

ΧΡΗΣΗ ΣΚΩΡΙΩΝ ΣΕ ΑΝΤΙΟΛΙΣΘΗΡΑ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΑ ΒΑΣΕΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ

A. Πραπίδης¹, Γ. Ντούλης², Β. Ζωτιάδης²

Ινστιτούτο Ποιοτικού Ελέγχου¹, Εμμ. Παπαδάκη 19, Ηράκλειο Αττικής 141 21

Εδαφομηχανική Α.Τ.Ε.², Εμμ. Παπαδάκη 19 & Ζαλοκώστα, Ηράκλειο Αττικής 141 21

KEYWORDS: ασφαλτομίγματα, σκωρίες, μέταλλα, TCLP, διαχείριση στερεών αποβλήτων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ελέγχεται η καταλληλότητα χρήσης μεταλλουργικών αποβλήτων (σκωριών) ως αδρανή στην κατασκευή αντιολισθηρών ασφαλτομιγμάτων. Εξετάστηκαν δείγματα από Ελληνικές μεταλλουργικές σκωρίες ως προς τα φυσικά και μηχανικά τους χαρακτηριστικά καθώς επίσης και ως προς την τοξικότητά τους. Τα αποτελέσματα αξιολογούνται και συγκρίνονται με αντίστοιχα από συνήθη αδρανή υλικά καθώς και με τις απαιτήσεις των ισχυόντων Ελληνικών - Διεθνών προδιαγραφών. Η χρήση της σκωρίας, ως υψηλής ποιότητας αδρανές υλικό σε αντιολισθηρά ασφαλτομίγματα είναι εφικτή και αποτελεί ταυτόχρονα και εναλλακτική πρόταση διαχείρισής της.

USE OF SLAG IN SKID RESISTANT ASPHALT MIXES BASED ON MECHANICAL AND ENVIRONMENTAL CRITERIA

A. Prapidis¹, G. Doulis², V. Zotiadis²

Quality Control Institute¹, Emm. Papadaki 19, Irakleio Attikis 141 21

Edafomichaniki S.A.², Emm. Papadaki 19 & Zalokosta, Irakleio Attikis 141 21

KEYWORDS: asphalt mixes, slags, TCLP, solid waste management

ABSTRACT

The suitability of metallurgical waste (slags) as aggregates for skid resistant asphalt mixes is under evaluation. Samples of Greek metallurgical slags were tested in regard of their physical and mechanical properties, as well as their toxicity. The results are evaluated and compared with similar results of common aggregates and for conformance with International and Greek Specifications. The use of slag as a high quality aggregate in skid resistant asphalt mixes is feasible and at the same time is presented as an alternative in solid waste management.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χρήση εναλλακτικών προϊόντων ως αδρανή σε έργα οδοποιίας αποτελεί πεδίο έρευνας και εφαρμογής στην Ευρωπαϊκή Ένωση και τις ΗΠΑ στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης. Η εργασία αυτή αξιολογεί την καταλληλότητα Ελληνικών μεταλλουργικών παραπροϊόντων ως αδρανή σε αντιολισθηρά ασφαλτομίγματα στα πλαίσια μείωσης του κόστους κατασκευής, της διατήρησης των φυσικών πηγών αδρανών και της ανακύκλωσης των αποβλήτων σε συμφωνία με την Ευρωπαϊκή Κοινοτική οδηγία 1999/31/ΕΚ [1]. Αντίστοιχες έρευνες εναλλακτικής χρήσης σκωριών σε ασφαλτομίγματα έχουν πραγματοποιηθεί διεθνώς [2], [3], [4], αλλά και στον Ελληνικό χώρο [5], [6], κλπ.

Σήμερα τα μεταλλουργικά παραπροϊόντα, όπως οι σκωρίες πρώτης και δεύτερης επεξεργασίας μεταλλεύματος περιλαμβάνονται στον κατάλογο των επικίνδυνων αποβλήτων της ΚΥΑ 69728/824 [7] και η διαχείρισή τους προσδιορίζεται από την ΚΥΑ 19396/1546 [8] σε εναρμόνιση με την αντίστοιχη κοινοτική οδηγία 91/689. Παρ' όλα αυτά από την ισχύουσα νομοθεσία δεν προσδιορίζονται περιβαλλοντικές προδιαγραφές για τη χρήση των σκωριών ως αδρανή σε έργα οδοποιίας και η καταλληλότητά τους αξιολογείται με βάση τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά. Στην έρευνα αυτή εξετάζεται η καταλληλότητα των σκωριών σύμφωνα με την πρόσφατη προδιαγραφή ASTM D 5106-03 [9], η οποία περιλαμβάνει πέρα των μηχανικών απαιτήσεων και κριτήρια τοξικότητας με βάση τη δοκιμή TCLP (Toxicity Characterization Leaching Procedure). Οι δοκιμές τοξικότητας πραγματοποιήθηκαν, τόσο στην πρώτη ύλη (σκωρία), όσο και στο τελικό προϊόν (ασφαλτόμιγμα).

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 Δειγματοληψία υλικών

Ελήφθησαν τρία δείγματα από σκωρίες μεταλλουργίας σιδήρου (Fe) (δείγματα ΣΚ1, ΣΚ2) και μολύβδου (Pb) (δείγμα ΣΚ3). Τα δείγματα ΣΚ 1 και ΣΚ 2 προέρχονται από τις δύο υπάρχουσες Ελληνικές μεταλλουργικές βιομηχανίες και ήταν διαβαθμισμένα σε δυο κλάσματα : χαλίκι 12 – 16 mm και ψηφίδα 5 – 12 mm. Το δείγμα ΣΚ 3 προέρχεται από τις αποθέσεις σκωρίας στην περιοχή του λιμένος Λαυρίου και διαμορφώθηκε σε δύο κλάσματα σε εργαστηριακό σπαστήριο. Η δειγματοληψία όλων των δειγμάτων, έγινε σύμφωνα με την προδιαγραφή ASTM D75-97 [10].

2.2 Παρασκευή δοκιμών ασφαλτομίγματος

Για κάθε δείγμα σκωρίας, παρασκευάστηκαν κυλινδρικά δοκίμια αντιολισθηρού ασφαλτομίγματος Τύπου ΙΙ σύμφωνα με τις ισχύουσες Ελληνικές Προδιαγραφές [11]. Για την επίτευξη της τελικής κοκκομετρίας χρησιμοποιήθηκε ασβεστολιθική άμμος. Η κοκκομετρική διαβάθμιση των υπό εξέταση δειγμάτων ασφαλτομίγματος παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.

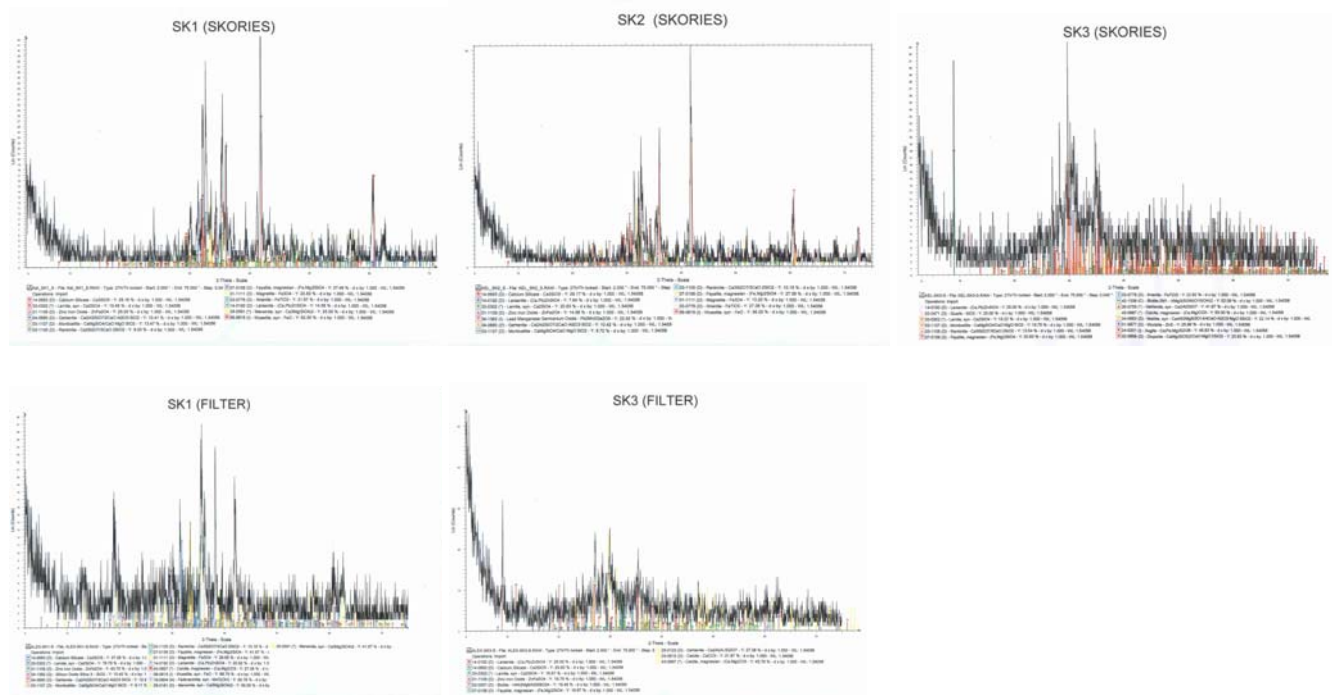
ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Κοκκομετρική διαβάθμιση των υπό εξέταση δειγμάτων ασφαλτομίγματος

Μέγεθος Κοσκίνου ASTM	Όρια προδιαγραφής (Διερχόμενα)	Διαβάθμιση Δειγμάτων
¾ in (19 mm)	100	100
½ in (12,5 mm)	85 – 100	87
3/8 in (9,5 mm)	60 – 90	65
No 4 (4,75 mm)	20 – 50	34
No 8 (2,36 mm)	5 – 25	21
No 16 (1,18 mm)	3 – 19	13,5
No 50 (0,30 mm)	0 – 10	7,2
No 200 (0,075 mm)	-	4,1

Η παρασκευή των δοκιμίων έγινε στο αναγνωρισμένο εργαστήριο της εταιρείας Ινστιτούτο Ποιοτικού Ελέγχου Ο.Ε. σύμφωνα με την μέθοδο Marshall [12] με την χρήση καθαρής ασφάλτου τύπου 50/70 σε ποσοστό 4,65% κατά βάρος αδρανών υλικών. Η ανάμιξη έγινε στους 175°C ενώ η συμπίκνωση στους 149°C. Τα δοκίμια δεν είχαν το τυπικό ύψος των 6,35 cm αλλά 4 cm, δηλαδή όσο το τυπικό πάχος μιας αντιολισθητής στρώσης, ενώ στην άνω επιφάνειά τους έγινε ειδική επεξεργασία, ώστε να απομακρυνθεί ο υμένας της ασφάλτου από τα αδρανή. Τα δοκίμια αυτά προσομοιάζουν όσο το δυνατόν πιστότερα σε έναν αντιολισθηρό ασφαλτοτάπητα σε κατάσταση λειτουργίας.

3. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ

Οι ορυκτολογικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στα υλικά σκωρία (δείγματα SK1, SK2 και SK3), καθώς και σε δύο δείγματα (από τη Fe-ούχα σκωρία, δείγμα SK1 και από τη Pb – ούχα σκωρία, δείγμα SK3) από το αιωρούμενο λεπτόκοκκο υλικό, που συγκρατήθηκε στους ηθμούς μετά την ολοκλήρωση της δοκιμής έκπλυσης TCLP. Οι εργαστηριακές εργασίες πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο του Τομέα Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας, του Τμήματος Γεωλογίας, του Παν/μίου Αθηνών. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD) και συσκευή μοντέλο τύπου SIEMENS D5005 με λυχνία Cu και λογισμικό EVA 2.2 / SIEMENS. Οι ορυκτολογικές φάσεις, που προσδιορίστηκαν στα εξεταζόμενα δείγματα είναι οι ακόλουθες :



ΣΧΗΜΑ 1 : Μορφές ακτινοδιαγραμμάτων δοκιμών XRD

- Fe-σκωρία (Δ1): Λαρνίτης, Γκελενίτης, Μοντισελλίτης, Ρανκινίτης, Μαγνητίτης, Φαυαλίτης, Λαρσενίτης, Μερβινίτης, Βουσιτίτης, Mg-Ασβεστίτης και Φεϊτκνεχτίτης.
- Fe-σκωρία (Δ2): Λαρνίτης, Γκελενίτης, Μοντισελλίτης, Ρανκινίτης, Μαγνητίτης, Φαυαλίτης, Λαρσενίτης, Μερβινίτης, Βουσιτίτης και Ιλμενίτης
- Pb-σκωρία (Δ3): Βιοτίτης, Αυγίτης, Χαλαζίας, Διοψίδιος, Λαρσενίτης, Mg-Φαυαλίτης, Μοντισελλίτης, Γκελενίτης, Ιλμενίτης, Ασβεστίτης, Ρανκινίτης και Λαρνίτης. Ορυκτολογικές

μικροαναλύσεις έχουν δείξει ότι οι Pb-σκωρίες του Λαυρίου αποτελούνται κυρίως από υαλώδη φάση, Al-Ca-Fe-ούχο πυριτική φάση και ολιβίνη ενώ μικρότερη συμμετοχή έχουν ο Βιοτίτης, Σφαλερίτης, Γαληνίτης και Σπινέλιοι [13]

- Αιωρούμενο Υλικό ηθμού Fe-σκωρίας (Δ1): Λαρνίτης, Γκελενίτης, Μοντισελλίτης, Ρανκινίτης, Μαγνητίτης, Φαυαλίτης, Λαρσενίτης, Μερβινίτης, Βουσίτης, Mg-Ασβεστίτης και Φεϊτκνεχτίτης
- Αιωρούμενο Υλικό ηθμού Pb-σκωρίας (Δ3): Βιοτίτης, Λαρσενίτης, Mg-Φαυαλίτης, Γκελενίτης, Ασβεστίτης και Λαρνίτης

4. ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Τα δείγματα σκωριών ελέγχθησαν εργαστηριακά ως προς τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά σύμφωνα με τις ισχύουσες Ελληνικές προδιαγραφές αδρανών υλικών για αντιολισθηρά ασφαλομίγματα [11]. Τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα 2:

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 Αποτελέσματα εργαστηριακών Δοκιμών (Μηχανικά Χαρακτηριστικά)

Δοκιμή	Πρότυπο	Όρια		ΣΚ1	ΣΚ2	ΣΚ3
		ΥΠΕΧΩΔΕ [11]	ASTM D5106 [9]			
Δείκτης Πλακοειδών	BS812:115.1-89 [14]	max 30 %	---	16,7	14,5	22
AAV	BS812:113-91 [14]	max 10 %	---	1,6	2,3	3,9
PSV	BS812:114-89 [14]	min 60	---	61	66	45
Los Angeles	ASTM C131-96 [15]	max 26 %	max 40%	16	18	29
Ανθεκτικότητα σε αποσάθρωση	ASTM C88-90 [16]	max 9 %	max 12%	0,5	1,2	0,12
Ειδικό βάρος SSD	ASTM C127-97 [17]	---		3,352	3,465	3,241

Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα, οι μεταλλουργικές Fe-σκωρίες υπερκαλύπτουν τις απαιτήσεις των προδιαγραφών ως προς τα μηχανικά χαρακτηριστικά σε αντίθεση με την Pb-ούχα σκωρία του Λαυρίου, η οποία είναι εύθρυπτη και με αρκετά χαμηλή τιμή αντίστασης σε λείανση (PSV). Επίσης, στον ακόλουθο Πίνακα 3 παρουσιάζονται αντίστοιχες μέσες τιμές μηχανικών χαρακτηριστικών από εργαστηριακές δοκιμές, που εκτελέστηκαν στα χρησιμοποιούμενα στον Ελλαδικό χώρο φυσικά αδρανή, όπως γάββροι, μικρογάββροι (διαβάσης) και ανδεσίτες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Αποτελέσματα αντιπροσωπευτικών μηχανικών χαρακτηριστικών από φυσικά αδρανή Ελληνικών λατομείων.

Δοκιμή	Γάββρος(1)	Διαβάσης (2)	Ανδεσίτης (3)
Δείκτης Πλακοειδών (%)	16,7	21,5	25
AAV (%)	5,0	2,3	4,6
PSV	60	57	56
Los Angeles (%)	14	12	19
Ανθεκτικότητα σε αποσάθρωση (%)	2,3	1,2	2,0

5. ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ

Ο έλεγχος τοξικότητας των υλικών σκωρίας πραγματοποιήθηκε με την εκτέλεση της δοκιμής TCLP σύμφωνα με τη μέθοδο 1311 [18] της Environmental Protection Agency των ΗΠΑ. Το εκχυλιστικό μέσο, που χρησιμοποιήθηκε ήταν ρυθμιστικό διάλυμα οξικού οξέως-οξικού νατρίου (CH₃COOH – CH₃COONa) σε σταθερό pH=4,93. Η δοκιμή έκπλυσης για κάθε τύπο σκωρίας εκτελέστηκε σε αντιπροσωπευτικό δείγμα του υλικού στην επιθυμητή κοκκομετρία, που χρησιμοποιείται ως αδρανές στη σύνθεση των ασφαλομιγμάτων. Επίσης, η δοκιμή έκπλυσης πραγματοποιήθηκε και στο αντίστοιχο ασφαλικό δοκίμιο, που περιέχει ως αδρανές όμοιας ποσότητας και κοκκομετρικής σύστασης σκωρία, προσομοιάζοντας την περιβαλλοντική συμπεριφορά της σκωρίας στο ασφαλικό οδόστρωμα

Οι αναλυτικές εργασίες πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο του Τομέα Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας, του Τμήματος Γεωλογίας, του Παν/μίου Αθηνών. Προσδιορίστηκαν οι συγκεντρώσεις για τα βαρέα μέταλλα (χαλκός, ψευδάργυρος, μόλυβδος, κάδμιο, μαγγάνιο, κοβάλτιο, νικέλιο, χρώμιο) και τα μεταλλοειδή (σίδηρος και αρσενικό) σε υλικά μεταλλουργικών σκωριών και δοκιμίων ασφαλομιγμάτων. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης (AAS) και συσκευή Perkin-Elmer μοντέλο 1100B. Τα αναλυτικά αποτελέσματα των διαβαθμισμένων περιβαλλοντικά μετάλλων από τη δοκιμή έκπλυσης TCLP εκπεφρασμένα σε µg/l (ppb) παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα 4.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4 : Αποτελέσματα σε µg/l (ppb) της δοκιμής TCLP στα υλικά σκωρίας και στα αντίστοιχα δοκίμια ασφαλομιγμάτων.

ΔΕΙΓΜΑ (ΣΚ1)	Cu	Zn	Pb	Cd	Fe	Mn	Co	Ni	Cr	As
Αρχικό υλικό Fe- σκωρίας	90	635	910	45	1800	1900	100	320	240	110
Δοκίμιο Ασφαλομίγματος	40	100	190	20	450	140	45	140	100	25
ΔΕΙΓΜΑ (ΣΚ2)	Cu	Zn	Pb	Cd	Fe	Mn	Co	Ni	Cr	As
Αρχικό υλικό Fe - σκωρίας	90	1590	450	450	9420	4340	180	270	200	110
Δοκίμιο Ασφαλομίγματος	40	100	200	20	820	1270	80	120	90	20
ΔΕΙΓΜΑ (ΣΚ3)	Cu	Zn	Pb	Cd	Fe	Mn	Co	Ni	Cr	As
Αρχικό υλικό Pb - σκωρίας	140	15110	23600	270	29820	37440	270	820	600	1720
Δοκίμιο Ασφαλομίγματος	40	4530	9330	20	5960	830	100	120	90	460

Επίσης στον Πίνακα 5 αντιπαραβάλλονται οι οριακές τιμές σε µg/l (ppb) μετάλλων : (1) σύμφωνα με τα κριτήρια τοξικότητας (TCLP) της U.S. E.P.A., [18], (2) την υποχρέωση αποκατάστασης (remediation) των υπόγειων νερών με βάση τις απαιτήσεις της U.S. E.P.A [19] και της Ολλανδικής Dutch List [20], (3) τις ανώτατες αποδεκτές τιμές μετάλλων σε επιφανειακά και υπόγεια νερά [21] και (4) για την καταλληλότητα του πόσιμου νερού με βάση την Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/83/EK [22] και την U.S. E.P.A. [23]

ΠΙΝΑΚΑΣ 5 : Οριακές τιμές μετάλλων σε µg/l (ppb)

Μέταλλο	Ορια TCLP (1)	Οριακές τιμές (U.S. EPA) (2)		Οριακές τιμές (Dutch List) (2)	ΦΕΚ 15 Α' (3)	Ορια ΕΚ Νερού Ποσιμότητας (4)	Ορια U.S. EPA Νερού Ποσιμότητας (4)
		Class I	Class II				
As	5000	50	20	60	30	10	10
Cd	1000	5	50	6	-	5	5
Co	-	1000	1000	100	20	-	-
Cr	5000	100	1000	30	50	50	100
Cu	-	65	65	75	50	2000	1000
Fe	-	5000	5000	-	200	200	300
Mn	-	150	10000	-	100	50	50
Ni	-	100	2000	75	100	20	
Pb	5000	7.5	100	75	20	10	15
Zn	-	5000	10000	800	1000	5000	5000

- : Δεν προσδιορίζεται ανώτατη αποδεκτή τιμή για το συγκεκριμένο μέταλλο

Class I: Υδροφόρος ορίζοντας για πόσιμο νερό ή αρδευτική χρήση (προσδιορίζεται με δοκιμή TCLP σε pH=7).

Class II : Υδροφόρος ορίζοντας για βιομηχανική χρήση (προσδιορίζεται με δοκιμή TCLP σε pH=7).

Από τα αποτελέσματα των δοκιμών εκχύλισης TCLP στα υλικά σκωρίας και στα αντίστοιχα δοκίμια ασφαλτομίγματος και τις ανώτατες αποδεκτές τιμές του Πίνακα 5 διαπιστώνονται τα ακόλουθα:

- Τα δείγματα των αρχικών υλικών Fe-σκωριών (ΣΚ1) και (ΣΚ2) αποδεσμεύουν χαμηλές συγκεντρώσεις στα διαβαθμισμένα περιβαλλοντικά μέταλλα κατά τη δοκιμή TCLP, οπότε τα υλικά δε χαρακτηρίζονται τοξικά με βάση την αποδέσμευση των περιεχομένων μετάλλων. Οι δύο σκωρίες παρουσιάζουν αντίστοιχες συγκριτικά τιμές έκπλυσης των μετάλλων με εξαίρεση τις τιμές για το Fe και το Mn στο εκχύλισμα από το δείγμα της Fe-σκωρίας (ΣΚ2). Στα αντίστοιχα δοκίμια ασφαλτομίγματος παρατηρείται ότι οι τιμές έκπλυσης των μετάλλων μειώνονται δραστικά στο εκχύλισμα.
- Το δείγμα του αρχικού υλικού της Pb-σκωρίας αποδεσμεύει εξαιρετικά υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων και ως υλικά κρίνονται περιβαλλοντικά τοξικά ιδιαίτερα λόγω των υψηλών τιμών του αποδεσμευόμενου μόλυβδου, που υπερβαίνουν το αντίστοιχο όριο της δοκιμής TCLP. Η τοξικότητα των Pb-σκωριών έχει προσδιορισθεί και από άλλους ερευνητές με δοκιμές εκλεκτικών εκχυλίσεων [24]. Στο δοκίμιο του ασφαλτομίγματος αν και οι τιμές των μετάλλων μειώνονται σημαντικά, η συγκέντρωση του μολύβδου στο εκχύλισμα είναι πολύ μεγαλύτερη του αντίστοιχου ορίου της δοκιμής TCLP.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της εναλλακτικής διαχείρισης μεταλλουργικών παραπροϊόντων (σιδηρούχες και μολυβδούχες σκωρίες) εξετάστηκε η καταλληλότητα χρήσης τους ως αδρανή σε αντιολισθηρά ασφαλτομίγματα. Εκτελέστηκαν ορυκτολογικές αναλύσεις, εργαστηριακοί έλεγχοι των μηχανικών χαρακτηριστικών των σκωριών, καθώς και έλεγχοι της τοξικότητας των σκωριών στο αρχικό υλικό και στο παραγόμενο ασφαλτόμιγμα.

Διαπιστώθηκε ότι οι μολυβδούχες σκωρίες παρουσιάζουν χαμηλές μέσες τιμές μηχανικών χαρακτηριστικών (εκτός ορίων Ελληνικών προδιαγραφών) ενώ κρίνονται και περιβαλλοντικά ως τοξικές, και κατά συνέπεια δεν ενδείκνυται η χρήση τους ως αδρανή σε αντιολισθηρά ασφαλτομίγματα.

Αντίθετα οι σιδηρούχες σκωρίες παρουσιάζουν αποδεκτές τιμές μηχανικών χαρακτηριστικών ενώ η χρήση τους ως αδρανή στα αντιολισθηρά ασφαλτομίγματα ενδείκνυται καθώς κρίνονται και περιβαλλοντικά ως μη τοξικές λόγω της μειωμένης κινητικότητας των μετάλλων και τελικά των χαμηλών τιμών τους, που αποδεσμεύονται στο εκχύλισμα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Κοινοτική οδηγία 1999/31/ΕΚ. “Περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων” Επίσημη εφημερίδα, αρ. L182/16-7-1999.
2. Lee A.R. (1974) “**Blastfurnace and steel slag : Production, properties and uses**” Edward Arnold. London
3. Noureldin, A. Sam and McDaniel, Rebecca S.(1990) “Evaluation of Surface Mixtures of Steel Slag and Asphalt” **Transportation Research Record** 1296, 1990.
4. Ramirez, T.L. (1992) “**Steel Slag Aggregates in Bituminous Mixtures**”, Final Report.
5. Ξενίδης Α., Πέππας Α. και Πασπαλιάρης Ι. (2002) “Χρήση σκωριών μεταλλουργίας μολύβδου σε έργα οδοποιίας” **Ορυκτός Πλούτος**, τεύχος 122, ΕΕΤΟΠ, Αθήνα.
6. Τσώχος Γ. (2004) “Χρήση Βιομηχανικών παραπροϊόντων και εναλλακτικών υλικών στην Οδοποιία” **Χρήση Βιομηχανικών παραπροϊόντων στην Οδοποιία**, , Εργαστήριο Οδοποιίας ΑΠΘ, 2004
7. ΚΥΑ 69728/824,. “**Μέτρα και όροι για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων**” ΦΕΚ, Τεύχος Β, 358/17-5-96
8. ΚΥΑ 19396/1546, “**Μέτρα και όροι για τη διαχείριση των επικίνδυνων αποβλήτων**” ΦΕΚ, Τεύχος Β, 604/18-7-97.
9. ASTM D 5106 – 03 “**Standard Specification for Steel Slag Aggregates for Bituminous Paving Mixtures**” ASTM International 2003
10. ASTM D 75 – 97 “**Standard Practice for Sampling Aggregates**” ASTM International 1997
11. ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ “**Τεχνικές οδηγίες για την κατασκευή αντιολισθηρής ασφαλτικής στρώσης από ασφαλτικό σκυρόδεμα**” ΕΚ2Οικ8532/1100 1985
12. ASTM D 1559– 89 “**Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus**” ASTM International 1989
13. Kontopoulos A., Komnitsas K. & Xenidis A. (1996) “Environmental characterization of the lead smelter slags in Lavrion” **Minerals, Metals and the Environment II Conference**, Prague, Sep. 1996
14. BS 812:1984-1990 “**Testing Aggregates**” The British Standards Institution 1991

15. ASTM C 131 – 96 “**Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine**” ASTM International 1996
16. ASTM C 88 – 90 “**Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate**” ASTM International 1990
17. ASTM C 127 – 97 “**Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate**” ASTM International 1997
18. EPA, Part 261 - 1990, “**Appendix II - Method 1311 Toxicity characteristic Leaching Procedure (TCLP)**” Federal Register, Vol. 55, No 61, Rules and Regulations, pp. 11863 – 11877, 1990
19. EPA, Part 742 “**Tiered Approach to Corrective Action Objectives**” Title 35, Subtitle G, Chapter I, Subchapter f, 2003
20. Circular on target values and intervention values for soil remediation, “**The Dutch List**” 4 - 02 – 2000
21. ΑΡ. ΠΡΑΞΗΣ 2/1.2.01 (ΦΕΚ 15 Α΄) “**Καθορισμός των κατευθυντήριων και οριακών τιμών ποιότητας των νερών από απορρίψεις ορισμένων επικίνδυνων ουσιών που υπάγονται στον Κατάλογο II της οδηγίας 76/464/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 4ης Μαΐου 1976**”
22. Οδηγία 98/83/ΕΚ. “**Σχετικά με την ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης**”
23. U.S. E.P.A. “**Drinking Water Standards**” (www.epa.gov/safewater/standards.html)
24. Δημητριάδης Α., Σταυράκη Π. “**Η αποδέσμευση τοξικών στοιχείων από τις σκουριές του Λαυρίου**” ΙΓΜΕ, Open File Report E7610 (με Αγγλική περίληψη), pp 46, 1995