

Μελέτη της επίδρασης σταθεροποιημένων οδοστρωμάτων στον επιτρεπόμενο κυκλοφοριακό φόρτο

Παναγιώτης Εσκίογλου *

Το υπέδαφος και τα υπάρχοντα εδαφικά υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή οδοστρωμάτων, πολλές φορές παρουσιάζουν υψηλή πλαστικότητα και αρκετά χαμηλή αντοχή με αποτέλεσμα να μη μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον παραπάνω σκοπό αυτούσια, ούτε να δεχτούν σημαντικό κυκλοφοριακό φόρτο. Αυτά τα μειονεκτήματα όμως μπορούν να παρακαμφθούν εάν τα εδαφικά υλικά σταθεροποιηθούν.

Στην εργασία αυτή, σε ένα δασικό χωματόδρομο στο Untervaz της Ελβετίας, σταθεροποιήθηκαν 5 τμήματα μήκους 500m το καθένα, στην αρχή μηχανικά με την προσθήκη υλικού 3A και στη συνέχεια με ασβέστη, τσιμέντο και μίγμα των παραπάνω σταθεροποιητών με τέφρα. Υπολογίστηκε η επιτρεπόμενη παραμόρφωση και για κάθε στρώση - με τη δοκό του Benkelman - οι αναπτυσσόμενες παραμορφώσεις. Στη συνέχεια εξετάστηκε η επίδραση που μπορεί να έχουν οι σταθεροποιημένες εδαφικές στρώσεις στην αύξηση της αντοχής του οδοστρώματος και στον υπολοιπό αριθμό ισοδυνάμων αξόνων.

Από την έρευνα διαπιστώθηκε πως με τη σταθεροποίηση του εδαφικού υλικού, αυξάνεται σημαντικά η αντοχή του, ιδιαίτερα όταν επεμβαίνουμε με μίγμα τσιμέντου και τέφρας και στη συνέχεια με ασβέστη.

Όσον αφορά τον κυκλοφοριακό φόρτο, βρέθηκε ότι η σταθεροποιημένη με τσιμέντο και τέφρα στρώση μπορεί να δεχθεί 7 φορές περισσότερο φορτίο από την αμμοχαλικόστρωση και 3.5 φορές περισσότερο από την σταθεροποιημένη με ασβέστη και τέφρα.

Λέξεις κλειδιά : σταθεροποίηση εδάφους, επιτρεπόμενη παραμόρφωση (d_{zul}), δοκός Benkelman, ισοδύναμοι άξονες (ESAL), ιπτάμενη τέφρα.

1. Εισαγωγή

Το υπέδαφος και τα εδαφικά υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ανθεκτικών στρώσεων οδοστρωμάτων, πολλές φορές εξαιτίας της υψηλής τους πλαστικότητας και της χαμηλής τους αντοχής, είναι ακατάλληλα για το σκοπό για τον οποίο προορίζονται. Η ακαταλληλότητα τους όμως αυτή, μπορεί επιτυχώς να παρακαμφθεί, αν το εδαφικό υλικό σταθεροποιηθεί.

* Επίκουρος καθηγητής του Τομέα Δασοτεχνικών και Υδρονομικών Έργων του Τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος . Α.Π.Θ. τηλ. 998974

Ως σταθεροποίηση θεωρούμε την προσθήκη στο έδαφος - και τη συμπίκνωση του σε συνθήκες άριστης υδατοχωρητικότητας - είτε νέου υλικού κατάλληλης κοκκομετρικής διαβάθμισης (μηχανική σταθεροποίηση) είτε διαφόρων σταθεροποιητικών υλικών (ασβέστη,

τσιμέντο, τέφρα) ώστε να προκύψει ένα νέο εδαφικό μίγμα(Yoder E.J., and Witczak,M.W.1975).

Έρευνα που πραγματοποιήθηκε για τη δυνατότητα σταθεροποίησης δασικών εδαφών προς δημιουργία ανθεκτικών και οικονομικών στρώσεων οδοστρωμάτων , έδειξε ότι τα εδάφη που σταθεροποιούνται ικανοποιητικά με ασβέστη προέρχονται από φλύσχη, ασβεστόλιθο, γαύρο, περιδοτίτη και αργιλικό σχιστόλιθο και είναι κυρίως αργιλώδη, πηλώδη, αμμοαργιλώδη αργιλοπηλώδη και αμμοπηλώδη. (Εσκίογλου 1991)

Τα αργιλώδη εδάφη σταθεροποιούνται ικανοποιητικά με ένα ποσοστό ασβέστη 7% , ενώ τα λιγότερο αργιλώδη με 6% γιατί πέραν της ποσότητας αυτής το κόστος αυξάνει χωρίς να αυξάνεται ή αντοχή του εδάφους. (SNV Stabilisations 1980, Εσκίογλου 1991).

Τα εδάφη που σταθεροποιούνται ικανοποιητικά με τσιμέντο προέρχονται από γρανίτη, γνεύσιο, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους και ασβεστολιθικούς ψαμμίτες και είναι αμμώδη, αμμοπηλώδη, πηλοαμμώδη. (Εσκίογλου 1991) ενώ εδάφη αμμώδη και χαλικιώδη με ποσοστό αργίλου 10-35% σταθεροποιούνται επίσης με επιτυχία με ποσοστό σταθεροποιητή 7% (Kollias, St. and Williams, R. 1984)

Η ανάμιξη εδάφους με τέφρα, δεν δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα, αλλά μίγμα τέφρας και ασβέστη βελτιώνει τις ιδιότητες των εδαφών και αυξάνει την αντοχή τους χωρίς να φτάνει στα ικανοποιητικά όρια των 345 KPa. Σε χαλικιώδη όμως εδάφη βρέθηκε ότι μίξη υδρασβέστου σε ποσοστό 9% με 30% τέφρα δίνει αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα(Eskioğlu P and P. Efthymiou 1996).

Σταθεροποιώντας τα εδαφικά υλικά με τον κατάλληλο σταθεροποιητή και σε κατάλληλο ποσοστό, δημιουργείται ένα μίγμα που σε σχέση με το αρχικό εδάφος, έχει βελτιωμένα χαρακτηριστικά και γεωτεχνικές ιδιότητες.

Ειδικότερα, μειώνονται η υδατοχωρητικότητα (w) του μίγματος και το φαινόμενο βάρος του (γ_d), αυξάνεται η βέλτιστη υγρασία του (W_{opt}) κατά 2% - 5%, μεταβάλλονται οι ιδιότητες πλαστικότητας και κυρίως μειώνεται η τιμή του δείκτη πλαστικότητας. (Huang, E.Y. 1962 Thomson 1970).

Επίσης βελτιώνεται η δομική κατάσταση του μίγματος αφού μειώνονται οι αναπτυσσόμενες παραμορφώσεις και αυξάνεται η φέρουσα ικανότητα και αντοχή του(Κόλλιας , Στ. 1965) . Η αντοχή ενός εδάφους σταθεροποιημένου με 6% τσιμέντο, βρέθηκε ότι είναι τριπλάσια από την αντοχή κοκκώδους βάσης αν τα πάχη των στρώσεων είναι μεγαλύτερα των 7 ιντσών. Επίσης σε στρώση σταθεροποιημένη με τσιμέντο, το μέτρο ελαστικότητας E αυξάνεται κατά 10 φορές, ενώ οι τάσεις του εδάφους μειώνονται κατά το ήμισυ. Αυτή η μείωση των τάσεων δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί ούτε με τριπλασιασμό του πάχους στρώσης αν κατασκευαζόταν από αμμοχάλικο.(Portland Cement association 1971)

Στην Ελβετία τα τελευταία 20 χρόνια διεξήχθησαν ερευνητικές εργασίες σταθεροποίησης εδαφών για την μείωση των αναπτυσσόμενων παραμορφώσεων την

ενίσχυση υφιστάμενων οδοστρωμάτων και την αύξηση του υπολοιπούμενου αριθμού αξονικών επαναλήψεων (Hirt, R. 1972 Burlet, Ed. 1980).Πρόσφατα αποδείχτηκε ότι σταθεροποιημένη με τσιμέντο στρώση πάχους 15cm έχει διπλάσια αντοχή και επιτρέπει 9 φορές περισσότερη διέλευση αξονικών φορτίων από στρώση αμμοχάλικου 20cm(Eskioglou, P., Hirt, R., and Burlet E., 1996).

Από όλα τα παραπάνω ερευνητικά αποτελέσματα συνάγεται ότι το σταθεροποιημένο δείγμα γίνεται α. υλικό ικανό για υποδομή, υπόβαση, βάση ή και επιφανειακή στρώση, β.ανθεκτικότερο στις καιρικές επιδράσεις και στην κυκλοφοριακή φόρτιση, και γ. μπορεί να δεχθεί περισσότερες αξονικές διελεύσεις.

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται να μελετηθεί η επίδραση της σταθεροποίησης εδαφικών στρώσεων με όλο το φάσμα των σταθεροποιητών (ασβέστης ,τσιμέντο και μίγμα αυτών με ιπτάμενη τέφρα) στην παραμένουσα παραμόρφωση και στον υπολοιπούμενο κυκλοφοριακό φόρτο.

Υλικά και μέθοδος έρευνας

Η έρευνα διεξήχθη σε δασικό χωματόδρομο στην ορεινή δασική περιοχή του Untervaz της Ελβετίας, σε υψόμετρο 1500m πάνω σε γεωλογικό υπόβαθρο φλύσχη. Η διεξαγωγή των πειραματικών εργασιών έγινε κατά την εξής σειρά:

α. Συλλογή εδαφικών δειγμάτων. Από τις θέσεις λήψης των εδαφικών δειγμάτων από τον υπάρχοντα δασικό δρόμο (τυχαία δειγματοληψία), πάρθηκαν συνολικά 30 εδαφικά δείγματα.

β. Προσδιορισμός εδαφικών χαρακτηριστικών. Για κάθε δείγμα έγινε κοκκομετρική διαβάθμιση του εδαφικού υλικού και υπολογισμός των ορίων Atterberg για την κατάταξη του σε ομάδα εδάφους. Στη συνέχεια τα εδαφικά δείγματα συμπυκνώθηκαν κατά την πρότυπη μέθοδο Proctor (AASHO T-99C) και προσδιορίστηκε για κάθε εδαφικό δείγμα η βέλτιστη υγρασία W%, και η αντίστοιχη ξηρή πυκνότητα d.

γ.Σταθεροποίηση εδαφικών δειγμάτων: Το έδαφος σε υγρασία ίση με τη βέλτιστη (W%) αναμίχθηκε με διάφορα ποσοστά του σταθεροποιητή (ασβέστη ή τσιμέντο κ.λ.π.)για την εύρεση του απαιτούμενου ποσοστού. Στη σταθεροποίηση των εδαφών με ασβέστη δεν μας ενδιαφέρει ιδιαίτερα το μέγεθος της αντοχής των σταθεροποιημένων δοκιμίων, αλλά η βελτίωση των πλαστικών ιδιοτήτων τους (Όριο υδαρότητας W , δείκτης πλαστικότητας Ip, καθώς και η μέγιστη ξηρή πυκνότητα d πριν και d" μετά τη σταθεροποίηση) (AASHTO T- 220 - 66. 1987 and AASHTO M - 216-84, 1987 Νικολαΐδης Αθ. 1996).

Αντίθετα στη σταθεροποίηση με τσιμέντο το κριτήριο επιτυχίας είναι, να επιτευχθεί τιμή αντοχής των σταθεροποιημένων για 7 ημέρες εδαφικών δοκιμίων μεγαλύτερη από 345 ΚΡα.

δ. Κατασκευή καινούριων οδοστρώσεων στα 5 πειραματικά τμήματα. Η προσθήκη και η ανάμιξη των σταθεροποιητών και του νερού έγινε επί του έργου, αφού όμως προηγουμένως το εδαφικό υλικό αναμοχλεύτηκε και κονιορτοποιήθηκε με ειδικό μηχάνημα για να σπάσουν οι

σβώλοι, έτσι ώστε όλοι να περνούν από το κόσκινο 28mm. Στη φάση αυτή έγινε ο προσδιορισμός της περιεχόμενης εργασίας και καθορίστηκε η απαιτούμενη για συμπύκνωση ποσότητα νερού. Στη συνέχεια έγινε ομοιόμορφη διανομή του σταθεροποιητή και συμπύκνωση με μικρά μηχανήματα πολλών διελεύσεων με ταυτόχρονο ψεκάσμο νερού. Ακολούθησε η μορφοποίηση της επιφάνειας με Grader και το πέρασμα των οδοστρωτήρων για την τελική συμπύκνωση και τελικό πάχος των στρώσεων τα 20cm.

ε. Υπολογισμός κυκλοφοριακού φόρτου στη διάρκεια της ζωής του δρόμου (διάρκεια σχεδιασμού) που αντιστοιχεί στα 20 χρόνια. Ο υπολογισμός έγινε με βάση τη μεταφερόμενη ξυλεία, τη σύνθεση της κυκλοφορίας και τον αριθμό των ισοδύναμων αξόνων που απαιτούνται για τη μεταφορά. (Yoder E.J., and Witczak, M.W. 1975)

Στη συνέχεια ακολουθήθηκε η μέθοδος που εφαρμόζεται από τους ερευνητές του Πολυτεχνείου της Ζυρίχης (E.T.H.), κατά την οποία υπολογίζεται στην αρχή η επιτρεπόμενη βάση του κυκλοφοριακού φόρτου - για κάθε δρόμο παραμόρφωση (d_{zul}) και στη συνέχεια η υπάρχουσα παραμόρφωση με τη βοήθεια της δοκού του Benkelman. (Hirt, R. 1972 and Burlet, Ed. 1980)

Για τον υπολογισμό των παραμορφώσεων απαιτείται ένα φορτηγό και μία δοκός Benkelman. Η δοκός τοποθετείται οριζοντιωμένη κατά την εγκάρσια διεύθυνση, στο μέσο ενός δίδυμου τροχού φορτηγού οχήματος αξονικού φορτίου 100KN, που κινείται με πολύ μικρή ταχύτητα μέχρι να διέλθει ο τροχός του πάνω από το σημείο αναφοράς. Κατά την εκτέλεση της δοκιμής, εφαρμόζεται στατικά ένα φορτίο στο οδόστρωμα, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται καθιζήσεις σε αυτό. Οι καθιζήσεις αυτές αποτελούν ένδειξη της φέρουσας ικανότητας της υποδομής και του οδοστρώματος, καταγράφονται σαν βέλη κάμψης στην επιφάνειά του, και το μισό της συνολικής τους τιμής δίνεται από ένα μηκυσιόμετρο που είναι τοποθετημένο σε συγκεκριμένη θέση στη δοκό. Καθώς το όχημα κινείται πάνω στο δρόμο, κάθε 25m, καταγράφονται 2 τιμές. Η μέγιστη και η ελάχιστη, των οποίων η διπλάσια διαφορά δίνει την παραμένουσα παραμόρφωση.

Γνωρίζοντας τον αριθμό W των ισοδύναμων αξόνων που πρόκειται να κυκλοφορήσουν και την τιμή R του τοπικού παράγοντα μπορούμε να υπολογίσουμε για κάθε δρόμο την επιτρεπόμενη τιμή d_{zul} των αποκλίσεων (παραμορφώσεων) από την εξίσωση του Burlet (Burlet, Ed. 1980):

$$d_{zul} = 1580 \left\{ 2.67(W \cdot R)^{0.1068} - 2.54 \right\}^{-1.195} \quad (1)$$

Στη συνέχεια, από τις μετρήσεις που πραγματοποιούνται με τη δοκό, υπολογίζονται τα μεγέθη d (μέσος όρος παραμορφώσεων) σε θέσεις που για το συγκεκριμένο πείραμα

απέχουν μεταξύ τους 50m. Στατιστικά υπολογίζεται η τυπική απόκλιση s των μετρήσεων και τελικά το μέγεθος d_m που ισούται με $d_m = d + 1.3s$. Για τον προσδιορισμό του αριθμού των ισοδυνάμων αξόνων που μπορούν να κυκλοφορήσουν είτε στο υπάρχον είτε στο προτεινόμενο οδόστρωμα, απαιτείται η επίλυση της σχέσης

$$W = \left(\frac{475d_m^{-0.8368} + 2.54}{2.67} \right)^{9.36} \cdot \frac{1}{R} \quad (2)$$

Η ερευνητική αυτή εργασία πραγματοποιήθηκε με τον εργαστηριακό εξοπλισμό του Εργαστηρίου Δασικής Μηχανικής του Πολυτεχνείου της Ζυρίχης στο χρονικό διάστημα 1995-1996, και από τη θέση αυτή θέλω να ευχαριστήσω το προσωπικό για την βοήθειά του στην έρευνα αυτή.

Αποτελέσματα

Από την εδαφολογική εξέταση διαπιστώθηκε ότι το υπέδαφος είναι πηλώδες της κατηγορίας SC-CL με αντοχή CBR=2.5% που υπολογίστηκε με πενετρόμετρο χειρός Farnell σε βάθος 45 cm. Τα όρια Atterberg του εδάφους πριν και μετά τη σταθεροποίησή του με ασβέστη σε ποσοστό 6% φαίνονται στον Πίνακα I. Όσον αφορά τη σταθεροποίηση με τσιμέντο απεδείχθη ότι το συγκεκριμένο έδαφος σταθεροποιείται με τσιμέντο σε ποσοστό 6%. Αυξάνεται δε η αντοχή του μίγματος και φθάνει στην τιμή 2850KPa ύστερα από συντήρηση 7 ημερών, τιμή αρκετά μεγαλύτερη από την ελάχιστη που επιτρέπουν οι προδιαγραφές.

Πίνακας I. Αποτελέσματα επίδρασης στις φυσικές ιδιότητες πηλώδους εδάφους SC-CL σταθεροποιημένου με ασβέστη σε ποσοστό 6%.

| Φυσικές Ιδιότητες | | Ασβέστης 0% | Ασβέστης 6% |
|------------------------|------------------------|-------------|-------------|
| Όριο Υδαρότητας | IL | 44 | 31 |
| Δείκτης Πλαστικότητας | IP | 20 | 9 |
| Βέλτιστη Υγρασία | Wopt % | 14 | 17 |
| Μέγιστη ξηρή πυκνότητα | γ_d (t/m^3) | 1.8 | 1.7 |

Από το συγκεκριμένο δασικό δρόμο υπολογίστηκε ότι ετήσια μεταφέρονται $25000m^3$ και θα έχουμε στη διάρκεια της 20ετίας μεταφορά $500000m^3$ που αντιστοιχούν σε 115000 και συνολικά σε $W=125000ESAL$ (Εσκίογλου, Π. 1996).

Γνωρίζοντας τον αριθμό των αξονικών φορτίων που πρόκειται να κυκλοφορήσουν, και την τιμή του τοπικού παράγοντα R, μπορούμε να υπολογίσουμε την τιμή της επιτρεπόμενης παραμόρφωσης που θα έπρεπε να είχε μετρηθεί με τη δοκό του Benkelman στο υπάρχον οδόστρωμα, ώστε να μπορούν να κυκλοφορήσουν οι 125000 ισοδύναμοι άξονες χωρίς κανένα πρόβλημα βατότητας. Αντικαθιστώντας στη σχέση (1) τις τιμές R=2 και W =125000 ESAL βρίσκουμε $d_{zu1} = 143$. Στον Πίνακα II δίνονται οι παραμορφώσεις που μετρήθηκαν στο υπάρχον οδόστρωμα και στα 5 καινούρια οδοστρώματα που προήλθαν κατόπιν σταθεροποίησης του υπάρχοντος υλικού με τους σταθεροποιητές, σε θέσεις που απέχουν μεταξύ τους 50m. Δίδεται επίσης η τυπική απόκλιση των μετρήσεων και η τελική τιμή d_m η απαραίτητη για όλες τις άλλες μετρήσεις.

Στον Πίνακα III και μετά από την αντικατάσταση των δεδομένων στην εξίσωση (2) δίνονται ο αριθμός των επιτρεπόμενων διελεύσεων αξονικών φορτίων ($W_{επιτρ.}$) στα 6 πειραματικά οδοστρώματα

ΠΙΝΑΚΑΣ II. Υπολογισθείσες παραμορφώσεις με τη δοκό του Benkelman στις θέσεις έρευνας στα 6 πειραματικά οδοστρώματα.

| Θέσεις Μέτρησης (m) | Υπάρχον Οδόστρωμα d_i (10^{-2} mm) | Στρώση με 3A d_i (10^{-2} mm) | Σταθερό με Ασβέστη d_i (10^{-2} mm) | Σταθερό με Ασβ +τέφρα d_i (10^{-2} mm) | Σταθερό με Τσιμέντο d_i (10^{-2} mm) | Σταθερό με Τσ. + τέφρα d_i (10^{-2} mm) |
|---------------------|---|------------------------------------|--|---|---|--|
| 0 | 245 | 220 | 230 | 230 | 200 | 180 |
| 50 | 300 | 280 | 260 | 230 | 200 | 180 |
| 100 | 285 | 220 | 230 | 230 | 205 | 185 |
| 150 | 270 | 200 | 210 | 210 | 185 | 175 |
| 200 | 265 | 200 | 220 | 215 | 170 | 170 |
| 250 | 350 | 250 | 230 | 230 | 180 | 170 |
| 300 | 360 | 280 | 235 | 230 | 170 | 165 |
| 350 | 370 | 290 | 230 | 225 | 185 | 175 |
| 400 | 340 | 265 | 230 | 225 | 190 | 180 |
| 450 | 300 | 210 | 200 | 210 | 185 | 180 |
| M.O. " d " | 308 | 241 | 227 | 223 | 187 | 176 |
| s | 44 | 35 | 16 | 8.5 | 12 | 6 |
| $d_m=d+1.3s$ | 365 | 286 | 248 | 234 | 203 | 184 |

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙΙ. Τιμές επιτρεπόμενης (d_{zul}), πραγματικής (d_m) παραμόρφωσης, τοπικού παράγοντα R και αριθμού επιτρεπόμενων διελεύσεων αξονικών φορτίων ($W_{επιτρ.}$) στα 6 πειραματικά οδοστρώματα.

| ΜΕΓΕΘΗ | Υπάρχον Οδόστρωμα | Στρώση με 3Α | Σταθερό με Ασβέστη | Σταθερό με Ασβ + τέφρα | Σταθερό με Τσιμέντο | Σταθερό με Τσ. + τέφρα |
|--------------|-------------------|--------------|--------------------|------------------------|---------------------|------------------------|
| d_{zul} | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 |
| d_m | 365 | 286 | 248 | 234 | 203 | 184 |
| R | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| $W_{επιτρ.}$ | 903 | 2838 | 5785 | 7774 | 13523 | 23188 |

Συμπεράσματα και συζήτηση

Η σταθεροποίηση των εδαφικών στρώσεων και του υπεδάφους ως τεχνικό αλλά και ως βιολογικό μέτρο, είναι ένα βήμα για μια οδοποιία που σέβεται το περιβάλλον αφού έτσι προφυλάσσονται τα διαθέσιμα αποθέματα αδρανών για άλλες εργασίες. Το σημαντικότερο όμως πλεονέκτημα είναι ότι σε αυτήν χρησιμοποιούνται υλικά που στη φυσική τους κατάσταση θα ήταν ακατάλληλα για έργα οδοποιίας ενώ τώρα δημιουργούνται οικονομικές και ανθεκτικές στρώσεις για την κίνηση πολύ μεγαλύτερου κυκλοφοριακού φόρτου.

Μετρώντας τις αναπτυσσόμενες παραμορφώσεις στο υπάρχον και στα 5 άλλα ερευνητικά σταθεροποιημένα οδοστρώματα εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα :

1. Το έδαφος της έρευνας είναι ένα πηλώδες της κατηγορίας SC - CL που σταθεροποιείται επιτυχώς τόσο με ασβέστη όσο και με τσιμέντο.

2. Οι πλαστικές ιδιότητες του εδάφους βελτιώνονται και το χαρακτηριστικότερο είναι η ισχυρή μείωση του δείκτη πλαστικότητας και η αύξηση της αντοχής του που αυτόματα το καθιστούν υλικό σημαντικής δομικής κατάστασης.

3. Οι αναπτυσσόμενες παραμορφώσεις στο υπάρχον οδόστρωμα είναι διπλάσιες των αναπτυσσόμενων στη σταθεροποιημένη στρώση με τσιμέντο και τέφρα, αυξημένες κατά 45% σε σχέση με τη σταθεροποιημένη στρώση με τσιμέντο, 35% από τη σταθεροποιημένη στρώση με ασβέστη και τέφρα και μόνο 22% από τη στρώση με αμμοχάλικο 3Α.

4. Όσον αφορά στην οικονομία της μεταφοράς, αποδεικνύεται ότι στο υπάρχον οδόστρωμα μπορούν να κυκλοφορήσουν ακόμη μόνο 903 ισοδύναμοι άξονες, ενώ αν σταθεροποιηθεί μηχανικά με υλικό 3Α η στρώση μπορεί να δεχτεί τριπλάσιο φόρτο δηλ. 2838 άξονες. Η σταθεροποιημένη με ασβέστη στρώση μπορεί να δεχτεί διπλάσιο φόρτο από την προηγούμενη στρώση ($W_{επ} = 5785$). Μικρή αύξηση προκύπτει από την προσθήκη στον ασβέστη ποσότητας τέφρας, ενώ η σταθεροποιημένη με τσιμέντο δέχεται 13500 άξονες και αν προσθέσουμε και ιπτάμενη τέφρα τότε ο υπολοιπόμενος κυκλοφοριακός φόρτος (23138) είναι κατά 7 φορές αυξημένος σε σχέση με τον φόρτο που μπορεί να δεχτεί η στρώση με 3Α.

Είναι φανερό λοιπόν πόσο σοβαρά επιδρά η σταθεροποίηση των εδαφικών στρώσεων επί της αντοχής και επί του υπολοιπούμενου κυκλοφοριακού φόρτου. Από τους σταθεροποιητές την μεγαλύτερη επίδραση παρουσιάζει το τσιμέντο και ακόμη μεγαλύτερη μίγμα τσιμέντου και ιπτάμενης τέφρας. Η αυξημένη δυνατότητα υποδοχής κυκλοφοριακού φόρτου σε σχέση με την σταθεροποιημένη με αμμοχάλικο 3Α, μεταφράζεται σε επιπλέον διέλευση 20000 αξονικών φορτίων που αντιστοιχεί στην επιπλέον κίνηση - στη διάρκεια της 20ετίας - 4000 φορτηγών οχημάτων ή στη μεταφορά 80000 m³ ξυλείας.

Για τους παραπάνω λόγους επιβάλλεται να γίνει εκτός της σταθεροποίησης και μελέτη κόστους κατασκευής και οφέλους για την επιλογή της οικονομικότερης λύσης.

Effect of the stabilization pavements on the permissible circulated load

by
Dr. P. Eskioglou *

In many instances subgrade soils that are unsatisfactory in their natural state can be altered by admixtures, by the addition of aggregate, or by proper compaction and thus made suitable for subgrade construction . In its broadest sense, soil stabilization implies improvement of soil so that it can be used for subbases, bases, and, in some rare instances, surface courses with an increase on the permissible circulated load. The research was realized to five different layers. The first with sand- gravel, the second soil stabilized with lime, the next with lime and flyash, the next with cement and the last with cement and flyash. The deflection in the existing pavement is two times more than the cement, and from this layer can pass even seven times more equivalent axles than first. Finally , the economics of problem in light of the benefits derived from the stabilization process determine whether it is warranted.

Key words : Soil stabilization, permissible deflection, Benkelman beam, equivalent axles load (ESAL), flyash.

Βιβλιογραφία

- AASHTO T- 220 - 66. 1987 " Standard method of test for determination of the strength of soil- mixtures"
- AASHTO M - 216-84, 1987 "Standard specification for Lime for soil stabilization (ASTM C 977 - 83a)
- Association Suisse de normalisation (SNV Stabilisations)
- Burlet, Ed. 1980 "Dimensionierung und Verstärkung von Strassen mit geringen Verkehr und flexiblem Oberbau" ETH und SZF, 132, 8: 645-672
- Εσκίογλου, Π. 1991 " Οικονομικά και ανθεκτικά οδοστρώματα στα ορεινά δάση της Ελλάδας" Διδακτορική διατριβή Τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος . Θεσσαλονίκη
- Eskioglou, P., Hirt, R., and Burlet E., 1996 "Investigation of pavement performance using the Benkelman beam method." Scientific Annals of the Department of Forestry and Natural Environment . AUTH
- Εσκίογλου, Π. 1996 " Εφαρμογή της διαστασιολόγησης οδών μικρής κυκλοφορίας στη δασική Οδοποιία " 2ο Διεθνές συνέδριο Ευκάμπτων οδοστρωμάτων και Ασφαλτοσκυροδέματος. (σελ. 78 - 90)Θεσ/νίκη

E s k i o g l o u P., and E f t h y m i o u, P.1996 " Alternative stabilization methods of forest roads for an efficient and gentle mechanization of wood harvesting systems" FAO/ECE/ILO Seminar on "Environmentally sound forest roads and wood transport " Sinaia ,Romania.

* Ass. professor Lab. of forest engineering and surveying. Department of Forestry and Natural environment. Tel. 998974.

H i r t, R. 1972 "Dimensionierung und Verstärkung von Schwach beanspruchten Strassen" SZF,123, 3 : 129 -159

H u a n g E. Y. 1962 "In situ stability of soil - aggregate road materials" Journal of the highway division ,Vol. 88, May 1962

Κ ό λ λ ι α ς Στ. 1965 "Περί σταθεροποίησης εδαφών με τσιμέντο " Περιοδική έκδοση Ένωσης Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος. Αθήνα.

K o l l i a s, St. and W i l l i a m s, R. 1984 " Estimation at the modulus of elasticity of cement stabilized materials" Journal of the highway construction" , Vol . 34 , 2 : 45- 59 .

N ι κ ο λ α ί δ η ς , Αθ. 1996 "Οδοποιία Οδοστρώματα,Υλικά Ελεγχος ποιότητας" σελ.466- 476 και 739-750 .Θεσσαλονίκη

P o r t l a n d C e m e n t a s s o c i a t i o n 1971 "Soil - cement construction Han book "

T h o m s o n, D. 1970 " Autogenous heading of lime - soil mixtures." Highway Research Board No 263 . London

Y o d e r , E. J., W i t c z a k , M. W. 1975 " Principles of pavement design" J .Willey and sons, New York

Μελέτη της επίδρασης σταθεροποιημένων οδοστρωμάτων στον επιτρεπόμενο κυκλοφοριακό φόρτο

Παναγιώτης Εσκίογλου *

* Επίκουρος καθηγητής του Τομέα Δασοτεχνικών και Υδρονομικών Έργων του
Τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος . Α.Π.Θ. τηλ. 998974

Π. Κοσμίδη 7 54453 Θεσσαλονίκη

Πίνακας Ι. Αποτελέσματα επίδρασης στις φυσικές ιδιότητες πηλώδους εδάφους
SC-CL σταθεροποιημένου με ασβέστη σε ποσοστό 6%.

| | | | |
|------------------------|------------------------|-------------|-------------|
| Φυσικές Ιδιότητες | | Ασβέστης 0% | Ασβέστης 6% |
| Όριο Υδαρότητας | IL | 44 | 31 |
| Δείκτης Πλαστικότητας | IP | 20 | 9 |
| Βέλτιστη Υγρασία | Wopt % | 14 | 17 |
| Μέγιστη ξηρή πυκνότητα | γ_d (t/m^3) | 1.8 | 1.7 |

ΠΙΝΑΚΑΣ II. Υπολογισθείσες παραμορφώσεις με τη δοκό του Benkelman στις θέσεις έρευνας στα 6 πειραματικά οδοστρώματα.

| Θέσεις Μέτρησης (m) | Υπάρχον Οδοστρώμα d_i (10^{-2} mm) | Στρώση με 3A d_i (10^{-2} mm) | Σταθερό με Ασβέστη d_i (10^{-2} mm) | Σταθερό με Ασβ + τέφρα d_i (10^{-2} mm) | Σταθερό με Τσιμέντο d_i (10^{-2} mm) | Σταθερό με Τσ. + τέφρα d_i (10^{-2} mm) |
|---------------------|---|------------------------------------|--|--|---|--|
| 0 | 245 | 220 | 230 | 230 | 200 | 180 |
| 50 | 300 | 280 | 260 | 230 | 200 | 180 |
| 100 | 285 | 220 | 230 | 230 | 205 | 185 |
| 150 | 270 | 200 | 210 | 210 | 185 | 175 |
| 200 | 265 | 200 | 220 | 215 | 170 | 170 |
| 250 | 350 | 250 | 230 | 230 | 180 | 170 |
| 300 | 360 | 280 | 235 | 230 | 170 | 165 |
| 350 | 370 | 290 | 230 | 225 | 185 | 175 |
| 400 | 340 | 265 | 230 | 225 | 190 | 180 |
| 450 | 300 | 210 | 200 | 210 | 185 | 180 |
| M.O. " d " | 308 | 241 | 227 | 223 | 187 | 176 |
| s | 44 | 35 | 16 | 8.5 | 12 | 6 |
| $d_m=d+1.3s$ | 365 | 286 | 248 | 234 | 203 | 184 |

ΠΙΝΑΚΑΣ III. Τιμές επιτρεπόμενης (d_{zul}), πραγματικής (d_m) παραμόρφωσης, τοπικού παράγοντα R και αριθμού επιτρεπόμενων διελεύσεων

αξονικών φορτίων($W_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$) στα 6 πειραματικά οδοστρώματα.

| ΜΕΓΕΘΗ | Υπάρχον Οδόστρωμα | Στρώση με 3Α | Σταθερό με Ασβέστη | Σταθερό με Ασβ +τέφρα | Σταθερό με Τσιμέντο | Σταθερό με Τσ. + τέφρα |
|---------------------------------|----------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------------|
| d_{zul} | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 |
| d_m | 365 | 286 | 248 | 234 | 203 | 184 |
| R | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| $W_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$ | 903 | 2838 | 5785 | 7774 | 13523 | 23188 |

ΠΙΝΑΚΑΣ II. Υπολογισθείσες παραμορφώσεις με τη δοκό του Benkelman στις θέσεις έρευνας στα 6 πειραματικά οδοστρώματα.

| Θέσεις Μέτρησης (m) | Υπάρχων δρόμος di (10 ⁻² mm) | Στρώση με 3A di (10 ⁻² mm) | Σταθερό με Ασβέστη di (10 ⁻² mm) | Σταθερό με Ασβ +τέφρα di (10 ⁻² mm) | Σταθερό με Τσιμέντο di (10 ⁻² mm) | Σταθερό με Τσ. + τέφρα di (10 ⁻² mm) |
|---------------------------|---|--|--|--|---|--|
| 0 | 245 | 220 | 230 | 230 | 200 | 180 |
| 50 | 300 | 280 | 260 | 230 | 200 | 180 |
| 100 | 285 | 220 | 230 | 230 | 205 | 185 |
| 150 | 270 | 200 | 210 | 210 | 185 | 175 |
| 200 | 265 | 200 | 220 | 215 | 170 | 170 |
| 250 | 350 | 250 | 230 | 230 | 180 | 170 |
| 300 | 360 | 280 | 235 | 230 | 170 | 165 |
| 350 | 370 | 290 | 230 | 225 | 185 | 175 |
| 400 | 340 | 265 | 230 | 225 | 190 | 180 |
| 450 | 300 | 210 | 200 | 210 | 185 | 180 |
| M.O. " d " | 308 | 241 | 227 | 223 | 187 | 176 |
| s | 44 | 35 | 16 | 8.5 | 12 | 6 |
| d _m =d+1.3s | 365 | 286 | 248 | 234 | 203 | 184 |

ΠΙΝΑΚΑΣ III. Τιμές επιτρεπόμενης (d_{zul}), πραγματικής (d_m) παραμόρφωσης, τοπικού παράγοντα R και αριθμού επιτρεπόμενων διελεύσεων αξονικών φορτίων ($W_{επιτρ.}$) στα 6 πειραματικά οδοστρώματα.

| ΜΕΓΕΘΗ | Υπάρχων Οδοστρω μα | Στρώση με 3A | Σταθερό με Ασβέστη | Σταθερό με Ασβ +τέφρα | Σταθερό με Τσιμέντο | Σταθερό με Τσ. + τέφρα |
|--------------|--------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------------------|
| d_{zul} | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 | 143 |
| d_m | 365 | 286 | 248 | 234 | 203 | 184 |
| R | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| $W_{επιτρ.}$ | 903 | 2838 | 5785 | 7774 | 13523 | 23188 |

