

## Η ΧΡΗΣΗ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΣΤΗ ΔΑΣΙΚΗ ΟΔΟΠΟΙΙΑΣ ΩΣ ΜΕΣΟ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**Παναγιώτης Εσκίογλου**  
Καθηγητής  
Σχολή Δασολογίας και Φ. Π.  
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
E-mail : [pxeskio@for.auth.gr](mailto:pxeskio@for.auth.gr)

**Βίκτωρ Εσκίογλου**  
Πολιτικός Μηχανικός ΑΠ.Θ.,  
MSc Προστασίας Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης  
Πολυτεχνική Σχολή Α.Π.Θ.  
E-mail : [veskiogl@civil.auth.gr](mailto:veskiogl@civil.auth.gr)

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μία συνισταμένη της πολιτικής προστασίας του περιβάλλοντος είναι και η επαναχρησιμοποίηση υλικών που αποθέτονται στο περιβάλλον , ώστε σε σχέση με την μείωση των φυσικών πόρων , η χρήση αυτή να έχει διπλό στόχο. Αυτόν της οικονομικής ωφέλειας και κυρίως αυτόν της ελαχιστοποίησης της υποβάθμισης του περιβάλλοντος. Η Οδοποιία είναι ένας χώρος στον οποίον βρίσκει ευρεία εφαρμογή η χρησιμοποίηση ανακυκλώσιμων παραπροϊόντων , διότι και η μείωση των δομικών πρώτων υλών είναι εμφανής αλλά και η κατασκευή οδικών έργων πληγώνει το περιβάλλον. Τα παραπροϊόντα που χρησιμοποιούνται ευρύτατα είναι κυρίως βιομηχανικά απόβλητα όπως ιπτάμενη τέφρα, ερυθρά ιλύς, μαρμαρόσκονη ,ελαστικά και διάφορα είδη σκωρίας και τα αποτελέσματα από την εφαρμογή τους είναι θετικά. Παρόμοιες επεμβάσεις πραγματοποιήθηκαν σε δασικό περιβάλλον και διαπιστώθηκε η σπουδαιότητα των επεμβάσεων . Τα θετικά αποτελέσματα που εστιάζονται στην οικονομικότητα της κατασκευής, παρουσιάζονται στην εργασία αυτή και ήδη αποτελούν πλόντο για τη δασική πράξη. Το σοβαρότερο όμως αποτέλεσμα της έρευνας συνίσταται στο ότι η επαναχρησιμοποίηση των παραπροϊόντων ελαχιστοποιεί την υποβάθμιση του περιβάλλοντος.

**Λέξεις κλειδιά:** *παραπροϊόντα, ανακύκλωση, τέφρα, μαρμαρόσκονη ,ελαστικά, ερυθρά ιλύς*

### 1.Εισαγωγή

Σήμερα, μία διαπίστωση που σχετίζεται με τη διαχείριση του περιβάλλοντος, καταλήγει στο συμπέρασμα ότι αφενός έχουμε αλόγιστη κατανάλωση πρώτων υλών και αφετέρου μία συνεχή επιβάρυνση του περιβάλλοντος εξαιτίας της διαρκούς απόθεσης απορριμμάτων σε αυτό(Εσκίογλου Β κ.α.,20011). Αυτό το αρνητικό δεδομένο –που στη χώρα μας αντιστοιχεί ετησίως σε 12 εκατομμύρια τόνους παραγόμενη ποσότητα απορριμμάτων- μπορεί να μετατραπεί σε ωφέλιμο δυναμικό

μέσω της ανακύκλωσης και της οργανωμένης διαχείρισης των στερεών αποβλήτων ώστε να αντικαταστήσουν τις πρώτες ύλες.

Ο τομέας της οδοποιίας αποτελεί έναν ιδανικό χώρο εφαρμογής των επεξεργασμένων αποβλήτων, καθώς εκεί τα περιβαλλοντικά οφέλη είναι ποικίλα. Με την ελεγχόμενη και περιβαλλοντικά σωστή διαχείριση και χρησιμοποίηση αυτών των υλικών, η ανάγκη για απόθεση των αποβλήτων αυτών μειώνεται καθώς αντικαθιστούν τους φυσικούς πόρους στην κατασκευή οδοστρωσιών με οικονομικό όφελος (Μουρατίδης 1996).

Τα απορριπτόμενα υλικά που χρησιμοποιούνται σε έργα οδοποιίας διαφέρουν από χώρα σε χώρα, ανάλογα με κριτήρια διαθεσιμότητας, επάρκειας και κόστους. Στον Πίνακα 1 που ακολουθεί περιλαμβάνονται εναλλακτικά υλικά και παραπροϊόντα που χρησιμοποιούνται σε κατασκευές οδικών έργων (Τσώχος 1995).

**Πίνακας 1:** Εναλλακτικά υλικά και παραπροϊόντα που χρησιμοποιούνται σε οδικά έργα. ( Τσώχος 1995, Eskioglou 1998)

<u>Εναλλακτικά Υλικά</u>	<u>Πεδίο εφαρμογής</u>
<b>A. Παραπροϊόντα (by-products)</b>	
Σκωρίες (υψικαμίνων, μεταλλουργικές)	Επιχώματα, αγροτική οδοποιία, υποβάσεις και βάσεις σταθεροποιημένες και μη, αντιπαγετική στρώση, επιφανειακές ασφαλτικές στρώσεις
Τέφρες θερμοηλεκτρικών εγκαταστάσεων	Επιχώματα, επιφανειακές στρώσεις, βάσεις και υποβάσεις, ασφαλτοσκυρόδεμα
Υπόλειμμα εγκαταστάσεων παραγωγής τσιμέντου	Υποβάσεις, βάσεις
Παραπροϊόντα χημικής βιομηχανίας	Ασφαλτομίγματα (αντικαθιστώντας το φίλερ)
Παραπροϊόντα ορυχείων	Επιχώματα, αγροτική οδοποιία, σταθεροποιημένες και μη βάσεις, ασφαλτομίγματα
<b>B. Προς απόρριψη</b>	
Απορρίματα και τέφρα καύσης τους	Ασφαλτομίγματα (με πλαστικό υλικό), επιχώματα, σταθεροποιημένες βάσεις (το πλαστικό υλικό)
Ελαστικά οχημάτων	Επιφανειακές στρώσεις και υποβάσεις
Γυαλί	Ασφαλτικές στρώσεις
Προϊόντα κατεδαφίσεων κτιρίων και οδοστρωμάτων (τούβλα, σκυρόδεμα, κλπ)	Χωματοουργικά, υποβάσεις, βάσεις

Σε συνάρτηση με ότι επετεύχθη σε μεγάλα οδικά έργα, για πρώτη φορά διερευνήσαμε αντίστοιχα και τη δυνατότητα σταθεροποίησης δασικών δρόμων με τα κυριότερα παραπροϊόντα ώστε να αντικαταστήσουν τμήμα των αδρανών υλικών. Η έρευνά μας που άρχισε δειλά προ 15ετίας και εντατικοποιήθηκε την τελευταία πενταετία, κατέδειξε, όπως φαίνεται στον Πίνακα 2, ποια υλικά μπορούν να αντικαταστήσουν τα αδρανή και ποιο είναι το πεδίο εφαρμογής τους(Eskioглу 1998,2002,2005).

**Πίνακας 2:** Εναλλακτικά υλικά και παραπροϊόντα στον ελλαδικό χώρο

<i>Υλικό</i>	<i>Πεδίο εφαρμογής</i>
<b>Ιπτάμενη Τέφρα</b>	<b>Επιχώματα, βάσεις- υποβάσεις, ασφαλτοσκυρόδεμα, παραγωγή τσιμέντου</b>
<b>Σκωρίες</b>	<b>Βάσεις-υποβάσεις, παραγωγή τσιμέντου, αντλιοσθηρές επιφάνειες οδοστρωμάτων</b>
<b>Παραπροϊόντα εξόρυξης βωξίτη (στείρα)</b>	<b>Επιχώματα, στεγανοποιητική στρώση χώρων απόθεσης απορριμμάτων</b>
<b>Ελαστικά οχημάτων</b>	<b>Ασφαλτομίγματα</b>
<b>Μαρμαρόσκονη</b>	<b>Ενίσχυση βάσεων -υποβάσεων</b>

Στην εργασία αυτή κατατίθενται τα βασικά συμπεράσματα από μία σειρά ερευνητικών εργασιών σταθεροποίησης δασικών δρόμων με διάφορα παραπροϊόντα τα οποία όταν αποθέτονται στο περιβάλλον δημιουργούν σοβαρά με τελικό σκοπό την υποβάθμισή του

## 2.Μέθοδος και υλικά έρευνας

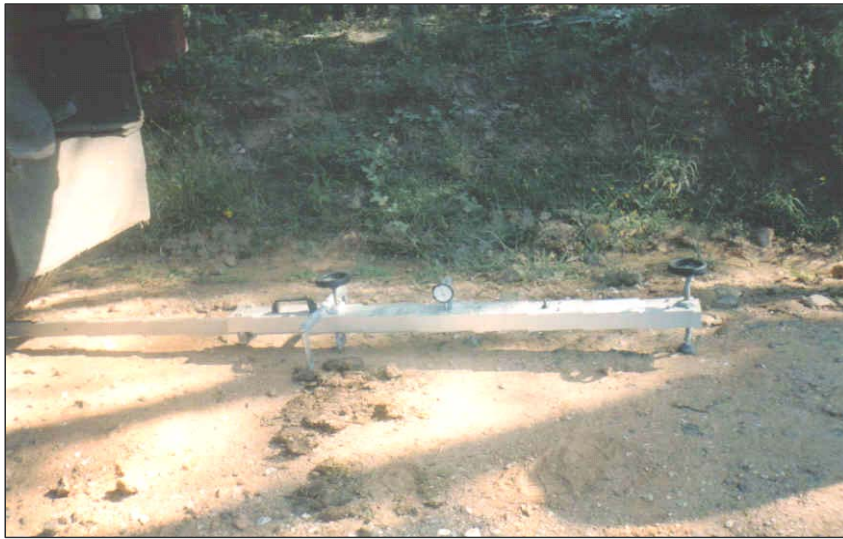
Για την ελαχιστοποίηση του κόστους κατασκευής , σταθεροποιήθηκαν δασικοί δρόμοι με τέτοια απορριπτόμενα υλικά που μπορούμε να τα προμηθευτούμε από πλησίον περιοχές. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε ιπτάμενη τέφρα Μεγαλόπολης για να σταθεροποιήσουμε δασικούς δρόμους της Πελοποννήσου. Στους αντίστοιχους της Κεντρικής Ελλάδος εφαρμόστηκε ερυθρά ιλύς από την κατεργασία βωξίτη Παρνασσού, ενώ στη Μακεδονία και Θράκη τέφρα Πτολεμαΐδας και μαρμαρόσκονη από Δράμα και Θάσο. Τέλος υπολείμματα σκωριών και ελαστικών χρησιμοποιήθηκαν πιλοτικά σε διάφορες δασικές περιοχές.

Αρχικά πραγματοποιήθηκε εδαφολογική εξέταση (κοκκομετρική διαβάθμιση σύμφωνα με την προδιαγραφή BS 1377/75, υπολογισμός ορίων Atterberg και αντοχής των εδαφών σε τιμές CBR αντίστοιχα με τις μεθόδους AASHTO T 89 και 90,).

Υλικό της έρευνας μας ήταν η δοκός του Benkelman( φωτογραφία 1) ,με την οποία μπορούμε για κάθε ερευνητική επιφάνεια να υπολογίσουμε την τιμή της υπάρχουσας παραμόρφωσης  $d_m$  ,τον υπάρχοντα δείκτη πάχους  $SN_0$  του κάθε δρόμου , αλλά και τον αριθμό  $W$  των επιτρεπόμενων Ισοδυνάμων αξόνων που μπορούν να διέλθουν από την πειραματική μας επιφάνεια , από τις σχέσεις (1) και (2) ( Burllet, Ed. 1980)

$$SN_0 = \left( \frac{475 \cdot d_m^{-0.84} + 2.54}{10^{0.16 \cdot \log CBR - 0.065}} \right) - 2.54 \quad (1)$$

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



Φωτογραφία 1 . Μέτρηση παραμόρφωσης εδάφους με τη δοκό Benkelman

Ακολούθως στις πειραματικές επιφάνειες ,το έδαφος αναμίχθηκε και σταθεροποιήθηκε με τα παραπροϊόντα σε υγρασία ίση με τη βέλτιστη. Τα εδάφη στις αντίστοιχες περιοχές έρευνας αναμίχθηκαν με μαρμαρόσκινη , με τρίμματα ελαστικών , με ερυθρά ιλύ , και τέλος με τέφρα σε διάφορα ποσοστά όπως παρουσιάζονται στους Πίνακες που ακολουθούν. Στις νέες στρώσεις επαναχρησιμοποιήθηκε όπως παραπάνω η δοκός του Benkelman , για τον υπολογισμό των νέων τιμών παραμορφώσεων  $D_m$ . Αντικαθιστώντας στις εξισώσεις 1 και 2 την τιμή της αρχικής παραμόρφωσης  $d_m$  με την νέα  $D_m$  ,υπολογίζεται ο καινούριος δείκτης πάχους  $SN'$  αλλά και οι Ισοδύναμοι Άξονες  $W'$  που μπορούν να διέλθουν από τα ενισχυμένα οδοστρώματα (Eskioglou 2007, Okagbue C.O 1998).

Η όποια μείωση της παραμόρφωσης του εδάφους μετά την σταθεροποίηση με το παραπροϊόν, δηλώνει την αύξηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους αυτού. Από την άλλη, αν δεν χρησιμοποιούσαμε τη λύση «παραπροϊόντα» , για την ίδια βελτίωση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους θα απαιτείτο ενέργεια και μία ποσότητα πρώτων υλών (αμμοχάλικο ή σκύρο  $3^A$ ), που τώρα εξοικονομούνται. Ο όγκος που εξοικονομείται – ανά τρέχον μέτρο και για ένα κλασσικό δασικό δρόμο πλάτους 4m - υπολογίζεται από την επίλυση της σχέσης :

$$\text{Εξοικονομούμενος όγκος σκύρων } V = [(SN' - SN_0) / a_i ] \times (4m) \times (1m) \quad (3)$$

Όπου  $a_i$  = ο συντελεστής αντοχής του υλικού που αντικαθίσταται από το παραπροϊόν και  $\Delta SN = SN' - SN_0$  η μεταβολή του δείκτη πάχους μετά τη σταθεροποίηση

### 3. Αποτελέσματα και συζήτηση

Στους Πίνακες 3,4 και 5 δίνονται οι τιμές της παραμόρφωσης του εδάφους των πειραματικών επιφανειών πριν και μετά τη σταθεροποίησή τους, οι τιμές του δείκτη πάχους, ο όγκος V των σκύρων που εξοικονομούνται ανά τρέχον μέτρο από τη χρήση των παραπροϊόντων και τέλος οι κατά περίπτωση δυνατόν διερχόμενοι Ισοδύναμοι Άξονες.

Στον Πίνακα 6 δίνεται η μεταβολή των συντελεστών αντοχής των στρώσεων όπως δημιουργήθηκαν μετά τη σταθεροποίησή τους με τα διάφορα παραπροϊόντα.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3:** Παραμορφώσεις, δείκτης πάχους και διερχόμενοι Ισοδύναμοι άξονες πριν και μετά τη σταθεροποίηση του εδάφους με τα παραπροϊόντα

ΤΙΜΕΣ ΜΕΓΕΘΩΝ	Σταθεροποίηση με Ιπτάμενη τέφρα	Σταθεροποίηση με Ερυθρά ιλύ	Σταθεροποίηση με Μαρμαρόσκονη
$d_m$ (10 <sup>-2</sup> mm)	<b>391</b>	<b>387</b>	<b>402</b>
$D_m$ (10 <sup>-2</sup> mm)	337	320	325
SN <sub>o</sub>	2.63	2.65	2.52
SN'	2.97	3.11	3.09
ΔSN	0.34	0.46	0.57
W	705	736	662
W'	1635	1994	1984
V(m <sup>3</sup> )	0,148	0,20	0,25

**Πίνακας 4 :** Εξοικονόμηση αδρανών στην οδοστρωσία, από τη χρησιμοποίηση παραπροϊόντων στις διάφορες περιοχές έρευνας.

ΠΕΔΙΟ ΕΡΕΥΝΑΣ	Παραπροϊόν Σταθεροποίησης	Εξοικονόμηση αδρανών (cm)
Άργιλος Γρεβενών	Τέφρα Πτολεμαΐδας 50%	4.6
Ιλυοαργ/ώδες Βυτίνας	Τέφρα Μεγαλόπολης 40%	4.8
Αμμοχάλικο Γρεβενών	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

**Πίνακας 5 :** 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.

<b>ΠΕΔΙΟ ΕΡΕΥΝΑΣ Δασικοί Δρόμοι</b>	<b><math>d_m</math> <math>10^{-2}</math> mm</b>	<b><math>(d_m)'</math> <math>10^{-2}</math> mm</b>	<b>W I.A</b>	<b><math>W_1</math> I.A</b>	<b><math>\Delta SN</math></b>
Αργίλος Γρεβενών +Τέφρα Πτολεμαΐδας	385	300	882	2806	0.46
Ιλυοαργ/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

**Πίνακας 6** Παραμορφώσεις, δείκτης πάχους και συντελεστής αντοχής των διάφορων στρώσεων.[16]

<b>Ιδιότητες</b>	<b>Υπάρχων Χωματόδρομος</b>	<b>Στρώση εδάφους και 3A</b>	<b>Μίγμα εδάφους με Ερυθρά Ιλύ</b>	<b>Μίγμα σκύρων 3A με Ερυθρά Ιλύ</b>
$D_m$	365	246.5	272	230.3
D (cm)	30	30	30	30
SNo	2.71	3.88	3.55	4.12
Ai	0.09	0.12	0.11	0.14

Στον Πίνακα 7 παρουσιάζεται η Μεταβολή της αντοχής ανεμπόδιστης θλίψης των σταθεροποιημένων εδαφών με ποσότητες 2, 4, 6, 8% μαρμαρόσκονης (MD) μετά από 7 και 28 μέρες διάρκεια σταθεροποίησης, ενώ στον Πίνακα 8 η μεταβολή της μέγιστης ξηράς πυκνότητας καθώς και της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη, εδαφών που σταθεροποιούνται με διάφορες ποσότητες τριμμάτων ελαστικού.

**Πίνακας 7 :** Μεταβολή της αντοχής ανεμπόδιστης θλίψης των σταθεροποιημένων εδαφών με 2, 4, 6, 8% μαρμαρόσκονη(MD) μετά από 7 και 28 μέρες.

MD %	UCS		UCS		UCS		UCS		UCS	
	έδαφος Α		έδαφος Β		έδαφος C		έδαφος D		έδαφος E	
	KPa		KPa		KPa		KPa		KPa	
	7 και (28)		7 και (28)		7 και (28)		7 και (28)		7 και (28) μέρες	
2	200	(220)	280	(330)	220	(280)	120	(180)	320	(410)
4	240	(310)	350	(420)	250	(320)	200	(250)	390	(440)
6	285	(470)	415	(500)	385	(500)	280	(400)	460	(520)
8	490	(650)	550	(650)	480	(620)	350	(540)	560	(670)

**Πίνακας 8 :** Μέγιστη ξηρά πυκνότητα και αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη (ελαστικό).

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

Από τους παραπάνω Πίνακες διαπιστώνεται ότι σε εδαφικές στρώσεις σταθεροποιημένες με παραπροϊόντα γενικά μειώνεται η πλαστικότητα τους, βελτιώνονται η κοκκομετρική διαβάθμιση, τα μηχανικά χαρακτηριστικά, η βατότητα και η διατηρητική τους αντοχή στις επιδράσεις των φορτίων των οχημάτων και των καιρικών συνθηκών. Η μείωση της παραμόρφωσης τους οδηγεί σε μείωση πάχους οδοστρώματος, μεγαλύτερη διακίνηση κυκλοφοριακού φόρτου, εξοικονόμηση αδρανών υλικών και ενέργειας και ελάττωση κόστους κατασκευής. Συγκεκριμένα:

Μίγματα ερυθράς ιλύος, 50/50 με φυσικό έδαφος, παρουσιάζουν βελτίωση της φέρουσας ικανότητάς 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 (Eskioğlu 2005). Η αύξηση της αντοχής των εδαφών δεν προσεγγίζει αντοχές προερχόμενες από άλλους σταθεροποιητές όπως τσιμέντο ή ασβέστη. Η παραμόρφωση του εδάφους μειώνεται

κατά 18%, ενώ αυξάνεται κατά 171% ο αριθμός W των επιτρεπόμενων Ισοδυνάμων αξόνων που μπορούν να διέλθουν από την πειραματική μας επιφάνεια .Ο δείκτης πάχους του οδοστρώματος αυξήθηκε κατά 0,46, στοιχείο που μεταφράζεται σε εξοικονόμηση 0,20 m<sup>3</sup> σκύρων ανά τρέχον μέτρο δρόμου πλάτους 4 μέτρων. Τέλος μειώνεται η παραμορφωσιμότητα των δασικών δρόμων κατά 12%, φορές. Επίσης, η σταθεροποίηση αυξάνει την ευστάθεια και ανθεκτικότητα του υλικού στον κίνδυνο απόπλυσης.

Από την ανάμιξη του εδάφους με τέφρα, βρέθηκε ότι :  
Μειώθηκε η παραμόρφωση και η ξηρά εργαστηριακή πυκνότητα του εδάφους, ενώ βελτιώθηκε η βέλτιστη υγρασία και η φέρουσα ικανότητά του κατά 14% όταν το ποσοστό της τέφρας στο μίγμα ξεπεράσει το 8 %. Μετά την σταθεροποίηση , μπορούν να διέλθουν μέχρι και 131% περισσότεροι Ισοδύναμοι άξονες , ενώ ο δείκτης πάχους του οδοστρώματος αυξήθηκε κατά 0,34, στοιχείο που μεταφράζεται σε εξοικονόμηση 0,148 m<sup>3</sup> μέχρι και 0,24m<sup>3</sup> σκύρων ανά τρέχον μέτρο δρόμου πλάτους 4 μέτρων. Έχουμε μείωση της παραμορφωσιμότητας μέχρι 25%.Οι ισοδύναμοι άξονες που διέρχονται από τον σταθεροποιημένο δρόμο αυξήθηκαν μέχρι και 4 φορές.



Φωτογραφία 2,3 Δρόμος σταθεροποιημένος με ιπτάμενη τέφρα και ερυθρά ιλύ

Από την ανάμιξη του εδάφους με μαρμαρόσκονη, η έρευνα έδειξε ότι η παραμόρφωση του εδάφους μειώθηκε κατά 20%, όταν αυξάνεται κατά 200% - περίπου τριπλασιάζεται -ο αριθμός W των επιτρεπόμενων Ισοδυνάμων αξόνων που μπορούν να διέλθουν από την πειραματική μας επιφάνεια .Ο δείκτης πάχους του οδοστρώματος αυξήθηκε κατά 0,57, άρα εξοικονομούνται 0,25 m<sup>3</sup> σκύρων ανά τρέχον μέτρο. Επίσης βρέθηκε ότι μειώθηκε η πλαστικότητα των σταθεροποιημένων εδαφών μέχρι και 35%, ιδίως σε αργιλώδη και πηλώδη εδάφη, όταν το ποσοστό του σταθεροποιητή ανέρχεται σε 8%.

Τέλος βρέθηκε ότι αυξάνεται η βέλτιστη υγρασία και μειώνεται η μέγιστη ξηρά πυκνότητα αντίστοιχα κατά 20 και 22%.Όλα τα εδάφη, σταθεροποιούμενα με 8% μαρμαρόσκονη, αυξάνουν την αντοχή τους (CBR) και μάλιστα αυτή η αύξηση μπορεί να φτάσει το 50% όταν τα δείγματα διατηρηθούν για 28 ημέρες.





Φωτογραφία 4 .Δασικός δρόμος σταθεροποιημένος με υπολείμματα μαρμάρου

Με την σταθεροποίηση των ίδιων εδαφών με τρίματα ελαστικών δεν αυξήθηκε, αλλά αντίθετα μειώθηκε η αντοχή τους. Με την προσθήκη ελαστικών τριμμάτων στο έδαφος, η τάση μειώθηκε καθώς συμμετέχει στο μίγμα το παραπροϊόν, ενώ ταυτόχρονα αυξήθηκε το ποσοστό παραμόρφωσης με την επίδραση εξωτερικής δύναμης. Αυτό σχετίζεται με τη μείωση της αντοχής του μίγματος. Η προσθήκη τριμμάτων ελαστικών οδηγεί σε μείωση της διόγκωσης του εδάφους, ιδιαίτερα όσο αυξάνεται το ποσοστό. Η μεγαλύτερη μείωση (50%) πετυχαίνεται όταν προστεθούν τρίμματα 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 όταν η περιεχόμενη υγρασία αγγίζει το 22%. [Εσκίογλου 2009]



Φωτογραφία 5,6. Τρίμματα ελαστικών και σταθεροποιημένος με αυτά δρόμος

Όλα αυτά καθιστούν τη χρησιμοποίηση των παραπροϊόντων απαραίτητη επέμβαση, όχι τόσο για την αύξηση της αντοχής του υπεδάφους, όσο διότι τα παραπροϊόντα της βιομηχανίας που καταστρέφουν το περιβάλλον, ενώ στη φυσική τους κατάσταση θα ήταν ακατάλληλα για έργα οδοποιίας τώρα μπορούν να δημιουργήσουν οικονομικές και ανθεκτικές στρώσεις οδοστρωμάτων.

## 5.Συμπεράσματα

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. Με την επέμβαση αυτή έχουμε μείωση της ανάγκης για χρήση και εκμετάλλευση φυσικού μη ανανεώσιμου κεφαλαίου, ενώ αποφεύγονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και η κατανάλωση ενέργειας από την εξόρυξη πρωτογενών πρώτων υλών καθώς και από τη μεταποίηση των πρώτων υλών κατά την παραγωγική διαδικασία. Επιπλέον παρατηρείται μείωση της ποσότητας των απορριπτόμενων υλικών και κατά συνέπεια περιορισμός των αναγκαίων χώρων εναπόθεσης και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνεπάγονται και μείωση του κόστους κατασκευής λόγω χαμηλού ή μηδενικού κόστους των στερεών αποβλήτων

Τα μειονεκτήματα εστιάζονται στην απουσία ή αδυναμία εφαρμογής ενός ολοκληρωμένου σχεδιασμού διαχείρισης αποβλήτων ή παραπροϊόντων(Εσκίογλου Β. κ.α. 2011). Στην έλλειψη πληροφόρησης των ενδιαφερομένων για τις νέες μεθόδους και πρακτικές ανακύκλωση, καθώς και στον καθορισμό προδιαγραφών των υλικών, με στόχο την διαρκή και απρόσκοπτη τροφοδοσία της αγοράς με κατεργασμένο και ομογενοποιημένο προϊόν με σταθερές ιδιότητες. Επίσης αρνητικό στοιχείο είναι και η αύξηση του κόστους εφαρμογής στις περιπτώσεις που οι αποστάσεις μεταξύ του τόπου παραγωγής του υλικού και του τόπου κατασκευής είναι μεγάλες.

Σαφώς κάθε τέτοια επέμβαση πρέπει να ελέγχεται και από τη σκοπιά της μόλυνσης των υδροφόρων οριζόντων από την έκλυση 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.

Είναι λοιπόν απαραίτητη η συνδρομή του κρατικού φορέα για την υλοποίηση μιας καλύτερης, ασφαλέστερης και πιο υγιούς κοινωνίας με προοπτικές ανάπτυξης σε ένα πιο σταθερό και προστατευμένο περιβάλλον. Γι' αυτό λοιπόν, θεωρείται αναγκαία η θεσμοθέτηση ανάλογου νομοθετικού πλαισίου που θα επιβάλλει την αξιοποίηση των βιομηχανικών παραπροϊόντων και θα επιβάλλει σοβαρές κυρώσεις σε αντίθετη περίπτωση.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- AASHTO T- 220 - 66. (1987) " Standard method of test for determination of the strength of soil- mixtures"
- B u r l e t, Ed. (1980) "Dimensionierung und Verstärkung von Strassen mit geringen Verkehr und flexiblem Oberbau" ETH und SZF,132, 8: 645-672
- Εσκίογλου, Β., Μπούσιου, Κ., και Νταρακάς Ε.,(2011) Διαχείριση αστικών στερεών αποβλήτων Ν. Χαλκιδικής. 4<sup>ο</sup> Περιβαλλοντικό Συνέδριο Μακεδονίας .Θεσσαλονίκη
- Eskioglou, P., Hirt, R., and Burlet E., (1998) Investigation of pavement performance using the Benkelman beam method. Scientific Annals of the

- Department of Forestry and Natural Environment . AUTH
- Eskioglou P., and Efthymiou, P.(1998) 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.
- Eskioglou,P. (1998) ‘Influence of soil type on stabilization with marble dust for forest road construction’, International Conference on Soil Stabilization, Unterwaz
- Eskioglou P. (2002). ‘Environment-friendly forest road construction’Proceedings from the VI Protection and Restoration of the environment Inter. Conference, 2002, Skiathos, Greece.
- Eskioglou P.,(2005) 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, 2005.
- Eskioglou P.,(2007) 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
- Oikonomou N. and Eskioglou P. (2007) ‘Alternative fillers for use in slurry seal’, Global Nest Journal, Vol. 9, No 2, pp.182-186.
- Μ ο υ ρ α τ ί δ η ς Α ν. (1996)“ Διερεύνηση χρήσης ερυθράς ιλύος σε έργα Οδοποιίας” 2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ασφαλτικών μιγμάτων και οδοστρωμάτων .Θεσσαλονίκη σελ.441-455
- Okagbue C.O. and T.U.S. Oneyeobi (1999).Engineering Geology Volume 53 , Issue 3-4 pp. 371-380 Potential of marble dust to stabilise red tropical soils for road construction
- Τσώχος Γ. Ν. Ηλιού (1995) “Εναλλακτικά υλικά οδοποιίας - Περιβαλλοντική θεώρηση”. 1ο Συνέδριο Οδοποιίας ΤΕΕ σελ. 772 - 777 . Λάρισα.