

ΑΛΛΕΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΛΟΙΠΩΝ ΒΩΞΙΤΗ

Δ. Μπουφούνος, Δ. Φαφούτης, Η. Περνιεντάκη

«Αλουμίνιον της Ελλάδος», 32003 Άγιος Νικόλαος Βοιωτία, dimitri.boufounos@alhellas.gr, τηλ.
2267 0 49200

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η έρευνα για την αξιοποίηση των καταλοίπων βωξίτη (KB), που προκύπτουν από την επεξεργασία με τη μέθοδο Bayer για την παραγωγή αλουμίνας, επεκτείνεται και σε άλλους τομείς πέραν αυτού των δομικών υλικών (τσιμέντο, τούβλα, κεραμίδια). Ικανοποιητικά αποτελέσματα έχουν δώσει μέχρι στιγμής δοκιμές που έχουν γίνει στην οδοποιία για την κατασκευή επιχωμάτων – υποστρωμάτων, στην επικάλυψη για την ενδιάμεση ή τελική αποκατάσταση χώρων απόθεσης αστικών ή βιομηχανικών αποβλήτων, στην δημιουργία εδαφικών καλυμμάτων προς δένδροφύτευση σε χώρους προς αποκατάσταση, στον εμπλουτισμό υποβαθμισμένων ή απερημοποιημένων ή αλατούχων εδαφών. Ακόμη, σε εξέλιξη είναι η έρευνα για τη χρήση KB προς πλήρωση εγκαταλελειμμένων επιφανειακών μεταλλείων βωξίτη με στόχο την αποκατάστασή τους.

Λέξεις κλειδιά: κατάλοιπα βωξίτη

OTHER USES OF BAUXITE RESIDUE

D. Boufounos, D. Fafoutis, I. Pernientaki

*«Aluminium de Grece», 32003 St Nicolas Viotia, dimitri.boufounos@alhellas.gr,
tel. +30 2267 0 49200*

ABSTRACT: The research for the use of bauxite residue (BR), produced during the alumina refining is extended to others areas beyond the constructions materials (cement, bricks, tiles). Tests performed on road base construction, on landfill top and bottom sealing, on land reclamation, on soil improvement, have given so far satisfying results. Furthermore, the research for the use of bauxite residue for the rehabilitation of abandoned surface bauxite mines is under development.

Keywords: bauxite residue

ΟΔΟΠΟΙΑ - ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ – ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Οι έρευνες , τις οποίες επί σειρά ετών διεξάγει το Εργαστήριο Οδοποιίας- Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Α.Π.Θεσσαλονίκης σχετικά με τις προοπτικές χρησιμοποίησης ΚΒ σε οδικές κατασκευές , κατέληξαν σε ορισμένες μελέτες σύνθεσης για πιλοτική εφαρμογή (1).Στα πλαίσια αυτής της εφαρμογής , κατασκευάστηκε δρόμος μήκους 100μ ύψους 2μ και σύνθετης διατομής για την μελέτη της συμπεριφοράς γεωκατασκευών με χρήση των ΚΒ και σύγκριση με συμβατικές τεχνικές. Η κατασκευή πραγματοποιήθηκε στον ευρύτερο χώρο των εγκαταστάσεων της «Αλουμίνιον της Ελλάδος» και συγκεκριμένα στον δρόμο που οδηγεί στους χώρους απόθεσης στερεών βιομηχανικών αποβλήτων της.

Ο δρόμος αποτελείται από 3 διακριτές διατομές η σύσταση των οποίων είναι η εξής :

Α) Διατομή 1 : Έδαφος της περιοχής

Β) Διατομή 2 : Έδαφος της περιοχής (60%) και ΚΒ (40%)

Γ) Διατομή 3 : Μίγμα ΚΒ (96%) και ιπτάμενης τέφρας σε ποσοστό 4%



Φωτογραφία 1. Δρόμος

Ως οδόστρωμα χρησιμοποιήθηκε μία μικρού πάχους αμμοχαλικώδης επίστρωση και το έργο παραδόθηκε στην κυκλοφορία. Δύο χρόνια μετά, η οδική κατασκευή δεν έχει παρουσιάσει σημαντικές φθορές, παραμορφώσεις ή ολισθήσεις πρανών και το τεχνικό αυτό εγχείρημα μπορεί να θεωρηθεί ως μία μεγάλη επιτυχία, δεδομένου ότι ελάχιστες παρόμοιες κατασκευές αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία και ακόμη λιγότερες με ανάλογα θετικά αποτελέσματα. Το εργαστήριο

Οδοποιίας του Α.Π.Θ συνένταξε Υπόμνημα Τεχνικών Οδηγιών για την κατασκευή επιχωμάτων σταθεροποιημένων με ΚΒ (2).



Φωτογραφία 2. Δρόμος

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΦΡΑΓΜΟΣ ΣΤΟΝ ΠΥΘΜΕΝΑ Η ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΧΩΡΩΝ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ Η ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Σύμφωνα με την Η.Π. 29407/3508 (ΦΕΚ 1572/16-12-2002) “Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων” και το Παράρτημα Ι-Γενικές απαιτήσεις για όλες τις κατηγορίες ΧΥΤΑ (Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων) προβλέπεται, για την προστασία του εδάφους και των υπογείων και επιφανειακών υδάτων από τους χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων και ανάλογα με την περίπτωση, η εφαρμογή συνδυασμού γεωλογικού φραγμού και στεγανής μεμβράνης για την στεγανοποίηση πυθμένα και την επιφανειακή στεγανοποίηση. Τα κατάλοιπα βωξίτη όταν περιέχουν τη βέλτιστη κατά Proctor υγρασία (28,38% κατά βάρος σε ξηρή βάση) και συμπιεστούν κατάλληλα ώστε να αποκτήσουν το μέγιστο ξηρό φαινόμενο βάρος ($1,506 \text{ g/cm}^3$), παρουσιάζουν πολύ χαμηλή υδροπερατότητα με συντελεστή K ίσο με $4,6 \times 10^{-9} \text{ m/sec}$. Η τιμή αυτή της υδροπερατότητας των καταλοίπων βωξίτη είναι μεγαλύτερη της τιμής $K: 10^{-9} \text{ m/sec}$, που ορίζεται με την υπ’ αριθμόν Η.Π. 29407/3508 για ΧΥΤ μη επικίνδυνων και επικίνδυνων αποβλήτων, ενώ είναι πολύ μικρότερη της αντίστοιχης τιμής ($K: 10^{-7} \text{ m/sec}$) για ΧΥΤ αδρανών αποβλήτων. Παρά το γεγονός ότι τα κατάλοιπα βωξίτη παρουσιάζουν συντελεστή υδροπερατότητας μεγαλύτερο από το συντελεστή που ορίζεται για ΧΥΤ μη επικίνδυνων και επικίνδυνων αποβλήτων εντούτοις αποτελούν υλικό χαμηλής υδροπερατότητας και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως στρώμα στεγανοποίησης. Πιλοτικές δοκιμές που έγιναν σε περιοχή επιφανειακού μεταλλείου και σε συνολική επιφάνεια 580 m^2 απέδειξαν ότι τα κατάλοιπα βωξίτη

κατάλληλα συμπυκνωμένα λειτουργούν ως στρώμα χαμηλής υδροπερατότητας. Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο που ευνοεί τη χρήση των καταλοίπων βωξίτη ως στρώμα γεωλογικού φραγμού για τη στεγανοποίηση πυθμένα ΧΥΤΑ είναι το δυναμικό εξουδετέρωσης οξύτητας (0,7 mgreq/g) και η δυνατότητα ρόφησης ρύπων στην επιφάνεια τους. Λόγω των ιδιοτήτων τους αυτών τα κατάλοιπα βωξίτη μπορεί να λειτουργήσουν ως ένας ακόμα παράγοντας προστασίας του εδάφους και των υπογείων υδάτων εξουδετερώνοντας τα όξινα νερά που μπορεί να διαρρεύσουν από τους ΧΥΤΑ και κατακρατώντας τους ρύπους με μηχανισμούς καταβύθισης (λόγω της μείωσης του pH) και ρόφησης στην επιφάνεια των καταλοίπων βωξίτη. Όπως επίσης προβλέπεται στο Παράρτημα Ι της Η.Π. 29407/3508 (ΦΕΚ 1572/16-12-2002) αν κριθεί απαραίτητο, πέραν της στεγανοποίησης πυθμένα μπορεί να επιβληθεί από τις αρμόδιες αρχές και η επιφανειακή στεγανοποίηση του ΧΥΤΑ. Η επιφανειακή στεγανοποίηση ορίζεται ότι πρέπει να γίνεται με αδιαπέραστα στρώματα χωρίς όμως να καθορίζεται το πάχος των στρωμάτων αυτών. Και σε αυτήν την περίπτωση όπως και στην στεγανοποίηση πυθμένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατάλοιπα βωξίτη κατάλληλα συμπυκνωμένα υπό την βέλτιστη υγρασία στη μέγιστη ξηρή φαινόμενη πυκνότητα ώστε να παρουσιάζουν τον ελάχιστο συντελεστή υδροπερατότητας. Τα κατάλοιπα βωξίτη μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως ενδιάμεση ή /και λοξή στρώση στους ΧΥΤ στερεών αστικών απορριμμάτων και να αντικαταστήσουν το χρησιμοποιούμενο φυσικό εδαφικό υλικό. Πέραν των ΧΥΤΑ, τα κατάλοιπα βωξίτη μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την αποκατάσταση των Χώρων Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων (ΧΑΔΑ, ανεξέλεγκτες χωματερές). Με την χρήση καταλοίπων βωξίτη στην αποκατάσταση των ΧΑΔΑ (Χώροι Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων) επιτυγχάνονται:

- α) Η συμμόρφωση με τις βασικές αρχές της εθνικής και κοινοτικής νομοθεσίας που προτρέπουν την επαναχρησιμοποίηση απορριμμάτων.
- β) Ο περιορισμός της χρήσης πρωτογενών φυσικών πόρων (αργλικό στρώμα χαμηλής υδροπερατότητας, φυσικό έδαφος) για την αποκατάσταση των ΧΑΔΑ η διαθεσιμότητα των οποίων ενδέχεται να είναι περιορισμένη στις περιοχές όπου πρόκειται να γίνει η αποκατάσταση.

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΚΑΛΥΜΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣ ΔΕΝΔΡΟΦΥΤΕΥΣΗ ΣΕ ΧΩΡΟΥΣ ΠΡΟΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Το ανώτερο στρώμα σε έναν προς αποκατάσταση χώρο αποτελεί το υπόστρωμα για την ανάπτυξη βλάστησης. Τα κατάλοιπα βωξίτη μπορούν να αποτελέσουν το κύριο συστατικό αυτού του υποστρώματος. Σχετικές πιλοτικές δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε συνεργασία με το Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του ΕΜ Πολυτεχνείου στα πλαίσια του έργου ΠΑΒΕΤ 2000. Στόχος τους ήταν η εκτίμηση σε πραγματικές συνθήκες της αποτελεσματικότητας της προσθήκης διαφόρων υλικών στα κατάλοιπα βωξίτη, ώστε αυτά να μπορέσουν να αποτελέσουν το κατάλληλο στρώμα για την καλλιέργεια φυτών. Η πιλοτική δοκιμή υλοποιήθηκε σε χώρο δίπλα στο εργοστάσιο της Αλουμίνιον της Ελλάδος, και καλύπτει έκταση περίπου 500 m². Ως υλικά προσθήκης επελέγησαν η γύψος, που αποτελεί υποπροϊόν της βιομηχανίας παραγωγής φωσφορικών λιπασμάτων και παρουσιάζει χαμηλό pH, η ενεργός ιλύς από τις μονάδες βιολογικού καθαρισμού αστικών λυμάτων και το εμπορικό προϊόν δισόξινο φωσφορικό ασβέστιο. Σε κάθε πειραματικό τεμάχιο έχουν φυτευθεί τα ακόλουθα 3 είδη φυτών: Tamarix (αρμυρίκι), Pistacia Lentiscus (σχίνος) και κέδρος Juniperus Macrocarpa. Επίσης, κατά μήκος μιας πλευράς κάθε πειραματικού τεμαχίου (test pad) τοποθετήθηκαν σπόροι από 6 ποώδη φυτά. Μετά από 17 μήνες τα αποτελέσματα είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικά (3).



Φωτογραφία 3 . Πιλοτική δοκιμή αξιοποίησης ΚΒ για φυτοκαλλιέργεια

ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ / ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΜΕΝΩΝ Η ΑΠΕΡΗΜΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ Η ΑΛΑΤΟΥΧΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Μία άλλη δυνατότητα αξιοποίησης των ΚΒ , είναι η χρήση τους ως μέσου για τον εμπλουτισμό και εν γένει τη βελτίωση υποβαθμισμένων εδαφών, δεδομένου ότι τα ΚΒ είναι πλούσια σε χρήσιμα στοιχεία. Πολλά ελληνικά εδάφη είναι φτωχά σε ορισμένα από τα στοιχεία αυτά, με αποτέλεσμα να απαιτείται η προσθήκη κατά τη διάρκεια των διαφόρων καλλιεργειών , βελτιωτικών μέσων με τα στοιχεία αυτά, κάτι που αυξάνει σημαντικά σε αρκετές περιπτώσεις το κόστος των καλλιεργειών. Η έρευνα για την χρήση των ΚΒ ως βελτιωτικού μέσου πραγματοποιείται σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο Πατρών (Τμήμα Γεωλογίας- Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωχημείας) (4) και περιλαμβάνει την ανάμειξη καταλοίπων βωξίτη με ελληνικά εδάφη που παρουσιάζουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Χαμηλό pH
- Απουσία χρησιμων συστατικών όπως Ca , Mg , K (υποβαθμισμένα εδάφη)
- Αλατούχα εδάφη

Επίσης, μελετώνται οι συνθήκες κάτω από τις οποίες η χρήση καταλοίπων σε εδάφη ή ιζήματα πλούσια σε τοξικά ιόντα , παρεμποδίζει τη διάχυση και διασπορά τους.

ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ

Μία ακόμη δυνατότητα αξιοποίησης των καταλοίπων είναι η απόθεσή τους σε εγκαταλελειμμένα επιφανειακά μεταλλεία βωξίτη της ευρύτερης περιοχής γύρω από το εργοστάσιο. Το έργο , εκτελείται σε συνεργασία με το Εργαστήριο Μεταλλουργίας του Εθνικού Μετσόβιου

Πολυτεχνείου. Αντικείμενό του είναι η ανάπτυξη και η εφαρμογή μιας καινοτόμου, οικονομικά αποδεκτής και περιβαλλοντικά ασφαλούς μεθόδου αποκατάστασης ανοικτών επιφανειακών μεταλλευτικών εκσκαφών, με πλήρωσή τους με ξηρά κατάλοιπα βωξίτη. Στόχος του έργου είναι η ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης μεθόδου αποκατάστασης και αισθητικής αναβάθμισης του τοπίου που έχει διαταραχθεί από τις επιφανειακές εκμεταλλεύσεις, με την επιστροφή των καταλοίπων βωξίτη, στους χώρους από όπου προήλθε το μέταλλευμα πριν την κατεργασία του. Το έργο πραγματοποιείται με την συγχρηματοδότηση του Ευρωπαϊκού προγράμματος LIFE ENVIRONMENT. Στα πλαίσια αυτά, πραγματοποιήθηκε πιλοτική δοκιμή με στόχο την εκτίμηση υπό πραγματικές συνθήκες της περιβαλλοντικής συμπεριφοράς των ΚΒ, όταν αποτίθενται σε επιφανειακές εκσκαφές. Κατά τη δοκιμή παρακολουθούνται ο όγκος και η ποιότητα των στραγγισμάτων μέσω ειδικών διατάξεων συλλογής των υδάτων αποστράγγισης (λυσίμετρα) και της επιφανειακής απορροής (5). Η πιλοτική δοκιμή καλύπτει έκταση περίπου 580 m². Από τα παραπάνω ευρήματα θα ακολουθήσει επίδειξη της δυνατότητας εφαρμογής της μεθόδου σε εγκαταλελειμμένο επιφανειακό μεταλλείο στην ευρύτερη περιοχή του εργοστασίου της «Αλουμίνιον της Ελλάδος». Η πλήρωση του μεταλλείου θα γίνει μετά από ξήρανση των καταλοίπων βωξίτη με χρήση φιλτρόπρεσσας. Η διαδικασία απόθεσης θα περιλαμβάνει τη διαδοχική ξήρανση και μεταφορά των καταλοίπων βωξίτη στο μεταλλείο και τη συμπύκνωσή τους ώστε να επιτυγχάνεται η ελάχιστη διαπερατότητα. Μετά την ολοκλήρωση της απόθεσης των καταλοίπων βωξίτη σχεδιάζεται να πραγματοποιηθεί κάλυψη τους, είτε με στείρα μεταλλείων ή τα ίδια τα κατάλοιπα βωξίτη κατάλληλα τροποποιημένα, ώστε να μπορούν να υποστηρίξουν φυτοκάλυψη με φυτά που αναπτύσσονται στην ευρύτερη περιοχή της απόθεσης.



Φωτογραφία 4. Λυσίμετρο



Φωτογραφία 5. Μεταλλείο Κλεισούρας προς μελλοντική πλήρωση

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- (1) Τσώχος, Γ. & Μουρατίδης, Α.. 2004. Χρήση βιομηχανικών παραπροϊόντων στην οδοποιία : Πρακτικά Επιστημονικής Ημερίδας,, Εργαστήριο Οδοποιίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ ,, Θεσσαλονίκη, 13 Μαΐου.
- (2) Τσώχος, Γ. & Μουρατίδης, Α.. 2005. Κατασκευή επιχωμάτων από φυσικά εδάφια υλικά σταθεροποιημένα με κατάλοιπα βωξίτη: Υπόμνημα Τεχνικών Οδηγιών , Εργαστήριο Οδοποιίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ.

- (3) Ξενίδης, Α. Χαροκόπου, Α.Δ., Πασπαλιάρης, Ι., Μπουφούνος, Δ. Φαφούτης, Δ., Περνιεντάκη, Η. & 2004a. Revegetation of bauxite residue: laboratory and field tests, *Proc. of 1st Int. Conf. on Advances in Mineral Resources Management and Environmental Geotechnology (AMIREG 2004)*, (Ζ. Αγιουτάντης, Κ. Κομνίτσας), Χανιά, Ιούνιος 7-9, σελ.. 487-494.
- (4) Βαρνάβας, Σ.Π., Μπουφούνος, Δ. & Φαφούτης, Δ., 2005. An investigation of the potential application of bauxite residue in soil / sediment remediation. *Proc. Of the 9th Int. Conf. On environmental science and technology*, Ρόδος, Σεπτέμβριος 1-3.
- (5) Ξενίδης, Α. Χαροκόπου, Α.Δ, Μυλωνά, Ε. Μπουφούνος, Δ. Φαφούτης, Δ., & Περνιεντάκη, Η. *Proc. of Int. Workshop in Geoenvironment and Geotechnics*, Μήλος, Σεπτέμβριος 12-14.