

## **ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΔΡΟΜΩΝ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΕΡΥΘΡΑΣ ΙΛΥΟΣ (RED MUD)**

**Παναγιώτης Εσκίογλου**

Τομέας Δασοτεχνικών και Υδρονομικών Έργων Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος Α.Π.Θ.

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η ερυθρά ιλύς είναι το στερεό απόβλητο που προκύπτει από την κατεργασία των βωξιτών για την παραγωγή αλουμίνας. Το ετήσιο παραγόμενο προϊόν απορρίπτεται στο περιβάλλον και ιδιαίτερα στον Κορινθιακό κόλπο με απρόβλεπτες συνέπειες υποβάθμισης. Στην προσπάθεια της αξιοποίησης των παραπροϊόντων της βιομηχανίας, στην ερευνητική αυτή εργασία διερευνάται η δυνατότητα χρησιμοποίησης της ως μίγμα με εδάφη και σκυροστρώσεις για δημιουργία βάσεων και υποβάσεων. Αποδείχτηκε ότι βελτιώθηκε σε μικρά ποσοστά η μηχανική αντοχή των νέων στρώσεων, αλλά το σημαντικότερο κέρδος προέρχεται από την ανακύκλωση της ερυθράς ιλύος από βιομηχανικό παραπροϊόν σε υλικό οδοστρώσεως που προσφέρει λύσεις σε οικολογικά προβλήματα.

### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η κατανάλωση πρώτων υλών και η μόλυνση του περιβάλλοντος από την απόθεση στερεών αποβλήτων, είναι ασφαλώς δύο κύριοι παράγοντες που μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο την ευημερία της ανθρωπότητας. Η επιστήμη, στην προσπάθειά της να προστατεύσει και αποκαταστήσει το περιβάλλον, στρέφεται στην οργανωμένη διαχείριση των στερεών αποβλήτων και στην έρευνα νέων τεχνικών αξιοποίησης τους ώστε να μειωθεί η ζήτηση πρώτων υλών και φορέων ενέργειας. Ένας επιστημονικός χώρος αποδέκτης των απόβλητων αυτών είναι ασφαλώς η οδοποιία. Η εισαγωγή της πίσσας, η διοχέτευση σκωριών και τέφρας από την επεξεργασία απορριμάτων, η επαναχρησιμοποίηση οικοδομικών υλικών και η χρησιμοποίηση ανακυκλωμένων δομικών υλικών που μπορούν να παραχθούν από δευτερεύουσες πρώτες ύλες, βιομηχανικά παραπροϊόντα (by products) ή εναλλακτικά απορριφθέντα υλικά (waste materials) αποτελούν επιβεβαίωση των παραπάνω (Hirt 1993, Τσώχος 1995). Με τον τρόπο αυτό αφενός τα δομικά απορρίματα δεν εναποτίθενται στο περιβάλλον οπότε δεν το καταστρέφουν, αφετέρου συμβάλλουν στη Εθνική οικονομία καθώς ελαχιστοποιείται το κόστος κατασκευής των οδικών έργων.

Όσον αφορά την εφαρμογή των αποβλήτων στην δασική Οδοποιία, πρώτη η Διεύθυνση Υγιεινής της Ζυρίχης έκανε έλεγχο της σκωρίας σκουπιδιών από διάφορες εγκαταστάσεις καύσης, σχετικά με την καταλληλότητά τους στη δασική πράξη. Με εργαστηριακές έρευνες η σκωρία επεξεργάστηκε - με την αφαίρεση των χονδρόκοκκων συστατικών από σίδηρο διάμετρου πάνω από 50mm- και ελέγχθηκαν η σταθερότητα τους από τη

δράση του νερού και του παγετού και η αντοχή τους ως υλικό για το στρώμα θεμελίωσης ( SNV Stabilisations 1988).

Σύμφωνα με την ταξινόμηση USCS οι σκωρίες ανταποκρίνονται στις κατηγορίες εδάφους GW, GP, GM, GM-ML, με καμπύλες κοκκομετρικής διαβάθμισης με παραβολική μορφή. Σε ορισμένα δείγματα λόγω ύπαρξης λεπτόκοκκων υλικών υπάρχει κίνδυνος προσβολής από παγετό. Πειράματα ανόδου του παγετού αποδεικνύουν όμως τη σταθερότητα του όγκου της σκωρίας (Hirt 1994), ενώ έρευνες που διεξήχθησαν για τον υπολογισμό της αντοχής, σταθεροποιημένων με παραπροϊόντα στρώσεων οδοστρωσίας έδωσαν ενθαρρυντικά αποτελέσματα ως προς τη βελτίωση της φέρουσα ικανότητα των δασικών δρόμων (Hirt, R. 1998).

Στην Ελλάδα, τα παραπάνω συμπεράσματα ήρθαν να κεντρίσουν το ερευνητικό ενδιαφέρον αφού κάθε χρόνο εναποτίθενται στο περιβάλλον 900000 τόνοι από σκωρίες χαλυβουργίου με τα γνωστά προβλήματα ρύπανσης. Στην αρχή χρησιμοποιήθηκαν σκωρίες σε αντιολισθηρούς τάπητες λόγω της σκληρότητας και ανθεκτικότητάς τους, ενώ για δασικούς δρόμους βγήκαν σοβαρά συμπεράσματα από τη σταθεροποίησή τους με ιπτάμενη τέφρα (E s k i o g l o u, P., κ.α 1996 ).

Ένα άλλο υλικό που χρησηζει έρευνας είναι η ερυθρά ιλύς , το στερεό απόβλητο που προκύπτει από την κατεργασία των βωξιτών με τη μέθοδο Bayer για την παραγωγή αλουμίνιας. Το ετήσιο παραγόμενο προϊόν - περίπου 500000 τόνοι - απορρίπτεται στο περιβάλλον και ιδιαίτερα στον Κορινθιακό κόλπο με απρόβλεπτες συνέπειες υποβάθμισης .

Στην παρούσα ερευνητική εργασία επιχειρείται διερεύνηση του κατά πόσο βελτιώνεται η φέρουσα ικανότητα των δασικών δρόμων όταν σταθεροποιούνται με ερυθρά ιλύ και υπολογίζεται σύμφωνα με ερευνητικές σχέσεις, ο συντελεστής αντοχής των καινούργιων.

## **ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ**

Η ερυθρά ιλύς που χρησιμοποιήθηκε, αποτελείται από την υγρή και τη στερεά φάση. Η υγρή περιέχει NaOH και έχει βασική αντίδραση με pH 10.7 - 12.5, ενώ η στερεά αποτελείται από διάφορα οξείδια ( 35% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> , 28% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> κ.α). Η κοκκομετρική σύσταση της χαρακτηρίζεται ως λεπτότατα διαμερισμένη με ειδικό βάρος 3.4g / ml. 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. (Μουρατίδης 1996)

Η έρευνα διεξήχθη σε δασικό χωματόδρομο του συμπλέγματος Πευκωτού Αριδαίας. Η διεξαγωγή των πειραματικών εργασιών έγινε με την εξής σειρά:

α. Πραγματοποιήθηκε εδαφολογική και εδαφομηχανική εξέταση και διαπιστώθηκε ότι ο δασικός δρόμος της έρευνας βρίσκεται σε γεωλογικό υπόβαθρο γρανίτη το δε έδαφος είναι πηλώδες με αντοχή CBR=5.5 % που υπολογίστηκε με πενετρόμετρο χειρός Farnell σε βάθος 45 cm.

β. Σταθεροποίηση εδαφικών δειγμάτων και κατασκευή καινούργιων οδοστρώσεων:

Εκτός της βασικής χωμάτινης στρώσης, δημιουργήθηκαν άλλες τρεις. Στην πρώτη προσετέθη υλικό 3Α, στην δεύτερη αναμίχθηκε το υπάρχον έδαφος με ερυθρά ιλύ, ενώ στο τελευταίο η ανάμιξη της ιλύος έγινε με το προστιθέμενο υλικό 3Α. Το έδαφος σε υγρασία ίση με τη βέλτιστη (W%) αναμίχθηκε επί τόπου με διάφορα ποσοστά του σταθεροποιητή για την εύρεση του απαιτούμενου ποσοστού. Τόσο από στοιχεία από τη βιβλιογραφία όσο και από εργαστηριακές μετρήσεις παρατηρήθηκε ιδιαίτερη αύξηση της μηχανικής αντοχής του σταθεροποιημένου εδάφους, σε μίγματα 50/ 50. Για το λόγο αυτόν το ποσοστό της ερυθράς ιλύος που χρησιμοποιήθηκε ανήλθε στο 50%. Ακολούθησε η μορφοποίηση της επιφάνειας με Grader και το πέρασμα των οδοστρωτήρων για την τελική συμπίκνωση ώστε να δημιουργηθεί τελικό πάχος των στρώσεων τα 30cm.

γ. Με τη βοήθεια της δοκού του Benkelman υπολογίστηκε σε κάθε οδόστρωμα η υπάρχουσα παραμόρφωση ( Burllet, Ed. 1980) . 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  $d_m$  (υπάρχουσα παραμόρφωση) που ισούται με  $d_m = d + 1.3s$  (Πίνακας Ι).

δ. Γνωρίζοντας την τιμή της αντοχής του υπεδάφους CBR =5.5 και την τιμή της υπάρχουσας παραμόρφωσης  $d_m$  για την κάθε μία στρώση, μπορεί να υπολογιστεί ο δείκτης πάχους τους SNo από την ακόλουθη σχέση (1)

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

ε. Στη συνέχεια και για τον υπολογισμό της αντοχής κάθε μίας στρώσης , απαιτείται η επίλυση της σχέσης (2) :

$$a_i = \frac{SNo}{D} \quad (2)$$

όπου  $a_i$  = ο συντελεστής αντοχής της κάθε στρώσης και  
 $D$  = το πάχος της κάθε στρώσης που είναι ίσο με 30cm.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στον Πίνακα I φαίνεται η μείωση της υπάρχουσας παραμόρφωσης των εδαφικών στρώσεων όταν προστίθενται τα σκύρα 3A και η ερυθρά ιλύς. Η προσθήκη ιλύος στον υπάρχοντα χωματόδρομο μειώνει την παραμόρφωση της στρώσης αυτής κατά 25% ενώ με την προσθήκη σκύρων και σκύρων - ιλύος μειώνεται αντίστοιχα κατά 33 και 37%.

ΠΙΝΑΚΑΣ I. Υπολογισθείσες παραμορφώσεις με τη δοκό του Benkelman στις θέσεις έρευνας στα 4 πειραματικά οδοστρώματα.

Θέσεις Μέτρησης (m)	Υπάρχων Χωματόδρομος (πηλώδης) $d_i$ ( $10^{-2}$ mm)	Στρώση εδάφους και 3A $d_i$ ( $10^{-2}$ mm)	Μίγμα εδάφους με Ερυθρά Ιλύ $d_i$ ( $10^{-2}$ mm)	Μίγμα σκύρων 3A με Ερυθρά Ιλύ $d_i$ ( $10^{-2}$ mm)
0	290	220	230	220
50	355	230	240	210
100	330	220	240	210
150	375	230	260	210
200	330	230	250	215
250	350	230	260	230
300	340	250	250	240
350	290	240	240	220
400	300	230	280	220
450	320	250	270	230
M.O. " d "	<b>328</b>	<b>233</b>	<b>252</b>	<b>219.5</b>
s	<b>28.5</b>	<b>10.5</b>	<b>15.5</b>	<b>8.3</b>
$d_m=d+1.3s$	<b>365</b>	<b>246.5</b>	<b>272</b>	<b>230.3</b>

Όταν η σκυρόστρωση σταθεροποιείται με ερυθρά ιλύ, διαπιστώνεται μία μείωση της παραμορφωσιμότητας και αντίστοιχη βελτίωση της φέρουσας ικανότητας κατά 7%, πράγμα που οφείλεται στη χρησιμοποίηση της ερυθράς ιλύος ως υδραυλικής κονίας για αύξηση της αντοχής.

ΠΙΝΑΚΑΣ II Παραμορφώσεις, δείκτης πάχους και συντελεστής αντοχής των διάφορων στρώσεων.

ΜΕΓΕΘΗ ΤΙΜΩΝ	Υπάρχων Χωματόδρομος	Στρώση εδάφους και 3A	Μίγμα εδάφους με Ερυθρά Ιλύ	Μίγμα σκύρων 3A με Ερυθρά Ιλύ
--------------	----------------------	-----------------------	-----------------------------	-------------------------------

d <sub>m</sub>	<b>365</b>	<b>246.5</b>	<b>272</b>	<b>230.3</b>
D (cm)	30	30	30	30
SNo	2.71	3.88	3.55	4.12
ai	0.09	0.12	0.11	0.14

Οι τιμές των παραμορφώσεων επιδρούν όπως είναι φυσικό στο μέγεθος του δείκτη πάχους και της τιμής του συντελεστή αντοχής των στρώσεων (σχέσεις 1 και 2 , ΠίνακαςII). Διαπιστώνεται λοιπόν πως ενώ η αντοχή της αρχικής στρώσης - που είναι έδαφος με χαλίκια - είναι 0.09 , σταθεροποιούμενη με ιλύ, υπολογίζεται στα 0.11 (αύξηση 22%). Αν στην αρχική στρώση προσθέσουμε αμμοχάλικο 3A τότε η αντοχή της γίνεται 0.12 και αν προστεθεί ερυθρά ιλύς 0.14 (αύξηση κατά 33 και 55% αντίστοιχα).

Επομένως η χρησιμοποίηση της ερυθράς ιλύος στους δασικούς δρόμους πετυχαίνει μία σχετική αύξηση της αντοχής τους, χωρίς όμως οι τιμές αυτές να προσεγγίζουν αντοχές προερχόμενες από άλλους σταθεροποιητές όπως τσιμέντο ή ασβέστη. Το μόνο ενθαρρυντικό από την όλη έρευνα εστιάζεται στο ότι υλικά , 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.

## **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ**

Στην ερευνητική εργασία αυτή διερευνήθηκε η δυνατότητα χρήσης της ιλύος σε οδικές κατασκευές και φάνηκε να προσφέρει μικρές τεχνικές λύσεις. Βρέθηκε ότι 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 κόνιας που περιέχει η ιλύς. Το κυριότερο συμπέρασμα όμως της έρευνας είναι ότι η σταθεροποίηση των εδαφικών στρώσεων και του υπεδάφους με παραπροϊόντα βιομηχανίας , 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. Για το λόγο αυτόν η έρευνα αξίζει να προωθηθεί , όχι μόνο για τα τεχνικά πλεονεκτήματα αλλά και επειδή η ανακύκλωση του βιομηχανικού αυτού παραπροϊόντος προσφέρει λύσεις στα σοβαρά οικολογικά προβλήματα.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

AASHTO T- 220 - 66. Guide 1987 " Standard method of test for determination of the strength of soil- mixtures" N.York USA  
 Association Suisse de normalisation 1989( SNV Stabilisations)

- Burlet, Ed. 1980 "Dimensionierung und Verstärkung von Strassen mit geringen Verkehr und flexiblem Oberbau" *ETH und SZF*,132, 8: 645-672
- Eskioglou, P., and Burlet E and Hirt, R., . 1996 "Investigation of pavement performance using the Benkelman beam method." *Scientific Annals of the Department of Forestry and Natural Environment* Vol LH pp 813- 824. AUTH
- Eskioglou P., and Efthymiou, 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 "* 235-242 Sinaia ,Romania.
- Hirt, R. 1993: Recycling: Verwendung von Sekundärrohstoffen im Strassenbau, *Strasse und Verkehr*, Nr. 6 , S. 372 - 374.
- Hirt, R. , 1994: Baustoff-Recycling, Antiquierte Normen behindern Einsatz im Strassenbau, *Schweiz Ingenieur und Architekt* SI+A, Nr. 38, S. 728 - 730.
- Hirt, R. (1998): Verwendung von Recycling-Materialien im Wegebau  
*Schweiz.Z.Forstwes.*,149 11: 901- 908

## Βιβλιογραφία

- AASHTO T- 220 - 66. 1987 " Standard method of test for determination of the strength of soil- mixtures"N.York USA
- 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
- 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* Vol LH pp 813- 824. AUTH
- Eskioglou P., and Efthymiou, 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.
- Hirt, R. 1993: Recycling: Verwendung von Sekundärrohstoffen im Strassenbau, *Strasse und Verkehr*, Nr. 6 , S. 372 - 374.
- Hirt, R. , 1994: Baustoff-Recycling, Antiquierte Normen behindern Einsatz im Strassenbau, *Schweiz Ingenieur und Architekt* SI+A, Nr. 38, S. 728 - 730.
- Hirt, R. (1998): Verwendung von Recycling-Materialien im Wegebau  
*Schweiz.Z.Forstwes.*,149 11: 901- 908
- Μουρατίδης Αν. 1996“ Διερεύνηση χρήσης ερυθράς ιλύος σε έργα Οδοποιίας”  
2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ασφαλτικών μιγμάτων και οδοστρωμάτων  
. Θεσσαλονίκη σελ.441-455

Τσώχος Γ.Χ.1995 “ Εναλλακτικά υλικά Οδοποιίας - Περιβαλλοντική θεώρηση.” 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας ΤΕΕ σελ 772-777

### Investigation on forest road's bearing capacity improvement with red mud mixture

**P. Eskioglou**

Sector of forestry techniques and torrent control works. Dept. Of Forestry and Natural environment. AUTH.

#### SUMMARY

Red mud is the solid remainder of the bauxite industrial treatment for the aluminium production. In Greece the quantity of red mud annually produced is estimated at 500.000 t, and as industrial by-product and waste material constitute serious ecological problems.

In this paper the utilization of red mud in base of road construction works, is studied.

The research was realized to four different layers. The first with natural soil, the second on sand- gravel type 3A, the next soil stabilized with red mud, and the last sand- gravel with red mud.

The investigation showed that after the mixture, the deflection is reduced and the equivalent structural layer coefficient  $a_i$  is increased.

ΠΙΝΑΚΑΣ II Τεχνικά χαρακτηριστικά αντιπροσωπευτικών φορτηγών και ισοδύναμοι άξονες ανά μεταφερόμενη ποσότητα, σε σκυρόστρωτους δρόμους

ΤΥΠΟΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	Κατανομή αξόνων Ε.Α / Ο.Α. (Μικτό βάρος)  KN* 10 <sup>-1</sup>	Ισοδύναμα φορτία άξονα (συνολικά)  KN* 10 <sup>-1</sup>	Μεταφερόμενη ποσότητα ξύλου συνολικά και από (1ισοδύναμο άξονα)  m <sup>3</sup>	Ισοδύναμοι άξονες που μεταφέρουν 1 m <sup>3</sup>  η
1	2	3	4	5
Mercedes 1924 και 1926 Daf DH 385 Magirus 64 Steyer K38	6/ 13 ( 19 )	0.75/ 2.6 ( 3.35 )	14.4 (4.3)	0.27

Volvo GT 10				
Mercedes 2626 2632	6.5/ 2X10 (27 )	0.9 / 2.19 (3.1)	23 (8)	0.12
VOLVO 38	8/ 10/ 2X10 (38)	1.4/ 1.55/ 2.19 (5.2)	35 (7)	0.14
Mercedes 5ax ρυμούλκα	6/ 14/ 20 (40)	0.75/ 1.2/ 2.2 (4.2)	35 (7.7)	0.13