

**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-01656

Π 1.2 Εξέταση εφαρμογών τροποποιημένου ασφαλτομίγματος στην Ευρώπη και ανάλυση μεθόδων αύξησης ανακύκλωσης RAP.

Υπεύθυνος Δράσης:



**ECOELASTIKA AE**

Οικολογική Διαχείριση Ελαστικών  
Σωρού 14, 151 25 Μαρούσι  
Τηλ: 2106128260 • 2106128370  
Fax: 2106128659

Υπεργολάβος:

**ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΕΡΕΥΝΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ  
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**



ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΧΗΜΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ & ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Υποκατάστημα: 4<sup>ο</sup> χλμ. Πτολεμαΐδας-Μποδοσασκείου 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



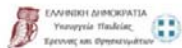
ΑΘΗΝΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2018



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Ταμείο  
Περιφερειακής Ανάπτυξης



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ  
ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΩΝ  
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Υπουργείο Παιδείας  
Εθνικος και Αθλητικός Οργανισμός



ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ  
ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



ΕΥΑΕ  
ΕΤΟΚ



ΕΠΑνεΚ 2014-2020  
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ  
ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ  
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ



ΕΣΠΑ  
2014-2020  
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

## Πίνακας Περιεχομένων

1.	Εισαγωγή.....	3
1.1.	Σκοπός παραδοτέου .....	3
1.2.	Άσφαλτος και ασφαλτικά μίγματα.....	3
1.2.1.	Άσφαλτος οδοστρωσίας.....	3
1.2.2.	Ασφαλτικά μίγματα.....	5
2.	Τροποποίηση ασφάλτου .....	9
2.1.	Ιστορική ανασκόπηση .....	10
2.2.	Τροποποίηση ασφάλτου με πολυμερή.....	12
2.2.1.	Πλαστομερή .....	13
2.2.2.	Θερμοπλαστικά ελαστομερή.....	14
2.3.	Τροποποίηση ασφάλτου με ελαστικά τέλους κύκλου ζωής.....	16
2.3.1.	Υγρή διαδικασία .....	17
2.3.2.	Ξηρή διαδικασία .....	19
3.	Εφαρμογές τροποποιημένης ασφάλτου στην Ευρώπη .....	21
4.	Αύξηση ανακύκλωσης RAP με τροποποιημένη άσφαλτο .....	24
4.1.	Ανακύκλωση RAP.....	24
4.2.	Ανακύκλωση RAP με χρήση τροποποιημένης ασφάλτου.....	26
	Βιβλιογραφία.....	28

## 1. Εισαγωγή

### 1.1. Σκοπός παραδοτέου

Στόχος του Παραδοτέου 1.2 «Εξέταση εφαρμογών τροποποιημένης ασφάλτου στην Ευρώπη και ανάλυση μεθόδων αύξησης ανακύκλωσης RAP» είναι να αποτυπώσει τα ευρήματα της Δράσης 1.2, όπου έγινε ανασκόπηση της βιβλιογραφίας για success stories εφαρμογής τροποποιημένου ασφαλτομίγματος όχι μόνο με τρίμμα ελαστικού αλλά και άλλα είδη τροποποιητών όπως ελαστομερή και πλαστομερή. Επίσης διερευνήθηκαν τεχνικά στοιχεία κατά την τροποποίηση της ασφάλτου για την πρόσδοση και βελτίωση ιδιοτήτων και έγινε σύγκριση μεταξύ τροποποιητών. Τέλος, έγινε ανάλυση μεθόδων για την αύξηση ανακύκλωσης RAP με τροποποιημένη άσφαλτο.

### 1.2. Άσφαλτος και ασφαλτικά μίγματα

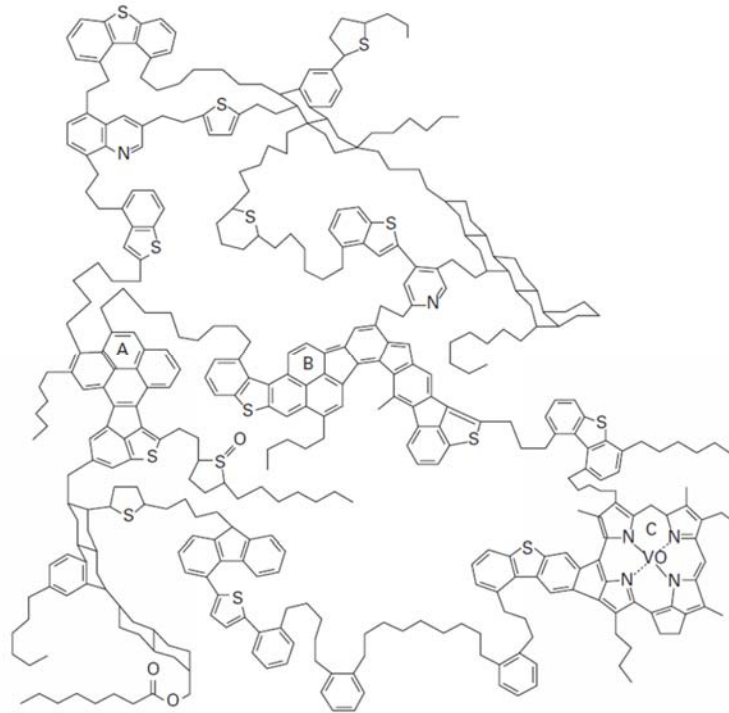
#### 1.2.1. Άσφαλτος οδοστρωσίας

Η πετρελαϊκή άσφαλτος είναι υπόλειμμα της διύλισης αργού πετρελαίου. Είναι ένα υλικό που χρησιμοποιείται ευρέως για την κατασκευή οδοστρωμάτων, για την αδιαβροχοποίηση υλικών και για εφαρμογές οροφών. Πρόκειται για ένα πολύπλοκο μίγμα και οι κύριες κατηγορίες συστατικών της ασφάλτου είναι:

- Κορεσμένα
  - Αρωματικά
  - Ρητίνες
  - Ασφαλτένια
- } Μαλτένια

Τα κορεσμένα και τα αρωματικά μπορούν να θεωρηθούν σαν φορείς των πολικών αρωματικών, δηλαδή των ρητινών και των ασφαλτενίων. Η περιεκτικότητα της ασφάλτου σε ασφαλτένια επηρεάζει άμεσα τις ρεολογικές ιδιότητές της. Αύξηση του

ποσοστού των ασφαλτενίων συνεπάγεται άσφαλτο με χαμηλή διεισδυτικότητα και υψηλό σημείο μάλθωσης.



Σχήμα 1: Υποθετικό μόριο ασφαλτενίου[1]

Άσφαλτοι οδοστρωσίας υπάρχουν πλέον του ενός τύπου. Ανάλογα των κυκλοφοριακών και κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν στο έργο χρησιμοποιείται ο κατάλληλος τύπος (ουσιαστικά σκληρότερη ή μαλακότερη άσφαλτος). Σε έργα με υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο και/ή με μέτρια ή υψηλή μέση θερμοκρασία αέρος απαιτείται υποχρεωτικά η χρήση σκληρής ασφάλτου.

Σύμφωνα με τις Ευρωπαϊκές προδιαγραφές για ασφάλτους οδοστρωσίας (EN 12591), υπάρχουν εννέα (9) διακεκριμένες κατηγορίες ασφάλτων, αρχίζοντας από την πολύ σκληρή άσφαλτο 20/30 έως την πολύ μαλακιά 250/330. Ο χαρακτηρισμός της ασφάλτου γίνεται με βάση την διεισδυτικότητά της. Η άσφαλτος 50/70 είναι μία από τις εννέα και είναι ο τύπος ασφάλτου που χρησιμοποιείται στην πλειοψηφία των έργων οδοποιίας στην Ελλάδα. Οι κλιματολογικές συνθήκες της Ελλάδος είναι τέτοιες, που ανεξάρτητα του κυκλοφοριακού φόρτου, αποκλείουν την χρήση τριών μαλακών ασφάλτων (100/150

και πάνω), πλην όμως επιβάλλουν την χρήση των υπολοίπων. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της Γαλλίας και της Αγγλίας, και όχι μόνο, όπου χρησιμοποιούνται σκληρές ασφαλτοί όπως τύπου 35/50, 30/45 ή ακόμη και 20/30, σε ασφαλτικές εργασίες αυτοκινητοδρόμων.

Οι κύριες ιδιότητες που εξετάζονται σε μία ασφαλτο, εκτός από την διεισδυτικότητα, είναι το σημείο μάλθωσης, το δυναμικό ιξώδες, το σημείο θραύσης κατά Fraass και μετά από γήρανση η διεισδυτικότητα και το σημείο μάλθωσης.

Η **διεισδυτικότητα** (EN 1426) είναι η απόσταση σε δέκατα του χιλιοστού του μέτρου που μια πρότυπη βελόνα διανύει με διείσδυση κάθετα στο δείγμα σε καθορισμένες συνθήκες θερμοκρασίας, φορτίου και χρόνου.

Η ασφαλτος δεν παρουσιάζει ένα σαφές σημείο τήξης. Ο προσδιορισμός της αλλαγής σκληρότητάς μια ασφάλτου, δηλαδή σε ποια θερμοκρασία το υλικό μετατρέπεται από εύθραυστο ή υπερβολικά παχύρρευστο υγρό σε λιγότερο ιξώδες υγρό, γίνεται με τον προσδιορισμό του **σημείου μάλθωσης** (EN 1427).

Το **σημείο θραύσης κατά Fraass** (EN12593), είναι η θερμοκρασία στην οποία παρουσιάζεται η πρώτη ρωγμή στην επικάλυψη μια λεπτής, επίπεδης χαλύβδινης πλάκας, που κάμπτεται υπό φθίνουσα θερμοκρασία. [2–5]

### 1.2.2. Ασφαλτικά μίγματα

Η χρήση της ασφάλτου στην οδοποιία είναι ευρύτατη με τη μορφή ασφαλτικών σκυροδεμάτων. Τα ασφαλτικά σκυροδέματα είναι κονιάματα με συνδετικό υλικό από ασφαλτό και αδρανή με συγκεκριμένες κοκκομετρικές διαβαθμίσεις. Είναι ομοιογενή υλικά, τα οποία παρασκευάζονται με την ανάμιξη θερμών και ξηρών αδρανών υλικών μαζί με κατάλληλη θερμή ασφαλτο.

Οι κύριες παράμετροι που χαρακτηρίζουν ένα αδρανές υλικό για χρήση σε ασφαλτικά μίγματα είναι:

- η κοκκομετρική διαβάθμιση

- οι προσμίξεις
- η σαθρότητα του πετρώματος
- η απορροφητικότητα
- η χημική συγγένεια με το ασφαλικό συνδετικό

Τα αδρανή πρέπει να είναι απαλλαγμένα από επιβλαβείς αργιλικές και οργανικές προσμίξεις, επικαλύψεις κόκκων, σβόλους και εύθρυπτα τεμάχια. Ειδικά οι αργιλικές προσμίξεις είναι ισχυρά υδρόφιλες, με τάση διόγκωσης.

Τα χονδρόκοκκα κλάσματα θα πρέπει να είναι απαλλαγμένα από αποσαθρωμένα τεμάχια και περιβλήματα. Μ' αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται η αντοχή του ασφαλτοτάπητα στην απότριψη της επιφάνειάς του από τους τροχούς των οχημάτων και αποφεύγεται η αυλάκωση και αποδιοργάνωση του οδοστρώματος.

Το πορώδες των υλικών πρέπει να είναι μικρό, ώστε να μην απορροφούν άσφαλτο εσωτερικά. Σε αντίθετη περίπτωση την άσφαλτο που θα απορροφήσουν θα την αποβάλουν αργότερα κατά την λειτουργία του έργου και θα δημιουργήσουν λεία επιφάνεια στο οδόστρωμα.

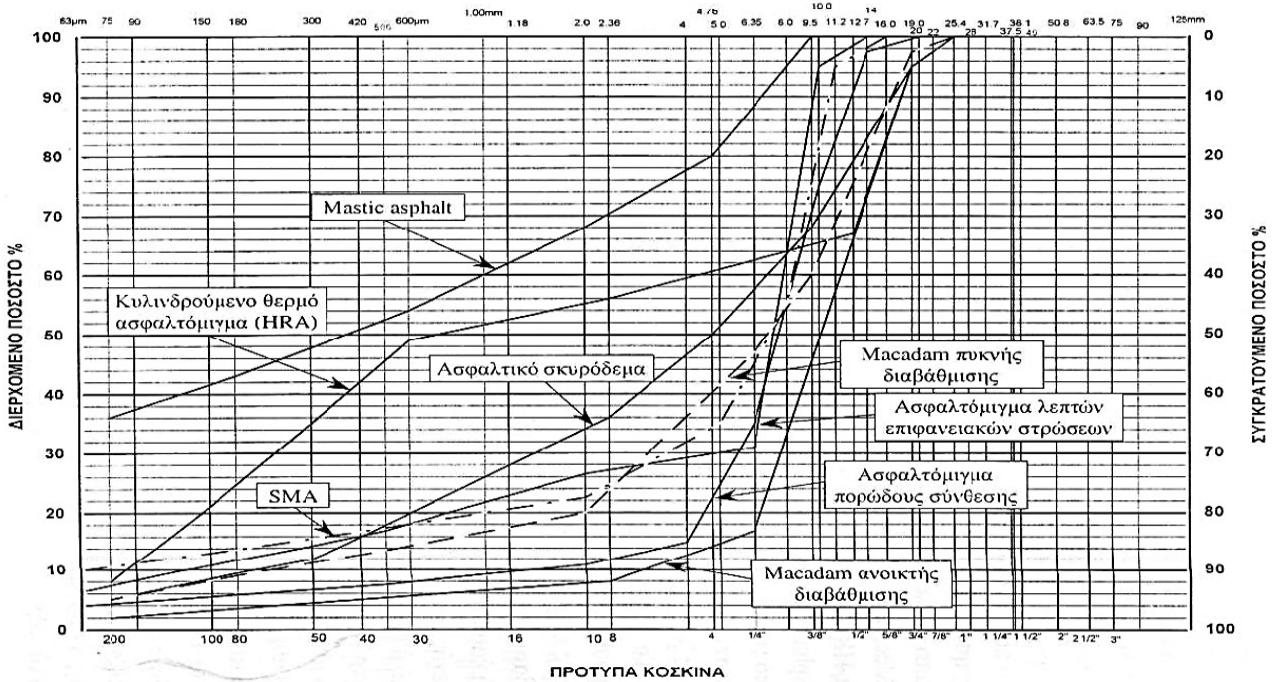
Οι τύποι των ασφαλτομιγμάτων χαρακτηρίζονται από την κοκκομετρική διαβάθμιση του μίγματος των αδρανών. Έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τύποι ασφαλτομιγμάτων, όπως το ασφαλικό σκυρόδεμα, τα μίγματα Macadam, το κυλινδρούμενο θερμό ασφαλτόμιγμα (Hot Rolled Asphalt: HRA), η μαστίχη ασφάλτου (Mastic asphalt). Τα τελευταία 30 χρόνια αναπτύχθηκαν ασφαλτομίγματα με βελτιωμένες ιδιότητες, όπως το ασφαλτόμιγμα πορώδους σύνθεσης (porous asphalt), η ασφαλική σκυρομαστίχη (Stone Mastic Asphalt: SMA) και το ασφαλτόμιγμα για λεπτές επιφανειακές στρώσεις (thin surfacing).

Το βασικό χαρακτηριστικό όλων των ασφαλτομιγμάτων είναι η κοκκομετρική καμπύλη του μίγματος των αδρανών που μπορεί να είναι συνεχής ή μη συνεχής, όταν δηλαδή υπάρχουν όλα τα κλάσματα των αδρανών σε κάποιο ποσοστό ή αντίστοιχα κάποια κλάσματα αδρανών δεν υπάρχουν ή βρίσκονται σε πολύ μικρή ποσότητα. Αναλόγως της

ποσότητας του κάθε κλάσματος αδρανών, τα μίγματα χαρακτηρίζονται ως ανοικτής, μέσης, πυκνής ή πολύ πυκνής διαβάθμισης ασφαλτομίγματα. Το μίγμα με τα περισσότερα κενά αέρος είναι το μίγμα πορώδους σύνθεσης και το ανοικτής διαβάθμισης Macadam, ενώ το μίγμα με τα λιγότερα κενά αέρος είναι η ασφαλτική μαστίχη. Τα υπόλοιπα μίγματα κατά φθίνουσα σειρά κενών αέρα είναι: το ασφαλτόμικγμα για λεπτές επιφανειακές στρώσεις, το πυκνής διαβάθμισης Macadam, το ασφαλτικό σκυρόδεμα, η ασφαλτική σκυρομαστίχη και το θερμό κυλινδρούμενο ασφαλτόμικγμα.

Τα ασφαλτομίγματα οφείλουν την αντοχή τους σε δυο βασικούς παράγοντες: στη δυσκαμψία του ασφαλτοκονιάματος (άσφαλτος/ άμμος/ παιπάλη) και στην τριβή και σύμπλεξη των αδρανών μεταξύ τους. Στον πρώτο παράγοντα οφείλει αποκλειστικά και μόνο την αντοχή της η ασφαλτική μαστίχη, ενώ η αντοχή του μίγματος ανοικτής διαβάθμισης Macadam οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στην τριβή και σύμπλεξη των αδρανών.

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται οι κοκκομετρικές διαβαθμίσεις τυπικών ασφαλτομιγμάτων. [5]



Σχήμα 2: Κοκκομετρικές διαβαθμίσεις τυπικών ασφαλτομιγμάτων

Η άσφαλτος για να διατηρεί τις συνδετικές της ικανότητες πρέπει να παραμένει πλαστική. Μέρος της πλαστικότητάς της χάνεται όταν η άσφαλτος εκτίθεται σε καιρικές επιδράσεις. Η γήρανση της ασφάλτου και η προοδευτική σκλήρυνσή της μέσα στην επίστρωση του οδοστρώματος προκαλεί ρωγμές με τριχοειδή μορφή, που με την πάροδο του χρόνου ανοίγουν και επιτρέπουν την διόδο του νερού στο οδοστρώμα, με αποτέλεσμα την μείωση της φέρουσας ικανότητας της βάσεως του οδοστρώματος. Επίσης, σε χαμηλές θερμοκρασίες, το νερό που εισήλθε στο σώμα της οδού, πήζει και προκαλεί θραύση του οδοστρώματος. Η κύρια αιτία της γήρανσης της ασφάλτου είναι η οξείδωση και η εξαφάνιση των πηκτικών συστατικών της. Η επίδραση της υπερϊώδους ακτινοβολίας, η σκλήρυνσης λόγω ηλικίας και η έκπλυση από το νερό συμβάλλουν επίσης στην γήρανση της ασφάλτου. Η επιφανειακή οξείδωση της ασφάλτου στις κατασκευές προέρχεται και από την επίδραση του φωτός, την φωτοοξείδωση και είναι περισσότερο έντονη στις ελαφρές ασφαλτικές επαλείψεις.



## 2. Τροποποίηση ασφάλτου

Έχει αποδειχτεί ότι η προσθήκη στην ασφάλτο μικρών ποσοτήτων πολυμερών οδηγεί σε βελτιωμένες ιδιότητες και, συνεπώς σε σημαντική αύξηση της διάρκειας ζωής του οδοστρώματος. Η τροποποίηση της ασφάλτου με πολυμερή μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα πιο ελαστική ασφάλτο σε χαμηλές θερμοκρασίες και βελτιωμένες βισκοελαστικές ιδιότητες σε υψηλές θερμοκρασίες, που αποτρέπουν σε μεγάλο βαθμό την μόνιμη παραμόρφωση του οδοστρώματος.

Ένας τροποποιητής ασφάλτου θα πρέπει:

- Να είναι άμεσα διαθέσιμος
- Να μην διασπάται στις θερμοκρασίες ανάμιξης
- Να είναι αναμίξιμος με την ασφάλτο
- Να βελτιώνει την αντίσταση στην ροή σε υψηλές θερμοκρασίες οδοστρώματος αλλά χωρίς να αυξάνει υπερβολικά το ιξώδες στις θερμοκρασίες ανάμιξης και διάστρωσης ή να κάνει την ασφάλτο υπερβολικά άκαμπτη ή εύθρυπτη σε χαμηλές θερμοκρασίες οδοστρώματος.

Επίσης, κατά την ανάμιξη με την ασφάλτο θα πρέπει:

- Να διατηρούνται οι βελτιωμένες ιδιότητες κατά την αποθήκευση, την εφαρμογή και κατά την χρήση
- Να είναι δυνατή η επεξεργασία με συμβατικό εξοπλισμό
- Να είναι το μίγμα φυσικά και χημικά σταθερό κατά την αποθήκευση, την εφαρμογή και κατά την χρήση
- Να μπορεί να επιτευχθεί ιξώδες επικάλυψης ή ψεκασμού σε κανονικές θερμοκρασίες εφαρμογής.

Οι μηχανικές ιδιότητες της ασφάλτου εξαρτώνται σημαντικά από τις συνθήκες επεξεργασίας που θα επιλεγούν. Είναι απαραίτητο να επιλεγούν οι κατάλληλες

συνθήκες, θερμοκρασία και χρόνος λειτουργίας, ώστε το τελικό προϊόν να έχει τις επιθυμητές ιδιότητες.[1,2,6]

### 2.1. Ιστορική ανασκόπηση

Η τροποποίηση της ασφάλτου με πολυμερή έχει μακρά ιστορία. Πριν ακόμα αρχίσει η παραγωγή ασφάλτου από διύλιση, υπάρχουν πατέντες τροποποίησης φυσικής ασφάλτου με φυσικό καουτσούκ. Η χρήση συνθετικών πολυμερών ξεκίνησε μετά το τέλος του Δεύτερου Παγκοσμίου Πολέμου. Τα πρώτα δοκιμαστικά έργα στην Ευρώπη ξεκίνησαν την δεκαετία του 1930, ενώ το λάτεξ νεοπρενίου (πολυχλωροπρένιο) ξεκίνησε να χρησιμοποιείται στην Βόρεια Αμερική από την δεκαετία του 1950.

Τα περισσότερα συνήθη πλαστομερή άρχισαν να παράγονται εμπορικά πριν το 1960. Όσο αφορά τα θερμοπλαστικά ελαστομερή, το πρώτο εμπορικό προϊόν από Στυρένιο-βουταδιένιο-στυρένιο (SBS) αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ το 1965. Αρχικά, τα εμπορικά αυτά πολυμερή χρησιμοποιούνταν κυρίως από τις βιομηχανίες συσκευασίας, καουτσούκ, υποδημάτων και συγκολλητικών.

Η χρήση τροποποιημένης ασφάλτου έγινε πρώτα σε στέγες και αργότερα σε οδοστρώματα. Το 1940 κατοχυρώθηκε πατέντα για την τροποποίηση ασφάλτου με πολυισοβουτυλένιο. Το 1965, το ατακτικό πολυπροπυλένιο (APP), το οποίο είναι παραπροϊόν της παραγωγής του ισοτακτικού πολυπροπυλενίου (IPP), χρησιμοποιήθηκε στην Ιταλία για την τροποποίηση ασφάλτου για στέγες και το πρώτο εμπορικό προϊόν άρχισε να διατίθεται το 1967. Το SBS άρχισε να χρησιμοποιείται ευρέως στην Ευρώπη στις αρχές του 1970. Την δεκαετία του 1970, ερευνητές απέδειξαν ότι η προσθήκη πολυμερών στην ασφαλτο, συμπεριλαμβανομένων των πλαστομερών και των θερμοπλαστικών ελαστομερών, μπορούσε να βελτιώσει τις ιδιότητες της ασφάλτου, όπως να μειώσει την ευαισθησία σε μεταβολές της θερμοκρασίας και να αυξήσει την ανθεκτικότητα στις μόνιμες παραμορφώσεις.

Στα τέλη του 1970, η Ευρώπη ήταν μπροστά σε σχέση με τις ΗΠΑ στην χρήση τροποποιημένης ασφάλτου. Αυτό συνέβαινε επειδή οι εργολάβοι παρείχαν εγγυήσεις

και ήταν κίνητρο τα μειωμένα κόστη κατά τον κύκλο ζωής, αν και το αρχικό κόστος ήταν μεγαλύτερο.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1990, παρατηρήθηκε αυξημένο ενδιαφέρον στην έρευνα για την τροποποιημένη με πολυμερή ασφάλτο σε πολλές χώρες. Ερευνητές μελέτησαν συστηματικά τις μηχανικές ιδιότητες, τη ρεολογία, την ευαισθησία σε μεταβολές θερμοκρασίας και την γήρανση διαφορετικών ασφάλτων τροποποιημένων με πολυμερή. Σταδιακά βρέθηκαν τόσο τα πλεονεκτήματα όσο και τα μειονεκτήματα των ευρέως χρησιμοποιούμενων τροποποιημένων με πολυμερή ασφάλτων. Από την μια, βγήκε το συμπέρασμα ότι η τροποποίηση με πολυμερή έχει σαν αποτέλεσμα την βελτίωση ιδιοτήτων της ασφάλτου, όπως η υψηλότερη αντίσταση σε ρηγματώσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες και τροχαυλακώσεις σε υψηλές θερμοκρασίες που παρουσιάζει η τροποποιημένη με SBS ασφάλτος. Από την άλλη, αποδείχτηκαν και κάποια μειονεκτήματα, όπως η θερμική αστάθεια κάποιων πολυμερών και προβλήματα διαχωρισμού φάσεων σε κάποιες περιπτώσεις τροποποιημένης με πολυμερή ασφάλτου.

Το 1991 πέρασε νόμος στις ΗΠΑ που ορίζει ότι από το 1994, το 5% των δρόμων που φτιάχνονται με ομοσπονδιακά κεφάλαια θα πρέπει να χρησιμοποιούν ασφάλτο τροποποιημένη με τρίμμα ελαστικού ή πολυμερή. Μέχρι το 1997 το 20% των δρόμων που κατασκευάζονταν με ομοσπονδιακά κεφάλαια έπρεπε να χρησιμοποιούν ανακυκλωμένα ελαστικά.

Μετά το 2000, η έρευνα πάνω στην τροποποιημένη με πολυμερή ασφάλτο επικεντρώνεται κυρίως στην βαθύτερη κατανόηση των μηχανισμών τροποποίησης με πολυμερή και στην προσπάθεια αντιμετώπισης των μειονεκτημάτων κάποιων περιπτώσεων ασφάλτου τροποποιημένης με πολυμερή.[7–9]

## 2.2. Τροποποίηση ασφάλτου με πολυμερή

Σήμερα, τα πολυμερή που χρησιμοποιούνται ευρέως για την τροποποίηση ασφάλτου μπορούν να χωριστούν σε δυο κατηγορίες: τα πλαστομερή και τα θερμοπλαστικά ελαστομερή. Τα πλαστομερή έχουν μικρή ή καθόλου ελαστικότητα με αποτέλεσμα την ταχεία πρώιμη καταπόνησή τους υπό φορτίο και την ακόλουθη μόνιμη παραμόρφωση ή αστοχία λόγω ευθρυπτότητας. Τα θερμοπλαστικά ελαστομερή μαλακώνουν με την θέρμανση, σκληραίνουν με την ψύξη και είναι ικανά να αντισταθούν στις μόνιμες παραμορφώσεις υπό φορτίο και να επανέρχονται ελαστικά όταν αφαιρείται το φορτίο. Για τον λόγο αυτό τα θερμοπλαστικά ελαστομερή έχουν μεγαλύτερη επιτυχία σαν τροποποιητές ασφάλτου. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται συγκριτικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάποιων δημοφιλών πολυμερών για τροποποίηση ασφάλτου.[9]

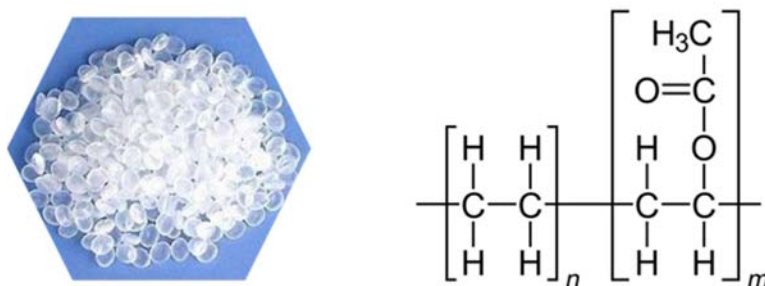
Πίνακας 1: Δημοφιλή πολυμερή για την τροποποίηση ασφάλτου

Κατηγορία	Παράδειγμα	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Πλαστομερή	-Πολυεθυλένιο (PE) -Πολυπροπυλένιο (PP)	-Καλές ιδιότητες σε μεγάλες θερμοκρασίες -Σχετικά χαμηλό κόστος	-Περιορισμένη βελτίωση ελαστικότητας -Προβλήματα διαχωρισμού φάσεων
	-Συμπολυμερές του αιθυλενίου και του οξικού βινυλίου (EVA) -Συμπολυμερές του αιθυλενίου και του ακρυλικού βουτυλίου (EBA)	-Σχετικά καλή σταθερότητα κατά την αποθήκευση -Υψηλή αντοχή στις τροχαυλακώσεις	-Περιορισμένη βελτίωση της ελαστικής επαναφοράς -Περιορισμένη βελτίωση των ιδιοτήτων σε χαμηλές θερμοκρασίες
Θερμοπλαστικά ελαστομερή	-Στυρένιο-βουταδιένιο-στυρένιο (SBS) -Στυρένιο-ισοπρένιο-στυρένιο (SIS)	-Αυξημένη ακαμψία -Μειωμένη ευαισθησία στη θερμοκρασία -Βελτιωμένη ελαστική απόκριση	-Μερικά προβλήματα συμβατότητας -Χαμηλή αντίσταση σε θερμότητα, οξείδωση και υπεριώδη ακτινοβολία -Σχετικά υψηλό κόστος
	-Στυρένιο-αιθυλένιο/βουτυλένιο-στυρένιο (SEBS)	-Αυξημένη αντίσταση σε θερμότητα, οξείδωση και υπεριώδη ακτινοβολία	-Προβλήματα σταθερότητας κατά την αποθήκευση -Σχετικά μειωμένη ελαστικότητα -Υψηλό κόστος

### 2.2.1. Πλαστομερή

Οι πολυολεφίνες είναι από τους πρώτους τροποποιητές ασφάλτου που χρησιμοποιήθηκαν. Πολλές πολυολεφίνες, συμπεριλαμβανομένου του υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλενίου (HDPE), του χαμηλής πυκνότητας πολυαιθυλενίου (LDPE), του γραμμικού χαμηλής πυκνότητας πολυαιθυλενίου (LLDPE), των IPP και APP (ισοτακτικό και ατακτικό πολυπροπυλένιο αντίστοιχα), έχουν μελετηθεί για εφαρμογές τροποποιημένης ασφάλτου λόγω του σχετικά χαμηλού κόστους τους και των πιθανών οφελών που ίσως επιφέρουν. Τα υλικά αυτά συνήθως οδηγούν σε αυξημένη ακαμψία και καλή αντίσταση στις τροχαυλακώσεις της τροποποιημένης ασφάλτου. Ωστόσο, επειδή τα υλικά αυτά δεν αυξάνουν την ελαστικότητα της ασφάλτου και εμφανίζουν προβλήματα σταθερότητας κατά την αποθήκευση, η χρήση τους για τροποποίηση ασφάλτου είναι περιορισμένη.

Περισσότερο χρησιμοποιούμενα πλαστομερή για την τροποποίηση ασφάλτου είναι τα συμπολυμερή του αιθυλενίου, όπως τα EVA και EBA. Τα υλικά αυτά σχηματίζουν ισχυρό δίκτυο μέσα στην τροποποιημένη άσφαλτο, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η αντίσταση στην παραμόρφωση και στις τροχαυλακώσεις σε υψηλές θερμοκρασίες. Και σε αυτή την περίπτωση περιορισμός στην χρήση τους είναι το ότι δεν βελτιώνουν την ελαστικότητα της ασφάλτου.[9]



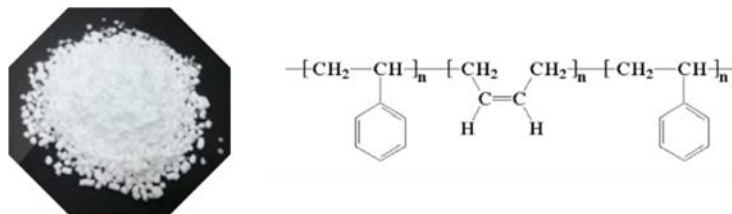
Σχήμα 3: EVA[10]

Στην κατηγορία των πλαστομερών ανήκουν και τα θερμοσκληρυνόμενα υλικά (θερμοσκληρυνόμενες ρητίνες) τα οποία σκληραίνουν αναντίστρεπτα όταν θερμανθούν σε μια θερμοκρασία που εξαρτάται από την χημική τους φύση. Οι μοριακές αλυσίδες

τους σχηματίζουν τρισδιάστατο δίκτυο το οποίο αντιστέκεται σε κάθε θερμοκρασιακή κινητικότητα. Τα πολυμερή αυτά σπάνια χρησιμοποιούνται για την τροποποίηση ασφάλτου, παρά μόνο σε ειδικές εφαρμογές επιφανειακών επαλείψεων που απαιτείται μεγάλη αντοχή σε στίλβωση. [11,12]

### 2.2.2. Θερμοπλαστικά ελαστομερή

Τα θερμοπλαστικά ελαστομερή είναι συνήθως πιο αποτελεσματικά για την τροποποίηση ασφάλτου. Τα πιο δημοφιλή θερμοπλαστικά ελαστομερή για την τροποποίηση ασφάλτου είναι τα συμπολυμερή SBS και SIS. Τα συμπολυμερή SBS αποτελούνται από αλυσίδες στυρενίου-βουταδιενίου-στυρενίου με διφασική μορφολογία περιοχών άκαμπτου πολυστυρενίου (PS) και μήτρα ευκάμπτου πολυβουταδιενίου (PB). Κάτω από συνήθεις θερμοκρασίες χρήσης της ασφάλτου, τα τμήματα πολυστυρενίου είναι υαλώδη και συμβάλουν στην αντοχή του οδοστρώματος, ενώ τα τμήματα πολυβουταδιενίου είναι ελαστικά και προσδίδουν ελαστικότητα στο οδόστρωμα. Η τροποποίηση με SBS αυξάνει το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας και το ιξώδες, βελτιώνει την ελαστική απόκριση και βελτιώνει την αντίσταση σε ρηγματώσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες. Οι πολλές αναφορές για τις καλές ιδιότητες, την σχετικά καλή διασπορά (ή διαλυτότητα) στην ασφάλτο και το αποδεκτό του κόστος έκαναν το SBS δημοφιλή τροποποιητή ασφάλτου.



Σχήμα 4: SBS[13]

Ωστόσο τα συμπολυμερή SBS δεν είναι ιδανικά. Για παράδειγμα, έχουν αναφερθεί προβλήματα αστάθειας κατά την αποθήκευση λόγω κακής συμβατότητας ανάμεσα στην ασφάλτο και το SBS. Πιστεύεται ότι ο διαχωρισμός φάσεων στην τροποποιημένη ασφάλτο μπορεί να οφείλεται στην έλλειψη ελαφρών συστατικών, καθώς τα θερμοπλαστικά ελαστομερή και τα ασφαλτένια της ασφάλτου ανταγωνίζονται για την

απορρόφησή τους. Παρατηρήθηκε ότι άσφαλτος με υψηλή περιεκτικότητα σε αρωματικά και η προσθήκη αρωματικών ελαίων μπορούν να βοηθήσουν στην παραγωγή σταθερών μιγμάτων ασφάλτου με SBS, αν και η πολύ υψηλή περιεκτικότητα σε αρωματικά μπορεί να έχει αρνητική επίδραση στις ιδιότητες της τροποποιημένης ασφάλτου. Ένα άλλο πρόβλημα της τροποποίησης ασφάλτου με το SBS είναι η μικρή του αντίσταση στην θερμότητα, την οξείδωση και την υπεριώδη ακτινοβολία που οφείλεται στην παρουσία διπλών δεσμών και α-H στα τμήματα πολυβουταδιενίου. Τα προβλήματα της μικρής αντίστασης στην θερμότητα, την οξείδωση και την υπεριώδη ακτινοβολία μπορούν να λυθούν με την χρήση κορεσμένων θερμοπλαστικών ελαστομερών, όπως το SEBS, το οποίο όμως έχει προβλήματα συμβατότητας με την άσφαλτο, αυξημένο κόστος και χειρότερες ελαστικές ιδιότητες.[9]

### 2.3. Τροποποίηση ασφάλτου με ελαστικά τέλους κύκλου ζωής

Μετά την απαγόρευση διάθεσης ελαστικών τέλους κύκλου ζωής σε ΧΥΤΑ, η ETRA (European Tyre Recycling Association) πρότεινε το 1999 την χρήση ελαστικών τέλους κύκλου ζωής σε ασφατικά οδοστρώματα. Η αγορά αυτή μπορεί να απορροφήσει μεγάλες ποσότητες ελαστικών και δείχνει να είναι η βέλτιστη περιβαλλοντικά μέθοδος για την ανακύκλωση ελαστικών. Τα ελαστικά τέλους κύκλου ζωής χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τρίμματος και πούδρας ελαστικού τα οποία χρησιμοποιούνται για την τροποποίηση της ασφάλτου.

Η μηχανική επεξεργασία είναι ο πιο διαδεδομένος τρόπος ανακύκλωσης των ελαστικών τέλους κύκλου ζωής. Η διαδικασία περιλαμβάνει τον μηχανικό τεμαχισμό των ελαστικών. Μετά τον αρχικό τεμαχισμό ακολουθεί η περεταίρω μείωση μεγέθους έως ότου το υλικό να έχει την επιθυμητή κοκκομετρία. Το σύρμα και το λινό διαχωρίζονται από το ελαστομερές με ηλεκτρομαγνητικό διαχωρισμό και αεροδιαχωριστές, αντίστοιχα. Με την μηχανική επεξεργασία παράγονται κόκκοι ελαστικού με μεγάλη ειδική επιφάνεια, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό για την χρήση τους για τροποποίηση ασφάλτου.

Είναι ιδιαίτερα ωφέλιμη η χρήση τρίμματος ελαστικού για την τροποποίηση ασφάλτου, καθώς μπορεί να αντικαταστήσει τα πολυμερή που χρησιμοποιούνται για την τροποποίηση της ασφάλτου. Η προσθήκη τρίμματος ελαστικού έχει σαν αποτέλεσμα την αισθητή βελτίωση των ιδιοτήτων της ασφάλτου και των μηχανικών ιδιοτήτων του ασφαλτομίγματος.

Υπάρχουν δυο μέθοδοι για την προσθήκη τρίμματος ελαστικού στην άσφαλο:

- Γρήγη διαδικασία – τροποποίηση ασφάλτου
- Ξηρή διαδικασία – υποκατάσταση μέρους αδρανών με τρίμμα ελαστικού.

Με την πρώτη μέθοδο παράγεται τροποποιημένη άσφαλος, ενώ με την δεύτερη παράγεται τροποποιημένο ασφαλτόμιγμα.

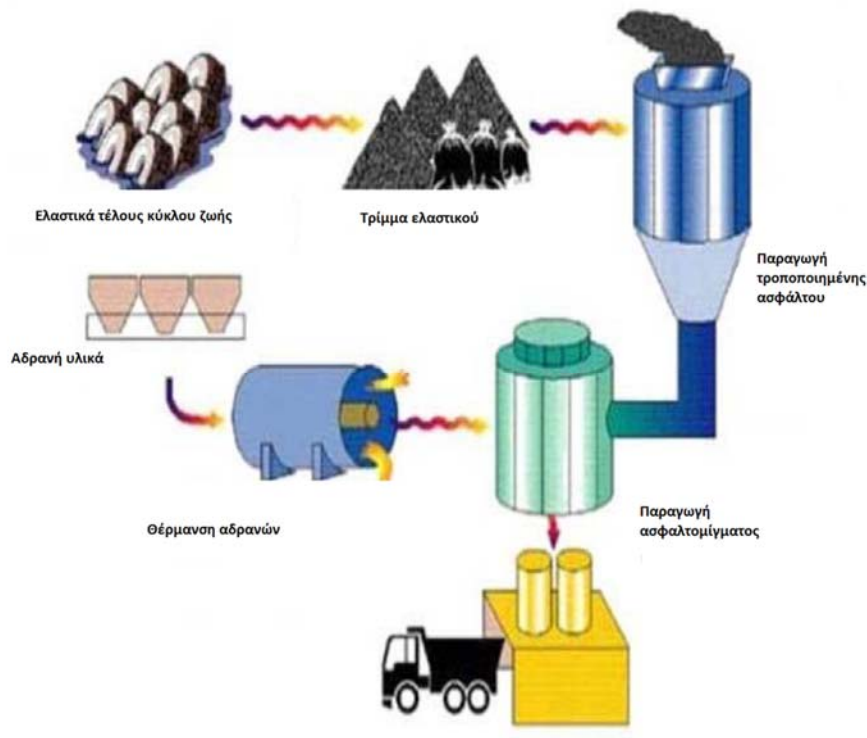


Η βελτίωση των ιδιοτήτων της ασφάλτου εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, όπως το μέγεθος των κόκκων του τρίμματος ελαστικού, τα επιφανειακά χαρακτηριστικά των κόκκων, οι συνθήκες ανάμιξης, οι φυσικοχημικές ιδιότητες της ασφάλτου και η προέλευση της ασφάλτου. [1]

### 2.3.1. Υγρή διαδικασία

Η πρώτη εφαρμογή τροποποιημένης ασφάλτου ήταν στην κατασκευή δρόμου στις Κάννες το 1960. Για την παραγωγή τροποποιημένης ασφάλτου με την υγρή διαδικασία χρησιμοποιείται πούδρα ελαστικού με κοκκομετρία έως 1 mm. Η τροποποίηση πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες από 170°C έως 220°C για 1-3 ώρες. Υψηλότερες θερμοκρασίες έχουν σαν αποτέλεσμα την μείωση της ελαστικότητας της ασφάλτου. Ο βέλτιστος χρόνος ανάμιξης είναι περίπου 2 ώρες. Μεγαλύτεροι χρόνοι ανάμιξης βελτιώνουν τις ιδιότητες της τροποποιημένης ασφάλτου αλλά δεν προτείνονται καθώς αυξάνουν σημαντικά το κόστος παραγωγής.

Οι ιδιότητες της τροποποιημένης ασφάλτου εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως οι ιδιότητες της ασφάλτου, οι ιδιότητες του ελαστικού, η διάρκεια και η θερμοκρασία της παραγωγής της τροποποιημένης ασφάλτου, ο τρόπος και η ένταση της ανάμιξης και οι ιδιότητες των πρόσθετων που χρησιμοποιήθηκαν. Η ομοιογένεια της τροποποιημένης ασφάλτου, η ρεολογική της συμπεριφορά και η αντίστασή της στην γήρανση εξαρτώνται από την χημική σύσταση της ασφάλτου, την περιεκτικότητα σε τρίμμα και την κοκκομετρία του τρίμματος ελαστικού. Επιπλέον, η ειδική επιφάνεια των σωματιδίων ελαστικού εξαρτάται από την μέθοδο τεμαχισμού. Επίσης, η χημική σύνθεση του ελαστομερούς και η καθαρότητά του επηρεάζουν σημαντικά την διεργασία τροποποίησης και καθορίζουν τις τελικές ιδιότητες της τροποποιημένης ασφάλτου.



Σχήμα 5: Τροποποίηση ασφάλτου με ελαστικά - Γρήγη διαδικασία[14]

Η ποσότητα ελαστικού που χρησιμοποιείται ποικίλει σε πολλές χώρες από χαμηλά ποσοστά (5-12%) έως και 22% κατά βάρος ασφάλτου. Η υψηλότερη περιεκτικότητα σε ελαστομερές προκαλεί επιθυμητή αύξηση στις βισκοελαστικές ιδιότητες της τροποποιημένης ασφάλτου.

Η κοκκομετρία και η ειδική επιφάνεια του τρίμματος ελαστικού καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό το ιξώδες της τροποποιημένης ασφάλτου. Η χημική σύσταση του ελαστομερούς επηρεάζει την ποιότητα της τροποποιημένης ασφάλτου. Το ελαστομερές αποτελείται από συνθετικό και φυσικό καουτσούκ, πληρωτικά, αρωματικά έλαια, θείο και άλλα χημικά πρόσθετα. Ένα ελαστικό περιέχει περίπου 50% ελαστομερή συστατικά. Οι πιο συνηθισμένες επιμολύνσεις του τρίμματος ελαστικού είναι νερό, ίνες λινού και σύρμα. Οι συνθήκες ανάμιξης του τρίμματος ελαστικού με την άσφαλτο επηρεάζουν επίσης τις ιδιότητες της ασφάλτου.

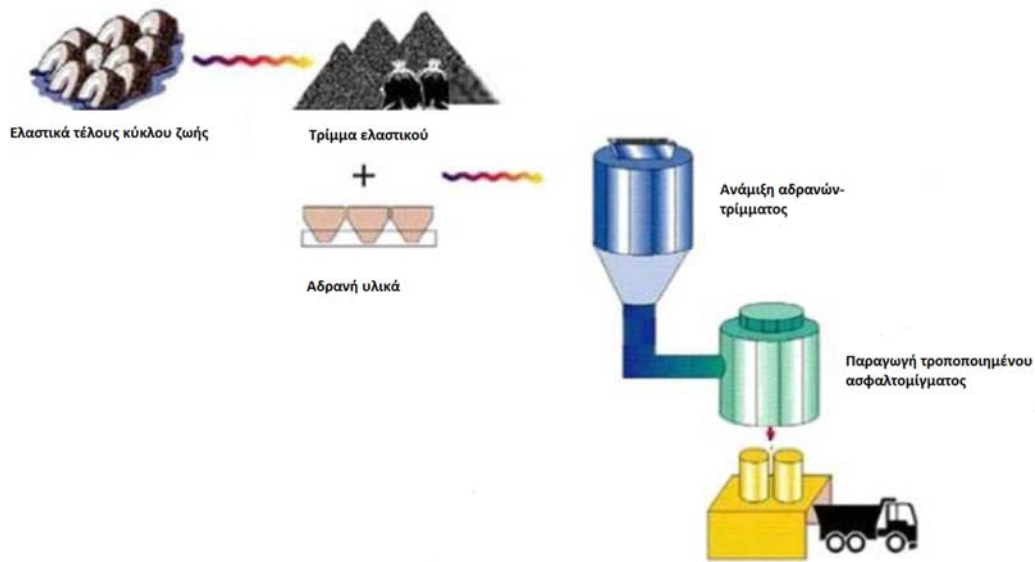
Η τροποποιημένη άσφαλτος χαρακτηρίζεται από βελτιωμένες ιδιότητες σε σχέση με την συμβατική άσφαλτο, συμπεριλαμβανομένων:

- Αυξημένο σημείο μάλθωσης (αυξημένη αντίσταση σε μόνιμες παραμορφώσεις)
- Μειωμένη ευαισθησία στην θερμοκρασία (αυξημένος δείκτης διείδυσης)
- Σημαντική αύξηση ιξώδους
- Διευρυμένο θερμοκρασιακό εύρος βισκοελαστικότητας
- Αυξημένη ελαστικότητα
- Βελτιωμένες ιδιότητες σε χαμηλές θερμοκρασίες
- Μειωμένη ευαισθησία στην γήρανση.[1]

### 2.3.2. Ξηρή διαδικασία

Η ξηρή μέθοδος αναπτύχθηκε την δεκαετία του 1960 στην Σουηδία. Με την ξηρή μέθοδο, το τρίμμα ελαστικού παίζει κυρίως τον ρόλο του αδρανούς και τροποποιεί μόνο μερικώς την άσφαλτο. Αν και αυτή η μέθοδος είναι τεχνολογικά απλούστερη, χρήσιμες ιδιότητες του ελαστικού δεν αξιοποιούνται πλήρως. Το ελαστικό προστίθεται στο μίγμα των ορυκτών αδρανών πριν την ανάμιξη με την άσφαλτο, συνήθως σε κοκκομετρία από 2-6 mm και γίνεται υποκατάσταση 1-3% του βάρους των αδρανών υλικών με τρίμμα ελαστικού. Η θερμοκρασία των αδρανών είναι 160-180°C για χρόνο ανάμιξης 15-30 δευτερόλεπτα. Μετά την ανάμιξη του τρίμματος με τα αδρανή πραγματοποιείται η προσθήκη της ασφάλτου. Η περιεκτικότητα σε άσφαλτο του ασφαλτομίγματος είναι περίπου κατά 1% (κατά βάρος) υψηλότερη σε σχέση με παραδοσιακά ασφαλτομίγματα. Η συνολικός χρόνος ανάδευσης κυμαίνεται από 120 έως 180 δευτερόλεπτα. Το ασφαλτόμιγμα μπορεί να αποθηκευτεί για 3-5 ώρες. Κατά το διάστημα αυτό πραγματοποιείται η μερική τροποποίηση της ασφάλτου και το μίγμα αποκτά βελτιωμένες βισκοελαστικές ιδιότητες.

Η χρήση της ξηρής μεθόδου είναι περιορισμένη σε σχέση με την υγρή, και τα μίγματα αυτά χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα σε ψυχρά κλίματα για την μείωση της ολισθηρότητας σε δρόμους καλυμμένους με πάγο. [1]



Σχήμα 6: Τροποποίηση ασφάλτου με ελαστικά - Ξηρή διαδικασία [14]

### 3. Εφαρμογές τροποποιημένης ασφάλτου στην Ευρώπη

Στον Πίνακα 2: Χρήση τροποποιημένης ασφάλτου στην Ευρώπη που ακολουθεί παρουσιάζεται η χρήση τροποποιημένης ασφάλτου σε διάφορες Ευρωπαϊκές χώρες για διάφορους τροποποιητές (ελαστομερή, πλαστομερή, τρίμμα ελαστικού). Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι τροποποιητές που χρησιμοποιούνται σε κάθε χώρα καθώς και ο σκοπός της χρήσης τους. Τα δεδομένα προέρχονται από έκθεση της World Road Association μετά από διεθνή έρευνα που πραγματοποίησε για το έτος 1996.[11]

*Πίνακας 2: Χρήση τροποποιημένης ασφάλτου στην Ευρώπη*

Χώρα	Τροποποιημένη άσφαλτος με (tn)				
	Ελαστομερή	Πλαστομερή	Τρίμμα ελαστικού	Άλλο	Σύνολο
Γερμανία	230.000	15.000	5.000	0	250.000
Αυστρία	31.000	0	2.500	7.000	40.500
Ισπανία	72.000	38.000	0	0	110.000
Γαλλία	200.000	50.000	1.000	0	251.000
Ουγγαρία	2.800	500	0	0	3.300
Ιταλία	80.000	0	0	0	80.000
Νορβηγία	1.000	0	0	0	1.000
Πολωνία	12.000	0	350	0	12.350
Πορτογαλία	7.000	3.500	150	0	10.650
Ην.Βασίλειο	45.000	5.000	4.000	12.000	66.000
Σουηδία	1.500	0	0	0	1.500
Ουκρανία	950	0	500	0	1.450
<b>Σύνολο</b>	<i>683.250</i>	<i>112.000</i>	<i>13.500</i>	<i>19.000</i>	<i>827.750</i>

Πίνακας 3: Τροποποιητές ασφάλτου και σκοπός χρήσης τους

	Γερμανία	Αυστρία	Ισπανία	Γαλλία	Ουγγαρία	Ιταλία
Ασφαλτική στρώση						
Θερμά μίγματα		O SBS	M,R PE		F SBS F EVA	F,R,RE SBS, EVA
Ψυχρά μίγματα						
Συνδεδειγμένη στρώση	O SBS, SBR,EVA			O Po	O Po	F,M,RE SBS, EVA
Επιφανειακή στρώση						
Θερμά μίγματα >3 cm	O SBS, SBR,EVA		F,O PE, SBS, SB, EVA			
Λεπτά και πολύ λεπτά ασφαλτικά σκυροδέματα <4 cm		O, %, U, C SBS	%, RA, D SBS, SB	RA,V Po	O Po, SBS	SBS, EVA
Επιφανειακές επαλείψεις		A SBS	RA, D SBS, SB, SBR	RA, Coh Po		Et SBS, EVA
Πορώδης άσφαλτος	A SBS, SBR,EVA, Ca	%, D SBS	%, RA, D SBS, EVA, SB	%, Coh, A Po		SBS, EVA
Ψυχρό ασφαλτικό σκυρόδεμα		A, M SBS	RA, D SBR, SB	Po		SBS, EVA
Ασφαλτική σκυρομαστίχη (SMA)	O SBS, SBR,EVA					
Συνδεδειγμένο στρώμα		C SBS	C SBS, SBR, SB	C Po	C SBS	
Στρώμα κατά των ανακλαστικών ρηγματώσεων		C SBS	FI SBS, SB	FI Po	FI Ca	SBS, EVA, Ca

A: πρόσφυση, αντοχή στο νερό  
C: στεγανοποίηση  
Coh: συνοχή  
D: αντοχή  
Et: αδιαβροχοποίηση  
F: αντοχή σε καταπόνηση  
FI: αντοχή σε ρηγματώσεις  
M: αυξημένο μέτρο ελαστικότητας  
O: αντοχή σε τροχαυλακώσεις

R: μείωση πάχους  
RA: αντοχή σε έκπλυση από νερό (stripping)  
RE: ανακύκλωση αποβλήτων  
U: αντοχή στην φθορά  
V: αντοχή στη γήρανση  
%: αυξημένη περιεκτικότητα συνδεδειγμένου υλικού ή πάχους συνδεδειγμένου υλικού

Ca: καουτσούκ φυσικό ή τρίμμα  
Po: τροποποίηση με πολυμερή

## ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ 1.2

## RAP-ELT

	Νορβηγία	Πολωνία	Πορτογαλία	Ην. Βασίλειο	Σουηδία	Ουκρανία
Ασφαλτική στρώση						
Θερμά μίγματα Ψυχρά μίγματα			Coh, A Ca			
Συνδετική στρώση		O,F SBS				
Επιφανειακή στρώση						
Θερμά μίγματα >3 cm Λεπτά και πολύ λεπτά ασφαλτικά σκυροδέματα <4 cm Επιφανειακές επαλείψεις Πορώδης άσφαλτος Ψυχρό ασφαλτικό σκυρόδεμα Σκυρομαστική άσφαλτος (SMA)		O, F, FI, %, A SBS O, F, FI, %, A SBS Coh, A SBS, SBR, Ca  A, Coh SBS, SBR, Ca O, F, FI, %, A SBS, SBR	O, A SBS, EVA A, Coh Ca O,A SBS, EVA Coh, A SBS, Ca	O, %, Coh, A SBS, EVA, Mg, As  A, Coh, RA Latex, SBS, Po  FI Po		FI Po, Ca FI Po, Ca  Po  FI SBS
Συνδετικό στρώμα	C SBS, SBR	C Ca		A, Coh Po		
Στρώμα κατά των ανακλαστικών ρηγματώσεων		C, FI SBS, SBR	FI SBS	Et Po		

A: πρόσφυση, αντοχή στο νερό

C: στεγανοποίηση

Coh: συνοχή

D: αντοχή

Et: αδιαβροχοποίηση

F: αντοχή σε καταπόνηση

FI: αντοχή σε ρηγματώσεις

M: αυξημένο μέτρο ελαστικότητας

O: αντοχή σε τροχαυακώσεις

R: μείωση πάχους

RA: αντοχή σε έκπλυση από νερό (stripping)

RE: ανακύκλωση αποβλήτων

U: αντοχή στην φθορά

V: αντοχή στη γήρανση

%: αυξημένη περιεκτικότητα συνδετικού υλικού ή πάχους συνδετικού υλικού

Ca: καουτσούκ φυσικό ή τρίμμα

Po: τροποποίηση με πολυμερή

## 4. Αύξηση ανακύκλωσης RAP με τροποποιημένη άσφαλτο

### 4.1. Ανακύκλωση RAP

Η ανακύκλωση ασφαλτικού υλικού οδηγεί σε ένα μίγμα που περιέχει 95% αδρανή υλικά και 5% άσφαλτο, γνωστό σαν ανακτηθέν ασφαλτικό σκυρόδεμα (RAP - Reclaimed Asphalt Pavement). Η ανακύκλωση ασφαλτικών σκυροδεμάτων είναι σημαντική για τεχνικούς, οικονομικούς και περιβαλλοντικούς λόγους. Η χρήση RAP προτιμάται αντί για πρωτογενή υλικά λόγω της αυξανόμενης τιμής της ασφάλτου, της έλλειψης ποιοτικών αδρανών υλικών και της ανάγκης προστασίας του περιβάλλοντος.

Η χρήση RAP επίσης μειώνει το ποσό των αποβλήτων που παράγονται και βοηθά στην επίλυση προβλημάτων διάθεσης τους. Η χρήση RAP δεν είναι μόνο ευνοϊκή εναλλακτική για το μέλλον αλλά είναι πιθανό να γίνει και απαραίτητη ώστε να εξασφαλιστεί η οικονομική ανταγωνιστικότητα των ελαστικών οδοστρωμάτων. Έχει παρατηρηθεί ότι η προσθήκη RAP στην άσφαλτο βελτιώνει την αντοχή σε υγρασία και στον σχηματισμό τροχαυλακώσεων, αλλά μειώνει την αντοχή σε ρηγματώσεις.

Ωστόσο η χρήση RAP σε μεγάλα ποσοστά είναι σπάνια. Κατά την χρήση της ασφάλτου, τόσο το συνδετικό υλικό όσο και τα αδρανή υπόκεινται σε διάφορες φυσικές και ρεολογικές αλλαγές. Αν χρησιμοποιείται RAP, οι αλλαγές αυτές θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τον σχεδιασμό ώστε το ασφαλτόμιγμα που θα προκύψει να έχει την ίδια συμπεριφορά με ασφαλτόμιγματα που παράγονται από πρωτογενή υλικά.

Η άσφαλτος αντιδρά και χάνει κάποια από τα συστατικά της κατά την γήρανσή της, συνεπώς η ρεολογική της συμπεριφορά διαφέρει από το πρωτογενές υλικό. Για τον λόγο αυτό είναι σημαντικό να ελέγχεται η ανάμιξη ανακυκλωμένης και πρωτογενούς ασφάλτου. Αν η ανακυκλωμένη άσφαλτος έχει πολύ μεγάλη ακαμψία, το μίγμα είναι πιθανό να μην έχει την αναμενόμενη συμπεριφορά. Σε μικρά ποσοστά (έως 20%), η γηρασμένη άσφαλτος δεν επηρεάζει σημαντικά τις ιδιότητες του μίγματος. Σε



μεγαλύτερα ποσοστά ανάμιξης ωστόσο, η γηρασμένη άσφαλτος μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τις ιδιότητες του μίγματος και συνεπώς και την ποιότητα της ασφάλτου.

Για τον λόγο αυτό η σκληρυμένη και ανακυκλωμένη άσφαλτος θα πρέπει να αναμιγνύεται με κάποιο παράγοντα ανακύκλωσης ή με μαλακή άσφαλτο ώστε να αποκατασταθούν οι ρεολογικές της ιδιότητες. Εκτός από μαλακή άσφαλτο, μαλακτικοί παράγοντες και αναγεννητές χρησιμοποιούνται συχνά. Οι μαλακτικοί παράγοντες μειώνουν το ιξώδες της γηρασμένης ασφάλτου ενώ οι αναγεννητές αποκαθιστούν τις φυσικοχημικές ιδιότητες της ασφάλτου. Παραδείγματα μαλακτικών παραγόντων είναι τα asphalt flux oil, lube stock και slurry oil. Οι αναγεννητές είναι κυρίως λιπαντικά έλαια και έλαια αραίωσης, τα οποία έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε μαλτένια. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, κατά την κατασκευή και χρήση του οδοστρώματος η άσφαλτος χάνει πολλά από τα ελαιούχα συστατικά της, με αποτέλεσμα η αυξημένη περιεκτικότητα σε ασφαλένια να οδηγεί σε αυξημένη ακαμψία, αυξημένο ιξώδες και μειωμένη ολκιμότητα. Σημαντικός παράγοντας κατά την επιλογή αναγεννητή είναι η συμβατότητά του με την γηρασμένη άσφαλτο. Οι αναγεννητές με χαμηλή περιεκτικότητα σε κορεσμένα και υψηλή περιεκτικότητα σε αρωματικά συνήθως είναι συμβατοί με την γηρασμένη άσφαλτο. Η σωστή επιλογή και δοσολογία αναγεννητή είναι πολύ σημαντική καθώς διαφορετικά μπορεί να υπάρξει αυξημένη ευαισθησία στην εμφάνιση τροχαυλακώσεων.

Μια άλλη μέθοδος, περιλαμβάνει την ανάμιξη της γηρασμένης ασφάλτου με πρωτογενή άσφαλτο. Σε αυτή την περίπτωση, θα πρέπει να γίνει επιλογή κατάλληλης ποιότητας ασφάλτου ώστε να αντισταθμιστεί η αυξημένη σκληρότητα του RAP. Η κατάλληλη ποιότητα καθορίζεται με βάση την περιεκτικότητα σε RAP και την επιθυμητή ποιότητα του μίγματος. Επειδή οι ιδιότητες του τελικού μίγματος εξαρτώνται σημαντικά από την ακαμψία της ασφάλτου, η οποία δεν μπορεί να προβλεφθεί πριν την κατασκευή, είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθούν πλήθος εργαστηριακών δοκιμών ώστε να προσδιοριστούν οι ιδιότητες σχεδιασμού ενός μίγματος με μεγάλη περιεκτικότητα σε RAP. [15–21]

Παρακάτω, στον Πίνακα 4, παρουσιάζονται οι ποσότητες RAP και οι χρήσεις του για την Ευρώπη, με βάση δεδομένα της European Asphalt Pavement Association (EAPA) για το 2016. [22]

Πίνακας 4: Ανακύκλωση RAP στην Ευρώπη για το 2016

Χώρα	Σύνολο RAP (tn)	% χρήσης τροποποιημένης ασφάλτου σε				
		Παραγωγή ασφάλτου	Ψυχρή ανακύκλωση	Ασύνδετες στρώσεις δρόμων	Άλλες εφαρμογές πολιτικού μηχανικού	ΧΥΤΑ/ Άλλες εφαρμογές/ Άγνωστο
Αυστρία	1.400.000	40	Χ.Δ.	Χ.Δ.	Χ.Δ.	Χ.Δ.
Βέλγιο	1.240.000	81	Χ.Δ.	Χ.Δ.	Χ.Δ.	Χ.Δ.
Τσεχία	1.800.000	17	30	20	10	23
Δανία	1.150.000	65	0	9	0	26
Φινλανδία	1.150.000	100	0	0	0	0
Γαλλία	6.370.000	70	Χ.Δ.	Χ.Δ.	Χ.Δ.	Χ.Δ.
Γερμανία	12.000.000	87	0	13	0	0
Μ. Βρετανία	3.250.000	80	Χ.Δ.	Χ.Δ.	5	0
Ουγγαρία	109,000	90	0	0	0	10
Ιταλία	9.000.000	20	30	20	0	30
Ολλανδία	4.431.000	71	11	0	0	18
Νορβηγία	1.112.000	37	0	63	0	0
Σλοβακία	54.000	98	0	1	0	1
Σλοβενία	56.000	43	0	37	0	20
Ισπανία	490.000	68	0	8	25	0
Σουηδία	1.600.000	90	5	5	0	0

Χ.Δ.: δεν υπάρχουν δεδομένα

#### 4.2. Ανακύκλωση RAP με χρήση τροποποιημένης ασφάλτου

Η ανακύκλωση RAP κατά την παραγωγή νέων ασφαλτομιγμάτων εξοικονομεί υλικά, χρήματα και ενέργεια. Τα αδρανή υλικά και η άσφαλτος από τα παλιά οδοστρώματα είναι ακόμα χρήσιμα παρ' όλο που το οδόστρωμα έφτασε στο τέλος της ζωής τους. Ωστόσο, η χρήση RAP θεωρείται ότι έχει αρνητική επίδραση στην αντοχή του οδοστρώματος σε ρηγματώσεις και στην διάρκεια ζωής του.

Αντίθετα, η χρήση τροποποιημένης ασφάλτου είτε με πολυμερή όπως το SBS είτε με τρίμμα ελαστικού έχει θετική επίδραση στην αντοχή του οδοστρώματος τόσο στον σχηματισμό τροχαυλακώσεων όσο και στον σχηματισμός ρηγματώσεων.

Η επίδραση της ταυτόχρονης χρήσης RAP και τροποποιημένης ασφάλτου δεν έχει ακόμα προσδιοριστεί με σαφήνεια και απαιτείται περαιτέρω μελέτη ώστε να κατανοηθεί καλύτερα η αλληλεπίδρασή τους.

Η χρήση RAP σε μίγματα με τροποποιημένη ασφάλτο έχει πλεονεκτήματα όπως η μείωση της χρήσης πρωτογενούς ασφάλτου και η βελτίωση της αντοχής στην υγρασία.

Η τροποποίηση της ασφάλτου και η προσθήκη RAP αυξάνει το μέτρο ελαστικότητας σε διάφορες θερμοκρασίες. Και η τροποποιημένη ασφάλτος και το RAP παίζουν σημαντικό ρόλο στην βελτίωση της αντοχής του οδοστρώματος σε τροχαυλακώσεις. Έτσι, βελτιώνονται σημαντικά οι επιδώσεις του οδοστρώματος σε θερμά κλίματα, στα οποία και ενθαρρύνεται η χρήση τέτοιων μιγμάτων.

Αν και η χρήση RAP έχει αρνητική επίδραση μακροπρόθεσμα στην επίδοση του οδοστρώματος σε καταπόνηση, η χρήση τροποποιημένης ασφάλτου συμβάλει στην αύξηση στην αντίσταση στην καταπόνηση.

Συγκεκριμένα για την περίπτωση που η τροποποίηση της ασφάλτου γίνεται με τρίμμα ελαστικού, σημαντικές παράμετροι που επηρεάζουν τις ιδιότητες του τελικού μίγματος είναι η κοκκομετρία του τρίμματος και το είδος. Το μέτρο ελαστικότητας είναι μεγαλύτερο στην περίπτωση χρήσης τρίμματος από μηχανικό τεμαχισμό σε σχέση με την χρήση τρίμματος από κρυογενικό τεμαχισμό. Επίσης, η αντίσταση στην καταπόνηση είναι μεγαλύτερη για μεγαλύτερες κοκκομετρίες τρίμματος ελαστικού.[23–27]

## Βιβλιογραφία

- [1] McNally T. Polymer Modified Bitumen: Properties and Characterisation. 2011. doi:10.1179/1433075X11Y.0000000021.
- [2] Read J, Whiteoak D. The Shell bitumen handbook. 5th edition. Shell UK Oil Products Limited; 2003.
- [3] Νικολαΐδης ΑΦ, Σαραφείδου Μ, Μάνθος Ε. Ιδιότητες ασφάλτου 50/70 και τροποποιημένου ασφάλτου με SBS. 2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας, Βόλος 18-20 Μαΐου 2005, n.d.
- [4] ΑΣΦΑΛΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ. Εργαστήριο Δομικών Υλικών, ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ; n.d.
- [5] Σπηλιώτης Ξ. ΑΣΦΑΛΤΙΚΑ ΕΡΓΑ. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΔΟΠΟΙΪΑ ΙΙ, ΤΕΙ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ; 2014.
- [6] García-Morales M, Partal P, Navarro FJ, Martínez-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.20697.
- [7] King G, King H, Pavlovich RD, Epps Texas AL, Kandhal P. ADDITIVES IN ASPHALT n.d.
- [8] Yildirim Y. Polymer modified asphalt binders. Construction and Building Materials 2007;21:66–72. doi:10.1016/J.CONBUILDMAT.2005.07.007.
- [9] Zhu J, Birgisson B, Kringos N. Polymer modification of bitumen: Advances and challenges. European Polymer Journal 2014;54:18–38. doi:10.1016/J.EURPOLYMJ.2014.02.005.
- [10] No Title n.d. <https://qishunsteel.en.made-in-china.com/product/HoxnzESPJZGv/China-Ethylene-Vinyl-Acetate-Copolymer-EVA-Granule-EVA-Copolymer-Resin.html>.
- [11] World Road Association, Technical Committee Flexible Roads. Modified Binders, Binders with additives and special bitumens 1999:9–209.
- [12] Isacsson U, Lu X. Testing and appraisal of polymer modified road bitumens—state

- of the art. *Materials and Structures* 1995;28:139–59. doi:10.1007/BF02473221.
- [13] No Title n.d. [http://cankoinc.com/?page\\_id=16971](http://cankoinc.com/?page_id=16971).
- [14] Dantas Neto SA, Farias MM, Pais JC, Pereira PAA. Influence of Crumb Rubber Gradation on Asphalt-Rubber Properties. 2006.
- [15] Al-Qadi IL, Carpenter SH. Reclaimed Asphalt Pavement – A Literature Review. 2007.
- [16] Bernier A, Zofka A, Yut I. Laboratory evaluation of rutting susceptibility of polymer-modified asphalt mixtures containing recycled pavements. *Construction and Building Materials* 2012;31:58–66. doi:10.1016/J.CONBUILDMAT.2011.12.094.
- [17] Valdés G, Pérez-Jiménez F, Miró R, Martínez A, Botella R. Experimental study of recycled asphalt mixtures with high percentages of reclaimed asphalt pavement (RAP). *Construction and Building Materials* 2011;25:1289–97. doi:10.1016/J.CONBUILDMAT.2010.09.016.
- [18] Maupin GW, Diefenderfer SD, Gillespie JS, Council VTR, Transportation VD of. Evaluation of using higher percentages of recycled asphalt pavement in asphalt mixes in Virginia. Virginia Transportation Research Council; 2008.
- [19] Zaumanis M, Mallick RB, Poulikakos L, Frank R. Influence of six rejuvenators on the performance properties of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) binder and 100% recycled asphalt mixtures. *Construction and Building Materials* 2014;71:538–50. doi:10.1016/J.CONBUILDMAT.2014.08.073.
- [20] Zaumanis M, Mallick RB, Frank R. 100% recycled hot mix asphalt: A review and analysis. *Resources, Conservation and Recycling* 2014;92:230–45. doi:10.1016/J.RESCONREC.2014.07.007.
- [21] Saberi.K F, Fakhri M, Azami A. Evaluation of warm mix asphalt mixtures containing reclaimed asphalt pavement and crumb rubber. *Journal of Cleaner Production* 2017;165:1125–32. doi:10.1016/J.JCLEPRO.2017.07.079.

- [22] ΕΑΡΑ. ASPHALT IN FIGURES 2016 n.d.
- [23] Kim S, Sholar G, Byron T, Kim J. Performance of Polymer-Modified Asphalt Mixture with Reclaimed Asphalt Pavement. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2009;2126:109–14. doi:10.3141/2126-13.
- [24] Xiao F, Amirkhanian SN, Shen J, Putman B. Influences of crumb rubber size and type on reclaimed asphalt pavement (RAP) mixtures. *Construction and Building Materials* 2008;23:1028–34. doi:10.1016/j.conbuildmat.2008.05.002.
- [25] Singh D, Girimath S. Toward Utilization of ground tire rubber and reclaimed pavement materials with asphalt Binder: Performance evaluation using essential work of fracture. *International Journal of Pavement Research and Technology* 2017. doi:10.1016/j.ijprt.2017.12.008.
- [26] Mohammad LN, Cooper SB, Elseifi M a. Characterization of HMA Mixtures Containing High Reclaimed Asphalt Pavement Content with Crumb Rubber Additives. *Journal of Materials in Civil Engineering* 2011;23:1560–8. doi:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000359.
- [27] Al-Qadi IL, Elseifi M, Carpenter SH. RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT-A LITERATURE REVIEW. 2007.