

3<sup>ο</sup> ΔΙΕΘΝΕΣ ΣΥΝΕΔΡΙΟ  
ΑΣΦΑΛΤΙΚΑ ΜΙΓΜΑΤΑ ΚΑΙ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ  
Θεσσαλονίκη, 21-22 Νοεμβρίου 2002

## ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΑΣΙΚΩΝ ΔΡΟΜΩΝ ΜΕ ΤΟΠΙΚΑ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ

**Π. Χρ. Εσκίογλου \***

Αναπληρωτής Καθηγητής, Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης

\* ΑΠΘ, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Θεσσαλονίκη  
pxeskio @ for. auth. Gr

### *ΠΕΡΙΛΗΨΗ*

Τα οδοστρώματα των δασικών δρόμων σύνδεσης, περιλαμβάνουν συνήθως μία πρόχειρη στρώση θεμελίωσης με φυσικό επιτόπιο υλικό και μία ελαφριά σκυρόστρωτη ανωδομή, που δεν μπορεί να ανταποκριθεί στην ολική μεταφορά των προϊόντων. Η μη έγκαιρη απομάκρυνσή τους σχετίζεται με μείωση της αξίας τους, ενώ αυξάνεται το κόστος κατασκευής του δρόμου ανά m<sup>3</sup> μεταφερόμενου ξύλου.

Σαν λύση στο πρόβλημα, καθώς τα φυσικά επιτόπια υλικά αυτούσια, δεν πληρούν τις Π.Τ.Π. 0150 και 0155, ενισχύσαμε τα υφιστάμενα οδοστρώματα σταθεροποιώντας τα με παραπροϊόντα βιομηχανίας και ανακυκλώσιμα υλικά από πλησίον ευρισκόμενες πηγές, ώστε να μειωθεί το κόστος μεταφοράς και κατασκευής. Στους δασικούς δρόμους της Πελοποννήσου χρησιμοποιήθηκε ιπτάμενη τέφρα Μεγαλόπολης, στους αντίστοιχους της Κεντρικής Ελλάδος ερυθρά ιλύς από την κατεργασία βωξίτη Παρνασσού, ενώ τέλος στη Μακεδονία και Θράκη τέφρα Πτολεμαΐδας και μαρμαρόσκονη.

Με τη δοκό του Benkelmann βρέθηκε ότι η παραμόρφωση των σταθεροποιημένων στρώσεων μειώθηκε από 12 –25%, ενώ αυξήθηκαν μέχρι και 4 φορές οι ισοδύναμοι άξονες που μπορούν να κυκλοφορήσουν. Εκτός των τεχνικών ωφελειών, όταν χρησιμοποιούνται τα παραπροϊόντα βιομηχανίας και τα ανακυκλώσιμα υλικά, προστατεύεται το περιβάλλον, από την μη απόρριψή τους στη φύση και από τη δυνατότητά τους να αντικαταστήσουν με μεγάλη επιτυχία ποσότητες αδρανών στις στρώσεις οδοστρώσεως.

*ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:* Δασόδρομος, τέφρα, ερυθρά ιλύς, μαρμαρόσκονη

## 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι δασικοί δρόμοι είναι οι άξονες μέσω των οποίων πετυχαίνεται η προστασία των δασικών οικοσυστημάτων , η δασοπονία των πολλαπλών σκοπών και κυρίως το οικονομικό όφελος από τη διάθεση των παραγόμενων δασικών προϊόντων. Επειδή τα διαθέσιμα κονδύλια κατασκευής είναι περιορισμένα , ενώ οι παραγωγικές διαδικασίες και τα παραγόμενα προϊόντα απαιτούν ταχύτητα μεταφοράς ,επιδιώκεται η κατασκευή ανθεκτικών αλλά κυρίως οικονομικών δρόμων. Η *ανθεκτικότητα* καλύπτεται εν μέρει από διάφορες κατασκευαστικές οδηγίες (τύπος οδοστρώματος και οχήματος), η *οικονομικότητα όμως της κατασκευής* βρίσκεται σε ερευνητικό στάδιο και αποτελεί πρωτεύοντα στόχο του εργαστηρίου μας [1,2]. Οδηγός στην έρευνά μας, υπήρξαν τα αποτελέσματα της εγχώριας και διεθνούς ερευνητικής δραστηριότητας από τη χρησιμοποίηση παραπροϊόντων στην κατασκευαστική οδοποιία αφού σήμερα παρουσιάζεται συνεχής μείωση πρώτων υλών και πηγών ενέργειας .

Μέχρι σήμερα χρησιμοποιήθηκαν με επιτυχία η πίσσα , οι βιομηχανικές σκωρίες, η τέφρα από την επεξεργασία απορριμάτων και από τα λιγνιτικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, η ερυθρά ιλύς , διάφορα ανακυκλωμένα δομικά υλικά με ιδιότητες που βελτιστοποιούν την ποιότητα των κατασκευών , και γενικά βιομηχανικά παραπροϊόντων (by products ) και εναλλακτικά απορριφθέντα υλικά (waste materials) που υπάρχουν άφθονα και έχουν ελάχιστο κόστος παραγωγής [3].

Από έρευνες που πραγματοποιήθηκαν με τα παραπάνω υλικά, αποδείχτηκε ότι οι σκωρίες, με βάση το σύστημα ταξινόμησης USCS, αντιστοιχούν σε εδάφη GW, GP, GM, GM-ML που διατηρούν σταθερό τον όγκο τους στη δράση του νερού και του παγετού. Βρέθηκε ότι αυξάνεται ο συντελεστής αντοχής του μίγματος εδάφους - σκωρίας στη δοκιμή της ανεμπόδιστης θλίψης και η τιμή της φέρουσας ικανότητας των σταθεροποιημένων στρώσεων οδοστρώσις με άλλα παραπροϊόντα[4].

Από τη σταθεροποίηση αργιλικών εδαφών με τέφρα Πτολεμαΐδας διαπιστώθηκε αύξηση της αντοχής τους καθώς αυξάνεται το ποσοστό του παραπροϊόντος και ο χρόνος συντήρησης των δειγμάτων .Αποδείχτηκε δε ότι η τέφρα μπορεί με επιτυχία να χρησιμοποιηθεί ως πρόσθετο για την κατασκευή υποβάσεων και βάσεων οδοστρωμάτων [5,6]. Πειράματα σε μίγμα ερυθράς ιλύος και φυσικού εδάφους 50/ 50 ,έδειξαν ότι βελτιώνεται η φέρουσα ικανότητά τους κατά 22% ενώ σε μίγματα ερυθράς ιλύος με θραυστό αμμοχάλικο παρατηρήθηκε αύξηση της τάξης του 30% που οφειλόταν στις ιδιότητες υδραυλικής κονίας που περιέχει η ιλύς. Οι μηχανικές ιδιότητες της, την επιτρέπουν να χρησιμοποιηθεί σαν κοινό αδρανές για υλικά βάσης - υπόβασης, αλλά ενώ παρουσιάζει υψηλή τιμή CBR = 30- 35, υστερεί σε αντοχή θλίψης [7,8]Τέλος κατά τη σταθεροποίηση εδαφών με μαρμαρόσκονη, παρατηρήθηκε μείωση της πλαστικότητας των σταθεροποιημένων εδαφών και αύξηση της τιμής CBR [9].

Με βάση τα παραπάνω ερευνήσαμε την δυνατότητα τόσο της ενίσχυσης υφισταμένων οδοστρωμάτων όσο και της κατασκευής νέων στρώσεων με τη

σταθεροποίηση του φυσικού εδάφους και των επιτόπιων φυσικών υλικών με ανακυκλώσιμα υλικά και παραπροϊόντα βιομηχανίας από τα οποία μόνο ένα μικρό ποσοστό τους αξιοποιείται. Σκοπός της έρευνας δεν ήταν να συγκρίνουμε μεταξύ τους τις αποδόσεις των παραπροϊόντων σαν συστατικό των οδοστρώσεων, αλλά να χρησιμοποιήσουμε το κάθε ένα από αυτά σε περιοχές έρευνας πλησίον της περιοχής απόρριψής τους για να μειώσουμε αρχικά το κόστος μεταφοράς τους. Με τη μέθοδο που περιγράφεται στη συνέχεια διερευνάται επίσης η δυνατότητα της επιτυχούς αντικατάστασης των υλικών οδοστρωσίας από τα παραπροϊόντα αυτά ώστε να μειωθεί και το κόστος κατασκευής του δασικού δρόμου αλλά ταυτόχρονα να αποκατασταθεί και προστατευτεί το φυσικό περιβάλλον.

## **2.ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΕΡΕΥΝΑΣ**

Για την έρευνά μας επιλέχθηκαν παραπροϊόντα που απορρίπτονται σε μεγάλες ποσότητες από την βιομηχανία. Αυτά είναι η τέφρα Μεγαλόπολης και Πτολεμαΐδας η ερυθρά ιλύς και η μαρμαρόσκονη.

Από τα λιγνιτικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος της ΔΕΗ παράγονται ετησίως σημαντικές ποσότητες ιπτάμενης τέφρας-πέραν των 10 εκ. τόνων- από τις οποίες ένα μόνο μικρό ποσοστό αξιοποιείται. Η τέφρα Μεγαλόπολης χαρακτηρίζεται από την υψηλή περιεκτικότητα της (52%) σε  $\text{SiO}_2$ , στοιχείο που δηλώνει δυνατότητα ανάπτυξης πουζολανικής αντίδρασης, ενώ αυτή της Πτολεμαΐδας από την υψηλή περιεκτικότητα (36%) σε  $\text{CaO}$  που σχετίζεται με την επιτυχή σταθεροποίηση των αργιλικών εδαφών. Για λόγους οικονομίας σταθεροποιήθηκαν με τα παραπάνω υλικά δασικοί δρόμοι στο Δασαρχείο Βυτίνας και στο Δασαρχείο Γρεβενών. Η ερυθρά ιλύς που χρησιμοποιήθηκε, είναι το στερεό απόβλητο που προκύπτει από την κατεργασία των βωξιτών με τη μέθοδο Bayer για την παραγωγή αλουμίνας και αποτελείται από την υγρή και τη στερεά φάση. Η υγρή περιέχει  $\text{NaOH}$  και έχει βασική αντίδραση με  $\text{pH}$  10.7 - 12.5, ενώ η στερεά αποτελείται από διάφορα οξείδια (35%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 28%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  κ.α). Η κοκκομετρική σύσταση της χαρακτηρίζεται ως λεπτότατα διαμερισμένη με ειδικό βάρος 3.4g / ml, ο δείκτης πλαστικότητάς της έχει τιμή περίπου ίση με 10. Το ετήσιο παραγόμενο προϊόν - περίπου 500000 τόνοι - απορρίπτεται στο περιβάλλον και ιδιαίτερα στον Κορινθιακό κόλπο με απρόβλεπτες συνέπειες υποβάθμισης του περιβάλλοντος. Χρησιμοποιήθηκε για την ενίσχυση δασικών δρόμων της Διεύθυνσης Δασών Ν. Φθιώτιδας. Η μαρμαρόσκονη αναμεμιγμένη με χονδρόκοκα υπολείμματα μαρμάρου συγκεντρώθηκε από περιοχές εξόρυξης του της Δράμας, Καβάλας και Θάσου και σταθεροποιήθηκαν δασικοί δρόμοι της Θάσου και της Δράμας.

Για την έρευνά μας πραγματοποιήθηκαν τα ακόλουθα βήματα:

Υπολογίστηκε η υπάρχουσα παραμόρφωση των δασικών δρόμων χωρίς καταστροφική δοκιμή (NDT) με τη βοήθεια της δοκού Benkelman [10], αλλά με τις ιδιαιτερότητες της πτυσσόμενης δοκού που χρησιμοποιείται από τους ερευνητές του Forest Section του Πολυτεχνείου της Ζυρίχης (E.T.H).

Ειδικότερα σε κάθε 50m του δρόμου υπολογίστηκαν οι παραμορφώσεις του, βρέθηκε ο μέσος τους όρος  $d$  και η τυπική απόκλιση  $s$  των μετρήσεων, για να έχουμε τελικά το μέγεθος  $d_m$  που ισούται με  $d_m = d + 1.3s$ . Με βάση το μέγεθος αυτό και την τιμή του τοπικού παράγοντα  $R$ , μετρήθηκαν ο αριθμός  $W$  των Ισοδύναμων αξονικών φορτίων που μπορούν να διέλθουν από τον υπάρχοντα δρόμο καθώς και ο δείκτης πάχους του  $SN_o$  από τις σχέσεις του Burlet [11]

$$W = \left( \frac{475 d m^{-0.8368} + 2,54}{2,67} \right)^{9,36} \cdot \frac{1}{R}$$

$$SN_o = \frac{474,94 d m^{-0,8368} + 2,54}{10^{0,1647 \log CBR - 0,0655}} - 2,54$$

Στη συνέχεια σταθεροποιήθηκαν οι δρόμοι με τα ιδανικά ποσοστά των παραπροϊόντων, όπως ορίστηκαν από προηγούμενες ερευνητικές προσεγγίσεις του προβλήματος, που πραγματοποιήθηκαν σε δασικούς δρόμους της χώρας μας και της Ελβετίας [11,12].

Τα αργιλώδη εδάφη της περιοχής Γρεβενών σταθεροποιήθηκαν με τέφρα Πτολεμαΐδας σε ποσοστό 50%, ενώ τα ιλυοαργιλώδη της Βυτίνας με 40% τέφρας Μεγαλόπολης. Η ερυθρά ιλύς που χρησιμοποιήθηκε ήταν σε μορφή αιωρήματος αδρανών συστατικών. Ξηράθηκε, θρυμματίστηκε και χρησιμοποιήθηκε σε φυσικό έδαφος και σε αδρανή σε ποσοστά 50% υπό συνθήκες βέλτιστης υγρασίας και μέγιστης ξηράς πυκνότητας. Τέλος το ιδανικό ποσοστό της μαρμαρόσκονης που χρησιμοποιήθηκε ήταν 8%.

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. Ακολούθησε ομοιόμορφη διανομή του σταθεροποιητή, μορφοποίηση της επιφάνειας με grader και φρέζα για την ανάμιξη των υλικών και συμπίκνωση με ελαστικοφόρο οδοστρωτήρα.

Στους σταθεροποιημένους δρόμους επαναλήφθηκε η διαδικασία μέτρησης των παραμορφώσεων, της νέας τιμής  $d_m$ , και του υπολογισμού του αριθμού των ισοδύναμων αξόνων  $W_1$  που μπορούν χωρίς πρόβλημα να διέλθουν από το ενισχυμένο οδόστρωμα δείκτη πάχους τώρα  $SN_1$ .

$$W_1 = \left( \frac{475 d m^{-0.8368} + 2,54}{2,67} \right)^{9,36} \cdot \frac{1}{R}$$

$$SN_1 = \frac{474,94 d m^{-0,8368} + 2,54}{10^{0,1647 \log CBR - 0,0655}} - 2,54$$

Αφαιρώντας τις δύο τιμές του δείκτη πάχους του οδοστρώματος – πριν και μετά τη σταθεροποίηση – υπολογίζεται η ενίσχυση  $\Delta SN$  του οδοστρώματος. Τέλος από τη σχέση  $D = \frac{\Delta SN}{a_i}$  βρίσκεται το πάχος της στρώσης των αδρανών -με συντελεστή αντοχής  $a_i$  - που εξοικονομούνται από τη χρησιμοποίηση των παραπροϊόντων.

### 3.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στον Πίνακα 1 δίνονται οι παραμορφώσεις  $d_m$  και  $(d_m)'$  και τα αξονικά φορτία  $W$  και  $W_1$  που μπορούν να διέρχονται, αντίστοιχα πριν και μετά τη σταθεροποίηση των δασικών δρόμων με τέφρα Μεγαλόπολης και Πτολεμαΐδας ερυθρά ιλύ και μαρμαρόσκονη. Τέλος δίνεται και η ενίσχυση  $\Delta SN$  του οδοστρώματος

Πίνακας 1. Τιμές παραμόρφωσης  $d_m$ ,  $(d_m)'$  και επιτρεπόμενοι ισοδύναμοι άξονες πριν και μετά τη σταθεροποίηση των δασικών δρόμων με τα παραπροϊόντα της έρευνας. Ενίσχυση δείκτη πάχους οδοστρώματος.

Table 1. Value of deflection  $d_m$  and  $(d_m)'$  before and after the stabilization with by-products, equivalent axles loads and structural number of pavement thickness

ΠΕΔΙΟ ΕΡΕΥΝΑΣ Δασικοί Δρόμοι	$d_m$ $10^{-2}$ mm	$(d_m)'$ $10^{-2}$ mm	W I.A	$W_1$ I.A	$\Delta SN$
Άργιλος Γρεβενών +Τέφρα Πτολεμαΐδας	385	300	882	2806	0.46
Πλυοαργ/ώδες Βυτίνας +Τέφρα Μεγαλόπολης	365	300	1120	2806	0.48
Αμμοχάλικο Γρεβενών +Τέφρα Πτολεμαΐδας	320	240	2062	8557	0.6
Αμμοαργιλώδες Λαμίας +Ερυθρά ιλύς	365	280	1120	3930	0.7
Αμμοχάλικο Λαμίας +Ερυθρά ιλύς	255	225	6275	17700	0.5
Σκυρόστρωτος 3 <sup>A</sup> Λαμίας +Ερυθρά ιλύς	450	380	500	1300	0.55
Χωματόδρομος Θάσου +Μαρμαρόσκονη	520	400	450	1005	0.62
Σκυρόστρωτος 3 <sup>A</sup> Δράμας + Μαρμαρόσκονη	450	350	500	1400	0.69

Στον Πίνακα 2 φαίνεται η ποσότητα των αδρανών που εξοικονομούνται σε κάθε περιοχή έρευνας, ύστερα από την σταθεροποίηση των δασικών δρόμων με τα

κατάλληλα παραπροϊόντα .

Πίνακας 2.Εξοικονόμηση αδρανών στην οδοστρωσία, από τη χρησιμοποίηση παραπροϊόντων στις διάφορες περιοχές έρευνας.

Table 2. The saving of aggregates after the stabilization of forest roads with industrial by- products.

ΠΕΔΙΟ ΕΡΕΥΝΑΣ	Παραπροϊόν σταθεροποίησης	Εξοικονόμηση αδρανών (cm)
Άργιλος Γρεβενών	Τέφρα Πτολεμαΐδας 50%	4.6
Ϊλνοαργ/ώδες Βυτίνας	Τέφρα Μεγαλόπολης 40%	4.8
ΑμμοχάλικοΓρεβενών	Τέφρα Πτολεμαΐδας 50%	4.5
Αμμοαργιλώδες Λαμίας	Ερυθρά ιλύς 50%	6.0
Αμμοχάλικο Λαμίας	Ερυθρά ιλύς 50%	4.0
Σκυρόστρωτος 3 <sup>A</sup> Λαμίας	Ερυθρά ιλύς 50%	4.2
Χωματόδρομος Θάσου	Μαρμ/σκόνη 8%	6.0
Σκυρόστρωτος 3 <sup>A</sup> Δράμας	Μαρ/σκόνη 8%	5.3

#### 4.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οκτώ δασικοί δρόμοι στα Δασαρχεία της Βυτίνας , Γρεβενών,Λαμίας, Δράμας και Θάσου - των οποίων το οδόστρωμα βρισκόταν στην ελάχιστη τιμή λειτουργικότητάς τους - επιλέγησαν να διερευνηθεί η συμπεριφορά τους , ύστερα από τη σταθεροποίησή τους με βιομηχανικά παραπροϊόντα που απορρίπτονται σε κοντινές τους περιοχές. Προηγουμένως υπολογίστηκαν με τη δοκό του Benkelman ,οι παραμορφώσεις που αναπτύσσονται και ο αριθμός των ισοδύναμων αξονικών φορτίων που μπορούν να διέλθουν από το υπάρχον οδόστρωμα.. Ακολούθησε η προσθήκη και η ανάμιξη των σταθεροποιητών και του νερού επί του έργου με grader και φρέζα και τέλος η συμπίκνωση με ελαστικοφόρο οδοστρωτήρα.

Μετρήθηκαν οι νέες τιμές παραμορφώσεων και υπολογίστηκαν τα ισοδύναμα αξονικά φορτία που μπορούν τώρα να διέλθουν από το σταθεροποιημένο οδόστρωμα.

Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων βρέθηκε ότι με τη σταθεροποίηση των δασικών δρόμων με τα παραπροϊόντα, αυξάνεται η αντοχή τους ενώ δραστικά μειώνεται η παραμορφωσιμότητά τους. Η μείωση αυτή κυμαίνεται από 12% - όταν χρησιμοποιήσαμε 50% ερυθρά ιλύ σε αμμοχαλικοστρωμένο δρόμο ή 8% μαρμαρόσκονη σε σκυρόστρωτο με 3A δρόμο - μέχρι 25% όταν σταθεροποιήθηκε φυσικά αμμοχαλικοστρωμένος δρόμος με 50% τέφρα Πτολεμαΐδας. Οι ισοδύναμοι άξονες που διέρχονται από τους σταθεροποιημένους δρόμους αυξήθηκαν μέχρι και 4 φορές, τιμές που συναντάμε σε αμοχαλικώδη και αμμοαργιλώδη εδάφη που σταθεροποιήθηκαν

με τέφρα και ιλύ. Όμως και όταν χρησιμοποιήθηκε μαρμαρόσκονη, διαπιστώθηκε ότι τα νέα οδοστρώματα μπορούν να δεχτούν μέχρι και τριπλάσιο φορτίο.

Τέλος από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων ενίσχυσης, φαίνεται καθαρά ότι με τη χρήση παραπροϊόντων πετυχαίνεται εξοικονόμηση αδρανών σε ποσότητες από 0.16 έως 0.24 m<sup>3</sup> ανά τρέχον μέτρο δασικού δρόμου πλάτους 4 m.

Στη Δασική Οδοποιία, επειδή δεν χορηγούνται πολλά κονδύλια για την κατασκευή των δρόμων, η χρησιμοποίηση των παραπροϊόντων είναι ένα τεχνικοοικονομικό και βιολογικό μέτρο, ένα βήμα για μια οδοποιία που σέβεται το περιβάλλον. Βέβαια κάθε τέτοια επέμβαση πρέπει να ελέγχεται και από τη σκοπιά της μόλυνσης των υδροφόρων οριζόντων από την έκπλυση των βαρέων μετάλλων καθώς και της πιθανής επίδρασής τους στην χλωρίδα και πανίδα των περιοχών.

Παράλληλα η έρευνα θα πρέπει να συνεχιστεί υπό το πρίσμα της οικονομικότητας της απόκτησης και μεταφοράς των παραπάνω υλικών από το σημείο παραγωγής τους ως το χώρο εφαρμογής τους.

#### BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Εσκίογλου Π. Χρ., Οικονομικά και ανθεκτικά οδοστρώματα στα ορεινά δάση της Ελλάδος, Διδακτορική διατριβή, *Επιστημονική Επετηρίδα Τμ. Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Θεσσαλονίκη 1991.*
- [2] Eskioglou P.Ch., Die Wirtschaftlichkeit von Lastwagentransporten unter Berücksichtigung der Belastung und Abnutzung von Waldstrassen, *Tagungsbericht über das 28. Internationale Symposium "Mechanisierung der Waldarbeit"*, σελ. 80-89, H. Heinemann Publisher, Lagnau, Schweiz, 20 - 24 Aug. 1994.
- [3] Τσώχος Γ. και Ν. Ηλιού, Εναλλακτικά υλικά οδοποιίας, Περιβαλλοντική θεώρηση, *Πρακτικά 1ου Συνεδρίου Οδοποιίας*, ΤΕΕ, σελ. 772 - 777, Λάρισα, 1995
- [4] Hirt R., Verwendung von Recycling-Materialien im Wegebau, *Schweiz.Z. Forstwes*, 149 11: 901- 908, ETH, Zurich, 1998.
- [5] Eskioglou P., Der einsatz von flugashe im forstwegebau als mittel zum schutz der forstokosysteme, *Proceedings of the XXV Conference of FORMEC*, pp. 55 – 60, Brno, Czechia, 1997
- [6] Μαρσέλλος Ν., Σ.Χριστούλας και Σ. Κόλιας, Χρήση ιπτάμενης τέφρας στην Οδοποιία, *Δελτίο ΚΕΔΕ*, Τεύχος 4, σελ. 113 -130, Αθήνα, 1988
- [7] Μουρατίδης Αν., Διερεύνηση χρήσης ερυθράς ιλύος σε έργα Οδοποιίας, *2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ασφατικών μιγμάτων και οδοστρωμάτων*, σελ.441-455, Θεσσαλονίκη, Απρίλιος 1996.
- [8] Eskioglou P., Investigation on forest road's bearing capacity improvement with redmud and marble dust mixture *Scientific Annals of Institute of Forest Research*, Vol II, pp.32-40, Athens, 2001.

- [9] Okagbue C. O. and T.S. Onyeobi, Potential of marble dust to stabilise red tropical soils for road construction. *Engineering Geology*, Vol. 53, 371-389, N.York, 1999.
- [10] Τσώχος Γ., Ν. Ηλιού και Α. Δαλαβέρα, Διαστασιολόγηση ενισχύσεων εύκαμπτων οδοστρωμάτων, *Δελτίο ΔΕΚΕ*, σελ. 71-75, Αθήνα, 1994.
- [11] Eskioglou P., R.Hirt and E. Burlet, Investigation of pavement performance using the Benkelman beam method, *Scientific Annals of the Dept. of Forestry and Natural Environment*, σελ 45-54, Thessaloniki, 1996.
- [12] Eskioglou P. and P.N Efthymiou, Alternative stabilization methods of forest roads for an efficient and gentle mechanization of wood harvesting systems, *Proc. of the FAO conference on Environmentally sound forest roads and wood transport*, pp.184-194, ed. H.Heinimann, Sinaia, Romania, 1996.



## THE OVERLAY OF FOREST ROAD PAVEMENT BY LOCAL INDUSTRIAL BY-PRODUCTS

**P. Ch. Eskioglou \***

Associate Professor, Aristotle University of Thessaloniki(AUTH),GR

\* AUTH ,Department of Forestry and Natural Environment, Thessaloniki, Greece, [pxeskio@for.auth.gr](mailto:pxeskio@for.auth.gr)

### *EXTENDED SUMMARY*

#### **1.INTRODUCTION**

Although the forest roads -into the forest ecosystems -are often blamed for environmental problems and also demands amounts of energy and natural resources, their construction is essential and necessary because they play an important role to ensure the potentials for a more systematic management, exploitation, and protection of forests.

The main road network is the one which receives the total production and the traffic loads, mostly of the heavy trucks in the forest ecosystems and the forest roads, which have been constructed so far, have the following disadvantage : the design of forest roads pavements was done empirical in relation with the volume and small dimensions of transferred products , without superstructure and technical works. For this reason, the road network which has gradually become available for forest exploitation does not meet, as whole the modern requirements of forest management and don't allow the transport of goods under difficult climatic conditions. The result of the inability to transport the harvested logs, is their infection by fungi and other diseases which in effect reduces the value of the wood. But as the exploitation is getting intensive and the production of forests is raising, it is pursued to have security in transportation which is relevant with the improvement of both geometrical characteristics and the existing road surface which is insufficient to receive the increasing traffic load. It is so necessary to strengthen the existing pavements with economical and environmental procedures. In our laboratory, we have made an effort for environmentally sound construction which includes the use of local alternatives materials – waste and by products – for the stabilization of forest roads, which has proved that natural resources are saved up, the bearing capacity is improved, the possibility of soil erosion is reduced and the forest ecosystem is protected. From an economical point of view , in order to reduce the cost of transportation , fly ash from Peloponnisos and Ptolemais, red mud from Parnassos boxite process and marble dust from marble residuals in the under research area has been used.

## 2.MATERIALS AND METHOD

For the purpose of this research work we stabilized roads in the forest district of Vitina with Megalopoli's flyash at proportion 50%, roads in Lamia with red mud and roads in Grevena with Ptolemaida's flyash at the same proportion 50% and finally forest roads in Drama, and Thassos with marble dust at proportion 8%.

Flyash is generally high in silica and alumina. The flyash from Megalopoli contains 52% SiO<sub>2</sub> and the same from Ptolemais 36% CaO. Red mud is the solid remainder of the bauxite industrial treatment for the aluminium production. In Greece the quantity of flyash and red mud annually produced is estimated at 10000000 and 500000t.

Marble dust was obtained from Drama and Thassos. From these places the largest amounts of marble is obtained. The dust which utilized it was the resulting from the quarrying and crushing of marble.

The main concern for our research was how much the stabilization of the pavement layers affects their deflection ( $d_m$ ) and the permissible circulated load. We used the Benkelman beam and we calculated the value of ( $d_m$ ) before the stabilization. Now we can find the permissible circulated load  $W$  and the structural number of existing pavement thickness  $SN_o$  from the relations:

$$W = \left( \frac{475d_m^{-0.8368} + 2,54}{2,67} \right)^{9,36} \cdot \frac{1}{R}$$
$$SN_o = \frac{474,94d_m^{-0,8368} + 2,54}{10^{0,1647 \log CBR - 0,0655}} - 2,54$$

After the roads and the by products are mixed, water is added and the mixture is compacted by means of a road-roller and the construction is completed with the final compaction should be carried out with smooth-wheeled rollers used in connection with graders. Finally we calculated the ( $d_m$ )' after the stabilization and with the same way the  $W_1$ ,  $SN_1$  and  $\Delta SN$ .

## 3.RESULTS AND CONCLUSIONS

The purpose of this paper is to present some environment-friendly interferences in the construction of forest roads with the objective to limitate the waste of energy and natural resources. The research was conducted on the forest roads of the Forest Offices of Vitina, Lamia, Grevena, Drama and Thassos and was directed towards to the substitution of the natural resources that compose the layers of road pavements by industrial side-products. By the above analysis and discussion of the research outcomes the following conclusions are drawn up:

The highest strength and the increase of the deflection was achieved by 8% with marble dust and 50% with red mud and flyash. We found that their deflection is reduced from 12-25% ,the equivalent axle loads increased to 200-400% . The most important conclusion proved to be the saving-up of raw materials by the generation of stabilized layers, amounting to 0.16 – 0.24 m<sup>3</sup> per current meter of a road 4m wide which equals to 4 – 6 cm of sand-gravel layer thickness.

The stabilization of forest roads with industrial by-products (flyash, red mud and marble dust) represents an environmentally friendly process, as using materials of nature, which are abundant and they provide the basis for improved road constructions, from the biological, technical and economical points of view.

#### *ABSTRACT*

The design of forest roads pavements was done empirical without superstructure and technical works and includes layers with natural materials – aggregates and 3A. This pavement don't allow the transport of goods under difficult climatic conditions. For this reason, is necessary to strengthen the existing pavements with economical and environmental procedures. In our laboratory, we have made an effort with the stabilization of forest roads with by products. We used fly ash from Peloponnisos and Ptolemais, red mud from Parnassos boxite process and marble dust from marble residuals in the under research area .After the stabilization, we have used the “Benkelman beam” .We found that their deflection is reduced from 12-25% ,the equivalent axle loads increased to 200-400% and finally we can admit that the by products can replace successfully the aggregates.

The stabilization of forest roads with industrial by-products (flyash, red mud and marble dust) represents an environmentally friendly process, as using materials of nature, which are abundant and they provide the basis for improved road constructions, from the biological, technical and economical points of view.

*KEY WORDS* :Forest road, flyash,red mud ,marble dust,

