

**ΕΠΑνεΚ 2014-2020**  
**ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ**  
**ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ • ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ • ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ**

ΔΡΑΣΗ ΕΘΝΙΚΗΣ ΕΜΒΕΛΕΙΑΣ:  
« ΕΡΕΥΝΩ-ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ-ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ »

Έργο: Παραγωγή τροποποιημένης ασφάλτου και αύξηση ποσοστού ανακύκλωσης ασφαλτικού σκυροδέματος χρησιμοποιώντας ανακυκλωμένο ελαστικό (RAP-ELT)  
Κωδικός Έργου: Τ1ΕΔΚ-ο1656

**Π 3.1 Κατασκευή δοκιμών τροποποιημένης ασφάλτου και ασφαλτομίγματος. Καταγραφή και αντιμετώπιση προβλημάτων (Πιλοτική κατασκευή)  
Μέρος Α' (θεωρητικό)**

Υπεύθυνος δράσης:



RETIRE ΑΒΕΕ

ΒΙ.ΠΕ. Δράμας

Τηλ. 25210.81586, fax 25210.81596

Υπεργολάβος:

**ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΕΡΕΥΝΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ  
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**

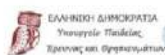
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΧΗΜΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ & ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ



Υποκατάστημα: 4<sup>ο</sup> χλμ. Πτολεμαΐδας-Μποδοσσεακείου Νοσοκομείου (περιοχή Κουρί) • 502 00 Πτολεμαΐδα • Τηλ.: 24630-55300  
Fax: 24630-55301 Web : <http://www.lignite.gr> • E-mail: [isfta@lignite.gr](mailto:isfta@lignite.gr)  
Γραφείο Αθήνας: Αιγιάλειας 52 • 15125 Μαρούσι • Τηλ. 211-1069500 • Fax: 211-1069501 • E-mail: [isfta@certh.gr](mailto:isfta@certh.gr)  
Κεντρικό: 6<sup>ο</sup> χλμ. οδού Χαριλάου-Θέρμης • Τ.Θ. 60361 • 570 01 Θέρμη, Θεσσαλονίκη • Τηλ.: 2310-498100 • Fax: 2310-498180



ΑΘΗΝΑ ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2019



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

## Πίνακας Περιεχομένων

|   |    |
|---|----|
| 1. Εισαγωγή.....  | 3  |
| 1.1. Σκοπός παραδοτέου .....                                | 3  |
| 1.2. Μέθοδοι παραγωγής τροποποιημένων ασφαλτομιγμάτων ..... | 3  |
| 1.3. Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....                          | 5  |
| Βιβλιογραφία .....  | 13 |

## 1. Εισαγωγή

### 1.1. Σκοπός παραδοτέου

Σκοπός του Παραδοτέου 3.1 «Κατασκευή δοκιμίων τροποποιημένης ασφάλτου και ασφαλτομίγματος. Καταγραφή και αντιμετώπιση προβλημάτων (Πιλοτική κατασκευή)» είναι η καταγραφή της βιβλιογραφικής ανασκόπησης που πραγματοποιήθηκε πριν την κατασκευή. Επίσης γίνεται καταγραφή των προβλημάτων καθώς και πως αυτά αντιμετωπίστηκαν κατά την κατασκευή των δοκιμίων στο πλαίσιο της Δράσης 3.1.

### 1.2. Μέθοδοι παραγωγής τροποποιημένων ασφαλτομιγμάτων

Το τρίμμα ελαστικού μπορεί να ενσωματωθεί στο ασφαλτόμιγμα με δύο διαφορετικές μεθόδους, την υγρή μέθοδο και την ξηρή μέθοδο. Με την υγρή μέθοδο το τρίμμα ελαστικού λειτουργεί ως τροποποιητής της ασφάλτου ενώ με την ξηρή μέθοδο το τρίμμα ελαστικού χρησιμοποιείται σε αντικατάσταση αδρανούς υλικού. Και στις δύο περιπτώσεις το τρίμμα ελαστικού αναφέρεται ως CRM διότι η χρήση του τροποποιεί τις ιδιότητες του τελικού θερμού ασφαλτομίγματος.

Η υγρή μέθοδος ορίζεται από την ASTM ως: ένα μίγμα ασφάλτου, ανακυκλωμένου ελαστικού και διαφόρων προσθέτων, στο οποίο το τρίμμα ελαστικού αποτελεί τουλάχιστον το 15% κατά βάρος του συνολικού μίγματος και το οποίο έχει αντιδράσει ικανοποιητικά με την θερμή άσφαλτο έτσι ώστε να απορροφήσει το τρίμμα ελαστικού. Η προσθήκη τρίμματος ελαστικού στο ασφαλτόμιγμα σύμφωνα με την υγρή μέθοδο έχει σκοπό να βελτιώσει τις ιδιότητες της ασφάλτου. Κατά τη διάρκεια της αντίδρασης του τρίμματος με την άσφαλτο ένα μέρος των ελαίων της ασφάλτου απορροφούνται από το καουτσούκ κι έτσι αυτό με την σειρά του φουσκώνει αυξάνοντας έτσι το ιξώδες και την δυσκαμψία της ασφάλτου. Παράλληλα η τροποποιημένη άσφαλτος έχει μειωμένη επιρροή από τις θερμοκρασιακές μεταβολές.

Στην περίπτωση της ξηρής μεθόδου, το τρίμμα ελαστικού αναμιγνύεται με τα αδρανή πριν την ανάμιξή τους με την ασφαλτο. Στη μέθοδο αυτή το ελαστικό αντικαθιστά το λεπρόκοκκο αδρανές του μίγματος σε ποσοστό 1% με 5%. Η συγκεκριμένη τεχνολογία αναπτύχθηκε πρώτα στην Σουηδία και χρησιμοποιήθηκε στις ΗΠΑ τη δεκαετία του '70. Όταν ανακυκλωμένο ελαστικό, σε μορφή πούδρας, προστίθεται στο ασφαλτόμιγμα, βελτιώνει την συμπακνωσιμότητα και τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους, λόγω της δράσης του ελαστικού ως πληρωτικό υλικό, που συμπληρώνει τα υπάρχοντα κενά του σκελετού των αδρανών.[1].

Όσο αφορά τις μεθόδους συμπίκνωσης εργαστηριακών δοκιμών υπάρχουν δυο βασικές μέθοδοι:

- Η γυροσκοπική μέθοδος
- Η μέθοδος Marshall

Η γυροσκοπική μέθοδος είναι διεθνώς αναγνωρισμένη ως μία από τις καταλληλότερες για τη συμπίκνωση εργαστηριακών δοκιμών. Κατά τη γυροσκοπική μέθοδο, η συμπίκνωση επιτυγχάνεται με την εφαρμογή μιας κάθετης δύναμης (συνήθως 600 KPa) διαμέσω ακραίων μεταλλικών πλακών σε γνωστή μάζα ασφαλτομίγματος, η οποία εισάγεται σε καλούπι (μεταλλική μήτρα) εσωτερικής διαμέτρου 100 ή 150mm. Ο διαμήκης άξονας της μεταλλικής μήτρας περιστρέφεται με σταθερή γωνία ως προς την κατακόρυφο (gyration angle), ενώ οι μεταλλικές πλάκες παραμένουν παράλληλες και οριζόντιες. Κατά τη διάρκεια της συμπίκνωσης, το ύψος του δοκιμίου μετράται αυτόματα και υπολογίζονται η πυκνότητα και το ποσοστό κενών του δείγματος. Μέσω κατάλληλου λογισμικού, δίνεται η δυνατότητα επιλογής της μεθόδου συμπίκνωσης για προκαθορισμένο αριθμό περιστροφών ή έως ότου επιτευχθεί μια συγκεκριμένη τιμή για την πυκνότητα του μίγματος ή για το περιεχόμενο ποσοστό κενών.

Μία ακόμα από τις πιο ευρεία χρησιμοποιούμενες μεθόδους εργαστηριακής συμπίκνωσης ασφαλτομιγμάτων αποτελεί η κρουστική μέθοδος κατά Marshall. Η μέθοδος συμπίκνωσης Marshall, καθώς και η ομώνυμη μέθοδος σχεδιασμού ασφαλτομιγμάτων, εισήχθη από τον Bruce Marshall το 1939 και έχει εφαρμοστεί στο

παρελθόν σε μεγάλο αριθμό έργων ανασυγκρότησης υποδομών σε παγκόσμιο επίπεδο. Κατά τη μέθοδο αυτή, η ενέργεια συμπύκνωσης στο υπό συμπύκνωση δοκίμιο προσδίδεται με κρούση από την πτώση καθορισμένου βάρους από συγκεκριμένο ύψος. Η συσκευή συμπύκνωσης Marshall, μαζί με ειδικές συσκευές προσδιορισμού ευστάθειας και παραμόρφωσης των δοκιμίων, χρησιμοποιούνται στην ομώνυμη μέθοδο σχεδιασμού ασφαλτομιγμάτων με σκοπό τον προσδιορισμό του βέλτιστου ποσοστού ασφάλτου σε αδρανή υλικά συγκεκριμένης σύνθεσης.



Εικ. 1: Ασφαλτομίγματα Marshall

### 1.3. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Υπάρχουν πολλές αναφορές στην διεθνή βιβλιογραφία σχετικά με εργαστηριακές δοκιμές τροποποίησης ασφάλτου, τόσο με την υγρή όσο και με την ξηρή μέθοδο.

Οι B.V. Kök, H. Çolak [2] μελέτησαν την τροποποίηση ασφάλτου με την υγρή μέθοδο, χρησιμοποιώντας πούδρα SBS και πούδρα τρίμματος ελαστικού. Η τροποποιημένη άσφαλτος παρασκευάστηκε σε εργαστηριακή συσκευή ανάμιξης σε θερμοκρασία 180°C για μια ώρα με ταχύτητα περιστροφής 1000 rpm, με διάφορα ποσοστά τροποποιητών. Η τροποποιημένη άσφαλτος αναμίχθηκε με ασβεστολιθικά αδρανή για την παραγωγή δοκιμίων με την μέθοδο Marshall. Τα διάφορα δοκίμια

συμπιέστηκαν με 75 χτυπήματα σε κάθε πλευρά των κυλινδρικών δοκιμίων με διάμετρο 101,6 mm και πάχος 63,5 cm. Οι θερμοκρασίες ανάμιξης και συμπύκνωσης προσδιορίστηκαν σύμφωνα με τις τιμές του ιξώδους της ασφάλτου. Για την παραγωγή των ασφαλτομιγμάτων χρησιμοποιήθηκε άσφαλτος σε περιεκτικότητα 5,0% κατά βάρος αδρανών. Η τροποποιημένη άσφαλτος αξιολογήθηκε ως προς το ιξώδες, την δυναμική διατμητική ροομετρία (DSR – dynamic shear rheometry) και συμβατικές δοκιμές ασφάλτου. Τα θερμά ασφαλτομίγματα που παρήχθησαν αξιολογήθηκαν ως προς την μόνιμη παραμόρφωση, τα χαρακτηριστικά κόπωσης και το μέτρο ακαμψίας. Οι ιδιότητες των μιγμάτων με συμβατική άσφαλτο συγκρίθηκαν με αυτές των μιγμάτων με τροποποιημένη άσφαλτο, τόσο με SBS όσο και με πούδρα ελαστικού.

Οι Χ.Β. Βλαχόπουλος κ.α. [3] μελέτησαν διάφορα δοκίμια ασφαλτομιγμάτων Marshall με τροποποιημένη άσφαλτο. Για την παραγωγή της τροποποιημένης ασφάλτου χρησιμοποιήθηκε άσφαλτος 50/70 και ελαστικό επεξεργασμένο σε μορφή τρίμματος με ονομαστικό μέγεθος κόκκου 2 mm και ακολουθήθηκε η υγρή διαδικασία. Η ανάμιξη του τρίμματος ελαστικού έγινε στους 150 °C και για δυο λεπτά περίπου έως ότου υπάρχει καλή διασπορά του τρίμματος ελαστικού στην άσφαλτο. Τα δοκίμια συμπιέστηκαν με 50 κτύπους από κάθε πλευρά με την μέθοδο Marshall. Παρήχθησαν δυο τύποι ασφαλτομιγμάτων, στον πρώτο τύπο η ποσότητα της ασφάλτου παρέμενε σταθερή (4,5 % κ.β. αδρανών), ενώ αντίστοιχα μεταβαλλόταν η ποσότητα του ελαστικού σε ποσοστό 0-25% κ.β. της ασφάλτου. Στον δεύτερο τύπο ασφαλτομίγματος μεταβαλλόταν το ποσοστό ασφάλτου 4-5,5% κ.β. αδρανών διατηρώντας σταθερό ποσοστό ελαστικού 15 % κ.β. ασφάλτου. Τα δοκίμια που παρήχθησαν ελέγχθηκαν σε ευστάθεια και παραμόρφωση κατά Marshall και προσδιορισμό φαινομένου βάρους, κενών και συμπύκνωσης ασφαλτομιγμάτων. Παράλληλα πραγματοποιήθηκε και έλεγχος της ποιότητας των ασφαλτομιγμάτων με τη χρήση υπέρηχων χαμηλών συχνοτήτων.

Οι Η. Ozen et al.[4] μελέτησαν την επίδραση της τροποποιημένης ασφάλτου στην μόνιμη παραμόρφωση σε κυλινδρικά δοκίμια που είχαν παραχθεί με την μέθοδο Marshall. Μελετήθηκαν δοκίμια κατασκευασμένα με τρία διαφορετικά είδη

τροποποιημένης ασφάλτου. Για την τροποποίηση επιλέχθηκαν τρία ελαστομερή πολυμερή (OL, EL και SB). Η τροποποίηση πραγματοποιήθηκε με την υγρή μέθοδο σε αναδευτήρα υψηλής ταχύτητας. Για την παραγωγή των δοκιμίων χρησιμοποιήθηκε το βέλτιστο ποσοστό ασφάλτου (4,4%) και για την συμπύκνωση πραγματοποιήθηκαν 50 κύκλοι.

Πλήθος άλλων ερευνητών έχουν μελετήσει εργαστηριακά τις ιδιότητες της τροποποιημένης ασφάλτου, ενδεικτικά αναφέρονται οι παρακάτω, οι οποίοι μελέτησαν την επίδραση στις ιδιότητες της ασφάλτου της τροποποίησης με τρίμμα ελαστικού αλλά και με άλλα πολυμερή.

Οι K. Yan et al. [5] μελέτησαν την τροποποίηση ασφάλτου με τρίμμα ελαστικού και APAO (amorphous poly alpha olefin). Τα ρεολογικά τους χαρακτηριστικά μελετήθηκαν με συμβατικές και δυναμικές δοκιμές διάτμησης. Η τροποποίηση της ασφάλτου πραγματοποιήθηκε με ανάμιξη θερμής ασφάλτου (165°C) με τους τροποποιητές και ανάμιξή τους σε αναδευτήρα ακτινικής ροής μεσαίας διάτμησης, με ταχύτητα 5000 rpm και σε θερμοκρασία 180°C. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν πως η τροποποίηση της ασφάλτου βελτιώνει την συμπεριφορά της ασφάλτου σε υψηλές θερμοκρασίες και την αντίσταση στην δημιουργία τροχαυλακώσεων.

Ο G.D. Airey [6] μελέτησε την τροποποίηση δυο διαφορετικών ειδών ασφάλτου με SBS σε διαφορετικά ποσοστά. Η τροποποίηση της ασφάλτου πραγματοποιήθηκε με την υγρή μέθοδο σε δυο ασφάλτους διαφορετικής προέλευσης - παραφινική (από την Ρωσία) και ναφθενική (από την Βενεζουέλα) - σε εργαστηριακό αναδευτήρα υψηλής διάτμησης σε θερμοκρασία 170 – 185 °C. Στην συνέχεια μελετήθηκαν τα ρεολογικά χαρακτηριστικά των μιγμάτων.

Οι M. Garcia-Morales et al. [7] μελέτησαν την τροποποίηση ασφάλτου με τέσσερα είδη πολυμερών που προέρχονταν από ανακύκλωση: EVA, EVA/LDPE, τρίμμα ελαστικών και ABS. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των ρεολογικών χαρακτηριστικών έδειξαν ότι το τρίμμα ελαστικού και τα μίγματα τρίμματος ελαστικού με άλλα πολυμερή μπορούν να χρησιμοποιηθούν με επιτυχία για την τροποποίηση ασφάλτου σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών, προσδίδοντας μεγαλύτερη ευκαμψία στο οδόστρωμα και

καθιστώντας το πιο ανθεκτικό. Για την παρασκευή της τροποποιημένης ασφάλτου χρησιμοποιήθηκε άσφαλτος 60/70. Τα μίγματα ασφάλτου και πολυμερών αναμίχθηκαν σε ανοιχτό αναδευτήρα για 6 ώρες, στους 180°C με ταχύτητα ανάδευσης 1200 rpm. Σε μεταγενέστερη εργασία τους οι M. Garcia-Morales et al. [8] μελέτησαν την επίδραση της κινητικής της ανάμιξης στις ρεολογικές ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά τροποποιημένης ασφάλτου. Χρησιμοποίησαν μίγματα ασφάλτου 60/70 με ανακυκλωμένο EVA/LDPE αναμεμιγμένα σε συσκευές υψηλής και χαμηλής διάτμησης. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν πως η ανάδευση με συσκευή υψηλής διάτμησης μειώνει σημαντικά τον χρόνο που απαιτείται για την παρασκευή της τροποποιημένης ασφάλτου και μειώνει και την οξειδωση της ασφάλτου, όμως τα μίγματα αυτά δεν είναι σταθερά κατά την αποθήκευσή τους σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι A. Vasiljevic-Shikaleska et al. [9] μελέτησαν τις βισκοελαστικές και μηχανικές ιδιότητες (όπως το μέτρο ελαστικότητας Young, η διείδυση και το σημείο θραύσης Fraas) τροποποιημένης ασφάλτου. Τυπική άσφαλτος 50/70 τροποποιήθηκε με είδη πολυμερών: χαμηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο και SBR (ελαστικό στυρενίου-βουταδιενίου). Τα πολυμερή κατεργάστηκαν πρώτα με βενζόλιο και μετά αναμίχθηκαν με την άσφαλτο. Η ανάδευση έγινε για 5 ώρες στους 120°C με ταχύτητα 1200 rpm. Τα μίγματα με SBR έδειξαν σημαντικά αυξημένη αντίσταση στις ρηγματώσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες λόγω της μείωσης του σημείου υαλώδους μετάπτωσης από τους -14°C στους -34°C.

Ο A. Toral [10] μελέτησε τις ιδιότητες και την μικροδομή τροποποιημένης ασφάλτου χρησιμοποιώντας συμβατικές και εμπειρικές μεθόδους δοκιμής και μικροσκοπία φθορισμού. Η εργαστηριακή μελέτη πραγματοποιήθηκε σε άσφαλτο 50/70 τροποποιημένη με εμπορικά πλαστομερή πολυμερή (Evatane® 2805, Elvaloy® 3427, Elvaloy® 4170) σε μορφή πελλετών. Τα δείγματα παρασκευάστηκαν σε εργαστηριακό αναδευτήρα υψηλής διάτμησης με ταχύτητα περιστροφής 110-1250 rpm. Η άσφαλτος θερμάνθηκε στους 150-160°C και ομογενοποιήθηκε. Στην συνέχεια θερμάνθηκε στους 180-185°C και προστέθηκαν σταδιακά τα πολυμερή κάτω από συνεχή ανάδευση και



σταθερή θερμοκρασία μέχρι την απόκτηση ομοιογενούς μίγματος (τουλάχιστον 2 ώρες).

Επειδή στην πράξη τα ασφαλτικά υλικά αποθηκεύονται σε υψηλές θερμοκρασίες πριν από την εφαρμογή τους και στις περιπτώσεις τροποποιημένης ασφάλτου εμφανίζονται προβλήματα αστάθειας της ασφάλτου λόγω διαχωρισμού φάσεων, τα οποία μπορεί να επηρεάσουν τις τελικές ιδιότητες του δρόμου, οι A. Perez-Lepe et al. [11] μελέτησαν την σταθερότητα κατά την αποθήκευση μιγμάτων τροποποιημένης ασφάλτου. Το πρόβλημα του διαχωρισμού φάσεων δημιουργείται επειδή τα περισσότερα πολυμερή είναι αδιάλυτα, σε ένα βαθμό, στην ασφαλτο. Κατά την αποθήκευση, η φάση η οποία είναι πλούσια σε πολυμερή διαχωρίζεται και ανέρχεται στην επιφάνεια. Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε ασφαλτος 60/70 και τα ακόλουθα πολυμερή: SBS (styrene-butadiene-styrene), HDPE (high density polyethylene), LDPE (low density polyethylene), EPDM (Ethylene Propylene Diene Monomer) και το δραστικό πολυμερές EGA (ethyl-glycidil methacrylate). Η τροποποίηση της ασφάλτου πραγματοποιήθηκε σε πιλοτικής κλίμακας αναδευτήρα υψηλής διάτμησης. Για την αξιολόγηση της σταθερότητας κατά την αποθήκευση των μιγμάτων τροποποιημένης ασφάλτου που παρασκευάστηκαν μελετήθηκαν οι βισκοελαστικές και συνεκτικές ιδιότητες δειγμάτων που συλλέχθηκαν σε μετά από διαφορετικές περιόδους αποθήκευσης από την κορυφή και τον πυθμένα του δοχείου αποθήκευσης.

Η παραγωγή τροποποιημένου ασφαλτομίγματος με την ξηρή μέθοδο, έχει επίσης μελετηθεί εργαστηριακά από πολλούς ερευνητές.

Η τροποποίηση ασφάλτου με την ξηρή μέθοδο αναπτύχθηκε στην Σουηδία το τέλος της δεκαετίας του 1960 και είναι μια τεχνολογία πατενταρισμένη και εμπορικά διαθέσιμη με την ονομασία PlusRide. Με αυτή την διεργασία προστίθεται 1-3% τρίμμα ελαστικού κατά βάρος στο ασφαλτόμιγμα. Το τρίμμα ελαστικού είναι κοκκομετρίας από 2 έως 4,2 mm [12].

Ο E. Στούλος [13] στην εργασία του μελέτησε την υποκατάσταση άμμου με ανακυκλωμένο PET. Η επιλογή της αντικατάστασης της άμμου έγινε εξαιτίας της

βιβλιογραφίας κατά την οποία, στις περιπτώσεις που χρησιμοποιήθηκε PET υλικό, όταν αντικαταστάθηκε μεγάλη ποσότητα χονδρόκοκκων υλικών δεν επιτεύχθηκε αύξηση της ευστάθειας ενώ κατά την αντικατάσταση λεπτόκοκκου υλικού σε μικρότερες περιεκτικότητες επιτεύχθηκε αύξηση της ευστάθειας του ασφαλτομίγματος. Είναι απαραίτητο βέβαια να σημειωθεί ότι στις περιπτώσεις που μελετήθηκαν στην βιβλιογραφία το υλικό ήταν κοκκώδες και όχι στην μορφή των νιφάδων όπως στην περίπτωση που μελετήθηκε στην συγκεκριμένη εργασία.

Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε αντικατάσταση της άμμου σε κατ' όγκο ποσοστά 25, 50 και 75% ώστε να δημιουργηθούν 4 διαφορετικά ασφαλτομίγματα. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την δημιουργία πολύ ελαφρύτερων ασφαλτομιγμάτων που θα χρησιμοποιούνταν για ειδικές κατασκευαστικές εφαρμογές. Η σύνθεση των αδρανών στα ασφαλτομίγματα περιείχε 40% χαλίκι, 32% γαρμπίλι και 28% άμμο. Με την σύνθεση αυτή δημιουργήθηκε η σειρά δοκιμών M<sub>0</sub>. Η σειρά δοκιμών M<sub>75</sub> περιείχε ίδια ποσότητα χαλικιών και γαρμπίλιου, ωστόσο η άμμος αντικαταστάθηκε κατά όγκο σε ποσοστό 75%. Αυτό σημαίνει ότι το κλάσμα της άμμου αποτελούνταν από 25% κατά όγκο με άμμο και το υπόλοιπο κλάσμα άμμου αντικαταστάθηκε με ελαφρύτερο πλαστικό υλικό. Αντίστοιχα δημιουργήθηκαν και οι σειρές δοκιμών M<sub>50</sub> και M<sub>25</sub>. Τέλος δημιουργήθηκε και ακόμα μια σειρά δοκιμών M<sub>75\_2</sub> η οποία περιείχε μεγαλύτερη περιεκτικότητα ασφάλτου καθώς η σειρά δοκιμών M<sub>75</sub> δεν έδειξε καμία συνεκτικότητα και κατέρρευσε. Αυτό οφείλεται κυρίως στην πολύ μικρή περιεκτικότητα λεπτόκοκκου υλικού που περιείχε η σειρά αυτή των δοκιμών που οδήγησε σε ένα εξαιρετικά σαθρό και εύθραυστο δοκίμιο. Από το γεγονός και μόνο το δοκίμιο M<sub>75\_2</sub> κατάφερε να διατηρήσει την κυλινδρική μορφή του δοκιμίου και έδειξε μια κάποια αντοχή αποτελεί μια απόδειξη ότι με μεγαλύτερη ποσότητα ασφάλτου επιτυγχάνεται συγκόλληση ωστόσο αυτό είναι τόσο αντιοικονομικό αλλά και αντιοικολογικό. Η περιεκτικότητα σε ασφαλτο της σειράς δοκιμών M<sub>75\_2</sub> ήταν 5,68% κ.β. ασφαλτομίγματος δηλαδή περίπου 15% περισσότερη ασφαλτος. Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης φάνηκε ότι η αντοχή των δοκιμών ήταν πολύ

μικρή και η συγκόλληση των πλαστικών δεν είναι επαρκής με την χρήση ασφαλτικού γαλακτώματος.



Εικ. 2: Τα δοκίμια M<sub>0</sub> από πλάγια όψη



Εικ. 3: Τα δοκίμια M<sub>75\_2</sub> από πλάγια όψη

Παρατηρώντας τις δύο εικόνες βλέπουμε ότι η επιφάνεια του δοκιμίου με τα πλαστικά είναι αρκετά πιο τραχεία και ακόμη παρατηρούνται μεγάλες κοιλότητες στην επιφάνεια. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στην απουσία λεπτόκοκκου υλικού και την δημιουργία μεγαλύτερων και περισσότερων κενών στην δομή του ασφαλτομίγματος.

Η χρήση του ανακτημένου ασφαλτομίγματος (RAP), παρουσιάζει αρκετά μεγάλη αύξηση τις τελευταίες τρεις δεκαετίες. Πιο συγκεκριμένα η χρήση ανακτημένου ασφαλτομίγματος αποτελεί συνήθη πρακτική στην κατασκευή ή στη βελτίωση οδοστρωμάτων σε πολλές χώρες. Το RAP αποτελείται από ασβεστολιθικά αδρανή και άσφαλτο, τα οποία είναι αναγκαίο να ελεγχθούν ως προς τις ιδιότητές τους. Τα ανακτημένα αδρανή, έπειτα από το διαχωρισμό τους από το συνδετικό υλικό, ελέγχονται για τον προσδιορισμό των φυσικών ιδιοτήτων τους, όπως ακριβώς και τα παρθένα αδρανή. Αξίζει να τονισθεί ότι, όσον αφορά τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων των αδρανών, που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε ανακυκλωμένα ασφαλτομίγματα, οι δοκιμές αναφέρονται στο τελικό μίγμα των αδρανών (ανακτημένα και παρθένα) και δεν επιβάλλεται ο έλεγχος των δύο μερών ξεχωριστά. Παρ' όλα αυτά, η γνώση των ιδιοτήτων των ανακτημένων αδρανών βοηθά τον

κατασκευαστή να καθορίσει το ποσοστό του RAP που θα χρησιμοποιήσει ώστε να πετύχει τις επιθυμητές ιδιότητες στο τελικό μίγμα. Με την ανακύκλωση παλαιών οδοστρωμάτων επιτυγχάνεται ουσιαστική οικονομία, προστασία του περιβάλλοντος και εξοικονόμηση μεγάλων ποσών ενέργειας, ενώ από αποτελέσματα δοκιμών [14] προκύπτει πως η χρήση ανακυκλωμένου ασφαλτομίγματος μπορεί να προσφέρει το ίδιο ικανοποιητικές λύσεις σε τεχνικά έργα με τη χρήση συμβατικού ασφαλτομίγματος.

## Βιβλιογραφία

- [1] Μπίκος Χ. Καταγραφή και ανάλυση του δικτύου διανομής και παραγωγής ασφαλτομίγματος με τρίμμα φθαρμένου ελαστικού στην Ελλάδα. 2011.
- [2] Kök BV, Çolak H. Laboratory comparison of the crumb-rubber and SBS modified bitumen and hot mix asphalt. *Construction and Building Materials* 2011;25:3204–12. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.03.005.
- [3] Βλαχόπουλος ΧΒ, Ματίκας ΘΕ, Σταμουλάκης Γ. Τροποποίηση ασφάλτου με τρίμμα ανακυκλωμένου ελαστικού και μη-καταστροφικός έλεγχος ασφαλτομίγματος με υπερήχους. 10 Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Στοιχείων, ΤΕΕ, Αθήνα, 21-23 Μαΐου, 2008.
- [4] Özen H, Aksoy A, Tayfur S, Çelik F. Laboratory performance comparison of the elastomer-modified asphalt mixtures. *Building and Environment* 2008;43:1270–7. doi:10.1016/j.buildenv.2007.03.010.
- [5] Yan KZ, He W, Chen M, Liu W. Laboratory investigation of waste tire rubber and amorphous poly alpha olefin modified asphalt. *Construction and Building Materials* 2016;129:256–65. doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.10.090.
- [6] Airey GD. Rheological properties of styrene butadiene styrene polymer modified road bitumens. *Fuel* 2003;82:1709–19. doi:10.1016/S0016-2361(03)00146-7.
- [7] García-Morales M, Partal P, Navarro FJ, Gallegos C. Effect of waste polymer addition on the rheology of modified bitumen. *Fuel* 2006;85:936–43. doi:10.1016/j.fuel.2005.09.015.
- [8] Garcia-Morales M, Partal P, Navarro FJ, Martinez-Boza FJ, Gallegos C. Processing, Rheology, and Storage Stability of Recycled EVA/LDPE Modified Bitumen. *Polymer Engineering & Science* 2007;47:181–91. doi:10.1002/pen.
- [9] Vasiljevic-Shikaleska A, Popovska-Pavlovska F, Cimmino S, Duraccio D, Silvestre C. Viscoelastic Properties and Morphological Characteristics of Polymer-Modified Bitumen Blends. *Journal of Applied Polymer Science* 2010;118:1320–30. doi:10.1002/app.

- [10] Topal A. Evaluation of the properties and microstructure of plastomeric polymer modified bitumens. *Fuel Processing Technology* 2010;91:45–51. doi:10.1016/j.fuproc.2009.08.007.
- [11] A. Perez-Lepe, Martinez-Boza FJ, Gallegos C. High Temperature Stability of Different Polymer-Modified Bitumens: A Rheological Evaluation. *Journal of Applied Polymer Science* 2007;103:1166–74. doi:10.1002/app.
- [12] FHWA. Scrap Tires - User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction - FHWA-RD-97-148 1997. <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/97148/st3.cfm> (accessed April 17, 2019).
- [13] Στουλος ΕΒ. Ασφαλτομίγματα με ανακυκλωμένα πλαστικά υλικά. 2018.
- [14] Νικήτα Ε, Κεχαγιά Φ, Λουπασάκης Κ. ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΗΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ ΣΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΟΔΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ 2016.