

ΧΡΗΣΗ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΗΣ ΣΚΩΡΙΑΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΝΤΙΟΛΙΣΘΗΡΩΝ ΨΥΧΡΩΝ ΛΕΠΤΟΤΑΠΗΤΩΝ

Ν.Οικονόμου

Εργαστήριο Δομικών Υλικών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ, 54124 Θεσσαλονίκη

Π. Εσκίογλου

Εργαστήριο Μηχανικών Επιστημών και Τοπογραφίας, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία παρουσιάζεται η χρήση μεταλλουργικής σκωρίας ηλεκτρικού κλιβάνου στην κατασκευή αντιολισθηρών ψυχρών λεπτοτάπητων (skid resistant microsurfacing). Περιγράφονται τα υλικά, ο σχεδιασμός του μίγματος για την εφαρμογή των ειδικών αυτών λεπτοτάπητων καθώς και οι διάφοροι έλεγχοι που αφορούν τις δοκιμασίες της σύνθεσης του μίγματος. Προτείνονται οι κατάλληλες συνθέσεις για τους διάφορους τύπους μιγμάτων αντιολισθηρών ψυχρών λεπτοτάπητων με τη χρήση σκωρίας στην οδοποιία και σε τάπητες αεροδρομίων.

Λέξεις κλειδιά: μεταλλουργική σκωρία, ψυχροί λεπτοτάπητες, αντιολισθηρά οδοστρώματα

USE OF FURNACE STEEL SLAG IN CONSTRUCTION OF SKID RESISTANT MICROSURFACING

N. Oikonomou

Laboratory of Building Materials, Department of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, 54124, Thessaloniki

P. Escioglou

Laboratory of Mechanical Sciences and Topography, Department of Forestry and Physical Environment, Aristotle University of Thessaloniki

ABSTRACT

The paper presents the use of furnace steel slag in construction of skid resistant microsurfacing. Materials, mixture design for the application of such thin layers as well as their various tests are presented. Suitable mixtures design is proposed for different types of microsurfacing for road pavements and airport runways.

Key words: furnace steel slag, microsurfacing, skid resistant pavements

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πρόβλημα της αυξανόμενης ζήτησης σκληρών αδρανών υλικών σε συνδυασμό με τις ελάχιστες πηγές τους αλλά και το υψηλό κόστος παραγωγής τους έχει οδηγήσει στη χρήση βιομηχανικών παραπροϊόντων σε αντικατάστασή τους. Ιδιαίτερα στις περιπτώσεις εφαρμογής επιφανειακών στρώσεων σε δρόμους αστικούς ή εθνικής οδοποιίας και σε διαδρόμους αεροδρομίων το πρόβλημα ανεύρεσης πηγών σκληρών αδρανών είναι επιτακτικό.

Η χρήση της μεταλλουργικής σκωρίας στην οδοποιία δεν είναι καινούργια. Ολόσωμοι τάπητες με τη χρήση σκωρίας έχουν κατασκευαστεί σε διάφορα σημεία των ελληνικών αυτοκινητοδρόμων (ΠΑΘΕ, ΑΤΤΙΚΗ ΟΔΟΣ). Πρόσφατα η σκωρία έχει χρησιμοποιηθεί σε μερική ή και πλήρη αντικατάσταση των αδρανών στην εφαρμογή αντιολισθηρών ψυχρών ασφαλτοταπήτων (microsurfacing).

Στην εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή microsurfacing με τη χρήση μεταλλουργικής σκωρίας που παράγεται βιομηχανικά από την εταιρία του ομίλου ΣΙΔΕΝΟΡ(ΑΕΙΦΟΡΟΣ Α.Ε).

Η μέθοδος microsurfacing αναφέρεται στην εφαρμογή ενός ψυχρού ασφαλτομίγματος με συστατικά τροποποιημένο πολυμερές ασφαλτικό γαλάκτωμα, αδρανή, φίλλερ, νερό και κάποια πρόσμικτα. Το ειδικό αυτό ψυχρό ασφαλτόμιγμα με τις κατάλληλες αναλογίες των συστατικών του αναμιγνύεται και διαστρώνεται στην υπάρχουσα επιφάνεια εν κινήσει(σχήμα 1). Το όλο σύστημα μπορεί να επιτρέψει την κυκλοφορία ύστερα από πολύ σύντομο χρονικό διάστημα ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες(20-60 λεπτά της ώρας).



Σχήμα 1: Ανάμιξη και διάστρωση ψυχρού ασφαλτομίγματος

Τα μίγματα microsurfacing (ISSA, 2001 Recommended Performance) θεωρούνται εξέλιξη των μιγμάτων slurry seal (ASTM D 3910-90) λόγω των βελτιωμένων ιδιοτήτων τους εξαιτίας της προσθήκης πολυμερών στο ασφαλτικό γαλάκτωμα (AASHTO M 316-96).

Η μέθοδος *microsurfacing* έχει αναδειχθεί ως μια από τις πλέον οικονομικές μεθόδους συντήρησης επιφανειών οδοστρωμάτων και ταπήτων αεροδρομίων επειδή έχει πολλά πλεονεκτήματα:

- παρέχει αντικατάσταση της φθαρμένης επιφάνειας προσδίδοντας ομοιόμορφο μαύρο χρώμα
- εφαρμόζεται ταχύτατα χωρίς μεγάλη διακοπή της κυκλοφορίας
- προσδίδει επιφάνεια υψηλής αντολισθηρότητας
- Το όλο σύστημα είναι περιβαλλοντικά φιλικό επειδή εφαρμόζεται σε κανονική θερμοκρασία, απαιτείται μόνο νερό και ως λεπτοτάπητας δεν απαιτώνται υψηλά ποσά ενέργειας και πρώτων υλών(άσφαλτος, αδρανή) ενώ με την χρήση της σκωρίας γίνεται ακόμα πιο οικολογικό.

Προσθήκη μόνο μέρους σκωρίας σε αντικατάσταση αδρανών σε μίγματα *slurry seal* έχει προταθεί από άλλους ερευνητές(Khan M.I.,1998) αλλά όχι σε μίγματα *microsurfacing*. Στην εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή *microsurfacing* με την πλήρη αντικατάσταση των αδρανών με σκωρία και συνεπώς την κατασκευή αντολισθηρών λεπτοτάπητων με μεγάλο οικολογικό ενδιαφέρον λόγω της χρήσης βιομηχανικού παραπροϊόντος.

2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1. ΥΛΙΚΑ

2.1.1. ΑΔΡΑΝΕΣ

Ως αδρανές χρησιμοποιήθηκε σκωρία της εταιρίας ΑΕΙΦΟΡΟΥ Α.Ε. Η σκωρία είναι βιομηχανικό παραπροϊόν- τεχνητό πέτρωμα του οποίου η χημική σύνθεση είναι ανάλογη με πολλά πετρώματα. Μια μέση σύσταση της σκωρίας(έτος 2004)περιγράφεται στον πίνακα 1(ΑΕΙΦΟΡΟΣ Α.Ε.)

Πίνακας 1: Μέση σύσταση μεταλλουργικής σκωρίας (ΑΕΙΦΟΡΟΣ Α.Ε.)

	FeO	CaO	SiO ₂	MnO	Al ₂ O ₃	MgO	Cr ₂ O ₃	Na ₂ O	P ₂ O ₅
AVERAGE	36,486%	32,602%	14,162%	6,316%	5,850%	1,875%	1,288%	0,490%	0,378%

	TiO ₂	SO ₃	Ba	CL	V ₂ O ₅	K ₂ O	WO ₃	CuO	ZnO	CoO
AVERAGE	0,369%	0,402%	0,154%	0,039%	0,078%	0,091%	0,034%	0,039%	0,087%	0,013%

Οι διάφορες δοκιμές της σκωρίας για χρήση στην οδοποιία από διάφορες εργαστηριακές δοκιμές επιβεβαιώνουν το χαρακτηριστικό της σκωρίας ως σκληρό αδρανές κατάλληλο για χρήση για αντιολισθηρές επιφάνειες(ΑΕΙΦΟΡΟΣ Α.Ε.). Πιο συγκεκριμένα η σκωρία που χρησιμοποιήθηκε στα μίγματα microsurfacing είχε τα παρακάτω χαρακτηριστικά(πίνακας 2).

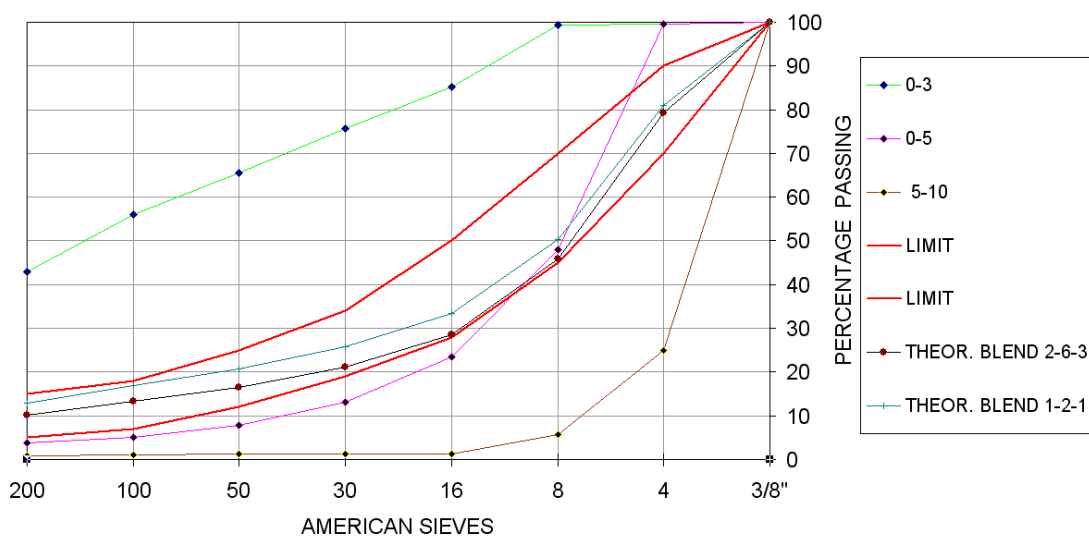
Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά σκωρίας για microsurfacing

Δοκιμή	Μέθοδος	Αποτελέσματα
Αντοχή σε τριβή και κρούση (L.A.)	ASTM C-131	15
Δείκτης αντίστασης στίλβωσης (PSV)	BS 812	64
Δείκτης αντίστασης σε απότριψη (AAV)	BS 812	3
Υγεία (θειικά άλατα)	ASTM C-88	0.8

Οι κοκκομετρικές αναλύσεις των σκωριών ΑΕΙΦΟΡΟΣ Α.Ε. που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και των μιγμάτων τους (μέρη 1-2-1 και 2-6-3) φαίνονται στον πίνακα 3 και στο διάγραμμα 2. Επίσης στον πίνακα 3 φαίνονται και τα όρια για microsurfacing τύπου III.

Πίνακας 3: Κοκκομετρικές αναλύσεις σκωριών(ΑΕΙΦΟΡΟΣ Α.Ε.), μιγμάτων τους και όρια microsurfacing τύπου III.

ΣΚΩΡΙΕΣ								
SIEVE SIZE		TYPE III		Γράφημα 1			Γράφημα 2	
IN.	mm	LIMITS A	LIMITS D	0-3	0-5	5-10	1-2-1 Theor.Bl.	2-6-3 Theor.Bl.
3/8"	9.50	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
4	4.75	70.00	90.00	99.60	99.60	24.90	80.93	79.23
8	2.36	45.00	70.00	99.40	48.00	5.70	50.28	45.81
16	1.18	28.00	50.00	85.20	23.40	1.30	33.33	28.61
30	0.60	19.00	34.00	75.70	13.10	1.20	25.78	21.24
50	0.30	12.00	25.00	65.50	7.90	1.20	20.63	16.55
100	0.15	7.00	18.00	56.00	5.10	1.10	16.83	13.26
200	0.08	5.00	15.00	43.00	3.80	0.90	12.88	10.14



Διάγραμμα 2 : Κοκκομετρικές αναλύσεις σκωριών, μιγμάτων τους και ορίων microsurfacing

Το μίγμα των αδρανών έδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα στις δοκιμές ισοδύναμου άμμου και μπλε του μεθυλενίου(πίνακας 4).

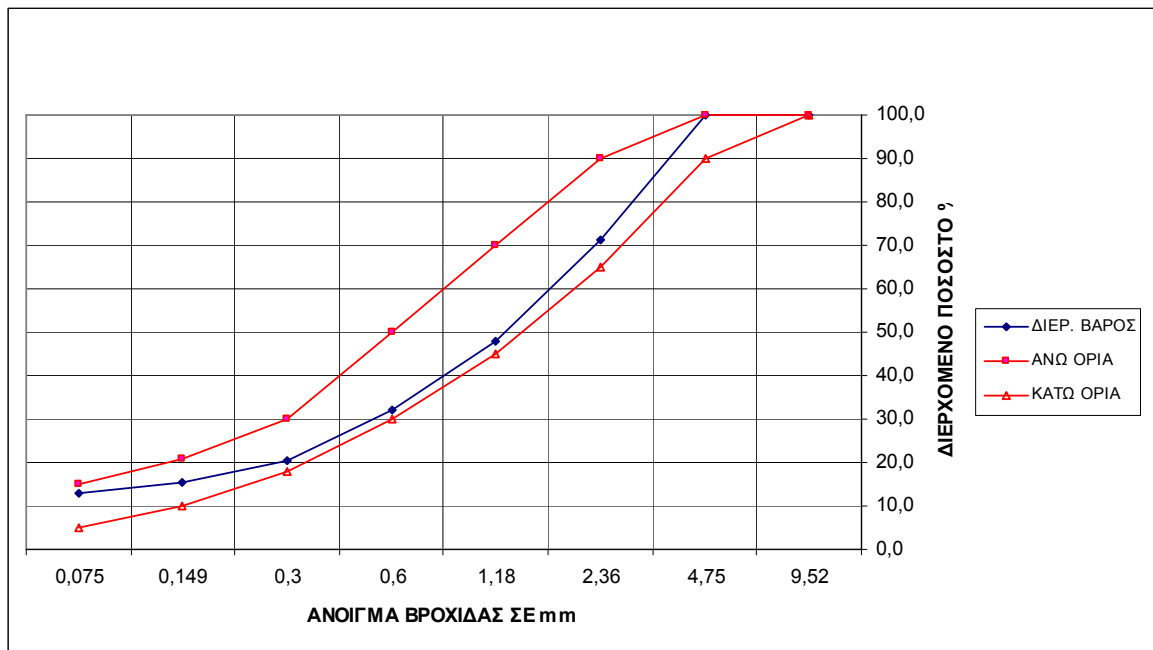
Πίνακας 4: Δοκιμές SE και MB στα μίγματα σκωρίας

Δοκιμές	Μέθοδος	Αποτελέσματα
Ισοδύναμο άμμου (SE)	ASTM D 2419	90
Δοκιμή μπλέ του μεθυλενίου(MB)	ISSA TB 145	0.2mg/g

Αντίστοιχα, για μίγμα microsurfacing τύπου II, το οποίο μάλιστα χρησιμοποιήθηκε στη συντήρηση του τάπητα του αεροδρομίου Θεσσαλονίκης ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ (2003), τα όρια και η κοκκομετρική ανάλυση του μίγματος φαίνονται στον πίνακα 5 και το διάγραμμα 3.

Πίνακας 5: Κοκκομετρική ανάλυση μίγματος microsurfacing τύπου II

SIEVE SIZE		CUM. WT. RET'D	CUM. WT. PASSING	CUM. WT. PASSING	UPPER LIMIT REQUIREMENT	LOWER LIMIT REQUIREMENT
ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΟΣΚΙΝΟΥ		ΣΥΓΚΡΑΤ. ΒΑΡΟΣ	ΔΙΕΡΧΟΜ. ΒΑΡΟΣ	ΔΙΕΡΧΟΜ ΒΑΡΟΣ	ΑΠΑΙΤΗΣΗ ΑΝΩ ΟΡΙΟΥ	ΑΠΑΙΤΗΣΗ ΚΑΤΩ ΟΡΙΟΥ
(in)	(mm)	(gr)	(gr)	(%)		
3/8"	9,52	0,0	0,0	100,0	100	100
No 4	4,75	0,0	0,0	99,9	100	90
No 8	2,36	0,0	0,0	71,2	90	65
No 16	1,18	0,0	0,0	47,8	70	45
No 30	0,6	0,0	0,0	32,1	50	30
No 50	0,3	0,0	0,0	20,5	30	18
No 100	0,149	0,0	0,0	15,3	21	10
No 200	0,075	0,0	0,0	12,9	15	5
ΠΑΙΠΑΛΗ		0,0				
ΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ		0,0				



Διάγραμμα 3: Όρια και κοκκομετρική ανάλυση μίγματος microsurfacing

2.1.2 ΑΣΦΑΛΤΙΚΟ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑ

Το ασφαλτικό γαλάκτωμα που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των ψυχρών ταπήτων (micro-surfacing) ήταν ένα τροποποιημένο με πολυμερή γαλάκτωμα τύπου CSS-1H σύμφωνα με την προδιαγραφή ASTM D 2397. Στον πίνακα 6 παρουσιάζονται οι ιδιότητες του χρησιμοποιούμενου γαλακτώματος.

Πίνακας 6 : Ιδιότητες τροποποιημένου ασφαλτικού γαλακτώματος

Δοκιμές στο γαλάκτωμα	Αποτελέσματα
1. Κινηματικό ιξώδες, Saybolt Furol @ 25°C, s	25
2. Δοκιμή σταθερότητας σε αποθήκευση, 24h, %	0,5
3. Έλεγχος φορτίου σωματιδίων	θετικό
4. Δοκιμή κοσκίνου, %	0,03
5. Στερεό υπόλειμμα @ 138°C, %	63,1

2.1.3 ΠΑΙΠΑΛΗ- ΝΕΡΟ

Η απαιτούμενη παιπάλη που χρησιμοποιήθηκε στην συγκεκριμένη μελέτη ήταν το κοινό τσιμέντο Portland ενώ το νερό ήταν πόσιμο χωρίς επιβλαβή άλατα και οργανικά υλικά.

2.1.4 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΤΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΘΕΤΑ

Ο τροποποιητής ασφάλτου(latex) που χρησιμοποιήθηκε επιλέχθηκε ώστε να καλύπτει τις απαιτήσεις των προδιαγραφών ASTM D 2397 και ISSA A 143. Αναφορικά με τα χημικά πρόσθετα, εκτός από αυτά που προστίθενται στο γαλάκτωμα κατά την παραγωγή του, επιπλέον πρόσθετα χρησιμοποιούνται κατά την διάστρωση, που συνήθως αναμιγνύονται με το νερό.Ο σκοπός της χρησιμοποίησης των προσθέτων αυτών είναι η ρύθμιση του χρόνου διάσπασης του γαλακτώματος και η αύξηση της πρόσφυσης της ασφάλτου στο αδρανές.

3. ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗΣ

3.1. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΑΣΦΑΛΤΟΥ (ISSA, Recom. 2001)

Για τον προσδιορισμό του βέλτιστου ποσοστού ασφάλτου διενεργήθηκαν οι δοκιμές της υγρής απότριψης και του φορτωμένου τροχού (Loaded Wheel Test). Από τις δοκιμές αυτές και σύμφωνα με τη μέθοδο του γραφικού προσδιορισμού του βέλτιστου ποσοστού ασφάλτου προέκυψαν τα εξής βέλτιστα ποσοστά ασφάλτου για κάθε τύπο λεπτοτάπητα:

Τύπος II: 5,5% ασφαλτος κατά βάρος ξηρού αδρανούς

Τύπος III: 4,5% ασφαλτος κατά βάρος ξηρού αδρανούς

3.2. ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ

Ένας μεγάλος αριθμός συνθέσεων και δοκιμών με διάφορα ποσοστά τσιμέντου, νερού και προσθέτων παρασκευάστηκαν για τους τύπους II και III. Παρακάτω στον πίνακα 7 παρατίθενται οι συνθέσεις ανά τύπο αδρανούς και οι δοκιμές των μιγμάτων των δυο τύπων σύμφωνα με ISSA, (Recom. 2001).

Πίνακας 7 : Συνθέσεις ανά τύπο αδρανούς

Υλικά	Τύπος II	Τύπος III
Σκωρία (g)	100	100
Τσιμέντο (g)	0,3	1
Νερό (g)	6,5	5,5
Γαλάκτωμα (g)	9	7,5
Χρόνος διάσπασης (m's'')	2' 56''	2' 43''
Ευστάθεια κώνου (cm)	2,6	2,6
Χρόνος ανάκτησης συνοχής (αριθμός επανάληψης)	8	8
Υγρή απότριψη (g)	289	442
Υγρή απογύμνωση αδρανών	97	95
Πλευρική μετατόπιση (%)	4,3	4,0
Περίσσεια ασφάλτου	388	370

3.3. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗΣ

Συμπερασματικά από τα παραπάνω, και λαμβάνοντας υπόψη τις τοπικές και κλιματολογικές συνθήκες της νησιωτικής και ηπειρωτικής με χαμηλό υψόμετρο Ελλάδας, προτείνουμε τις παρακάτω συνθέσεις ανάλογα με τον τύπο του αδρανούς(πίνακας 8):

Πίνακας 8 : Προτεινόμενη μελέτη σύνθεσης

Υλικά	Τύπος II	Τύπος III
Σκωρία (g)	100	100
Γαλάκτωμα (g)	8,5-9,5	7,0-8,0
Νερό (g)	6,5-7,0	5,5-6,0
Τσιμέντο (g)	0,3-1,0	1,0-1,5

4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΤΥΠΩΝ MICROSURFACE(II,III) ΜΕ ΣΚΩΡΙΑ

Ήδη στον Ελλαδικό χώρο το σύστημα microsurfacing με σκωρία έχει εφαρμοσθεί με επιτυχία σε διάφορα αεροδρόμια (Χανίων, Πάρου, Θεσ/νίκης) αλλά και σε αυτοκινητοδρόμους (ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ). Τα ειδικά χαρακτηριστικά της σκωρίας, η καλή συνεργασία με το τροποποιημένο με πολυμερή ασφαλτικό γαλάκτωμα δίνουν μίγματα με υψηλούς δείκτες αντιολίσθησης. Μετρήσεις με το Βρετανικό εκκρεμές[ASTM E 303] έδειξαν τιμές αντίστασης σε ολίσθηση(SRV) άνω του 60 ύστερα από 6 μήνες από την εφαρμογή microsurfacing με σκωρία. Στις φωτογραφίες 1 και 2 φαίνονται σχετικά παραδείγματα εφαρμογών.



Φωτογραφία 1: Εφαρμογή microsurfacing με σκωρία τύπου II (αεροδρόμιο Θεσ/νίκης 2004)



Φωτογραφία 2: Εφαρμογή microsurfacing με σκωρία τύπου III (ΠΑΘΕ, 460^ο χλμ Ε.Ο.Αθήνα- Θεσ/νίκης 2005)

5.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μέθοδος microsurfacing για συντήρηση και αύξηση της αντιολισθηρότητας των επιφανειών κυκλοφορίας γίνεται πιο αποτελεσματική με τη χρήση μεταλλουργικής σκωρίας σε αντικατάσταση του αδρανούς υλικού. Με βάση διάφορες εργαστηριακές συνθέσεις αλλά και την εμπειρία από την εφαρμογή τέτοιων μιγμάτων προτείνονται οι δυο βασικοί τύποι microsurfacing με σκωρία για οδοστρώματα(τύπου III) και τάπητες αεροδρομίων(τύπος II). Στην πρόταση περιλαμβάνονται τα ποσοστά σκωρίας, φίλλερ, νερού και ειδικού τροποποιημένου με πολυμερή γαλακτώματος αλλά και αποτελέσματα-οδηγοί για τον έλεγχο των μιγμάτων microsurfacing με σκωρία. Στα πλαίσια της έρευνάς μας για τη χρήση σκωρίας σε μίγματα microsurfacing και με βάση παλαιότερες δημοσιεύσεις (Nikolaides A., Oikonomou N., 2000) θα γίνουν συνθέσεις μιγμάτων microsurfacing με τη χρήση σκωρίας σε αντικατάσταση των αδρανών με τη σύγχρονη χρήση ιπτάμενης τέφρας σε αντικατάσταση τσιμέντου.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. ΑΕΙΦΟΡΟΣ Α.Ε., Θεσσαλονίκη, www.aeiforos.gr
2. AASHTO M 316-96 (1998) Polymer Modified Cationic Emulsified Asphalt, Standard Specifications for Transportation Materials and methods of Sampling and Testing, Part I, Specifications
3. AKTIS S.A., Θεσσαλονίκη, aktis_sa@tee.gr
4. ASTM D 2397 (1996) Standard Specification for Cationic Emulsified Asphalt, Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Construction, Vol.04.03, Road and Paving Materials
5. ASTM D 3910 (1996) Design, Testing and Construction of Slurry Seal, Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Construction, Vol.04.03, Road and Paving Materials
6. ASTM E 303(1996) , Standard Test method for Measuring Surface friction, properties using the British Pendulum Tester, Section 4, Vol.04.03
7. BITOUMINA S.A., Θεσσαλονίκη , bitumina@otenet.gr
8. ISSA (2001) International Slurry Seal Association, Washington D.C., “what is microsurfacing”, www.slurry.org
9. ISSA (2001) Recommended Performance, Guidelines for Microsurfacing A143
10. Khan M.I., Wohhab Al-Abdul H.I.(1998) Improving slurry seal performance in Eastern Saudi Arabia using steel slag, Construction and Building Materials 12, pp.195-201
11. Nikolaides A., Oikonomou N. (2000) The use of fly ash as a substitute of cement in microsurfacing, Moscow 2000, International Conference on the Science and Engineering of Recycling for Environmental Protection, Harrogate, U.K.