

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΔΟΠΟΪΑΣ Α.Π.Θ.

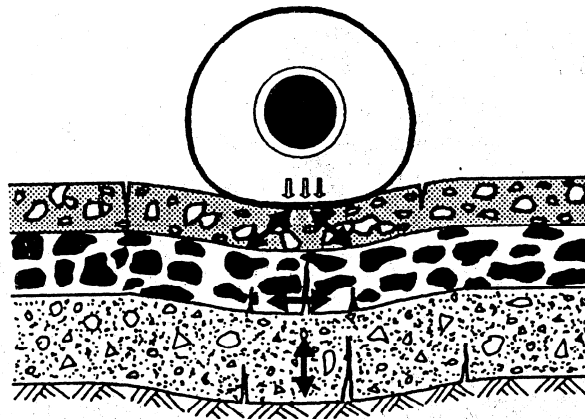
ΩΜΕΑΣ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ, ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,  
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

4

**1<sup>ο</sup> ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ**

**ΑΣΦΑΛΤΟΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ  
ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ**



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 1992

**ΤΑ ΕΥΚΑΜΠΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΣΤΗ ΔΑΣΙΚΗ ΟΔΟΠΟΙΙΑ ΚΑΙ Ο ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΣ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΤΩΝ ΣΤΡΩΣΕΩΝ ΤΟΥΣ**

**Γ. ΣΤΕΡΓΙΑΔΗΣ, Π. ΕΣΚΙΟΓΛΟΥ**

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η κατασκευή οδοστρωμένων δασικών δρόμων, είναι πολυδάπανο έργο υποδομής με ιδιαίτερη σημασία στη δασική εκμετάλλευση. Για τον λόγο αυτό απαιτείται σχεδιασμός και διερεύνηση των παραγόντων που διαμορφώνουν το πάχος και το κόστος των στρώσεων τους και που είναι: ο κυκλοφοριακός φόρτος, η σύνθεση της κυκλοφορίας (οχήματα που εξυπηρετούν ανάγκες της Δασοπονίας αλλά και άλλους σκοπούς κυρίως κοινωνικούς), η μεταφερόμενη ποσότητα ξυλείας, το είδος και η αντοχή του εδάφους καθώς και η δυνατότητα ή μη της σταθεροποίησης τους με ασβέστη ή τσιμέντο. Με δεδομένους τους παράγοντες αυτούς δίδεται η εξίσωση (4) που παρουσιάζει τον απαιτούμενο δείκτη πάχους (SN) ανθεκτικών οδοστρωμάτων για τα Ελληνικά δασικά δεδομένα. Από τη σύγκριση της αντοχής και του κόστους των εναλλακτικών λύσεων των στρώσεων γίνεται επιλογή της οικονομικότερης από αυτές.

**THE FLEXIBLE PAVEMENTS IN FOREST ROADS AND THEIR ECONOMICAL  
THICKNESS DESIGN**

**ABSTRACT**

The construction of pavements forest areas is an expensive infrastructure work, with particular emphasis in the forest exploitation. For this reason, an investigation of the factors affecting the thickness design and determining the cost of the pavement is need. Such factors are : the traffic flow with particular interest to the type and loading of vehicles, the type and carrying capacity of the subgrade as well as its stabilization (with lime or cement). Given the above factors equation (4) determines the structural number (SN) for suitable forest pavements under greek conditions. From the comparison of the strength of the pavement and the cost of the alternative solutions, selection of the most economical solution is carried out.

ΤΑ ΕΥΚΑΜΠΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΣΤΗ ΔΑΣΙΚΗ ΟΔΟΠΟΙΙΑ ΚΑΙ Ο ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΣ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΤΩΝ ΣΤΡΩΣΕΩΝ ΤΟΥΣ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΧΑΡ. ΣΤΕΡΓΙΑΔΗΣ  
Καθηγητής

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΧΡ. ΕΣΚΙΟΓΛΟΥ  
Λέκτορας

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το μήκος των δασικών δρόμων που κατασκευάστηκαν στη χώρα μας μέχρι το 1991 ανέρχεται στα 20000 km περίπου, δηλαδή σε ποσοστό 25% του συνόλου των χερσαίων δικτύων και καλύπτει τις ορεινές κυρίως περιοχές, εξυπηρετώντας εκτός από τη δασική εκμετάλλευση και τη διακίνηση - σε μεγάλο βαθμό- του πληθυσμού των ορεινών περιοχών, με αποτέλεσμα τη βελτίωση των συνθηκών της ζωής τους.

Από το συνολικό μήκος των δασικών δρόμων μόνο 3200 km είναι οδοστρωμένα, από τα οποία 148 km είναι ασφαλτοστρωμένα, ενώ τα υπόλοιπα 3052 km είναι απλά αμμοχαλικοστρωμένα ή σκυροστρωμένα.

Η δημιουργία κατάλληλου οδοστρώματος που θα εξυπηρετεί τις απαιτήσεις της κυκλοφορίας, της αντοχής, της διάρκειας ζωής και της οικονομίας, αποτελεί το τελικό στάδιο της κατασκευής της ανωδομής, όπου γίνονται οι απαραίτητες εργασίες που χρειάζονται για τη στερεοποίηση ή σταθεροποίηση του εδαφικού υλικού του καταστρώματος με διάφορα υλικά, μέσα και σύγχρονες μεθόδους κατασκευής.

Η προσπάθεια για κατασκευή οδοστρωμένων δασικών δρόμων στη χώρα μας ξεκίνησε το 1971 από τον καθηγητή Γ. Στερχιάδη, ο οποίος σε συνεργασία με τους εδαφομηχανικούς της Ένωσης Τιμμεντοβιομηχανιών Αρχυρόπουλο και Κόλλια, ερεύνησε τα εδάφη του πανεπιστημιακού δάσους Ταξιάρχη με σκοπό τη δυνατότητα ενίσχυσης του καταστρώματος των υπάρχοντων δασικών δρόμων με σταθεροποίηση του υπεδάφους με τσιμέντο.

Τα έτη 1977 και 1978 ο καθηγητής Γ. Στερχιάδης πειραματίστηκε επίσης με υλικό ιπτάμενης τέφρας που το μετέφερε από τα λιχνιτορυχεία της Πτολεμαΐδας για την κατασκευή υποθεμελίωσης και υπόβασης στους δασικούς δρόμους του πανεπιστημιακού δάσους του Πετρουλίου.

Σήμερα για την κυκλοφορία κατά τη διάρκεια όλου του έτους και για φορτηγά οχήματα μεγάλου ωφέλιμου φορτίου απαιτείται όπως το κατάστρωμα των δασικών δρόμων Α' και Β' κατηγορίας σταθεροποιηθεί με την κατασκευή ανθεκτικής και οικονομικής ανωδομής. Αυτό μπορεί να γίνει είτε με τη σταθεροποίηση του υπάρχοντος εδαφικού υλικού του καταστρώματος των δασικών δρόμων με διάφορα μέσα, είτε με την κατασκευή οδοστρώματος

διαφορών τυπων σύμφωνα με τις εφαρμοζόμενες μεθόδους στην εθνική οδοποιία.

### 1. ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

Σκοπός της σταθεροποίησης του εδαφικού υλικού είναι να μεταβάλλει τα ασταθή από τη φύση τους εδάφη σε σταθερά, ώστε η μεταβολή της αντοχής και του όγκου τους να παραμένει σε επιτρεπτά όρια, όταν επηρεάζονται από το νερό και τον παγετό. Η βελτίωση ή σταθεροποίηση του εδαφικού υλικού επιτυγχάνεται στη δασική οδοποιία με τις εξής μεθόδους, οι οποίες χρησιμοποιούνται τις τελευταίες δεκαετίες ανάλογα με τα μέσα, τις δυνατότητες και τις υφιστάμενες συνθήκες για κάθε περίπτωση ή περιοχή.

#### 1.1. Μηχανική σταθεροποίηση

Με τη μηχανική σταθεροποίηση του εδάφους επιδιώκεται η βελτίωση των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους, η οποία επιτυγχάνεται με τη μηχανική κατεργασία και με τη μεταβολή της κοκκομετρικής σύνθεσης του εδαφικού υλικού, που γίνεται με προσθήκη νέου υλικού κατάλληλης κοκκομετρικής διαβάθμισης.

Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται μίγμα που είναι ανθεκτικό στις καιρικές επιδράσεις και στην κυκλοφοριακή φόρτιση. Κατά τη μηχανική κατεργασία αναμοχλεύονται τα εδαφικά επιφανειακά στρώματα, που έχουν διαφορετική κοκκομετρική σύνθεση και σύσταση, με σκοπό να επιτευχθεί καλύτερη δομή στη σύνθεση του υλικού και ικανοποιητική βελτίωση των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη μηχανική σταθεροποίηση είναι **χαλαρά** (χάλικες, άμμος) που παρουσιάζουν αντοχή σε θλίψη και διάτμηση και **συνεκτικά** (πηλός, άργιλος) που εμφανίζουν υψηλή συνοχή και αντοχή σε θλίψη στη διάρκεια ξηρασίας.

#### 1.2. Σταθεροποίηση με ασβέστη

Με τη σταθεροποίηση του εδαφικού υλικού με ασβέστη επιδιώκεται η συμπύκνωση του μίγματος εδάφους-ασβέστη με συνθήκες άριστης υδατοχωρητικότητας, με σκοπό την κατασκευή φερόντων στρωμάτων ή τη βελτίωση του υπεδάφους για μια επιφάνεια κυκλοφορίας.

Χαρακτηριστικό της σταθεροποίησης του εδάφους με ασβέστη είναι η χρησιμοποίηση του υπάρχοντος βελτιωμένου ή ιδιαίτερα επιχλωματωμένου δρόμου.

Από το Εργαστήριο Μηχανικών Επιστημών και Τοπογραφίας έγιναν έρευνες για τη δυνατότητα σταθεροποίησης δασικών εδαφών με ασβέστη, από τις οποίες προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

1. Η υδατοχωρητικότητα του μίγματος μειώνεται κατά 4%-7%, ενώ παρατηρείται ταυτόχρονη μείωση της τιμής του δείκτη πλαστικότητας  $I_p$  κυρίως στα πλαστικά εδάφη. Σε μη πλαστικά εδάφη των πανεπιστημιακών δασών Περγουλίου και Ταξιάρχη, καθώς και άλλων δασικών περιοχών, παρατηρήθηκε, ορισμένες φορές, μικρή αύξηση των τιμών του ορίου υδαρότητας  $W_L$  και του δείκτη πλαστικότητας  $I_p$  (Σχ. 1 και 2).

2. Η βέλτιστη υγρασία του μίγματος αυξάνεται, ενώ η μέγιστη ξηρη πυκνότητα μειώνεται.

3. Η αντοχή σε θλίψη δοκιμών εδάφους που συμπυκνώθηκαν με διάφορα ποσοστά ασβέστη, εξαρτάται από το μέγεθος του ποσοστού της αρχίλου, την ποσότητα του σταθεροποιητή και την περιεκτικότητα του μοντμοριλλονίτη.

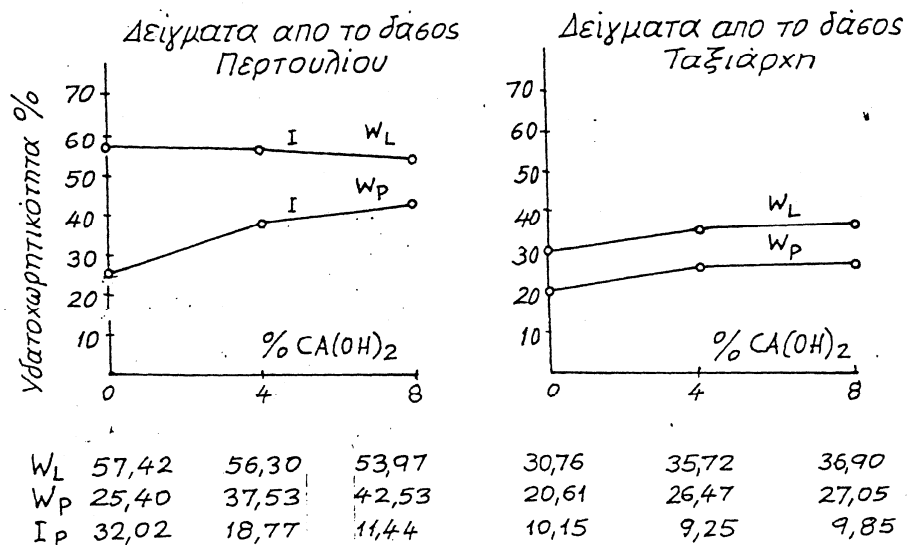
Από τα αποτελέσματα της έρευνας συμπεραίνεται ότι για τα λιχότερο αρχιλώδη εδάφη ένα ποσοστό ασβέστη 6% είναι ικανοποιητικό για σταθεροποίηση, ενώ για τα αρχιλώδη εδάφη επικρατέστερη είναι μία τιμή 7%, γιατί πέραν της ποσότητας αυτής το κόστος αυξάνει, χωρίς να αυξάνεται η αντοχή του σταθεροποιημένου εδάφους (Σχ. 3 και 4).

### 1.3. Σταθεροποίηση με τσιμεντο

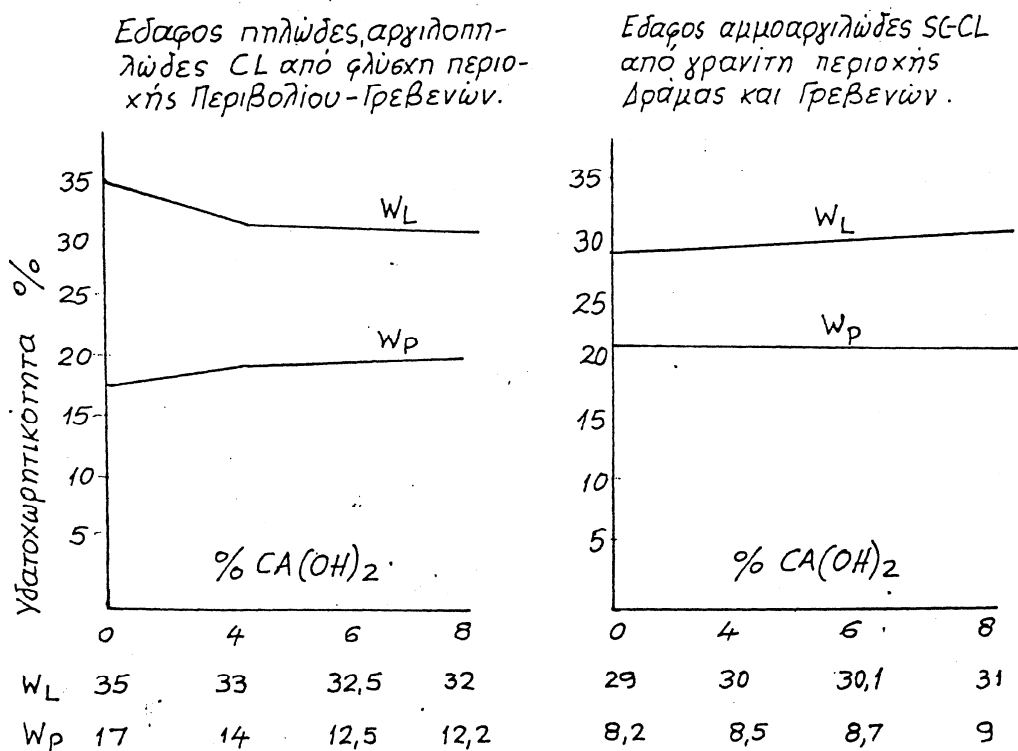
Κατά τη σταθεροποίηση του εδάφους με τσιμεντο επιδιώκεται η κονιορτοποίηση μη συνεκτικών κυρίως εδαφών και η ανάμιξη του θρυμματισμένου υλικού με καθορισμένες ποσότητες τσιμέντου και νερού με σκοπό τη δημιουργία σταθεροποιημένης εδαφικής στρώσης που να είναι ομοιογενής, σκληρή και ανθεκτική στη διάρκεια ζωής και των δυσμενών καιρικών συνθηκών.

Ο Στεργιάδης το 1971 πειραματίστηκε στο πανεπιστημιακό δάσος Ταξιάρχη σε εδάφη ανήκοντα στην ομάδα (κατά AASHO) A-2-4 με ποσοότητες τσιμέντου 5% και 7% (Σχ. 5). Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι με ποσότητες 7% του σταθεροποιητή (τσιμέντου), δημιουργούνται μίγματα που αναπτύσσουν αντοχή σε διάστημα 7 ημερών μεγαλύτερη των  $18 \text{ kg/cm}^2$  και πως η αντοχή των σταθεροποιημένων εδαφών με τσιμεντο αυξάνεται με την αύξηση του ποσοστού του σταθεροποιητή και του χρόνου της συντήρησης των δοκιμών πριν από τη θραύση.

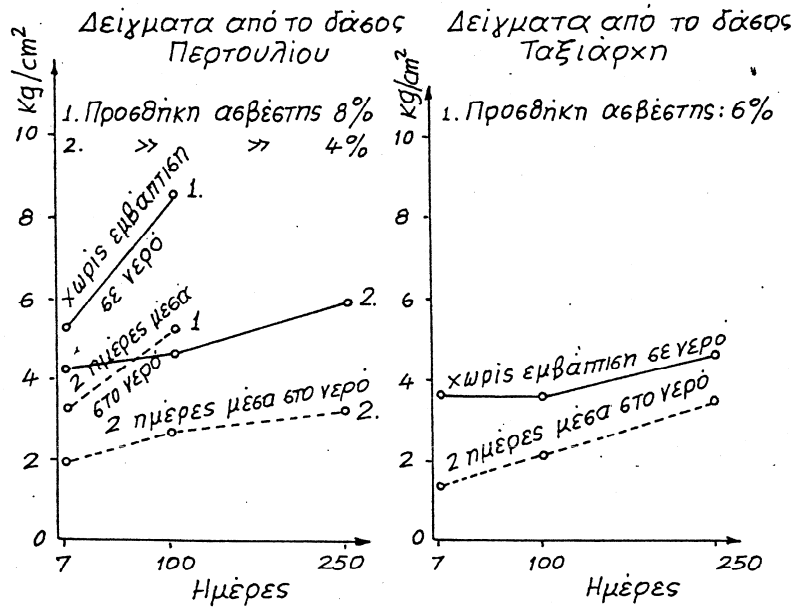
Ο Εσκίογλου (1990) πειραματιζόμενος σε διάφορες κατηγορίες εδαφών προσδιόρισε ότι ποσοστό 7% τσιμέντου είναι το ιδανικό ποσοστό σταθεροποίησης από οικονομική άποψη (Σχ. 6).



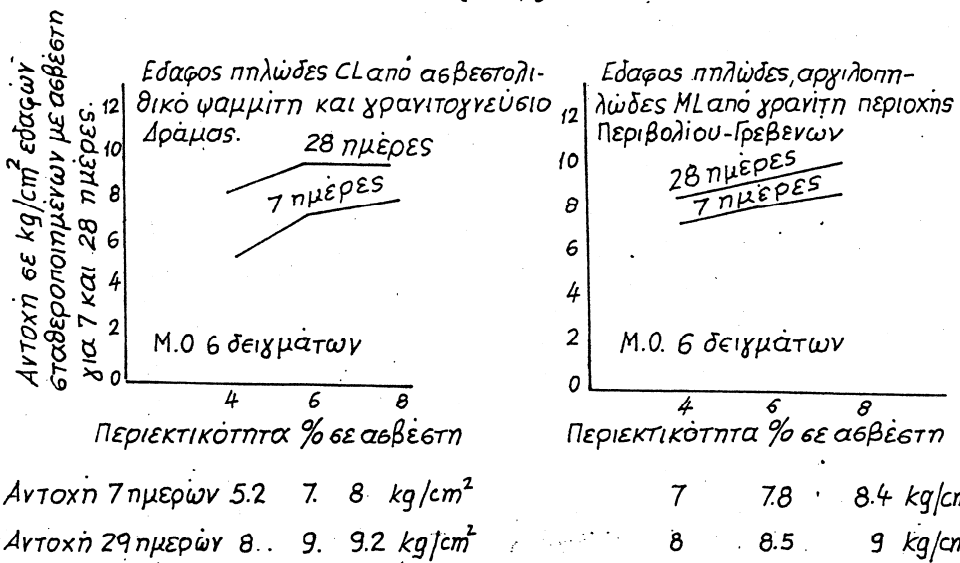
Σχ. 1. Μεταβολή των ορίων πλαστικότητας με  $Ca(OH)_2$  (Στεργιάδης-Κυσινη)



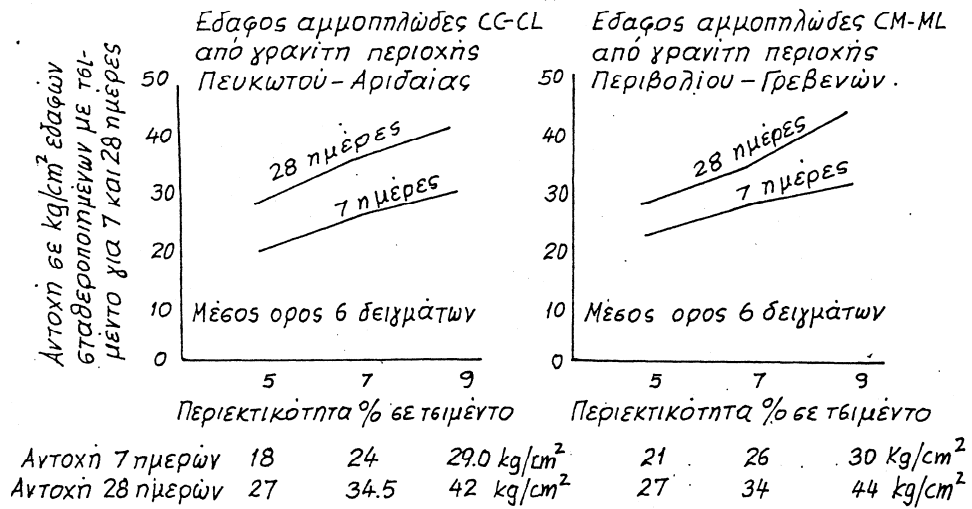
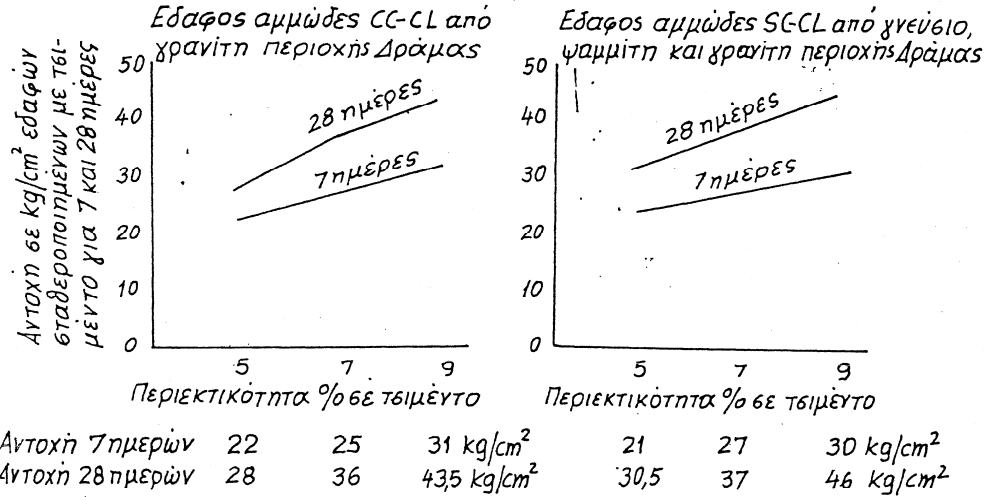
Σχ 2. Μεταβολή των ορίων πλαστικότητας με  $Ca(OH)_2$  (Εσκιοχλου)



Σχ. 3. Εξέλιξη της αντοχής του σταθεροποιημένου με αβέετη εδάφους (Στεργιάδης-Κωονη 1981).



Σχ. 4 Εξέλιξη της αντοχής του σταθεροποιημένου με αβέετη εδάφους (Εκκίοχλου 1990)



Σχ.6 Μεταβολή της αντοχής εδαφών σταθεροποιημένων με διάφορες ποσότητες τσιμέντου (Γεκιόγλου 1990).



## 2. ΑΝΩΔΟΜΗ ΜΕ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ

Τα οδοστρώματα που χρησιμοποιούνται στην οδοποιία διακρίνονται ανάλογα με τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους, σε εύκαμπτα και δύσκαμπτα (άκαμπτα).

Ακριβής διαχωρισμός μεταξύ ευκάμπτων και δυσκάμπτων οδοστρωμάτων δεν είναι δυνατόν να γίνει, γιατί αυτό εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, π.χ. τα υλικά, τα πάχη των στρώσεων κ.λπ. Όταν τα ασφαλτικά οδοστρώματα κατασκευάζονται με σταθεροποιημένα υλικά στρώσεων ή με στρώσεις ασφαλτικού μπετόν με μεγάλο πάχος, τότε μπορεί να παρουσιάσουν την ακαμψία των δυσκάμπτων οδοστρωμάτων που κατασκευάζονται από σκυρόδεμα με τσιμέντο Portland. Σε περίπτωση όμως που κατασκευάζονται στρώσεις με ελάχιστο πάχος το οδόστρωμα μετατρέπεται σε εύκαμπτο.

Από τις κατηγορίες των ευκάμπτων οδοστρωμάτων στη βασική οδοποιία χρησιμοποιούνται κυρίως αυτά που κατασκευάζονται με σταθεροποιημένα υλικά, ενώ η κατασκευή οδοστρωμάτων με ασφαλτική στρώση βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο.

Τα σταθεροποιημένα οδοστρώματα με διάφορα υλικά μέσα που χρησιμοποιούνται κατά περίπτωση στη βασική οδοποιία της χώρας είναι κυρίως τα εξής:

α. Το ανασφάλτωτο κυλινδρούμενο που κατασκευάζεται σε μία ή δύο στρώσεις, σύμφωνα με τα στοιχεία της Π.Τ.Π. 0182, και εφαρμόζει σαν αυτοδύναμο οδόστρωμα επιφανειών κυκλοφορίας. Όταν χρησιμοποιούνται θραυστά σκύρα ή αμμοχάλικο, τότε για την προμήθεια των υλικών αυτών εφαρμόζεται η Π.Τ.Π. 0150 (3Α).

β. Υδατόπηκτο σκυρωτό που κατασκευάζεται σύμφωνα με τα στοιχεία της Π.Τ.Π. 0180 και δεν αποτελεί στρώση κυκλοφορίας, οπότε πρέπει να προστατεύεται με ασφαλτική στρώση.

γ. Κυκλοφοριόηκτο ανασφάλτωτο ακυλινδρωτό με αδρανή σταθεροποιημένου τύπου που κατασκευάζεται σύμφωνα με την Π.Τ.Π. 0184

Το οδόστρωμα αποτελείται από τρεις κυρίως στρώσεις (υπόβαση, βάση και στρώση κυκλοφορίας). Για την κατασκευή των στρώσεων αυτών υπάρχει στη διάθεση του κατασκευαστή μεγάλος αριθμός εναλλακτικών λύσεων από διάφορα υλικά και η τελική επιλογή γίνεται πάντα με οικονομικά κριτήρια.

## 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΧΟΥΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Η κατασκευή ανθεκτικών και οικονομικών οδοστρωμάτων απαιτεί έρευνα των παραχόντων και συνθηκών που επηρεάζουν τα στοιχεία υπολογισμού του πάχους των οδοστρωμάτων σε συνδυασμό αφενός με την αντοχή τους στους

τοπικούς καιρικούς παραγοντες και στην κυκλοφορια και αφετέρου με την οικονομικότητά τους.

Στη δασική πράξη οι μέχρι τώρα κατασκευασθέντες δασικοί δρόμοι οδοστρώθηκαν χωρίς καμία ιδιαίτερη μελέτη.

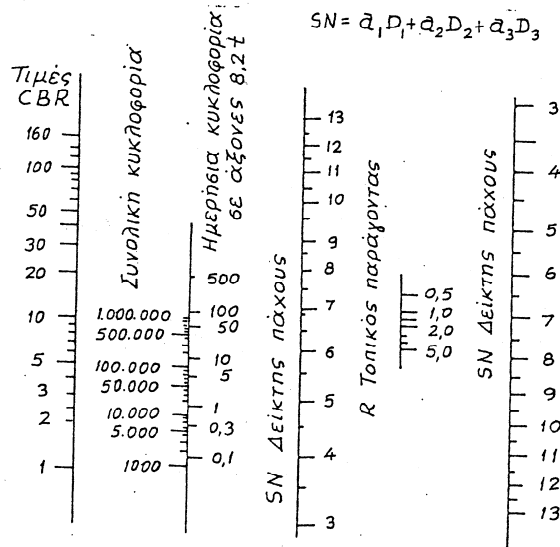
Πρόσφατα από το Εργαστήριο Μηχανικών Επιστημών και Τοπογραφίας του Τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος έγιναν έρευνες για τον υπολογισμό οικονομικών και ανθεκτικών οδοστρωμάτων.

Ο προσδιορισμός του δείκτη πάχους SN των ανθεκτικών οδοστρωμάτων γίνεται από το νομογράφημα και τη σχέση του Burlet, ο οποίος (1980) προσαρμοσε τα συμπεράσματα του οδικού πειράματος AASHO στα δασικά δεδομένα της χώρας του ή περιοχής, θεωρώντας δείκτη τελικής βατότητας  $p = 1,5$  και χρόνο σχεδιασμού τα 30 χρόνια (Σχ. 7).

Με τη σχέση :

$$SN = \frac{2.67(W.R)^{0.1068}}{10^{0.1647 - \log CBR - 0.655}} \quad (1)$$

που προσδιόρισε ο Burlet, υπολογίζεται ο δείκτης πάχους οδοστρώματος SN σε συνάρτηση με την τιμή της αντοχής CBR του υπεδάφους, του αριθμού των κυκλοφορούντων ισοδύναμων αξόνων W και του τοπικού παράγοντα R.



Σχ. 7 Υπολογισμός πάχους οδοστρώματος σε δρόμους κατά Burlet ( $p=1.5$ ).

α. Τοπικός παράγοντας R. Στις ορεινές δασικές περιοχές που μελετούνται στη χώρα μας ο τοπικός παράγοντας R λαμβάνει τιμή ίση με  $R = 2$ , γιατί τα υψόμετρα των περιοχών αυτών είναι μεγαλύτερα από 800 μέτρα (Kuonen). Αντίθετα για τα περιαστικά δάση λαμβάνεται τιμή ίση με  $R = 1$ , γιατί οι περιοχές, όπου εξαπλώνονται τα δάση αυτά βρίσκονται σε υψόμετρα μικρότερα των 400 μέτρων (Kuonen).

Η τιμή του τοπικού παράγοντα R καθορίζεται ανάλογα με το υψόμετρο της περιοχής, όπου θα κατασκευαστεί ο δασικός δρόμος ως εξής (Kuonen):

- $R = 1$  για περιοχές με υψόμετρο 0-400 m  
 $R = 1,5$  για περιοχές με υψόμετρο 401-800 m  
 $R = 2$  για περιοχές με υψόμετρο 801 m και άνω

β. Αντοχή εδάφους (CBR). Μετρήσεις ετών που έγιναν στα δασικά εδάφη της χώρας μας σε σχέση με το μητρικό πέτρωμα από το οποίο προέρχονται και την τιμή αντοχής τους (CBR) οδήγησαν στην κατάταξή τους, όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 1.

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 1

Τιμές αντοχής CBR % που υπολογίστηκαν για αντίστοιχα εδάφη της χώρας μας

Μητρικό πέτρωμα	Είδη εδαφών	Αντοχή υπεδάφους
		Τιμές CBR %
Γαύρος	πηλώδη CL,ML,SC-CL	6
	αριαιώδη CL,CH	3,4,5
Περιδοτίτης	πηλώδη CL,SC-CL	5, 6
	αρχιλοπηλώδη CL	5
Αρχιαικός σχιστόλιθος	πηλώδη CL,ML	4, 5
	αρχιαιώδη CL,CH	4, 5
Συμπαχής ασβεστόλιθος	αρχιλοπηλώδη ML	5, 5,5
	αρχιαιώδη CL,CH	3, 4, 5
Μαρμαρι- γιακός σχιστόλιθος	αμμοαρχιαιώδη CL,SC-CL	5,6
	αρχιαιώδη CL,ML	5
	αμμώδη SC-CL	7
	αμμοπηλώδη SC-CL	7
Ασβεστολιθι- κός ψαμμίτης	πηλοαμμώδη,πηλώδη SC-CL	6,7,7,5
	αμμοπηλώδη SC-CL,GC-CL	6,7
Φθυσχης :	πηλώδη,αρχιαιώδη CL,CH,ML	3, 4, 5, 6
	αρχιλοπηλώδη CL,SC-CL	5, 6
Γνεύσιος Γρανίτης	πηλώδη ML,αμμώδη GC-CL	6,5, 7,5, 8
	αμμοπηλώδη SM-ML,SC-CL	6,5, 7
	αμμοαρχιαιώδη SC-CL	7

γ. Ο κυκλοφοριακός φόρτος. Ο κυκλοφοριακός φόρτος W προσαρμόστηκε στα βασικά δεδομένα της χώρας μας σε σχέση με τη μεταφερόμενη ποσότητα της ξυλείας και τη σύνθεση της κυκλοφορίας στους βασικούς δρόμους και δίνεται από τη σχέση (2) σε ισοδύναμους άξονες 8.2 t n.

$$W = \frac{100}{K} \cdot Q \cdot v \cdot n \quad (2)$$

όπου είναι:

Q = η ετησια μεταφερόμενη ποσότητα ξυλείας σε m<sup>3</sup>

v = τα χρόνια σχεδιασμού του οδοστρώματος

K = το ποσοστό % των οχημάτων που κυκλοφορούν μόνο για ανάγκες της Δασοπονίας και λαμβάνει τιμές από 63,2% (όταν οι δασικοί δρόμοι εξυπηρετούν και άλλες πλην της Δασοπονίας ανάγκες) μέχρι 91,3%.

n = ο συντελεστής των αξόνων που απαιτείται για τη μεταφορά 1 m<sup>3</sup> ξύλου. Ο συντελεστής n λαμβάνει τιμές από 0.01- 0.51 για διαξονικά οχήματα, από 0.117-0.26 για τριαξονικά και 0.18-0.238 για τετραξονικά οχήματα και γενικά τιμές από 0.23-0.27 με ποσοστό ακρίβειας 95% (Πίνακας 2). Ο συντελεστής n προκύπτει από τον τύπο 3 (Εσκίογλου 1990):

$$n = \frac{L_1 + L_e}{1,42 \times \Omega_{\phi}} \quad (3)$$

όπου είναι

L<sub>1</sub> = οι ισοδύναμοι άξονες άφορτου οχήματος

L<sub>e</sub> = οι ισοδύναμοι άξονες έμφορτου οχήματος

Ω<sub>φ</sub> = το ωφέλιμο φορτίο του οχήματος

Με βάση τις μετρήσεις και τους υπολογισμούς που κάναμε, μετατραπήκε η σχέση 1 κατόπιν λογαρίθμησης της, στη σχέση 4 με την οποία υπολογίζεται ο δείκτης πάχους SN.

$$SN = -2.54 + 10^{0.52 + 16 - 0.15471 \log CBR + 0.10681 \log \left[ \frac{100}{K} \cdot Q \cdot v \cdot n \right]} \quad (4)$$

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 2  
Τεχνικά και μεταφορικά στοιχεία οχημάτων μεταφοράς ξυλείας<sup>109</sup>

Τύπος οχήματος	Μικτό βάρος ln	Βεβαίωτο φορτίο tn	Μεταφορούμενη ποσότητα ξυλείας m <sup>3</sup>	Άξονες Οχημάτων			
				Άφωτου οχήματος	Έμφωτου οχήματος	Πλήρους διαδρομής	Μεταφοράς ξυλείας m <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8
Mercedes 1632	8+11	10.5	14.89	0.12	4.19	4.25	0.285
Merc.1926 Sleyer044 VolvoGT10	6+13	9.3	13.2	0.21	6.56	6.77	0.51
Merc.1924 Daf/DH385 MAN4+4 Magirus64 SleyerK38	6+13	10.17	14.4	0.16	6.56	6.72	0.46
Mercedes 1932	7+10+10	13.66	19.4	0.15	4.93	5.08	0.26
Merc.2626	7+10+10	15	21.3	0.15	4.93	5.08	0.238
Merc.2232 5+4	6.5+8+8	9.74	13.83	0.17	2.15	2.32	0.167
Merc.2232	6.5+8+8	14	19.8	0.17	2.15	2.32	0.117
Merc.2628	6.5+2+10	13.85	19.6	0.13	4.75	4.88	0.23
DAF2600 Sleyer Magirus23	7.5+2+10	15	21.3	0.13	5.1	5.33	0.25
DAF VOLVO MAN	6.5+2+10	16	22.72	0.13	4.75	4.88	0.215
VOLVO F89	6.5+2+10	14	19.8	0.13	4.75	4.88	0.245
Mercedes 1932(15)	7+10+10	15	21.3	0.15	4.93	5.08	0.238
Merc.1624	6+10	8.9	12.6	0.05	2.45	2.5	0.19
VOLVO 25	5+10+10	15.3	21.7	0.1	4.5	4.6	0.21
DAF 28	8+10+10	14.8	21	0.1	5.29	5.39	0.257
Mercedes 32	5+5+11 +11	21.1	29.9	0.31	6.8	7.11	0.238
DAF K290	7+7+11+ +11	25.1	35	0.24	7.7	7.94	0.222
Mercedes 8+2	6+6+10 +10	21.1	30	0.28	5.37	5.65	0.19
Mercedes 32-22	6+6+ 10+10	22	31	0.28	5.37	5.65	0.182
Mercedes 1926 AS32	7.5+12.5 +8+8	22.7	32.3	0.1	7.37	7.38	0.228

Από τους παράγοντες που επηρεάζουν το δείκτη πάχους SN, η τιμή της αντοχής του εδάφους (CBR) επηρεάζει περισσότερο τη διαμόρφωση της τιμής SN. Αύξηση της τιμής CBR κατά 50% συνεπάγεται μείωση του δείκτη πάχους SN κατά 10,5%.

Εδάφη που προέρχονται από πετρώματα υψηλής αντοχής, δηλαδή με τιμές CBR  $\geq 8\%$ , δίνουν σημαντικά χαμηλότερες τιμές δείκτη πάχους SN = 8,3, από αντίστοιχα εδάφη που προέρχονται από πετρώματα με χαμηλή αντοχή (CBR = 3, δείκτης SN=10,2) για την ίδια ποσότητα μεταφερόμενης ξυλίας.

Όταν μειώνεται η τιμή του παράγοντα n κατά 50% μειώνεται και η τιμή SN κατά 7,9%.

Το αποτέλεσμα αυτό χρησιμοποιείται συχνά στην κατασκευή δασικών δρόμων με κυκλοφορία βαρέων οχημάτων με χαμηλή τιμή του παράγοντα n. Στην περίπτωση αυτή κυκλοφορούν λιγότεροι ισοδύναμοι άξονες μεταφοράς ξυλίας με αποτέλεσμα τη μικρότερη φθορά του οδοστρώματος. Στην αντίθετη περίπτωση παρατηρείται το φαινόμενο της υπερφόρτωσης των οχημάτων με αποτέλεσμα των υπερβολική αύξηση του παράγοντα n και την αύξηση του δείκτη πάχους SN του οδοστρώματος.

Όταν ο παράγοντας K μειώνεται κατά 50% παρατηρείται αύξηση της τιμής SN κατά 6,44%.

Για τα ελληνικά δασικά δεδομένα υπολογίστηκε ότι ο δείκτης πάχους SN παίρνει τιμές από 3-10,8, που εξαρτώνται από την ποσότητα της μεταφερόμενης ξυλίας και την τιμή CBR (Σχ. 8).

Για δείκτη πάχους οδοστρώματος με τιμές SN  $\leq 3$  μπορεί να κατασκευαστεί οδόστρωμα τόσο από απλό φυσικό, όσο και από θραυστό αμμοχάλικο.

#### 4. ΕΠΙΛΟΓΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΣΤΡΩΣΕΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

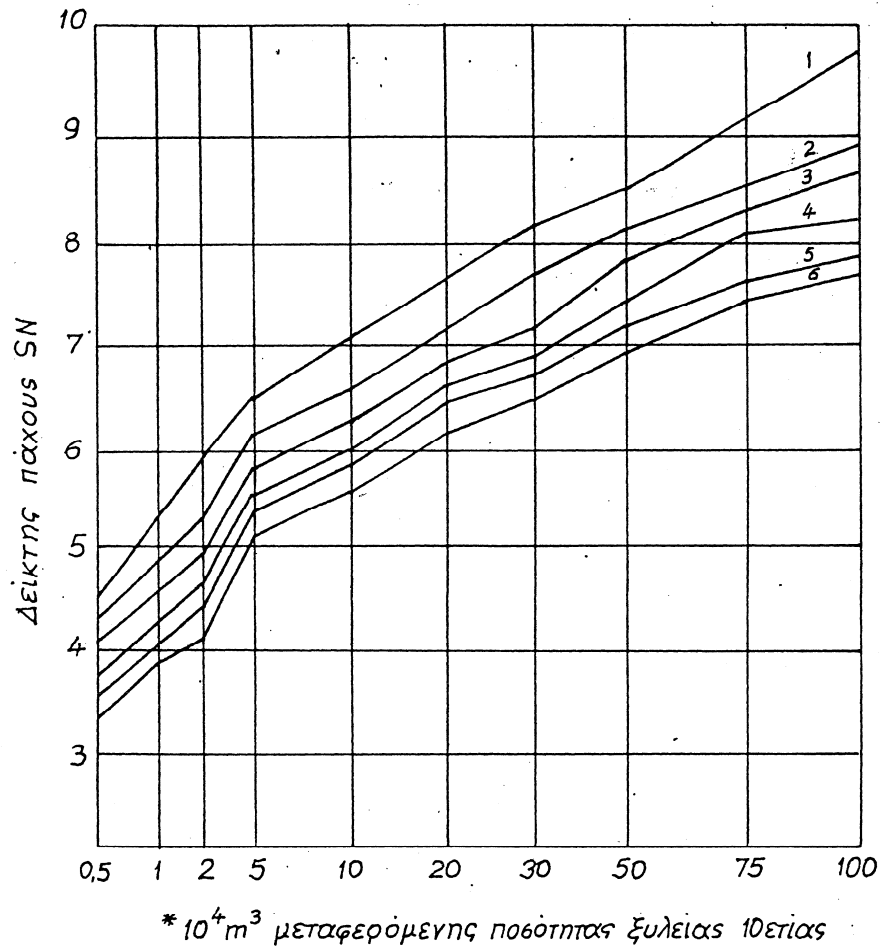
Η επιλογή οικονομικών στρώσεων οδοστρωμάτων επιτυγχάνεται με τον προσδιορισμό του ελάχιστου πάχους κάθε στρώσης (Σχ. 9).

Η διεξαγωγή των υπολογισμών έγινε με τη βοήθεια της σχέσης:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3 \quad (5)$$

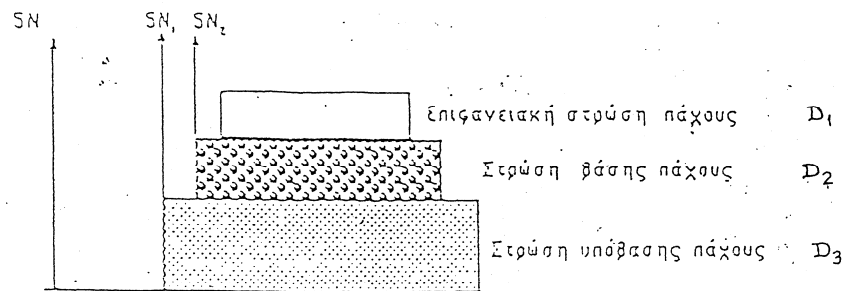
η οποία προήλθε από το οδικό πείραμα του AASHO (Οττάβα 1960).

Από τη σχέση 5 προκύπτουν τα αντίστοιχα πάχη στρώσεων  $D_i$  που εκφράζονται με τις παρακάτω σχέσεις:



1. CBR = 3% φλύενης, γαύρος, συμ. αββεστόλιθοι (εδάφη αργιλώδη)
2. CBR = 4% φλύενης, γαύρος, συμ. αββεστόλιθοι, αρχ. εχιετόλιθοι (αργιλώδη, πηλώδη)
3. CBR = 5% φλύενης, γαύρος, συμ. αββεστόλιθοι, αρχ. εχιετόλιθοι  
μαρμ. εχιετόλιθοι (πηλώδη, αργιλώδη)
4. CBR = 6% φλύενης, γαύρος (πηλώδη), συμ. αββεστόλιθοι (αργιλοπηλώδη)  
αεβ. ψαμμίτης (αμμοπηλώδη, πηλοαμμώδη)
5. CBR = 7% γνεύσιος, γρανίτης (πηλώδη, αμμοπηλώδη, αμμοαργιλώδη)  
γρανίτης, μαρμ. εχιετόλιθος, αεβ. ψαμμίτης (αμμώδη, πηλοαμμώδη)
6. CBR = 8% γνεύσιος, γρανίτης (αμμώδη), αεβ. ψαμμίτης (πηλοαμμώδη  
αμμοπηλώδη).

Σχ. 8. Τιμές δείκτη πάχους SN ανθεκτικών οδοστρωματων δασικών δρόμων σε εδάφη προερχόμενα από διάφορα είδη πετρωμάτων και για διάφορες τιμές CBR και μεταφερόμενης ποσότητας ξυλειας.



Σχ. 9 Σχηματική παράσταση υπολογισμού στρώσεων οδοστρώματος με ελάχιστο πάχος

### Π Ι Ν Α Κ Α Σ 3

Υπολογισμός ελάχιστου πάχους στρώσεων οδοστρώματος

Στρώση οδοστρώματος	Συντελεστές ισοδυναμίας των υλικών στρώσεως $\alpha_i$	Αντοχή υλικών στρώσεων CBR %	Δείκτης πάχους SN στρώσεων	Ελάχιστο πάχος στρώσης cm
Επιφανειακή	$\alpha_1$	CBR	—	$D_1 = \frac{SN_2}{\alpha_1}$
Βάση	$\alpha_2$	CBR	SN	$D_2 = \frac{SN_1 - SN_2}{\alpha_2}$
Υπόβαση	$\alpha_3$	CBR	SN	$D_3 = \frac{SN_1 - (\alpha_1 D_1 + \alpha_2 D_2)}{\alpha_3}$



## 1. Πάχος επιφανειακής στρώσης

$$D_1 = \frac{SN_2}{a_1} \quad (6)$$

## 2. Πάχος βάσης

$$D_2 = \frac{SN_1 - SN_2}{a_2} \quad (7)$$

## 3. Πάχος υπόβασης

$$D_3 = \frac{SN - (a_1 D_1 + a_2 D_2)}{a_3} \quad (8)$$

όπου είναι:

$SN_1$  = δείκτης πάχους στρώσης πάνω από την υπόβαση και

$SN_2$  = δείκτης πάχους στρώσης πάνω από τη βάση

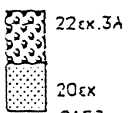
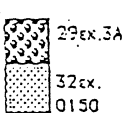
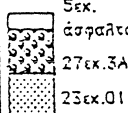
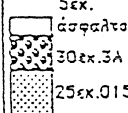
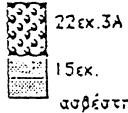
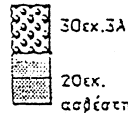
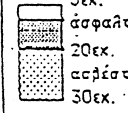
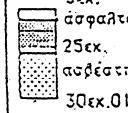
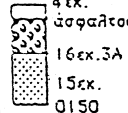
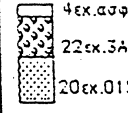
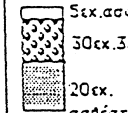
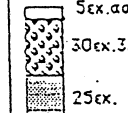
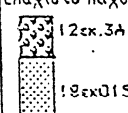
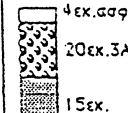
Από τα στοιχεία σχετικής έρευνας μας προέκυψαν αποτελέσματα που αναγράφονται στον πίνακα 3, που δείχνει τη διαδικασία υπολογισμού των στρώσεων με ελάχιστο πάχος ενός οδοστρώματος, όταν γνωρίζουμε τους άξονες οχημάτων που κυκλοφορούν στο δασικό δρόμο, τους συντελεστές ισοδυναμίας και την τιμή CBR αντοχής κάθε υλικού.

Με βάση τις τιμές CBR της αντοχής των εδαφών και της μεταφερόμενης ποσότητας ξυλίας σχεδιάστηκαν οι ελάχιστες διαστάσεις στρώσεων τυπικών οδοστρωμάτων (Σχ. 10).

Από τις εναλλακτικές λύσεις που υπολογίστηκαν επιλέχεται η πλέον οικονομική με βάση το κόστος  $K_1$  και την αντοχή  $A_1$  των διαφόρων στρώσεων στη μονάδα επιφάνειας.

Όταν έχουμε να επιλέξουμε π.χ. μεταξύ δύο στρώσεων, ισοδυνάμων παχών, αντοχής  $a_1$  και  $a_2$  και αντίστοιχου κόστους κατασκευής  $K_1$  και  $K_2$ , τότε:

CBR<3

SN	3.5-5	5-7	7-9	>9
Τυπικές διατάξεις οδοστρώματων για διάφορες ποσότητες μεταφερόμενης ξυλείας σε m <sup>3</sup>	Τιμές μεταφερόμενης ποσότητας ξυλείας 10ετίας σε m <sup>3</sup>			
	Μέχρι 10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup> -6.5*10 <sup>5</sup>	Πάνω από 6.5*10 <sup>5</sup>
				
				
				
Ελάχιστο πάχος 				
Ελάχιστη μεταφερόμενη ποσότητα ξυλείας 0.13*10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>				

Σχ.10 Ελάχιστες διαστάσεις στρώσεων τυπικών οδοστρώματων για διάφορες ποσότητες μεταφερόμενης ξυλείας σε m<sup>3</sup> και για τιμές K=75% και η=0.25 (CBR<3%)

$$1. \text{ Αν ισχύει η σχέση } K_1 > \frac{a_1}{a_2} K_2 \quad (9)$$

θα προτείνεται η κατασκευή της δεύτερης στρώσης αντοχής  $a_2$  και κόστους  $K_2$ .

$$2. \text{ Αν όμως ισχύει η σχέση } K_1 < \frac{a_1}{a_2} K_2 \quad (10)$$

προτείνεται η κατασκευή της πρώτης στρώσης αντοχής  $a_1$  και κόστους  $K_1$ .

Οι σχέσεις ισοδυναμίας και οι λόγιοι αντοχής ισοπαχων στρώσεων από διάφορα υλικά δίνονται στον πίνακα 4.

Στον πίνακα 5 δείχνεται το κόστος κατασκευής  $K_1$  των διαφόρων στρώσεων οδοστρώματος για σταθερό πάχος στρώσης 15 cm (τιμές 1990) αντίστοιχης αντοχής  $a_1$ .

Από τα στοιχεία των πινάκων 4 και 5 και τις σχέσεις 9 και 10 συμπεραίνεται ότι για τα οδοστρώματα στους δασικούς δρόμους:

1. Η **ασφαλτική στρώση** είναι ακριβότερη όλων των άλλων στρώσεων πλην της σταθεροποιημένης βάσης με ασβέστη. Η κατασκευή ασφαλτικής στρώσης απαιτείται, όταν η ποσότητα ξυλείας που μεταφέρεται στη διάρκεια 30 ετών σε δασικούς δρόμους που κατασκευάστηκαν σε εδάφη με αντοχή CBR = 3% είναι μεγαλύτερη των  $3 \times 10^5 \text{ m}^3$ .
2. Η **υπόβαση** που σταθεροποιείται με ασβέστη, είναι φθηνότερη από την ασφαλτική στρώση λόγω του χαμηλότερου κόστους πλήρους κατασκευής της υπόβασης.
3. Οι **σταθεροποιημένες με τσιμέντο και ασβέστη στρώσεις** είναι ακριβότερες από τις στρώσεις βάσεων και υποβάσεων με θραυστό αμμοχάλικο 3A ή αμμοχάλικο τύπου 0150.
4. Οι **στρώσεις βάσης και υπόβασης** που κατασκευάζονται με υλικά λατομείου είναι ακριβότερες των ίδιων στρώσεων που κατασκευάζονται από αυτούσιο υλικό.
5. Οι **στρώσεις βάσης**, που έχουν την ικανότητα να σταθεροποιούνται με ασβέστη και τσιμέντο, επιτυγχάνονται με οικονομικό αποτέλεσμα και όταν η

## Π Ι Ν Α Κ Α Σ 4

Σχέσεις ισοδυναμίας και λόγοι αντοχής ισοπαχών στρώσεων που κατασκευάζονται από διάφορα υλικά

Περιπτώσεις	Προσδιωμένες στρώσεις	Τιμές αντέδραση	Τιμές ισοδυναμίας
1	Ασφαλτική στρώση Σταθεροποιημένη στρώση	0.33 0.15	2.33
2	Ασφαλτική στρώση Στρώση βραστάου υλικού 3Α	0.33 0.13	2.7
3	Ασφαλτική στρώση Στρώση εμποχάλκου ΠΠΠ 0150	0.33 0.1	3.5
4	Εκτεροποιημένη στρώση Στρώση βραστάου υλικού 3Α	0.15 0.13	1.15
5	Σταθεροποιημένη στρώση Στρώση εμποχάλκου ΠΠΠ 0155	0.15 0.1	1.5
6	Στρώση βραστάου υλικού 3Α Στρώση εμποχάλκου ΠΠΠ 0155	0.13 0.1	1.3
7	Σταθεροποιημένη στρώση με 11% τσιμέντο Σταθεροποιημένη στρώση με 7% τσιμέντο	0.16 0.15	1.06

## Π Ι Ν Α Κ Α Σ 5

Κόστος κατασκευής Κ. Διάφορων στρώσεων οδοστρώματος σταθερού πάχους 15 cm

ΥΛΙΚΟ ΣΤΡΩΣΗ	Κόστος Κ κατασκευής στρώσης οδο- στρώματος πάχους 15cm σε δραχμές/μ
1	2
1. Ασφαλτική επάλειψη και ασφαλτική στρώση κυκλο- φορίας	Κ = 1.498.14
2 Σταθεροποιημένη βάση με ποσοστό ασβέστη 7%	Κ = 674
3 Σταθεροποιημένη βάση με ποσοστό τσιμέντου 7%	Κ = 597
4 Σταθεροποιημένη βάση με ποσοστό τσιμέντου 11%	Κ = 682
5 Βάση με αυτούσιο υλικό	Κ = 336
6 Βάση με υλικό λατομείου	Κ = 424
7 Υπόβαση με αυτούσιο υλικό	Κ = 319
8 Υπόβαση με υλικό λατομείου	Κ = 406.75

σταθεροποίηση χίνει με τσιμέντο σε ποσοστό μέχρι 10%. Όταν όμως απαιτείται μεγαλύτερη ποσότητα τσιμέντου, τότε θα πρέπει να προτιμάται η σταθεροποίηση με ασβέστη.

6. Μπορεί να κατασκευασθεί οδόστρωμα τόσο από απλό φυσικό, όσο και από θραυστό αμμοχάλικο με δείκτη πάχους οδοστρώματος με τιμές  $SN \leq 3$ .

7. Είναι δυνατή η επιλογή σταθεροποιημένης στρώσης με ασβέστη ή τσιμέντο, ύστερα από έρευνα για την καταλληλότητα των δασικών εδαφών στη σταθεροποίηση με κάποιο υλικό. Έρευνες που έγιναν για το σκοπό αυτό από το Εργαστήριο Μηχανικών Επιστημών και Τοπογραφίας έδωσαν τα αποτελέσματα που δείχνονται στον πίνακα 6.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6:

Μητρικά πετρώματα της χώρας μας και εδάφη που έχουν την κανότητα σταθεροποίησής τους με τσιμέντο ή ασβέστη.

Μητρικό πέτρωμα	Έδαφος	Ικανότητα σταθεροποίησης με τσιμέντο	Ικανότητα σταθεροποίησης με ασβέστη
Γαύρος	αργιλώδες CL, CH πηλώδες CL, ML, SC-CL	OXI OXI	NAI NAI
Γνεύσιος Γρανίτης	πηλώδες ML αμμοπηλώδες SM-ML αμμοπηλώδες SC-CL  αμμοπηλώδες GC-CL αμμοαργιλώδες SC-CL  αμμώδες GC-CL αμμώδες SC-CL	OXI NAI ιδιαίτερος έλεγχος NAI ιδιαίτερος έλεγχος NAI NAI OXI OXI	NAI OXI NAI NAI NAI OXI OXI
Φλύσχης	αργιλώδες CL, CH αργιλοπηλώδες CL πηλώδες CL, ML πηλώδες SC-CL	OXI OXI OXI ιδιαίτερος έλεγχος	NAI NAI NAI NAI
Συμπαγής Ασβεστό- λίθος	αργιλώδες CL, CH αργιλοπηλώδες ML	OXI OXI	NAI NAI
Αργιλικός Σχιστό- λίθος	αργιλώδες CL, CH πηλώδες CL, ML	OXI OXI	NAI NAI
Περιδοτί- της	πηλώδες CL, SC-CL αργιλοπηλώδες CL	OXI OXI	NAI NAI
Ασβεστο- λιθικός Ψαμμίτης	πηλοαμμώδες SC-CL αμμοπηλώδες SC-CL αμμοπηλώδες GC-CL πηλώδες CL, SC-CL	NAI NAI NAI OXI	NAI NAI NAI NAI
Μάρμαρυ- γιακός σχιστόλι- θος	αργιλώδες CL αμμοαργιλώδες SC-CL αμμώδες SC-CL  αμμοπηλώδες SC-CL αμμοπηλώδες GC-CL	OXI OXI NAI  NAI NAI	NAI NAI ιδιαίτερος έλεγχος OXI OXI

## Β Ι Β Λ Ι Ο Γ Ρ Α Φ Ι Α

1. AASHO 1961: Standard specification for highways materials and methodw of sampling and testing. Ottawa
2. ATEO 1990 : Τιμές έργων οδοποιας .Αθήνα
3. Burlat E. 1980: Dimensionierung und Verstärkung von Strassen mit geringen Verkehr und flexibl'em Oberbau. Diss ETH Nr 6711, Zurich
4. Εσκίογλου Π.Χ 1988 : Η αρνητική επίδραση της υπερφόρτωσης των οχημάτων μεταφοράς ξυλείας στους βασικούς δρόμους .Δ Δασολογικό Συνέδριο. Λάρισα
5. Εσκίογλου Π.Χ. 1991 :Οικονομικά και ανθεκτικά οδοστρώματα στα ορεινά δάση της Ελλάδας.Διδακτορική διατριβή .Θεσσαλονίκη
6. Κόλλιας Στ. Κ :1976 :Περί των νεώτερων εξελίξεων του τρόπου υπολογισμού του πάχους ευκάμπτων οδοστρωμάτων. Αθήνα
7. Κόλλιας Στ. Κ. :1965 Περί σταθεροποίησης των εδαφών δια τιμμέντου. Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος , Αθήνα
8. Κόλλιας Στ. Κ:1979:Γενικές αρχές υπολογισμού ευκάμπτων οδοστρωμάτων Αθήνα
9. Kuonen V 1983: Wald-und Guterstrassenbau. Eigen verlag des Verfassers. Zurich.
10. Στερχιάδης Γ.Χ. 1977:Το οδικό δίκτυο στο Πανεπιστημιακό δασος του Ταξιάρχη .Επιστ. Επετηρίδα Γ.Δ.Σχολής του Α.Π.Θ. Τόμος Κ.Θεσ/νίκη
11. Στερχιάδης Γ.Χ. 1980:Δασική Οδοποιία Ι .Θεσσαλονίκη
12. Στερχιάδης Γ.Χ. 1985: Εδαφομηχανικές συνθήκες και προβλήματα κατασκευής στους βασικούς δρόμους.Επιστ. Επετηρίδα Γ.Δ.Σχολής του Α.Π.Θ., Τόμος ΚΗ Θεσσαλονίκη
13. Στερχιάδης Γ.Χ. 1988: Δασική Οδοποιία ΙΙ .Κατασκευή βασικών δρόμων Θεσσαλονίκη.
14. Στερχιάδης Γ.Χ. -Kuonen V. 1978 : Σταθεροποίηση εδαφών με ασβέστη. Επιστ. Επετηρίδα Γ.Δ. Σχολής του Α.Π.Θ. Τόμος ΚΑ Θεσσαλονίκη
15. Yoder.E-Witzack M 1965: Principles of pavement design. N.York

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΧΑΡ. ΣΤΕΡΓΙΑΔΗΣ Καθηγητής

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΧΡ. ΕΣΚΙΟΓΛΟΥ Λέκτορας

Εργαστήριο Μηχανικών Επιστημών και Τοπογραφίας  
Τομέας Δασοτεχνικών και Υδρονομικών Έργων  
ΤΜΗΜΑ ΔΑΣΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ