

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.5.3 Εισήγηση για εθνικές προδιαγραφές χρήσης τρίμματος

Υπεύθυνος Δράσης:



ECOELASTIKA ΑΕ
 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^ο χλμ. Πτολεμαΐδας-Μποδοσασκείου Νοσοκομείου (περιοχή Κουρι) • 502 οο Πτολεμαΐδα

• Τηλ.: 24630-55300 • Fax: 24630-55301

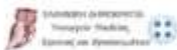
Γραφείο Αθήνας: Αιγιάλειας 52 • 15125 Μαρούσι • Τηλ. 211-1069500 • Fax: 211-1069501

Κεντρικό: 6^ο χλμ. οδού Χαριλάου-Θέρμης • Τ.Θ. 60361 • 570 01 Θέρμη, Θεσσαλονίκη • Τηλ.: 2310-498112 • Fax: 2310-498130

Web: <https://www.cperi.certh.gr/> • E-mail: cperi@certh



ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2021



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Πίνακας Περιεχομένων

1.	ΣΚΟΠΟΣ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟΥ	3
2.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
3.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΔΡΟΜΟΥ	4
3.1	Μετρήσεις spraying	4
3.2	Μετρήσεις θορύβου	7
3.3	Μετρήσεις ολισθηρότητας.....	16
3.4	Μετρήσεις Τροχαυλακώσεων	20
4.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	29
5.	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ	41

1. ΣΚΟΠΟΣ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟΥ

Σκοπός του παραδοτέου 5.3 είναι να γίνει πρόταση επίσημης ένταξης εθνικών προδιαγραφών για τη χρήση τρίμματος ελαστικού στην παρασκευή τροποποιημένης ασφάλτου. Συνοδευτικά, θα σταλεί η παρακάτω εκτεταμένη περίληψη των ευρημάτων του έργου η οποία θα συμπεριλαμβάνει τα αποτελέσματα από την αξιολόγηση της απόδοσης του δρόμου (Δράση 4.3), την οικονομική ανάλυση (Δράση 5.1) καθώς και στοιχεία από το περιβαλλοντικό αποτύπωμα μιας τέτοιας εφαρμογής (Δράση 5.2).

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το έργο αποτελείται από την διάστρωση του πιλοτικού έργου στην περιοχή του Δήμου Ασπροπύργου. Κατά την διάρκεια του έργου πραγματοποιήθηκε διάστρωση δρόμου συνολικού μήκους 500μ. Το μήκος των 500 μέτρων ασφαλτοστρώθηκε με 4 διαφορετικά είδη ασφαλτομίγματος. Πιο συγκεκριμένα διαστρώθηκαν 100μ. με συμβατική άσφαλτο, 150μ. με τροποποιημένη άσφαλτο με τρίμμα ελαστικού (ELT), 100μ με τροποποιημένη άσφαλτο με τρίμμα ελαστικού (ELT) και χρήση 30% ανακυκλωμένου οδοστρώματος (RAP) στο ασφαλτόμιγμα και 150μ. με τροποποιημένη άσφαλτο με τρίμμα ελαστικού (ELT) και χρήση 50% ανακυκλωμένου οδοστρώματος (RAP) στο ασφαλτόμιγμα. Με βάση το παραπάνω πιλοτικό έργο θα μελετηθούν κάποιες ενδιαφέρουσες παράμετροι που ευνοούν την αντικατάσταση του συμβατικού ασφαλτομίγματος με τροποποιημένη άσφαλτο (ELT) και ανακυκλωμένο οδόστρωμα (RAP). Οι μελέτες που πραγματοποιήθηκαν αφορούν την μείωση του spraying, δηλαδή της εκτίναξης σωματιδίων νερού από τις ρόδες των οχημάτων προς τα ακολουθούμενα οχήματα, την μείωση του θορύβου από την κίνηση των οχημάτων, την μείωση των τροχοαυλακώσεων κυρίως λόγω της κίνησης βαρέων οχημάτων καθώς και την βελτίωση της ολισθηρότητας του δρόμου. Στην συνέχεια έγινε η οικονομική αξιολόγηση του έργου και τέλος μελετήθηκε το περιβαλλοντικό αποτύπωμα μίας τέτοιας εφαρμογής.

Πιο συγκεκριμένα, μελετήθηκαν όλα τα παραπάνω σύμφωνα με τα εξής 4 σενάρια τα οποία συγκρίνουν τα 4 είδη ασφαλτομίγματος που χρησιμοποιήθηκαν για την διάστρωση του πιλοτικού δρόμου:

- 1 Συμβατική ασφαλτος
- 2 Τροποποιημένη ασφαλτος με τρίμμα ελαστικού
- 3 Τροποποιημένη ασφαλτος με τρίμμα ελαστικού και χρήση 30%RAP
- 4 Τροποποιημένη ασφαλτος με τρίμμα ελαστικού και χρήση 50%RAP

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΔΡΟΜΟΥ

3.1 Μετρήσεις spraying

Στην περίπτωση ασφαλτομιγμάτων τροποποιημένης ασφάλτου με τρίμμα ελαστικού καθώς και με ανακυκλωμένο οδόστρωμα οι μελέτες του φαινομένου του spraying, της εκτίναξης δηλαδή σωματιδίων νερού από τις ρόδες των οχημάτων προς τα ακολουθούμενα οχήματα είναι περιορισμένες. Ωστόσο στις μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί έχει αποδειχθεί ο επιτυχής περιορισμός του φαινομένου. Στα πλαίσια του έργου έγινε έρευνα για τον εντοπισμό εργαστηρίου το οποίο θα μπορούσε να εκτελέσει μετρήσεις splash & spray. **Με βάση την αναζήτηση και την απουσία αντίστοιχης βιβλιογραφίας σε έργα που έχουν πραγματοποιηθεί στην Ελλάδα δεν βρέθηκε σχετικό εργαστήριο για να εκτελέσει τις απαιτούμενες μετρήσεις.** Τέτοιες μετρήσεις βρέθηκε να γίνονται σε μεγαλύτερη έκταση στις ΗΠΑ ενώ τις περισσότερες φορές ο εξοπλισμός είναι ιδιαίτερα εξειδικευμένος.

Παρόλα αυτά, στα πλαίσια του έργου και της μελέτης του φαινομένου **παρουσιάζονται φωτογραφίες**, η οποίες πάρθηκαν σε 2 από τα 4 οδοστρώματα (συμβατική ασφαλτο, τροποποιημένη ασφαλτο με 30% RAP) αφού πρώτα είχε περάσει βυτίο και είχε αδειάσει ίση ποσότητα νερού στην επιφάνεια και των δύο οδοστρωμάτων. Στα υπόλοιπα δύο είδη οδοστρώματος δεν κατέστη δυνατό να ληφθούν καρέ φωτογραφιών λόγω της γεωμετρίας του χώρου καθώς η απόσταση μεταξύ της κάμερας και του διερχόμενου οχήματος ήταν ανεπαρκής.

Παρουσιάζονται φωτογραφίες από την διέλευση οχήματος Ι.Χ. και φορτηγού τα οποία κινούνταν με ίση και σταθερή ταχύτητα 40km/h.



Εικόνα 1 - Φορτηγό κινούμενο σε συμβατική άσφαλτο



Εικόνα 2 - Φορτηγό κινούμενο σε τροποποιημένη άσφαλτο με χρήση 30% RAP



Εικόνα 3 - Ι.Χ. κινούμενο σε συμβατική άσφαλτος



Εικόνα 4 - Ι.Χ. κινούμενο σε τροποποιημένη άσφαλτο με χρήση 30% RAP

Με βάση την οπτική παρατήρηση είναι αντιληπτό ότι στην περίπτωση της χρήσης τροποποιημένης ασφάλτου με τρίμμα ελαστικού και διατηρώντας σταθερές τις υπόλοιπες συνθήκες όπως η ποσότητα νερού του οδοστρώματος και η ταχύτητα των οχημάτων, το φαινόμενο εκτίναξης σωματιδίων νερού μειώνεται αισθητά. Συνεπώς λαμβάνοντας υπόψιν την οπτική παρατήρηση, επιβεβαιώνονται οι ήδη υπάρχουσες μελέτες που εφάρμοσαν πιστοποιημένες μεθόδους υπολογισμού του παραπάνω φαινομένου και οι οποίες προτείνουν τη χρήση τροποποιημένης με ελαστικό ασφάλτου για αύξηση της ορατότητας και της ασφάλειας σε βρεγμένα οδοστρώματα.

3.2 Μετρήσεις θορύβου

Ο κυκλοφοριακός θόρυβος προέρχεται κυρίως από τρεις κύριες πηγές, με κυριότερη την αλληλεπίδραση των ελαστικών και του οδοστρώματος, στην συνέχεια τον θορύβου του κινητήρα και της εξάτμισης και τέλος λόγω της αεροδυναμικής του οχήματος. Για τον θόρυβο που σχετίζεται με την επαφή ελαστικού/οδοστρώματος πολλοί είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν. Παράγοντες όπως το μέγεθος και το είδος των αδρανών, η ταχύτητα του οχήματος, η θερμοκρασία, το είδος του ασφαλτομίγματος, η γήρανση, το πάχος αλλά και η υφή της επιφάνειας του οδοστρώματος παίζουν ρόλο στα επίπεδα του θορύβου. Ο σημαντικότερος όμως παράγοντας είναι το πορώδες του οδοστρώματος. Ο κυκλοφοριακός θόρυβος απορροφάται από το πεζοδρόμιο καθώς η ενέργεια του θορύβου μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια στους πόρους του πεζοδρομίου. Η υψηλότερη απορρόφηση θορύβου αντιστοιχεί σε χαμηλότερα επίπεδα θορύβου κυκλοφορίας. Συνεπώς μια πυκνή επιφάνεια αντανακλά κυρίως την ηχητική ενέργεια, ενώ μια πορώδης επιφάνεια την απορροφά. Η προσθήκη του τρίμματος ελαστικού έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του πορώδους του ασφαλτομίγματος καθώς αυξάνει τα κενά αέρα με αποτέλεσμα να αυξάνεται η απορρόφηση του θορύβου. Με την σειρά του το ίδιο το ελαστικό λόγω των ελαστικών ιδιοτήτων του καουτσούκ προσφέρει επιπλέον απορρόφηση. Τα παραπάνω έχουν αποδειχθεί με μελέτες που έχουν γίνει στο παρελθόν και με βάση

αυτές μελετήθηκε στο παρόν έργο η ταυτόχρονη επίδραση του τρίμματος ελαστικού και του RAP.

Οι μετρήσεις θορύβου των οδοστρωμάτων πραγματοποιήθηκαν με την χρήση ηχομέτρου NTi XL2 (τύπου 1) και Brüel & Kjaer 2250 (τύπου 1) - τα ηχόμετρα τύπου 1 είναι τα πιο ακριβή για την μέτρηση της στάθμης της ηχητικής πίεσης - καθώς και βαθμονομητή τύπου Brüel & Kjaer, Type 4230 (Calibrator). Οι μετρήσεις έγιναν σε 2 φάσεις – 1^η φάση / 4 μήνες μετά την ασφαλτόστρωση, 2^η /φάση 8 μήνες μετά την ασφαλτόστρωση.

Αρχικά, διερευνήθηκε ο θόρυβος βάθους αποκλείοντας την τροχαία κίνηση άλλων οχημάτων για όλο το διάστημα των ηχομετρήσεων.

Οι ηχομετρήσεις έγιναν σύμφωνα με τις βασικές αρχές του EN ISO 11819:1 2001 Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic Noise Part 1: Statistical Pass by Method.



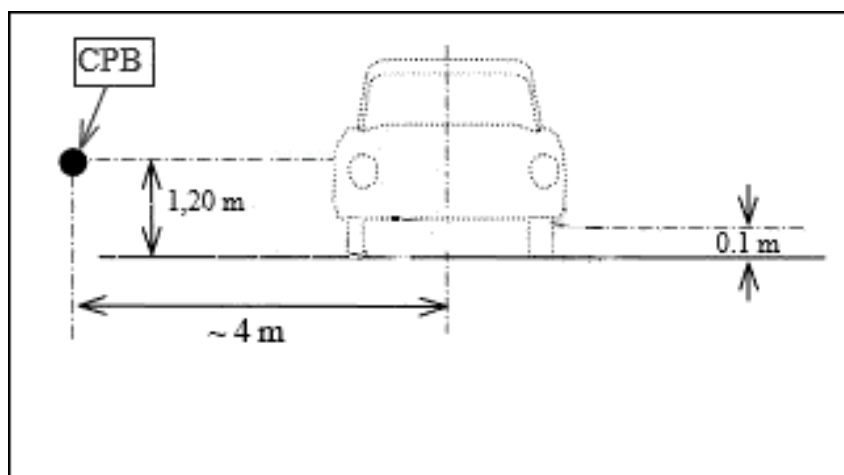
Εικόνα 5 - Ηχομέτρηση I.X

Το ύψος του Ηχομέτρου ορίστηκε στο 1.2 μέτρο από το επίπεδο του εδάφους και τουλάχιστον 2 μέτρα από οποιαδήποτε άλλη ηχο-ανακλαστική επιφάνεια. Η απόσταση μεταξύ του εκάστοτε οχήματος και του σημείου μετρήσεων έγινε προσπάθεια να παραμείνει σταθερή ~ 4 m. Η ταχύτητα διέλευσης των οχημάτων

έγινε προσπάθεια να διατηρηθεί σταθερή στα 40 km/h στο μέτρο του δυνατού, καθώς η μορφολογία του δρόμου δεν επέτρεπε μεγαλύτερες ταχύτητες. Οι στροφές λειτουργίας των οχημάτων διατηρήθηκαν στο ελάχιστο (ρελαντί) ώστε η καταγραφή να αφορά τον θόρυβο που προέρχεται από την κύλιση των ελαστικών στον εκάστοτε τύπο οδοστρώματος και όχι τον θόρυβο της μηχανής του οχήματος. Η απόσταση από διαφορετικό τύπο οδοστρώματος διατηρήθηκε στα ~20 μέτρα ανά πλευρά. Για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων οι ηχομέτρησεις έγιναν και από τις δύο κατευθύνσεις.



Εικόνα 6 - Ηχομέτρηση διερχόμενου φορτηγού

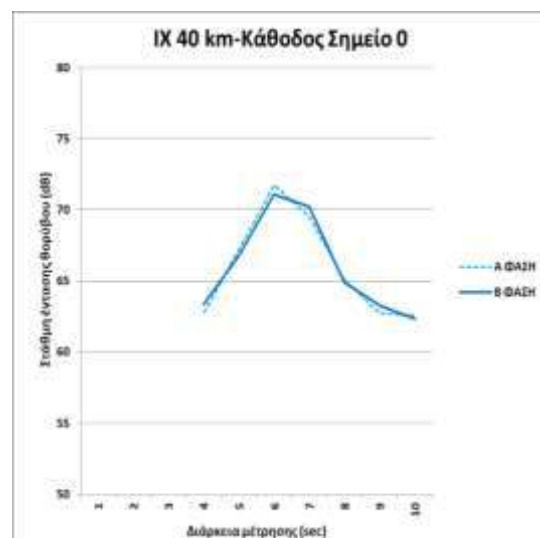
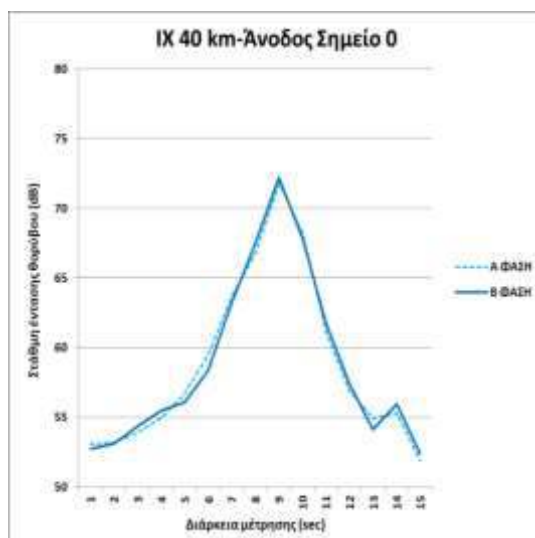
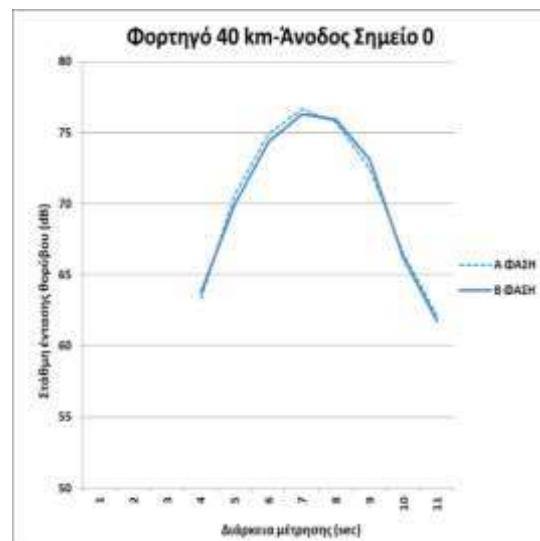
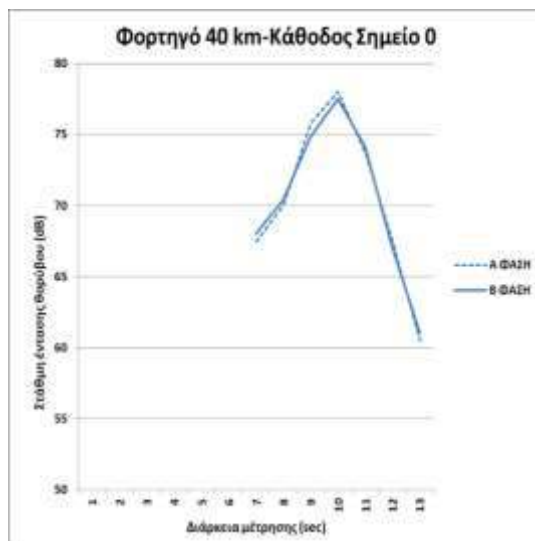


Εικόνα 7 - Σκαρίφημα με θεωρητική θέση ηχομέτρησης

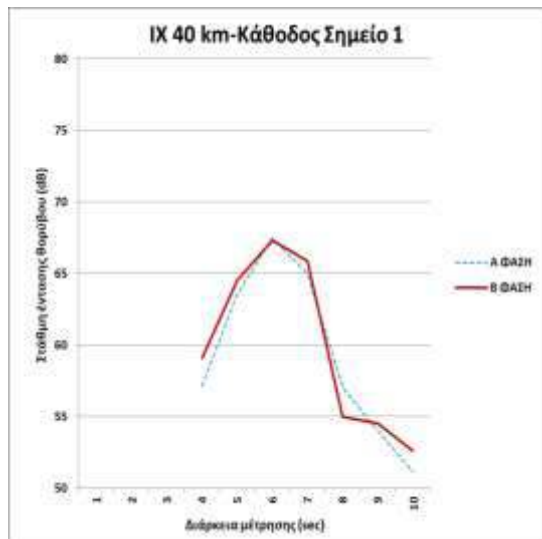
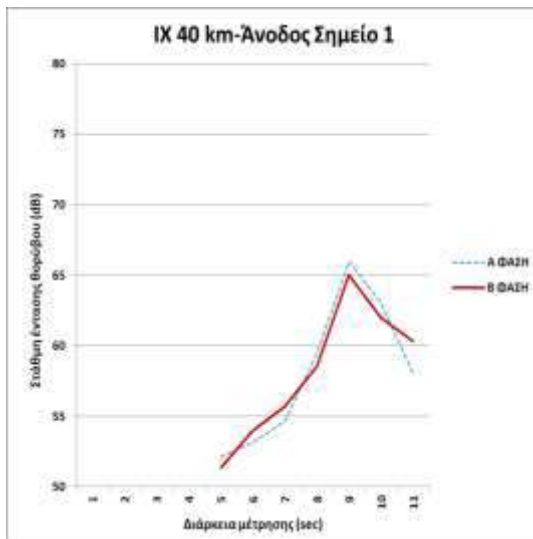
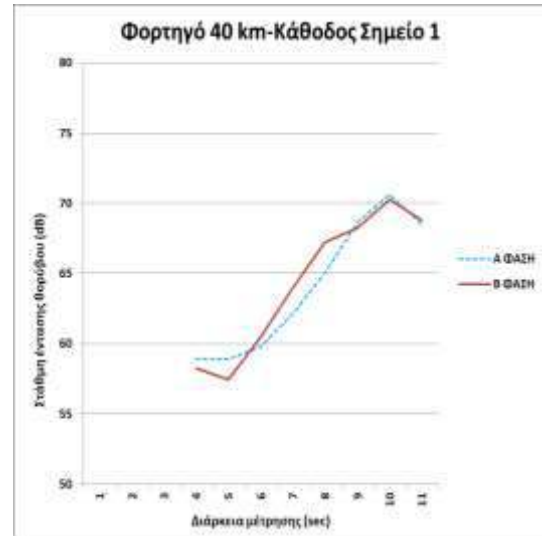
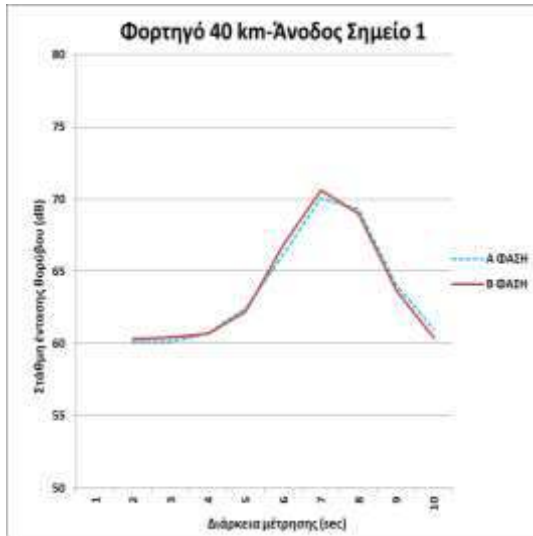
Πίνακας 1 - Περιγραφή θέσεων ηχομέτρησης και είδους οδοστρώματος

Θέση/Σημείο ηχομέτρησης	Σύντομη Περιγραφή οδοστρώματος
0	Παλιός Τύπος οδοστρώματος
1	ΑΣ12.5 Με Κοινή άσφαλο
2	ΑΣ12.5 Με τροποποιημένη Άσφαλο και με 50% RAP
3	ΑΣ12.5 Με τροποποιημένη Άσφαλο και με 30% RAP
4	ΑΣ12.5 Με τροποποιημένη Άσφαλο

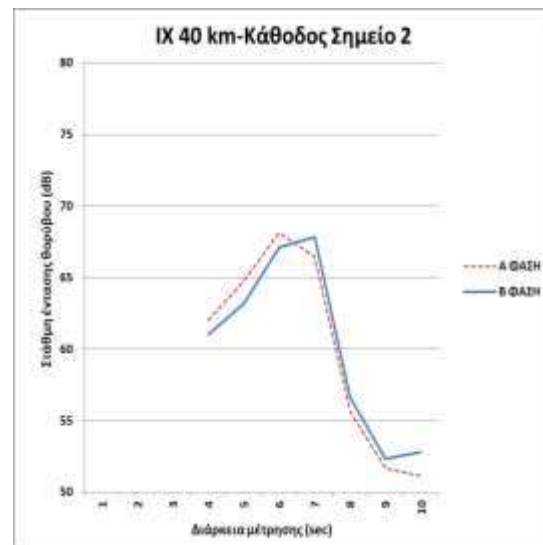
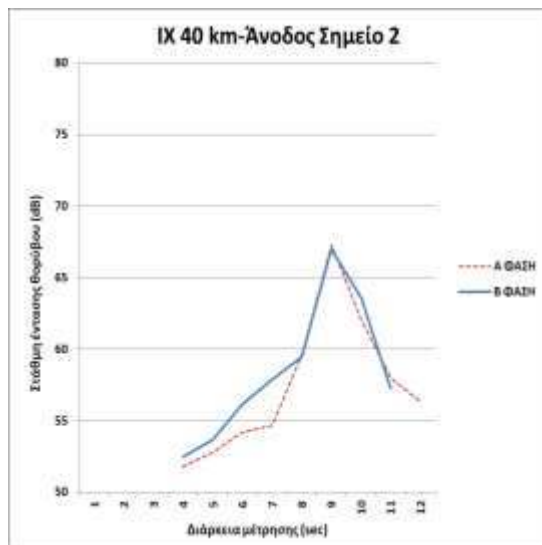
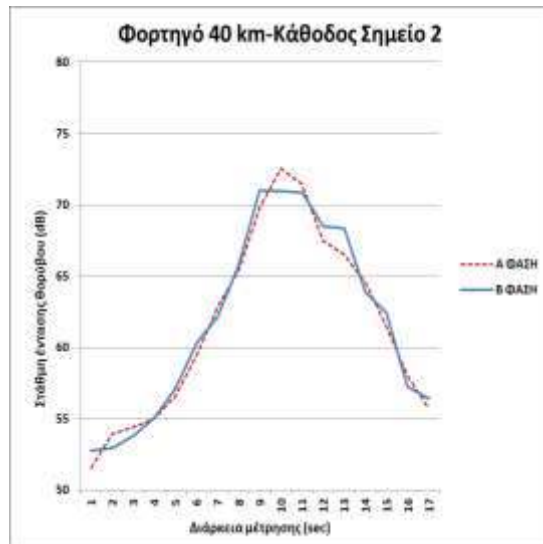
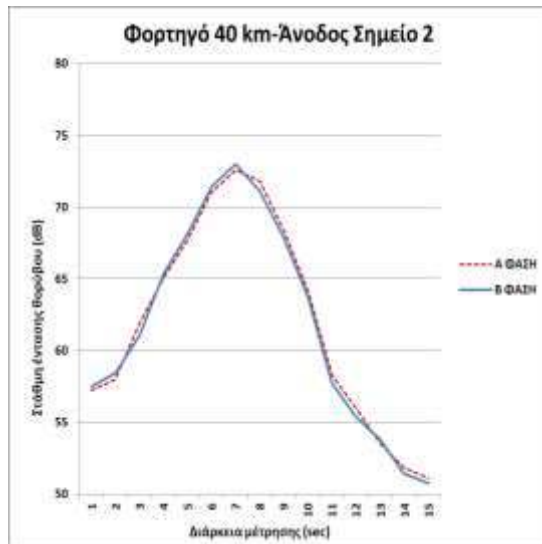
ΘΕΣΗ 0 (Παλιός Τύπος οδοστρώματος)



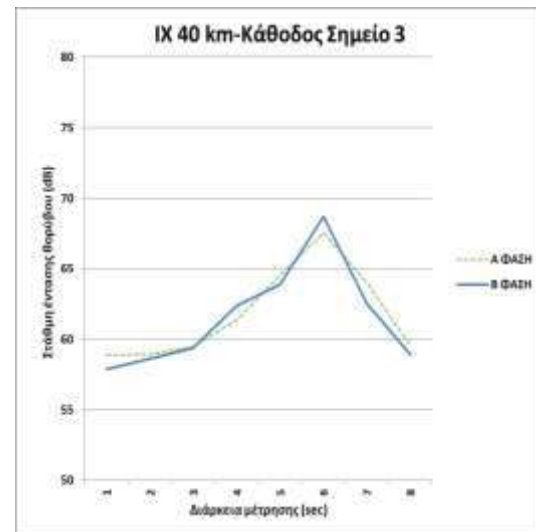
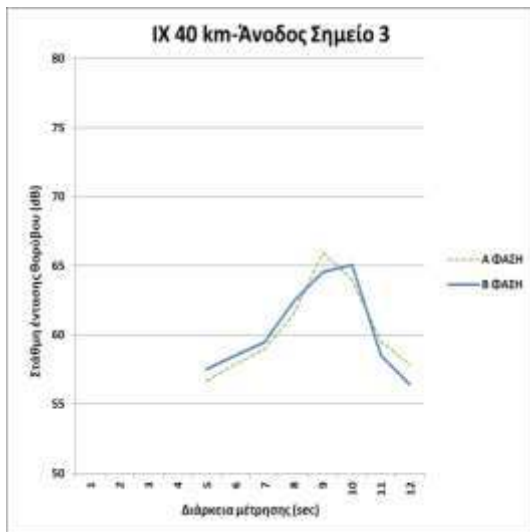
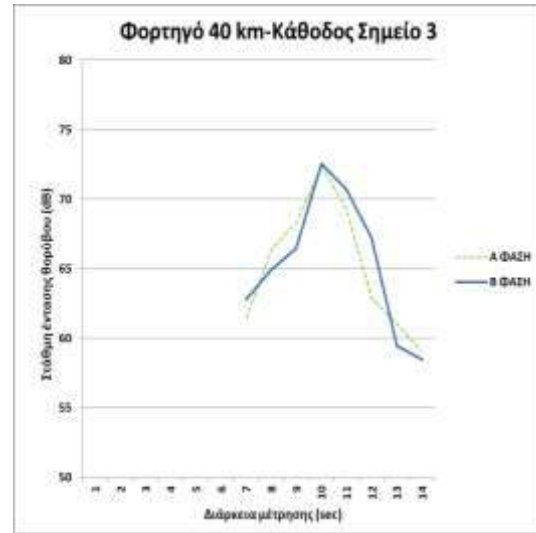
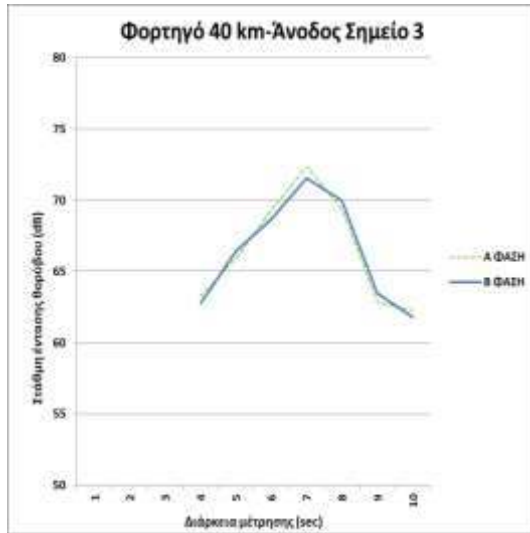
ΘΕΣΗ 1 (Με κοινή άσφαλτο)



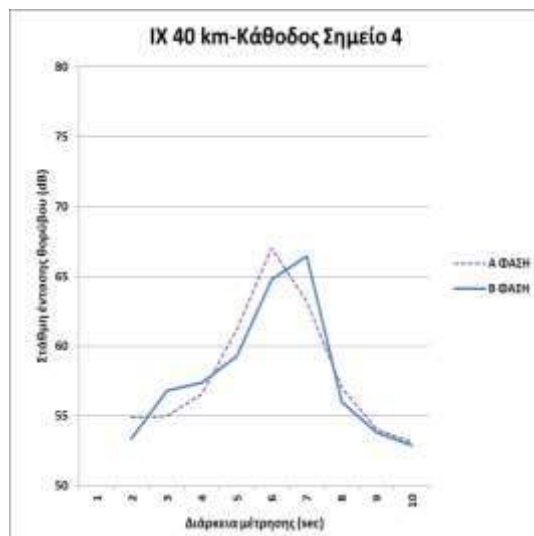
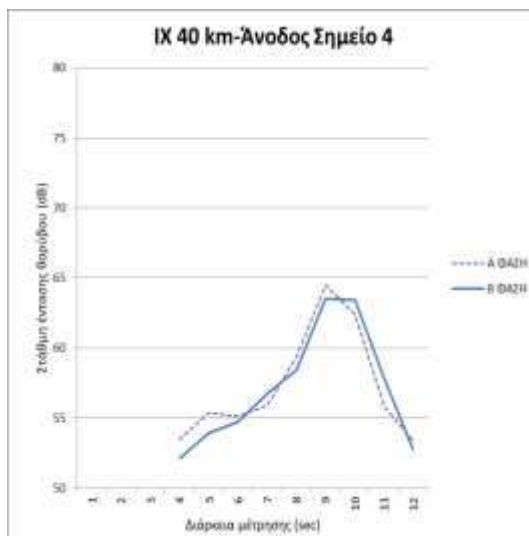
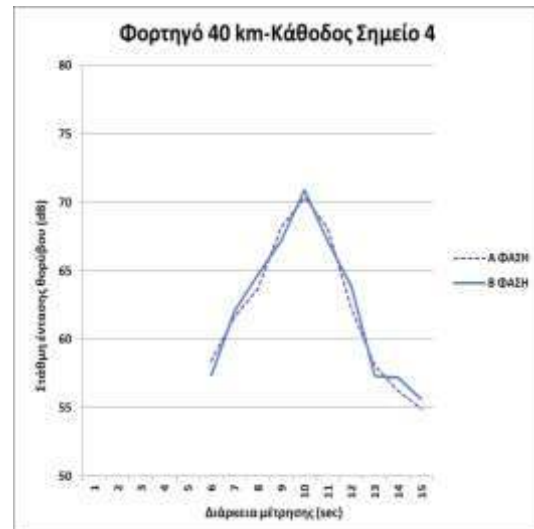
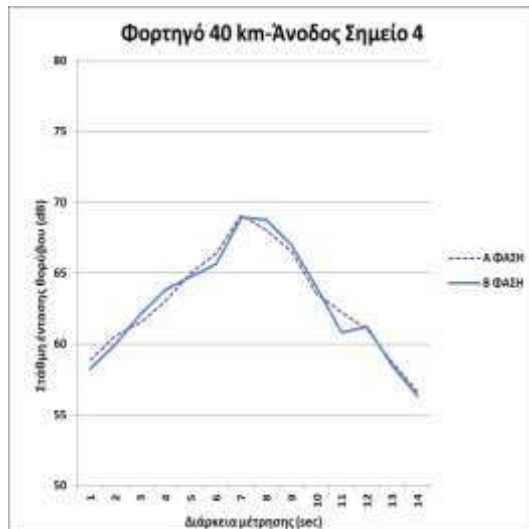
ΘΕΣΗ 2 (ΑΣ12.5 Με τροποποιημένη Ασφαλτο και με 50% RAP)



ΘΕΣΗ 3 (ΑΣ12.5 Με τροποποιημένη Ασφαλτο και με 3ο% RAP)



ΘΕΣΗ 4 (Με τροποποιημένη άσφαλο)



Από την επεξεργασία των ηχομετρήσεων που εκτελέσθηκαν, απορρέουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Το σημείο ο είχε τα υψηλότερα επίπεδα θορύβου για όλα τα είδη οχημάτων.

- Το σημείο 4 έχει τα χαμηλότερα επίπεδα θορύβου για όλα τα είδη οχημάτων.
- Η μέγιστη μετρηθείσα ηχοστάθμη στην άνοδο με ΙΧ σημείο ο ήταν 72 dB ενώ στο σημείο 4 ήταν 64 dB. Συμπερασματικά υπάρχει μία διαφορά της τάξης των **8dB** μεταξύ των δύο σημείων μέτρησης. Αντίστοιχη διαφορά παρουσιάζεται και στην κάθοδο με ΙΧ, αλλά και στις 2 διελεύσεις με φορτηγό.
- Τα σημεία 1, 2 & 3 έχουν πολύ κοντινά ακουστικά χαρακτηριστικά και είναι δύσκολο να εξαχθεί κάποιο ασφαλές συμπέρασμα.
- Από την επεξεργασία των καμπυλών των 2 φάσεων, προκύπτει ότι οι παρουσιαζόμενες πολύ μικρές αποκλίσεις μεταξύ των 2 φάσεων είναι εντελώς φυσιολογικές και δεν αξιολογούνται ως σημαντικές. Οι αποκλίσεις αυτές μπορεί να οφείλονται σε εξωγενείς και τυχαίους παράγοντες.

Λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω φαίνεται **το τμήμα του οδοστρώματος όπου χρησιμοποιήθηκε τροποποιημένη ασφαλτος με τρίμμα ελαστικού να έχει τις καλύτερες επιδόσεις όσον αφορά τα επίπεδα θορύβου**. Ταυτόχρονα όλα τα υπόλοιπα είδη οδοστρώματος παρουσιάζουν πολύ κοντινά αποτελέσματα στις μετρήσεις θορύβου, γεγονός ευνοεί την χρήση ασφαλτομιγμάτων με τροποποιημένη ασφαλτο και υψηλά ποσοστά χρήσης RAP έναντι της συμβατικής ασφάλτου με στόχο να μειωθούν οι παραπάνω ροές αποβλήτων και να μεγιστοποιηθεί το περιβαλλοντικό όφελος.

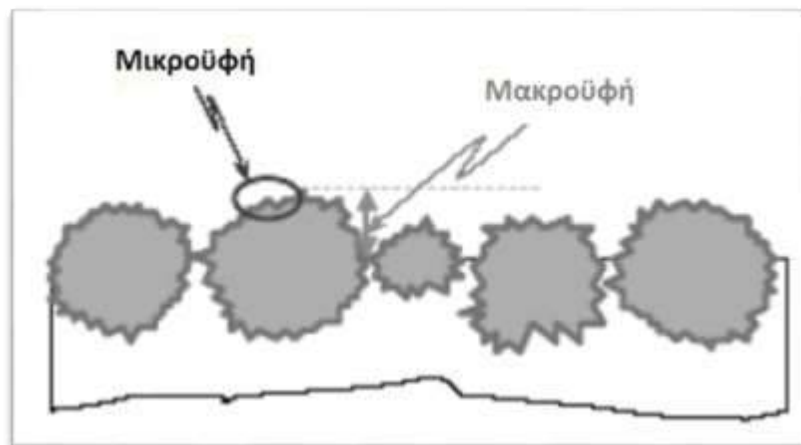
Μετρήσεις θα μπορούσαν να ξαναγίνουν μετά από κάποιο εύλογο χρονικό διάστημα ώστε να διατυπωθεί η μεταβολή του θορύβου σε συνάρτηση με την καταπόνηση του οδοστρώματος καθώς το οδόστρωμα μετά από 8ήνες από την διάστρωση του δεν παρουσιάζει ακόμα σημεία γήρανσης .

3.3 Μετρήσεις ολισθηρότητας

Η αντίσταση ολίσθησης είναι το αποτέλεσμα της τριβής που αναπτύσσεται μεταξύ της επιφάνειας του οδοστρώματος και των ελαστικών των οχημάτων, η οποία αποτρέπει το όχημα να γλιστρήσει πάνω στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Αυξημένη τιμή τριβής συνεπάγεται αυξημένη αντίσταση στην ολίσθηση και συνεπώς μεγαλύτερη ασφάλεια.

Παράγοντες που επηρεάζουν την ολισθηρότητα των οχημάτων είναι η ταχύτητα του οχήματος, τα χαρακτηριστικά των ελαστικών, οι καιρικές συνθήκες, η γεωμετρία του δρόμου, η κατάσταση, μικροϋφή και η μακροϋφή του οδοστρώματος.

Έχουν γίνει αρκετές έρευνες παγκοσμίως οι οποίες μελετούν την επίδραση της χρήσης τρίματος ελαστικού στην μείωση της ολισθηρότητας του δρόμου, με θετικά αποτελέσματα, τα οποία όμως εξαρτώνται από διάφορες παραμέτρους όπως είναι το μέγεθος του τρίματος των ελαστικών, το οποίο παίζει σημαντικό ρόλο στην ολισθηρότητα αλλά και το ποσοστό με το οποίο συμμετέχει στο ασφαλτόμιγμα. Σε αυτές τις μετρήσεις μελετάται η μικροϋφή και η μακροϋφή του οδοστρώματος.



Εικόνα 8 - Σύγκριση μικροϋφής και μακροϋφής

Όσον αφορά την ταυτόχρονη χρήση τρίματος ελαστικού και ανακυκλωμένου οδοστρώματος (RAP) η έρευνα είναι περιορισμένη. Με αυτό το δεδομένο η

παρούσα μελέτη εξάγει συμπεράσματα σχετικά με την ταυτόχρονη επίδραση του RAP και του τρίμματος ελαστικών.

Στο πιλοτικό έργο διενεργήθηκαν μετρήσεις με τη συσκευή Grip Tester του σκωτσέζικου οίκου Findlay Irvine, η οποία είναι μία από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες συσκευές παγκοσμίως για τη μέτρηση της αντιολισθηρότητας τόσο αυτοκινητοδρόμων όσο και αεροδιαδρόμων. Συμμορφώνεται και πληροί τις απαιτήσεις του προτύπου BS7941-2:2000.

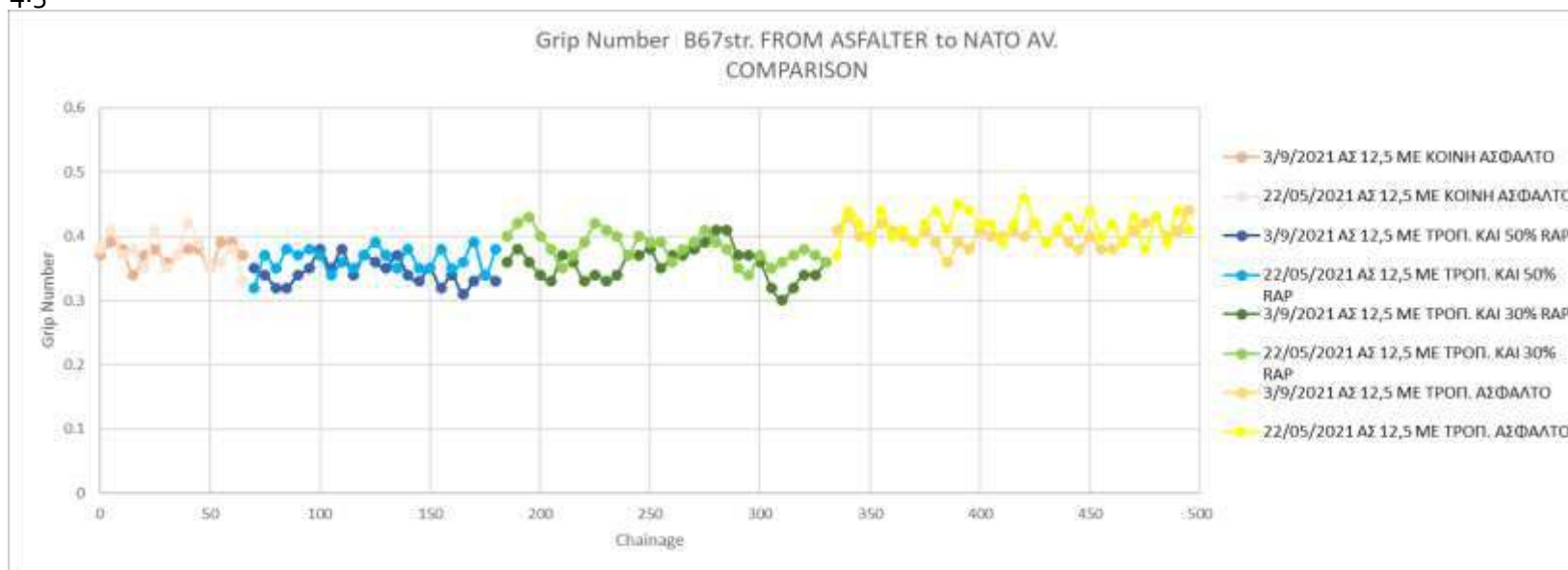


Εικόνα 9 - Συσκευή Grip Tester, Findlay Irvine

Η συσκευή διαθέτει ειδικό τροχό μέτρησης ολισθηρότητας. Ο τροχός αυτός υγραίνεται με αυτόματο σύστημα το οποίο διασφαλίζει σταθερό πάχος φιλμ υγρασίας στα 0,25mm σε όλο το μήκος των μετρήσεων. Η συσκευή διαθέτει επίσης GPS και καταγράφει τις συντεταγμένες καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Η καταγραφή της ολισθηρότητας έγινε ανά 5m, ενώ έγινε ταυτόχρονα καταγραφή των συντεταγμένων. Οι μετρήσεις έχουν σαν αποτέλεσμα έναν αριθμό – Grip Number- ο οποίος **όσο μεγαλύτερη τιμή έχει τόσο μεγαλύτερη αντίσταση στην ολισθηρότητα παρουσιάζει το οδόστρωμα.**

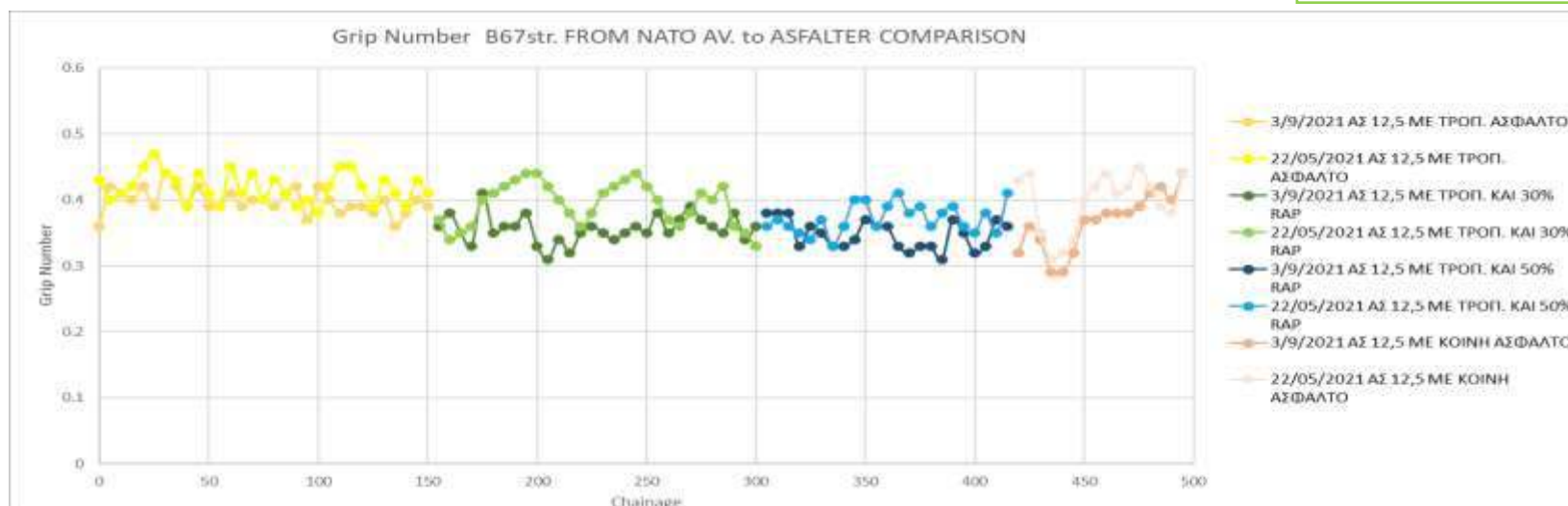
Παρακάτω παρουσιάζονται διαγραμματικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων κατά τις 2 φάσεις των μετρήσεων. Στην Εικόνα 10 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα και των δύο σειρών μετρήσεων όταν το μηχάνημα Grip tester κινείται από το βιομηχανικό συγκρότημα της Ασφατέρ προς τη Λεωφόρο Νάτο

ενώ στην Εικόνα 11 παρουσιάζονται αντίστοιχα τα αποτελέσματα και των δύο σειρών μετρήσεων όταν το μηχάνημα Grip tester κινείται από τη Λεωφόρο Νάτο προς το βιομηχανικό συγκρότημα της Ασφαλτέρ.



Εικόνα 10 - Grip Number Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα από Ασφαλτέρ προς Λεωφόρο Νάτο – Σύγκριση αποτελεσμάτων

* Chainage=Θέση μέτρησης (m)



Εικόνα 11 - Grip Number Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα από Λεωφόρο Νάτο προς Ασφαλτέρ – Σύγκριση αποτελεσμάτων



Εικόνα 12 - Grip Number ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ ΜΕ ΠΑΛΙΟ ΑΣΦΑΛΤΙΚΟ – Σύγκριση αποτελεσμάτων

Παρατηρώντας τα διαγράμματα, οι τιμές (Grip Number) είναι ελαφρώς χαμηλότερες, σε όλα τα τμήματα, σε σχέση με την προηγούμενη μέτρηση, γεγονός που ενδεχομένως να οφείλετε στην μεγαλύτερη κυκλοφοριακή επιβάρυνση του οδοστρώματος στο διάστημα που μεσολάβησε μεταξύ των μετρήσεων. Τα αποτελέσματα και σε αυτήν την περίπτωση έδειξαν ότι **το τμήμα όπου διαστρώθηκε με τροποποιημένη άσφαλτο με τρίμμα ελαστικού παρουσιάζει ελαφρώς καλύτερες τιμές από τα υπόλοιπα τμήματα.**

Παρόλα αυτά πρέπει να σημειωθεί ότι οι διαφορές μεταξύ των τμημάτων παραμένουν σχετικά μικρές και μπορεί να μην αντιστοιχούν αποκλειστικά σε διαφορές της αντιολισθηρότητας των υλικών αλλά να επηρεάζονται από τον διαφορετικό κυκλοφοριακό φόρτο του κάθε τμήματος καθώς και από το γεγονός ότι δεν διαμεσολάβησε χρονικό διάστημα, τόσο από την διάστρωση όσο και από την διενέργεια των μετρήσεων, ικανό να προκαλέσει γήρανση του οδοστρώματος.

3.4 Μετρήσεις Τροχοαυλακώσεων

Τροχοαυλάκωση ορίζεται ως το αποτέλεσμα της παραμένουσας παραμόρφωσης στο οδόστρωμα και εμφανίζεται κυρίως κατά μήκος του ίχνους των τροχών όπου δημιουργείται βύθιση ενώ εκατέρωθεν παρατηρείται ανύψωση, ενώ ρηγμάτωση είναι η διακοπή της συνέχειας σε μια επιφάνεια.

Η χρήση ελαστικού όπως φαίνεται στην Εικόνα 13 είχε πολύ καλή απόδοση. Μετά από 9 χρόνια, το οδόστρωμα που κατασκευάστηκε το 1990 στην Αριζόνα δεν παρουσίασε σχεδόν καθόλου ρωγμές, καθόλου τροχοαυλακώσεις και χωρίς να χρειαστεί συντήρηση διατηρεί την αντοχή του.



Εικόνα 13 - Αριστερά: δρόμος με συμβατικό ασφαλτόμιγμα, δεξιά: δρόμος με τρίμμα ελαστικού(1990) - Λήψη της φωτογραφίας (1998)

Σχετικά με την **χρήση RAP**, οι μελέτες και οι επιδόσεις οδοστρωμάτων είναι πολύ περιορισμένες και χρήζουν περαιτέρω ερευνάς.

Γενικότερα μίγματα που περιέχουν RAP έχουν βρεθεί να αποδίδουν καλά στα περισσότερα σημεία, παρόλα αυτά, ενώ βοηθούν στην μείωση της χρήσης παρθένου συνθετικού και αυξάνουν την αντοχή στις τροχοαυλακώσεις θεωρείται ως ένας πιθανός παράγοντας ο οποίος μπορεί να είναι υπεύθυνος για την δημιουργία θερμικών ρωγμών και αστοχιών λόγω γήρανσης του οδοστρώματος, εξαιτίας της πτητικότητας και οξειδωσης μειώνοντας την απόδοση των μιγμάτων.¹

Συνεπώς στην οδοποιία θεωρείται ότι η χρήση RAP αυξάνει τον κίνδυνο θερμικών ρωγμών και ρωγμών λόγω κόπωσης στα θερμά ασφαλτομίγματα και η προσθήκη τρίμματος ελαστικού λειτουργεί βοηθητικά στην βραχυπρόθεσμη απόδοση και πιθανώς μειώνει την αρνητική επίδραση του RAP.

Ερευνητικές μελέτες που έχουν γίνει σχετικά με την επίδραση του RAP και του τρίμματος ελαστικού σε θερμά ασφαλτομίγματα κατέληξαν ότι ενώ η χρήση του

¹ Xiao FP. Development of fatigue predictive models of rubberized asphalt concrete (RAC) containing reclaimed asphalt pavement (RAP) mixtures. PhD dissertation. Clemson University, Clemson, SC, 2006.

ελαστικού είναι ευεργετική στην αύξηση της αντοχής στην κόπωση, η αύξηση του ποσοστού RAP έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση αυτής (ασχέτως μεγέθους του τρίμματος) και ταυτόχρονα ενώ αυξάνει την αντοχής έναντι στις τροχοαυλακώσεις έχει αρνητικό αντίκτυπο στην αντοχή έναντι στις ρηγματώσεις που προκαλούνται λόγω χαμηλών θερμοκρασιών. **Επιπρόσθετα κατέληξαν ότι η χρήση και των δύο υλικών σε ποσοστά 10% τρίμμα ελαστικού και 25% RAP μπορεί να προσφέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα** προς την βελτίωση της αντοχής στις τροχοαυλακώσεις και την κόπωση του οδοστρώματος. Τέλος διαπιστώθηκε ότι τόσο το RAP όσο και το τρίμμα ελαστικού αποδίδουν πολύ καλά σε υψηλές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα να ενδείκνυνται για χρήση σε θερμά κλίματα.²³⁴

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο πιλοτικό έργο έγιναν με την συσκευή Walking Profiler, η οποία είναι μία συσκευή υψηλής ακρίβειας και αποτελεί εξελιγμένο σύστημα προφίλομετρησης για την συλλογή πληροφοριών σχετικά με την κατάσταση της επιφάνειας του οδοστρώματος. Οι μετρήσεις με το Walking profiler γίνονται σε περιορισμένα μήκη οδών, καθώς η συσκευή κινείται με πολύ αργή ταχύτητα (έως 5km/h) - ο χειριστής περπατάει κατά τη διενέργεια της δοκιμής καθώς τα δεδομένα μεταφέρονται από την συσκευή σε μία android φορητή συσκευή (tablet). Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μία υψηλής ακρίβειας αποτύπωση των επιφανειακών χαρακτηριστικών του οδοστρώματος (ομαλότητα – τροχοαυλάκωση).

² Feipeng Xiao, Serji N. Amirkhanian, Junan Shen b, Bradley Putman (2008). “Influences of crumb rubber size and type on reclaimed asphalt pavement (RAP) mixtures”.

³ Feipeng Xiao, Serji Amirkhanian, Bradley Putman, and Junan Shen (2010). “Laboratory investigation of engineering properties of rubberized asphalt mixtures containing reclaimed asphalt pavement”.

⁴ Z. Alavi, S. Hung, D. Jones and J. Harvey (2016) Preliminary Investigation into the Use of Reclaimed Asphalt Pavement in Gap-Graded Asphalt Rubber Mixes, and Use of Reclaimed Asphalt Rubber Pavement in Conventional Asphalt Concrete Mixes.



Εικόνα 14 - Συσκευή Walking Profiler

Κατά την διάρκεια των μετρήσεων έγινε μέτρηση 12 σημείων του οδοστρώματος, τρεις σε κάθε είδος οδοστρώματος και από αυτές παρουσιάζονται οι πιο αντιπροσωπευτικές, καθώς σε κάποιες περιπτώσεις υπήρχαν μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των μετρήσεων πιθανότατα λόγω του γεγονότος ότι η μέτρηση δεν έγινε ακριβώς στο ίδιο σημείο.

Σημειώνεται ότι στα διαγράμματα που ακολουθούν η καμπύλη πορτοκαλί χρώματος αντιστοιχεί στις μετρήσεις που διενεργήθηκαν στις 22/05/2021 ενώ η καμπύλη μπλε χρώματος στις μετρήσεις που διενεργήθηκαν στις 03/09/2021.



Εικόνα 15- Τροχοαυλάκωση, ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΑΣΦΑΛΤΟΣ - Σύγκριση αποτελεσμάτων

*Surface deviation=Απόκλιση επιφάνειας

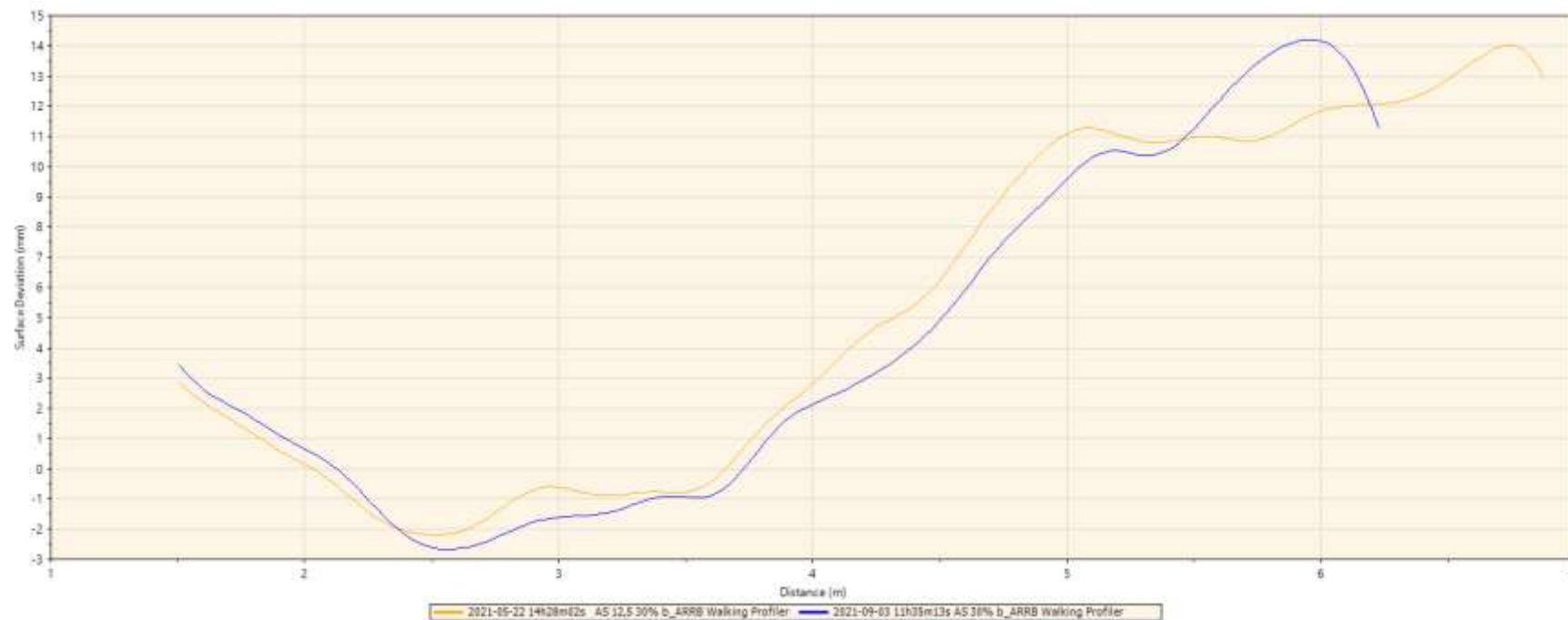
*Distance = Απόσταση



Εικόνα 16 - Τροχαυλάκωση, ΤΡΟΠΟΙΟΗΜΕΝΗ ΑΣΦΑΛΤΟΣ ΜΕ ΤΡΙΜΜΑ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ - Σύγκριση αποτελεσμάτων

*Surface deviation=Απόκλιση επιφάνειας

*Distance = Απόσταση



Εικόνα 17 - Τροχαυλάκωση, ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΣΦΑΛΤΟ ΜΕ ΤΡΙΜΜΑ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΜΕ 30% RAP - Σύγκριση αποτελεσμάτων

*Surface deviation=Απόκλιση επιφάνειας

*Distance = Απόσταση



Εικόνα 18- Τροχαυλάκωση, ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΣΦΑΛΤΟ ΜΕ ΤΡΙΜΜΑ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΜΕ 50% RAP - Σύγκριση αποτελεσμάτων

*Surface deviation=Απόκλιση επιφάνειας

*Distance = Απόσταση

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα, ο μεγαλύτερος βαθμός τροχοαυλάκωσης παρατηρήθηκε στο τμήμα «ΑΣ 12,5 ΜΕ ΚΟΙΝΗ ΑΣΦΑΛΤΟ».

Η τροχοαυλάκωση δεν επηρεάστηκε σημαντικά το διάστημα μεταξύ των δύο μετρήσεων, φαίνεται ωστόσο ότι επιδεινώθηκε στο τμήμα «ΑΣ 12,5 ΜΕ ΚΟΙΝΗ ΑΣΦΑΛΤΟ» ενώ στο τμήμα «ΑΣ 12,5 ΜΕ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΣΦΑΛΤΟ ΚΑΙ ΜΕ 50% RAP» η τροχοαυλάκωση παρέμεινε σχεδόν αμετάβλητη.

Παρόλα αυτά τα αποτελέσματα των μετρήσεων υποδεικνύουν ότι δεν παρουσιάζεται πρόβλημα τροχοαυλάκωσης στο οδόστρωμα σε κανένα από τα επιμέρους τμήματα.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν και μελετούν τα επίπεδα θορύβου, την αντιολισθηρότητα, τις τροχοαυλακώσεις αλλά και το φαινόμενο του spraying είναι ιδιαίτερα ελπιδοφόρα και πολλά υποσχόμενα. Σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία η χρήση τρίμματος ελαστικού βελτιώνει την ελαστικότητα του ασφαλτομίγματος ενώ η χρήση RAP το κάνει πιο δύσκαμπτο. Συνεπώς ο συνδυασμός της χρήσης του τρίμματος ελαστικού και του RAP δημιουργεί μια ισορροπία και ενώ το ποσοστό του RAP μπορεί να είναι υψηλό, η χρήση του τρίμματος ελαστικού κάνει το ασφαλτόμιγμα να μην χάνει τις ιδιότητες του.

Το παραπάνω φαίνεται και από τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Πιο συγκεκριμένα, οι μετρήσεις που έγιναν στο τμήμα με την τροποποιημένη άσφαλτο έχουν τα καλύτερα αποτελέσματα, ενώ τα τμήματα όπου χρησιμοποιείται ταυτόχρονα τροποποιημένη άσφαλτος και διάφορα ποσοστά RAP (30%, 50%) έχουν παρόμοια αποτελέσματα με το τμήμα που διαστρώθηκε με συμβατική άσφαλτο. Μέχρι στιγμής τα εθνικά πρότυπα περιορίζουν την χρήση RAP στο 10% όταν πρόκειται για χρήση στον επιφανειακού ασφαλτικό τάπητα και στο 20% όταν πρόκειται για χρήση στην βάση του οδοστρώματος. Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα θα μπορούσε αυτό το ποσοστό να αυξηθεί.

Με αυτό τον τρόπο, θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν δύο ρεύματα αποβλήτων, αυτό των ελαστικών τέλους κύκλου ζωής (ELTs) αλλά και του ανακυκλωμένου οδοστρώματος (RAP). Στην πρώτη περίπτωση, των ELTs, η υιοθέτηση της χρήσης

τους στην οδοποιία θα συντελούσε στην μείωση του όγκου των ελαστικών που χρησιμοποιούνται σε άλλες βιομηχανίες όπως η βιομηχανία τσιμέντων και έχουν αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις καθώς επίσης θα μπορούσε να λειτουργήσει ως υποκατάστατο του SBS. Στην δεύτερη περίπτωση του RAP, είναι άξιο να σημειωθεί ότι η χρήση του στην οδοποιία εκτός των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών που αποδίδει στο ασφαλτόμιγμα, δεν αφήνει καθόλου κατάλοιπα καθώς εκτός από την συλλογή του και τον θρυμματισμό του δεν δέχεται κάποια άλλη επεξεργασία.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Η παρούσα ανάλυση επικεντρώθηκε στο κόστος υλοποίησης του πιλοτικού και πιο συγκεκριμένα στο κόστος φρεζαρίσματος, δηλαδή την απομάκρυνση του παλαιού ασφαλτοτάπητα, το κόστος εφαρμογής ασφαλικής συγκολλητικής επάλειψης προδιαγραφών KE-1 και το κόστος διάστρωσης του ασφαλτομίγματος. Για να μελετηθούν τα παραπάνω μελετήθηκαν τα κόστη των πρώτων υλών, όπως το κόστος τροποποίησης της ασφάλτου με τρίμμα ελαστικού, καθώς και το κόστος του ασφαλτομίγματος σε κάθε ένα από τα σενάρια.

Τα σενάρια που μελετώνται και τα οποία συγκρίνουν τα 4 είδη ασφαλτομίγματος που χρησιμοποιήθηκαν για την διάστρωση του πιλοτικού δρόμου είναι τα εξής:

- 1 Συμβατική ασφαλτος
- 2 Τροποποιημένη ασφαλτος με τρίμμα ελαστικού
- 3 Τροποποιημένη ασφαλτος με τρίμμα ελαστικού και χρήση 30%RAP
- 4 Τροποποιημένη ασφαλτος με τρίμμα ελαστικού και χρήση 50%RAP

Στην παρούσα μελέτη δεν λαμβάνονται υπόψιν τα κόστη επένδυσης, τα κόστη συντήρησης καθώς και το κόστος για την επεξεργασία του προϊόντος τέλους κύκλου ζωής. Όσον αφορά το κόστος επένδυσης δεν μελετάται καθώς δεν απαιτείται να γίνει κάποια νέα επένδυση από την εταιρία παραγωγής ασφαλτομίγματος. Έχοντας ως δεδομένο ότι το πιλοτικό αφορά εργασία 2 ημερών, η αγορά και εγκατάσταση μονάδας παραγωγής τροποποιημένης ασφάλτου δεν αφορά τεχνικά το παρόν πιλοτικό έργο. Στη προκειμένη περίπτωση η μονάδα

παραγωγής ασφαλτομίγματος προμηθεύεται έτοιμη την τροποποιημένη ασφάλτο και στην παρούσα ανάλυση υπολογίζεται το κόστος τροποποίησης της ασφάλτου σε αυτή την περίπτωση. Το κόστος συντήρησης στο πλαίσιο του έργου είναι μηδενικό καθώς στην διάρκεια των 8 μηνών μελέτης δεν προκύπτει γήρανση του οδοστρώματος με συνέπεια να μην πραγματοποιηθούν επισκευές αυτού. Και τέλος, το κόστος της επεξεργασίας των απορριμμάτων δεν υπολογίζεται καθώς το παλιό οδόστρωμα που απομακρύνεται κατά την διαδικασία του φρεζαρίσματος, ανακυκλώνεται και επαναχρησιμοποιείται υποκαθιστώντας μέρος των αδρανών που απαιτούνται για το νέο ασφαλτόμιγμα.

Συνεπώς, λαμβάνοντας υπόψιν ότι η μελέτη αφορά μικρής κλίμακας πιλοτικό έργο, το οποίο υλοποιήθηκε εντός 2 ημερών, η κανονικοποίηση του συστήματος δεν πραγματοποιήθηκε σε ετήσια βάση αλλά προτιμήθηκε να γίνει σε ημερήσια βάση, όπου μία ημέρα αντιστοιχεί στις εργασίες που απαιτούνται για την διάστρωση οδοστρώματος συνολικής επιφάνειας 2,000 m² και πάχους 50 mm.

Ως λειτουργική μονάδα όπου λειτουργική μονάδα είναι μια ποσοτικοποιημένη περιγραφή της απόδοσης του συστήματος, που ορίζεται από το προϊόν ή την υπηρεσία που παρέχεται από το σύστημα που μελετάται και διαμορφώνεται επιπλέον από τον στόχο της μελέτης θα ορίζεται ο τόνος (tn) καθώς και το τετραγωνικό μέτρο (m²).

Το 1ο και 2ο στάδιο του πιλοτικού είναι κοινό και για τα 4 παραπάνω σενάρια.

Πίνακας 2 : Δεδομένα για τον υπολογισμό του κόστους φρεζαρίσματος επιφάνειας 2000m²

Δεδομένα	Τιμή	Ποσότητα
Ημερήσια απασχόληση φορητού μηχανολογικού εξοπλισμού		
Φρέζα οδοποιίας	1.000,00 €	1
Μικρός λαστιχοφόρος φορτωτής	250,00 €	1
Αναρροφητικό σάρωθρο	350,00 €	1
Ημερήσια απασχόληση ανατρεπομένων φορητών		

Αξονικά φορτηγά με ανατρεπόμενη καρότσα	300,00 €	3*
Ημερήσια απασχόληση εργατοτεχνικού προσωπικού		
Εργατοτεχνίτης	100,00 €	1
Εργοδηγός	150,00 €	1
Συνολικό κόστος	2.850,00 €	
Κόστος ανά m²	1,43 €	

Πίνακας 3 -Δεδομένα για τον υπολογισμό του κόστους εφαρμογής ασφαλτικής συγκολλητικής επάλειψης σε επιφάνειας 2000m²

Δεδομένα	Τιμή	Ποσότητα
Ημερήσια απασχόληση φορητού μηχανολογικού εξοπλισμού		
Ασφαλτοδιανομέας Federal	300,00 €	1
Ημερήσια απασχόληση εργατοτεχνικού προσωπικού		
Εργατοτεχνίτης	100,00 €	1
Κόστος προμήθειας ασφαλτικής συγκολλητικής επάλειψης κε-1		
Συγκολλητική επάλειψης κε-1	0,50 €	1000
Συνολικό κόστος	900,00 €	
Κόστος ανά m²	0,45 €	

Απαιτούμενη ποσότητα ασφαλτομίγματος ανά σενάριο

Γνωρίζοντας την φαινόμενη πυκνότητα του καθενός από τα 4 ασφαλτόμιγμα καθώς και την επιφάνειά και το πάχος ασφαλτόστρωσης μπορεί να υπολογιστεί ή απαιτούμενη ποσότητα ασφαλτομίγματος που απαιτείται για την κάλυψη των 2000m² που πραγματοποιούνται κατά την διάρκεια της μίας ημέρας εργασιών.

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται τα δεδομένα για τον παραπάνω υπολογισμό.

Πίνακας 4 -Υπολογισμός απαιτούμενης ποσότητα ασφαλτομίγματος

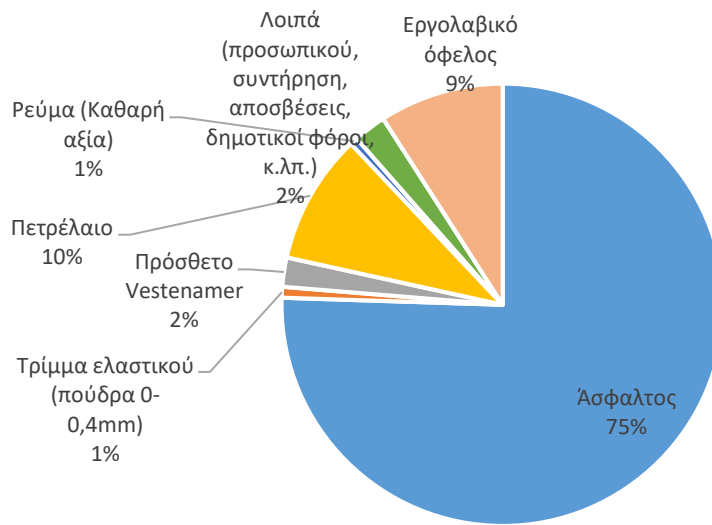
	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4
Επιφάνεια (m ²)	2000 m ²	2000 m ²	2000 m ²	2000 m ²
Πάχος διάστρωσης (m)	0,05m	0,05m	0,05m	0,05m
Φαινόμενη πυκνότητα ασφαλτομίγματος (Kg/m ³)	2296,00 Kg/m ³	2322,00 Kg/m ³	2339,00 Kg/m ³	2355,00 Kg/m ³
Απαιτούμενη ποσότητα (tn)	229,6 tn	232,2 tn	233,9 tn	235,5 tn

Κόστος τροποποίησης της ασφάλτου

Πίνακας 5 - Δεδομένα για τον υπολογισμό του κόστους παραγωγής ενός τόνου τροποποιημένης ασφάλτου

Δεδομένα	Τιμή	Ποσότητα	Κόστος
Άσφαλτος	500,00 €	0,950tn	475,21 €
Τρίμμα ελαστικού (πούδρα 0-0,4mm)	105,00 €	0,048tn	4,99 €
Πρόσθετο Vestenamer	6.500,00 €	0,002tn	13,43 €
Πετρέλαιο	1,00 €	60,00lt	60,00 €
Ρεύμα (Καθαρή αξία)	0,07 €	50,00KWh	3,50 €
Λοιπά (προσωπικού, συντήρηση, αποσβέσεις, δημοτικοί φόροι, κ.λπ.)			15,00 €
Κόστος πρό κέρδους			572,13 €
Εργολαβικό όφελος (~10%)			57,21 €
Κόστος /tn			629,34 €

Στην Εικόνα 19 αναλύεται το ποσοστό συμμετοχής του κάθε επιμέρους κόστους στο συνολικό κόστος τροποποίησης της ασφάλτου με τρίμμα ελαστικού.



Εικόνα 19: Κόστος τροποποίησης της ασφάλτου με τρίμμα ελαστικού

Πίνακας 6: Δεδομένα για τον υπολογισμό του κόστους παραγωγής ενός τόνου ασφαλτομίγματος για κάθε σενάριο

Δεδομένα	ΣΕΝΑΡΙΟ 1			ΣΕΝΑΡΙΟ 2			ΣΕΝΑΡΙΟ 3			ΣΕΝΑΡΙΟ 4		
	Τιμή	Ποσότητα	Κόστος	Τιμή	Ποσότητα	Κόστος	Τιμή	Ποσότητα	Κόστος	Τιμή	Ποσότητα	Κόστος
Απλή ασφαλτος	500,00 €	0,042tn	21,00 €	500,00 €	-	-€	500,00 €	-	-€	500,00 €	-	-€
Τροποποιημένη ασφαλτος	629,34 €	-	-€	629,34 €	0,047tn	29,58 €	629,34 €	0,044tn	27,69 €	629,34 €	0,041	25,80 €
Ασβεστολιθικά αδρανή	10,00 €	0,958tn	9,58 €	10,00 €	0,953tn	9,53 €	10,00 €	0,669tn	6,69 €	10,00 €	0,480tn	4,80 €
Αδρανή ανακύκλωσης (RAP)	- €	-	- €	- €	-	- €	- €	0,287	- €	- €	0,480tn	- €
Πετρέλαιο	1,00 €	11,00lt	11,00 €	1,00 €	11,00lt	11,00 €	1,00 €	11,00lt	11,00 €	1,00 €	11,00lt	11,00 €
Ρεύμα (καθαρή αξία)	0,07 €	6,00kwh	0,42 €	0,07 €	6,00kwh	0,42 €	0,07 €	6,00kwh	0,42 €	0,07 €	6,00kwh	0,42 €
Λοιπά (προσωπικού, συντήρηση, αποσβέσεις, δημοτικοί φόροι, κ.λπ.)		8,00 €			8,00 €			8,00 €			8,00 €	
Κόστος πρό κέρδους		50,00 €			58,53 €			53,80 €			50,02 €	
Εργολαβικό όφελος (~10%)		5,00 €			5,85 €			5,38 €			5,00 €	
Συνολικό κόστος ανά tn		55,00 €			64,38 €			59,18 €			55,02 €	

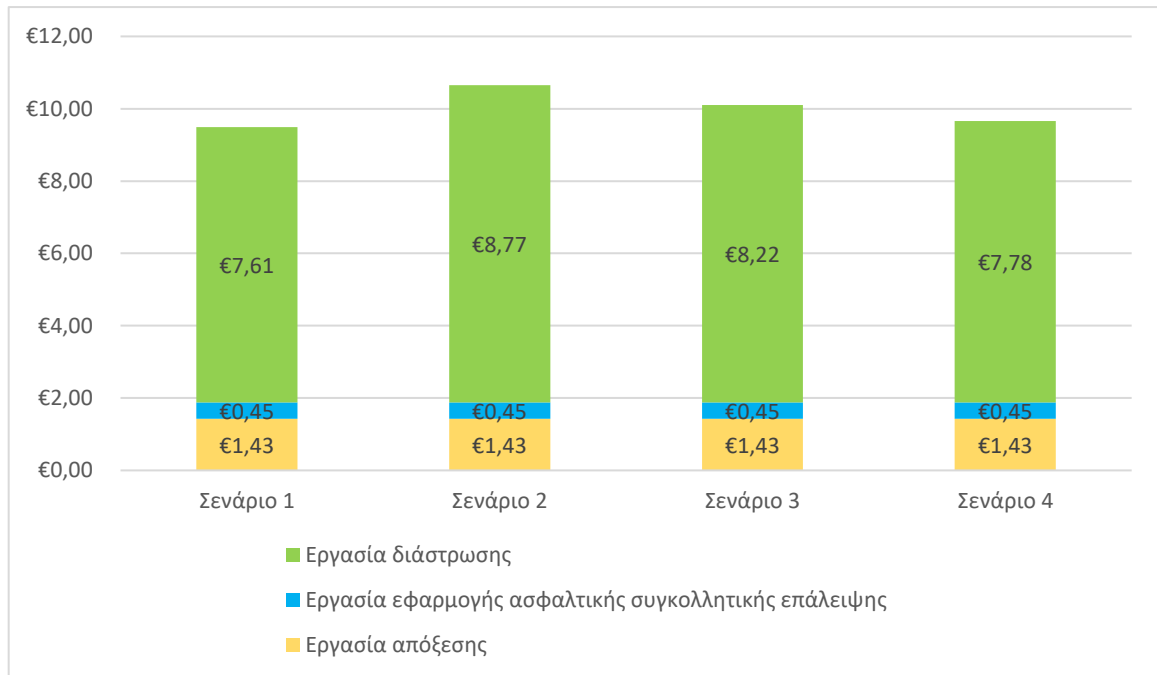
Πίνακας 7: Δεδομένα για τον υπολογισμό του κόστους διάστρωσης ασφαλτοτάπητα επιφάνειας 2000m² για κάθε σενάριο

	ΣΕΝΑΡΙΟ 1			ΣΕΝΑΡΙΟ 2			ΣΕΝΑΡΙΟ 3			ΣΕΝΑΡΙΟ 4		
Δεδομένα	Τιμή	Ποσότητα	Κόστος	Τιμή	Ποσότητα	Κόστος	Τιμή	Ποσότητα	Κόστος	Τιμή	Ποσότητα	Κόστος
Ημερήσια απασχόληση φορητού μηχανολογικού εξοπλισμού												
Διαστρωτήρας ασφαλτομίγματος (finisher)	500,00 €	1	500,00 €	500,00 €	1	500,00 €	500,00 €	1	500,00 €	500,00 €	1	500,00 €
Οδοστρωτήρας μεγάλος	300,00 €	1	300,00 €	300,00 €	1	300,00 €	300,00 €	1	300,00 €	300,00 €	1	300,00 €
Οδοστρωτήρας μικρός	250,00 €	1	250,00 €	250,00 €	1	250,00 €	250,00 €	1	250,00 €	250,00 €	1	250,00 €
Ημερήσια απασχόληση ανατρεπομένων φορτηγών												
Αξονικά φορτηγά με ανατρεπόμενη καρότσα	300,00 €	3	900,00 €	300,00 €	3	900,00 €	300,00 €	3	900,00 €	300,00 €	3	900,00 €
Ημερήσια απασχόληση εργατοτεχνικού προσωπικού												
Εργατοτεχνίτης	100,00 €	5	500,00 €	100,00 €	5	500,00 €	100,00 €	5	500,00 €	100,00 €	5	500,00 €
Εργοδηγός	150,00 €	1	150,00 €	150,00 €	1	150,00 €	150,00 €	1	150,00 €	150,00 €	1	150,00 €
Κόστος προμήθειας ασφαλτομίγματος												
Ασφαλτόμιγμα	55,00€	229,6	12.628,00 €	64,38 €	232,2	14.949,46 €	59,18 €	233,9	13.842,95 €	55,02 €	235,5	12.957,13 €
Συνολικό κόστος			15.228,00 €			17.549,46 €			16.442,95 €			15.557,13 €
Κόστος ανά m²			7,61 €			8,77 €			8,22 €			7,78 €
Κόστος ανά tn			66,32 €			75,58 €			70,30 €			66,06 €

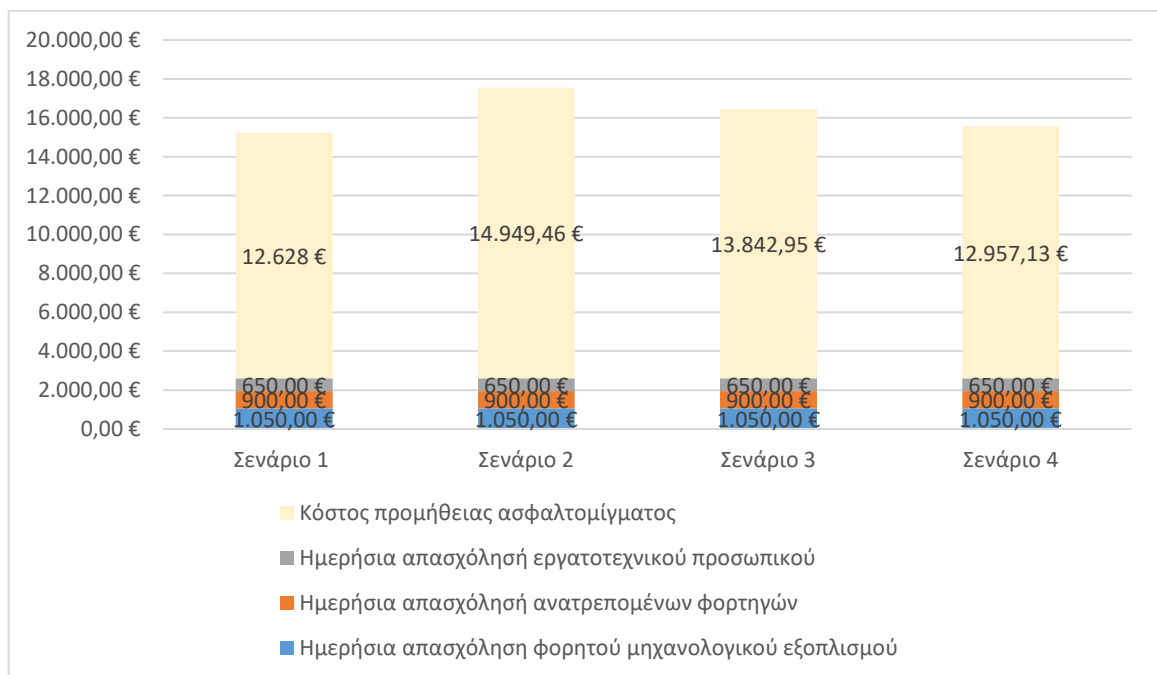
Πίνακας 8 -Συγκεντρωτικά αποτελέσματα κόστους εργασίας ασφαλτόστρωσης

	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4
Εργασία απόξεσης	2.850,00 €	2.850,00 €	2.850,00 €	2.850,00 €
Εργασία εφαρμογής ασφαλικής συγκολλητικής επάλειψης	900,00 €	900,00 €	900,00 €	900,00 €
Εργασία διάστρωσης	15.228,00 €	17.549,46 €	16.442,95 €	15.557,13 €
Συνολικό κόστος	18.978,00 €	21.299,46 €	20.192,95 €	19.307,13 €
Συνολικό κόστος ανά m²	9,49 €	10,65 €	10,10 €	9,65 €
Συνολικό κόστος ανά tη	82,66 €	91,73 €	86,33 €	81,98 €

Λαμβάνοντας υπόψιν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο παραπάνω πίνακα είναι προφανές ότι τα σενάρια με το μικρότερο κόστος ανά m² και ανά tη ασφαλτομίγματος αποτελούν το Σενάριο 1 όπου γίνεται χρήση συμβατικής ασφάλτου και το Σενάριο 4 όπου χρησιμοποιείται τροποποιημένη άσφαλτος με 50% RAP. Αναλύοντας το κάθε στάδιο ασφαλτόστρωσης (Εικόνα 10) φαίνεται ότι το κόστος της εργασίας απόξεσης του παλαιού οδοστρώματος και η εργασία εφαρμογής ασφαλική συγκολλητικής επάλειψής είναι σταθερά και για τα 4 σενάρια συνεπώς η **διαφορά στο κόστος διαμορφώνεται από το κόστος διάστρωσης.**



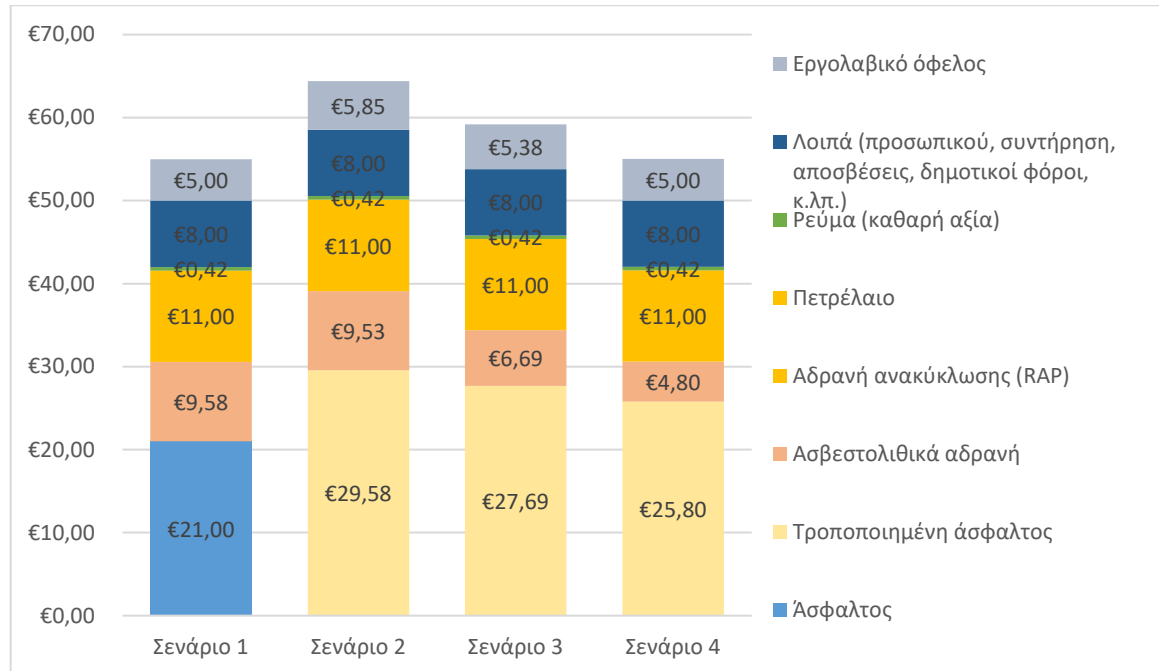
Εικόνα 20 - Συγκεντρωτικά αποτελέσματα συνολικού κόστους ανά m2 εργασιών ανά σενάριο



Εικόνα 21 - Ανάλυση κόστους εργασίας διάστρωσης

Αναλύοντας περαιτέρω το κόστος διάστρωσης (Εικόνα 11) παρατηρείται ότι το συνολικό κόστος επηρεάζεται μόνο από το **κόστος προμήθειας του ασφαλτομίγματος** και το οποίο εξαρτάται σύμφωνα με την ανάλυση της Εικόνας 12 κυρίως από το **κόστος της ασφάλτου**, συμβατικής και τροποποιημένης. Παράγοντες συνεπώς όπως έξοδα για τις εργασίες του προσωπικού αλλά και έξοδα που αφορούν στην ενέργεια (ηλεκτρικό

ρεύμα, πετρέλαιο) που απαιτείται για την παραγωγή του ασφαλτομίγματος και τη διάστρωση του οδοστρώματος παραμένουν σταθερά ως απόλυτο νούμερο ωστόσο η μεταβολή τους επηρεάζει την ποσοστιαία συμμετοχής τους στο συνολικό κόστος.

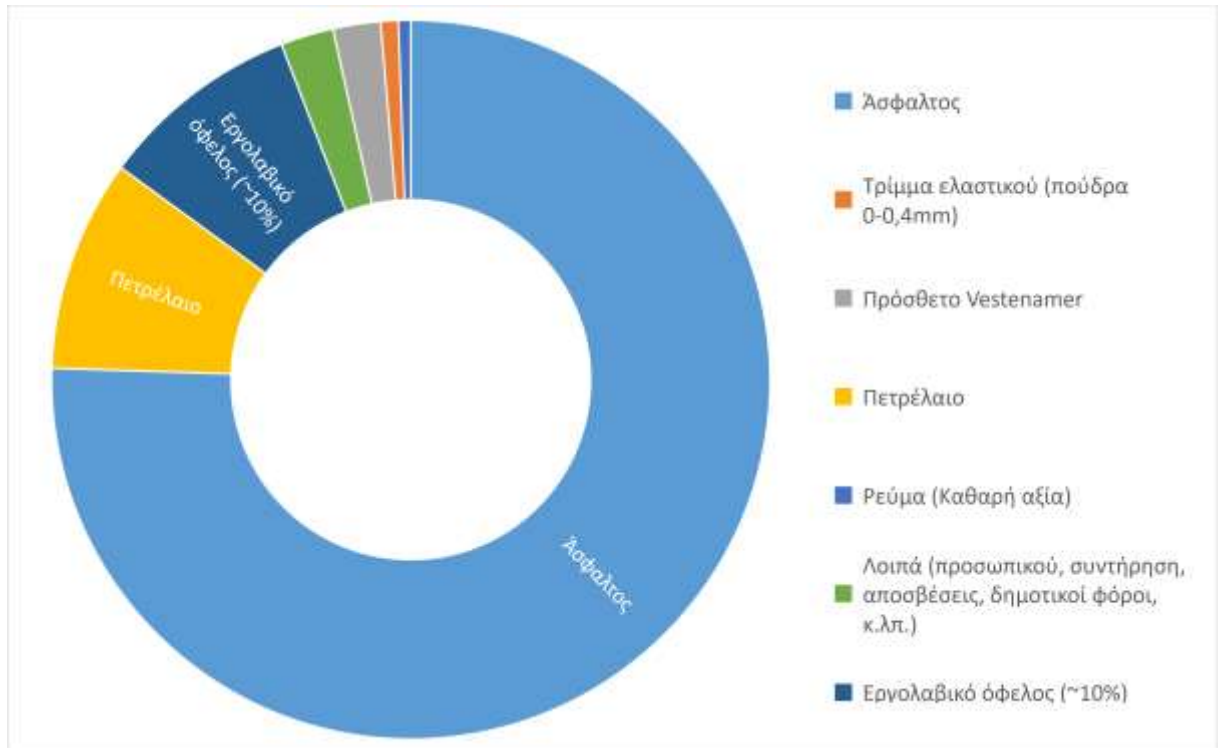


Εικόνα 22 - Συγκεντρικά αποτελέσματα συμμετοχής κάθε κόστους στο τελικό κόστος ενός τόνου ασφαλτομίγματος ανά σενάριο

Ο βασικός παράγοντας που επηρεάζει το τελικό κόστος του κάθε σεναρίου είναι το κόστος του κάθε είδους ασφάλτου με την τροποποιημένη να έχει υψηλότερο κόστος έναντι της συμβατικής καθώς η τροποποίηση της απαιτεί περαιτέρω επεξεργασία. Ωστόσο, στα σενάρια 3 και 4, λόγω της χρήσης του RAP που υποκαθιστά μέρος των αδρανών, εξοικονομείται ένα μέρος τους κόστους -το RAP έχει μηδενικό κόστος - μειώνοντας τελικά το συνολικό κόστος του ασφαλτομίγματος.

Παρόλα αυτά έχει ενδιαφέρον να συζητηθεί και το πως προκύπτει αυτό το επιπλέον κόστος της τροποποιημένης ασφάλτου και από ποιους παράγοντες επηρεάζεται. Σύμφωνα με την Εικόνα 23, οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος τροποποίησης είναι το **κόστος πετρελαίου (10%)** και το **εργολαβικό όφελος (9%)**. Το εργολαβικό όφελος αποτελεί την προστιθέμενη αξία που ορίζει η εταιρία παραγωγή ασφαλτομίγματος, η οποία καλύπτει έκτακτα κόστη και διατηρεί την απαραίτητη κερδοφορία. Συνδέεται άμεσα με όλα τα υπόλοιπα κόστη αλλά επηρεάζεται κυρίως από το κόστος του πετρελαίου, το οποίο συμμετέχει περισσότερο στην διαμόρφωση του

κόστους τροποποίησης της ασφάλτου και είναι αυτό που μπορεί να παρουσιάσει τις μεγαλύτερες διακυμάνσεις και αυξήσεις, αν λάβουμε υπόψιν τις συνεχείς μεταβολές της ενεργειακής αγοράς την παρούσα περίοδο.



Εικόνα 23 : Ανάλυση κόστους τροποποίησης της ασφάλτου με τρίμμα ελαστικού

Συνεπώς ο κύριος παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την τελική τιμή του ασφαλτομίγματος είναι η **τιμή του πετρελαίου**, η οποία αν και δεν έχει πολύ μεγάλη συμμετοχή στο τελικό κόστος του ασφαλτομίγματος είναι ο παράγοντας που θα διαμορφώσει τη διαφορά στην τιμή μεταξύ του σεναρίου 1 όπου χρησιμοποιείται συμβατική ασφάλτος και των σεναρίων 2, 3, 4 όπου χρησιμοποιείται τροποποιημένη ασφάλτος.

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία συμπεραίνεται, όσον αφορά το κόστος του ασφαλτομίγματος, ότι η τροποποιημένη ασφάλτος χωρίς την χρήση ανακυκλωμένου οδοστρώματος (RAP) αποτελεί την πιο κοστοβόρα επιλογή, με το κόστος της είναι 64,38 €/tn. Ακολουθεί η τροποποιημένη ασφάλτος με 30% RAP με κόστος 59,18 €/tn ενώ τέλος η τροποποιημένη με 50 % RAP και η συμβατική είναι στα ίδια επίπεδα, με την πρώτη να κοστίζει 55,02 €/tn και την δεύτερη 55,00 €/tn αντίστοιχα.

Σχετικά με το κόστος στο σύνολο των εργασιών που περιλαμβάνει την απόξεση του παλαιού οδοστρώματος, την εφαρμογή ασφαλτικής συγκολλητικής επάλειψης και την διάστρωση του νέου ασφαλτοτάπητα τα αποτελέσματα παραμένουν τα ίδια, με τα κόστη να είναι αντίστοιχα. Σε αυτή την περίπτωση πάλι η πιο κοστοβόρα επιλογή είναι η τροποποιημένη άσφαλτος χωρίς την χρήση ανακυκλωμένου οδοστρώματος (RAP) και το κόστος του συνόλου των εργασιών ασφαλτόστρωσης είναι 10,65€/m². Ακολουθεί η τροποποιημένη άσφαλτος με 30% RAP με κόστος 10,10 €/m² ενώ τέλος η τροποποιημένη με 50 % RAP και η συμβατική βρίσκονται πολύ κοντά, με την πρώτη να κοστίζει 9,65 €/m² και την δεύτερη 9,49 € €/m² αντίστοιχα. Η ελάχιστη αυξημένη τιμή της τροποποιημένης με 50% PAR ανά m², σε σχέση με την μικρότερη τιμή ανά τόνο έγκειται στο γεγονός ότι η πρώτη έχει μεγαλύτερη φαινόμενη πυκνότητα και συνεπώς απαιτείται ελαφρώς μεγαλύτερη ποσότητα ασφαλτομίγματος για την κάλυψη ίδιας επιφάνειας.

Συνεπώς ή διαφορά στο κόστος ανά m² επιφάνειας διάστρωσης είναι αρκετά μικρή και η διαφορά στο κόστος υπερκαλύπτεται από το κέρδος της ανακύκλωσης αφού σε άλλη περίπτωση θα υπήρχε επιπλέον κόστος για την απόρριψη του RAP.

Τέλος, λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω ο βασικός παράγοντας που επηρεάζει το κόστος του κάθε σεναρίου και κυρίως την επιλογή του καλύτερου κοστολογικά σεναρίου είναι η τιμή του πετρελαίου η οποία διαμορφώνει την τιμή της τροποποιημένης ασφάλτου και επηρεάζει με την σειρά την τελική τιμή του ασφαλτομίγματος. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση χρήσης ΑΠΕ δεν θα υπάρχει εξάρτηση από το πετρέλαιο και την αντίστοιχη τιμολογιακή του πολιτική.

Συμπερασματικά, η καλύτερες επιλογές κοστολογικά κρίνονται η **συμβατική άσφαλτος** και η **τροποποιημένη με 50 % RAP**, με την δεύτερη να υπερτερεί στην τιμή ανά τόνο. Και αν υπολογιστεί και **το κόστος** που θα επιβαρύνει την συμβατική για την **απόρριψη του RAP**, για το οποίο δεν επιβαρύνεται η τροποποιημένη με 50 % RAP, τότε η διαφορά στην τιμή θα είναι μεγαλύτερη **υπέρ της τροποποιημένη με 50 % RAP**.

5. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ

Η ανάλυση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος πραγματοποιήθηκε εφαρμόζοντας τη μεθοδολογία της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ). Η μοντελοποίηση των εξεταζόμενων σεναρίων για ερευνητικούς σκοπούς πραγματοποιήθηκε μέσω της εμπορικής πλατφόρμας λογισμικού SimaPro. Για την εκτίμηση του συνολικού περιβαλλοντικού αποτυπώματος χρησιμοποιήθηκαν προτυποποιημένες μέθοδοι εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων, καθώς επίσης και διεθνώς αναγνωρισμένες βάσεις δεδομένων. Τα εξεταζόμενα σενάρια διαμορφώθηκαν σύμφωνα με τις προηγούμενες εργασιακές ενότητες.

Συγκεκριμένα θα εξετάσθηκαν τα εξής 4 σενάρια:

- 1 Συμβατική άσφαλτος
- 2 Τροποποιημένη άσφαλτος με τρίμμα ελαστικού
- 3 Τροποποιημένη άσφαλτος με τρίμμα ελαστικού και χρήση 30%RAP
- 4 Τροποποιημένη άσφαλτος με τρίμμα ελαστικού και χρήση 50%RAP

Οι αποφευχθείσες εκπομπές θα υπολογιστούν βάσει των υφιστάμενων πρακτικών παραγωγής ασφαλτομίγματος σε όρους ανάλυσης κύκλου ζωής.

Η ΑΚΖ αποτελεί μια τυποποιημένη μεθοδολογία, η οποία προσφέρει αξιοπιστία και διαφάνεια. Τα πρότυπα παρέχονται από τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (International Organization for Standardization - ISO) στα ISO 14044. Η λειτουργική μονάδα του εξεταζόμενου συστήματος είναι τα κιλά διοξειδίου του άνθρακα ανά τόνο παραγόμενου ασφαλτομίγματος ($\text{kgCO}_2_{\text{eq}} / \text{tn}_{\text{ασφ/τος}}$) που εφαρμόζονται κατά την πιλοτική εφαρμογή. Η πιλοτική εφαρμογή έλαβε χώρα σε απόσταση 20 χλμ. από την μονάδα παραγωγής ασφαλτομίγματος ΑΣΦΑΛΤΕΡ στον Ασπρόπυργο όπου έγινε απόξεση και διάστρωση δρόμου επιφάνειας 2,000 m_2 και πάχους 5 cm.

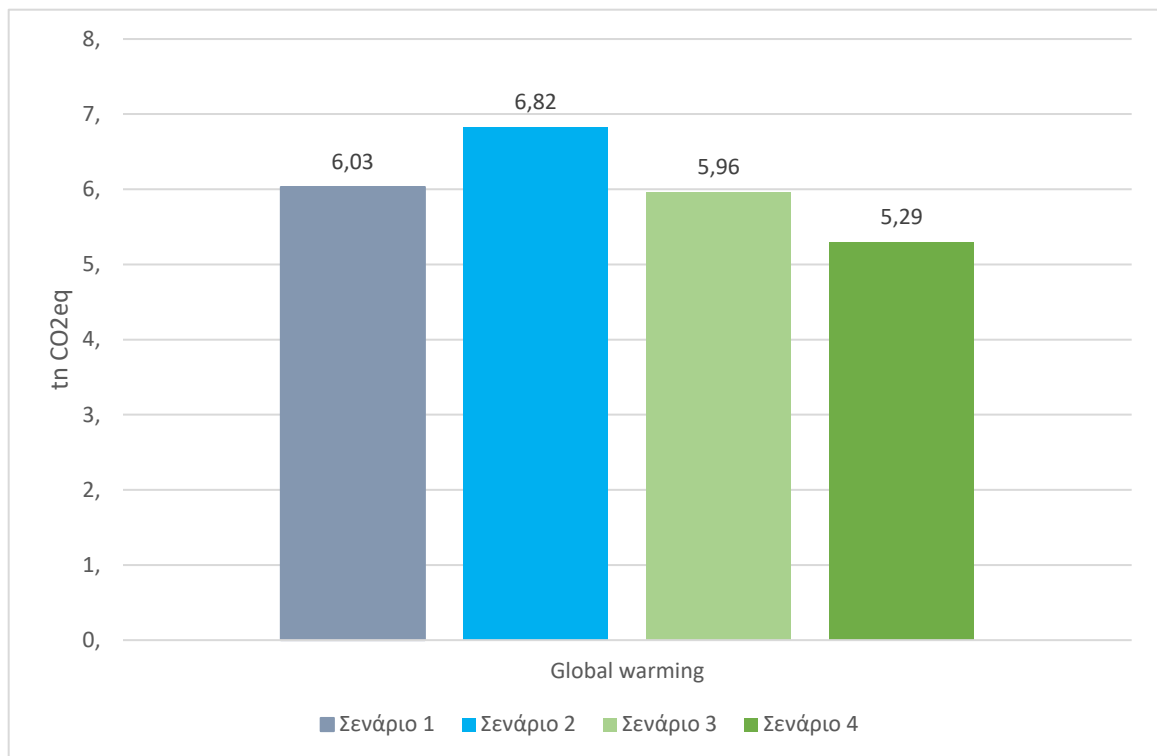
Στο Πίνακα 9 και στην εικόνα 9 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα της περιβαλλοντικής αξιολόγησης για κάθε σενάριο το οποίο εξετάστηκε στην συγκεκριμένη μελέτη. Από το πίνακα είναι φανερό ότι η παραγωγή ασφαλτομίγματος έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά στις συνολικές εκπομπές της συνολικής διαδικασίας,

λαμβάνοντας υπόψιν τα στάδια μεταφοράς των πρώτων υλών μέχρι και την πιλοτική εφαρμογή στη θέση εργασίας. Εν αντιθέσει, το στάδιο της πιλοτικής εφαρμογής, στο οποίο λήφθηκαν υπόψη η μεταφορά των υλών στην θέση εργασίας και οι καταναλώσεις καυσίμου των μηχανημάτων κατά την πιλοτική εφαρμογή, έχει τη μικρότερη συνεισφορά.

Ως βέλτιστο σενάριο προκύπτει η εφαρμογή τροποποιημένης ασφάλτου με τρίμμα ελαστικού και χρήση 50% RAP κατά το Σενάριο 4. Οι περισσότερες εκπομπές προκύπτουν κατά το Σενάριο 2 στο οποίο γίνεται χρήση τροποποιημένης ασφάλτου με τρίμμα ελαστικού. Κατά το Σενάριο 3, στο οποίο γίνεται χρήση τροποποιημένης ασφάλτου με τρίμμα ελαστικού και χρήση 30% RAP επιτυγχάνεται 3% εξοικονόμηση εκπομπών CO₂ σε σύγκριση με το Σενάριο 1, όπου γίνεται χρήση συμβατικής ασφάλτου.

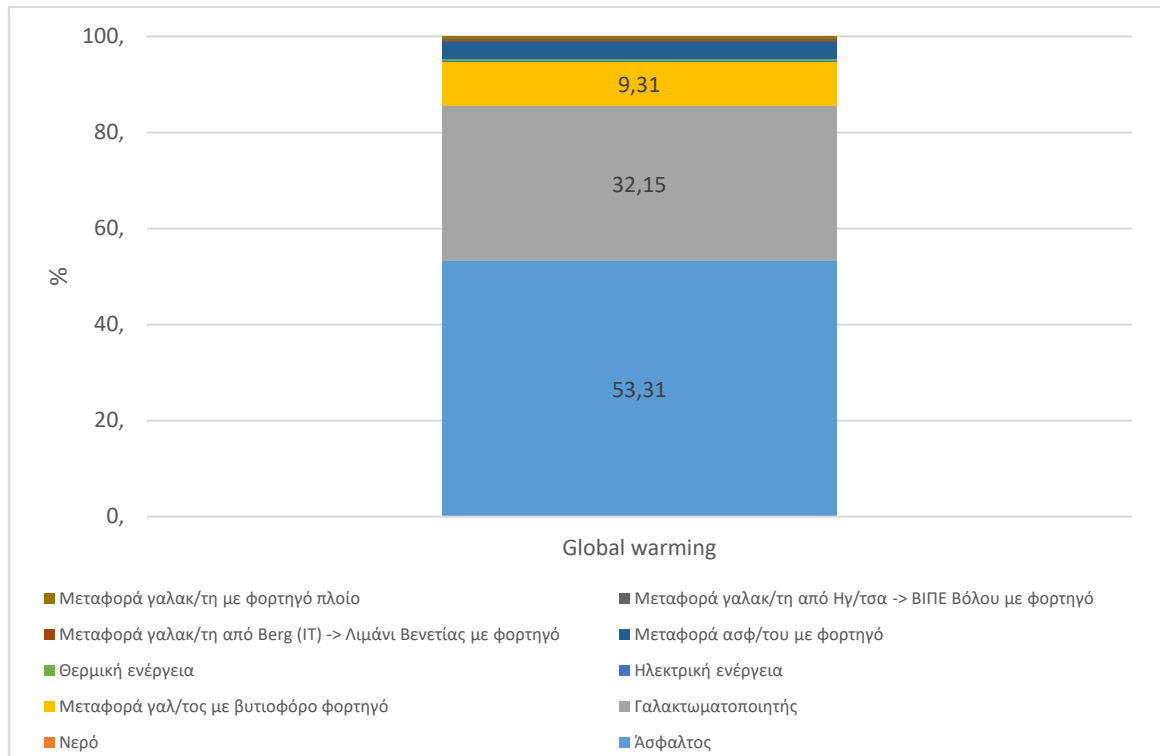
Πίνακας 9 - Επισκόπηση των αποτελεσμάτων της περιβαλλοντικής αξιολόγησης χρήσης τρίμματος ελαστικού σε τροποποιημένη ασφαλτο.

Σενάρια	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4
	Συμβατική Ασφαλτος	Τροποποιημένη ασφαλτος με τρίμμα ελαστικού	Τροποποιημένη ασφαλτος με τρίμμα ελαστικού και 30% RAP	Τροποποιημένη ασφαλτος με τρίμμα ελαστικού και 50% RAP
Ασφαλτομίγμα (tn CO _{2eq})	5.42	6.21	5.35	4.68
Γαλάκτωμα (tn CO _{2eq})	0.36			
Πιλοτική εφαρμογή (tn CO _{2eq})	0.25			
Συνολικές εκπομπές (tn CO_{2eq})	6.03	6.82	5.96	5.29
Εκπομπές CO_{2eq} ανά τόνο ασφ/τος (kg CO_{2eq}/tn ασφ/τος)	26.26	29.37	25.48	22.46
Εξοικονόμηση εκπομπών CO₂ (%)	-	11.84 (▲)	- 2.97 (▼)	- 14.47(▼)



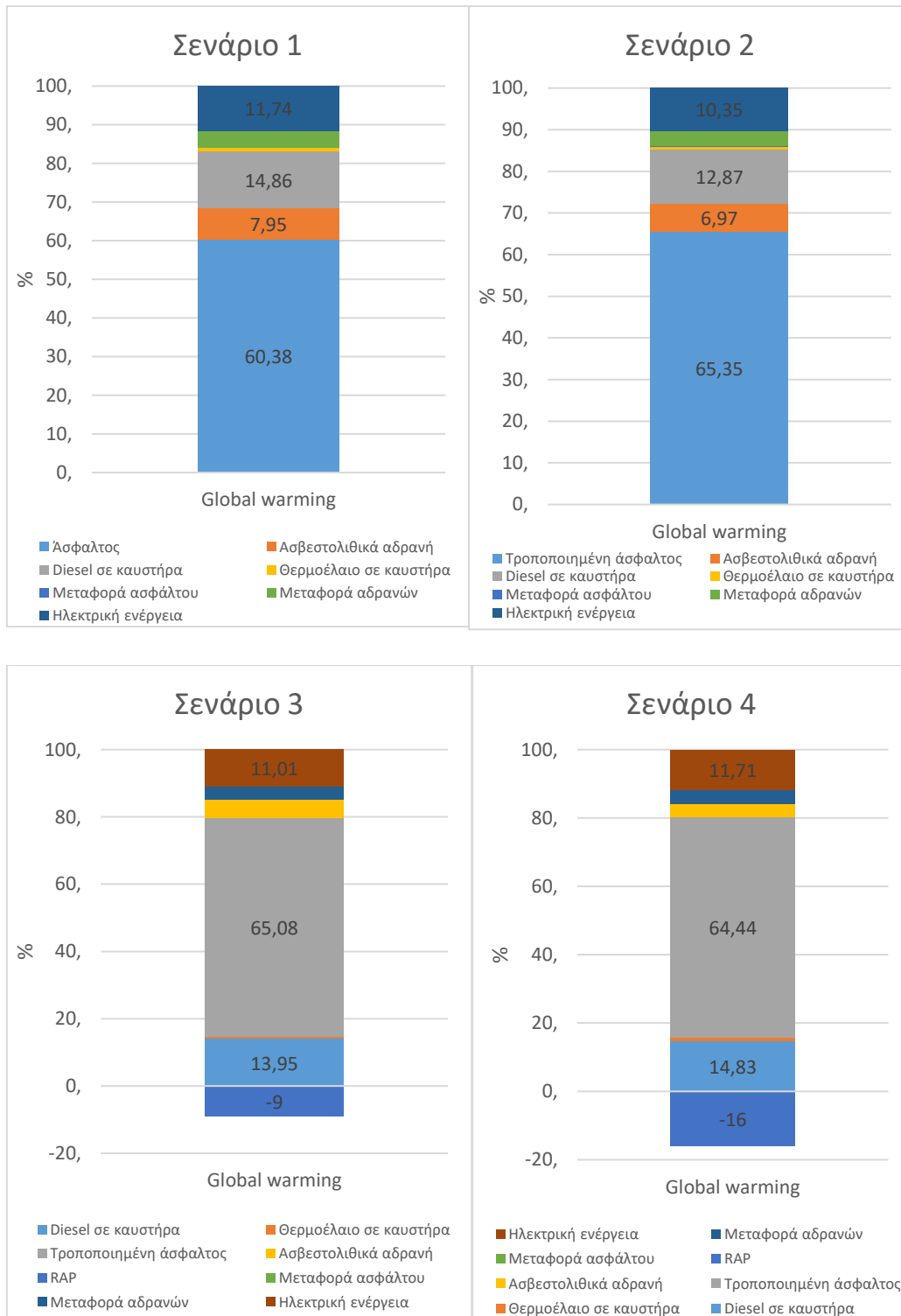
Εικόνα 24 - Συγκριτικά αποτελέσματα χαρακτηρισμού που σχετίζονται με τις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου για κάθε Σενάριο (1 – 4), χρησιμοποιώντας τη μέθοδο IMPACT 2002+.

Αναφορικά με την παραγωγή του γαλακτώματος, από την εικόνα 25 γίνεται φανερό ότι τη μεγαλύτερη συνεισφορά φέρει η ασφάλτος και ο γαλακτωματοποιητής σε ποσοστό 53.31% και 32.15% επί του συνολικού αποτυπώματος. Σημαντική συνεισφορά φέρει επίσης και το στάδιο μεταφοράς του γαλακτώματος από τη ΒΙΠΕ Βόλου στον Ασπρόπυργο σε απόσταση 315 χλμ., με ποσοστό 9.31% επί του συνολικού αποτυπώματος. Τα υπόλοιπα στάδια κατά τη διαδικασία παραγωγής του γαλακτώματος, δηλαδή τα στάδια των ενεργειακών καταναλώσεων, της κατανάλωσης νερού και της μεταφοράς των πρώτων υλών έχουν συγκριτικά αμελητέα συνεισφορά στο συνολικό αποτύπωμα σε σχέση με τα στάδια παραγωγής του γαλακτωματοποιητή και της ασφάλτου.



Εικόνα 25 -Αποτελέσματα χαρακτηρισμού που σχετίζονται με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά την παραγωγή Γαλακτώματος χρησιμοποιώντας τη μέθοδο IMPACT 2002+.

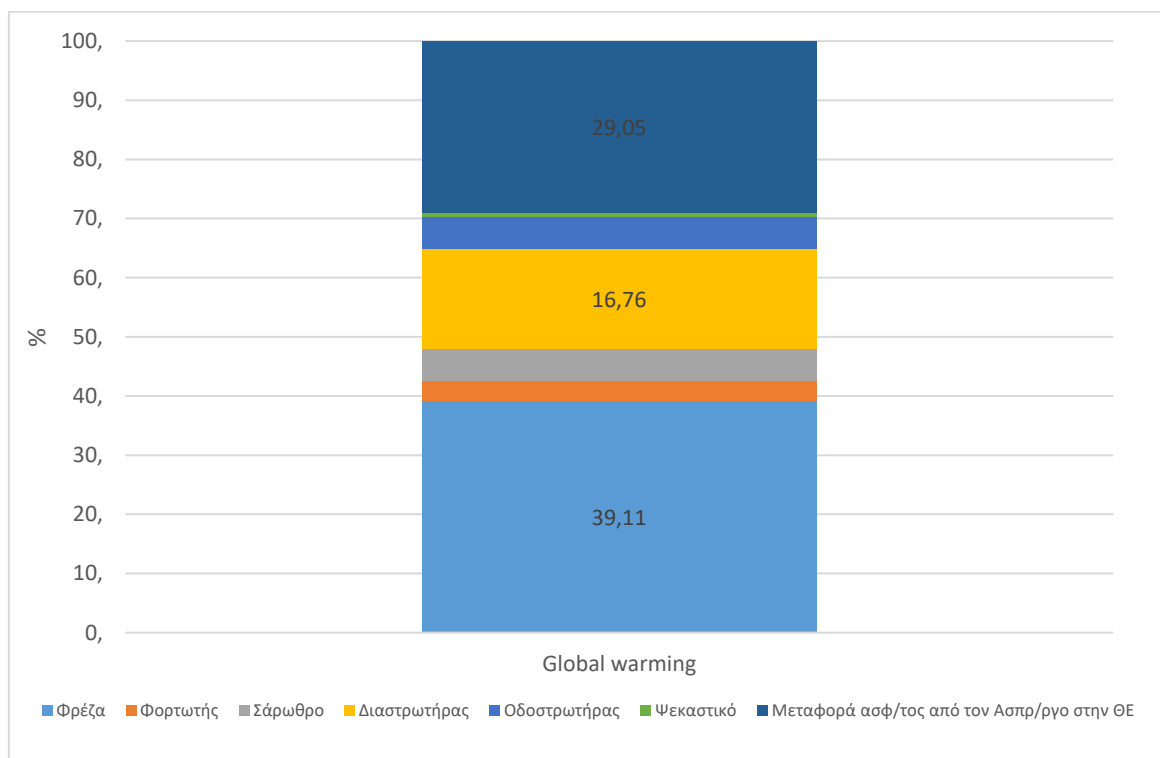
Όσον αφορά το στάδιο παραγωγής ασφαλτομίγματος, από την εικόνα 26 γίνεται φανερό ότι σε κάθε σενάριο τη μεγαλύτερη συνεισφορά την φέρει η παραγωγή ασφάλτου (Σενάριο 1) και τροποποιημένης ασφάλτου (Σενάριο 2-4) (60.38 – 65.35 % επί της συνολικής συνεισφοράς). Σημαντική επίσης συνεισφορά έχει η χρήση καυσίμου ντίζελ στον καυστήρα (12.87 – 14.86 % επί της συνολικής συνεισφοράς) και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (10.35 – 11.74% επί της συνολικής συνεισφοράς) σε όλα τα σενάρια. Για τα Σενάρια 1 και 2, όπου δεν γίνεται χρήση RAP, σημαντική συνεισφορά φέρει και η χρήση των ασβεστολιθικών αδρανών (7.95 % και 6.97 % κατ' αντιστοιχία). Για τα Σενάρια 3 και 4, όπου γίνεται χρήση RAP, η συνεισφορά του επί του συνολικού αποτυπώματος είναι αρνητικό ποσοστό (-9% και -16% κατ' αντιστοιχία) λόγω της χρήσης RAP. Σε αυτό το σημείο σημειώνεται ότι οι αποφευχθείσες εκπομπές αντιστοιχούν σε εκείνες της αποφυγής απόθεσης των αδρανών και των εξορυκτικών δραστηριοτήτων του λατομείου, λαμβάνοντας όμως υπόψιν τις διεργασίες μεταφοράς και επεξεργασίας του RAP.



Εικόνα 26 - Συγκεντρωτικά αποτελέσματα χαρακτηρισμού που σχετίζονται με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά την παραγωγή Ασφαλτομίγματος σε κάθε σενάριο χρησιμοποιώντας τη μέθοδο IMPACT 2002+.

Σχετικά με την Πιλοτική εφαρμογή, σύμφωνα με το Διάγραμμα 4 παρουσιάζεται ότι τη μεγαλύτερη συνεισφορά στις συνολικές εκπομπές αερίου του θερμοκηπίου κατά την πιλοτική εφαρμογή φέρει η κατανάλωση καυσίμου στην φρέζα κατά την απόξεση του

παλιού ασφαλτοτάπητα, με ποσοστό 39,11% επί των συνολικών εκπομπών κατά την πιλοτική εφαρμογή. Ομοίως, σημαντική συνεισφορά φέρει η μεταφορά του ασφαλτομίγματος από τον Ασπρόπυργο στη θέση εργασίας (29.05% επί του συνολικού αποτυπώματος) και η κατανάλωση καυσίμου στον διαστρωτήρα (16,76% επί του συνολικού αποτυπώματος) κατά την εφαρμογή του νέου ασφαλτοτάπητα. Τα υπόλοιπα μηχανήματα έχουν συγκριτικά μικρότερη συνεισφορά επί των συνολικών εκπομπών κατά το στάδιο της πιλοτικής εφαρμογής.



Εικόνα 27 - Αποτελέσματα χαρακτηρισμού που σχετίζονται με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά την Πιλοτική Εφαρμογή χρησιμοποιώντας τη μέθοδο IMPACT 2002+.

Με σκοπό να εξετασθεί η περίπτωση όπου γίνεται χρήση καυσίμων φιλικά προς το περιβάλλον στους καυστήρες κατά την παραγωγική διαδικασία της τροποποιημένης ασφάλτου και του ασφαλτομίγματος και το ενεργειακό μείγμα για την ηλεκτροπαραγωγή βασίζεται στη κυρίως σε ΑΠΕ, πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας. Στη συγκεκριμένη ανάλυση εξετάσθηκε το περιβαλλοντικό αποτύπωμα όλων των Σεναρίων για τις παρακάτω περιπτώσεις:

1η Περίπτωση: Ποσοστιαία μεταβολή συμμετοχής των ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα της Ελλάδας.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση θα εξετασθούν οι περιπτώσεις όπου:

- A) Η συμμετοχή των ΑΠΕ είναι 50% επί του συνολικού ενεργειακού μείγματος.
- B) Η συμμετοχή των ΑΠΕ είναι 70% επί του συνολικού ενεργειακού μείγματος.
- Γ) Η συμμετοχή των ΑΠΕ είναι 90% επί του συνολικού ενεργειακού μείγματος.

2η Περίπτωση: Χρήση βιοντίζελ στους καυστήρες κατά τη διαδικασία παραγωγής της τροποποιημένης ασφάλτου και του ασφαλτομείγματος.

3η Περίπτωση: Ποσοστιαία μεταβολή συμμετοχής των ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα της Ελλάδας και χρήση βιοντίζελ στους καυστήρες κατά τη διαδικασία παραγωγής της τροποποιημένης ασφάλτου και του ασφαλτομείγματος.

Συγκεκριμένα, με σκοπό να παρουσιαστεί η προοπτική βελτίωσης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος κατά τη χρήση τρίμματος ελαστικού και RAP (Σενάρια 2-4) έναντι της χρήσης συμβατικής ασφάλτου (Σενάριο 1), εξετάσθηκε η εξοικονομηση εκπομπών CO₂ για την περίπτωση όπου το Σενάριο 1 παραμένει στην υφιστάμενη κατάσταση και στην περίπτωση όπου στο Σενάριο 1 αντιστοιχεί και αυτό στα σενάρια με χρήση βιοντίζελ στους καυστήρες και αύξηση συμμετοχής των ΑΠΕ στο ενεργειακό μίγμα (Πίνακας 12). Τέλος σημειώνεται ότι στην παρούσα μελέτη ανάλυσης κύκλου ζωής δεν λήφθηκαν επιπρόσθετες περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνδέονται με την κατασκευή νέου εξοπλισμού και υποδομών που αφορά τη χρήση βιοκαυσίμων.

Βάσει των αποτελεσμάτων όπου εξετάζεται η υφιστάμενη κατάσταση του Σεναρίου 1, για να επιτευχθεί εξοικονόμηση εκπομπών CO₂ για την περίπτωση όπου γίνεται αποκλειστική χρήση τρίμματος ελαστικού (Σενάριο 2) πρέπει είτε το μείγμα της ηλεκτρικής ενέργειας να αποτελείται κυρίως από ΑΠΕ (90% επί του συνολικού μείγματος), είτε να γίνεται αποκλειστική χρήση βιοντίζελ στους καυστήρες κατά την παραγωγική διαδικασία της τροποποιημένης ασφάλτου και του ασφαλτομείγματος. Στην περίπτωση όπου γίνεται χρήση βιοντίζελ και η συμμετοχή των ΑΠΕ είναι από 50% και άνω επί του συνολικού μείγματος, μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση εκπομπών CO₂ από 7% μέχρι και 23% σε σύγκριση με το σενάριο χρήσης τροποποιημένης ασφάλτου. Τέλος, μπορεί να επιτευχθεί έως και 48% εξοικονόμηση εκπομπών CO₂ στην ιδανική περίπτωση όπου γίνεται χρήση βιοντίζελ στους καυστήρες και η συμμετοχή των ΑΠΕ

είναι 90% επί του συνολικού μείγματος κατά την παραγωγική διαδικασία τροποποιημένης ασφάλτου με τρίμμα ελαστικού και χρήση 50% RAP.

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 12 όπου εξετάζεται η χρήση βιοντίζελ στους καυστήρες και αύξηση συμμετοχής των ΑΠΕ στο ηλεκτρικό μείγμα συμπεραίνουμε ότι η αποκλειστική χρήση ελαστικού (Σενάριο 2) δεν επιφέρει σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη έναντι της συμβατικής ασφάλτου λόγω της μεγαλύτερης ποσότητας ασφάλτου στο ασφαλτομίγμα, των επιπρόσθετων ενεργειακών καταναλώσεων και του σταδίου μεταφοράς των επιπρόσθετων πρώτων υλών. Ωστόσο, στην Περίπτωση 2, όπου γίνεται χρήση βιοντίζελ στους καυστήρες, παρατηρείται παρόμοιο περιβαλλοντικό προφίλ με την περίπτωση της συμβατικής ασφάλτου (Σενάριο 1). Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι κατά την παραγωγή της ασφάλτου έχουμε κατανάλωση μόνο ηλεκτρικής ενέργειας ενώ κατά την παραγωγή της τροποποιημένης ασφάλτου έχουμε κατανάλωση βιοντίζελ. Τα Σενάρια 3 & 4 παρουσιάζουν καλύτερο περιβαλλοντικό προφίλ από το Σενάριο 1 σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν.

Συμπερασματικά η αποκλειστική χρήση τροποποιημένης ασφάλτου με τρίμμα ελαστικού (Σενάριο 2) δεν επιφέρει περιβαλλοντικά οφέλη στην παρούσα κατάσταση έναντι της χρήσης συμβατικής ασφάλτου, λόγω ότι η ποσότητα ασφάλτου που απαιτείται στο μίγμα παραμένει υψηλή. Επιπλέον, στο συνολικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα χρήσης τροποποιημένης ασφάλτου προστίθενται και οι εκπομπές από την κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται κατά την παραγωγή της τροποποιημένης ασφάλτου, οι οποίες ανέρχονται σε 387 kg CO₂, και οι εκπομπές κατά την μεταφορά των πρώτων υλών, δηλαδή του τρίμματος ελαστικού και του χημικού πρόσθετου VESTENAMER, οι οποίες είναι αντίστοιχα περίπου 193 kg CO₂. Οι πρόσθετες αυτές εκπομπές αντισταθμίζουν το περιβαλλοντικό όφελος της ανακύκλωσης των ελαστικών μέσω της χρήσης του τρίμματος ελαστικού, οι οποίες είναι ίσες περίπου με 54 kg CO₂. Δεδομένου ότι οι εκπομπές από την παραγωγή της συμβατικής ασφάλτου στο Σενάριο 1 είναι ίσες με 3,270 kg CO₂ έναντι της χρήσης τροποποιημένης ασφάλτου με τρίμμα ελαστικού στο Σενάριο 2, που είναι ίσες με 4,060 kg CO₂, υπολογίζεται ότι περίπου 527 kg CO₂ πρέπει να εξοικονομηθούν από τα στάδια ενεργειακών καταναλώσεων και μεταφοράς των πρώτων υλών και 263 kg CO₂ από τη διαδικασία παραγωγής της ασφάλτου στο μίγμα, κατά το Σενάριο 2 έτσι ώστε να επιτυγχάνονται περιβαλλοντικά

οφέλη κατά την αποκλειστική χρήση τρίμματος ελαστικού στο ασφαλτομίγμα. Μείωση των εκπομπών κατά τα στάδια μεταφοράς των πρώτων υλών θα μπορούσε να επιτευχθεί στην περίπτωση όπου το χημικό πρόσθετο μεταφερόταν από κοντινή απόσταση και η παραγωγή της πούδρας ελαστικών και της ασφάλτου γινόταν στον χώρο παραγωγής του ασφαλτομίγματος.

Ωστόσο, η ταυτόχρονη χρήση τρίμματος ελαστικού και RAP δείχνει να έχει περιβαλλοντικά οφέλη γιατί μεγάλο μέρος ασβεστολιθικών αδρανών αντικαθίσταται από RAP, το οποίο έχει αποφευχθείς εκπομπές λόγω της μη εναπόθεσης των αδρανών στους ΧΥΤΑ και της αποφυγή των αντίστοιχων εξορυκτικών δραστηριοτήτων του λατομείου.

Εν κατακλείδι, η αποκλειστική χρήση τρίμματος ελαστικού (Σενάριο 2) θα μπορούσε να είναι περιβαλλοντικά βιώσιμη στην περίπτωση όπου καύσιμα πιο φιλικά προς το περιβάλλον, λόγω χάρη βιοντίζελ, αντικαταστήσουν το ντίζελ και το θερμό έλαιο κατά την παραγωγική διαδικασία της τροποποιημένης ασφάλτου και του ασφαλτομίγματος. Επίσης, κρίνεται σημαντικό να αναφερθεί ότι στο ηλεκτρικό μείγμα της Ελλάδας το οποίο και έχει ληφθεί υπόψιν στη συγκεκριμένη περίπτωση, βάσει των στοιχείων της ΔΑΠΕΕΠ για το 2020, την μεγαλύτερη συμμετοχή έχουν τα ορυκτά καύσιμα με ποσοστό περίπου 62% επί του συνόλου, ενώ οι ΑΠΕ έχουν συμμετοχή περίπου 38%. Συγκεκριμένα, το καύσιμο με το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής φέρει το φυσικό αέριο 41% επί του συνολικού μίγματος, το οποίο έχει σημαντικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα (201.6 tn CO₂/GWh ή 1,775 tn CO₂/ tn καυσίμου). Δεδομένου αυτού, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κατά την παραγωγή της τροποποιημένης ασφάλτου επιβαρύνει περιβαλλοντικά την περίπτωση χρήσης τρίμματος ελαστικού, το οποίο και θα μπορούσε να αποφευχθεί στην περίπτωση χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας αποκλειστικά από ΑΠΕ. Στην περίπτωση αυτή, η ταυτόχρονη χρήση τρίμματος ελαστικού και RAP θα επιφέρει μεγαλύτερη εξοικονόμηση αερίων του θερμοκηπίου σε σύγκριση με την περίπτωση χρήσης συμβατικής ασφάλτου.