

Η χρήση παραπροϊόντων και ο έλεγχος του κυκλοφοριακού φορτίου στην κατασκευή και λειτουργία δασικών δρόμων με τρόπους φιλικούς στο περιβάλλον

Παναγιώτης Χρ. Εσκίολου¹

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στους δασικούς δρόμους που κατασκευάζονται συνήθως σε υπέδαφος με χαμηλή φέρουσα ικανότητα χωρίς τεχνικά έργα, κυκλοφορούν συνήθως βαρέα και υπερφορτωμένα οχήματα. Εξαιτίας αυτών των παραμέτρων, το κατάστρωμα του δρόμου διαβρώνεται σταδιακά και στη συνέχεια υποβαθμίζεται το ευρύτερο περιβάλλον. Στην παρούσα εργασία ερευνάται, προς δύο κατευθύνσεις η δυνατότητα μείωσης των αρνητικών αυτών επιπτώσεων. Η πρώτη με την ενίσχυση της αντοχής του υπεδάφους με την ανάμιξή του με διάφορα παραπροϊόντα όπως τρίμματα ελαστικού, ιπτάμενη τέφρα και υδράσβεστο, και η δεύτερη με την εύρεση και κυκλοφορία εκείνων των τύπων των οχημάτων που ενώ θα μεταφέρουν μεγαλύτερες ποσότητες θα επιβαρύνουν λιγότερο το δασικό έδαφος. Η έρευνα έδειξε ότι η σταθεροποίηση του υπεδάφους με ασβέστη και τέφρα βελτιώνει την πλαστικότητα και την αντοχή του, μειώνει την ικανότητα διόγκωσής του και ελαχιστοποιεί την υπερκατανάλωση των φυσικών πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται στις στρώσεις των δασικών δρόμων. Αντίθετα η χρήση των τριμμάτων των ελαστικών δεν βελτιώνει τη συμπεριφορά του σώματος κυκλοφορίας της δασικής οδού αλλά συμβάλλει απλά στην περιβαλλοντική προστασία καθώς ελαχιστοποιεί τις βλαβερές επιπτώσεις από την απόθεσή τους στο περιβάλλον. Από την άλλη η έρευνα κατέδειξε ότι στους δασικούς δρόμους θα πρέπει να αποφεύγονται τα διαξονικά και τα υπερφορτωμένα οχήματα γιατί επιβαρύνουν υπερβολικά το έδαφος και θεωρούνται υπεύθυνα για την διάβρωση του. Με βάση έναν συντελεστή η που αντιστοιχεί στον αριθμό των αξόνων που μεταφέρουν 1m^3 ξυλείας, βρέθηκε ότι στα διαξονικά φορητά 1m^3 ξυλείας μεταφέρεται από 0.230 άξονες όταν η ίδια ποσότητα μεταφέρεται μόνο από 0.130 άξονες τετραξονικού ή πενταξονικού φορητού. Επομένως η κυκλοφορία διαξονικών οχημάτων επιβαρύνει το έδαφος κατά 76%. Αλλά εδαφική επιβάρυνση έχουμε και από την κυκλοφορία υπερφορτωμένων οχημάτων από 9-23%, αφού ο συντελεστής η λαμβάνει τιμές 0.25 και 0.160 αντίστοιχα για διαξονικά και πενταξονικά υπερφορτωμένα οχήματα.

Λέξεις κλειδιά: παραπροϊόντα, τέφρα, υδράσβεστος, τρίμματα ελαστικού, συντελεστής η , κυκλοφοριακός φόρτος, κατασκευή και λειτουργία δρόμου, υπερφορτωμένα φορητά

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κάθε τεχνικό έργο που κατασκευάζεται μέσα σε ένα δασικό οικοσύστημα θα πρέπει να σέβεται το περιβάλλον και να περιορίζει στο ελάχιστο δυνατό τις αρνητικές επιπτώσεις που οφείλονται στην κατασκευή αυτή. Επειδή οι αρνητικές επιπτώσεις στα έργα Δασικής Οδοποιίας, συνεχίζονται και κατά το στάδιο της λειτουργίας του έργου, θα πρέπει αυτά να σχεδιάζονται και κατασκευάζονται με ιδιαίτερη φιλοπεριβαλλοντική φροντίδα. Μία σοβαρή επίπτωση στο περιβάλλον είναι η επιφανειακή διάβρωση για την οποία ευθύνονται η απουσία τεχνικών έργων, η ακανόνιστη σύνθεση κυκλοφορίας

και η χαμηλή φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους που μειώνεται ακόμη περισσότερο από την ανοιξιάτικη τήξη του χιονιού.

Επομένως, επιστημονική προσέγγιση στα εν λόγω θέματα και ιδιαίτερα στην ρύθμιση της κυκλοφοριακής σύνθεσης και την ενίσχυση της αντοχής του υπεδάφους είναι ιδιαίτερα επιβεβλημένη. Όταν δε η ενίσχυση του υπεδάφους πετυχαίνεται με διάφορα παραπροϊόντα, τότε εκτός του αρχικού στόχου, ταυτόχρονα προστατεύουμε το ευρύτερο περιβάλλον με την επεξεργασία των επικίνδυνων παραπροϊόντων και την ελαχιστοποίηση χρήσης των φυσικών πόρων για την κατασκευή των στρώσεων των δασικών δρόμων.

¹ Αναπληρωτής Καθηγητής Τομέα Δασοτεχνικών και Υδρονομικών Έργων, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος Α.Π.Θ.

Διάφορες ερευνητικές προσπάθειες για τη διερεύνηση χρησιμοποίησης σταθεροποιητών και ανακυκλώσιμων υλικών πραγματοποιήθηκαν τα τελευταία χρόνια. Σκοπός των ερευνών ήταν να υπολογιστεί πού και κατά πόσο τα παραπροϊόντα μπορούν να αντικαταστήσουν τα απαιτούμενα φυσικά αποθέματα (αμμοχάλικο, θραυστό και υλικό λατομείου) που χρησιμοποιούνται στους δρόμους με διάφορα παραπροϊόντα όπως τέφρα και ερυθρά ιλύς. (Τσώχος και Ηλιού 1995, Μουρατίδης 1996). Σε δασικούς δρόμους και ειδικότερα σε διογκούμενα εδάφη, βρέθηκε ότι προσθήκη μικρής ποσότητας ασβέστου (6-8%) σε μίξη με τέφρα μπορεί να τροποποιήσει τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες και να βελτιώσει την όλη μηχανική τους συμπεριφορά. (Eskiloglu 1996, Αθανασοπούλου 2000).

Η σταθεροποίηση του εδάφους με ιπτάμενη τέφρα αποδείχθηκε ότι βελτιώνει τα χαρακτηριστικά αντοχής του ενώ μπορεί ως στρώση οδοστρώματος να δεχθεί μεγαλύτερο κυκλοφοριακό φόρτο. (Hirt, 1994, Eskiloglu e.a 1996, Eskiloglu, 1997). Σε δασικούς δρόμους έγιναν επίσης και δοκιμές σταθεροποίησης του πεδύφους και των στρώσεων των δασικών δρόμων με τριμμάτα των ελαστικών. Στη χώρα μας, ετησίως απορρίπτονται ανεξέλεγκτα 34000 τόνοι ελαστικών με αποτέλεσμα την αισθητική υποβάθμιση του περιβάλλοντος και τον κίνδυνο μόλυνσης αλλά και αυτανάφλεξης των υλικών. Επομένως η ανάγκη για ανακύκλωση των ελαστικών είναι απαραίτητη διότι συμβάλλει στη μείωση του όγκου απορριμμάτων, στον δε τομέα των οδικών έργων, στην εξοικονόμηση πρώτων υλών και ενέργειας. Έρευνες έχουν δείξει ότι η ανάμιξη των εδαφών με τριμμάτα ελαστικών μειώνει τον θόρυβο κατά 5-8Db, αυξάνει την ευκαμψία του οδοστρώματος μειώνει τις αντανάκλασεις από τα φώτα και κάνει μέχρι τέσσερις φορές πιο απορροφητική την επιφάνεια των οδοστρώματων. Αποδείχθηκε όμως ότι τα τριμμάτα αυτά σε μίξη με το έδαφος δεν προσφέρουν τίποτε το ιδιαίτερο στην αύξηση της αντοχής του εδάφους, αλλά προσπατεύουν το περιβάλλον από την ανεξέλεγκτη απόθεσή τους. (Tabbaa and Aravinthan, 1998, Eskiloglu, 2004).

Από την άλλη, έρευνες έδειξαν ότι η σύνθεση της κυκλοφορίας, ο τύπος των οχημάτων και η κατανομή των αξονικών φορτίων είναι υπεύθυνα για την επιβάρυνση και τη διάβρωση του εδάφους. Ο Whitcomb, (1990) μέσω μαθηματικών σχέσεων και επεξεργασίας ενός προγράμματος H/Y (Surfacing

Thickness Program STP) μετέτρεψε όλα τα αξονικά φορτία που κυκλοφορούν στους low-volume δασικούς δρόμους, σε ισοδύναμα αξονικά φορτία. Οι Hirt και Moisis (1999) με βάση τα αποτελέσματα του προηγούμενου ερευνητή απέδειξαν ότι η ελαχιστοποίηση της επιβάρυνσης και της διάβρωσης του εδάφους πετυχαίνεται όταν τα αξονικά φορτία δεν ξεπερνούν τους 6.3, 8.2 και 14.5 τόνους για μονό άξονα με μονά ελαστικά, μονό με διπλά και δίδυμο άξονα αντίστοιχα. Τέλος όσον αφορά την υπερφόρτωση των οχημάτων, βρέθηκε ότι το φαινόμενο αυτό επιβαρύνει εκθετικά το έδαφος και επιταχύνει την διάβρωση και μειώνει τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος (Eskiloglu 1994, Eskiloglu and Eftymiou 1995).

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται ερευνητικά αλλά και αναλυτικά να δοθούν προτάσεις αφενός για την αύξηση της φέρουσας ικανότητας των εδαφικών στρώσεων των δασικών δρόμων και αφετέρου για την ελαχιστοποίηση της επιφανειακής διάβρωσης από την κίνηση των βαρέων οχημάτων.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η έρευνά που πραγματοποιήθηκε στην ευρύτερη περιοχή του Δασαρχείου Σουφλίου και κινήθηκε σε δύο διαφορετικές κατευθύνσεις. Στην πρώτη διερευνήθηκε εργαστηριακά η δυνατότητα χρησιμοποίησης υδρασβέστου, τέφρας και τριμμάτων ελαστικού ως σταθεροποιητών του εδάφους ώστε να καταγραφεί η μεταβολή των μηχανικών τους ιδιοτήτων και η δυνατότητα ενίσχυσης της αντοχής του πεδύφους ώστε να ελαχιστοποιηθεί η επιφανειακή διάβρωση και να επιτευχθεί μείωση υπερκατανάλωσης των φυσικών-δομικών πόρων με τη χρησιμοποίηση των παραπροϊόντων αυτών στις στρώσεις των δασικών δρόμων.

Για το πρώτο μέρος της έρευνας - σε τέσσερις τυχαίες εδαφικές θέσεις - πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο: η κοκκομετρική διαβάθμιση με κοσκίνισμα του εδάφους σύμφωνα με την προδιαγραφή BS 1377/75, ο υπολογισμός - με τη μέθοδο του αραιομέτρου - του λεπτόκοκκου τμήματος που διέρχεται από το κόσκινο Νο 200, ο προσδιορισμός των ορίων Atterberg με την AASHTO T 89 και T 90, και ο προσδιορισμός των τιμών ελεύθερης διόγκωσης και τάσης (πίεσης) διόγκωσης με τη διαδικασία της προδιαγραφής ASTM D 4546, μέθοδος A. Το έδαφος που κυριαρχούσε από τις δειγματοληψίες, προέρχεται από πυριγενή πετρώματα, πλούσια σε ασβεστούχους άστριους και είναι έντονα αργιλώδες πολύ διογκούμενο ακατάλληλο για βάσεις ή υποβάσεις και σε σχέ-

ση με την υψηλή τιμή του δείκτη πλαστικότητας και του ποσοστού αργίλου ταξινομήθηκε κατά το ενοποιημένο σύστημα εδαφών, στην κατηγορία CH.

Ακολούθησε η σταθεροποίησή του με υδράσβεστο σε ποσοστά 4% - 10% (για τον προσδιορισμό της αντοχής 4%-8%) και τέφρα σε ποσοστά 4% - 12% κατά βάρος και με τρίμματα ελαστικού σε ποσοστά 10 και 20%. Η υδράσβεστος της έρευνας μας, είναι η απλή του εμπορίου, η τέφρα λήφθηκε από την Πτολεμαίδα, ενώ τα τρίμματα ελαστικού λήφθηκαν σε διάφορα μεγέθη από τις εγκαταστάσεις του Συνδέσμου Ο.Τ.Α. Μειζονος Θεσσαλονίκης και προέκυψαν από την φυσική και χημική επεξεργασία τους (πυρόλυση),

Στο δεύτερο μέρος της έρευνας, μέσα από μαθηματικές σχέσεις (Whitcomb, 1990), επιχειρήθηκε η επιλογή του οχήματος και της σύνθεσης κυκλοφορίας που θα μεταφέρει την μεγαλύτερη ποσότητα προϊόντων, επιβαρύνοντας στο ελάχιστο το έδαφος. Επίσης ερευνήθηκε το μέγεθος της αρνητικής επί-

δρασης των υπερφορτωμένων οχημάτων στους δασικούς δρόμους.

Για το δεύτερο σκέλος της έρευνας, το αξονικό φορτίο των κυκλοφορούντων οχημάτων μετατρέπεται σε ισοδύναμους άξονες και στη συνέχεια υπολογίζονται για κάθε όχημα ο συνολικός αριθμός τους. Σε συνδυασμό με την μεταφερόμενη ποσότητα, βρίσκει ο ατομικός συντελεστής η κάθε οχήματος που δηλώνει πόσοι Ισοδύναμοι άξονες χρειάζονται για να μεταφέρουν $1m^3$ ξυλείας. Ο συντελεστής αυτός που αναφέρεται σε οχήματα πλήρως φορτωμένα, είναι υπεύθυνος για την επιβάρυνση του εδάφους και στόχος των μελετητών είναι η μείωση της τιμής του.

Επίσης μελετήθηκε η επίδραση της υπερφόρτωσης του οχήματος στην επιβάρυνση του εδάφους, αφού αυτό το φαινόμενο σχετίζεται με επιπλέον μεταφερόμενη ποσότητα ξυλείας, αύξηση του αξονικού και του ισοδύναμου αξονικού φορτίου που μεταφράζεται σε αύξηση της τιμής του παράγοντα η άρα και της επιβάρυνσης του εδάφους.

Πίνακας I: Φυσικές ιδιότητες του εξετασθέντος εδαφικού υλικού

Table I: Natural properties of the soil tested

Φυσική υγρασία (%)	38,5
Περιεκτικότητα σε άργιλο (%)	55,0
Υλικό διερχόμενο από κόσκινο No 200 (%)	93,0
LL	70,0
PL	25,0
IP	45,0
Ελεύθερη διόγκωση (οιδήμετρο) (%)	27,5
Πίεση διόγκωσης (KPa)	370

Πίνακας II: Χημική σύσταση των χρησιμοποιηθέντων σταθεροποιητών

Table II: Chemical composition of the stabilizers used in the tests

Ιδιότητες	Υδράσβεστος	Ιπτάμενη τέφρα
CaO (%)	63	20
MgO (%)	0,55	1,8
SiO ₂ (%)	0,01	30
Al ₂ O ₃ (%)	0,01	10,9
Fe ₂ O ₃ (%)	0,11	4,6
Απώλεια πύρωσης	33	14

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

1. Σταθεροποίηση εδαφικών δειγμάτων με πα- απροϊόντα

Στον Πίνακα I παρουσιάζονται οι φυσικές ιδιότητες του εδαφικού δείγματος από την περιοχή έρευνας (όρια Atterberg, διόγκωση, πίεση διόγκωσης) ενώ στον Πίνακα II η ηχημική σύσταση και το μέγεθος της απώλειας πύρωσής των χρησιμοποιηθέντων σταθεροποιητών υδρασβέστου και ιπτάμενης τέφρας.

Οι μεταβολές των πλαστικών ιδιοτήτων του εδάφους (Όρια υδαρότητας LL, όριο και δείκτης πλαστικότητας PL, IP) για διάφορες ποσότητες των σταθεροποιητών τέφρας και υδρασβέστου, φαίνονται στον Πίνακα III. Στον ίδιο Πίνακα παρουσιάζονται και οι μεταβολές της ξηρής πυκνότητας σε σχέση με την περιεχόμενη υγρασία από την επεξεργασία των δοκιμών με τη μέθοδο Proctor. Τέλος δίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη δοκιμασία της ανεμπόδιστηθ θλίψης στην οποία υποβλήθηκαν τα σταθεροποιημένα δοκίμια με τα ίδια ποσοστά σταθεροποιητών για τον υπολογισμό της αντοχής τους. Η δοκιμασία του νέου υλικού πραγματοποιήθηκε για διάφορες χρονικές περιόδους συντήρησης και συγκεκριμένα για διάστημα 7, 28 και 90 ημερών.

Από τον Πίνακα III διαπιστώνεται ότι στο διογκωμένο αργιλικό έδαφος της έρευνάς μας, που έχει υψηλές τιμές ορίου υδαρότητας, οι τιμές αυτές μειώνονται με την προσθήκη ιπτάμενης τέφρας και υδρασβέστου. Ειδικότερα η μείωση των ορίων υδα-

ρότητας φθάνει το 18%, ενώ η μείωση του δείκτη πλαστικότητας ξεπερνά το 50%. Από βιβλιογραφικές αναφορές, αυτό πιθανόν να οφείλεται στη μείωση του πάχους της διάχυτης διπλής στιβάδας που σχετίζεται με τα αργιλικά σωματίδια.

Από τον ίδιο πίνακα διαπιστώνουμε ότι καθώς αυξάνεται μέσα στο μίγμα η ποσότητα των σταθεροποιητών - και συγκεκριμένα η τέφρα από 0% σε 12% και η υδράσβεστος από 0% σε 8%, η μέγιστη ξηρά πυκνότητα μειώνεται μέχρι και 8%, ενώ η βέλτιστη υγρασία αυξάνεται περίπου μέχρι 40%. Το συμπέρασμα αυτό έρχεται σε ευθεία σχέση με την αύξηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους. Τέλος όπως φαίνεται στον ίδιο πίνακα, με την προσθήκη τέφρας και υδρασβέστου αυξάνεται η αντοχή των εδαφικών μγμάτων μέχρι και 4.5 φορές, καθώς αυξάνεται το ποσοστό των σταθεροποιητών. Αύξηση όμως παρατηρούμε και με την επιμήκυνση του χρόνου συντήρησης των εδαφικών δοκιμών. Όταν προσθέτουμε τέφρα αυξάνεται η αντοχή μέχρι 5,5 φορές όταν το δοκίμιο συντηρείται για 90 ημέρες, ενώ η αντοχή εδάφους σταθεροποιημένου με 8% ασβέστη για ίδιο χρονικό διάστημα αυξάνεται μέχρι 10 φορές. Και στις δύο περιπτώσεις, η αντοχή φτάνει σε τέτοια όρια, ώστε το εδαφικό υλικό να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στους δασικούς δρόμους ως υλικό υπόβασης.

Οι ίδιες ακριβώς δοκιμασίες - μεταβολής ξηράς πυκνότητας και αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη-έγιναν και σε εδαφικό υλικό που σταθεροποιήθηκε με

Πίνακας III: Μεταβολή των πλαστικών ιδιοτήτων και της θλιπτικής αντοχής των εδαφών έρευνας μετά τη σταθεροποίησή τους με υδράσβεστο και τέφρα

Table III: Variation of the soil Atterberg limits, moisture-density relationships (Proctor) and compressive strength of soil treated with different percentages of flyash and lime

Υλικά Μίξης			Όρια Atterberg			Τιμές δοκιμής Proctor		Αντοχή σε θλίψη UCS Kg/cm ²		
έδαφος	I.T. %	Ασβέστης %	LL %	PL %	IP %	γ_d Kg/m ³	Wopt %	Ημέρες		
								7	28	90
+	0	0	70	25	45	1570	21,2	1,7	1,7	1,7
+	4	0	68	31	37	1530	25,0	4,5	4,7	5,7
+	8	0	62	34	28	1500	26,0	6,5	7,5	8,0
+	12	0	58	36	22	1440	30,5	7,5	9,0	9,5
+	0	4	66	40	26	1455	27,0	6,0	9,7	14
+	0	6	60	43	17	1450	28,5	6,8	12,0	23
+	0	8	57	45	12	1445	29,2	7,5	14,0	17

Πίνακας IV: Μέγιστη ξηρά πυκνότητα και αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη (ελαστικό)**Table IV:** Variation of the optimum dry density and compressive strength of soil treated with different percentages of shredded tire

Υγρασία %	Ποσοστά Τριμμάτων Ελαστικών					
	0%		10%		20%	
	γ_d (Kg/m ³)	UCS (Kg/cm ²)	γ_d (Kg/m ³)	UCS (Kg/cm ²)	γ_d (Kg/m ³)	UCS (Kg/cm ²)
18	1540	1,60	1470	1,50	1360	1,30
20	1580	1,65	1480	1,52	1400	1,34
22	1640	1,70	1550	1,55	1450	1,36
24	1660	1,68	1530	1,53	1470	1,35
26	1580	1,65	1500	1,52	1420	1,32
28	1550	1,63	1460	1,52	1400	1,31

τρίμματα ελαστικού σε ποσοστά 0, 10% και 20%, και για διάφορες ποσότητες περιεχόμενης υγρασίας. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα IV και διαπιστώνεται αρχικά ότι η προσθήκη αυτού του παραπροϊόντος στα ίδια εδάφη, όχι μόνο δεν αύξησε αλλά αντίθετα μείωσε την αντοχής τους και μάλιστα καθώς αυξάνεται το ποσοστό των τριμμάτων αυτών, η αντοχή τους μειώνεται ακόμη περισσότερο. Μείωση επίσης παρουσιάζει και η μέγιστη ξηρή πυκνότητα, η οποία φτάνει μέχρι και 11% όταν το ποσοστό των τριμμάτων ανέρχεται στο 20% κατά βάρος.

Στον Πίνακα V δίνεται η μεταβολή της ελεύθερης διόγκωσης και της πίεσης διόγκωσης κατόπιν

της ανάμιξης του εδάφους με υδράσβεστο και ιπτάμενη τέφρα,

Από τα στοιχεία του Πίνακα φαίνεται πως η προσθήκη των σταθεροποιητών μείωσε την διόγκωση των εδαφικών δειγμάτων. Με την προσθήκη υδρασβέστου σε ποσοστό 4% κατά βάρος, η ελεύθερη διόγκωση μειώθηκε κατά 12% σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή του ακατέργαστου εδάφους. Η μείωση αυτή αγγίζει το 50% όταν το ποσοστό της υδρασβέστου ανέρχεται στο 10%. Ισχυρότερη επίδραση στην ελεύθερη διόγκωση του εδάφους έχουμε από την προσθήκη της τέφρας. Με πρόσμιξη 4% ιπτάμενης τέφρας, το έδαφος διογκώνεται 35% λιγότερο, ενώ όταν το ποσοστό

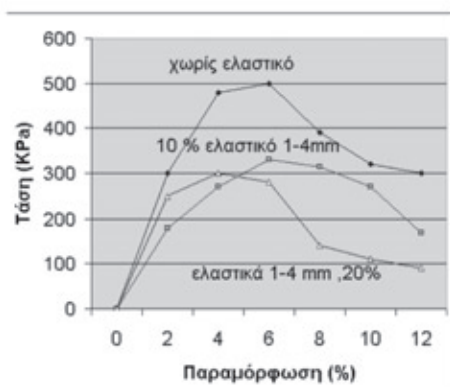
Πίνακας V: Μεταβολή της ελεύθερης διόγκωσης και της πίεσης διόγκωσης κατόπιν της ανάμιξης του εδάφους με υδράσβεστο και ιπτάμενη τέφρα**Table V:** Free swell and swelling pressure variation with the addition of lime and flyash

Ποσοστό Υδρασβέστη (%)	Ελεύθερη Διόγκωση (%)	Πίεση διόγκωσης KPa	Ποσοστό Ιπτ. Τέφρας (%)	Ελεύθερη Διόγκωση (%)	Πίεση διόγκωσης KPa
0	27,5	370	0	27,5	370
4	24,3	710	4	18	730
6	17	1010	6	17	1080
8	16,8	1700	8	16	1150
10	13,5	1920	12	13,3	1230

είναι 10% η τιμή της διόγκωσης είναι ακριβώς ίδια με την αντίστοιχη του μίγματος έδαφος-υδράσβεστος.

Αλλά με την προσθήκη και την αύξηση του ποσοστού των σταθεροποιητών, παρατηρείται και μία αύξηση στην τιμή της τάσης (πίεσης) διόγκωσης. Η τάση αυτή γίνεται 4 φορές μεγαλύτερη όταν το ποσοστό της τέφρας ανέρχεται στο 12% κ.β. και 5 φορές όταν προστίθεται υδράσβεστος σε ποσοστό 10%.

Στο Σχήμα 1 φαίνεται η σχέση τάσης - παραμόρφωσης των εδαφών έρευνας όταν σταθεροποιήθηκαν με διάφορα ποσοστά και διαστάσεις τριμμάτων ελαστικών. Παρατηρείται ότι η τάση μειώνεται καθώς αυξάνεται το ποσοστό του παραπροϊόντος στο μίγμα, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται το ποσοστό παραμόρφωσης με την επίδραση εξωτερικής δύναμης. Αυτό σχετίζεται με τη μείωση της αντοχής του μίγματος.

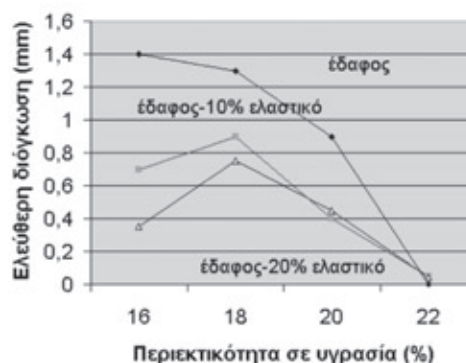


Σχήμα 1: Σχέση τάσης παραμόρφωσης σε εδάφη που σταθεροποιήθηκαν με διάφορες ποσότητες και μεγέθη τριμμάτων ελαστικών

Figure 1: Variation of strain-deformation relationship of soil treated with different percentages and dimensions of shredded tire

Στο Σχήμα 2 δίνεται η μεταβολή της διόγκωσης των εδαφών έρευνας όταν σταθεροποιήθηκαν με διάφορα ποσοστά ελαστικών τριμμάτων και πάντα σε σχέση με την περιεχόμενη υγρασία του μίγματος.

Εδώ η προσθήκη τριμμάτων ελαστικών οδηγεί σε μείωση της διόγκωσης του εδάφους, ιδιαίτερα όσο αυξάνεται το ποσοστό. Η μεγαλύτερη μείωση (50%) πετυχαίνεται όταν προστεθούν τριμμάτια σε ποσοστό 10% και με περιεχόμενη υγρασία περίπου στο 16%. Καθώς η ποσότητα της υγρασίας αυξάνεται, μειώνεται η διόγκωση των δειγμάτων, και φθάνει να μηδενίζεται σε όλα όταν η περιεχόμενη υγρασία αγγίζει το 22%.



Σχήμα 2: Μεταβολή της διόγκωσης σε σχέση με περιεκτικότητα σε τριμμάτια ελαστικών και περιεχόμενη υγρασία.

Figure 2: Free swell variation of soil treated with different percentages of shredded tire

2.Σύνθεση κυκλοφορίας

Στους Πίνακες VI και VII δίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των κανονικά κυκλοφορούντων βαρέων φορηγών από την περιοχή έρευνας. (Μικτό, Αξονικό και ισοδύναμο φορτίο, συνολική μεταφερόμενη ποσότητα ξυλείας / άξονες η που μεταφέρουν 1 m³) καθώς και των ίδιων οχημάτων όταν κυκλοφορούν υπερφορτωμένα σε ποσοστό 20%. Ειδικότερα στον Πίνακα VI το συνολικό μικτό βάρος που δίνεται μέσα σε παρένθεση και το αξονικό φορτίο (στήλη 2), είναι αυτά ακριβώς που ορίζονται από τις κατασκευάστριες εταιρείες και αυτά που πρέπει να ισχύουν. Από τα στοιχεία αυτά υπολογίζονται και οι ισοδύναμοι άξονες ή τα ισοδύναμα αξονικά φορτία (Α.Φ) από τις προαναφερόμενες μαθηματικές σχέσεις (Whitcomb). Αν δε οι συνολικοί Ισοδύναμοι άξονες κάθε φορηγού διαιρεθούν με την μεταφερόμενη ποσότητα ξυλείας -η οποία είναι επίσης καθορισμένη για κάθε τύπο φορηγού- τότε δίδεται μία τιμή η που είναι μοναδική για κάθε φορηγό και δηλώνει τον αριθμό των αξόνων που μεταφέρουν 1 m³ ξυλείας (στήλη 4). Από τον Πίνακα αυτόν φαίνεται καθαρά ότι η μεγαλύτερη επιβάρυνση του εδάφους προκαλείται από τα διαξονικά φορηγά. Αυτό συνάγεται, επειδή 1m³ ξυλείας, για να μεταφερθεί από διαξονικό όχημα χρειάζονται η = 0.230 Ισοδύναμοι άξονες, όταν η ίδια ποσότητα μεταφέρεται από η = 0.134 I.A, η = 0.137 I.A, η = 0.130 I.A, τριαξονικού, τετραξονικού και πενταξονικού φορηγού αντίστοιχα. Επομένως η κυκλοφορία διαξονικών οχημάτων επιβαρύνει το έδαφος μέχρι και 73% περισσότερο από τους άλλους τύπους βαρέων οχημάτων.

Πίνακας VI: Τεχνικά χαρακτηριστικά των κυκλοφορούντων βαρέων φορηγών (Μικτό, Αξονικό και Ισοδύναμο φορτίο, συνολική μεταφερόμενη ποσότητα ξυλείας / άξονες η που μεταφέρουν 1 m³)

Table VI: Technical characteristics of heavy goods vehicles in use under normal conditions (Total weight, equivalent axles load, total quantity of wood transported/axles n which transport 1m³)

Τύπος Οχήματος	Αξον. Φορτία. (M.B.) KN* 10 ⁻¹	Ισοδυν. Α.Φ. (συνολικά) KN* 10 ⁻¹	Μεταφερόμενη ποσότητα m ³ ξυλείας / άξονες η που μεταφέρουν 1 m ³
1	2	3	4
Mercedes 1924 και 1926, Daf DH 385, Magirus 64 Steyer K38, Volvo GT 10	6/13 (19)	0.75/2.6 (3.35)	14.4 / 0.230
Mercedes 2626, 2632	6.5/2X10 (27)	0.9/2.19 (3.1)	23.0 / 0.134
Volvo 38	8/10/2X10 (38)	1.4/1.2/2.19 (4.8)	35.0 / 0.137
Mercedes 5άξονες.	6/14/20 (40)	0.75/1.6/2.2 (4.55)	35.0 / 0.130

Στον Πίνακα VII και στη στήλη 2 φαίνεται η νέα μεταφορική ικανότητα του κάθε φορηγού που κινείται τώρα υπερφορτωμένο κατά 20%. Παρουσιάζονται νέα αξονικά και κατά συνέπεια και συνολικά φορτία. Χρησιμοποιώντας τις ίδιες μαθηματικές σχέσεις υπολογίζονται οι νέες τιμές των ισοδύναμων αξόνων (στήλη 3) και οι τιμές η που προκύπτουν τώρα με την καινούρια μεταφορική ικανότητα των οχημάτων, αλλά αναφέρονται και

πάλι στον αριθμό των αξόνων που μεταφέρουν 1 m³ ξυλείας (στήλη 4). Διαπιστώνεται ότι ο κάθε τύπος φορηγού, όταν κινείται υπερφορτωμένος προκαλεί επιβάρυνση του καταστρώματος που κυμαίνεται από 9% -23%. Αυτό προκύπτει από την αύξηση του συντελεστή η που λαμβάνει τιμές 0.25, 0.157, 0.165 και 0.160 αντίστοιχα για διαξονικά, τριαξονικά, τετραξονικά και πενταξονικά υπερφορτωμένα οχήματα.

Πίνακας VII: Τεχνικά χαρακτηριστικά κυκλοφορούντων υπερφορτωμένων οχημάτων

Table VII: Technical characteristics of heavy goods vehicles in use under overloaded conditions

Τύπος Οχήματος	Αξον. Φορτία. (M.B.) KN* 10 ⁻¹	Ισοδυν. Α.Φ. (συνολικά) KN* 10 ⁻¹	Μεταφερόμενη ποσότητα m ³ ξυλείας / άξονες η που μεταφέρουν 1 m ³
1	2	3	4
Volvo, Mercedes 1924,26, Daf Magirus 64 Steyer	7/15.9 (23)	1.2/3.8 (5)	20.1 / 0.250
Mercedes 2626 2632	8/2X12.5 (33)	1.4/3.8 (5.2)	33.0 / 0.157
Volvo 38	8/12/2X14 (48)	1.4/2.5/4.2 (8.1)	49.0 / 0.165
Mercedes 5achs. Sattelschlepper	6/16/28 (50)	0.75/3.2/4.2 (8.15)	49.0 / 0.160

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Πραγματοποιήθηκε έρευνα για την ενίσχυση της φέρουσας ικανότητας και τη μείωση των παραγόντων που ευθύνονται για τη διάβρωση του σώματος της κυκλοφορίας των δασικών δρόμων. Για τον σκοπό αυτόν στον κεντρικό δασικό δρόμο του Δασαρχείου Σουφλίου, ερευνήθηκε αφενός η χρησιμοποίηση διάφορων παραπροϊόντων στο δι-ογκωμένο αργιλικό έδαφος της περιοχής έρευνας και αφετέρου με θεωρητικό τρόπο και με επίλυση μαθηματικών σχέσεων προσδιορίστηκε εκείνος ο τύπος των οχημάτων, που ενώ θα μεταφέρει την μεγαλύτερη ποσότητα προϊόντων, θα επιβαρύνει λιγότερο το σώμα της κυκλοφορίας.

Από την έρευνα συμπεραίνεται ότι:

1. Η προσθήκη σε στρώσεις κυκλοφορίας των δασικών δρόμων ιπτάμενης τέφρας και υδρασβέστου, είναι χρήσιμη διότι βελτίωσε τις πλαστικές ιδιότητες του εδάφους μειώνοντας δραστικά τα όρια υδαρότητας και πλαστικότητας αντίστοιχα 18% και 50%. Με τον τρόπο αυτόν βελτιώθηκε η βατότητα του δρόμου, ιδιαίτερα στις δυσμενείς κλιματικές συνθήκες.
2. Καθώς αυξανόταν τα ποσοστά των παραπάνω παραπροϊόντων-σταθεροποιητών, μειώθηκε η μέγιστη ξηρά πυκνότητα μέχρι και 8%, ενώ η βέλτιστη υγρασία αυξήθηκε μέχρι 40%, πράγμα που συντελεί στην αύξηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους.
3. Επίσης επιτεύχθηκε αύξηση της φέρουσας ικανότητας επειδή με την προσθήκη τέφρας και υδρασβέστου ενισχύθηκε η αντοχή των εδαφικών μγμάτων μέχρι και 4.5 φορές, και καθώς αυξανόταν το ποσοστό των σταθεροποιητών ή και ο χρόνος συντήρησης των δοκιμίων, η αντοχή φτάνει σε τέτοια όρια, ώστε το εδαφικό υλικό να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στους δασικούς δρόμους ως υλικό υπόβασης. Με την προσθήκη υδρασβέστου σε ποσοστό 8% και για διάρκεια συντήρησης 90 ημέρες, η αντοχή του εδάφους δεκαπλασιάστηκε.
4. Ομοίως τόσο η τέφρα όσο και η υδράσβεστος μείωσαν την διόγκωση του εδάφους μέχρι και 50%, ενώ αύξησαν την τιμή της τάσης (πίεσης) διόγκωσης του μέχρι και 5 φορές. Συμπερασματικά η προσθήκη τέφρας και υδρασβέστου, βελτίωσε σημαντικά το έδαφος και απέκτησε τέτοιες ιδιότητες που μπορεί να ανταποκριθεί – ως στρώση κυκλοφορίας – σε δυσμενείς συνθήκες.

5. Με την προσθήκη όμως στα ίδια εδάφη με τρίματα ελαστικών, δεν παρατηρήθηκε αύξηση αλλά αντίθετα καταγράφηκε μείωση της αντοχής τους. Επίσης με την προσθήκη τριμμάτων ελαστικών μειώθηκε η διόγκωση του εδάφους ενώ ταυτόχρονα αυξήθηκε το ποσοστό παραμόρφωσης με την επίδραση εξωτερικής δύναμης, ιδιαίτερα όσο αυξάνεται το ποσοστό. Επομένως η χρήση αυτού του παραπροϊόντος δεν προσφέρει τίποτα στην φέρουσα ικανότητα και στην ελαχιστοποίηση της διάβρωσης, παρά μόνον μία προστασία στο περιβάλλον από την μη απόθεσή του σε αυτό.

6. Από την άλλη πλευρά της έρευνας, συμπεραίνεται ότι τα βαρέα φορτηγά που επιβαρύνουν περισσότερο το έδαφος και συμβάλλουν στην επιφανειακή διάβρωση του εδάφους είναι τα διαξονικά. Αυτό προκύπτει από την υψηλή τιμή του συντελεστή η που εκφράζει τον αριθμό των αξόνων που μεταφέρουν 1 m^3 . Η μείωση της επιβάρυνσης αγγίζει το 37% ανά 1 m^3 μεταφερόμενης ξυλείας όταν αντί για διαξονικά χρησιμοποιούνται τριαξονικά και τετραξονικά φορτηγά. Παρατηρείται ότι στα διαξονικά φορτηγά χρειάζονται 0.230 Ισοδύναμοι άξονες για να μεταφέρουν 1 m^3 ξυλείας, όταν η ίδια ποσότητα μεταφέρεται από 0.134, 0.137 και μόνο από 0.130 Ισοδύναμους άξονες από τριαξονικό, τετραξονικό και πενταξονικό φορτηγό αντίστοιχα. Επομένως τα διαξονικά φορτηγά θα πρέπει σταδιακά να απομακρυνθούν από τους δασικούς δρόμους και να χρησιμοποιούνται μόνο όταν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του δρόμου το επιβάλλουν.

7. Με την υπερφόρτωση των οχημάτων παρότι μειώνονται οι διαδρομές παρατηρείται δραματική επιβάρυνση του εδάφους που ξεκινά από 9% για τα διαξονικά, 17% στα τριαξονικά, 20% για τα τετραξονικά και μέχρι τα 23% για τα ρυμουλκά με ρυμουλκούμενο πενταξονικό. Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει, από το ότι η αυξημένη μεταφερόμενη ποσότητα ξυλείας από ένα όχημα συνοδεύεται από υπέρμετρη αύξηση των Ισοδύναμων αξονικών φορτίων που ευθύνονται για την επιβάρυνση του εδάφους. Επομένως για την ελαχιστοποίηση της διάβρωσης των δασικών δρόμων που ως συνήθως στερούνται τεχνικών έργων και υψηλής φέρουσας ικανότητας, θα πρέπει να αποφεύγεται αυστηρά η κυκλοφορία υπερφορτωμένων φορτηγών, η δε κυκλοφορία των διαξονικών θα πρέπει σταδιακά να μειωθεί.

Use of byproducts and control of traffic load in the construction and the operation of forest road with an environmentally friendly approach

P. Eskioglou¹

SUMMARY

In forest roads that are constructed in subgrade with low bearing capacity without technical work where the presence of heavy loaded vehicle is also dominant, intense surface erosion is observed that leads to the degradation of the environment.

This work examines in two different ways the possibilities to reduce this negative effect. First the increase in soil resistance is examined when it is mixed with various by-products as shredded tire, fly ash and lime unquenchable. Secondly the effects from the presence of heavy loaded vehicles are studied in terms of axle load and overloading. The research revealed that two-axis and overloaded vehicles are responsible for higher erosion effect on the soil forest roads.

The number and the weight of the vehicle axis is directly related to the erosion of the soil. This is expressed with factors such as the Equivalent Standard Axle Load (E.S.A.L.) and the *n* factor, which presents the number of E.S.A.L.s that carry 1m³ of wood. The *n* factor was found to range from 0.130 to 0.230, (5- and 2- axis) and when the vehicle is overloaded the value of *n* rises up to 0.157-0.250 respectively.

On the other hand, the stabilisation of subsoil was found to increase with the addition of lime and ash that lead to improvements in plasticity and the bearing capacity. The use of shredded tires did not lead to same results. The addition of lime and fly-ash lead to the reduction of free swell and swelling pressure.

Overall the main finding is the decrease in surface erosion with the addition of by-products. Also this process reveals to be environmentally friendly since it uses natural products.

Key words: byproducts, ash, lime, shredded tire, equivalent *n*, overloaded vehicle, traffic load.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αθανασοπούλου, Α.2000. Επίδραση της χρήσης Υδρασβέστου και ιπτάμενης τέφρας στη δι-όγκωση εδαφικού υλικού. Τεχνικά χρονικά ΤΕΕ, Ι, τεύχος 1 ,σελ.19-26
- Eskioglou, P. 1994. Die Wirtschaftlichkeit von Lastwagen trasporten unter Berücksichtigung der Belastung und Abnutzung von Waldstrassen. Proc.28th Int. Conference Mechanisierung der Waldarbeit, pp.80-89
- Eskioglou, P., and P.N. Efthymiou. 1995. The impact of wood transport with overloaded vehicles on dimensions and the duration of road pavements'. Proc. of Int. con. Concert Action ,Limoge, pp. 124 -130.
- Eskioglou, P., Hirt, R., and E. Burlet. 1996. Investigations of pavement performance using the Benkelmann beam method.. Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Δασολογίας και Φυ-

- σικού Περιβάλλοντος. Τόμος ΛΗ Σελ.813-824
- Eskioglou, P. 1997. Einsatz von Flugasche forstwegebau als Mittel zum schutz der forstkosysteme. Proc. on 9th. Conference FORMEC Brno pp.55-60
- Eskioglou, P.1998. Bodenstabilisierung mit kalk Versuch in Griechischen waldgebieten'. ROHRBACH ZEMENT Symposium. Heft 4, S 16-20.
- Eskioglou, P. 2004. By-products as material for road construction'. International conference Protection and Restoration of Environment V II pp.112-120.
- Hirt, R. 1994. Recycling - materialen im Strassenbau'. Forstliches ingenieurwesen. Heft 2, s 32-36. ETH Zurich
- Hirt, R., and V. Moisiso .1999. Die Schadenwirkung verschiedener Lastwagen auf den Strassenbau. Strasse und Verkehr. Vol.8, pp. 1-4.

¹ Aristotle University of Thessaloniki, Department of Forestry and Natural Environment

- Μουρατίδης, Αν. 1996. Διερεύνηση χρήσης ερυθράς ιλύος σε έργα Οδοποιίας. Πρακτικά 2^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Ασφαλτικών μιγμάτων και οδοστρωμάτων. σελ. 441-454
- Tabbaa, Al., and T. Aravinthan., 1998. Natural clay-shredded tire mixtures as landfill barrier materials. Waste Management 18 pp. 9-16
- Τσόχος, Γ., και Ν. Ηλιού .1995. Εναλλακτικά υλικά οδοποιίας - Περιβαλλοντική θεώρηση". 1ο Συνέδριο Οδοποιίας ΤΕΕ σελ. 772 - 777. Λάρισα
- Whitcomb, W.1990. Aggregate Surfacing Design Guide ,USDA Forest Service