

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΚΩΡΙΩΝ ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΟΛΙΣΘΗΡΕΣ ΣΤΡΩΣΕΙΣ

Ιωάννης Λιάπης

BEng, MSc, DIC, Πολιτικός Μηχανικός, ΑΕΙΦΟΡΟΣ Α.Ε., Θεσσαλονίκη, Greece

Λέξεις κλειδιά: αειφόρος ανάπτυξη, βιομηχανικά παραπροϊόντα, αδρανή οδοποιίας, σκωρία, τεχνητό πέτρωμα, τύπος 2, αντιολισθηρή ασφαλιστική στρώση από ασφαλτικό σκυρόδεμα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Ένα από τα κυριότερα παραπροϊόντα της παραγωγικής διαδικασίας των ελληνικών χαλυβουργιών είναι η σκωρία ηλεκτρικού κλιβάνου. Μέσω κατάλληλης επεξεργασίας παράγεται σκληρό αδρανές τεχνητό πέτρωμα, ιδανικό στη χρήση σε αφαλτομείγματα επιφανειακών αντιολισθηρών ταπήτων. Από την μελέτη της συμπεριφοράς των ταπήτων αυτών που έχουν διαστρωθεί από το 2001 και έπειτα, σε συνδυασμό δε με αντίστοιχες διεθνείς μελέτες, εξάγονται σημαντικά συμπεράσματα. Παράλληλα γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων με ασφαλοτάτητες αντίστοιχων φυσικών σκληρών αδρανών. Τα αποτελέσματα βασίζονται σε επιτόπιες μετρήσεις σε αυτοκινητόδρομους μετά την παράδοση των οδών στην κυκλοφορία και επικεντρώνονται σε δείκτες που αφορούν την ομαλότητα, την τραχύτητα και την αντίσταση σε ολίσθηση, από τους βασικότερους παράγοντες οδικής ασφάλειας.

1. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΚΩΡΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΚΛΙΒΑΝΟΥ

1.1 Νομοθετικό πλαίσιο

Η Ευρωπαϊκή Κοινότητα έχει εκδώσει την Ευρωπαϊκή Οδηγία για Βελτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές (BAT της IPPC) από το 1996. Από τον Μάιο του 2004 όλα τα κράτη μέλη συμπεριλαμβανομένων και των νέων μελών υποχρεούνται να εφαρμόσουν πλήρως την ντιρεκτίβα τόσο σε υπάρχουσες όσο και νέες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, η οποία, μεταξύ άλλων, υποχρεώνει τα χαλυβουργεία να ελαχιστοποιήσουν τα απόβλητα που προκύπτουν από τη παραγωγική διαδικασία και απορρίπτονται σε χώρους υγειονομικής ταφής.

Οι «σκωρίες» είναι μεταλλουργική έκφραση που περιγράφει γενικά τα μη μεταλλικά ορυκτά συστατικά μέρη και διακρίνονται από τις τέφρες, που αποτελούν κατάλοιπα καύσης. Κατά τη βιβλιογραφία, η σκωρία του ηλεκτρικού κλιβάνου είναι ένα βιομηχανικά ληφθέν τεχνητό πέτρωμα, του οποίου η χημική σύνθεση, η ορυκτολογική σύσταση και οι μηχανικές ιδιότη-

Formatted: Greek

τες είναι ανάλογες των μαγματικών πετρωμάτων (π.χ. Βασάλτης ή της).

1.2 Σκωρία ηλεκτρικού κλιβάνου, (*Electric Arc Furnace Slag*, EAF)

Το κύριο πλεονέκτημα της σωστά επεξεργασμένης σκωρίας ηλεκτρικού κλιβάνου είναι οι άριστες μηχανικές ιδιότητες που ικανοποιούν τόσο τις εγχώριες όσο και τις διεθνείς προδιαγραφές αδρανών για την κατασκευή επιφανειακών επιστρώσεων και συγκεκριμένα αντλιοσθηρών ταπήτων (Motz, 2001). Η χρήση των αδρανών αυτών στην οδοποιία και δει σε οδούς ταχείας κυκλοφορίας, αυτοκινητόδρομους και γενικότερα σε οδούς με μεγάλες απαιτήσεις αντίστασης σε ολίσθηση συντελεί στην αναβάθμιση του οδικού δικτύου στον τομέα της ασφάλειας. Η ποιότητα δε των οδοστρωμάτων αυτών μπορεί να συγκριθεί ποιοτικά με τα δίκτυα αυτοκινητοδρόμων στις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες.

Η ποσότητα που παράγεται στα χαλυβουργεία, ως παραπροϊόν της παραγωγικής διαδικασίας, αποτελεί ποσοστό περίπου 13%-18% επί της συνολικής ποσότητας τροφοδοσίας του κλιβάνου με αποτέλεσμα οι μεταλλουργικές σκωρίες να είναι ένα από τα μεγαλύτερα σε ποσότητα βιομηχανικά παραπροϊόντα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι κατά το έτος 2000 η συνολική παραχθείσα ποσότητα σκωριών στην Γερμανία, συμπεριλαμβανομένων και των σκωριών υψικαμίνων, ήταν περίπου πέντε εκατομμύρια τόνοι ενώ η υπολογίζεται ότι η συνολική ποσότητα στην Ελλάδα είναι περίπου 350.000 τόνοι ανά έτος.

Ο παλαιοσίδηρος (σκραπ) αποτελεί την πρώτη ύλη των χαλυβουργείων. Αρχικά γίνεται διαχωρισμός από μονάδα άλεσης (shredder) σε μεταλλικά μέρη. Στη συνέχεια μόνο οι σιδηρούχες ύλες προωθούνται στο κλίβανο για τήξη, όπου προστίθενται ασβέστης και άλλα συλλιπάσματα με αποτέλεσμα τη δημιουργία της «μεταλλουργικής σκωρίας». Η σκωρία οδηγείται σε ρευστή κατάσταση (1630 οC) από ειδική θυρίδα του κλιβάνου, συλλέγεται και οδηγείται σε χώρο συγκέντρωσης όπου και ψύχεται. Η απότομη ψύξη της σκωρίας, της δίνει την κρυσταλλική της μορφή προσδίδοντας έτσι τις άριστες μηχανικές της ιδιότητες (Παπαρρήγας, 2005, Παπαγιάννη, 2005). Από τη στιγμή αυτή η σκωρία παύει να είναι παραπροϊόν της παραγωγικής διαδικασίας του χαλυβουργείου και αποτελεί την πρώτη ύλη του παραγωγού.



Εικόνα 1. Μονάδα επεξεργασίας σκωρίας ηλεκτρικού κλιβάνου

Ακολουθεί φόρτωση και μεταφορά σε χώρο εντός του εργοστασίου για περαιτέρω επεξεργασία. Σε αυτό το σημείο η σκωρία παύει να είναι παραπροϊόν και υλικό των χαλυβουργείων και αποτελεί πρώτη ύλη της ΑΕΙΦΟΡΟΣ Α.Ε.

Για την παραγωγή των τελικών προϊόντων ακολουθείται σειρά από μηχανικές διεργασίες, κατά σειρά προδιαλογή, αποσιδήρωση, πρωτογενής θραύση, δευτερογενής θραύση και τελικά παραγωγή των τελικών προϊόντων από κοσκίνιση. Τα αδρανή που παράγονται ταξινομούνται σε διάφορα κλάσματα και αποθηκεύονται σε σωρούς στις πλατείες τελικών προϊόντων. Από τον 04/2006 η παραγωγική διαδικασία της ΑΕΙΦΟΡΟΣ είναι διαπιστευμένη με το σύστημα ελέγχου ποιότητας ΕΛΟΤ EN ISO 9001:2000 ενώ τα τελικά σκληρά αδρανή είναι πιστοποιημένα κατά ΕΛΟΤ EN 13043 από τον 02/2006.

Επιπλέον, σε σύγκριση με τα φυσικά αδρανή, η σκωρία ηλεκτρικού κλιβάνου υπερτερεί λόγω των σταθερών μηχανικών της ιδιοτήτων και της αμετάβλητης χημικής της σύστασης ως βιομηχανικό προϊόν με τυποποιημένη παραγωγή τόσο στα χαλυβουργεία του ομίλου όσο και στην επεξεργασία εντός των εγκαταστάσεων του παραγωγού.

Ως βιομηχανικά ληφθέν, τεχνητό πέτρωμα και μέσω της τυποποιημένης παραγωγής πλεονεκτεί έναντι των υπόλοιπων φυσικών αδρανών στην καθαρότητα των κόκκων. Η περιεκτικότητα σε άμμο στα χονδρόκοκκα κλάσματα περιορίζεται σε ποσοστό μικρότερο του 5% τη στιγμή που στα φυσικά αδρανή το αντίστοιχο ποσοστό φθάνει το 30%. Η καθαρότητα των κόκκων, σε συνδυασμό με την αμετάβλητη κοκκομετρική διαβάθμιση συντελεί στην ευκολότερη παραγωγή του τελικού ασφαλτομείγματος.

Η παραγωγή χονδρόκοκκων αδρανών για έργα οδοποιίας από σκωρία ηλεκτρικού κλιβάνου μπορεί να επιτευχθεί από τον παραγωγό παραμένοντας οικονομικά συμφέρουσα για τον τελικό πελάτη καθώς μέρος των αδρανών που διατίθενται στην ελληνική αγορά για τη συγκεκριμένη χρήση εισάγονται από το εξωτερικό (Βαμβακόγλου, 2004, Αναστασίου, 2005).

1.3 Περιγραφή μελέτης

Έχοντας ως αίτιο την ανάγκη προσαρμογής στους νέους ευρωπαϊκούς κανονισμούς, η SIDENOR A.E. αναζήτησε λύσεις για την πλήρη εναρμόνισή της με τις ευρωπαϊκές οδηγίες για όλα τα χαλυβουργεία του ομίλου ΒΙΟΧΑΛΚΟ. Μέρος των βελτιωτικών αποφάσεων ήταν η σύσταση μιας θυγατρικής εταιρίας, της ΑΕΙΦΟΡΟΣ Α.Ε., με κύριο μέλημα την ανακύκλωση όλων των παραπροϊόντων των χαλυβουργείων και την παραγωγή νέων προϊόντων από αυτά. Από το 2002, η πρωτοπόρος για την Ελλάδα εταιρεία ΑΕΙΦΟΡΟΣ Α.Ε. επεξεργάζεται, βάση διεθνών πρακτικών, τη μεγαλύτερη ποσότητα σκωρίας στην Ελλάδα, το σύνολο δηλαδή της παραγόμενης μεταλλουργικής σκωρίας των χαλυβουργείων της SIDENOR A.E., εκπληρώνοντας τους λόγους σύστασής της.

Η εταιρεία ΑΕΙΦΟΡΟΣ ΑΕ από την ίδρυσή της το 2001, προμηθεύεται, επεξεργάζεται και παράγει σκληρά αδρανή για αντιολισθηρούς τάπητες επιφανειακών επιστρώσεων. Μέσω του κοινού ερευνητικού προγράμματος με το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης και το τμήμα Δομικών Υλικών των Πολιτικών Μηχανικών μελετάται η συμπεριφορά της σκωρίας ηλεκτρικού κλιβάνου στους αντιολισθηρούς επί τόπου των έργων που έχουν κατασκευαστεί.

Μέσω του κοινού ερευνητικού προγράμματος του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και της ΑΕΙΦΟΡΟΣ, μελετήθηκε η αντιολισθηρή συμπεριφορά των ταπήτων που κατασκευάστηκαν στο δίκτυο του ΠΑΘΕ αλλά και σε άλλες ενδεικτικές εθνικές οδούς. Η διάρκεια της μελέτης ορίστηκε ως τρία χρόνια (2002-2005).

Στόχος της μελέτης είναι η καταγραφή των μηχανικών χαρακτηριστικών των οδοστρωμάτων και συγκεκριμένα των αντιολισθηρών ταπήτων οι οποίοι κατασκευάστηκαν με σκωρία παραγωγής ΑΕΙΦΟΡΟΥ. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν αφορούσαν τάπητες κατασκευασμένοι με αδρανή σκωρίας όσο και φυσικά αδρανή. Τα πλεονεκτήματα ή τα μειονεκτήματα της χρήσης των αδρανών σκωρίας φαίνονται μέσω της σύγκρισης με τα φυσικά αδρανή, την μέχρι πρότινος μοναδική πηγή αντιολισθηρών αδρανών. Τα αποτελέσματα της μελέτης συγκρίνονται α) με τις συνήθεις ελληνικές προδιαγραφές κατασκευής αντιολισθηρών στρώσεων και β) την επίδραση του περιβάλλοντος και του κυκλοφοριακού φόρτου στο ρυθμό μεταβολής των μηχανικών χαρακτηριστικών σε μία χρονική περίοδο 4 μέχρι και 14 μηνών μετά την παράδοση των νεοκατασκευασμένων τμημάτων στην κυκλοφορία. Οι αντιολισθηροί τάπητες από τους οποίους έγινε δειγματοληψία κατασκευάστηκαν βάσει της ασυνεχούς διαβάθμισης του τύπου 2 ονομαστικού μεγέθους

Formatted: Greek

Formatted: Greek

Formatted: Greek

Formatted: Greek

Formatted: Greek

Formatted: Greek

Formatted: Greek

Formatted: Greek

Formatted: Greek

Formatted: Greek

Formatted: Greek

Formatted: Greek

Formatted: Greek

Formatted: Greek

Formatted: Greek

κόκκου 12,5mm, τόσο βάσει της παλαιότερης οδηγίας του ΚΕΔΕ το 1985 όσο και του πρωτοεμφανιζόμενου τότε τροποποιημένου τύπου 2 της Τεχνικής Συγγραφής Υποχρεώσεων (Τ.Σ.Υ) του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.

Στον πίνακα 1 εμφανίζονται τα τμήματα των οδών καθώς και η προδιαγραφή βάσει της οποίας κατασκευάστηκε η αντιολισθηρή στρώση.

Πίνακας 1. Προδιαγραφή αντιολισθηρής στρώσης για κάθε τμήμα

Αυτοκινητόδρομος	Τμήμα	Προδιαγραφή
ΠΑΘΕ	Αγ. Θεόδωροι – Αλμυρός	(άρθρο ΣΤ4 της Τ.Σ.Υ.)
ΠΑΘΕ	Υλίκη – Αγ. Κωνσταντίνος	(άρθρο ΣΤ4 της Τ.Σ.Υ.)
ΠΑΘΕ	Σκοτίνα – Κατερίνη	(άρθρο ΣΤ4 της Τ.Σ.Υ.)
Επαρχιακή οδός	Βόλος – Ν. Ανγκιάλος	(Τ.Ο.ΕΚ2/8.11.85)
Ε.Ο.	Λαμία – Καρπενήσι	(Τ.Ο.ΕΚ2/8.11.85)



Εικόνα 2. Κατασκευή αντιολισθηρού τάπητα στο πέταλο του Μαλιακού το 2007

2. ΕΠΙΤΟΠΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΕΠΙΣΤΡΩΣΕΩΝ

Για τους σκοπούς της μελέτης τα δύο βασικά χαρακτηριστικά των ταπήτων μετρήθηκαν, ο δείκτης αντίστασης σε ολίσθηση (Skid Resistance Value, SRV) καθώς και το βάθος μακροϋφής (HS). Πρέπει να σημειωθεί πως δεν υπάρχει τυποποίηση της δοκιμής βάσει ελληνικού προτύπου. Η δοκιμή εκτελέστηκε με την χρήση του βρετανικού εκκρεμούς. Οι πίνακες 2, 3 και 4 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της δοκιμής αυτής στα τμήματα του αυτοκινητόδρομου ΠΑΘΕ Αγ. Θεόδωροι – Αλμυρός, Υλίκη – Αγ. Κωνσταντίνος και Σκοτίνα – Κατερίνη αντίστοιχα.

Πίνακας 2. Σύνοψη μετρήσεων του τμήματος Αγ. Θεόδωροι - Αλμυρός

a/a	Θέση (αριθμ.)	Χρόνος* (μήνες)	SRV (%)	HS (mm)
1	1	0	79-81	1.15-1.20
2	1	4	53-60	1.00
3	2	0	80-81	n/a
4	2	4	59-61	1.00-1.15

* Σε μήνες μετά από την παράδοση στην κυκλοφορία

Πίνακας 3. Σύνοψη μετρήσεων του τμήματος Υλίκη – Αγ. Κωνσταντίνος

a/a	Θέση (αριθμ.)	Χρόνος* (μήνες)	SRV (%)	HS (mm)
1	1	4	55-60	0.90-1.00
2	1	14	61-65	0.64
3	2	4	58-60	1.10
4	2	14	61-66	0.64-0.68
5	3	4	58-60	n/a
6	3	14	65-66	0.64

* Σε μήνες μετά από την παράδοση στην κυκλοφορία

Πίνακας 4. Σύνοψη μετρήσεων του τμήματος Σκοτίνα - Κατερίνη

a/a	Θέση (αριθμ.)	Χρόνος* (μήνες)	SRV (%)	HS (mm)
1	1	4	60-66	1.32-1.38
2	1	14	56-62	1.15-1.24
3	2	4	63-64	1.20-1.35
4	2	14	62-67	0.96-1.21
5	3	4	62-70	1.35
6	3	14	61-64	1.06-1.40

* Σε μήνες μετά από την παράδοση στην κυκλοφορία

Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις το όριο του δείκτη αντίστασης σε στίλβωση (SRV) ορίζεται στο 50% ενώ για το βάθος μακροϋφής στο 1,00mm ως ελάχιστες απαιτήσεις. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά των αδρανών σκωρίας βάσει των μελετών σύνθεσης φαίνονται στον πίνακα 5. Τα σκληρά αδρανή για την συγκεκριμένη προδιαγραφή παράγονται σε δύο κλάσματα. Σε όλες τις περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε ασβεστολιθική άμμος 0-3mm. Η ασυνεχής διαβάθμιση του μείγματος αδρανών καθώς και η τραχεία υφή του ασφαλτομείγματος επιτυγχάνεται α) με την έλλειψη του κλάσματος 2,5 έως 5,0mm, β) την μικρότερη αναλογία κλάσματος ασβεστολιθικής άμμου στο μείγμα των αδρανών σε σχέση με τα χονδρόκοκκα σκληρά αδρανή (η συνήθης αναλογία είναι 70% χονδρόκοκκα, 30% λεπτόκοκκα, την στιγμή που η αναλογία συνεχών διαβαθμίσεων είναι 50%-50%, ανάλογα πάντα με τις κοκκομετρικές καμπύλες των εκάστοτε κλασμάτων) και γ) το μικρότερο

Formatted: Greek

Formatted: Greek

Formatted: Greek

Formatted: Greek

ποσοστό συνδετικού (ασφάλτου) από ότι στα ασφαλτομείγματα ημιτραχείας υφής. Είναι αξιοσημείωτο πως στην περίπτωση του τμήματος μεταξύ Υλίκης και Αγ. Κωνσταντίνου παρατηρήθηκε αύξηση στην τιμή της αντίστασης σε ολίσθηση κατά περίπου 5%. Πέραν του περιθωρίου στατιστικού λάθους η αύξηση μπορεί να εντοπιστεί στην λεπτή ασφαλτική μεμβράνη που δημιουργήθηκε κατά την κατασκευή καλύπτοντας την μικροϋφή όταν εκτελέστηκε η δοκιμή στους τέσσερις μήνες μετά την παράδοση στην κυκλοφορία. Μετά την πάροδο των 14 μηνών η φυσιολογική φθορά της ασφαλτικής μεμβράνης αποκάλυψε την μικροϋφή των αδρανών σκωρίας καταλήγοντας σε υψηλότερες μετρήσεις SRV από ότι οι αρχικές δοκιμές (Τσώχος, 2006).

Πίνακας 5. Χαρακτηριστικά από τις μελέτες σύνθεσης

Αυτοκινητόδρομος	LA (%)	PSV (%)	% EAF*	% άμμος*	% ασφ.	% κενών
Αγ. Θεόδωροι-Αλμυρός	15.00	62	74.9	25.1	4.68	9.49
Υλίκη-Αγ. Κωνσταντίνος	21.68	65	67	33	4.65	9.10
Σκοτίνα-Κατερίνη	18.06	64	63	37	4.85	10.30

* Ποσοστό κ.β. μείγματος αδρανών

όπου LA δοκιμή Los Angeles κατά το πρότυπο ASTM C131/89

PSV Polished Stone Value κατά το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1997.80

AAV Aggregate Abrasion Value κατά το πρότυπο BS 812.113-1991

Οι τιμές SRV μαζί με τα αποτελέσματα των δοκιμών PSV κατά τους αρχικούς ελέγχους που διενεργήθηκαν συνοψίζονται στον πίνακα 6. Σε όλες τις περιπτώσεις μετά την πάροδο 14 μηνών από την παράδοση στην κυκλοφορία οι τιμές SRV ικανοποιούν τα όρια των ελληνικών προτύπων. Λόγω της φυσικής φθοράς και του κυκλοφοριακού φόρτου η μεταβολή κυμαίνεται από 0 έως 6 %

Πίνακας 6. Σύνοψη αποτελεσμάτων

Αυτοκινητόδρομος (a/a)	PSV (%)	μέση τιμή SRV στους 4 μήνες (%)	μέση τιμή SRV στους 14 μήνες (%)
Αγ. Θεόδωροι - Αλμυρός	62	58	-
Υλίκη - Αγ. Κωνσταντίνος	65	59	64
Σκοτίνα - Κατερίνη	64	64	62

Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις τα βραχυπρόθεσμα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν την ικανοποίηση των προδιαγραφών από τα ασφαλτομείγματα με αδρανή σκωρίας ηλεκτρικού κλιβάνου στην επιφανειακή στρώση μετά και την πάροδο των 14 μηνών και μάλιστα σε συνθήκες βαριάς κυκλοφορίας.

Πέραν των αδρανών σκωρίας, φυσικά αδρανή χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή τμημάτων του παραπάνω αυτοκινητόδρομου. Σύγκριση μεταξύ

των μετρήσεων των ασφαλοταπιτών με φυσικά αδρανή από τη μία και σκωρίας από την άλλη δεν ενδείκνυται καθώς α) οι αρχικές τιμές PSV των φυσικών αδρανών ήταν πολύ μικρότερες σε σχέση με την σκωρία, β) αρκετά τμήματα που αρχικά κατασκευάστηκαν με φυσικά αδρανή επανακατασκευάστηκαν με ασφαλτομείγματα σκωρίας και γ) τα τμήματα του ΠΑΘΕ με φυσικά αδρανή κατασκευάστηκαν δύο χρόνια νωρίτερα από τα αντίστοιχα τμήματα με σκωρία. Για να γίνει εφικτή η σύγκριση των δύο αδρανών σε ασφαλτομείγματα, έγιναν δειγματοληψίες στην επαρχιακή οδό Βόλου – Νέας Αγχιάλου και στην εθνική οδό Λαμίας – Καρπενησίου.

3. ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΣΚΛΗΡΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΚΑΙ ΣΚΩΡΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΚΛΙΒΑΝΟΥ

Για τους σκοπούς της μελέτης έγιναν μετρήσεις στην επαρχιακή οδό Βόλου – Νέας Αγχιάλου και επί της Εθνικής Οδού Λαμίας – Καρπενησίου από τον όγδοο έως τον δωδέκατο μήνα μετά την παράδοση των τμημάτων στην κυκλοφορία. Όπως και προηγουμένως, μελετήθηκαν ο δείκτης αντίστασης σε ολίσθηση (SRV) και το βάθος μακροϋφής (HS) των αντιολισθηρών ταπήτων (Κεχαγιά, 2004). Οι τάπητες αυτοί είναι κατασκευασμένοι βάσει της παλαιότερης προδιαγραφής του Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ (Τ.Ο.ΕΚ2/8.11.85). Συγκεκριμένα πρόκειται για αντιολισθηρές στρώσεις πάχους 4,00cm του τύπου 2, ασυνεχούς διαβάθμισης με ονομαστικό μέγεθος κόκκου 12,5mm των τεχνικών προδιαγραφών. Τα δεδομένα που πάρθηκαν αφορούσαν τάπητες με σκωρία ΑΕΙΦΟΡΟΥ αλλά και τάπητες με άλλα φυσικά σκληρά αδρανή. Στον πίνακα 7 συνοψίζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων για τις δύο κατηγορίες ταπήτων.

Πίνακας 7. Σκωρία ηλ. Κλιβάνου και φυσικό σκληρό πέτρωμα

a/a	Οδός	Υλικό	SRV (%)	HS (mm)
1	Βόλος – Νέα Αγχιάλος	EAF slag	52	0.85
2	Βόλος – Νέα Αγχιάλος	φυσικό αδρανές	51	0.65
3	Λαμία – Καρπενήσι	EAF slag	52	0.7
4	Λαμία – Καρπενήσι	φυσικό αδρανές	41	0.4

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Greek

Σε όλες τις περιπτώσεις οι επιφανειακές στρώσεις με σκωρία ηλεκτρικού κλιβάνου παρουσιάζουν σαφώς υψηλότερες τιμές των δεικτών SRV και HS από τις αντίστοιχες τιμές για ασφαλοτάπητες με φυσικό σκληρό πέτρωμα. Παρά το γεγονός ότι στην περίπτωση της επαρχιακής οδού Βόλου – Νέας Αγχιάλου η διαφορά των μέσων τιμών του δείκτη της αντίστασης σε ολίσθηση δεν είναι στατιστικά σημαντική ανάμεσα στους δύο τάπητες, αφενός μεν το σαφώς μεγαλύτερο βάθος μακροϋφής και αφετέρου η συνεχής διαφορά των επιμέρους τιμών συγκλίνουν στο ίδιο συμπέρασμα. Το ίδιο συμπέρασμα απορρέει και από την μελέτη στον αυτοκινητόδρομο ΠΑΘΕ και

συγκεκριμένα του τμήματος μεταξύ Υλίκης και Αγίου Κωνσταντίνου που συνοψίζεται στον πίνακα 8. Προηγούμενες αντίστοιχες μελέτες σε αδρανή σκωρίας ηλεκτρικού κλιβάνου σε επιφανειακές στρώσεις στο Rotherham της Μ. Βρετανίας την δεκαετία του 1980 κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι «επιφανειακές στρώσεις με σκωρία έχουν τουλάχιστον εξίσου καλές μακροχρόνιες αντιολισθητικές ιδιότητες όσο και επιφανειακές στρώσεις με αντίστοιχα φυσικά αδρανή» (Stock, 1996).

Πίνακας 8. Σκωρία/φυσικό πέτρωμα στο τμήμα Υλίκη – Αγ. Κωνσταντίνος

a/a	Αυτοκινητόδρομος	Φυσικό πέτρωμα		EAF slag	
		SRV (%)	HS (mm)	SRV (%)	HS (mm)
1	Υλίκη – Αγ. Κωνσταντίνος	52	0.25	65	0.79
2	Υλίκη – Αγ. Κωνσταντίνος	52	0.24	66	0.64
3	Υλίκη – Αγ. Κωνσταντίνος	50	0.28	66	0.79
4	Υλίκη – Αγ. Κωνσταντίνος	50	0.24	62	0.64
5	Υλίκη – Αγ. Κωνσταντίνος	52	0.38	61	0.68
6	Υλίκη – Αγ. Κωνσταντίνος	52	0.31	66	0.64

Formatted: German (Germany)

Formatted: Greek

Formatted: Greek

Formatted: Greek

Formatted: Greek

Οι παραπάνω μετρήσεις πάρθηκαν πριν την πάροδο 14 μηνών από την παράδοση του τμήματος στην κυκλοφορία.

Τα αποτελέσματα της μελέτης του κοινού ερευνητικού προγράμματος συμπίπτουν με αντίστοιχα αποτελέσματα μελετών στην Μ. Βρετανία σε ασφαλτομείγματα με σκωρία και φυσικού πετρώματος με υψηλό PSV (Jones, 2000). Στην εν λόγω μελέτη αντί του δείκτη αντίστασης σε ολίσθηση (SRV) μετρήθηκε ο συντελεστής πλευρικής τριβής (SFC) καταλήγοντας στα ίδια συμπεράσματα με την ελληνική μελέτη.

Formatted: Greek

Formatted: Greek

Formatted: Greek

Formatted: Greek

Formatted: Greek

4. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΟΜΟΓΕΝΗ ΜΕΙΓΜΑΤΑ

Από τη σύσταση της ΑΕΙΦΟΡΟΣ το 2001 μέχρι σήμερα, περισσότερες από 40 μελέτες σύνθεσης έχουν εκδοθεί για κατασκευαστικές εταιρείες για όλα τα μεγάλα δημόσια έργα οδοποιίας τόσο στο στάδιο της κατασκευής όσο και της συντήρησης. Συγκεκριμένα για τα σκληρά αδρανή του τύπου 2 της Τεχνικής Συγγραφής Υποχρεώσεων με ονομαστικό μέγεθος κόκκου 12,5mm η εμπειρία της ΑΕΙΦΟΡΟΣ είναι σημαντική. Μέσω της εμπειρίας αυτής, η οποία δεν περιορίζεται σε πειραματικά δεδομένα αλλά επεκτείνεται με μετρήσεις τόσο κατά τον χρόνο εκτέλεσης του έργου όσο και μετά το πέρας του, εξάγονται κάποια ασφαλή συμπεράσματα.

4.1 Ετερογενή μείγματα σκωρίας και ασβεστολιθικής άμμου

Το μείγμα αδρανών για τις αντιολισθηρές στρώσεις προέρχεται συνήθως από δύο ή τρία διαφορετικά κλάσματα αδρανών των οποίων η ανάμειξη

στις σωστές αναλογίες δίνει την επιθυμητή κοκκομετρική καμπύλη. Ο αριθμός των κλασμάτων εξαρτάται πρωτίστως από την τελική καμπύλη της προδιαγραφής και την κοκκομετρική καμπύλη του κάθε κλάσματος. Γίνεται συνήθως χρήση ενός λεπτόκοκκου κλάσματος και 2 κλασμάτων χονδρόκοκκων μαζί με την ανάμειξη παιπάλης εφόσον χρειαστεί. Σε όλους τους τύπους αντιολισθηρών των ελληνικών προδιαγραφών, με μόνη εξαίρεση την προδιαγραφή του άρθρου ΣΤ6 της ΤΣΥ, δύναται το λεπτόκοκκο κλάσμα να προέρχεται από αδρανές διαφορετικό από ότι το χονδρόκοκκο κλάσμα. Για τα ασφαλτομείγματα του άρθρου ΣΤ6 «Τα χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα αδρανή πρέπει να είναι 100% θραυστά υλικά από τα ίδια μητρικά πετρώματα. Η παιπάλη μπορεί να είναι είτε από τα ίδια πετρώματα ή από άλλη κατάλληλη πηγή».

Στον πίνακα 9 συνοψίζονται ενδεικτικές μελέτες σύνθεσης του συνήθη τύπου 2 του άρθρου ΣΤ4 με τα χονδρόκοκκα κλάσματα από σκωρία ηλεκτρικού κλιβάνου. Τα αποτελέσματα προκύπτουν από την δοκιμή Marshall κατά AASHTO T-166.

Πίνακας 9. Μελέτες σύνθεσης σύμφωνα με τον τύπο 2 του άρθρου ΣΤ4

Σύνθεση No.	Έτος	% σκωρία*	% άμμος*	% Ασφάλτος	% κενών
32	2005	70	33	4.30	11.45
28	2007	75	25	4.30	11.00
25	2007	68	31	4.40	10.09
24	2006	66	34	4.62	10.80
9	2005	65	35	4.35	9.05
7	2004	67	33	4.65	9.10
2	2003	75	25	4.68	10.30
1	2002	73	27	4.70	9.10

* Ποσοστό κ.β. μείγματος αδρανών

Όσον αφορά τον τύπο 2, μείγματα με τα χονδρόκοκκα κλάσματα από σκωρία και λεπτόκοκκο κλάσμα ασβεστολιθικής άμμου απαιτούν μικρότερο ποσοστό ασφάλτου κατά βάρος μείγματος αδρανών σε σύγκριση με αντίστοιχα μείγματα όπου αντί της σκωρίας χρησιμοποιείται άλλο φυσικό σκληρό πέτρωμα. Βάσει των δοκιμών Marshall, μείγματα σκωρίας με ποσοστό ασφάλτου μεταξύ 4.30 και 4.60 διατηρούν υψηλά επίπεδα ευστάθειας (περ. 2200 lb). Αντίστοιχα μείγματα με φυσικά σκληρά αδρανή απαιτούν ελαφρώς υψηλότερα ποσοστά ασφάλτου κ.β. μείγματος αδρανών 4.80 - 5.10 με χαμηλότερη ευστάθεια (1960 lb). Και στις δύο περιπτώσεις συγκρίνονται μείγματα με το ποσοστό κενών να κυμαίνεται περίπου στο 11%.

4.2 Ομογενή μείγματα

Ο πίνακας 10 δείχνει συνοπτικά τα αποτελέσματα μελετών σύνθεσης βάσει της προδιαγραφής του άρθρου ΣΤ6 του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. Όλα τα αποτελέ-

σματα προέρχονται από την δοκιμή Marshall των αμερικάνικων προδιαγραφών. Πρέπει να σημειωθεί πως το άρθρο ΣΤ6 το ποσοστό κενών πρέπει να είναι ανάμεσα στο 6 και 15%, ενώ το ποσοστό ασφάλτου από 5.5-6.2 για κοινή και 5.7-6.4 για τροποποιημένη άσφαλτο (Νικολαΐδης, 2002). Τα όρια εφαρμόζονται σε αδρανή με συνήθη ειδικά βάρη 2.65-2.70 g/cm³ ενώ για αδρανή με μεγαλύτερο ειδικό βάρος όπως η σκωρία, απαιτούνται μικρότερα ποσοστά ασφάλτου, κάτι που προβλέπεται και από την προδιαγραφή.

Πίνακας 10. Μελέτες σύνθεσης βάσει του άρθρου ΣΤ6

Σύνθεση No.	Έτος	% σκωρία*	% άμμος*	% άσφαλτος	% κενών
34	2007	72	21	5.30	10.60
29	2007	73	20	5.25	9.60
20	2006	73	23	5.20	10.80
18	2006	73	27	5.20	10.38

* Ποσοστό κ.β. μείγματος αδρανών

Συνεκτιμώντας ότι αντίστοιχα ασφαλτομείγματα της προδιαγραφής αυτής από φυσικά σκληρά πετρώματα απαιτούν ποσοστά ασφάλτου 5.80-6.10 τη στιγμή που τα μείγματα με σκωρία απαιτούν ποσοστό ασφάλτου 5.20-5.40 κ.β. αδρανών η οικονομία στην άσφαλτο είναι σημαντική. Όπως προηγουμένως όλα τα αποτελέσματα αφορούν μείγματα με ποσοστό κενών 10-12%. Εξαιτίας του ότι η προδιαγραφή αυτή υιοθετήθηκε πρόσφατα και εφαρμόζεται προς το παρόν μόνο στον αυτοκινητόδρομο της Εγνατίας οδού, η εμπειρία στην παραγωγή αδρανών είναι περιορισμένη και τα δεδομένα ενδεικτικά.

5. ΤΡΟΧΟΑΥΛΑΚΩΣΗ ΚΑΙ ΕΛΑΦΡΑ ΑΠΟΣΥΝΘΕΣΗ

Οι ιδιότητες των αδρανών επηρεάζουν άμεσα την συμπεριφορά του τελικού ασφαλτοτάπητα. Πέραν των ιδιοτήτων που μελετήθηκαν στα πλαίσια του ελληνικού ερευνητικού προγράμματος (SRV και HS) η διεθνής έρευνα επεκτείνεται σε όλους τους τομείς των ασφαλτικών. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της μελέτης της πολιτείας του Όρεγκον στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η έρευνα που δημοσιεύτηκε το 2000 επικεντρώθηκε σε μετρήσεις τροχοαυλάκωσης (rutting) όσο και ελαφράς αποσύνθεσης (raveling) σε ασφαλτικές στρώσεις κυκλοφορίας κατασκευασμένες είτε με αδρανή σκωρίας είτε με φυσικά σκληρά αδρανή. Οι μετρήσεις τροχοαυλάκωσης αφορούσαν το μέγεθος του παραμορφωμένου ασφαλτοτάπητα ενώ οι μετρήσεις ελαφράς αποσύνθεσης περιγράφεται ως ποσοστό φθαρμένης επιφάνειας προς το σύνολο της επιφάνειας του ασφαλτοτάπητα με το συγκεκριμένο αδρανές. Η μελέτη διήρκησε από το 1995 έως το 1999 (Hunt, 2000).

Σύμφωνα με την τελική έκθεση το ποσοστό απόστασης σε ασφαλτοτάπητες σε συμβατικά σκληρά αδρανή ήταν κατά 36% μεγαλύτερο από ότι σε

ασφαλτοτάπητες με σκωρία ηλεκτρικού κλιβάνου. Παράλληλα η παραμόρφωση στα σημεία όπου παρατηρήθηκε τροχοαυλάκωση ήταν 15% μικρότερη στους τάπητες με σκωρίες.

Η ανωτερότητα των ταπήτων με σκωρία στα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά οφείλεται στα σαφώς καλύτερα επιμέρους χαρακτηριστικά των αδρανών σκωρίας. Αφενός η μικροϋφή των κόκκων και αφετέρου οι υψηλοί δείκτες μηχανικών ιδιοτήτων συντελούν στην ενίσχυση του σκελετού που δημιουργούν τα χονδρόκοκκα αδρανή μεταξύ τους. Το ακανόνιστο σχήμα των κόκκων σκωρίας, το οποίο φαίνεται από τους χαμηλούς δείκτες μορφής ($SI \approx 5\%$) και πλακοειδών ($EI \approx 5\%$), σε συνδυασμό με τους χαμηλούς δείκτες θρυμματισμού ($LA \approx 12\%$) και απότριψης ($AAV \approx 2,3\%$) και τον υψηλό δείκτη στίλβωσης ($PSV \approx 63\%$) έχουν ως αποτέλεσμα την αντίσταση σε παραμόρφωση του μείγματος μέσω της επαφής των κόκκων μεταξύ τους. Για τον λόγο αυτό τα αδρανή σκωρίας ενδείκνυνται σε μείγματα ασφαλτικής σκυρομαστίχης (Stone Mastic Asphalt, SMA) που εφαρμόζονται διεθνώς εξασφαλίζοντας μεγάλη διάρκεια ζωής.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΑΕΙΦΟΡΟΣ ΑΕ είναι ο κυριότερος παραγωγός σκληρών αδρανών από σκωρία ηλεκτρικού κλιβάνου στην Ελλάδα. Από την ίδρυσή της το 2001 μέχρι σήμερα έχουν κατασκευαστεί δεκάδες χιλιόμετρα αυτοκινητόδρομων, εθνικών και επαρχιακών οδών.

Formatted: Highlight

Καθώς η εμπειρία στην χρήση σκωρίας στην Ελλάδα είναι περιορισμένη, μέσω του κοινού ερευνητικού προγράμματος της ΑΕΙΦΟΡΟΣ με το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης μελετήθηκε η συμπεριφορά των ασφαλτικών στρώσεων τόσο σε μείγματα με σκωρίες όσο και με φυσικά σκληρά αδρανή. Τα αποτελέσματα δείχνουν την ανωτερότητα των αδρανών σκωρίας αφενός λόγω των υψηλών μηχανικών ιδιοτήτων και αφετέρου λόγω της μεγάλης ανθεκτικότητας τους σε φθορά, πάντοτε εντός των ορίων των τεχνικών προδιαγραφών.

Μέσω της συνεργασίας της ΑΕΙΦΟΡΟΣ με τις σημαντικότερες κατασκευαστικές εταιρείες και των μελετών σύνθεσης για τα μεγαλύτερα οδικά έργα μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

- ασφαλομείγματα με χονδρόκοκκα σκληρά αδρανή από σκωρία απαιτούν μικρότερο ποσοστό ασφάλτου από αντίστοιχα μείγματα φυσικών σκληρών αδρανών όπως συμβαίνει στις συνήθεις ασφαλτικές στρώσεις του τύπου 2
- παρόμοια είναι τα συμπεράσματα για ομογενή μείγματα όπου το χονδρόκοκκο και λεπτόκοκκο κλάσμα προέρχεται από σκωρίες, κάτι που εφαρμόζεται για την προδιαγραφή του άρθρου ΣΤ6 της Εγνατίας οδού
- ασφαλομείγματα με σκωρία και ασβεστολιθική άμμο μπορούν να θεωρηθούν ως η ιδανική λύση καθώς η χρήση φυσικής άμμου από την μία, το χαμηλό ποσοστό ασφάλτου από την άλλη σε συνδυασμό με τις υψη-

λές μηχανικές ιδιότητες των αδρανών σκωρίας εξασφαλίζουν ασφαλή-
τάπητες υψηλών προδιαγραφών παραμένοντας η οικονομικότερη λύση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Jones N., “The Successful Use of Electric Arc Furnace Slag in asphalt”,
2nd European Slag Conference, Düsseldorf, (2000)

Hunt L. & Boyle G. 2000. “Steel slag in hot mix asphalt concrete”, Final
Report – State Research Project 511, Oregon Department of Transportation

Motz H. & Geiseler J., “Products of steel slags an opportunity to save
natural resources”, Waste Management, Waste Management 21 (2001): 285-
293

Stock et al., “Skidding Characteristics of Pavement Surfaces Incorporat-
ing Steel Slag Aggregates”. Transportation Research Record 1545, Asphalt
Pavement Surfaces and Asphalt Mixtures: 35-40 (1996)

Αναστασίου, Ε. & Παπαγιάννη, Ι., “Production of concrete of high envi-
ronmental standards with the use of industrial by-products” ΕΒΙΠΑΡ 1ο
Πανελλήνιο Συνέδριο, Θεσσαλονίκη: ΕΒΙΠΑΡ (2005)

Βαμβακόγλου, Κ. 2004. “Χρήση σκωριών χαλυβουργίας στη δομική βι-
ομηχανία. Χρήση βιομηχανικών παραπροϊόντων στην οδοποιία” Πρακτικά
Ημερίδας, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Κεχαγιά, Φ., “Χρήση σκωριών χαλυβουργίας σε κατασκευές οδοστρω-
μάτων. Χρήση βιομηχανικών παραπροϊόντων στην οδοποιία Πρακτικά Η-
μερίδας, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (2004)

Νικολαΐδης, Α., “Οδοστρώματα – Υλικά Έλεγχος Ποιότητας”, Θεσσα-
λονίκη: Μ. Τριανταφύλλου (2002)

Οικονόμου, Ν. & Εσκιόγλου, Π., “Use of furnace steel slag in construc-
tion of skid resistant microsurfacing”. ΕΒΙΠΑΡ 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο,
Θεσσαλονίκη: ΕΒΙΠΑΡ (2005)

Παπαγιάννη, Ι., “Use of steel slag aggregates in the production of con-
crete paving blocks” ΕΒΙΠΑΡ 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο, Θεσσαλονίκη: Ε-
ΒΙΠΑΡ (2005)

Παπαρρήγας, Δ., “Use of steel slag in structural industry and in road con-
structions” ΕΒΙΠΑΡ 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο, Θεσσαλονίκη: ΕΒΙΠΑΡ
(2005)

Πραπίδης, Μ., “Use of slag in skid resistant asphalt mixes based on me-
chanical and environmental criteria”, Αθήνα: HELLECO (2005)

Τσώχος, Γ. & Μουρατίδης, Α., “Χρήση σκωριών χαλυβουργίας σε αντι-
ολισθηρούς τάπητες” Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλο-
νίκης (2006)

Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων. ΣΤ-4.
Αντιολισθηρή ασφαλτική στρώση από ασφαλτικό σκυρόδεμα, Τεχνική Συγ-
γραφή Υποχρεώσεων (Τ.Σ.Υ.) Έργων Οδοποιίας: 4-8

|



Formatted: Greek

