

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



Μεταπτυχιακή διατριβή

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΑΣΦΑΛΤΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΣΤΗΝ
ΚΥΠΡΟ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΦΑΣΜΑΤΟΡΑΔΙΟΜΕΤΡΟΥ SRV
HR-1024

Ουρανία Δημητρίου

Λεμεσός, Σεπτέμβριος 2016

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΝΑΙΚΩΝ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Μεταπτυχιακή διατριβή

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΑΣΦΑΛΤΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΣΤΗΝ ΚΥΠΡΟ ΜΕ ΤΗ
ΧΡΗΣΗ ΦΑΣΜΑΤΟΡΑΔΙΟΜΕΤΡΟΥ SRV HR-1024

της

Ουρανίας Δημητρίου

Λεμεσός, Σεπτέμβριος 2016

Έντυπο έγκρισης

Μεταπτυχιακή διατριβή

Παρατήρηση ασφαλικών επιφανειών στην Κύπρο με τη χρήση φασματοραδιομέτρου SRV HR-1024

Παρουσιάστηκε από

Ουρανία Δημητρίου

Επιβλέπων καθηγητής: Διόφαντος Χατζημιτσής, Καθηγητής, Αντιπρύτανης
Ακαδημαϊκών Υποθέσεων

Υπογραφή _____

Μέλος επιτροπής: Ευάγγελος Ακύλας, Αναπληρωτής Καθηγητής, Αντιπρόεδρος
Τμήματος

Υπογραφή _____

Μέλος επιτροπής: Χρίστος Δανέζης, Λέκτορας

Υπογραφή _____

Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Λεμεσός, Σεπτέμβριος 2016

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Ουρανία Δημητρίου,2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της μεταπτυχιακής διατριβής από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα το σύζυγό μου για την υπομονή του και την τεράστια βοήθεια που μου παρείχε. Χωρίς αυτόν δε θα κατάφερνα τίποτα. Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή είναι αφιερωμένη σε αυτόν από τα βάθη της ψυχής μου. Η στήριξη που μου παρείχε ήταν μοναδική και του το χρωστώ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μελέτη ασχολείται με την παρακολούθηση ασφαλικών επιφανειών στην Κύπρο με τη χρήση τεχνικών τηλεπισκόπησης και συγκεκριμένα με τη χρήση του φασματοραδιομέτρου SVC HR-1024. Το συγκεκριμένο φασματοραδιόμετρο έχει τη δυνατότητα κάλυψης όλων των φασματικών περιοχών αρχίζοντας από το ορατό φάσμα μέχρι το υπέρυθρο. Στόχος της έρευνας ήταν η μελέτη της ανακλαστικότητας των ασφαλικών επιφανειών με το πέρας των χρόνων. Για την υλοποίηση του στόχου, χρειαζόταν η εξασφάλιση αρχικά 9 δειγμάτων ασφάλτου. Με την επικοινωνία που υπήρξε με δημόσιους φορείς που σχετίζονται με το οδικό δίκτυο, επιτεύχθηκε η εξασφάλιση 4 δειγμάτων τριών διαφορετικών ηλικιών. Πραγματοποιήθηκε λήψη μετρήσεων με το φασματοραδιόμετρο στο εργαστήριο της τηλεπισκόπησης και με την επεξεργασία τους δημιουργήθηκαν ανάλογες φασματικές υπογραφές. Για τη δημιουργία των φασματικών υπογραφών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Excel. Στη συνέχεια, ακολουθεί συζήτηση των αποτελεσμάτων, σύγκριση των φασματικών υπογραφών και αναφορά των συμπερασμάτων που εξάγονται από την έρευνα. Τέλος, γίνονται εισηγήσεις για μελλοντικές μελέτες με σκοπό να λυθούν κάποιοι προβληματισμοί και κάποια ερωτήματα.

Λέξεις κλειδιά: τηλεπισκόπηση, φασματοραδιόμετρο, ασφαλικές επιφάνειες, ανακλαστικότητα, ηλικία

ABSTRACT

This study deals with monitoring asphalt surfaces in Cyprus using remote sensing techniques and particularly to the use of spectroradiometer SVC HR-1024. This spectroradiometer has the ability to cover all the spectral regions starting from the visible range to the infrared region. The aim of the research was to study the reflectance of the asphalt surface at the end of times. To achieve the goal, it needed to ensure initial 9 asphalt specimens. Communicating with public entities related to the road network, succeeded in ensuring four specimens of three different ages. Downloaded measurements with spectroradiometer in remote sensing laboratory, process them and create similar spectral signatures. To create spectral signatures, Excel software was used. Then, followed by a discussion of the results, comparing the spectral signatures and make a reference to the conclusions reached by the investigation. Finally, recommendations are made for future studies in order to solve some inquiries or things that need clarifications.

Keywords: remote sensing, spectroradiometer, asphalt surfaces, reflectance, age

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	vii
ABSTRACT.....	viii
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	ix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	x
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	xi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	xiii
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	xvi
ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ	xvii
1 Εισαγωγή	1
1.1 Τηλεπισκόπηση vs Κοινές Μέθοδοι	6
1.2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	11
1.3 Συμπεράσματα	16
2 Μεθοδολογία Έρευνας.....	19
2.1 Δείγμα και Τρόπος Δειγματοληψίας.....	19
2.2 Μέσα Συλλογής Δεδομένων	21
2.3 Σχεδιασμός της Έρευνας.....	24
2.4 Διαδικασία Συλλογής Δεδομένων.....	26
3 Αποτελέσματα.....	33
4 Συζήτηση Αποτελεσμάτων	52
5 Συμπεράσματα	57
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	58

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Πίνακας στοιχείων των δειγμάτων ασφάλτου	21
---	----

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1: Χάρτης της επαρχίας Λεμεσού ο οποίος δείχνει τις περιοχές από τις οποίες λήφθηκαν δείγματα ασφάλτου.....	21
Εικόνα 2.2: Οι λειτουργίες απόκρισης 7 Landsat φασματικών βασικών περιοχών απεικονίζονται ως συνάρτηση του μήκους κύματος. (Πηγή: “What are the band designations for the Landsat satellites?” 2016)	22
Εικόνα 2.3: Φασματοραδιόμετρο <i>HR-1024</i> σε εργαστηριακή διάταξη (Πηγή: Levin 2000)	23
Εικόνα 2.4: Τελική Διάταξη φασματοραδιομέτρου, φωτιστικού και δείγματος ασφάλτου στο εργαστήριο τηλεπισκόπησης.....	24
Εικόνα 2.5: Σχήμα που απεικονίζει τον τρόπο που η ακτίνα <i>laser</i> από τον φακό του φασματοραδιομετρου (Α) προσπίπτει πάνω στην επιφάνεια της ασφάλτου (ΒΓ) σε απόσταση 35 <i>cm</i>	25
Εικόνα 2.6: Κάνναβος 7x7 (17.5 <i>cm</i> x 17.5 <i>cm</i>) με 49 εικονοστοιχεία.....	26
Εικόνα 2.7: (α)Δείγμα ασφάλτου όπως λήφθηκε από το δρόμο με ακαθαρσίες, (β) Απομάκρυνση ακαθαρσιών με μικρή βούρτσα σε επίμαχα σημεία, (γ) Δείγμα ασφάλτου έτοιμο για το πείραμα σε εργαστηριακές συνθήκες	27
Εικόνα 2.8: Πάνω μέρος του φασματοραδιομέτρου <i>HR-1024</i> και οι δυνατότητες που παρέχει (Πηγή: Levin 2000)	27
Εικόνα 2.9: Λήψη Αρχικής μέτρησης <i>Reference (REF)</i> , πάνω σε μια ειδική λευκή επιφάνεια προτού αρχίσουν οι μετρήσεις σε οποιοδήποτε δείγμα ασφάλτου	28
Εικόνα 2.10: Τοποθέτηση κάνναβου στο κάθε δείγμα ώστε να καλύπτεται η μεγαλύτερη δυνατή επιφάνεια	29
Εικόνα 2.11: Εστίαση ακτίνας <i>laser</i> από το φασματοραδιόμετρο στον κάνναβο	30
Εικόνα 2.12: Επιφάνεια οθόνης ανοίγοντας το λογισμικό <i>SVC HR-1024</i> για την εξαγωγή των αρχείων από το φασματοραδιόμετρο	31
Εικόνα 2.13: Παράθυρο από το λογισμικό <i>SVC HR-1024</i> στο οποίο φαίνονται οι μετρήσεις που πρέπει να εξαχθούν από το φασματοραδιόμετρο.	32

Εικόνα 3.1: Μετατροπή .sig αρχείου σε excel αρχείο και τα δεδομένα τα οποία παρέχει.
..... 33

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1.1: Κατάσταση Οδοστρώματος (<i>Πηγή: Walker et al. 2002</i>)	5
Διάγραμμα 3.1: Εκ πρώτης όψεως αποτελέσματα για το δείγμα ασφάλτου ηλικίας 0 – 5 ετών.....	34
Διάγραμμα 3.2: Εκ πρώτης όψεως αποτελέσματα για το δείγμα ασφάλτου ηλικίας 5 – 10 ετών.....	34
Διάγραμμα 3.3: Εκ πρώτης όψεως αποτελέσματα για το πρώτο δείγμα ασφάλτου ηλικίας 10 - 15 ετών	35
Διάγραμμα 3.4: Εκ πρώτης όψεως αποτελέσματα για το δεύτερο δείγμα ασφάλτου ηλικίας 10 - 15 ετών	35
Διάγραμμα 3.5: Μέσος Όρος τιμών ανακλαστικότητας για κάθε εικονοστοιχείο για το δείγμα ασφάλτου ηλικίας 0 – 5 ετών	36
Διάγραμμα 3.6: Αφαίρεση χαμένων μετρήσεων για το δείγμα ασφάλτου ηλικίας 5 – 10 ετών, αφού δε λήφθηκαν άλλες μετρήσεις για αυτό.....	36
Διάγραμμα 3.7: Μέσος Όρος τιμών ανακλαστικότητας για κάθε εικονοστοιχείο για το πρώτο δείγμα ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών.....	37
Διάγραμμα 3.8: Μέσος Όρος τιμών ανακλαστικότητας για κάθε εικονοστοιχείο για το δεύτερο δείγμα ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών	37
Διάγραμμα 3.9: Μέση τιμή ανακλαστικότητας για κάθε εικονοστοιχείο για την ασφαλτο ηλικίας 0 – 5 ετών.....	38
Διάγραμμα 3.10: Μέση τιμή ανακλαστικότητας για κάθε εικονοστοιχείο για την ασφαλτο ηλικίας 5 – 10 ετών.....	38
Διάγραμμα 3.11: Μέση τιμή ανακλαστικότητας για κάθε εικονοστοιχείο για το πρώτο δείγμα ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών	39
Διάγραμμα 3.12: Μέση τιμή ανακλαστικότητας για κάθε εικονοστοιχείο για το δεύτερο δείγμα ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών	39
Διάγραμμα 3.13: Αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για το δείγμα ασφάλτου ηλικίας 0 – 5 ετών.....	40

Διάγραμμα 3.14: Αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για το δείγμα ασφάλτου ηλικίας 5 – 10 ετών.....	40
Διάγραμμα 3.15: Αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για το δείγμα ασφάλτου ηλικίας 0 – 5 ετών.....	41
Διάγραμμα 3.16: Αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για το δεύτερο δείγμα ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών.....	41
Διάγραμμα 3.17: Αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για τη μέση τιμή του δείγματος ασφάλτου ηλικίας 0 – 5 ετών.....	42
Διάγραμμα 3.18: Αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για τη μέση τιμή του δείγματος ασφάλτου ηλικίας 0 – 5 ετών.....	42
Διάγραμμα 3.19: Αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για τη μέση τιμή του δεύτερου δείγματος ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών.....	43
Διάγραμμα 3.20: Αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για τη μέση τιμή του δεύτερου δείγματος ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών.....	43
Διάγραμμα 3.21: Αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για την τυπική απόκλιση του δείγματος ασφάλτου ηλικίας 0 – 5 ετών.....	44
Διάγραμμα 3.22: Αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για την τυπική απόκλιση του δείγματος ασφάλτου ηλικίας 5 – 10 ετών.....	44
Διάγραμμα 3.23: Αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για την τυπική απόκλιση του πρώτου δείγματος ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών.....	45
Διάγραμμα 3.24: Αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για την τυπική απόκλιση του δεύτερου δείγματος ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών.....	45
Διάγραμμα 3.25: Τελική αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για την ανακλαστικότητα του δείγματος της ασφάλτου ηλικίας 0 – 5 ετών.....	46
Διάγραμμα 3.26: Τελική αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για την ανακλαστικότητα του δείγματος της ασφάλτου ηλικίας 5 – 10 ετών.....	46
Διάγραμμα 3.27: Τελική αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για την ανακλαστικότητα του πρώτου δείγματος της ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών.....	47

Διάγραμμα 3.28: Τελική αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για την ανακλαστικότητα του δευτέρου δείγματος της ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών.....	47
Διάγραμμα 3.29: Τελική αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή μέσης τιμής ανακλαστικότητας του δείγματος της ασφάλτου ηλικίας 0 – 5 ετών	48
Διάγραμμα 3.30: Τελική αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή μέσης τιμής ανακλαστικότητας του δείγματος της ασφάλτου ηλικίας 5 – 10 ετών	48
Διάγραμμα 3.31: Τελική αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή μέσης τιμής ανακλαστικότητας του πρώτου δείγματος της ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών.....	49
Διάγραμμα 3.32: Τελική αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή μέσης τιμής ανακλαστικότητας του δεύτερου δείγματος της ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών	49
Διάγραμμα 3.33: Τελική αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή τυπικής απόκλισης ανακλαστικότητας του δείγματος της ασφάλτου ηλικίας 0 – 5 ετών	50
Διάγραμμα 3.34: Τελική αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή τυπικής απόκλισης ανακλαστικότητας του δείγματος της ασφάλτου ηλικίας 5 – 10 ετών	50
Διάγραμμα 3.35: Τελική αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή τυπικής απόκλισης ανακλαστικότητας του πρώτου δείγματος της ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών.....	51
Διάγραμμα 3.36: Τελική αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή τυπικής απόκλισης ανακλαστικότητας του δεύτερου δείγματος της ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών	51
Διάγραμμα 4.1: Τελικές Φασματικές Υπογραφές δειγμάτων ασφάλτου	52
Διάγραμμα 4.2: Σύγκριση τελικών φασματικών υπογραφών για δείγματα ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών.....	54
Διάγραμμα 4.3: Μέσες τιμές για τα δείγματα ασφάλτου	55
Διάγραμμα 4.4: Τυπικές Αποκλίσεις δειγμάτων ασφάλτου	56

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΤΕΠΑΚ.:	Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου
PCI:	Δείκτης Κατάστασης Οδοστρώματος
SI:	Δείκτης Δομής Οδοστρώματος
PMS:	Σύστημα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων
GPS:	Παγκόσμιο Σύστημα Τοποθεσίας
GIS:	Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών
RIP:	Πρόγραμμα Οδικής Απογραφής
EAI:	Δείκτης Εκτιθέμενων Αδρανών

ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ

Data	Δεδομένα
Metadata	Μεταδεδομένα
Spectral Library	Φασματική Βιβλιοθήκη
Caltrans	Τμήμα Μεταφορών Καλιφόρνιας
Federal Highway Administration (FHWA)	Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αυτοκινητοδρόμων
Scanning Electron Microscope (SEM)	Μικροσκόπιου σάρωσης ηλεκτρονίων
Pixels	Εικονοστοιχεία

1 Εισαγωγή

Κανείς δεν μπορεί να αρνηθεί το γεγονός ότι, στις μέρες μας, οι υποδομές μεταφοράς είναι ένα από τα πιο σημαντικά μέρη της ζωής των ανθρώπων, αφού όλοι τις χρησιμοποιούν για να μετακινηθούν από το ένα μέρος στο άλλο. Τα πρότυπα ποιότητας για τις υποδομές μεταφορών, έχουν εξελιχθεί σημαντικά τις τελευταίες τρεις δεκαετίες. Το πιο σύνηθες υλικό το οποίο χρησιμοποιείται πλέον στις οδικές επικαλύψεις είναι η άσφαλτος και μπορεί να βρεθεί σχεδόν σε κάθε πυκνοκατοικημένη και μη περιοχή καλύπτοντας μεγάλες επιφάνειες (Puttonen et al. 2009). Από αρχαιοτάτων χρόνων η άσφαλτος είναι γνωστή για τη χρησιμότητα της ως υλικό στις κατασκευές. Συνηθίζεται να χρησιμοποιείται περισσότερο ως συνδετικό υλικό στην κατασκευή οδοστρωμάτων, και λιγότερο έως και καθόλου ως μονωτικό υλικό σε πολλούς άλλους τομείς της κατασκευαστικής βιομηχανίας (Οδοποιία II 2014).

Με τον όρο «άσφαλτος» γίνεται αναφορά σε ένα μείγμα αδρανών υλικών, συνδετικό και πληρωτικό, που χρησιμοποιείται για την κατασκευή και τη συντήρηση κάθε είδους δρόμων, χώρων στάθμευσης αλλά και αθλητικών περιοχών. Τα αδρανή που χρησιμοποιούνται σε μείγματα ασφάλτου συνήθως είναι θρυμματισμένες πέτρες, άμμος ή χαλίκια. Προκειμένου να δεσμεύονται τα αδρανή υλικά σε ένα συνεκτικό μείγμα, γνωστό ως ασφαλτόμιγμα, η άσφαλτος χρησιμοποιείται ως συνδετικό υλικό (Puttonen et al. 2009). Ο αντικειμενικός σκοπός της μελέτης για τη σύνθεση ενός ασφαλτομίγματος είναι ο καθορισμός ενός οικονομικού μίγματος αδρανών και συνδετικού (ασφάλτου) παράγοντας έτσι ένα μίγμα το οποίο να έχει

- Επαρκή ποσότητα ασφάλτου για την εξασφάλιση ενός οδοστρώματος ανθεκτικού στο χρόνο
- Επαρκή ευστάθεια μίγματος για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις του κυκλοφοριακού φόρτου χωρίς παραμορφώσεις
- Επαρκή ποσότητα κενών αέρος στο συμπυκνωμένο μίγμα για να επιτρέψει περαιτέρω συμπύκνωση, από τον κυκλοφοριακό φόρτο, χωρίς επαναρροή του ασφαλτικού υλικού στην επιφάνεια του οδοστρώματος ή την απώλεια της ευστάθειας του μίγματος
- Επαρκή εργασιμότητα για να επιτρέψει την ανάμιξη, τοποθέτηση και συμπύκνωση του ασφαλτομίγματος (Οδοποιία II 2014).

Κατά τη διάρκεια των ετών, όλες οι επιφάνειες ασφάλτου όπως οι δρόμοι, αλλοιώνονται, ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν, επιφέροντας σημαντικές ανωμαλίες, βλάβες ή/και παραμορφώσεις στην εμφάνισή τους. Αρχικά, με την πτώση της θερμοκρασίας της ασφάλτου, αυτή αρχίζει να υποβάλλεται σε φυσική σκλήρυνση λόγω της εξάτμισης μέρους των πτητικών συστατικών. Στη συνέχεια υποβάλλεται σε σταδιακή χημική σκλήρυνση, η οποία είναι γνωστή και ως γήρανση της ασφάλτου λόγω της οξειδωσης των οργανικών ενώσεων από την επαφή με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας και την εξάτμιση περαιτέρω πτητικών συστατικών. Με την οξειδωση και τη γήρανση της ασφάλτου αλλάζει η μηχανική συμπεριφορά της και κατά κανόνα μειώνεται η διάρκεια ζωής του οδοστρώματος (*Οδοποιία II* 2014). Η αλλοίωση ενός οδοστρώματος, πέραν από τη γήρανση που επέρχεται με το πέρασμα των χρόνων, οφείλεται επίσης και σε περιβαλλοντικά αίτια τα οποία αφορούν κυρίως στις καιρικές συνθήκες, καθώς και διαρθρωτικά αίτια τα οποία προκαλούνται από τις επαναλαμβανόμενες φορτίσεις κυκλοφορίας (Walker et al. 2002).

Ο ρυθμός με τον οποίο φθείρεται το οδόστρωμα εξαρτάται από το περιβάλλον του, τις συνθήκες κυκλοφορίας, την αρχική ποιότητα κατασκευής, και τις ενδιάμεσες διαδικασίες συντήρησης. Κακής ποιότητας υλικά ή κακές διαδικασίες κατασκευής μπορούν να μειώσουν σημαντικά τη διάρκεια ζωής ενός οδοστρώματος. Ως αποτέλεσμα, δύο οδοστρώματα που κατασκευάζονται συγχρόνως μπορεί να έχουν διαφορετικές ζωές, ή ορισμένα τμήματα ενός οδοστρώματος ενδέχεται να επιδεινωθούν ταχύτερα από τα υπόλοιπα. Από την άλλη πλευρά, η έγκαιρη και αποτελεσματική συντήρηση μπορεί να παρατείνει τη διάρκεια ζωής ενός οδοστρώματος. Παρόλα αυτά για την επιλογή της κατάλληλης τεχνικής συντήρησης ή αποκατάστασης ενός οδοστρώματος, είναι εξαιρετικά σημαντικό να γίνει πλήρης κατανόηση των τρεχουσών συνθηκών και της αιτίας της οποιασδήποτε παραμόρφωσης ή βλάβης του οδοστρώματος (Walker et al. 2002).

Υπάρχουν τέσσερις κύριες κατηγορίες παθήσεων μιας κοινής επιφάνειας ασφαλικού οδοστρώματος (Walker et al. 2002):

- Επιφανειακές ατέλειες (ξέφτισμα, έξαψη, στίλβωση).

- Επιφανειακή παραμόρφωση (αυλακώσεις, κυματιστή παραμόρφωση , ανώθηση λόγω παγετού, κλπ.).
- Ρωγμές (Εγκάρσιες ρωγμές, διαμήκη ρωγμές, ρωγμές τύπου αλιγάτορα, ρωγμές τύπου μπλοκ, ρωγμές ολίσθησης, κλπ.).
- Μπαλώματα και λακκούβες

Οι πρωτογενείς ανωμαλίες που εμφανίζονται στο ασφαλτικό οδόστρωμα είναι οι επιφανειακές ατέλειες (ξέφτισμα, έξαψη και στίλβωση). Με τον όρο «Ξέφτισμα» εννοείται η προοδευτική απώλεια του υλικού οδοστρώματος από την επιφάνεια της ασφάλτου που προκαλείται από

- (α) την απογύμνωση της ασφαλτικής μεμβράνης από το συσσωμάτωμα,
- (β) τη σκλήρυνση της ασφάλτου λόγω της γήρανσης,
- (γ) την κακή συμύκνωση ή την ανεπαρκή περιεκτικότητα ασφάλτου.

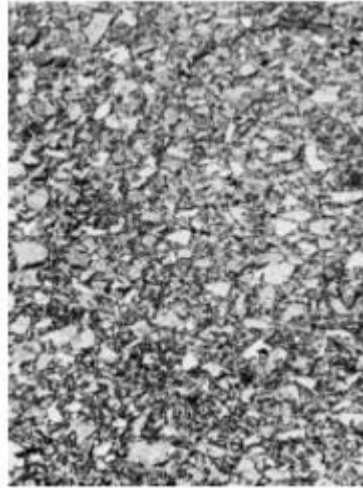
«Έξαψη» θεωρείται η υπέρβαση της ασφάλτου στην επιφάνεια ενός οδοστρώματος που προκαλείται από κακό αρχικό σχεδιασμό του ασφαλτομίγματος. Η «Στίλβωση» ορίζεται ως μια ομαλή λιπαρή επιφάνεια με μακριές αιχμηρές άκρες αδρανών υλικών που προκαλείται από τον κυκλοφοριακό φόρτο (Pascucci et al. 2008, Keith Kay 1999, Walker et al. 2002).



Εικόνα 1.1: Ξέφτισμα (Πηγή: Walker et al. 2002)



Εικόνα 1.2: Έξαψη (Πηγή: Walker et al. 2002)

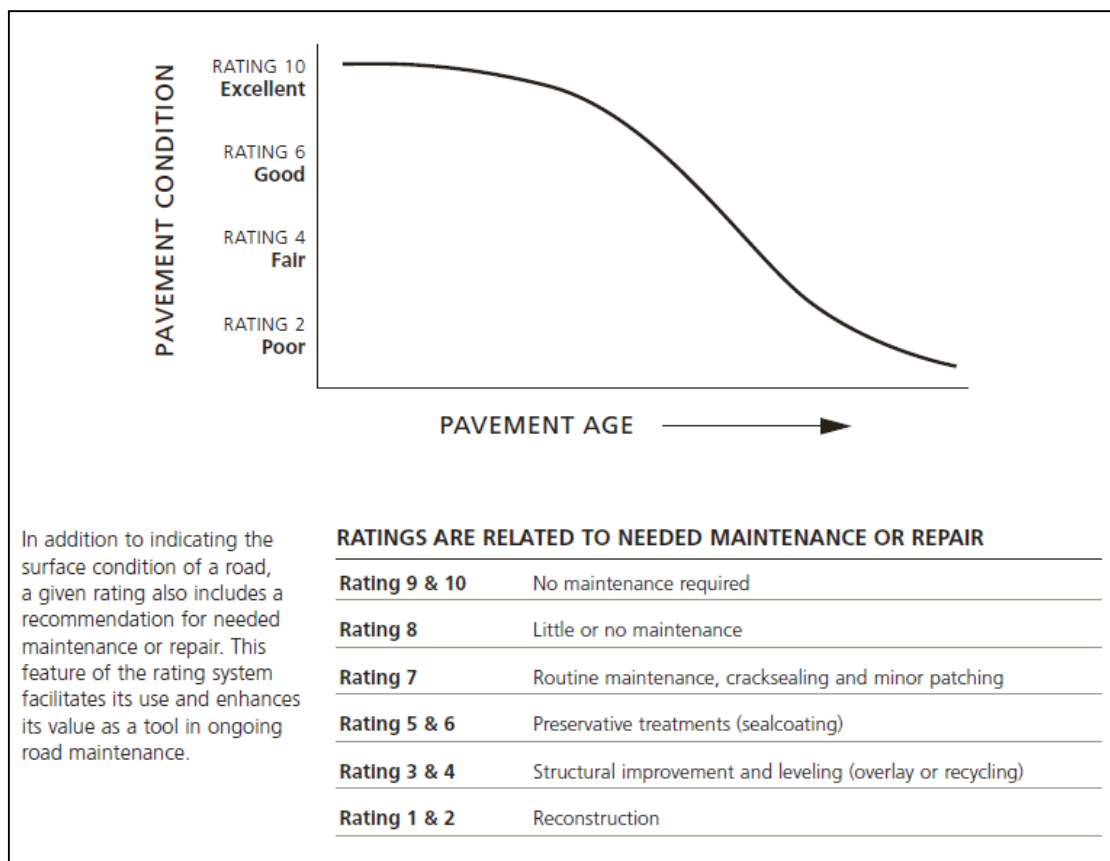


Εικόνα 1.3: Στίλβωση (Πηγή: Walker et al. 2002)

Η πιο κοινή πάθηση σ' ένα οδόστρωμα και η οποία αποτελεί και το δείκτη ποιότητας του είναι οι ρωγμές. Η ρωγμή εκθέτει βαθύτερα στρώματα του οδοστρώματος με υψηλότερες συγκεντρώσεις του αρχικού μίγματος ασφάλτου, τα οποία στη συνέχεια εκδηλώνονται ως αύξηση στην έκφραση των χαρακτηριστικών απορρόφησης υδρογονάνθρακα (Herold and Roberts 2005). Η σφράγιση των ρωγμών και οι στεγανοποιημένες επικαλύψεις μπορούν να μειώσουν την επίδραση της υγρασίας στην γήρανση του ασφαλτοτάπητα. Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις μεταβλητές που επηρεάζουν την κατάσταση ενός οδοστρώματος, γίνεται αντιληπτός ο λόγος που τα οδοστρώματα επιδεινώνονται σε διάφορα ποσοστά. Η αναγνώριση των ανωμαλιών και η κατανόηση των αιτίων τους, είναι καθοριστικά για την κατανόηση του ρυθμού κατάστασης ενός οδοστρώματος και ακόμη πιο καθοριστικά για την επιλογή των κατάλληλων και συνάμα αποδοτικών μεθόδων επισκευής του (Walker et al. 2002).

Ο ρυθμός κατάστασης ενός οδοστρώματος ποικίλει από οδόστρωμα σε οδόστρωμα, αφού οι παράγοντες που επηρεάζουν είναι αρκετοί. Είναι γεγονός ότι για την αναγνώριση και κατανόηση μιας ατέλειας στην επιφάνεια ενός οδοστρώματος, πρέπει αρχικά να γίνει αξιολόγηση και βαθμολόγηση της επιφάνειας της ασφάλτου. Η βαθμολογική κλίμακα, σύμφωνα με το διάγραμμα 1.1 που φαίνεται πιο κάτω, κυμαίνεται από το 10 μέχρι το 1, όπου το 10 αντιστοιχεί στην άριστη κατάσταση του οδοστρώματος και το 1 στην πλήρη αστοχία της ασφάλτου. Ο χρόνος που απαιτείται ώστε ένα οδόστρωμα από την άριστη κατάσταση να καταλήξει στην αστοχία εξαρτάται

σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα της αρχικής κατασκευής και τη βαριά κυκλοφοριακή φόρτιση. Συνήθως, ο παράγοντας της υγρασίας συντείνει στην επιτάχυνση της επιδείνωσης της κατάστασης ενός οδοστρώματος και ειδικά όταν ένα οδόστρωμα παρουσιάσει ρωγμές στην επιφάνεια του, οι οποίες βοηθούν την υγρασία να εισχωρήσει όλο και περισσότερο μέσα στην ασφαλτο. Για την αξιολόγηση ενός επιμέρους τμήματος του οδοστρώματος, αρχικά καθορίζεται η πρώτη γενική του κατάσταση, παραθέτοντας το ερώτημα σε ποιο σημείο της κλίμακας βρίσκεται και στη συνέχεια γίνεται η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου συντήρησης, η οποία θα παρατείνει ουσιαστικά το χρόνο ζωής του οδοστρώματος (Walker et al. 2002).



Διάγραμμα 1.1: Κατάσταση Οδοστρώματος (Πηγή: Walker et al. 2002)

Κατά πόσον χρειάζεται συντήρηση ένα οδόστρωμα ή όχι και σε ποια κατάσταση βρίσκεται, καθορίζεται από σχετικές μελέτες, έρευνες και παρατηρήσεις χρησιμοποιώντας τον κατάλληλο εξοπλισμό. Πλέον, γίνεται χρήση καινούριων τεχνολογιών, πιο άμεσων, ευκολότερων και λιγότερο χρονοβόρων για τον εντοπισμό

της κατάστασης της ασφάλτου και την κατάταξή της. Μια μέθοδος είναι και η τηλεπισκόπηση, η οποία θα μπορούσε να είναι μια χρήσιμη προσέγγιση για τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης του οδικού δικτύου. Αυτό οφείλεται κυρίως στην ανάγκη εφαρμογής των νεότερων τεχνολογιών για την ανάλυση μεγάλων περιοχών, για τη διατήρηση των προτύπων ασφαλείας και την παροχή γνώσεων σχετικά με την ηλικία της ασφάλτου και τις αλλοιώσεις της (Mei et al. 2014).

1.1 Τηλεπισκόπηση vs Κοινές Μέθοδοι

Η διαχείριση και συντήρηση των υποδομών μεταφοράς βασίζονται σε λεπτομερείς και ακριβείς πληροφορίες σχετικά με το οδικό δίκτυο. Ο τύπος του οδοστρώματος και οι συνθήκες της επιφάνειας του οδοστρώματος είναι οι πιο κοινές μεταβλητές που απαιτούνται για την παροχή λεπτομερής χαρτογράφησης του οδικού δικτύου. Επιπλέον, οι εργασίες συντήρησης ενός δρόμου φαίνεται ακόμα και σήμερα σαν κάτι που εξαπλώνεται με ραγδαίους ρυθμούς, παρόλα αυτά, η συντήρηση πραγματοποιείται όταν το οδόστρωμα πλησιάζει το σημείο κατάρρευσης του και με τις παρεμβάσεις ανανέωσης που συνδέονται με την εμπειρία των εργαζομένων (Pascucci et al. 2008).

Ωστόσο, ως μέρος του προγραμματισμού και του σχεδιασμού αποκατάστασης των έργων οδοστρώματος, απαιτούνται έρευνες για τις αλλοιώσεις των οδοστρωμάτων. Οι έρευνες παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τους διάφορους τύπους κινδύνου, την τοποθεσία, τη σοβαρότητα και την έκτασή τους. Παραδοσιακά, αυτές οι έρευνες βασίζονται σε εκτεταμένες επιτόπιες παρατηρήσεις από εκπαιδευμένους εμπειρογνώμονες, οι οποίοι χαρακτηρίζουν τα συγκεντρωτικά μέτρα όπως ο Δείκτης Κατάστασης Οδοστρώματος (PCI) και ο Δείκτης Δομής Οδοστρώματος (SI), που βασίζονται σε καθιερωμένες φυσικές παραμέτρους, όπως οι ρωγμές, οι αυλακώσεις, οι εκδορές, κλπ. Και οι δύο είναι δείκτες απόδοσης οδοστρωμάτων με κλίμακα συνήθως μεταξύ 0 και 100, με το 100 να αποτελεί τις ιδανικές συνθήκες.

Σταδιακά εξελίσσονται άλλες τεχνολογίες, όπως η εφαρμογή των Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων (PMS), η οποία συνήθως για τη μελέτη της κατάστασης της υγείας των οδοστρωμάτων συνδυάζεται με το Παγκόσμιο Σύστημα Τοποθεσίας (GPS), το Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) και τις ημι-αυτοματοποιημένες επί τόπου έρευνες. Ειδικά εξοπλισμένα φορητά συλλαμβάνουν εξαντλητικό

φωτογραφικό υλικό και βιντεογραφημένα αρχεία καταγραφής της ποιότητας του οδοστρώματος, παράλληλα με την καταγραφή της γεωμετρίας του δρόμου με το GPS και με εξ' αποστάσεως όργανα μέτρησης. Παρ' όλα αυτά, αυτή παραμένει μια ακριβή και χρονοβόρα έρευνα, ενώ απαιτείται το κόστος και η ασφάλεια να γίνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Η τηλεπισκόπηση μπορεί να λύσει την κατάσταση της χαρτογράφησης ενός δρόμου με την εφαρμογή σχετικά γρήγορων και οικονομικών μεθόδων για την αξιολόγηση των επιφανειακών ατελειών ενός οδοστρώματος (Pascucci et al. 2008). Ο όρος «τηλεπισκόπηση» εμπερικλύει έναν τρόπο συλλογής πληροφοριών για διάφορα αντικείμενα, χρησιμοποιώντας όργανα μέτρησης που δεν έρχονται σ' επαφή με αυτά («Αρχές Τηλεπισκόπησης» 2015). Με άλλα λόγια, η τηλεπισκόπηση αποτελεί την επιστήμη η οποία ασχολείται με την παρατήρηση διαφόρων φαινομένων και χαρακτηριστικών από απόσταση, όπως άλλωστε ερμηνεύεται και από το όνομά της (Schowengerdt 2007). Χρησιμοποιώντας τον όρο «τηλεπισκόπηση» με την έννοια που χρησιμοποιείται και από τους επιστήμονες που μελετούν τη Γη, εννοείται μια τεχνολογία που αποσκοπεί στην παρατήρηση και μελέτη του πλανήτη Γη, του περιβάλλοντός του και της δυναμικής του, σε διάφορες κλίμακες βάσει της αλληλεπίδρασης των υλικών που βρίσκονται επάνω στη Γη με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία» («Αρχές Τηλεπισκόπησης» 2015). Στην τηλεπισκόπηση, απαραίτητα στοιχεία, είναι μία πλατφόρμα στην οποία συγκρατείται το όργανο μέτρησης και εννοείται κάθε μέσο που βρίσκεται σε απόσταση από την επιφάνεια της γης ή οποιαδήποτε επιφάνεια που βρίσκεται υπό μελέτη (π.χ. τα αεροπλάνα, οι δορυφόροι), ένα αντικείμενο προς παρατήρηση, ένα όργανο μέτρησης ή αισθητήρας με τον οποίο παρατηρείται το αντικείμενο (κάμερες, σαρωτές, ραντάρ κ.λπ.) και τέλος η πληροφορία που περιέχει τα δεδομένα και το πώς αυτή χρησιμοποιείται και αποθηκεύεται (Schowengerdt 2007).

Η παρατήρηση μιας επιφάνειας της Γης ή οποιασδήποτε επιφάνειας ενός αντικειμένου, είναι δυνατή με τη χρήση ψηφιακών σαρωτών (τηλεπισκοπικών ανιχνευτών) που ανιχνεύουν την ανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας της επιφάνειας και την αποδίδουν ως ψηφιακή εικόνα. Οι σαρωτές μπορεί να είναι εγκατεστημένοι σε τεχνητούς δορυφόρους ή να βρίσκονται σε αερομεταφερόμενα μέσα (αεροσκάφη, ελικόπτερα). Στην πράξη χρησιμοποιούμε τα επιτεύγματα της τηλεπισκόπησης τόσο

στην καθημερινή μας ζωή όσο και σε πολύ εξειδικευμένα πεδία επιστημών. Το Κτηματολόγιο υλοποιείται με τις πληροφορίες που λαμβάνονται από αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες, η καθημερινή πρόγνωση του καιρού γίνεται αξιοποιώντας δεδομένα από μετεωρολογικούς δορυφόρους, η παγκόσμια κλιματική αλλαγή τεκμηριώνεται με τη χρήση δορυφόρων που παρακολουθούν τη θερμοκρασία στην επιφάνεια του πλανήτη, το βαρυτικό πεδίο της Γης χαρτογραφείται με εξειδικευμένα δορυφορικά ζεύγη κ.ά. (Schowengerdt 2007).

Αυτό αποδεικνύει ότι η αεροφωτογράφιση αποδίδει ένα μεγάλο μέρος των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή χαρτών, συστημάτων γεωπληροφοριών και εικονικών περιβαλλόντων που βασίζονται στο Internet, όπως VirtualEarth, GoogleEarth, και Pictometry - τρισδιάστατα (3-D) περιβάλλοντα. Όπως θα ήταν λογικό, η αλλαγή από τις αναλογικές κάμερες σε ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, επηρέασε και την επεξεργασία των αεροφωτογραφιών. Για παράδειγμα, οι μέθοδοι βαθμονόμησης που έχουν χρησιμοποιηθεί για συστήματα φωτογραμμετρικών ταινιών δεν είναι επαρκείς για τα ψηφιακά συστήματα. Η τηλεπισκόπηση με βάση την επεξεργασία δεδομένων μπορεί επίσης να εφαρμοστεί όλο και περισσότερο σε ψηφιακές εικόνες, όπως για παράδειγμα, στην αυτόματη ταξινόμηση και κατάτμηση των αντικειμένων. Η δεύτερη προσέγγιση λειτουργεί καλύτερα με ψηφιακές αεροφωτογραφίες που ραδιομετρικά βαθμονομούνται με τη μετατροπή του παρατηρούμενου ψηφιακού αριθμού σε ακτινοβολία του αντικειμένου. Είναι σημαντικό ότι οι αερομεταφερόμενες κάμερες μπορούν να ρυθμιστούν με ακρίβεια, εφόσον η βέλτιστη ακρίβεια είναι απαραίτητη. Μια ολοκληρωμένη ραδιομετρική βαθμονόμηση απαιτεί τρεις φάσεις: προκαταρκτικός έλεγχος βαθμονόμησης, βαθμονόμηση επί του οχήματος, και αντιπροσωπευτική βαθμονόμηση. Η ακρίβεια της ατμοσφαιρικής μοντελοποίησης επηρεάζει την ακρίβεια που λαμβάνεται και είναι τυπικά 3% -4% για δορυφορικά συστήματα (Puttonen et al. 2009).

Οι εικόνες που λαμβάνονται με τη χρήση ψηφιακών φωτογραφικών μηχανών αντιμετωπίζονται με διαφορετικούς τρόπους για διαφορετικούς σκοπούς. Οι τεχνικές επεξεργασίας που εκτελούνται με τη χρήση καμερών θα μπορούσε να αντιπροσωπεύουν την πραγματική προστιθέμενη αξία για την παρακολούθηση του περιβάλλοντος σε συνδυασμό με τηλεπισκοπικά δεδομένα. Οι ψηφιακές φωτογραφίες, στη συνέχεια, γίνονται ένα χρήσιμο εργαλείο σε τοπική κλίμακα παρέχοντας στατιστική

ανάλυση των τιμών RGB για το συστατικό ποσοτικοποίησης των φωτογραφιών (Manzo et al. 2014). Επιπλέον, οι αισθητήρες με υψηλή χωρική και φασματική ανάλυση παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τις χημικές και φυσικές ιδιότητες του υλικού των ασφαλτοστρωμένων επιφανειών. Οι υπερφασματικές εικόνες AVIRIS, CASI, HyperSpecTIR, οι πολυφασματικές υπέρυθρες και το φασματόμετρο ορατής απεικόνισης (MIVIS) και οι αισθητήρες με υψηλή χωρική ανάλυση, όπως Ikonos και Worldview/Quickbird, έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για τη χαρτογράφηση διαφορετικών αστικών επιφανειών. Επιπλέον, μια προσέγγιση πολλαπλής ανάλυσης έχει χρησιμοποιηθεί για να συγκρίνει το πώς διαφορετικοί αισθητήρες (MIVIS, ALI, Hyperion, Landsat ETM + και Ikonos) ανιχνεύουν τεχνητά υλικά στις ασφάλτους (Mei et al. 2014).

Όσον αφορά στη μελέτη των ασφαλτοστρώσεων, όπως και με οποιαδήποτε μέθοδο που αποτελεί κεντρικό άξονα έρευνας, τα συγκριτικά οικονομικά της τηλεπισκόπησης εξαρτώνται από την πυκνότητα των δρόμων και την προσβασιμότητα της περιοχής. Η αποτελεσματικότητα της τηλεπισκόπησης εξαρτάται επίσης από την ικανότητα διάκρισης ανάμεσα στους δρόμους και τα γύρω επιφανειακά υλικά. Στις αγροτικές περιοχές, όπου οι ασφαλτοστρωμένοι δρόμοι περιβάλλονται από βλάστηση, το πρόβλημα είναι σχετικά απλό, αφού εμποδίζεται μόνο από το φύλλωμα και τη νεφοκάλυψη. Στις αστικές περιοχές παρουσιάζουν μια δύσκολη πρόκληση, ωστόσο, λόγω της αφθονίας των τεχνητών υλικών, όπως δρόμους και στέγες, έχουν φασματικές ιδιότητες ουσιαστικά παρόμοιες με εκείνες των ασφαλτοστρωμένων δρόμων (Noronha et al. 2002). Οι επιφάνειες ασφάλτου φαίνονται σχετικά ισοτροπικές και ομοιογενές όχι μόνο με γυμνό μάτι αλλά και στις αεροφωτογραφίες. Για το λόγο αυτό φαίνεται ότι η ασφάλτος μπορεί να είναι ένας καλός βαθμονομημένος στόχος αν η ανάκλαση της αποδειχθεί ότι είναι αρκετά σταθερή όταν αυτό παρατηρείται από διαφορετικές κατευθύνσεις (Puttonen et al. 2009).

Οι επιφάνειες ασφάλτου, με την πάροδο του χρόνου, χάνουν ασφάλτο και μέσω της υποβάθμισης από την κίνηση και τη φθορά από τις καιρικές συνθήκες, έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της ανάκλασης και της εμφάνισης των κορυφών απορρόφησης που σχετίζονται με τα ορυκτολογικά χαρακτηριστικά των αδρανών, τα οποία εμφανίζονται στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Σε αυτές τις συνθήκες, οι λιθόστρωτες επιφάνειες αντιδρούν παρόμοια με τις χρωματομετρικές αλλαγές. Αυτή η

παρατήρηση είναι σε συμφωνία με τη διαπίστωση ότι το συνολικό χρώμα ασφαλτοστρωμένων περιοχών συσχετίζεται με την αφαίρεση πίσσας που καλύπτει τους κόκκους των αδρανών (Manzo et al. 2014). Επίσης, λαμβάνοντας υπόψη ότι ένα οδόστρωμα που υπόκειται σε γήρανση γίνεται φωτεινότερο με τη μείωση απορρόφησης υδρογονανθράκων, οι διαρθρωτικές ζημιές προκαλούν μειωμένη ανακλαστικότητα αλλά μεγαλύτερη έκφραση της απορρόφησης υδρογονανθράκων. Αξιοσημείωτο το γεγονός ότι η κύρια φασματική επίδραση των ρωγμών είναι μια μείωση της φωτεινότητας σε όλα τα τμήματα του φάσματος (Herold and Roberts 2005).

Μη αγνοώντας όλες αυτές τις παραμέτρους, ένα σημαντικό στοιχείο της κάθε έρευνας πρέπει να είναι η ανάπτυξη μιας Φασματικής Βιβλιοθήκης (Spectral Library). Σε γενικές γραμμές, μια Φασματική Βιβλιοθήκη παρέχει μια αναφορά έναντι αυτών των οποίων μπορούν να συγκριθούν και να προσδιορισθούν τα υλικά. Μια βιβλιοθήκη μπορεί να αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας είτε ένα φορητό φασματόμετρο, ή σαφής υλικό φασματικών υπογραφών από τηλεπισκοπικές απεικονίσεις, με κατάλληλες διορθώσεις στις δύο περιπτώσεις. Μία αξία της βιβλιοθήκης είναι η καταλογογράφηση διακυμάνσεων παρατηρούμενων υπογραφών στο χώρο και το χρόνο. Είναι σαφές ότι η βιβλιοθήκη είναι πιο χρήσιμη στην υψηλότερη δυνατή φασματική ανάλυση, διότι μπορεί να εκτραχύνει για να ταιριάζει με τα δείγματα της χαμηλότερης ανάλυσης δεδομένων (Noronha et al. 2002).

Παρ' όλα αυτά, σε ορισμένες περιπτώσεις, η τηλεπισκόπηση μπορεί να συνδυαστεί με τις κοινές μεθόδους. Τόσο οι μέθοδοι "κοινής πρακτικής" (σύστημα διαχείρισης οδοστρωμάτων - PMS, επιθεωρήσεις επί τόπου), όσο και η ανάλυση απεικόνισης με τη χρήση φασματομετρίας είναι αποτελεσματικές στον εντοπισμό των δρόμων σε καλή και πολύ καλή κατάσταση. Οι διακυμάνσεις και οι αβεβαιότητες σε όλα τα στοιχεία της έρευνας (PMS, σε επιθεωρήσεις μέσω των οχημάτων επί τόπου, τηλεπισκόπησης) αυξάνονται για οδοστρώματα σε κακή κατάσταση και ο σαφής προσδιορισμός των ειδικών (και ακριβών) αποφάσεων για τη θεραπεία της επιφάνειας παραμένουν πρόβλημα από αυτές τις μεθόδους (Herold et al. 2008).

1.2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Αρκετές έρευνες και μελέτες αποδεικνύουν ότι ο άνθρωπος ανέκαθεν προβληματιζόταν, παρατηρούσε και ερευνούσε το οδικό δίκτυο και τις ατέλειες που εμφανίζονται με το πέρασ των χρόνων. Παράδειγμα οι Haas et al., οι οποίοι ήταν οι πρώτοι συγγραφείς που ερεύνησαν και εξήγαγαν ένα δείκτη κατάστασης οδοστρώματος (PCI) συνδέοντας τις οδικές φυσικές παραμέτρους (ρωγμές, αυλακώσεις και ξέφτισμα) που συγκεντρώθηκαν από επιτόπιες παρατηρήσεις με το Παγκόσμιο Σύστημα Τοποθέτησης (GPS). Αυτή η κοινή τεχνολογία παρέχει λεπτομερείς και γεωαναφερόμενες πληροφορίες σχετικά με τις οδικές συνθήκες, ακόμη και αν οι χαμηλού κόστους και εύκολης διαχείρισης απαιτήσεις παραμένουν άλυτες (Pascucci et al. 2008).

Η φυσική γήρανση της ασφάλτου προκαλείται από την αντίδραση με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας, τις φωτοχημικές αντιδράσεις με την ηλιακή ακτινοβολία, και την επίδραση της θερμότητας, και καταλήγει σε τρεις μεγάλες διαδικασίες: την απώλεια των ελαιωδών συστατικών με μεταβλητότητα ή απορρόφηση, τις αλλαγές της σύνθεσης από την οξείδωση, και τη μοριακή δόμηση που επηρεάζει το ιξώδες του μίγματος ασφάλτου. Οι φασματικές επιδράσεις αντιπροσωπεύουν έναν συνδυασμό των εκτιθέμενων αδρανών και της γήρανσης της ασφάλτου. Τα φασματικά χαρακτηριστικά αντανακλούν αυτό το ενδιάμεσο στάδιο, δείχνοντας χαρακτηριστικά απορρόφησης από τους υδρογονάνθρακες και τα μέταλλα. Οι διεργασίες γήρανσης και φθοράς είναι σταδιακές και υπάρχουν καλές φασματικές αποδείξεις ότι η μετάβαση στις ιδιότητες της επιφάνειας του υλικού μπορούν να χαρτογραφηθούν χρησιμοποιώντας ένα φασματόμετρο απεικόνισης. Η γήρανση του οδοστρώματος γίνεται φωτεινότερη με τη μείωση απορροφήσεων υδρογονανθράκων ενώ οι διαρθρωτικές ανωμαλίες έχουν χαμηλότερη ανακλαστικότητα, αλλά αυξάνουν την έκφραση των χαρακτηριστικών υδρογονανθράκων (Herold et al. 2008).

Οι πρόσφατες εξελίξεις στην φασματομετρική απεικόνιση προσφέρουν τη δυνατότητα βελτίωσης της χαρτογράφησης σχετικά με την ποιότητα του οδικού δικτύου σε μεγάλες περιοχές. Φασματόμετρα απεικόνισης είναι σε θέση να αποκτήσουν ένα μεγάλο αριθμό φασματικών ζωνών με στενό εύρος ζώνης. Οι εν λόγω λεπτομερείς φασματικές μετρήσεις επιτρέπουν την ταυτοποίηση των χημικών και φυσικών ιδιοτήτων των υλικών με ακρίβεια, καθώς και την επιφανειακή γεωμετρία των επιφανειών. Οι πρώτες

μελέτες τηλεπισκόπησης στη δεκαετία του 1970 ασχολήθηκαν με την οπτική ερμηνεία της φυσικής επιφανειακής ατέλειας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι ατέλειες διακρίνονται αλλά μόνο σε αεροφωτογραφίες πολύ μεγάλης κλίμακας (Herold et al. 2008). Προηγούμενες μελέτες χαρτογράφησης της κατάστασης του οδοστρώματος με τηλεπισκόπηση είναι σπάνιες. Οι πρόσφατες εξελίξεις στην φασματομετρική απεικόνιση παρέχουν την δυνατότητα άντλησης φυσικών και χημικών ιδιοτήτων των υλικών σε λεπτομερές επίπεδο. Υπάρχουν ενδείξεις ότι οι οδικές ιδιότητες, όπως η γήρανση και η σύνθεση των υλικών εμφανίζονται ως αποτέλεσμα διακριτών φασματικών χαρακτηριστικών. Ωστόσο, δεν είναι σαφές ποιες φασματικές ιδιότητες συνδέονται με τα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης επιφάνειας οδοστρώματος και ποιες είναι οι διαμορφώσεις των τηλεπισκοπικών δεδομένων που απαιτούνται για τη χαρτογράφηση αυτών των φαινομένων (Herold and Roberts 2005).

Ένα πείραμα στη Goleta, πόλη της Καλιφόρνιας, διεξήχθη για τη διερεύνηση των δυνατοτήτων της φασματομετρικής απεικόνισης σε χαρτογράφηση οδικών συνθηκών ασφάλτου. Οι δρόμοι ερευνήθηκαν με τεχνικές "κοινής πρακτικής", δηλαδή με το όχημα έρευνας Roadware's ARAN και επιθεωρήθηκαν από ειδικευμένους εμπειρογνώμονες οδοστρωμάτων από το Πανεπιστήμιο Iowa State, και από επιχειρήσεις της Καλιφόρνιας που συνδέονται με το Τμήμα Μεταφορών Καλιφόρνιας (Caltrans). Ο τελικός στόχος ήταν η διερεύνηση των σχέσεων μεταξύ τηλεπισκοπικών παραμέτρων (δηλαδή τη φασματική ανακλαστικότητα) και των παραμέτρων που καθορίζουν την κατάσταση ενός δρόμου, όπως ο δείκτης PCI (Herold et al. 2008).

Αναμφίβολο το γεγονός ότι πρόσφατες μελέτες δείχνουν ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον σε εφαρμογές απομακρυσμένης και εγγύς τηλεπισκόπησης για την παρακολούθηση και τη διαχείριση του οδικού δικτύου. Επιπλέον, η Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αυτοκινητοδρόμων FHWA (Federal Highway Administration (FHWA)), υλοποιεί ένα Πρόγραμμα Οδικής Απογραφής (RIP) με βάση την παραδοχή ότι μια ακριβής εκτίμηση της κατάστασης της επιφάνειας του οδοστρώματος μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση αυτοματοποιημένης τεχνολογίας ανίχνευσης ρωγμών όπως εφαρμόζεται σε ψηφιακές φωτογραφίες. Διάφορες μέθοδοι εκτίμησης της κατάστασης του οδοστρώματος έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια με διάφορους βαθμούς ακρίβειας και αποδοχής. Η χρήση της ψηφιακής φωτογραφίας για την καταγραφή εικόνων οδοστρώματος και μετέπειτα ανίχνευσης ρωγμών και ταξινόμησης έχει υποστεί συνεχείς βελτιώσεις σε

σχέση με την προηγούμενη δεκαετία. Ωστόσο, στη δημιουργία της βάσης αναγνώρισης των ατελειών του οδοστρώματος απασχολούν τα πρωτόκολλα ταυτοποίησης των ατελειών που χρησιμοποιούνται από την FHWA, αφού δεν υπάρχει ενιαίο σύστημα αναγνώρισης ατελειών που να είναι καθολικό μεταξύ των οντοτήτων που κάνουν τέτοιου είδους ταυτοποίηση (*Pavement distress identification manual for the NPS Road Inventory* 2009).

Πρόσφατα, επίσης, έχει γίνει μια διερεύνηση από την Εθνική Κοινοπραξία Τηλεπισκόπησης σε Μεταφορές στο UC Santa Barbara με κεντρικούς στόχους της έρευνας να αποτελούν η βελτιωμένη κατανόηση της φασματικής αναπαράστασης της γήρανσης των οδοστρωμάτων και των διαδικασιών υποβάθμισης, η βέλτιστη διαμόρφωση από φασματικό/χωρικό αισθητήρα τηλεχειρισμού για την απόκτηση τέτοιων φαινομένων, και η αξιολόγηση των δυνατοτήτων και των περιορισμών της τεχνολογίας τηλεπισκόπησης σε σύγκριση με άλλες τεχνικές έρευνας οδικού δικτύου (Herold et al. 2008).

Ακόμη ένα πείραμα έχει διεξαχθεί στην περιοχή της Santa Barbara και της Goleta, στην Καλιφόρνια, για τη διερεύνηση των επιπτώσεων των οδικών συνθηκών για φάσματα οδοστρωμάτων και για την αξιολόγηση της χρησιμότητας της φασματομετρικής απεικόνισης για τη χαρτογράφηση οδικών συνθηκών. Αποκτήθηκε μια ολοκληρωμένη φασματική βιβλιοθήκη των οδοστρωμάτων και των διαφόρων τύπων των ατελειών με μια Αναλυτική Φασματική συσκευή φασματόμετρου χειρός. Οι δρόμοι απεικονίστηκαν με έναν αισθητήρα υπερφασματικού επιμέρους μέτρου (HyperSpectir). Για την αναφορά του πεδίου, οι δρόμοι ερευνήθηκαν με ένα αυτόματο όχημα ανάλυσης έρευνας δρόμων με το οποίο αποκτήθηκε επιτόπου ένα πλήθος παραμέτρων οδικών συνθηκών (Herold and Roberts 2005).

Μια από τις διάφορες έρευνες που έχουν διεξαχθεί, περιγράφει μια γρήγορη διαδικασία για την αξιολόγηση ατελειών στην επιφάνεια του ασφαλτικού οδοστρώματος χρησιμοποιώντας αερομεταφερόμενα δεδομένα εκπομπής. Για την ανάπτυξη αυτής της διαδικασίας, αερομεταφερόμενα πολυφασματικά δεδομένα εκπομπής είχαν χρησιμοποιηθεί, καλύπτοντας μια αστική υπό δοκιμή περιοχή κοντά στη Βενετία (Ιταλία). Πρώτον, τα ασφαλτικά οδοστρώματα των δρόμων έχουν εντοπιστεί και επιλεγεί από πολυφασματικό φασματόμετρο υπέρυθρης ορατής απεικόνισης (MIVIS) χρησιμοποιώντας μια διαδικασία κατάτμησης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η εκπομπή

MIVIS επιτρέπει τη θέσπιση κατώτατου ορίου που επισημαίνει αυτές τις τοποθεσίες ασφάλτου για τις οποίες απαιτείται έλεγχος για μια επέμβαση συντήρησης. Ως εκ τούτου, αυτή η τεχνική μπορεί να παρέχει τοπικές αρχές μιας αποτελεσματικής, ταχείας και επαναλαμβανόμενης διαδικασίας χαρτογράφησης οδικού δικτύου παρέχοντας τη θέση των οδοστρωμάτων που πρέπει να ελεγχθούν (Pascucci et al. 2008).

Μια άλλη έρευνα επικεντρώνεται στην φασματική μεταβλητότητα της ασφάλτου σε σύγκριση με τα χαρακτηριστικά της επιφάνειάς του, ιδίως, με την ποσότητα των εκτιθέμενων συσσωματωμάτων. Η γήρανση του οδοστρώματος και η ανίχνευση της υποβάθμισης είναι ένα από τα κύρια ζητήματα στη διαχείριση της υποδομής που αντιμετωπίζουν οι τοπικές αρχές στον τομέα των προτύπων ασφαλείας. Σε αυτή τη μελέτη, τα διάφορα δείγματα ασφάλτου από την Κεντρική Ιταλία χαρακτηρίζονται από ψηφιακές φωτογραφίες RGB σε συνδυασμό με τις φασματικές υπογραφές τους. Είναι ζωτικής σημασίας ο καθορισμός ενός αντικειμενικού δείκτη που θα μπορούσε να δείξει είτε την παρουσία ή την απουσία τους, επειδή η φασματική απόκριση επηρεάζεται από την παρουσία των εκτιθέμενων αδρανών και της ασφάλτου. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος με το δείκτη Εκτιθέμενων Αδρανών (EAI) σε κάθε φωτογραφία. Η κατάληψη της επιφάνειας από αδρανή καθορίζεται από το σύνολο των δεδομένων των φωτογραφιών RGB χρησιμοποιώντας τη μέθοδο παραλληλεπίπεδου. Το αποτέλεσμα συγκρίνεται στη συνέχεια με μια φασματική απόκριση του στόχου (Manzo et al. 2014).

Η μελέτη επικεντρώθηκε στην ευκαιρία προέκτασης σε μια πιο γρήγορη διαδικασία, μια ποσοτική τιμή για να περιγράψει τις αλλαγές των συνθηκών μιας επιφάνειας οδοστρώματος χρησιμοποιώντας τον προσδιορισμό των τιμών της κλίμακας του γκρι των φωτογραφιών RGB. Τα φωτεινά χρώματα ανατίθενται σε παλιά άσφαλτο με χαμηλότερα επίπεδα πίσσας και τα σκούρα χρώματα σε νεότερες ασφάλτους. Είναι γεγονός ότι η χρήση φασματοραδιομετρικών δεδομένων για το χαρακτηρισμό αδρανών υλικών και ασφαλτομιγμάτων μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της ανάλυσης στο να γίνει διάκριση διαφορετικών τύπων τεχνητών επιφανειών. Οι αναλύσεις των πολλαπλών και υπερ-φασματικών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων επιτρέπει τη διάκριση των οδικών δικτύων και την αξιολόγηση της αποσάθρωσης των επιφανειών ασφάλτου χρησιμοποιώντας φασματικούς δείκτες (Manzo et al. 2014).

Η ικανότητα ταξινόμησης των επιφανειών ασφάλτου είναι ένας σημαντικός στόχος για την επιλογή των κατάλληλων μη παραλλαγμένων στόχων κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης των εξ αποστάσεως ανιχνευόμενων εικόνων. Επιπλέον, η δυνατότητα αναγνώρισης διαφορετικών τύπων επιφανειών ασφάλτου στις εικόνες μπορεί να βοηθήσει στην βελτιστοποίηση της διαχείρισης του οδικού δικτύου. Διεξήχθη μια μελέτη πολλαπλής ανάλυσης για τη βελτίωση της διαφοροποίησης της επιφάνειας της ασφάλτου χρησιμοποιώντας το πεδίο φασματοραδιομετρικών δεδομένων, εργαστηριακές αναλύσεις και εικόνες τηλεπισκόπησης. Χρησιμοποιήθηκαν αερομεταφερόμενα δεδομένα και πολυφασματικές εικόνες από το Πολυφασματικό φασματόμετρο υπέρυθρης και ορατής απεικόνισης (MIVIS), όπως Quickbird και Ikonos (Mei et al. 2014).

Υπάρχει επίσης μια έρευνα η οποία προσπαθεί να εξάγει δρόμους διαφόρων τύπων, και διερευνά τις φασματικές υπογραφές που συνδέονται με διαφορετικές ποιότητες του οδοστρώματος. Σε γενικές γραμμές, οι μέθοδοι είναι επιτυχής όσον αφορά την αναγνώριση δρόμων και τη διάκριση μεταξύ των κυριότερων κατασκευαστικών υλικών (π.χ. σκυρόδεμα, άσφαλτος, κλπ.). Η τεχνική εκχύλισης κρατά την υπόσχεση σε αγροτικές περιοχές όπου υπάρχει πολύ μικρότερη πιθανότητα σύγχυσης μεταξύ ασφάλτου και των γύρω υλικών. Υπάρχει η δυνατότητα εκτίμησης της ηλικίας ενός οδοστρώματος, και στο βαθμό που αυτό συσχετίζεται με την υγεία του εν λόγω οδοστρώματος, είναι χρήσιμη η υπερφασματική ανάλυση. Αλλά οι παραδοσιακοί δείκτες της υγείας του οδοστρώματος (π.χ. ρωγμές και αυλάκωση) είναι φαινόμενα υπο-μέτρησης. Τέλος, η έρευνα υποστηρίζει ότι, δεδομένου ότι ένα μεγάλο μέρος της διακριτικής ικανότητας της υπερφασματικής τηλεπισκόπησης συγκεντρώνεται μέσα σε λίγες μπάντες κύματος, θα πρέπει να είναι δυνατόν να σχεδιαστεί ένας αισθητήρας χαμηλότερης φασματικής ανάλυσης (δηλαδή πολυφασματικός), ειδικά για τη μεταφορά και την αστική τηλεπισκόπηση και ότι θα μπορούσε να επιτύχει πολλούς από αυτούς τους στόχους σε πολύ χαμηλότερο κόστος. Ως αποτέλεσμα, νέες επιφάνειες ασφάλτου έχουν το χαμηλότερο συντελεστή ανάκλασης με έναν αυξανόμενο σήμα προς 2100 nm και οι παλαιότερες επιφάνειες ασφάλτου, και η φτωχότερη κατάσταση του οδοστρώματος (π.χ. ρωγμές), έχουν περισσότερες αυξήσεις ανάκλασης σε όλα τα μέρη του φάσματος (Herold et al. 2003).

Οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία τηλεπισκόπησης έχουν προσφέρει μια ποικιλία από πιθανές κατευθύνσεις για την γενική και συστηματική έρευνα σε αυτά τα προβλήματα. Αυτές οι έρευνες μπορούν να βοηθήσουν τον οποιονδήποτε να καθορίσει τις δυνατότητες και τους περιορισμούς στην τηλεπισκόπηση των οδικών υποδομών με την ελπίδα να ξεπεραστούν οι γνωστές προκλήσεις. Μία από τις καινοτόμες ιδέες περιλαμβάνει τη φασματομετρία εδάφους (από επίγειες μετρήσεις) και την υπερφασματική τηλεπισκόπηση (από τους αισθητήρες αεροπλάνου ή δορυφόρου). Φασματομετρική απεικόνιση έχει διερευνηθεί προκειμένου να υποστηρίξει την εφαρμογή της τηλεπισκόπησης για τους σκοπούς της παρατήρησης της γης, δηλαδή για τη λεπτομερή φασματοσκοπική ανάλυση των φυσικών στόχων όπως η βλάστηση και τα μέταλλα. Παρά τα πλεονεκτήματα αυτά, η γνώση για φασματικά χαρακτηριστικά των τεχνητών επιφανειών είναι αρκετά αδύναμη και ελάχιστη είναι η έρευνα που έχει επικεντρωθεί στην φασματομετρία αστικών υλικών και οδοστρωμάτων. Υπάρχει ανεπαρκής κατανόηση σχετικά με τα φασματικά χαρακτηριστικά των οδοστρωμάτων (ποικίλου τύπου, την ηλικία και την κατάσταση) και πώς αυτοί οι στόχοι διαφέρουν φασματικά από τα άλλα αστικά υλικά και τα είδη κάλυψης της γης. Οι δυνατότητες και οι περιορισμοί των κοινών πολυφασματικών συστημάτων αισθητήρων είναι ασαφής, όπως είναι οι πλέον κατάλληλες διαμορφώσεις αισθητήρων για την χαρτογράφηση του οδικού δικτύου σε αστικές περιοχές. Αν αυτά τα ερωτήματα απαντηθούν στη συνέχεια, ο ρόλος της τεχνολογίας της τηλεπισκόπησης στη χαρτογράφηση των οδικών υποδομών μπορεί να γίνει καλύτερα κατανοητός (Herold et al. 2003).

1.3 Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, πραγματοποιώντας ανασκόπηση της βιβλιογραφίας που αφορά την παρακολούθηση των οδοστρωμάτων σχετικά με την επιδείνωση που παρουσιάζουν κατά τη διάρκεια των ετών, παρατηρείται ότι υπάρχουν πολλές μελέτες οι οποίες επικεντρώνονται στις φυσικές και χημικές ιδιότητες των υλικών των επιφανειών ασφάλτου και τα φασματικά χαρακτηριστικά τους. Όλες οι έρευνες κάνουν χρήση της τηλεπισκόπησης ή των κοινών μεθόδων ή και τα δύο από αυτά, προκειμένου να παράγουν τα κατάλληλα αποτελέσματα. Μελλοντική εφαρμογή που να αφορά μελέτη σε ασφαλτικά οδοστρώματα θα μπορούσε να αποτελέσει το πεδίο φασματικών

αναλύσεων, χρησιμοποιώντας ένα φορητό ραδιόμετρο μικρο-μετασηματισμού υπέρυθρων Fourier: (α) για την κατασκευή μιας φασματικής βιβλιοθήκης των οδοστρωμάτων ασφάλτου με διαφορετικές επιφανειακές ατέλειες χρήσιμο για τη βαθμονόμηση και επικύρωση περαιτέρω θερμικών δεδομένων τηλεπισκόπησης που αποκτήθηκαν σε περιοχές υπό μελέτη και (β) για την παροχή δειγμάτων ασφάλτου για εργαστηριακή ανάλυση που να αφορά την αφθονία των αδρανών υλικών και για τον καθορισμό του επιπέδου φθοράς / γήρανση τους.

Επιπλέον, υπάρχουν ενδείξεις ότι οι οδικές ιδιότητες όπως η γήρανση και σύνθεση του υλικού μπορούν να επηρεάσουν φασματικά χαρακτηριστικά. Ωστόσο, η σχέση μεταξύ της ανάκλασης και της συγκεκριμένης ποιότητας οδοστρώματος δεν έχει ακόμη προσδιοριστεί. Είναι βεβαίως δυνατή η χαρτογράφηση του τύπου οδοστρώματος, η οποία αποτελεί χρήσιμη πληροφορία. Συνοπτικά, η χαρτογράφηση της κατάστασης του δρόμου από τη φασματομετρική απεικόνιση έχει δυνατότητες υλοποίησης. Δεν είναι πιθανό ότι τηλεπισκόπηση θα αντικαταστήσει τις επιτόπιες επιθεωρήσεις, αλλά το φασματικό σήμα είναι ένα επιπλέον επίπεδο των πληροφοριών που δεν θεωρείται σε άλλες μεθόδους αξιολόγησης οδοστρωμάτων και μπορεί να προσφέρει γνώσεις σχετικά με τις συνθήκες της επιφάνειας και άλλες πτυχές που ο επιθεωρητής δεν μπορεί να αξιολογήσει παρά μόνο με σημαντική και χρονοβόρα εργασία.

Επίσης, ο λόγος που οι επιφάνειες ασφάλτου παίρνουν φωτεινότερο χρώμα, καθώς γερνούν θα μπορούσε να μελετηθεί με μεγαλύτερη λεπτομέρεια για να ερευνηθεί αν προκαλείται από την αφαίρεση του στρώματος ασφάλτου από τις συνολικές επιφάνειες ή αν είναι περισσότερο από την υποβάθμιση και την κατανομή του μεγέθους κόκκου των αδρανών υλικών. Οι μετρήσεις θα μπορούσαν επίσης να επεκταθούν και σε επιφάνειες με βαρύτερη οδική κυκλοφορία, όπως οι αυτοκινητόδρομοι. Αυτό μπορεί να παράγει νέα γνώση των χαρακτηριστικών επωφελής για τις ιδιότητες ανάκλασης για ασφαλοτότητα.

Πλέον, ένα από τα κύρια θέματα των οργανισμών που σχετίζονται με το οδικό δίκτυο ή κυβερνητικών οργανισμών, σήμερα, στα σχέδια συντήρησης των οδικών δικτύων είναι η έγκαιρη ανίχνευση των κατεστραμμένων οδοστρωμάτων. Η ανάπτυξη μιας έξυπνης και μη καταστρεπτικής συστηματικής τεχνικής για την παρακολούθηση κατεστραμμένων οδοστρωμάτων θεωρείται βασική προτεραιότητα να καλύψει αυτό το

κενό. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970, η τηλεπισκόπηση χρησιμοποιήθηκε για τη χαρτογράφηση των ατελειών και παραμορφώσεων ενός οδοστρώματος, ενώ κατά την τελευταία δεκαετία, η τεχνολογία της τηλεπισκόπησης έγινε πιο προηγμένη, βοηθώντας με αυτόν τον τρόπο στην εξέλιξη της ταυτοποίησης και χαρτογράφησης των δρόμων. Διάφορες τεχνικές έχουν χρησιμοποιηθεί, προκειμένου να διερευνηθεί η κατάσταση, η ηλικία, οι αδυναμίες και οι ατέλειες ενός ασφαλτοστρωμένου οδοστρώματος. Αυτές οι μέθοδοι ήταν αρκετά επιτυχής όσον αφορά στην κατάταξη των ασφαλτοστρωμένων επιφανειών και στην ανίχνευση μερικών από τα χαρακτηριστικά τους. Επομένως, η παρούσα μελέτη ασχολείται με την παρατήρηση ασφαλτικών επιφανειών στην Κύπρο με τη χρήση τεχνικών τηλεπισκόπησης και συγκεκριμένα με τη χρήση του φασματοραδιόμετρου SVC HR-1024. Στόχος είναι η παρατήρηση της ανακλαστικότητας διαφόρων κατηγοριών ασφάλτου λαμβάνοντας υπόψη και έχοντας εις γνώση την ηλικία τους. Ο λόγος είναι διότι τίθενται ερωτήματα όπως κατά πόσον με το πέρασ των χρόνων η ανακλαστικότητα της ασφάλτου μεταβάλλεται ομαλά ή με ραγδαίους ρυθμούς.

2 Μεθοδολογία Έρευνας

Στη συνέχεια, θα γίνει ανάλυση της έρευνας που διεξάχθηκε στην παρούσα μελέτη και η οποία στοχεύει στην ανάλυση ασφαλικών επιφανειών στην Κύπρο με τη χρήση τηλεπισκόπησης. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο αρχικός στόχος της μελέτης αυτής ήταν η συσχέτιση της ηλικίας της ασφάλτου με την ποσότητα των υλικών που αποτελούν τη σύσταση της. Η αρχική ιδέα συνδύαζε εργαστήριο τηλεπισκόπησης με τη χρήση φασματοραδιομέτρου και εργαστήριο μηχανικής υλικών με τη χρήση μικροσκοπίου σάρωσης ηλεκτρονίων (*Scanning Electron Microscope – SEM*). Όμως δυστυχώς δε μπόρεσε να υλοποιηθεί ο στόχος αυτός λόγω δυσκολίας εύρεσης δείγματος ασφάλτου συγκεκριμένου μεγέθους όπως απαιτούσε. Τελικά, ο αρχικός στόχος διαφοροποιήθηκε ανάλογα με τα δεδομένα που υπήρχαν και ξεκίνησε η εξεύρεση των δειγμάτων που χρειάζονταν για την υλοποίησή του.

2.1 Δείγμα και Τρόπος Δειγματοληψίας

Η παρούσα μελέτη περιορίζεται στην επαρχία Λεμεσού και για την εξασφάλιση των δειγμάτων έπρεπε να ληφθούν πληροφορίες από κάποιο δημόσιο φορέα της επαρχίας Λεμεσού που να σχετίζεται με το οδικό δίκτυο. Για πιο ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα, έπρεπε να εξασφαλιστούν συνολικά 9 δείγματα ασφάλτου μεγέθους περίπου 30 x 30 cm εκ των οποίων:

- 3 δείγματα θα ήταν ηλικίας περίπου 0-5 χρονών
- 3 δείγματα θα ήταν ηλικίας περίπου 5-10 χρονών
- 3 δείγματα θα ήταν ηλικίας περίπου 10-15 χρονών

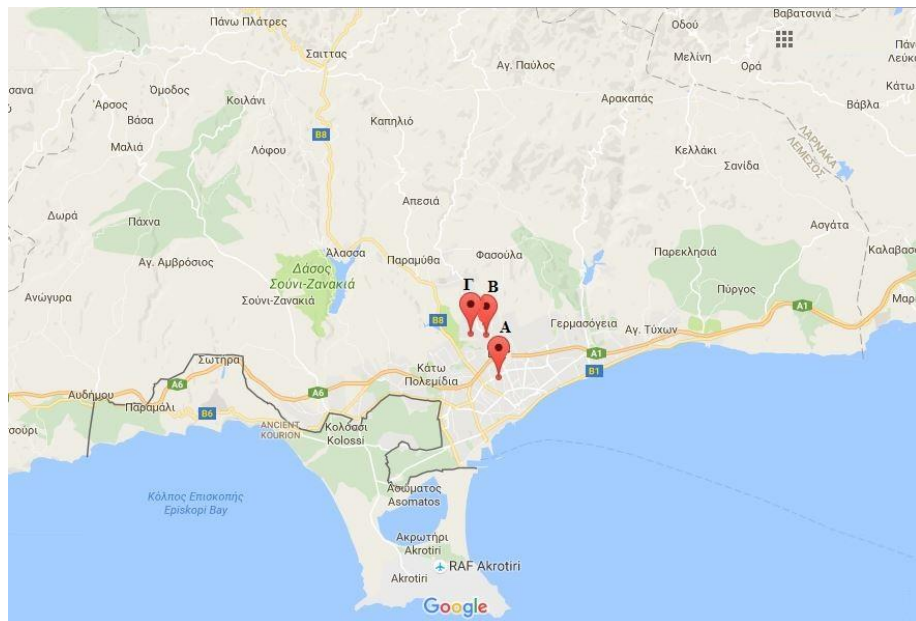
Παρόλα αυτά, υπήρχε δυσκολία στην εξασφάλιση τόσων δειγμάτων όχι μόνο λόγω χρόνου αλλά δεν ήταν αρκετά εφικτό να ληφθεί δείγμα από υφιστάμενο δρόμο αφού δεν υπήρχε ο κατάλληλος εξοπλισμός άμεσα διαθέσιμος. Για το λόγο αυτό, πάρθηκε η απόφαση να εξασφαλιστούν τα δείγματα από δρόμους στους οποίους ήδη εκτελούνται έργα και σπάζουν την ασφαλτο. Έτσι, πραγματοποιήθηκε επίσκεψη σε διάφορα Δημαρχεία όμως χωρίς ανταπόκριση. Ανταπόκριση βρέθηκε μόνο στο Δήμο Λεμεσού, όπου ο υπεύθυνος των ασφαλτοστρώσεων σε συνεννόηση με το ΣΑΛΑ έλαβε πληροφορίες σχετικά με δρόμους στους οποίους εκτελούνται έργα και τους οποίους πρότεινε για επίσκεψη και επικοινωνία με τον υπεύθυνο εργολάβο για τα περαιτέρω.

Συνάμα, ο υπεύθυνος των ασφαλτοστρώσεων του δημαρχείου ενημέρωσε και για την ηλικία του κάθε δρόμου. Σύμφωνα με τον υπεύθυνο εργολάβο ήταν δύσκολη η εύρεση δείγματος ασφάλτου και ειδικά τέτοιου μεγέθους και ο λόγος είναι ότι πλέον τα σπασμένα κομμάτια ασφάλτου θρυμματίζονται απευθείας σε ειδικό όχημα και ετοιμάζονται να ξαναχρησιμοποιηθούν ως αδρανή σε νέα άσφαλτο. Ωστόσο, ο εργολάβος βοήθησε στην εξασφάλιση ενός δείγματος από τον συγκεκριμένο δρόμο. Στις επόμενες οδούς που πραγματοποιήθηκε επίσκεψη δεν βρέθηκε ιδιαίτερη ανταπόκριση από τους εργολάβους και έτσι τέθηκε η ανάγκη εξασφάλισης δείγματος χρησιμοποιώντας εργαλεία όπως το λιβέρι και το σκεπάρνι. Όμως, στους υπόλοιπους δρόμους που προτάθηκαν από τον υπεύθυνο ασφαλτοστρώσεων δεν είχαν ξεκινήσει ακόμη έργα οπότε υπήρχε καθυστέρηση στην εξεύρεση άλλων δειγμάτων. Ο συνολικός χρόνος που λήφθηκε για την εξεύρεση 4 κατάλληλων δειγμάτων από τα 9, που θα αποτελούσαν το πιο εφικτό αποτέλεσμα, ήταν τρεις μήνες.

Με τον όρο «κατάλληλα δείγματα» εννοούμε ότι τα δείγματα ασφάλτου που θα λαμβάνονταν θα έπρεπε να είχαν όσο γίνεται ομαλή επιφάνεια χωρίς λακκούβες και ανωμαλίες, χωρίς άσπρες γραμμές ή οτιδήποτε άλλο που να αλλοιώνει το χρώμα και αν ήταν εφικτό χωρίς στίγματα από λάδια και άλλου είδους ακαθαρσίες. Ο λόγος είναι διότι η έρευνα θα γινόταν σε εργαστηριακό επίπεδο, οπότε οι παραπάνω παράγοντες θα επηρέαζαν αρνητικά όχι μόνο τη διαδικασία εκτέλεσης του πειράματος αλλά και τα αποτελέσματα που θα εξάγονταν από αυτό. Λόγω έλλειψης χρόνου, τα 4 δείγματα τα οποία λήφθηκαν για να χρησιμοποιηθούν, θεωρήθηκαν αρκετά για την υλοποίηση του πειράματος και αποτέλεσαν το μέγεθος του δείγματος το οποίο απαιτούσε το πείραμα. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.1) φαίνονται τα δείγματα και οι πληροφορίες που λήφθηκαν για το καθένα από αυτά και στην εικόνα (Εικόνα 2.1) φαίνεται ο χάρτης με τις περιοχές από τις οποίες λήφθηκαν τα εν λόγω δείγματα. Έτσι, η έρευνα προχώρησε με την εκτέλεση του πειράματος στο εργαστήριο τηλεπισκόπησης.

Πίνακας 2.1: Πίνακας στοιχείων των δειγμάτων ασφάλτου

Όνομα Δείγματος	Εύρος Ηλικίας	Οδός Δείγματος	Γεωγρ.Συντεταγμένες
G 0-5	0 – 5 ετών	Οδός Νίκου Αναστασιάδη, Λεμεσός	34.693575, 33.027546
G 5-10	5 - 10 ετών	Οδός Αλέξανδρου Δελμούζου, Λεμεσός	34.716949, 33.019594
G 10-15_1	10 – 15 ετών	Οδός Ηλείας, Λεμεσός	34.716073, 33.013419
G 10-15_2	10 - 15 ετών	Οδός Ηλείας, Λεμεσός	34.716073, 33.013419



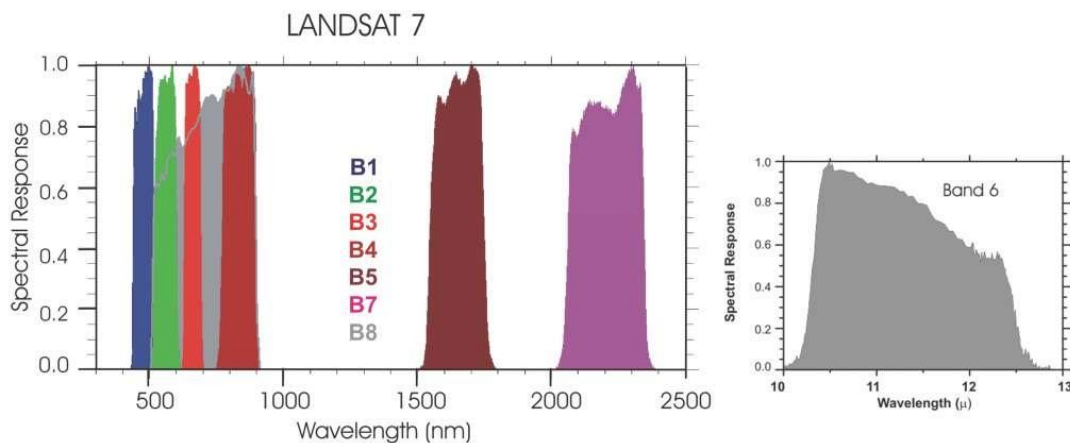
Εικόνα 2.1: Χάρτης της επαρχίας Λεμεσού ο οποίος δείχνει τις περιοχές από τις οποίες λήφθηκαν δείγματα ασφάλτου

2.2 Μέσα Συλλογής Δεδομένων

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση του πειράματος στο εργαστήριο τηλεπισκόπησης είναι ο εξής:

- Φασματοραδιόμετρο (Μοντέλο *SVC HR-1024*)
- Φωτιστικό για λάμπα

Το φασματοραδιόμετρο μοντέλου *HR-1024*, είναι το τελευταίο μοντέλο από την επόμενη γενιά των φασματοραδιομέτρων υψηλής απόδοσης με πεδίο μονής δέσμης και τα οποία έχουν την ικανότητα να μετρούν πάνω από την ορατή περιοχή μέχρι τα μικροκύματα υπέρυθρης περιοχής με μήκη κύματος από $350\text{ nm} - 2500\text{ nm}$ (Willaims et al. 2004). Πιο συγκεκριμένα καλύπτει το Ορατό φάσμα, την Μπλε περιοχή (Band 1, $450\text{ nm} - 520\text{ nm}$), την Πράσινη περιοχή (Band 2, $520\text{ nm} - 600\text{ nm}$), την Κόκκινη Περιοχή (Band 3, $630\text{ nm} - 690\text{ nm}$), το Εγγύς Υπέρυθρο (Band 4, $760\text{ nm} - 900\text{ nm}$), το Μέσο Υπέρυθρο SWIR (Band 5, $1550\text{ nm} - 1750\text{ nm}$) και τις περαιτέρω υπέρυθρες περιοχές σύμφωνα με το δορυφόρο Landsat (Εικόνα 2.2) (“What are the band designations for the Landsat satellites?” 2016)



Εικόνα 2.2: Οι λειτουργίες απόκρισης 7 Landsat φασματικών βασικών περιοχών απεικονίζονται ως συνάρτηση του μήκους κύματος. (Πηγή: “What are the band designations for the Landsat satellites?” 2016)

Το συγκεκριμένο μοντέλο φασματοραδιομέτρου περιλαμβάνει εσωτερική οθόνη γραφικών, εσωτερική κάμερα, υψηλότερη ανάλυση, εσωτερικό *GPS* με αυτόματη αποθήκευση δεδομένων ώρας και τοποθεσίας με μετα-δεδομένα του κάθε αρχείου δεδομένων, ισχυρό συμπαγές ελαφρύ περίβλημα, εξωτερική διασύνδεση του ανιχνευτή και ασύρματη επικοινωνία με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Επίσης, το όργανο είναι «αυτόνομο» με γραφική οθόνη αφής για τον έλεγχο και τη δέσμευση και αποθήκευση δεδομένων μέσω του εσωτερικού επεξεργαστή του, χωρίς την ανάγκη για έναν εξωτερικό υπολογιστή (Willaims et al. 2004).

Μαζί με το σύστημα περιλαμβάνονται τρεις ανταλλακτικοί οπτικοί φακοί *FOV 4* μοιρών και ένας ελαφρύς οδηγός οπτικών ινών *25* μοιρών *FOV* δίνοντας ένα ευρύ

φάσμα των πεδίων που καλύπτει ώστε να ταιριάζουν σε κάθε εφαρμογή. Το φασματοραδιόμετρο μπορεί να τοποθετηθεί σε τρίποδο με το εσωτερικό λέιζερ να παρέχει ακριβή ευθυγράμμιση με το στόχο, μπορεί να τοποθετηθεί σε ένα μονόποδο (Εικόνα 3.2) ή χειρός είτε αυτόνομο ή με τον έλεγχο του υπολογιστή (Willaims et al. 2004, Levin 2000). Για σκοπούς πειράματος, το φασματοραδιόμετρο τοποθετήθηκε σε μονόποδο στο εργαστήριο τηλεπισκόπησης και χρησιμοποιήθηκε ο φακός *FOV 4* μοιρών. Επίσης, για τη δημιουργία ρεαλιστικών συνθηκών, χρησιμοποιήθηκε και ένα φωτιστικό ως λάμπα, το οποίο παρείχε φως και θερμότητα στο δείγμα, όπως ο ήλιος παρέχει φως και θερμότητα στα αντικείμενα στην επιφάνεια της γης. Με τον τρόπο αυτό το εκάστοτε δείγμα, απορροφά μέρος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από το φωτιστικό και μέρος της διαχέεται και ανακλάται. Έτσι, το φασματοραδιόμετρο μετρά και καταγράφει μέρος από τη διαχέομενη και ανακλώμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.



Εικόνα 2.3: Φασματοραδιόμετρο *HR-1024* σε εργαστηριακή διάταξη (Πηγή: Levin 2000)

2.3 Σχεδιασμός της Έρευνας

Αρχικά, έπρεπε να οριστεί το ύψος που θα είχε η επιφάνεια του οπτικού φακού από την επιφάνεια του ασφαλτικού δείγματος, ούτως ώστε να τοποθετηθεί σωστά το φασματοραδιόμετρο πάνω στο μονόποδο. Η απόσταση αυτή ορίστηκε ως 35 cm και μετρήθηκε με μια ρίγα. Έπειτα, καθορίστηκε η θέση που έπρεπε να έχει το φωτιστικό κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του πειράματος και η οποία παρέμεινε σταθερή σε όλη τη διαδικασία και κατά τη λήψη μετρήσεων σε όλα τα δείγματα, έτσι ώστε να υπάρχουν οι ίδιες συνθήκες ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε όλα τα δείγματα. Η τελική εργαστηριακή διάταξη του φασματοραδιομέτρου, του φωτιστικού και της ασφάλτου φαίνονται πιο κάτω (Εικόνα 2.4).

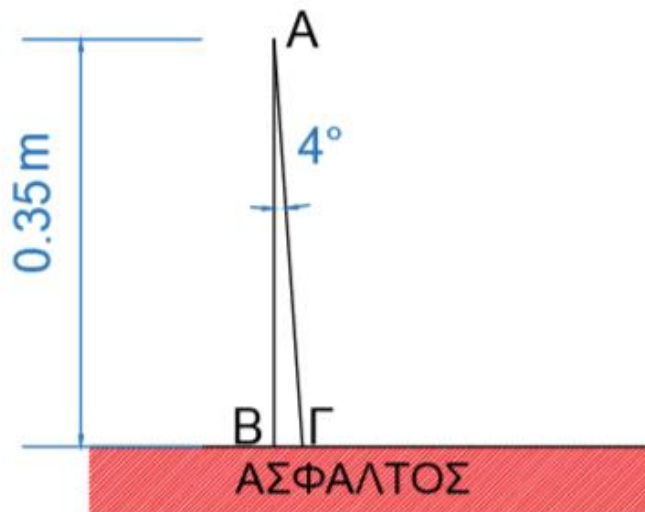


Εικόνα 2.4: Τελική Διάταξη φασματοραδιομέτρου, φωτιστικού και δείγματος ασφάλτου στο εργαστήριο τηλεπισκόπησης

Στη συνέχεια, τέθηκε το ερώτημα « Πώς θα ληφθούν μετρήσεις από το κάθε δείγμα και να καλύψουν ολόκληρη την επιφάνεια του δείγματος;». Για περισσότερη ευκολία, αποφασίστηκε η δημιουργία ενός κάναβου, ο οποίος θα τοποθετείτο στην επιφάνεια του δείγματος με τρόπο που να καλύπτει τη μεγαλύτερη δυνατή επιφάνεια. Το μέγεθος του κάναβου ορίστηκε σύμφωνα με τη μεγαλύτερη δυνατή επιφάνεια που μπορούσε

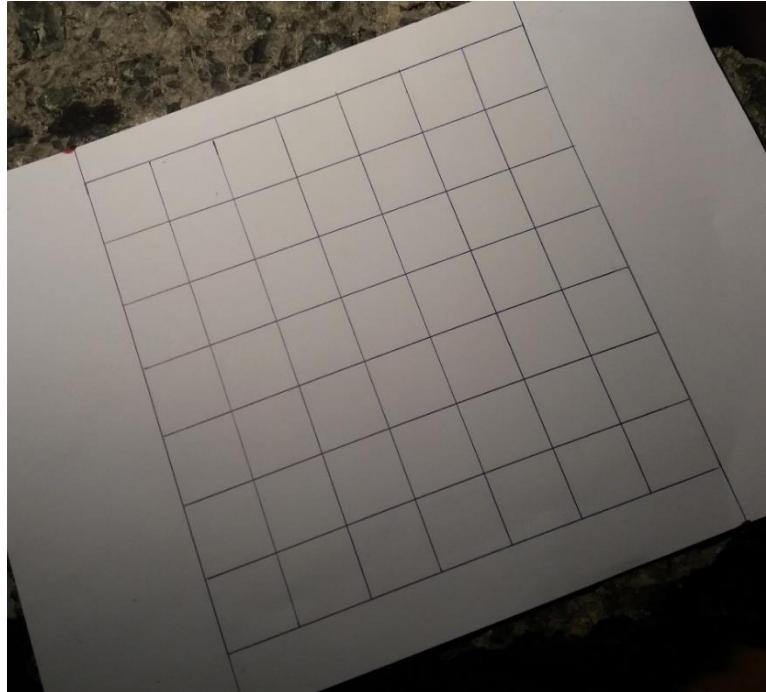
να καλυφθεί από τα 4 δείγματα που είχαν εξασφαλισθεί αφού δεν είχαν ομοιόμορφο σχήμα και μέγεθος. Επίσης το μέγεθος του κάρναβου εξαρτήθηκε και από το μέγεθος των εικονοστοιχείων (*pixels*) που θα περιλάμβανε. Το μέγεθος των εικονοστοιχείων εξαρτήθηκε και αυτό με τη σειρά του από το μέγεθος της γωνίας της ακτίνας *laser* που θα κάλυπτε κυκλική επιφάνεια πάνω στο δείγμα ώστε να ληφθεί μέτρηση. Θεωρήθηκε πιο αξιόπιστο το γεγονός η ακτίνα *laser* από το φασματοραδιόμετρο να κάλυπτε όσο το δυνατό μεγαλύτερη κυκλική επιφάνεια σε κάθε εικονοστοιχείο του κάρναβου, οπότε πραγματοποιήθηκε υπολογισμός για την εύρεση των διαστάσεων του κάθε εικονοστοιχείου στον κάρναβο με βάσει το πιο κάτω σχήμα (Εικόνα 2.5).

$$\tan \alpha = \frac{B\Gamma}{AB} \leftrightarrow B\Gamma = AB * \tan \alpha = 35 \text{ cm} * \tan 4^\circ = 35 \text{ cm} * 0.0699 \rightarrow B\Gamma = 2.45 \text{ cm}$$



Εικόνα 2.5: Σχήμα που απεικονίζει τον τρόπο που η ακτίνα *laser* από τον φακό του φασματοραδιομετρου (A) προσπίπτει πάνω στην επιφάνεια της ασφάλτου (BΓ) σε απόσταση 35 *cm*.

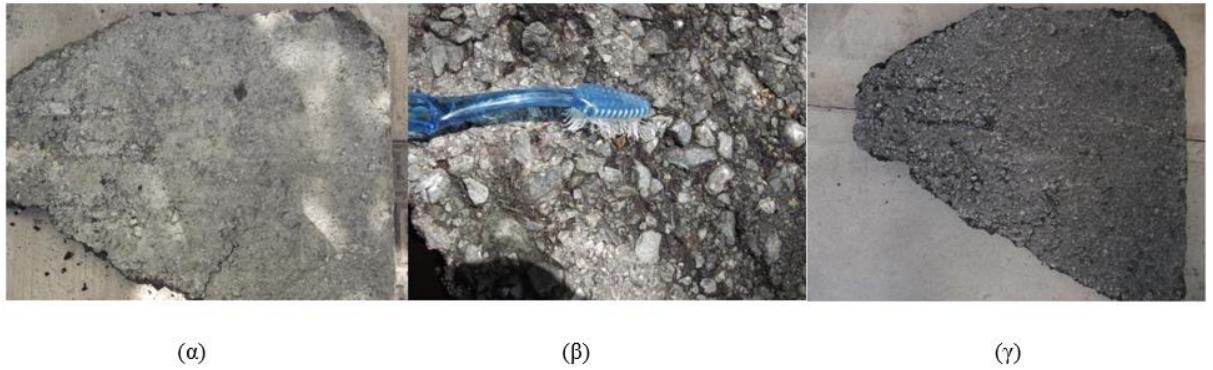
Συνεπώς, καθορίστηκε το μέγεθος του κάθε εικονοστοιχείου σε 2.50 *cm* x 2.50 *cm*, αφού η κυκλική επιφάνεια που σχηματίζεται από την ακτίνα *laser* έχει διάμετρο 2.45 *cm*. Οπότε, ο κάρναβος που δημιουργήθηκε είναι μεγέθους 7x7 (17.5 *cm* x 17.5 *cm*) με το πλήθος των εικονοστοιχείων να ανέρχεται στα 49 όπως φαίνεται στην πιο κάτω εικόνα (Εικόνα 2.6).



Εικόνα 2.6: Κάνναβος 7x7 (17.5 cm x 17.5 cm) με 49 εικονοστοιχεία

2.4 Διαδικασία Συλλογής Δεδομένων

Τα δείγματα ασφάλτου όπως λήφθηκαν από τους δρόμους δεν ήταν κατάλληλα για την εκτέλεση του πειράματος αφού δεν βρίσκονταν σε εργαστηριακές συνθήκες (Εικόνα 2.7α). Εμπειρείχαν ακαθαρσίες και χώματα τα οποία έπρεπε να καθαριστούν. Για το λόγο αυτό, όλα τα δείγματα, προτού ξεκινήσει η λήψη μετρήσεων, πλύθηκαν με άφθονο νερό για να καθαρίσουν από τα χώματα και τις περιττές πέτρες. Σε μερικά σημεία υπήρχε δυσκολία στην απομάκρυνση των ακαθαρσιών και έτσι χρησιμοποιήθηκε μια μικρή βούρτσα για να καθαρίσουν εντελώς (Εικόνα 2.7β) και να είναι έτοιμα τα δείγματα σε εργαστηριακές συνθήκες (Εικόνα 2.7γ).



Εικόνα 2.7: (α) Δείγμα ασφάλτου όπως λήφθηκε από το δρόμο με ακαθαρσίες, (β) Απομάκρυνση ακαθαρσιών με μικρή βούρτσα σε επίμαχα σημεία, (γ) Δείγμα ασφάλτου έτοιμο για το πείραμα σε εργαστηριακές συνθήκες

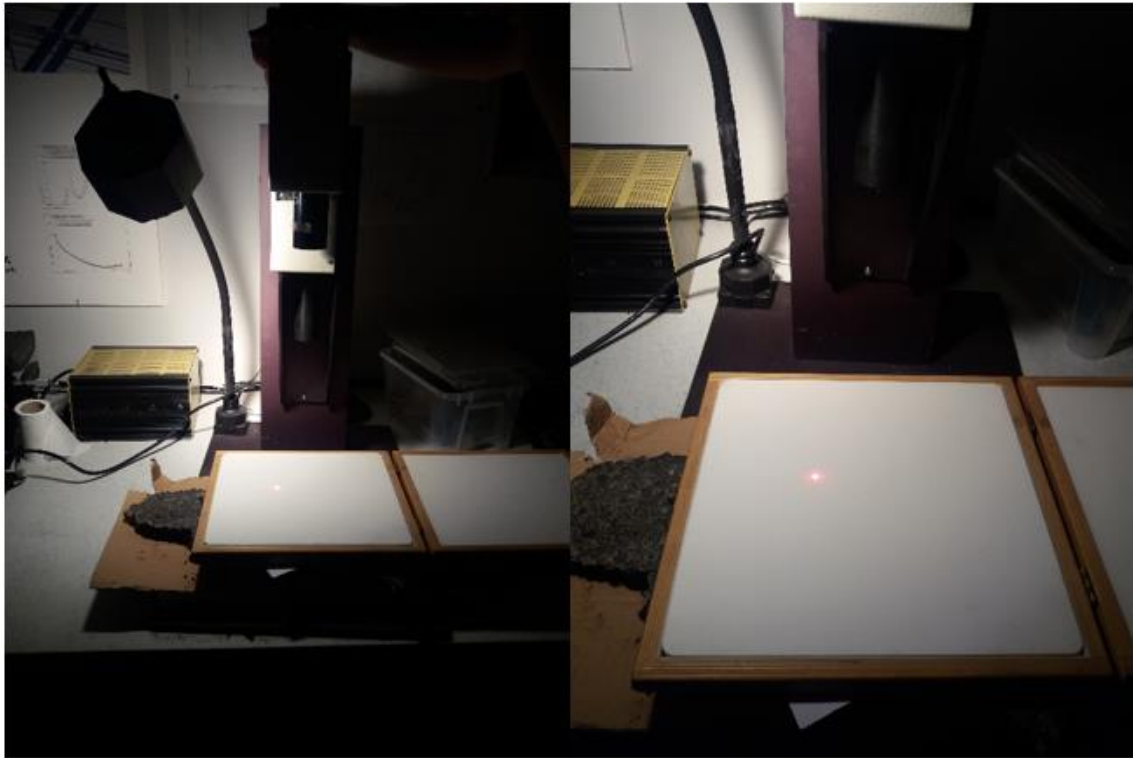
Το φασματοραδιόμετρο, στο πάνω μέρος, έχει μια μικρή οθόνη στην οποία φαίνεται ο αριθμός της μέτρησης η οποία θα ληφθεί και το είδος της μέτρησης (*Reference, Target, Dark*). Επιλέγοντας το κουμπί *Menu* και μετά το κουμπί *Edit* ενεργοποιείται το *Laser* του φασματοραδιομέτρου το οποίο βοηθά στην εστίαση του σημείου που θα ληφθεί μέτρηση. Ακόμη, επιλέγοντας το κουμπί *Scan* υπάρχει η δυνατότητα επιλογής του είδους της μέτρησης που θα ληφθεί όπως *Reference (REF)*, *Target (TAR)*, *Dark (DRK)* (Εικόνα 2.8).



Εικόνα 2.8: Πάνω μέρος του φασματοραδιομέτρου *HR-1024* και οι δυνατότητες που παρέχει (Πηγή: Levin 2000)

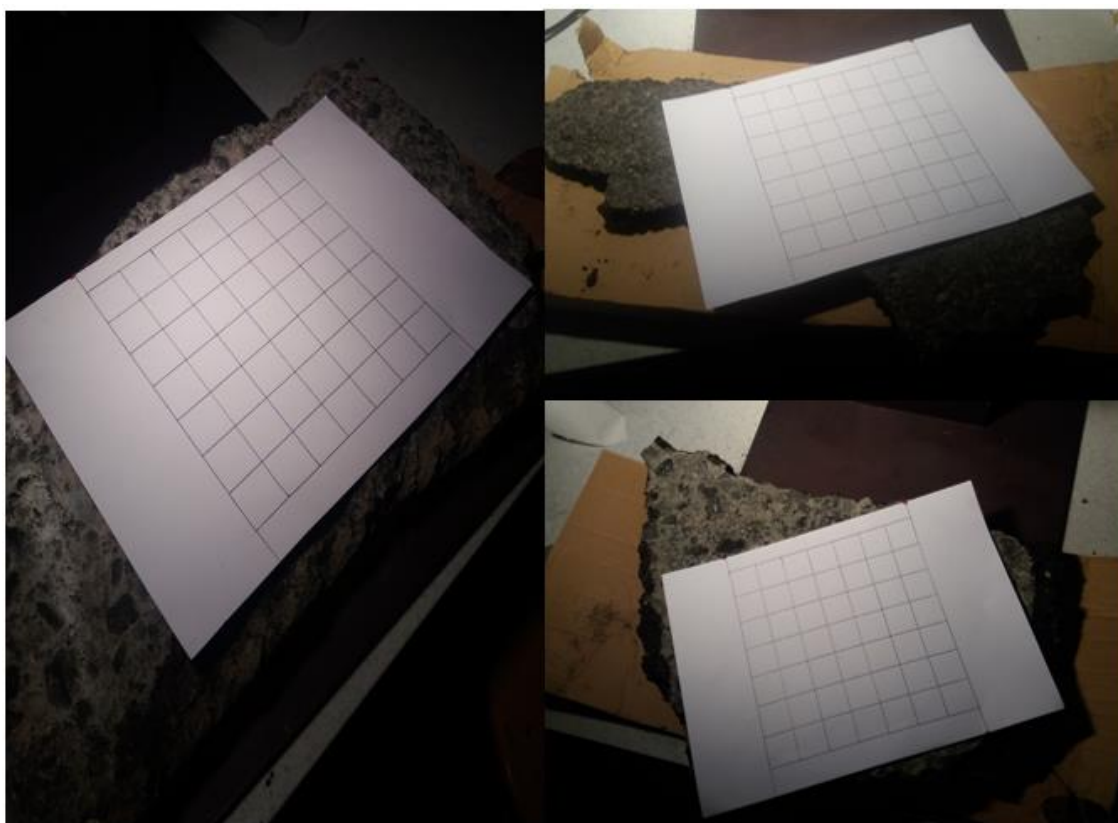
Αφού ρυθμιστεί το φασματοραδιόμετρο ανάβουμε το φωτιστικό και σβήνουμε τα φώτα στο εργαστήριο ώστε το μοναδικό φως που θα επηρεάζει την ανακλαστικότητα του δείγματος να είναι το φωτιστικό το οποίο αντιπροσωπεύει τον ήλιο. Σημαντικό επίσης ν' αναφερθεί είναι ότι τα ρούχα τα οποία φορούν τα άτομα τα οποία εκτελούν το συγκεκριμένο πείραμα καλό θα ήταν να είναι σκουρόχρωμα έως και εντελώς μαύρα ώστε να μην επηρεάζουν στην ανακλαστικότητα του δείγματος. Προτού αρχίσουν

κανονικά οι μετρήσεις στο δείγμα ασφάλτου πρέπει να λαμβάνεται μία αρχική μέτρηση ως *Reference (REF)* όπως φαίνεται στην εικόνα πιο κάτω (Εικόνα 2.9), πάνω σε μια ειδική λευκή επιφάνεια σε οποιοδήποτε καθαρό σημείο.



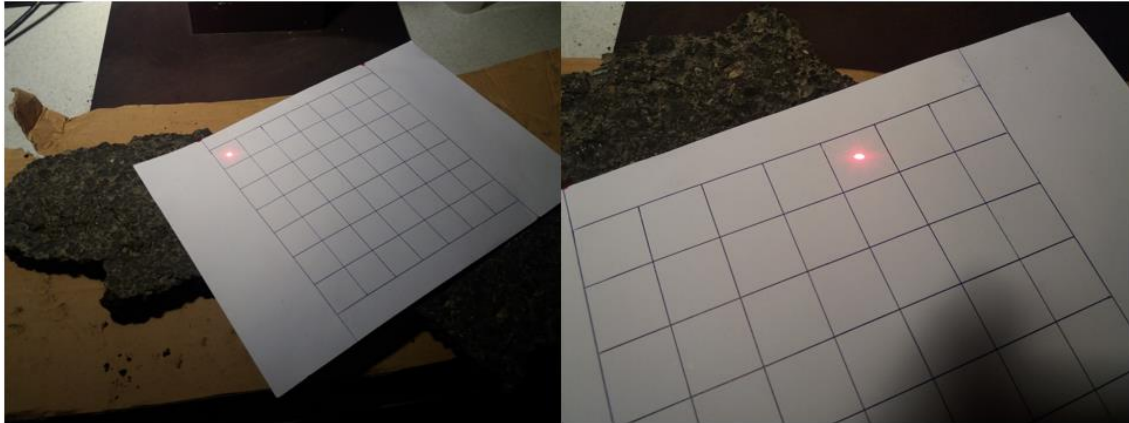
Εικόνα 2.9: Λήψη Αρχικής μέτρησης *Reference (REF)*, πάνω σε μια ειδική λευκή επιφάνεια προτού αρχίσουν οι μετρήσεις σε οποιοδήποτε δείγμα ασφάλτου

Έπειτα, εφαρμόζεται ο κάνναβος πάνω στο εκάστοτε δείγμα ασφάλτου ώστε να καλύπτει τη μεγαλύτερη δυνατή επιφάνεια όπως προαναφέρθηκε (Εικόνα 2.10). Σημειώνεται ότι η θέση του κάνναβου στο κάθε δείγμα σημαδεύεται με μαρκαδόρο ώστε σε κάθε μέτρηση ο κάνναβος να τοποθετείται στην ίδια θέση. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω φωτογραφία, σε κάθε δείγμα η θέση του κάνναβου ήταν διαφορετική ανάλογα με το σχήμα και το μέγεθος του κάθε δείγματος.



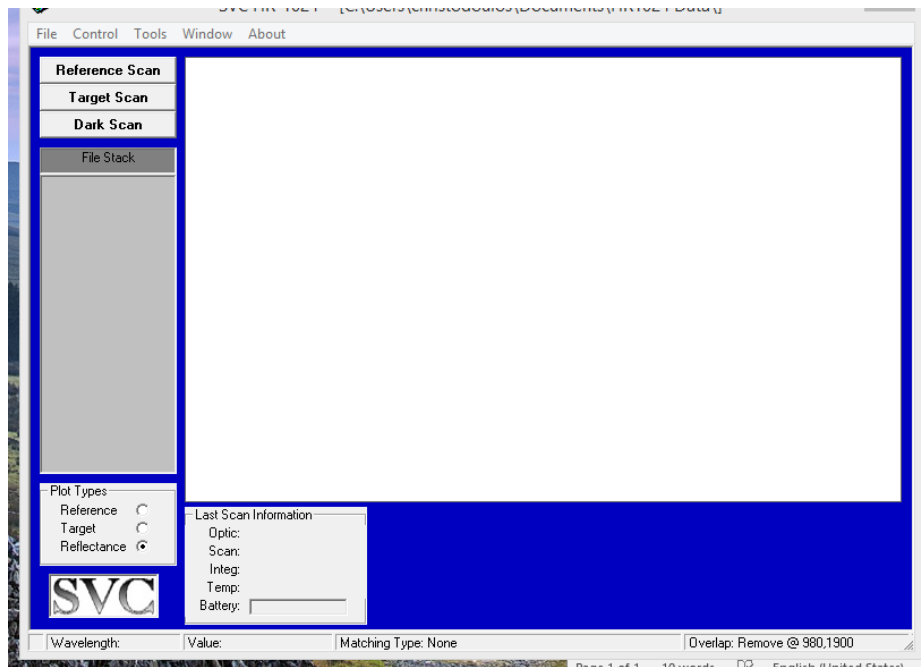
Εικόνα 2.10: Τοποθέτηση κάρναβου στο κάθε δείγμα ώστε να καλύπτεται η μεγαλύτερη δυνατή επιφάνεια

Αφού επιβεβαιωθεί η θέση του κάρναβου πάνω στο δείγμα και κρατώντας πατημένο το κουμπί στο πλάι του φασματοραδιομέτρου φαίνεται η ακτίνα *laser* να εστιάζει σε κάποιο εικονοστοιχείο του κάρναβου. Μετακινώντας το δείγμα, η ακτίνα *laser* εστιάζει στο συγκεκριμένο εικονοστοιχείο το οποίο ακολουθεί στις μετρήσεις και γίνεται προσπάθεια πάντα να εστιάζει στο κέντρο του κάθε εικονοστοιχείου, ώστε η κυκλική επιφάνεια να καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος του εικονοστοιχείου (Εικόνα 2.11). Αφού εστιάσει ορθά η ακτίνα *laser* απομακρύνεται ο κάρναβος από το δείγμα και το κουμπί αφήνεται ελεύθερο ώστε να ληφθεί η μέτρηση. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι μετρήσεις λαμβάνονται πάντα από αριστερά προς τα δεξιά και χωρίς αλλαγή της συγκεκριμένης φοράς ώστε να μην επηρεαστούν τα αποτελέσματα.



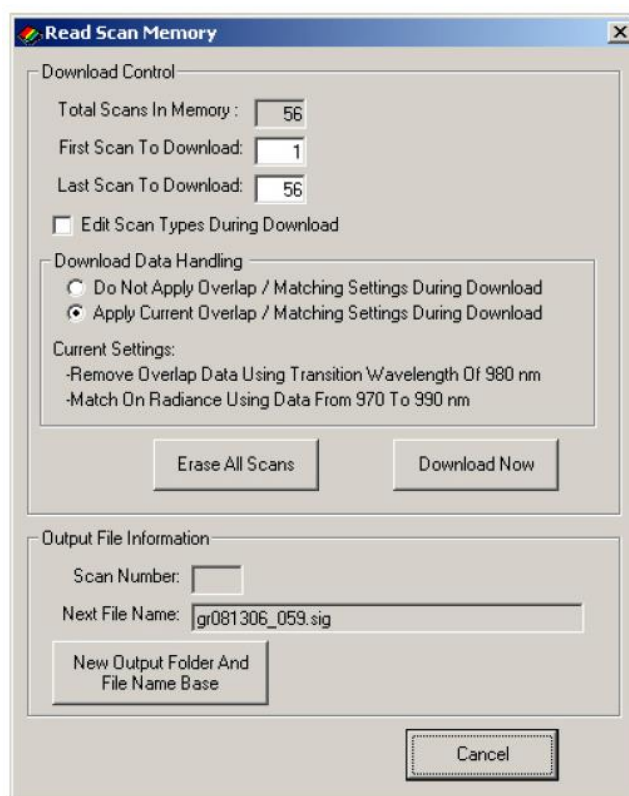
Εικόνα 2.11: Εστίαση ακτίνας *laser* από το φασματοραδιόμετρο στον κάρναβο

Έγινε προσπάθεια λήψης μετρήσεων από 3 φορές σε κάθε δείγμα ώστε με τον υπολογισμό του μέσου όρου των μετρήσεων σε κάθε εικονοστοιχείο να υπάρξει ένα πιο ακριβές αποτέλεσμα. Δυστυχώς στο δείγμα *G5-10* λήφθηκαν μόνο 1 φορά μετρήσεις λόγω έλλειψης χρόνου. Όλες οι μετρήσεις που λαμβάνονταν, καταγράφονταν στο χαρτί και μετέπειτα μεταφέρθηκαν σε φύλλο εργασίας στο λογισμικό *Excel* για να συνδεθούν με τους αριθμούς των αρχείων που αντιστοιχούν σε κάθε μέτρηση και θα εξαχθούν από το φασματοραδιόμετρο. Το φασματοραδιόμετρο έχει χωρητικότητα για μέχρι περίπου 500 μετρήσεις. Με το πέρας της λήψης των μετρήσεων, ακολουθεί η εξαγωγή των αρχείων που αντιστοιχούν στις μετρήσεις από το φασματοραδιόμετρο ενώνοντάς το με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή του εργαστηρίου με ένα καλώδιο. Το λογισμικό που χρησιμοποιείται για τη διαδικασία εξαγωγής είναι το *SVC HR-1024* και η επιφάνει που ανοίγει είναι η ακόλουθη (Εικόνα 2.12).



Εικόνα 2.12: Επιφάνεια οθόνης ανοίγοντας το λογισμικό *SVC HR-1024* για την εξαγωγή των αρχείων από το φασματοραδιόμετρο

Έπειτα, επιλέγοντας *Control / Setup Instrument*, επιλέγοντας το *port COM4* στο οποίο συνήθως ενώνεται το φασματοραδιόμετρο *HR-1024* και πατώντας το *Connect*, το φασματοραδιόμετρο ενώνεται και στην οθόνη φαίνονται τα χαρακτηριστικά του οργάνου που είναι ενωμένο. Μετά πατώντας ξανά το *Control /Read Memory* εμφανίζεται το παράθυρο πιο κάτω (Εικόνα 2.13), στο οποίο φαίνονται οι μετρήσεις που πρέπει να εξαχθούν.



Εικόνα 2.13: Παράθυρο από το λογισμικό *SVC HR-1024* στο οποίο φαίνονται οι μετρήσεις που πρέπει να εξαχθούν από το φασματοραδιόμετρο.

Αρχικά ορίζεται ο φάκελος στον οποίο θα αποθηκευτούν οι μετρήσεις και τον οποίο επιλέγουμε πατώντας το *'new output folder and file name base'* και μετά γίνεται επιλογή του *Download Now*. Όλες οι μετρήσεις έχουν καταχωρηθεί στο φάκελο που ορίστηκε. Εάν το φασματοραδιόμετρο είναι γεμάτο, υπάρχει η δυνατότητα να καθαρίσει η μνήμη του επιλέγοντας το *'Erase All Scans'*. Η μορφή στην οποία εξάγονται τα αρχεία των μετρήσεων είναι *.sig file* με τη μορφή *gr000000_000.sig* και δεν έχουν την ίδια μέτρηση με αυτήν την οποία καταγράφηκε οπότε πρέπει να συνδυαστούν μεταξύ τους. Τα αρχεία των μετρήσεων σε *.sig file* πρέπει να μετατραπούν σε αρχεία *excel* ώστε να είναι αναγνώσιμα σε οποιοδήποτε χρήστη και περαιτέρω επεξεργάσιμα. Χρησιμοποιώντας τα αρχεία *excel* πραγματοποιούνται οι κατάλληλοι υπολογισμοί εκτελώντας την περαιτέρω επεξεργασία μέσω των υπολογιστικών φύλλων του λογισμικού *Excel* για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων του πειράματος, από τα οποία θα βγουν τα ανάλογα συμπεράσματα σχετικά με τον αρχικό στόχο της παρούσας μελέτης.

3 Αποτελέσματα

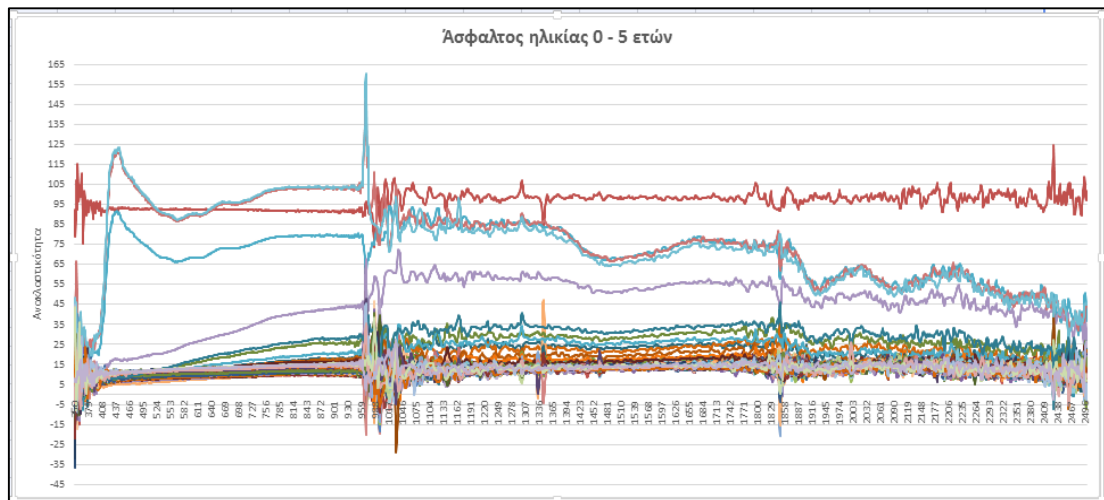
Μετατρέποντας τα αρχεία (.sig files) από το φασματοραδιόμετρο σε αρχεία excel, μετατρέπονται στη μορφή που φαίνεται πιο κάτω (Εικόνα 3.1) και τα οποία παρέχουν χαρακτηριστικά δεδομένα του φασματοραδιομετρου, τα μήκη κύματος τα οποία καλύπτει και τις τιμές που αντιστοιχούν σε κάθε μήκος κύματος και αφορούν την ακτινοβολία που προσπίπτει στο κάθε δείγμα και την ανακλαστικότητα που έχει το καθένα από αυτά.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	/***	Spectra	Vista	SIG	Data	***/										
2	name=	gr092416_323.sig														
3	instrumer	HR:	07A1010													
4	integratio	1000.0,	60.0,	30.0,	1000.0,	60.0,	30.0									
5	scan	time=	1	1												
6	scan	settings=	UD,	AI,	UD,	AI										
7	external	data	set1=	0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0												
8	external	data	set2=	0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0												
9	optic=	LENS4	(1),	LENS4	-1											
10	temp=	45.5,	0.6,	-5.1,	48.2,	0.7,	-5.2									
11	battery=	6.73,	6.47													
12	error=	0	0													
13	units=	Radiance,	Radiance													
14	time=	8/1/2016	0:09:17	8/1/2016	0:30:18											
15	longitude,															
16	latitude=															
17	gpstime=															
18	comm=	Resample spectral	data													
19	memory	slot=	283	335												
20	factors=	0.985,	1.043,00	1.000	[Overlap: Remove	@	980/NIR-S On,	Matching Type:	Radiance @	960 - 1000]						
21	data=															
22		350	41,99	3,09	7,36											
23		351	49,69	1,69	3,4											
24		352	50,35	1,13	2,24											
25		353	47,91	1,67	3,49											
26		354	59,81	7,1	11,87											
27		355	63,4	7,08	11,17											
28		356	58,69	1,63	2,77											
29		357	68,29	3,09	4,52											
30		358	76,21	4,18	5,48											
31		359	79,23	3,56	4,49											
32		360	80,8	-0,56	-0,69											
33		361	80,14	-3,2	-3,99											
34		362	71,99	3,55	4,93											
35		363	78,66	2,66	3,38											
36		364	90,47	-0,5	-0,55											
37		365	91,4	5,28	5,78											
38		366	91,84	7,65	8,33											
39		367	91,81	6,6	7,19											

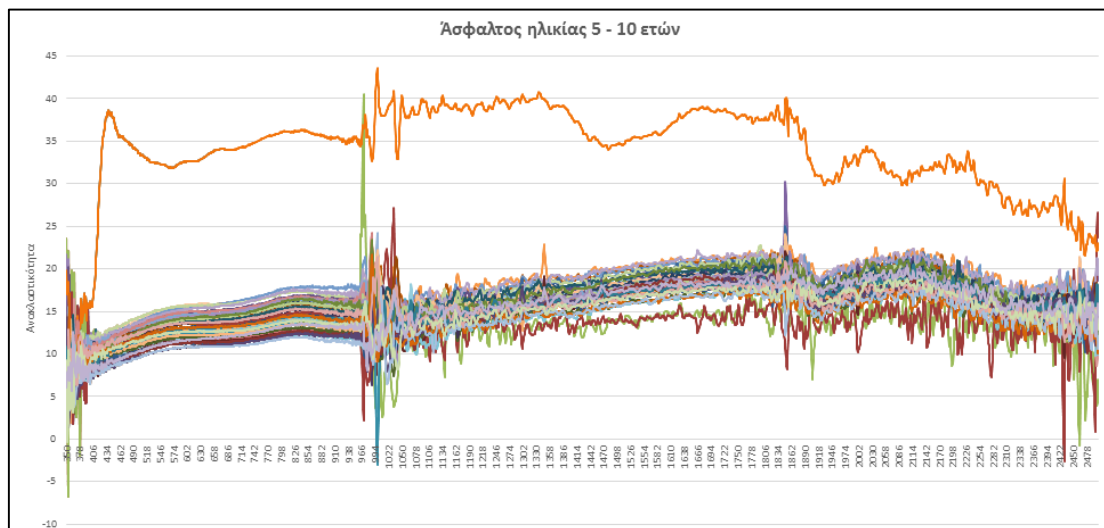
Εικόνα 3.1: Μετατροπή .sig αρχείου σε excel αρχείο και τα δεδομένα τα οποία παρέχει.

Αξίζει να σημειωθεί ότι κάθε ένα από τα αρχεία αυτά αναλογεί σε κάθε εικονοστοιχείο του κάνναβου για κάθε δείγμα. Συνολικά δηλαδή έχουν δημιουργηθεί περίπου 540 τέτοια αρχεία αφού για το κάθε δείγμα έχουν ληφθεί μετρήσεις από 3 φορές για πιο

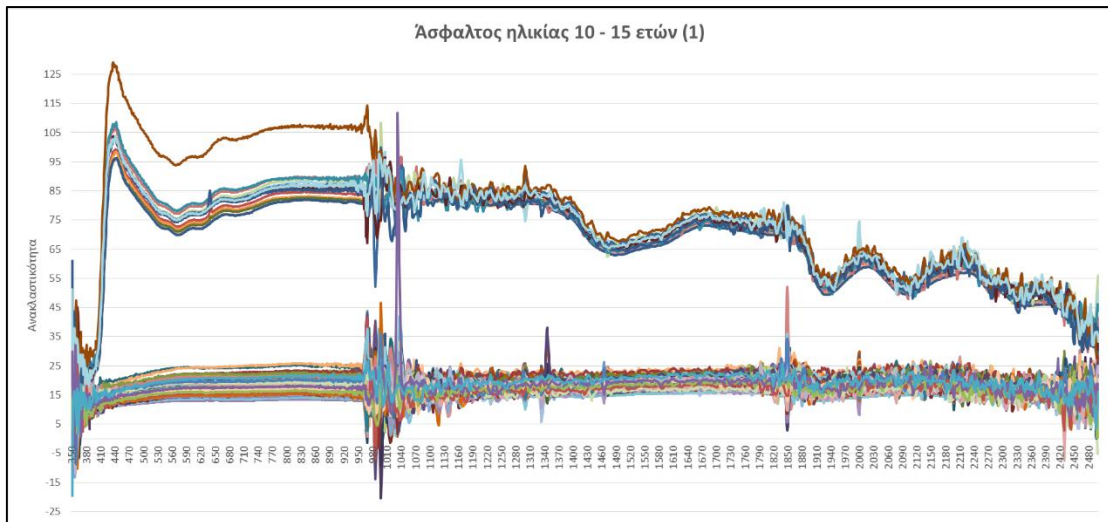
ακριβή αποτελέσματα και μαζί συμπεριλαμβάνονται και κάποιες χαμένες μετρήσεις οι οποίες έχουν σημειωθεί. Απομονώνοντας μαζί σε ένα άλλο αρχείο excel τα μήκη κύματος και τις ανακλαστικότητες που αντιστοιχούν σε κάθε μήκος κύματος από όλα τα αρχεία που έχουν δημιουργηθεί, υπάρχει η δυνατότητα μελέτης, εκ πρώτης όψεως, των αποτελεσμάτων που εξάγονται από το πείραμα ανά ηλικία ασφάλτου όπως φαίνεται ακολούθως (Διαγράμματα 3.1, 3.2, 3.3 και 3.4).



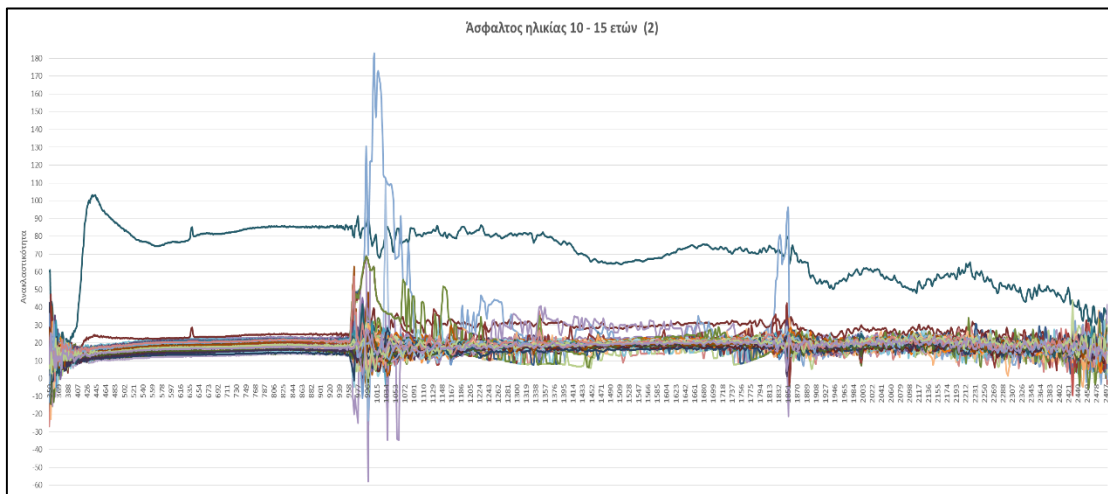
Διάγραμμα 3.1: Εκ πρώτης όψεως αποτελέσματα για το δείγμα ασφάλτου ηλικίας 0 – 5 ετών



Διάγραμμα 3.2: Εκ πρώτης όψεως αποτελέσματα για το δείγμα ασφάλτου ηλικίας 5 – 10 ετών



Διάγραμμα 3.3: Εκ πρώτης όψεως αποτελέσματα για το πρώτο δείγμα ασφάλτου ηλικίας 10 - 15 ετών

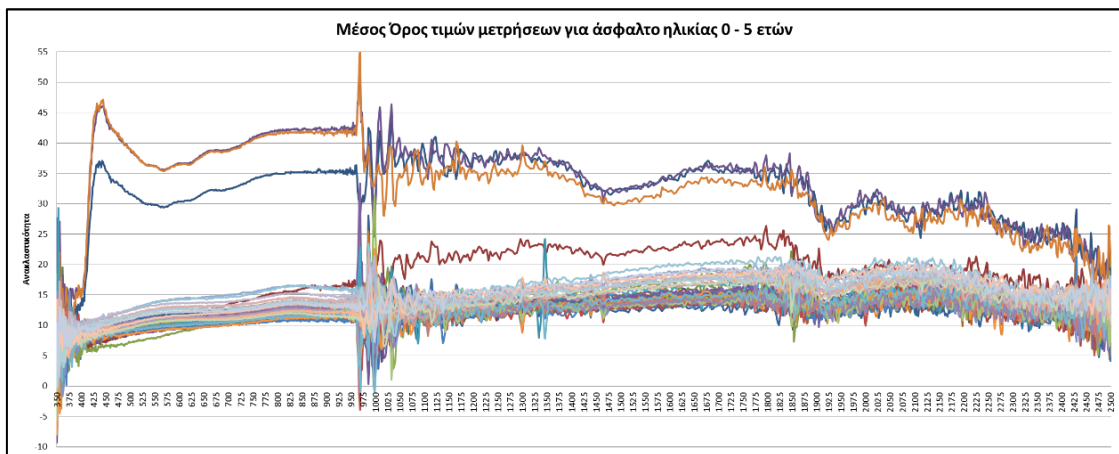


Διάγραμμα 3.4: Εκ πρώτης όψεως αποτελέσματα για το δεύτερο δείγμα ασφάλτου ηλικίας 10 - 15 ετών

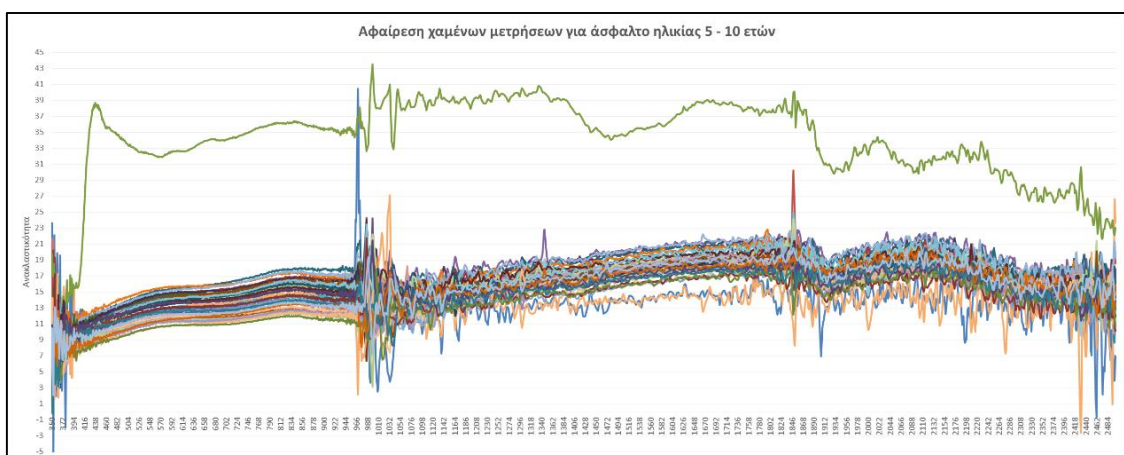
Παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα χρειάζονται περαιτέρω επεξεργασία για να είναι τα τελικά αποτελέσματα αφού μέσα σε αυτά εμπεριέχονται και οι χαμένες μετρήσεις που λήφθηκαν κατά τη διάρκεια λήψης μετρήσεων σε κάθε δείγμα. Επίσης, φαίνεται να υπάρχουν και αρνητικές τιμές οι οποίες πρέπει να μελετηθούν διότι δε γίνεται να υπάρχουν αρνητικές τιμές για την ανακλαστικότητα. Να σημειωθεί ότι στα διαγράμματα των ηλικιών 0 - 5 και 10 - 15 ετών που φαίνεται πιο πάνω συμπεριλαμβάνονται και οι 3 φορές που λήφθηκαν μετρήσεις, ενώ στην κατηγορία

ηλικίας 5 – 10 ετών όπως προαναφέρθηκε λόγω χρόνου λήφθηκαν μετρήσεις μόνο μια φορά.

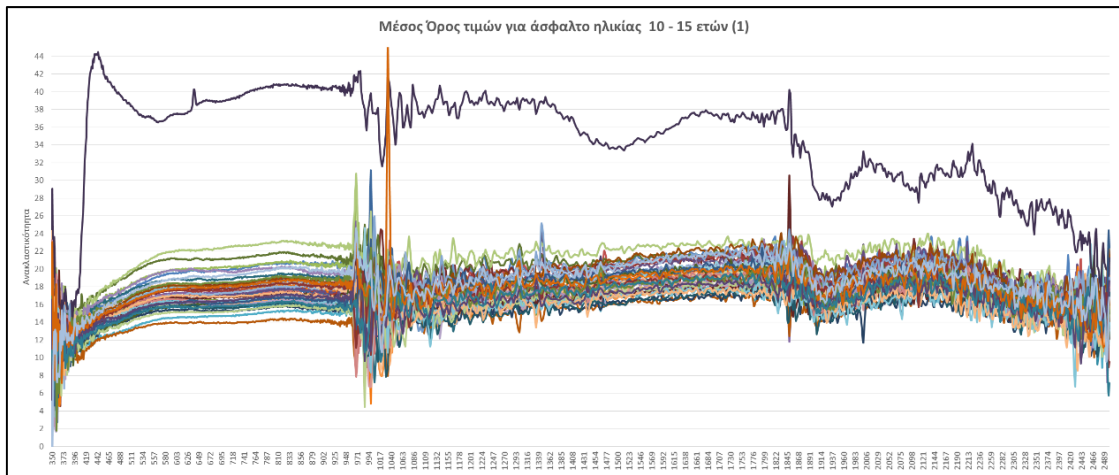
Στη συνέχεια, ακολουθεί επεξεργασία των πιο πάνω αποτελεσμάτων με την απομάκρυνση των χαμένων μετρήσεων και τον υπολογισμό του μέσου όρου των 3 τιμών του κάθε εικονοστοιχείου του κάρναβου σε κάθε δείγμα. Συνεπώς, δημιουργείται μια φασματική υπογραφή για κάθε εικονοστοιχείο για κάθε δείγμα ασφάλτου. Όπως φαίνεται και στα διαγράμματα που ακολουθούν για κάθε δείγμα ασφάλτου αντιστοιχούν 49 φασματικές υπογραφές, μια για κάθε εικονοστοιχείο. Για το δείγμα ασφάλτου ηλικίας 5 – 10 ετών δε χρειάστηκε ο υπολογισμός μέσου όρου αφού για κάθε εικονοστοιχείο αντιστοιχεί μια τιμή.



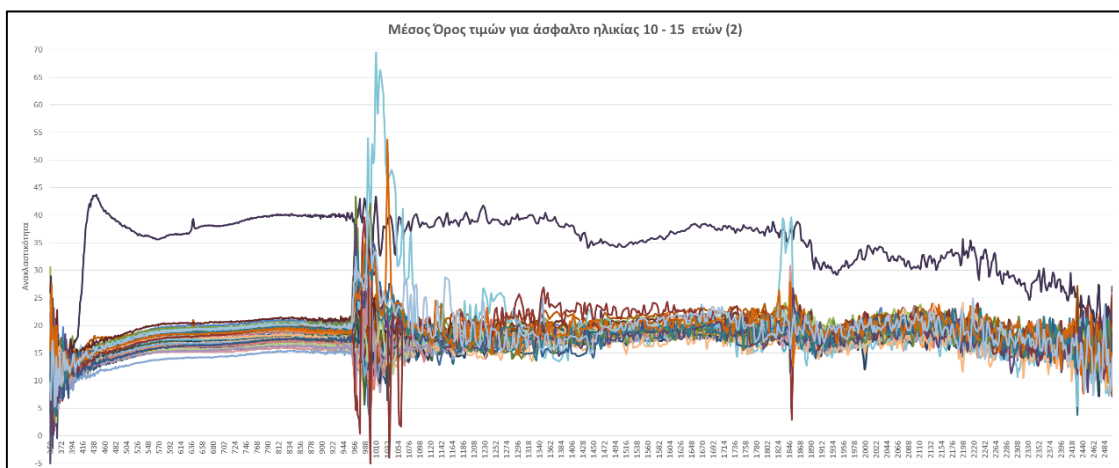
Διάγραμμα 3.5: Μέσος Όρος τιμών ανακλαστικότητας για κάθε εικονοστοιχείο για το δείγμα ασφάλτου ηλικίας 0 – 5 ετών



Διάγραμμα 3.6: Αφαίρεση χαμένων μετρήσεων για το δείγμα ασφάλτου ηλικίας 5 – 10 ετών, αφού δε λήφθηκαν άλλες μετρήσεις για αυτό

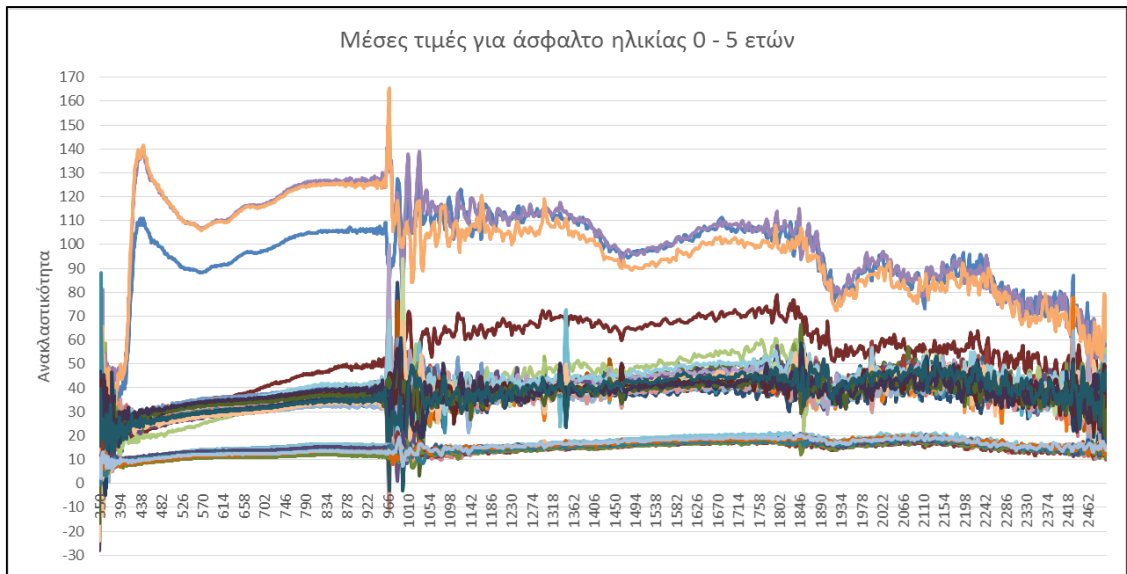


Διάγραμμα 3.7: Μέσος Όρος τιμών ανακλαστικότητας για κάθε εικονοστοιχείο για το πρώτο δείγμα ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών

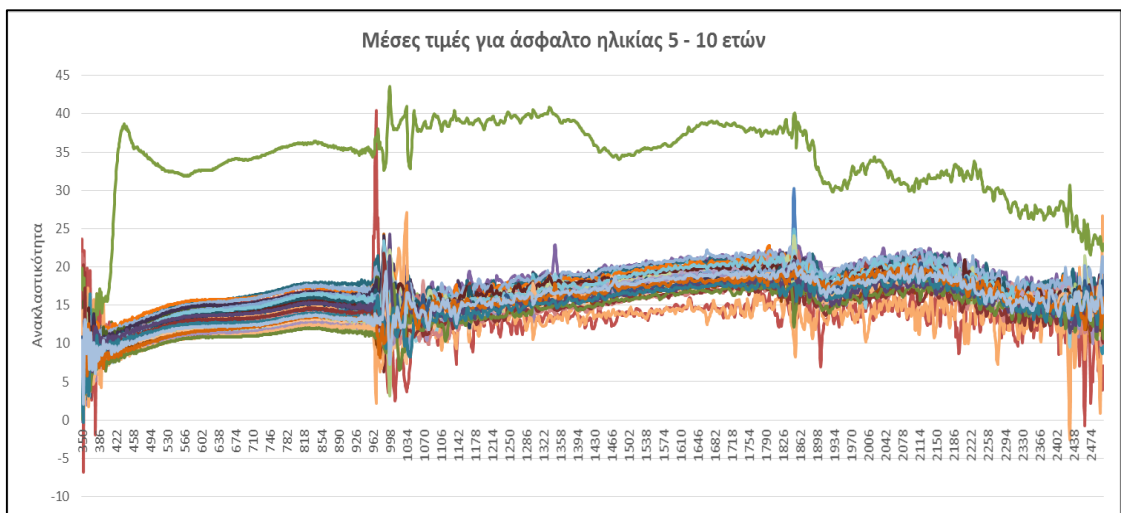


Διάγραμμα 3.8: Μέσος Όρος τιμών ανακλαστικότητας για κάθε εικονοστοιχείο για το δεύτερο δείγμα ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών

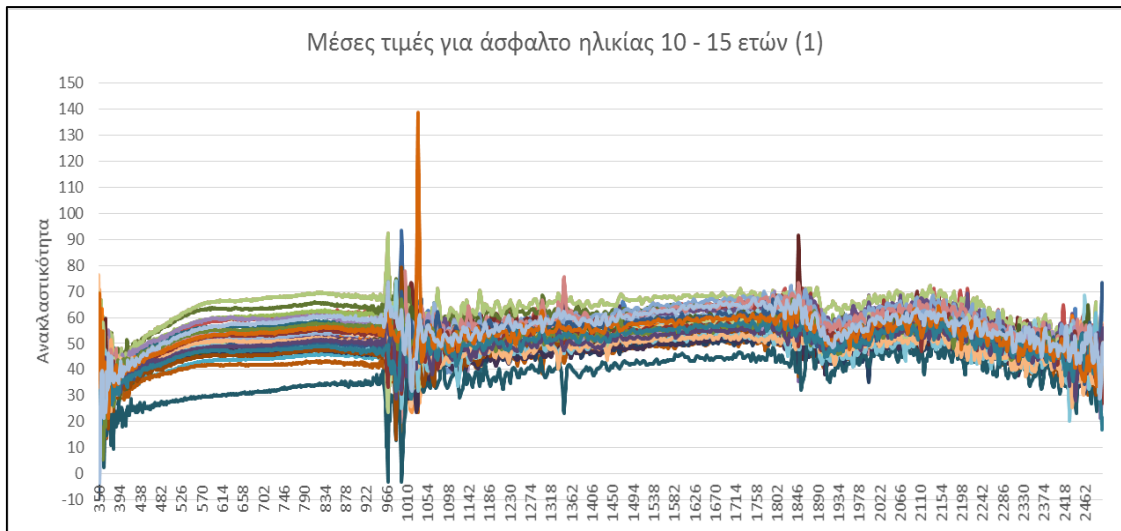
Επιπλέον, για κάθε εικονοστοιχείο σε κάθε δείγμα υπολογίζεται η μέση τιμή. Συνεπώς, δημιουργούνται φασματικές υπογραφές για κάθε εικονοστοιχείο για κάθε δείγμα, άρα και για κάθε ηλικία ασφάλτου οι οποίες αφορούν τη μέση τιμή των μετρήσεων. Τα διαγράμματα της μέσης τιμής για κάθε δείγμα φαίνονται ακολούθως.



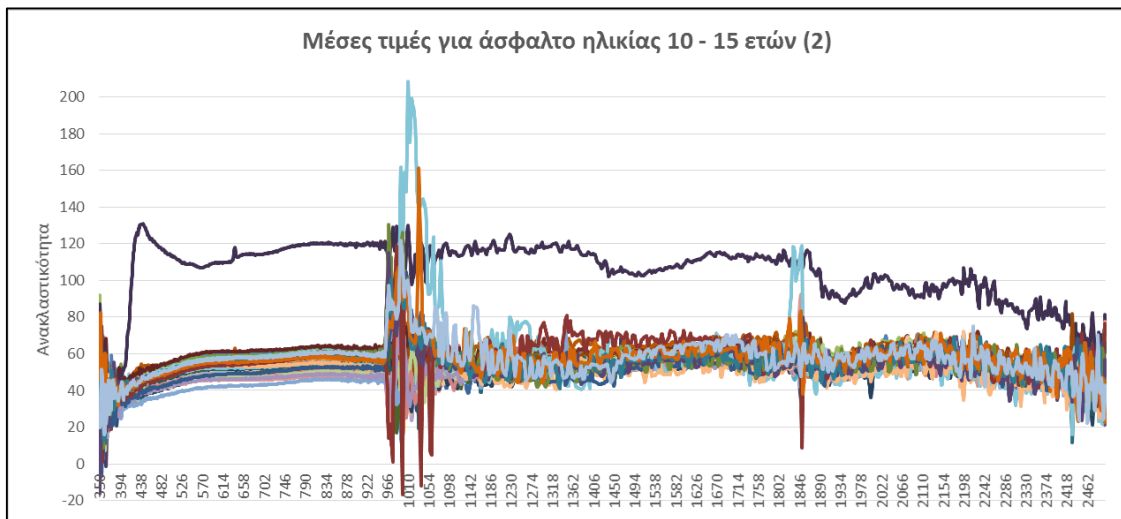
Διάγραμμα 3.9: Μέση τιμή ανακλαστικότητας για κάθε εικονοστοιχείο για την άσφαλο ηλικίας 0 – 5 ετών



Διάγραμμα 3.10: Μέση τιμή ανακλαστικότητας για κάθε εικονοστοιχείο για την άσφαλο ηλικίας 5 – 10 ετών



Διάγραμμα 3.11: Μέση τιμή ανακλαστικότητας για κάθε εικονοστοιχείο για το πρώτο δείγμα ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών



Διάγραμμα 3.12: Μέση τιμή ανακλαστικότητας για κάθε εικονοστοιχείο για το δεύτερο δείγμα ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών

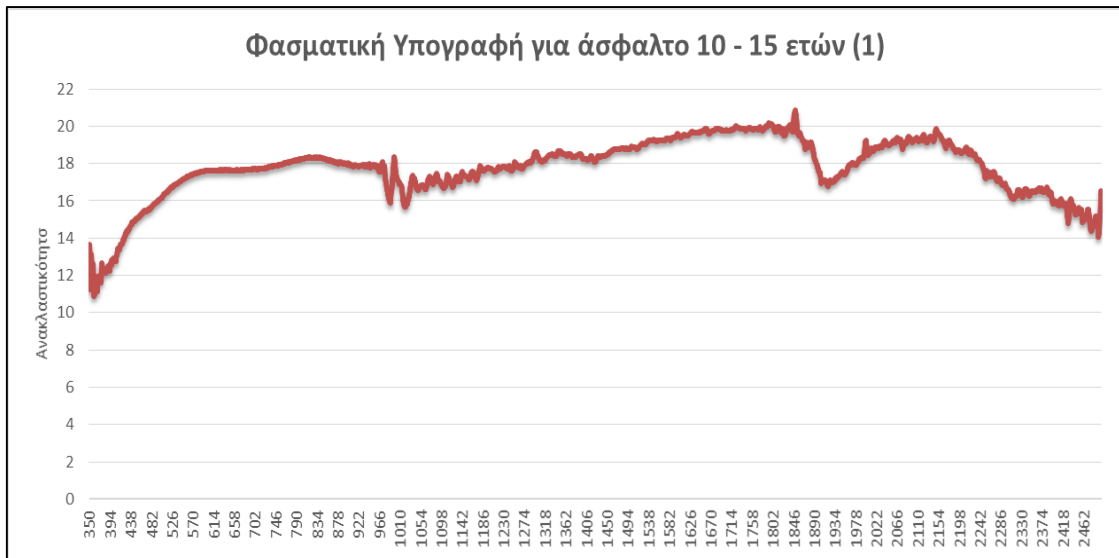
Πιο κάτω φαίνεται ότι για κάθε ηλικία ασφάλτου, μπορεί να δημιουργηθεί μια αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή, υπολογίζοντας των μέσο όρο των 49 εικονοστοιχείων που έχει το κάθε δείγμα.



Διάγραμμα 3.13: Αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για το δείγμα ασφάλτου ηλικίας 0 – 5 ετών



Διάγραμμα 3.14: Αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για το δείγμα ασφάλτου ηλικίας 5 – 10 ετών



Διάγραμμα 3.15: Αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για το δείγμα ασφάλτου ηλικίας 0 – 5 ετών

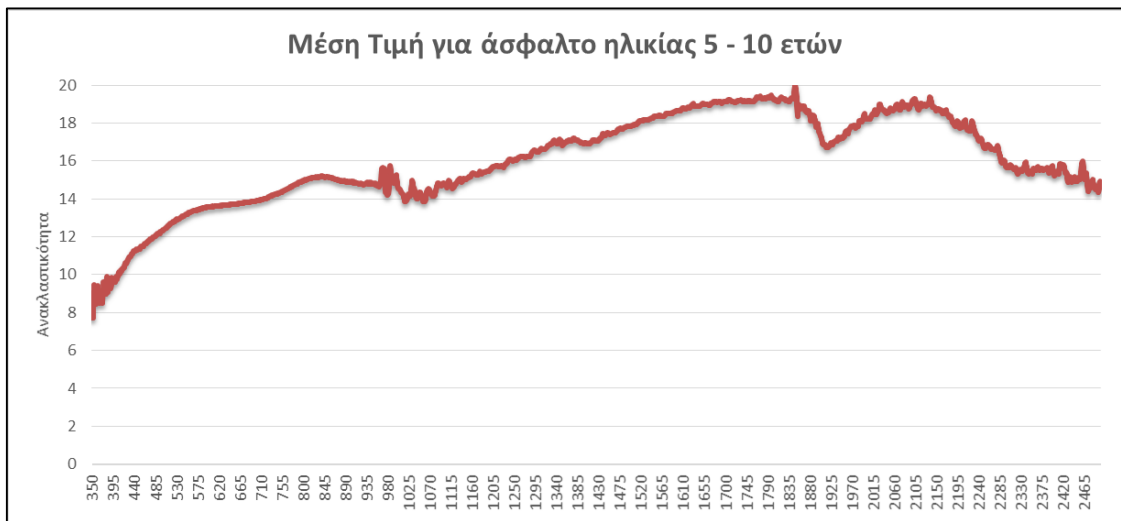


Διάγραμμα 3.16: Αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για το δεύτερο δείγμα ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών

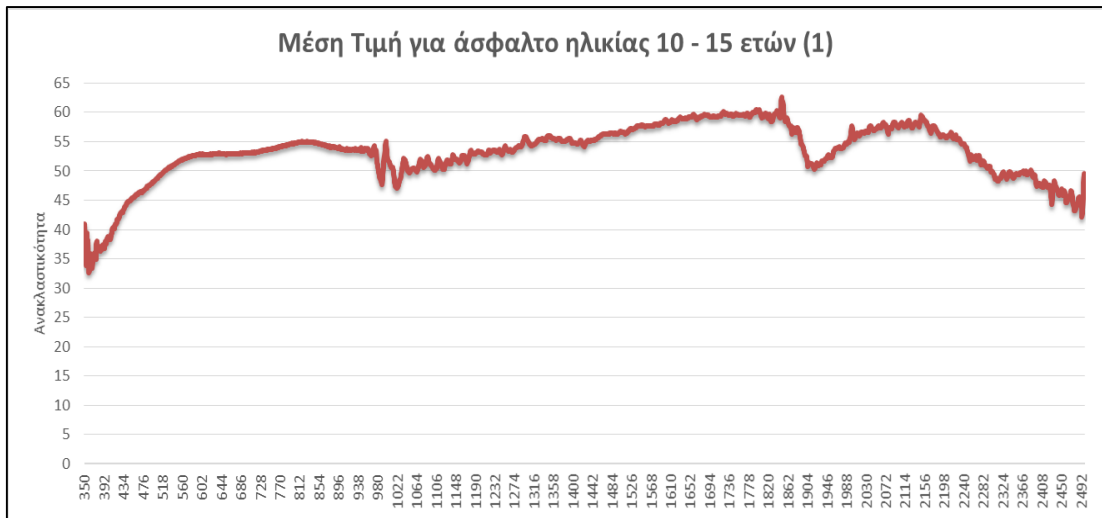
Παράλληλα, μπορεί να δημιουργηθεί και μια αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή υπολογίζοντας τη μέση τιμή των μέσων τιμών όλων των εικονοστοιχείων για κάθε δείγμα, καθώς και την τυπική απόκλιση τους. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στα πιο κάτω διαγράμματα.



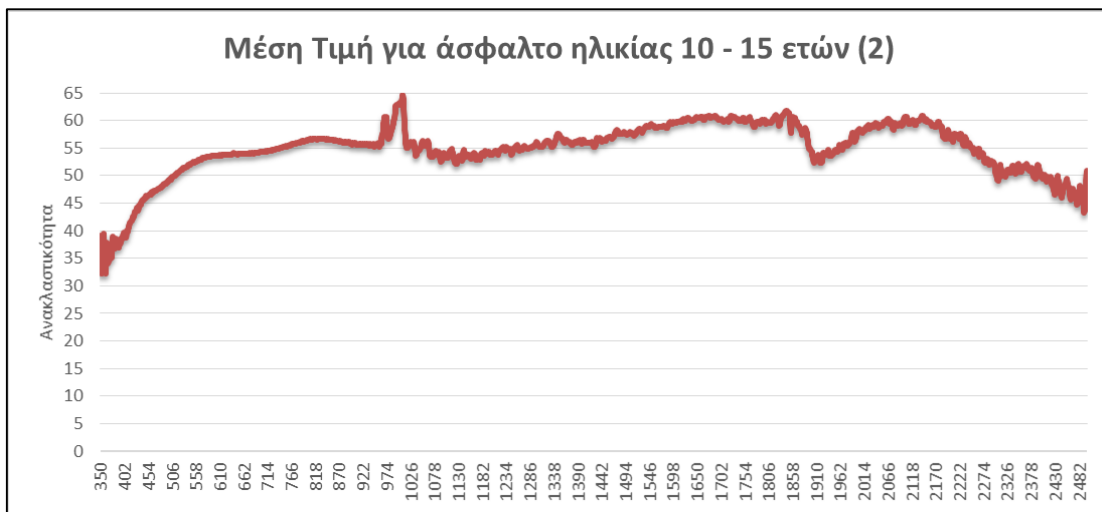
Διάγραμμα 3.17: Αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για τη μέση τιμή του δείγματος ασφάλτου ηλικίας 0 – 5 ετών



Διάγραμμα 3.18: Αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για τη μέση τιμή του δείγματος ασφάλτου ηλικίας 0 – 5 ετών



Διάγραμμα 3.19: Αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για τη μέση τιμή του δεύτερου δείγματος ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών



Διάγραμμα 3.20: Αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για τη μέση τιμή του δεύτερου δείγματος ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών



Διάγραμμα 3.21: Αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για την τυπική απόκλιση του δείγματος ασφάλτου ηλικίας 0 – 5 ετών



Διάγραμμα 3.22: Αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για την τυπική απόκλιση του δείγματος ασφάλτου ηλικίας 5 – 10 ετών



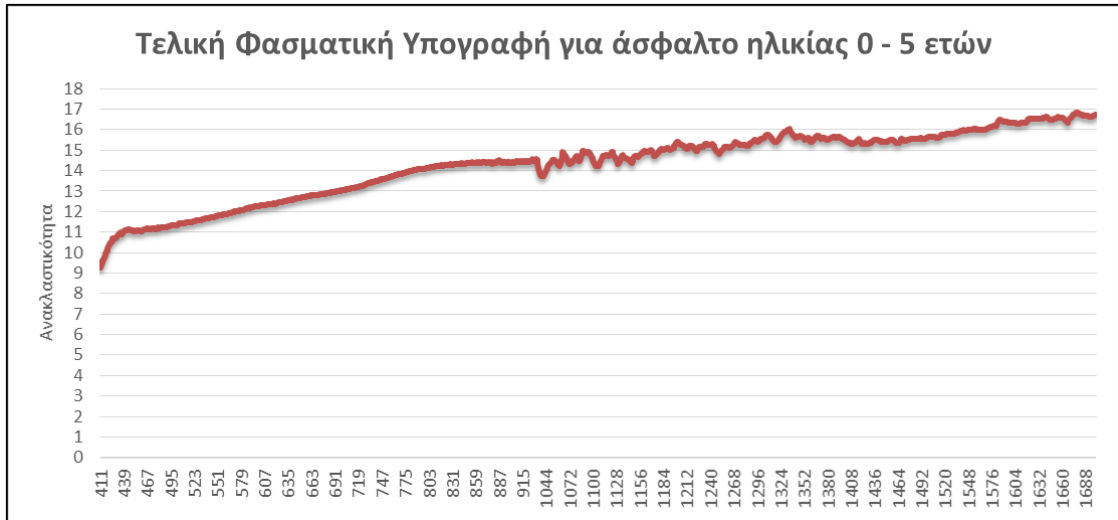
Διάγραμμα 3.23: Αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για την τυπική απόκλιση του πρώτου δείγματος ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών



Διάγραμμα 3.24: Αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για την τυπική απόκλιση του δεύτερου δείγματος ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών

Σε κάποια μήκη κύματος, φαίνεται να υπάρχει θόρυβος κατά τη λήψη των μετρήσεων και να μην έχουν ληφθεί σωστές τιμές. Όπως είναι γνωστό, περίπου από το μήκος κύματος 1700 nm και μετά, το συγκεκριμένο μοντέλο φασματοραδιομέτρου, με το οποίο λήφθηκαν οι μετρήσεις, έχει πρόβλημα και οι μετρήσεις του δεν είναι ορθές οπότε θα πρέπει να αγνοηθούν. Σύμφωνα με τις μετρήσεις, θόρυβος υπάρχει και στο εύρος κύματος από 350 nm – 450 nm και οι οποίες θα πρέπει να αγνοηθούν. Οπότε διαγράφοντας τις τιμές που αντιστοιχούν σε αυτά τα μήκη κύματος σε όλες τις περιπτώσεις, όλες οι παραπάνω γραφικές παραστάσεις αναθεωρούνται και καταλήγουν

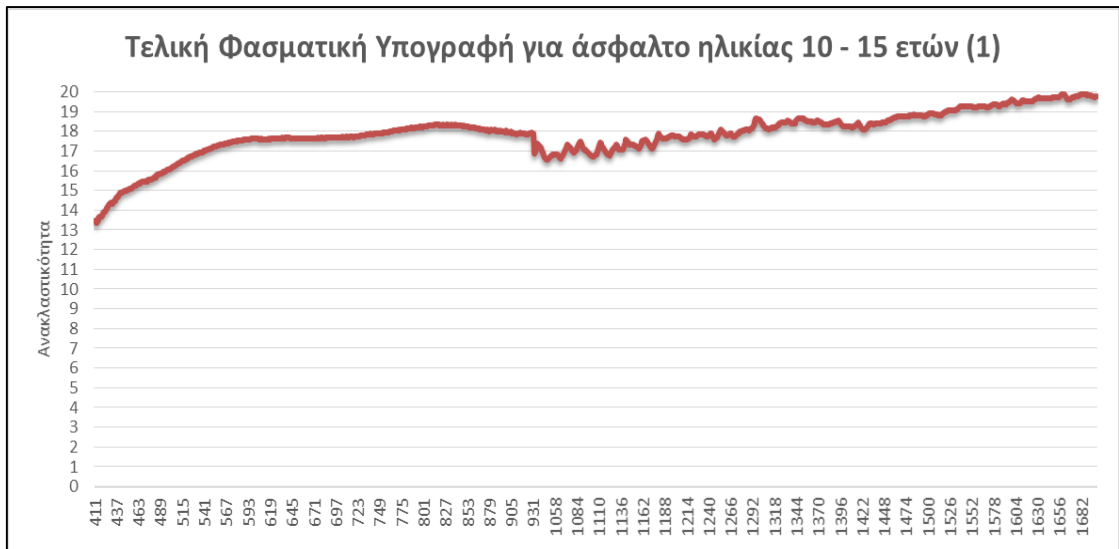
στις τελικές πιο ομαλοποιημένες φασματικές υπογραφές όχι μόνο σχετικά με την ανακλαστικότητα κάθε δείγματος, αλλά και τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση για καθένα από αυτά. Τα διαγράμματα των προαναφερθέντων παρουσιάζονται παρακάτω.



Διάγραμμα 3.25: Τελική αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για την ανακλαστικότητα του δείγματος της ασφάλτου ηλικίας 0 – 5 ετών



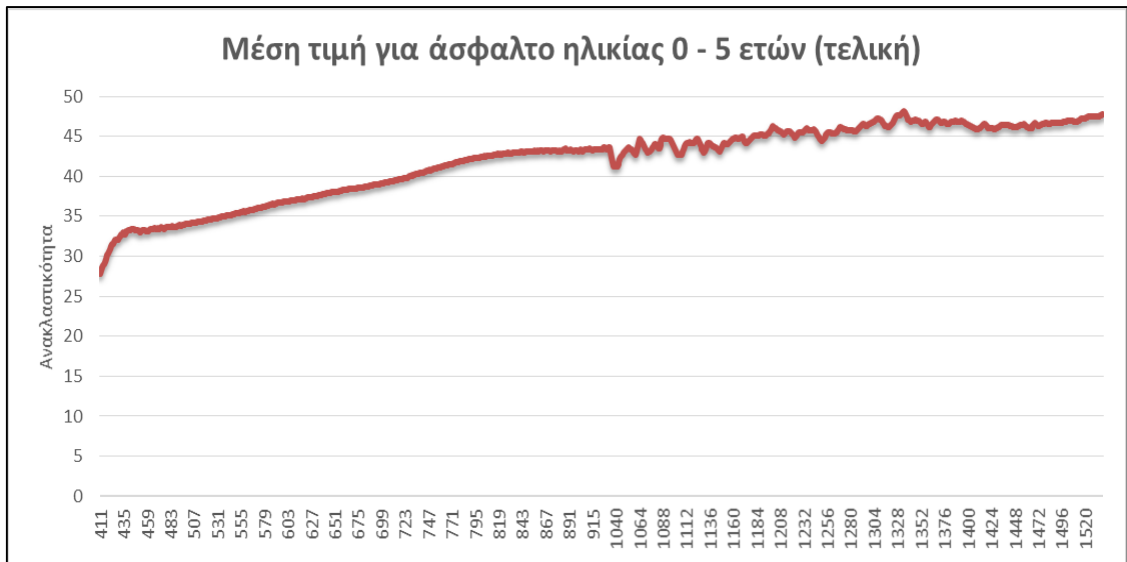
Διάγραμμα 3.26: Τελική αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για την ανακλαστικότητα του δείγματος της ασφάλτου ηλικίας 5 – 10 ετών



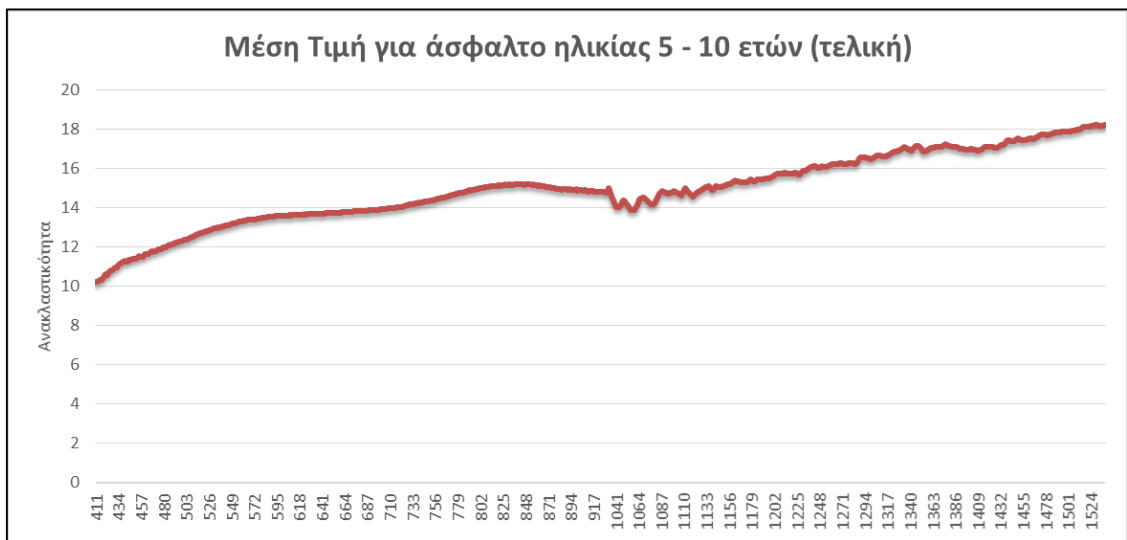
Διάγραμμα 3.27: Τελική αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για την ανακλαστικότητα του πρώτου δείγματος της ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών



Διάγραμμα 3.28: Τελική αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή για την ανακλαστικότητα του δεύτερου δείγματος της ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών



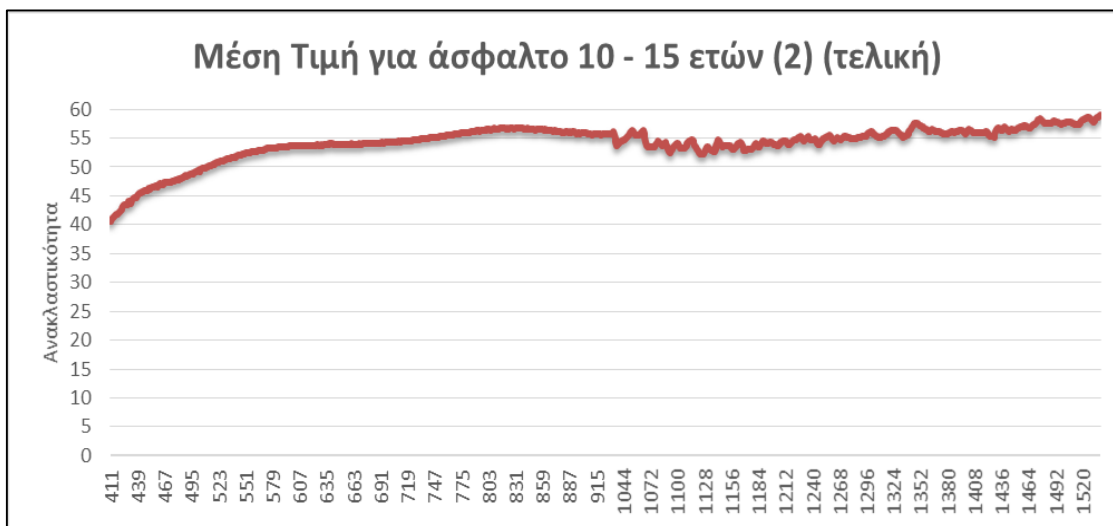
Διάγραμμα 3.29: Τελική αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή μέσης τιμής ανακλαστικότητας του δείγματος της ασφάλτου ηλικίας 0 – 5 ετών



Διάγραμμα 3.30: Τελική αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή μέσης τιμής ανακλαστικότητας του δείγματος της ασφάλτου ηλικίας 5 – 10 ετών



Διάγραμμα 3.31: Τελική αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή μέσης τιμής ανακλαστικότητας του πρώτου δείγματος της ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών



Διάγραμμα 3.32: Τελική αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή μέσης τιμής ανακλαστικότητας του δεύτερου δείγματος της ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών



Διάγραμμα 3.33: Τελική αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή τυπικής απόκλισης ανακλαστικότητας του δείγματος της ασφάλτου ηλικίας 0 – 5 ετών



Διάγραμμα 3.34: Τελική αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή τυπικής απόκλισης ανακλαστικότητας του δείγματος της ασφάλτου ηλικίας 5 – 10 ετών



Διάγραμμα 3.35: Τελική αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή τυπικής απόκλιση ανακλαστικότητας του πρώτου δείγματος της ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών

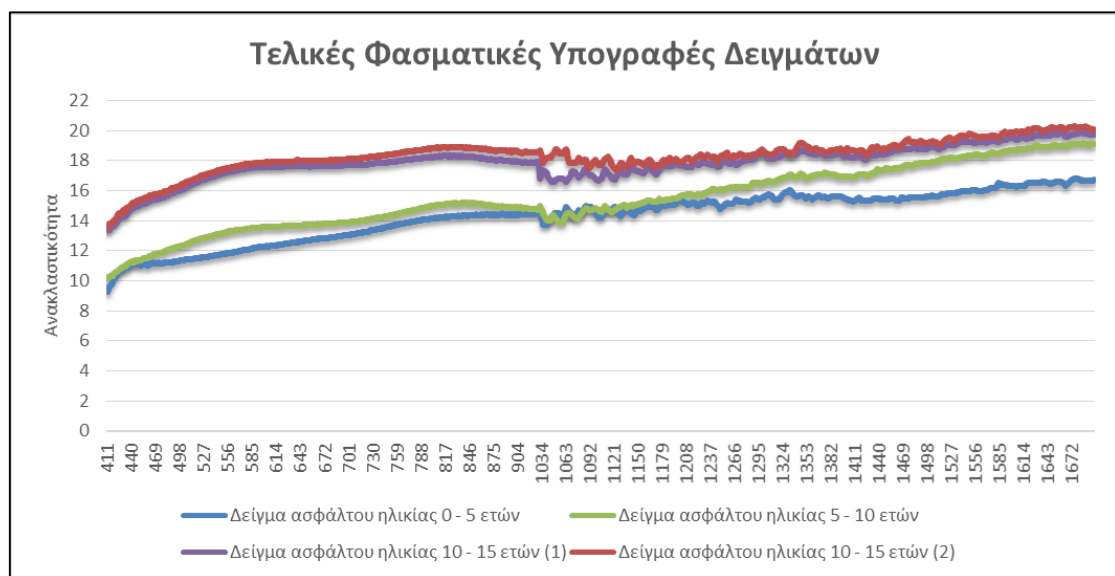


Διάγραμμα 3.36: Τελική αντιπροσωπευτική φασματική υπογραφή τυπικής απόκλισης ανακλαστικότητας του δεύτερου δείγματος της ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών

Αυτά αποτελούν τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης και τα οποία στη συνέχεια θα συζητηθούν ώστε να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα για την εν λόγω έρευνα που αφορά τις ανακλαστικότητες των ασφαλτοστρώσεων διαφόρων ηλικιών στην Κύπρο.

4 Συζήτηση Αποτελεσμάτων

Για την καλύτερη ερμηνεία και συζήτηση των αποτελεσμάτων, γίνεται παρουσία των τελικών φασματικών υπογραφών όλων των δειγμάτων μαζί ώστε να γίνει και πιο εύκολα η σύγκριση (Διάγραμμα 4.1). Εκ πρώτης όψεως, μπορεί κάποιος να αντιληφθεί ότι όσο η ηλικία της ασφάλτου αυξάνεται τόσο αυξάνεται και η ανακλαστικότητα της σε όλα τα μήκη κύματος. Πρωτοφανές, επίσης, ότι σε μεγάλα μήκη κύματος (Μέσο Υπέρυθρο SWIR – Band 6, 1550 nm – 1750 nm) η ανακλαστικότητα σε όλο το φάσμα ηλικιών είναι αυξημένη σε σχέση με μικρά κύματος (Μπλε Περιοχή – Band 1, 450 nm – 520 nm). Παρατηρείται επίσης ότι η μορφή όλων των φασματικών υπογραφών των δειγμάτων αποτελείται από μια ομαλή γραμμή από τα αρχικά μήκη κύματος (400 nm περίπου) μέχρι τα 1000 nm περίπου όπου εμφανίζονται ανωμαλίες με ανοδική πορεία σε όλο το εύρος. Οι ανωμαλίες φαίνεται να μην επηρεάζονται από το δείγμα ή την ηλικία του κάθε δείγματος ασφάλτου αλλά πιθανόν να αποτελεί σφάλμα στη λήψη μετρήσεων, ή θόρυβος που αυτό σημαίνει ότι ίσως τα αποτελέσματα να χρειάζονταν περαιτέρω επεξεργασία.



Διάγραμμα 4.1: Τελικές Φασματικές Υπογραφές δειγμάτων ασφάλτου

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, η ανακλαστικότητα μιας ασφάλτου αυξάνεται με το πέρας των χρόνων, δηλαδή με την αύξηση της ηλικίας του. Αυτό επαληθεύεται και από τα παραπάνω αποτελέσματα αφού το δείγμα ασφάλτου ηλικίας 0 – 5 ετών έχει τη πιο χαμηλή ανακλαστικότητα σε όλο το εύρος των μηκών κύματος, το

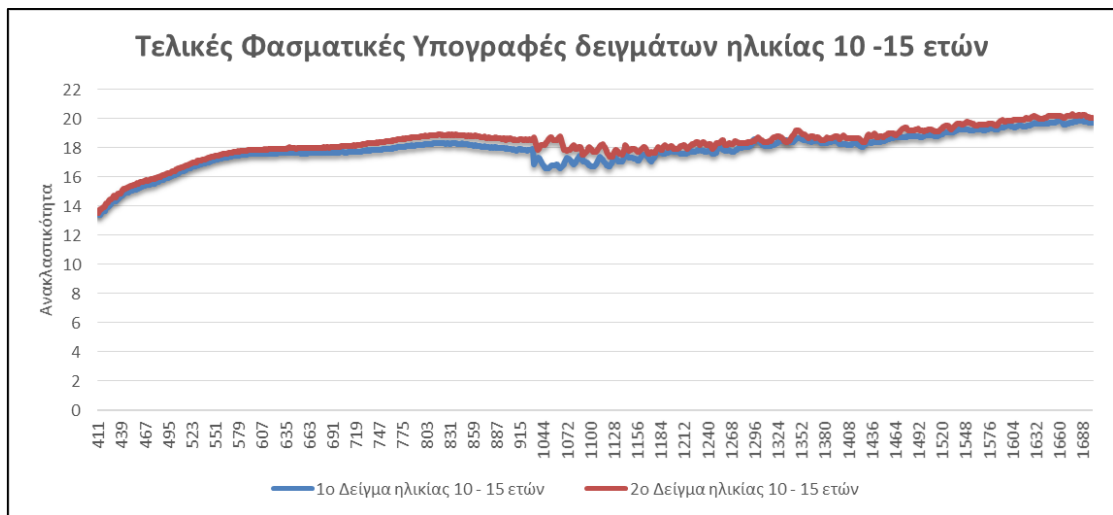
δείγμα ασφάλτου ηλικίας 5 – 10 ετών, παρόλο που δεν είχαν ληφθεί αρκετές μετρήσεις για να θεωρηθούν αξιόπιστες και πιο ακριβείς, εντούτοις βρίσκεται σε μια ενδιάμεση κατάσταση και τα δείγματα ηλικίας 10 – 15 ετών έχουν την υψηλότερη ανακλαστικότητα επίσης σε όλο το εύρος μηκών κύματος.

Παρατηρώντας την ομαλότητα της ανακλαστικότητας, φαίνεται ότι η κάθε ηλικία συμπεριφέρεται διαφορετικά σε κάθε περιοχή του φάσματος. Πιο συγκεκριμένα, το δείγμα ασφάλτου ηλικίας 0 – 5 ετών, από τη Μπλε Περιοχή μέχρι την Κόκκινη Περιοχή παρουσιάζει απότομη αύξηση της ανακλαστικότητας με μια περίπου γραμμική συμπεριφορά. Η ανακλαστικότητα που παρουσιάζει το δείγμα ασφάλτου ηλικίας 5 – 10 ετών αυξάνεται από τη Μπλε Περιοχή μέχρι την Πράσινη Περιοχή, ενώ μέχρι την Κόκκινη περιοχή φαίνεται να έχει ελαφριά πτώση έως και σταθερότητα. Όσον αφορά στα δείγματα ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών, η ανακλαστικότητα είναι αυξημένη από τις άλλες ηλικίες όμως έχει περίπου την ίδια συμπεριφορά με το δείγμα ασφάλτου ηλικίας 5 – 10 ετών στις 3 προαναφερθέντες περιοχές του φάσματος. Συγκρίνοντας τις ανακλαστικότητες των δειγμάτων και στις περιοχές του Εγγύς Υπέρυθρου και του Μέσου Υπέρυθρου, παρατηρείται ότι η συμπεριφορά της μεταβολής της ανακλαστικότητας των δειγμάτων ασφάλτου ηλικίας 0 – 5 ετών και 10 – 15 ετών είναι περίπου η ίδια με τη διαφορά ότι η ανακλαστικότητα της ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών είναι κατά 4% περίπου αυξημένη. Από την άλλη, η ανακλαστικότητα της ασφάλτου ηλικίας 5 – 10 ετών, από το Εγγύς Υπέρυθρο μέχρι και το Μέσο Υπέρυθρο SWIR παρουσιάζεται με μια απότομη αύξηση με αποτέλεσμα να φτάνει κατά πολύ τις τιμές της ασφάλτου με ηλικία 10 – 15 ετών.

Μέσα από τις φασματικές υπογραφές των δειγμάτων που μελετήθηκαν, πέραν από την παρατήρηση της συμπεριφοράς της ανακλαστικότητας στο εύρος της κάθε περιοχής για την κάθε ηλικία, επίσης, θα μπορούσε να γίνει παρατήρηση και σύγκριση της ποσότητας της ακτινοβολίας που ανακλάται ανά ηλικία σε κάθε φασματική περιοχή. Παρατηρείται ότι σε όλα τα μήκη κύματος, η ανακλαστικότητα της ασφάλτου ηλικίας 0 – 5 ετών είναι μειωμένη κατά περίπου 4% από την ανακλαστικότητα της ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών. Η άσφαλτος ηλικίας 5 – 10 ετών που βρίσκεται σε ενδιάμεση κατάσταση παρατηρείται ότι ανακλά ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία περίπου 1% περισσότερο από τη νεότερη άσφαλτο και 3% λιγότερο από την πιο παλιά άσφαλτο στις

περιοχές Μπλε, Πράσινη και Κόκκινη, ενώ στο Εγγύς και Μέσο Υπέρυθρο το ποσοστά αυτά αντιστρέφονται.

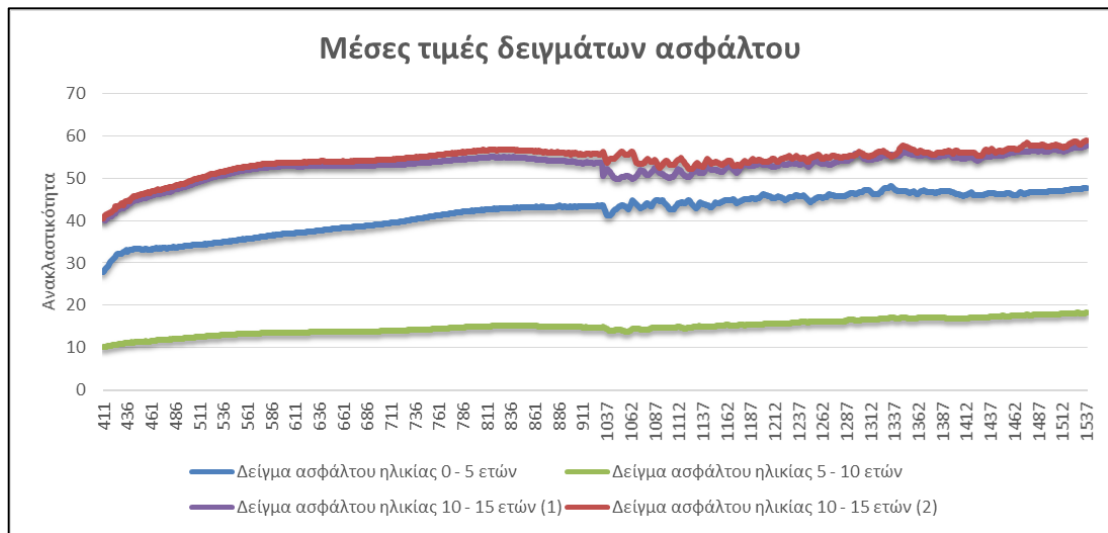
Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, τα δύο δείγματα ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών έχουν ληφθεί από την ίδια οδό, όμως από διαφορετικό σημείο. Σύμφωνα με τις φασματικές τους υπογραφές (Διάγραμμα 4.2), φαίνεται να μην έχουν ακριβώς την ίδια ανακλαστικότητα σε όλα τα μήκη κύματος. Φαίνεται, ότι παρόλο που έχουν την ίδια ηλικία και έχουν κατασκευαστεί με τα ίδια υλικά, η ανακλαστικότητα τους επηρεάζεται από πολλούς άλλους παράγοντες. Η διαφορά μεταξύ των δύο είναι πάρα πολύ ελάχιστη, η οποία μπορεί να οφείλεται στις τεχνικές κατασκευής του οδοστρώματος ή ακόμα και σε σφάλματα κατά τη λήψη των μετρήσεων στο εργαστήριο. Παρόλα αυτά, η παραδοχή ότι μπορεί ένα τμήμα οδοστρώματος να αλλοιωθεί νωρίτερα από ένα άλλο άσχετα αν και τα δύο τμήματα έχουν κατασκευαστεί με τα ίδια υλικά και την ίδια μέρα δεν παύει να ισχύει.



Διάγραμμα 4.2: Σύγκριση τελικών φασματικών υπογραφών για δείγματα ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών

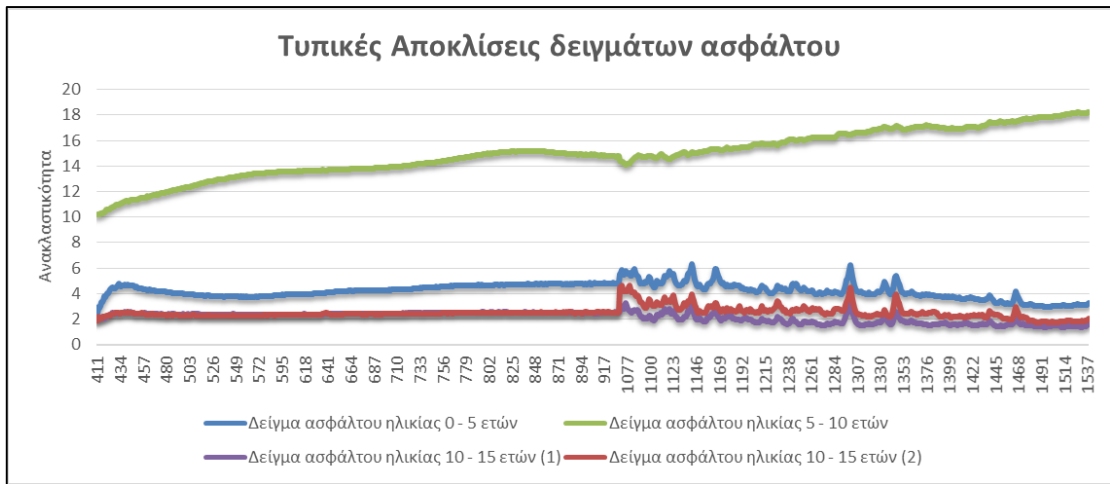
Ακόμη υπάρχει η δυνατότητα σύγκρισης των μέσων τιμών (Διάγραμμα 4.3) και των τυπικών αποκλίσεων (Διάγραμμα 4.4), οι οποίες υπολογίστηκαν για κάθε δείγμα. Για το δείγμα ασφάλτου ηλικίας 5 – 10 ετών δεν υπήρχε ουσιαστικός υπολογισμός ούτε για μέση τιμή αλλά ούτε και για τυπική απόκλιση, απλά καταχωρήθηκαν οι τιμές της που είχαν ληφθεί μια φορά. Για το δείγμα ηλικίας 0 – 5 ετών παρατηρείται ότι το εύρος της μέσης τιμής αντιστοιχεί στα 30 - 40 % ανακλαστικότητα και η μορφή της φασματικής υπογραφής που προέκυψε αποτελείται από μια αρκετά ομαλή και σχεδόν ευθεία

γραμμή. Παράλληλα, για τα δείγματα ασφάλτου ηλικίας 10 – 15 ετών παρατηρείται ότι το εύρος της μέσης τιμής αντιστοιχεί στα 40 – 60 % ανακλαστικότητα και η μορφή της φασματικής υπογραφής που προέκυψε επίσης αποτελείται από μια γραμμή ευθεία αλλά όχι αρκετά ομαλή. Αξίζει να σημειωθεί ότι το εύρος της μέσης τιμής της παλιάς ασφάλτου είναι κατά 10% αυξημένο από το εύρος της μέσης τιμής της νεότερης ασφάλτου.



Διάγραμμα 4.3: Μέσες τιμές για τα δείγματα ασφάλτου

Όσον αφορά στην τυπική απόκλιση που προέκυψε στις τιμές που λήφθηκαν για τα δείγματα ασφάλτου παρατηρείται ότι η ηλικία 10 – 15 ετών είχε τη χαμηλότερη τυπική απόκλιση και σταθερή σε όλα τα μήκη κύματος στις περιοχές Μπλε, Πράσινη και Κόκκινη ίση με 2%, ενώ η ασφαλτος ηλικίας 0 – 5 ετών είχε τυπική απόκλιση 4 – 5% στις 3 περιοχές του φάσματος. Στο Εγγύς και Μέσο Υπέρυθρο, η τυπική απόκλιση που είχαν τα δείγματα επηρεάστηκε από τον πιθανό θόρυβο που προϋπήρχε αλλά δεν παύει να κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα και για τις δύο κατηγορίες ηλικιών.



Διάγραμμα 4.4: Τυπικές Αποκλίσεις δειγμάτων ασφάλτου

5 Συμπεράσματα

Λαμβάνοντας υπόψη τη δυσκολία που υπήρξε στην εξασφάλιση των δειγμάτων που απαιτούσε η έρευνα και τις οποιεσδήποτε προσωπικές δυσκολίες που αντιμετωπίστηκαν οι οποίες προκάλεσαν έλλειψη χρόνου, η μελέτη που υλοποιήθηκε, κατέληξε να έχει ένα αρκετά καλό για τα δεδομένα περιεχόμενο και με κάποια συμπεράσματα πάνω σε ότι είχε παρατηρηθεί κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των αποτελεσμάτων.

Συνοψίζοντας, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η ανακλαστικότητα της ασφάλτου διαφοροποιείται ανάλογα με την ηλικία της και συγκεκριμένα όσο μεγαλύτερη σε ηλικία είναι η άσφαλτος τόσο μεγαλύτερη είναι και η ανακλαστικότητα της. Όσο μεγαλώνει η άσφαλτος τόσο μειώνεται η απορρόφηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τον ήλιο. Το ερώτημα κατά πόσον με το πέρας των χρόνων η ανακλαστικότητα της ασφάλτου μεταβάλλεται ομαλά ή με ραγδαίους ρυθμούς δε απαντήθηκε με ακρίβεια. Ο λόγος είναι διότι για το δείγμα ασφάλτου ηλικίας 5 – 10 ετών δεν λήφθηκαν 3 φορές μετρήσεις για περισσότερη ακρίβεια και έτσι δεν έγινε υπολογισμός μέσου όρου, μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης. Οπότε, το γεγονός αυτό δυσκόλεψε την απάντηση του ερωτήματος με ακρίβεια. Με βάση τα υπόλοιπα δείγματα όμως, μπορεί να αναφερθεί ότι υπάρχει πιθανότητα η ανακλαστικότητα της ασφάλτου να μεταβάλλεται ομαλά με το πέρας των χρόνων, αφού σε όλα τα μήκη κύματος η άσφαλτος ηλικίας 0 – 5 ετών και η άσφαλτος ηλικίας 10 – 15 ετών είχαν σταθερή διαφορά ανακλαστικότητας περίπου 4%.

Επομένως, η παρούσα μελέτη, η οποία ασχολήθηκε με την παρατήρηση ασφαλτικών επιφανειών στην Κύπρο με τη χρήση τεχνικών τηλεπισκόπησης και συγκεκριμένα με τη χρήση του φασματοραδιόμετρου SVC HR-1024, έχοντας στόχο την παρατήρηση της ανακλαστικότητας διαφόρων κατηγοριών ηλικίας ασφάλτου, έδωσε το κίνητρο για περαιτέρω μελέτη και έρευνα για τις ασφαλτικές επιφάνειες στην Κύπρο. Μελλοντική μελέτη θα μπορούσε να αποτελέσει η δυνατότητα σύνδεσης της ανακλαστικότητας με τη σύσταση της ασφάλτου γνωρίζοντας την ηλικία της. Αυτό θα βοηθήσει ώστε να γίνει πιο αντιληπτή η μεταβολή της σύστασης της ασφάλτου με το πέρας των χρόνων και πώς αυτή εκφράζεται με την ανακλαστικότητα της μέσω τεχνικών τηλεπισκόπησης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Herold, M., Gardner, M. E., Noronha, V., and Roberts, D. A. (2003). "Spectrometry and Hyperspectral Remote Sensing of Urban Road Infrastructure." *Online Journal of Space Communications*, 3(Figure 1), 1–29.
- Herold, M., and Roberts, D. (2005). "Spectral characteristics of asphalt road aging and deterioration: implications for remote-sensing applications." *Applied optics*, 44(20), 4327–4334.
- Herold, M., Roberts, D., Noronha, V., and Smadi, O. (2008). "Imaging spectrometry and asphalt road surveys." *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 16(2), 153–166.
- Keith Kay, R. (1999). *Pavement Surface Condition Field Rating Manual for Asphalt Pavements*.
- Levin, N. (2000). "The Remote Sensing Lab." *THE Hebrew University of Jerusalem*, <<http://geography.huji.ac.il/.upload/noamlevin/The Remote Sensing Lab1.htm>> (Sep. 25, 2016).
- Manzo, C., Mei, A., Salvatori, R., Bassani, C., and Allegrini, A. (2014). "Spectral modelling used to identify the aggregates index of asphalted surfaces and sensitivity analysis." *Construction and Building Materials*, Elsevier Ltd, 61, 147–155.
- Mei, A., Salvatori, R., Fiore, N., Allegrini, A., and D'Andrea, A. (2014). "Integration of field and laboratory spectral data with multi-resolution remote sensed imagery for asphalt surface differentiation." *Remote Sensing*, 6(4), 2765–2781.
- Noronha, V., Herold, M., Roberts, D., and Gardner, M. (2002). "Spectrometry and Hyperspectral Remote Sensing for Road Centerline Extraction and Evaluation of Pavement Condition." *National Consortium on Remote Sensing in transportation - Infrastructure Management (2002)*, 12.
- Pascucci, S., Bassani, C., Palombo, A., Poscolieri, M., and Cavalli, R. (2008). "Road Asphalt Pavements Analyzed by Airborne Thermal Remote Sensing: Preliminary Results of the Venice Highway." *Sensors 2008*, 8(2), 1278–1296.

- Pavement distress identification manual for the NPS Road Inventory.* (2009). .
- Puttonen, E., Suomalainen, J., Hakala, T., and Peltoniemi, J. (2009). “Measurement of reflectance properties of asphalt surfaces and their usability as reference targets for aerial photos.” *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(7), 2330–2339.
- Schowengerdt, R. A. (2007). “Remote sensing: models and methods for image processing.” *ISBN 978-0-12-369407-2*.
- Walker, D., Entine, L., and Kummer, S. (2002). *PASER Asphalt Roads Manual*. Wisconsin - Madison.
- “What are the band designations for the Landsat satellites?” (2016). *USGS Landsat Mission*, <http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php> (Sep. 28, 2016).
- Willaims, M., MacLellan, C., and Mac Arthur, A. (2004). “Field Spectroscopy Facility.” *Natural Environment Research Council*, <http://fsf.nerc.ac.uk/instruments/svc_hr-1024.shtml> (Sep. 24, 2016).
- “Αρχές Τηλεπισκόπησης.” (2015). *European Space Agency*, <http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_GR/SEM9G7WO1FG_0.html> (Sep. 27, 2016).
- Οδοποιία II.* (2014).