υπόβασης από ασύνδετο καλώς διαβαθμισμένο θραυστό αμμοχάλικο 20 cm.
- Ημιάκαμτα οδοστρώματα: Συνολικό πάχος ασφαλικών στρώσεων 15 cm

Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει τα απαιτούμενα πάχη εύκαμπτων και ημιάκαμπτων οδοστρωμάτων για συνολικές ισοδύναμες διελεύσεις 1.000.000 και 10.000.000 για τα εύκαμπτα οδοστρώματα και 1.300.000 και 13.000.000 για τα ημιάκαμπτα. Οι διελεύσεις αντιστοιχούν σε 3 και 27 περίπου χρόνια λειτουργίας με μέση ημερήσια κυκλοφορά 1000 εμπορικών οχημάτων και για τους δύο τύπους οδοστρωμάτων. Σημειώνεται ότι ο συντελεστής φθοράς (ο συντελεστής μετατροπής των διελεύσεων των εμπορικών οχημάτων σε ισοδύναμες διελεύσεις τυπικού άξονα 13t) θεωρήθηκε 1 για τα εύκαμπτα οδοστρώματα και 1.3 για τα ημιάκαμπτα σύμφωνα με τις Γαλλικές Οδηγίες.

Στον ίδιο Πίνακα παρουσιάζονται και οι διαφορές στα πάχη που προκύπτουν από τη σύγκριση των οδοστρωμάτων όπως και οι απαιτούμενες κατά προσέγγιση ποσότητες τσιμέντου για την παρασκευή των στρώσεων ΚΘΑ. Σημειώνεται ότι, σύμφωνα με τις Ευρωπαϊκές Προδιαγραφές κατασκευής στρώσεων βάσης και υπόβασης από ασύνδετα αμμοχάλικα, τα υλικά αυτά μεταφέρονται επιτόπου των έργων προαναμεμειγμένα με την κατάλληλη ποσότητα νερού (βέλτιστη υγρασία) και διαστρώνονται με διαστρωτήρα finisher. Επομένως το κόστος του υλικού, της ανάμιξης με νερό, της μεταφοράς, της διάστρωσης και της συμπίκνωσης δεν πρέπει να διαφέρει ουσιαστικά από το κόστος στρώσης ίσου πάχους από ΚΘΑ (που αποτελείται σχεδόν από το ίδιο αδρανές υλικό) παρά μόνο στο κόστος του τσιμέντου και στο κόστος της συντήρησης και προρηγμάτωσης του ΚΘΑ. Τα δύο τελευταία εκτιμάται ότι αποτελούν περίπου το 12 - 15 % του συνολικού κόστους της στρώσης.

Πίνακας 1: Απαιτούμενα πάχη για εύκαμπτα και ημιάκαμπτα οδοστρώματα για 1.000.000 και 10.000.000 διελεύσεις φορτίου υπολογισμού

	Ισοδύναμες Διελεύσεις	CBR στρώσης έδρασης %	Πάχος υπόβασης mm	Πάχος βάσης mm	Πάχος ασφαλτ στρώσεων mm	Διαφορά πάχους ασφαλτικών στρώσεων mm	Διαφορά πάχους ασύνδετων αδρανών mm	Τσιμέντο kg/m <sup>2</sup>
Εύκαπτα	1.000.000	10	200	200	210	60	120	26
Ημιάκαμπτα	1.300.000	10	280		150			
Εύκαπτα	10.000.000	10	200	200	320	170	80	30
Ημιάκαμπτα	13.000.000	10	320		150			
Εύκαπτα	1.000.000	20	200	200	180	30	130	25
Ημιάκαμπτα	1.300.000	20	270		150			
Εύκαπτα	10.000.000	20	200	200	280	130	100	29
Ημιάκαμπτα	13.000.000	20	300		150			