



Τεχνολογικό
Πανεπιστήμιο
Κύπρου

Σχολή Πολιτικών
Μηχανικών

Πτυχιακή εργασία

**ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΣΦΑΛΤΙΚΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ
ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ**

ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΠΟΛΥΒΙΟΥ

Λεμεσός, Μάιος 2020

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ [ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΓΕΟΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ]
ΤΜΗΜΑ [ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ]

Πτυχιακή εργασία

ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΣΦΑΛΤΙΚΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ
ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

του

Δημήτρη Πολυβίου

Επιβλέπων Καθηγητής
Δρ. Διόφαντος Χατζημιτσής

Λεμεσός, Μάιος 2020

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Δημήτρης Πολυβίου, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. Allrightsreserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας 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 τους κ. Χριστόδουλο Μέττα και κ. Ευαγόρα για την άψογη συνεργασία αλλά και βοήθεια που είχα για την εξασφάλιση των οργάνων και την λήψη των διάφορων μετρήσεων.

Περίληψη :

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει τις διάφορες ατέλειες(προβλήματα) που μπορούν να εμφανιστούν στα ασφαλτικά οδοστρώματα δίνοντας μια μικρή επεξήγηση για το καθένα. Επιπρόσθετα γίνεται αναφορά σε έρευνες που έγιναν από άλλους επιστήμονες στην ανεύρεση των προβλημάτων χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνικές τηλεπισκόπησης οι οποίες μπορούν να δείξουν τα προβλήματα και τις διάφορες ατέλειες των ασφαλτικών οδοστρωμάτων συγκρίνοντας κυρίως τις φασματικές υπογραφές τους που λήφθηκαν από το καθένα ξεχωριστά, αλλά και παρουσιάζοντας τη μεθοδολογία και τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν. Παρουσιάζεται η έρευνα που έγινε από εμένα σε διάφορους δρόμους χρησιμοποιώντας τεχνικές τηλεπισκόπησης και κυρίως σπεκτροραδιόμετρο μήκους κύματος από 350nm μέχρι 2500nm. Επίσης παρουσιάζονται οι φασματικές υπογραφές που εξάχθηκαν από τα οδοστρώματα που μετρήθηκαν ,καθώς επίσης και οι φασματικές υπογραφές που δημιουργήθηκαν γνωρίζοντας τα ποσοστά ατελειών που περιέχουν αλλά και το ποσοστό ασφάλτου. Παράλληλα παρουσιάζεται ένα μικρό κομμάτι για το πώς μπορούν τα συγκεκριμένα ποσοστά να γίνουν αντιληπτά από τρις διαφορετικούς δορυφόρους οι οποίοι είναι οι Landsat 8 , Spot 7 , WorldView 3 και να εκφραστούν σε τετραγωνικά εκατοστά. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μου και τα συμπεράσματα που εξάχθηκαν μέσα από την έρευνα όσο αφορά τις διαφορές που μπορεί να έχουν οι άσφαλτοι είτε λόγω διαφοράς ηλικίας κατασκευής είτε λόγω των διάφορων προβλημάτων που μπορεί να έχει ο καθένας , αλλά ταυτόχρονα και των διαφορετικών ατελειών τους .Γίνεται και αναφορά στις φασματικές υπογραφές που δημιουργήθηκαν για το πώς μπορούν να μεταβάλουν την φασματική υπογραφή του καθαρού ασφάλτου και επεξηγούνται. Το συγκεκριμένο κομμάτι αξίζει να σημειωθεί ότι χρειάζεται περισσότερη έρευνα με σκοπό να εξαχθούν καλύτερα αποτελέσματα. Εν κατακλείδι τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχουν διαφορές μεταξύ των φασματικών υπογραφών των ασφάλτων που εξαρτώνται από το έτος κατασκευής αλλά και από τις ατέλειες(προβλήματα) που παρουσιάζει το καθένα ξεχωριστά. Οι φασματικές υπογραφές έδειξαν ότι δεν μπορούν όλες οι ατέλειες να είναι εμφανές μέσω της ανακλαστικότητας τους . Συγκεκριμένες ατέλειες που είναι εμφανές μέσω της ανακλαστικότητας τους , προκαλούν αλλαγές στην φασματική υπογραφή κάθε οδοστρώματος ξεχωριστά .Αυτές οι ατέλειες μπορούν να είναι εμφανές και από δορυφόρους.

Λέξεις κλειδιά: φασματική υπογραφή, τηλεπισκόπηση, ατέλειες(προβλήματα), mixpixel

Abstract:

This paper presents the various imperfections (problems) that can occur on asphalt roads giving a little explanation for each. In addition, research has been done by other scientists in finding problems using different remote sensing techniques that can show the problems and various imperfections of asphalt pavements, mainly comparing their spectral signatures taken by each one separately, but also presenting the method and the instruments used. The research that I did on various roads using remote sensing techniques and mainly a wavelength spectrometer from 350nm to 2500nm is presented. Also presented are the spectral signatures extracted from the measured pavements, as well as the spectral signatures created knowing the percentages of imperfections they contain and the percentage of asphalt. At the same time, is presented on how these percentages can be perceived by three different satellites which are Landsat 8, Spot 7, World View 3 and expressed in square centimeters. My results and the conclusions drawn from the research are presented regarding the differences that asphalts may have, either due to the age difference of construction or due to the different problems that everyone may have, but at the same time their different imperfections. Reference to the spectral signatures created on how they can change the spectral signature of pure asphalt and are explained. This research is needed to get better results. In conclusion, the results showed that there are differences between the spectral signatures of the asphalts that depend on the year of construction but also on the imperfections (problems) that each presented separately. Spectral signatures have shown that not all imperfections can be seen through their reflectivity. Specific imperfections are obvious, and cause changes in the spectral signature of each pavement separately, which can be visible from satellites.

Keywords: spectral signature, remote sensing, imperfections (problems), mix pixel

Contents

Περίληψη :	v
Abstract:	vi
Εισαγωγή :	1
1 Προβλήματα που παρουσιάζονται στα Ασφαλτικά Οδοστρώματα.....	3
1.1 Ρωγμές στις ασφαλτικές επιφάνειες.....	3
1.2 Εγκάρσιες ρωγμές.....	3
1.3 Διαμήκεις ρωγμές.....	4
1.4 Ρωγμές Σχήματος Αλιγάτορα.....	4
1.5 Ρωγμές Κόπωσης.....	5
1.6 Ρωγμές Τύπου Block.....	6
1.7 Ρωγμές αντανάκλασης.....	6
1.8 Παραμόρφωση στις Ασφαλτικές Επιφάνειες.....	7
1.9 Rutting.....	7
1.10 Depression.....	7
1.11 Patch Failures.....	8
1.12 Αποσάθρωση.....	8
1.13 Ravelling.....	8
1.14 Λακκούβες.....	9
1.15 Κίνδυνοι πρόσκρουσης.....	9
1.16 Bleeding.....	9
1.17 Surface Treatment Distress.....	10
1.18 Απώλεια Κάλυψης Αδρανών.....	10
1.19 Ραβδώσεις.....	10
2 Εύρεση προβλημάτων των ασφαλτικών οδοστρωμάτων με τη Χρήση Τεχνικών Τηλεπισκόπηση.....	12

2.1	Mapping Asphalt Road Conditions with Hyperspectral Remote Sensing	13
2.2	Integration of Field and Laboratory Spectral Data with Multi-Resolution Remote Sensed Imagery for Asphalt Surface Differentiation.	14
2.3	Angular spectral response from covered asphalt	16
2.4	Assessing the impacts of climate change on road infrastructure	17
2.5	Road Asphalt Pavements Analyzed by Airborne Thermal Remote Sensing: Preliminary Results of the Venice Highway.....	18
2.6	Bitumen Removal Determination on Asphalt Pavement Using Digital Imaging Processing and Spectral Analysis	19
2.7	Detection of Asphalt Pavement Potholes and Cracks Based on the Unmanned Aerial Vehicle Multispectral Imagery	21
2.8	Monitoring Asphalt Pavement Damages Using Remote Sensing Techniques	22
2.9	Detecting Forest Road Wearing Course Damage Using Different Methods of Remote Sensing	23
2.10	Risk provision using field spectroscopy to identify spectral regions for the detection of defects in flexible pavements.....	25
3	Μελέτη Προβλημάτων και Ατελειών Ασφαλτικών Οδοστρωμάτων Χρησιμοποιώντας Διάφορες Τεχνικές Τηλεπισκόπησης.....	28
3.1	Σκοπός Έρευνας- Μελέτης	28
3.2	Περιοχή Μελέτης – Έρευνας	28
3.3	Μεθοδολογία Έρευνας.....	31
3.4	Ατέλειες που εντοπίστηκαν στα οδοστρώματα που έγιναν οι μετρήσεις	33
3.5	Επιλογή Δορυφόρων.....	37
4	Αποτελέσματα.....	38
4.1	Φασματικές Υπογραφές Οδοστρωμάτων, χωρίς Ατέλειες	38
4.2	Φασματικές Υπογραφές οδοστρωμάτων, με ατέλειες	40
4.3	Σύγκριση Διαγραμμάτων 30 και 31	41

4.4	Φασματική Υπογραφή ασφάλτου γνωρίζοντας το ποσοστό που περιέχει από την κάθε ατέλεια , αλλά και το ποσοστό ασφάλτου	42
4.5	Φασματική Υπογραφή Οδοστρώματος Έτους κατασκευή 2019 , γνωρίζοντας τα ποσοστά ανάκλασης Ατελειών και Ασφάλτου	43
4.6	Δεδομένα Δορυφόρων και Ποσοστών Ασφάλτου – Ατελειών για οδόστρωμα Έτους 2019	45
4.7	Φασματική Υπογραφή Οδοστρώματος Έτους κατασκευή 2015 , γνωρίζοντας τα ποσοστά ανάκλασης Ατελειών και Ασφάλτου	45
4.8	Δεδομένα Δορυφόρων και Ποσοστών Ασφάλτου – Ατελειών για οδόστρωμα Έτους 2015	49
4.9	Φασματική Υπογραφή Οδοστρώματος Έτους κατασκευή 2016 , γνωρίζοντας τα ποσοστά ανάκλασης Ατελειών και Ασφάλτου	49
4.10	Δεδομένα Δορυφόρων και Ποσοστών Ασφάλτου – Ατελειών για οδόστρωμα Έτους 2016	53
5	Σχολιασμός Αποτελεσμάτων	54
6	Συμπεράσματα	56
7	Βιβλιογραφία	58

Κατάλογος Πινάκων:

Table 1: Δορυφόροι , Ατέλειες σε Ποσοστό και Τετραγωνικά Εκατοστά που Καλύπτουν	45
Table 2: Δορυφόροι , Ατέλειες σε Ποσοστό και Τετραγωνικά Εκατοστά που Καλύπτουν	49
Table 3: Δορυφόροι , Ατέλειες σε Ποσοστό και Τετραγωνικά Εκατοστά που Καλύπτουν	53

Κατάλογος Διαγραμμάτων:

Διάγραμμα 1: Εγκάρσιες Ρωγμές σε οδόστρωμα(Naukowe et al.)	4
Διάγραμμα 2: Διαμήκειες Ρωγμές σε οδόστρωμα(Naukowe et al.).....	4
Διάγραμμα 3:Ρωγμές αλιγάτορα σε οδόστρωμα(Naukowe et al.).....	5
Διάγραμμα 4:Ρωγμές Κόπωσης.....	5
Διάγραμμα 5:Ρωγμές τύπου Block	6
Διάγραμμα 6: Ρωγμή Αντανάκλασης	6
Διάγραμμα7:Rutting(Mettas et al.)	7
Διάγραμμα 8:Depression	7
Διάγραμμα9:Patch Failures(Mettas et al.)	8
Διάγραμμα10:Raveling(Mettas et al.).....	8
Διάγραμμα 11:Λακκούβα(Mettasetal.).....	9
Διάγραμμα12:Bleeding(Mettas et al.).....	9
Διάγραμμα 13:Απώλεια κάλυψης Αδρανών.....	10
Διάγραμμα 14:Ραβδώσεις.....	10
Διάγραμμα 15: Σχέση μεταξύ $\lambda = 460 \text{ nm}$ $\lambda = 740 \text{ nm}$ τιμές ανάκλασης που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια επιτόπιων ερευνών(Mei et al.).....	15
Διάγραμμα 16: Φάσματα Υποστρωμάτων Ασφάλτου και Γραμμή Ασφάλτου (Mei et al.)...	15
Διάγραμμα 17:Αντανάκλαση πέντε διαφορετικών φασματικών υπογραφών στόχων με διαφορετικά επίπεδα EAI(Mei et al.).....	20
Διάγραμμα 18:Δρόμοι διαφορετικών ηλικιών χωρίς δομικές ζημιές (Mettas et al. n.d.)	23
Διάγραμμα 19:Διαφορά ανακλαστικότητας ανάμεσα σε ασφαλτοστρωμένο οδόστρωμα χωρίς ρωγμές, φυσικά σχηματισμένες ρωγμές, ρωγμές που σχηματίστηκαν λόγω της κατασκευής δρόμων(Mettas et al.)	26
Διάγραμμα 20: Οδός Γρηγόρη Αυξεντίου και 28 ^{ης} Οκτωβρίου , Έτος Κατασκευής 2015	29
Διάγραμμα 21: Οδός Ιάκωβου Πατάτσου , Έτος Κατασκευής 2016	30

Διάγραμμα 22: Οδός Ανδρέα Έλληνα , Έτος Κατασκευής 2019.....	30
Διάγραμμα 23: Κάθετη Γραμμή σε οδόστρωμα Μήκους 1.5 m πάχους 0.5cm	33
Διάγραμμα 24:Παράλληλη Γραμμή σε οδόστρωμα μήκους 10m και πάχους 1cm.....	34
Διάγραμμα 25:Φρεάτιο σε οδόστρωμα από σκυρόδεμα και χάλυβα	34
Διάγραμμα 26: Κηλίδες από λάδι πάνω σε οδόστρωμα	35
Διάγραμμα 27:Κομμάτι από Μπετόν.....	35
Διάγραμμα 28: Πιθανά κτυπήματα από Εκσκαφέα.....	36
Διάγραμμα 29: Ασφαλικό οδόστρωμα που αποτελείται από τρις διαφορετικούς ασφάλτους διαφορετικής ηλικίας	36
Διάγραμμα 30: Φασματικές Υπογραφές ασφαλικών οδοστρωμάτων έτους κατασκευής 2015,2016,2019 καθαρό οδόστρωμα χωρίς ατέλειες(προβλήματα).....	39
Διάγραμμα 31: Φασματικές Υπογραφές ασφαλικών οδοστρωμάτων έτους κατασκευής 2015,2016,2019 συμπεριλαμβανομένου του καθαρού ασφάλτου και των ατελειών τους(προβλημάτων, όλος ο δρόμος)	41
Διάγραμμα 32: Φασματικές υπογραφές ασφάλτου Έτους κατασκευής 2019 ,καθαρού ασφάλτου χωρίς ατέλειες(προβλήματα) και με ατέλειες(προβλήματα) με τη χρήση βαρών (ποσοστών).....	44
Διάγραμμα 33: Φασματικές υπογραφές ασφάλτου Έτους κατασκευής 2019 ,χωρίς ατέλειες(προβλήματα) και με ατέλεια(ravelling)με τη χρήση βαρών (ποσοστών)	44
Διάγραμμα 34: Φασματικές υπογραφές ασφάλτου Έτους κατασκευής 2015 ,χωρίς ατέλειες και με ατέλειες(προβλημάτων)με τη χρήση βαρών (ποσοστών)	47
Διάγραμμα 35: Φασματικές υπογραφές ασφάλτου Έτους κατασκευής 2015 ,χωρίς ατέλειες(προβλήματα) και με ατέλεια(ravelling)με τη χρήση βαρών (ποσοστών)	47
Διάγραμμα 36:Φασματικές υπογραφές ασφάλτου Έτους κατασκευής 2015 ,χωρίς ατέλειες(προβλήματα) και με ατέλεια(ρωγμή τύπου block)με τη χρήση βαρών (ποσοστών)	48
Διάγραμμα 37: Φασματικές υπογραφές ασφάλτου Έτους κατασκευής 2015 ,χωρίς ατέλειες(προβλήματα) και με ατέλεια(ρωγμή τύπου κάθετη)με τη χρήση βαρών (ποσοστών)	48

Διάγραμμα 38: Φασματικές υπογραφές ασφάλτου Έτους κατασκευής 2016 ,χωρίς ατέλειες και με ατέλειες(προβλήματα) με τη χρήση βαρών (ποσοστών).....	51
Διάγραμμα 39: Φασματικές υπογραφές ασφάλτου Έτους κατασκευής 2016 ,χωρίς ατέλειες(προβλήματα) και με ατέλεια(ρωγμή πάχους 3mm)με τη χρήση βαρών (ποσοστών)	51
Διάγραμμα 40: Φασματικές υπογραφές ασφάλτου Έτους κατασκευής 2016 ,χωρίς ατέλειες(προβλήματα) και με ατέλεια(ρωγμή τύπου block)με τη χρήση βαρών (ποσοστών)	52
Διάγραμμα 41: Φασματικές υπογραφές ασφάλτου Έτους κατασκευής 2016 ,χωρίς ατέλειες (προβλήματα) και με ατέλεια(άσπρη γραμμή κατά μήκος του δρόμου)με τη χρήση βαρών (ποσοστών).....	52
Διάγραμμα 42: Φασματικές υπογραφές ασφάλτου Έτους κατασκευής 2016 ,χωρίς ατέλειες(προβλήματα) και με ατέλεια(ρωγμή καθίζησης)με τη χρήση βαρών (ποσοστών)	53

Εισαγωγή :

Με τον όρο Τηλεπισκόπηση εννοούμε τις διάφορες τεχνικές που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για να παρατηρήσουμε κάποια φαινόμενα και χαρακτηριστικά από απόσταση . Οι φυσικοί κίνδυνοι επιταχύνουν την υποβάθμιση των ασφαλτοστρωμένων επιφανειών. Οι κλιματολογικοί παράγοντες είναι αναπόφευκτοι και μπορούν να επηρεάσουν τις ιδιότητες των μιγμάτων ασφάλτου, καθιστώντας τα πιο αδύναμα και λιγότερο ανθεκτικά. Έτσι, η συνεχής παρακολούθηση των ασφαλτικών επιφανειών είναι κάτι που μπορεί να μειώσει τους κινδύνους για τη δημόσια υγεία. Στα νέα ασφαλτικά οδοστρώματα κυριαρχούν οι απορροφήσεις υδρογονανθράκων. Η γήρανση του οδοστρώματος και η διάβρωση του ασφαλτικού μίγματος οδηγεί σε σταδιακή μετάβαση από τα χαρακτηριστικά υδρογονανθράκων σε απορρόφηση ορυκτών με γενική αύξηση της φωτεινότητας και των αλλαγών στις ξεχωριστές ιδιότητες απορρόφησης μικρής κλίμακας. Οι διαθρωτικές ζημιές στο δρόμο (π.χ. ρωγμές) υποδηλώνουν μια κάπως αντίθετη φασματική παραλλαγή. Η ρωγμή μειώνει τη φωτεινότητα και δίνει έμφαση στα χαρακτηριστικά απορρόφησης υδρογονανθράκων. Σε ρωγμές εκτίθενται τα βαθύτερα στρώματα του οδοστρώματος με υψηλότερη περιεκτικότητα του αρχικού ασφαλτικού μίγματος, πράγμα που έχει ως αποτέλεσμα αυξημένη έκφραση των χαρακτηριστικών απορρόφησης υδρογονανθράκων. Η επιφάνεια του δρόμου που παρουσιάζει γήρανση γίνεται πιο φωτεινή με τις μειούμενες απορροφήσεις υδρογονανθράκων. Εκτός από τις ρωγμές τα ασφαλτικά οδοστρώματα μπορεί να παρουσιάζουν ατέλειες όπως φρεάτια, λάδια, τσίχλες ,χώματα κτλ. Έτσι πιο κάτω παρουσιάστηκαν τα προβλήματα που έχουμε σε ασφαλτικά οδοστρώματα όσο αφορά τα προβλήματα που δημιουργούν αυτά. Επίσης στα προβλήματα μπορούν να συγκαταλεχθούν τα χώματα, τα λάδια , τα φρεάτια τα οποία προκαλούνται από τον ανθρώπινο παράγοντα . Έπειτα παρουσιάζονται διάφορες μελέτες και έρευνες που έγιναν από πολλούς μελετητές με κύριο σκοπό τη χρήση της τηλεπισκόπησης σε θέματα που παρουσιάζουν τα ασφαλτικά οδοστρώματα, καθώς επίσης και τα διάφορα αποτελέσματα που επήλθαν από τις εν λόγω μελέτες .Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να παρουσιαστούν τα προβλήματα και οι ατέλειες που παρουσιάζουν τα ασφαλτικά οδοστρώματα με διαφορετική ηλικία κατασκευής χρησιμοποιώντας τεχνικές τηλεπισκόπησης και κυρίως την μέτρηση των οδοστρωμάτων που μετρήθηκαν με σπεκτροραδιόμετρο, αξιοποιώντας παλαιότερες μελέτες που έγιναν στο θέμα αυτό και

εξάγοντας κάποια αποτελέσματα τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν σε μεταγενέστερο στάδιο . Τόσο οι μελέτες που έγιναν αλλά και η δική μου έρευνα εστίασαν κυρίως στις φασματικές υπογραφές των ασφαλικών οδοστρωμάτων αλλά και τις διαφορές στα μήκη κύματος που μπορεί να είχαν οι ασφαλτοι είτε λόγω ηλικίας , είτε από τις άλλες ατέλειες που παρουσίαζε το κάθε οδόστρωμα ξεχωριστά. Επίσης από το κομμάτι το δικό αφού επεξεργάστηκαν τα δεδομένα που λήφθηκαν προσπάθησα να δημιουργήσω κάποιες φασματικές υπογραφές οι οποίες περιλάμβαναν κάποια ποσοστά ατελειών αλλά και ποσοστά ασφάλτου .Οι συγκεκριμένες είχαν ως μέτρο σύγκρισης την καθαρή φασματική υπογραφή του καθαρού ασφάλτου του κάθε οδοστρώματος που μετρήθηκε. Τέλος εστίασα σε ένα μικρό θεωρητικό κομμάτι γνωρίζοντας τα χαρακτηριστικά τριών δορυφόρων και του μεγέθους που καλύπτουν ,με σκοπό να εκφραστεί το ποσοστό των ατελειών σε τετραγωνικά εκατοστά για τον κάθε δορυφόρο. Σκοπός αυτού του κομματιού ήταν να δημιουργηθεί ένα mix pixel δορυφόρου το οποίο όταν διαβάζεται να μπορούμε να καταλαβαίνουμε τι περιέχει. Αυτό όμως έγινε σε ένα αρχικό στάδιο και το ερώτημα που τίθεται είναι πως θα μπορέσουμε να το αξιοποιήσουμε καλύτερα , για να μπορούμε στο μέλλον να το πετύχουμε και να δίνει όσο γίνεται πιο ακριβές αποτελέσματα. Εν κατακλείδι αυτό χρήζει περαιτέρω έρευνας και μελέτης.

1 Προβλήματα που παρουσιάζονται στα Ασφαλτικά Οδοστρώματα

Γνωρίζουμε ότι σε όλο τον κόσμο υπάρχουν αρκετά οδικά δίκτυα μεταφορών που εξυπηρετούν τις ανάγκες εκατομμύρια ανθρώπων καθημερινά και πως η οδική ασφάλεια είναι σήμερα μια από τις βασικές ανησυχίες. Λόγω της εντατικής γενικής χρήσης των δρόμων, η διατήρηση του οδοστρώματος σε καλές συνθήκες είναι ένα κρίσιμο σημείο για τη μείωση των ατυχημάτων και ως άμεση συνέπεια, για τη μείωση των θυμάτων θανάτου. Οι δρόμοι οι οποίοι αποτελούν αυτά τα οδικά δίκτυα αποτελούνται κυρίως από ασφαλτομίγματα τα οποία με την πάροδο του χρόνου αλλά και από την επίδραση των καιρικών συνθηκών παρουσιάζουν αρκετά προβλήματα. Τα προβλήματα της ασφάλτου μπορούν να διαχωριστούν σε πέντε μεγάλες κατηγορίες. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι ρωγμές, η παραμόρφωση, η καταστροφή της επιφάνειας της ασφάλτου, οι κίνδυνοι πρόσκρουσης και η αποσύνθεση των υλικών. Αυτές οι μεγάλες κατηγορίες που επιφέρουν προβλήματα στην ασφαλτική επιφάνεια χωρίζονται σε υποκατηγορίες ανάλογα με το είδος της φθοράς. Με την κατανόηση των τύπων δυσχερειών του ασφαλτικού οδοστρώματος και των αιτιών αυτών που προκαλούν τα πιο πάνω προβλήματα, μπορούν να ληφθούν τα κατάλληλα διορθωτικά μέτρα για την επισκευή του ασφαλτικού οδοστρώματος και τη συνέχιση της ζωής του.

1.1 Ρωγμές στις ασφαλτικές επιφάνειες

Κάθε χρόνο εκατομμύρια χρήματα δαπανώνται με σκοπό να επιδιορθωθούν οι ρωγμές που δημιουργούνται στους δρόμους. Η καταγραφή και η σωστή ταξινόμηση των ρωγμών στην κατηγορία που ανήκουν μπορεί να επιφέρει ελαχιστοποίηση του κόστους επιδιόρθωσης αλλά και συνάμα η βελτιστοποίηση του οδικού δικτύου. Υπάρχουν όπως προαναφέρθηκε πολλά είδη ρωγμών αλλά κατηγοριοποιούνται σε εγκάρσιες ρωγμές, διαμήκειες ρωγμές, ρωγμές αλιγάτορα (ή πλέγμα), ρωγμές κόπωσης, ρωγμές block και ρωγμές αντανάκλασης.

1.2 Εγκάρσιες ρωγμές

Οι εγκάρσιες ρωγμές είναι κάθετες στην κεντρική πλάκα του οδοστρώματος. Συνήθως προκαλούνται από θερμικές αλλαγές. Άλλες αιτίες είναι οι σκλήρυνση του ασφαλτικού συνδετικού υλικού ή οι ρωγμές ανάκλασης που προκαλούνται

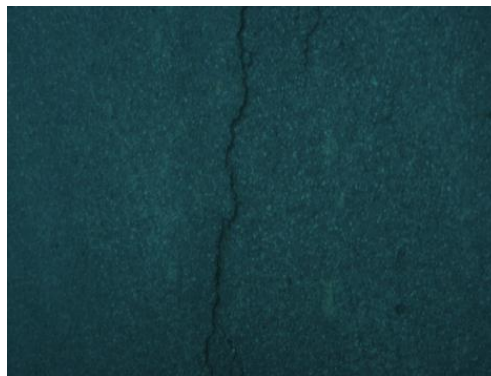
από άλλες ρωγμές κάτω από την επιφάνεια ασφάλτου. Οι συγκεκριμένες ρωγμές μπορούν να ανιχνευτούν με μια επιθεώρηση στο πεδίο όπως παρουσιάζει μια εικόνα πιο κάτω.



Διάγραμμα 1: Εγκάρσιες Ρωγμές σε οδόστρωμα(Naukowe et al.)

1.3 Διαμήκεις ρωγμές

Οι διαμήκεις ρωγμές έχουν δύο κύριες αιτίες οι οποίες τις προκαλούν : κόπωση και κακές αρθρώσεις. Οι ρωγμές κόπωσης παράγονται με συνεχή υπερβολική φόρτιση λόγω βαρέων οχημάτων. Οι αρθρώσεις είναι γενικά οι λιγότερο πυκνές περιοχές του οδοστρώματος. Εάν οι αρθρώσεις βρίσκονται σε περιοχή υψηλής τάσης, μπορεί να εμφανιστεί ρωγμή. Όπως αναφέρθηκε οι διαμήκεις ρωγμές μπορούν να ανιχνευθούν όπως και τα άλλα είδη ρωγμών με οπτική επιθεώρηση και έχουν το πιο κάτω σχήμα.

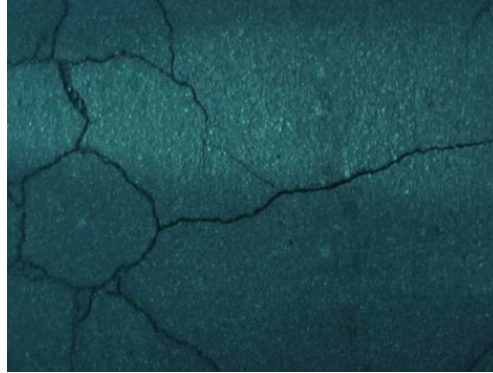


Διάγραμμα 2: Διαμήκεις Ρωγμές σε οδόστρωμα(Naukowe et al.)

1.4 Ρωγμές Σχήματος Αλιγάτορα

Αυτός ο τύπος ρωγμών όπως είναι και το όνομα του έχει τη μορφή αλιγάτορα. Οι ρωγμές αλιγάτορα είναι ένας συνδυασμός αιτίων κόπωσης και ασταθών

βάσεων ασφάλτου. Μια σειρά διασυνδεδεμένων ρωγμών εμφανίζονται σε αυτές τις καταστάσεις και κάνουν την άσφαλο εξαιρετικά ασταθής και κομμάτια ασφάλτου μπορούν να αποκολληθούν στις χειρότερες περιπτώσεις. Παρακάτω παρατίθενται εικόνα για το πώς μοιάζουν αυτές οι ρωγμές μέσα από μια οπτική επιθεώρηση.



Διάγραμμα 3:Ρωγμές αλιγάτορα σε οδόστρωμα(Naukowe et al.)

1.5 Ρωγμές Κόπωσης

Η ρωγμή κόπωσης έχει μορφή αλιγάτορα λόγω των αλληλοσυνδεδεμένων ρωγμών που μοιάζουν με το δέρμα αλιγάτορα. Η ρωγμή κόπωσης προκαλείται από φθορά λόγω φορτίου που προκύπτει από μια εξασθενημένη βάση ή υπόβαση. Πολύ μικρό πάχος οδοστρώματος, υπερφόρτωση ή συνδυασμός αυτών των παραγόντων.



Διάγραμμα 4:Ρωγμές Κόπωσης

1.6 Ρωγμές Τύπου Block

Η ρωγή τύπου μπλοκ είναι μια σειρά από μεγάλες ορθογώνιες ρωγμές σε μια επιφάνεια ασφαλτικού οδοστρώματος. Αυτός ο τύπος ρωγμών καλύπτει συνήθως μεγάλες περιοχές και μπορεί να συμβεί σε περιοχές όπου δεν υπάρχει κυκλοφορία. Η ρωγμές αυτές προκαλούνται συνήθως από συρρίκνωση του ασφαλτικού οδοστρώματος λόγω αυξομειώσεων της θερμοκρασίας.



Διάγραμμα 5: Ρωγμές τύπου Block

1.7 Ρωγμές αντανάκλασης

Οι ρωγμές αντανάκλασης είναι ρωγμές που σχηματίζονται σε επικάλυψη ενός φθαρμένου ασφαλτικού οδοστρώματος. Η ρωγή οφείλεται στην κίνηση του οδοστρώματος από διάφορους παράγοντες που την προκαλούν.



Διάγραμμα 6: Ρωγή Αντανάκλασης

1.8 Παραμόρφωση στις Ασφαλτικές Επιφάνειες

Οι παραμορφώσεις σε ασφαλτοστρωμένο οδόστρωμα προκαλούνται από αστάθεια ενός ασφαλτικού μίγματος ή αδυναμία των στρώσεων βάσης ή υπόβασης . Αυτές οι παραμορφώσεις μπορεί να περιλαμβάνουν rutting, depressions και patch failures

1.9 Rutting

Το rutting είναι μια γραμμική, επιφανειακή depression στην τροχιά του τροχού. Η διόγκωση προκαλείται από παραμόρφωση ή εδραίωση οποιουδήποτε από τα στρώματα ή υποστρώματα του οδοστρώματος. Μπορεί να προκληθεί από το ανεπαρκές πάχος του οδοστρώματος, την έλλειψη συμύκνωσης των από κάτω στρώσεων των χωμάτινων υλικών και τα αδύναμα μίγματα ασφάλτου που τοποθετούνται.



Διάγραμμα7:Rutting(Mettas et al.)

1.10 Depression

Το Depression, εντοπίζεται σε χαμηλά σημεία στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Αυτά τα ελαττώματα μπορεί να προκληθούν από την εγκατάσταση ή άλλη αστοχία στα χαμηλότερα στρώματα οδοστρώματος ή από κακές τεχνικές κατασκευής.



Διάγραμμα 8:Depression

1.11 Patch Failures

Όταν τα ασφαλτικά οδοστρώματα έχουν διορθωθεί, μπορεί να αρχίσει να υπάρχει κάποια δυσφορία. Ο ρυθμός με τον οποίο επιδιορθώνεται ένα οδόστρωμα επηρεάζεται από την συμπίεση, την επιλογή υλικών και την ποιότητα του περιβάλλοντος ή του ίδιου του οδοστρώματος.



Διάγραμμα9: Patch Failures(Mettas et al.)

1.12 Αποσάθρωση

Αποσάθρωση είναι η διάσπαση ενός ασφαλτικού οδοστρώματος σε μικρά κομμάτια που χάνονται με το χρόνο και την κυκλοφορία. Οι ραβδώσεις και οι λακκούβες είναι οι πιο συνηθισμένοι τύποι αποσάθρωσης.

1.13 Ravelling

Ravelling είναι η φθορά των σωματιδίων από το ασφαλτικό τσιμέντο. Αυτή η κατάσταση υποδεικνύει ότι η άσφαλτος έχει σκληρύνει ή ότι χρησιμοποιήθηκε ένα κακής ποιότητας μίγμα. Η εκσκαφές σε αυτή την κατάσταση πραγματοποιούνται στην παρουσία κυκλοφορίας κάτι το οποίο βοηθά την κατάσταση αυτή.



Διάγραμμα10: Raveling(Mettas et al.)

1.14 Λακκούβες

Οι λακκούβες είναι οπές σχήματος μπολ που προκαλούνται από την τοπική αποσύνθεση της επιφάνειας του ασφάλτου. Ο διαχωρισμός, οι ρωγμές ή τα αποτυχημένα έμπλαστρα μπορεί να χρησιμεύσουν ως η αρχή μιας νέας λακκούβας. Τα φτωχά μίγματα και τα αδύνατα σημεία στη βάση ή την υπόβαση επιταχύνουν τις αποτυχίες των οδοστρωμάτων.



Διάγραμμα 11: Λακκούβα (Mettasetal.)

1.15 Κίνδυνοι πρόσκρουσης

Οι κίνδυνοι πρόσκρουσης προκαλούνται από το νερό στην επιφάνεια του ασφάλτου, τα γυαλισμένα συσσωματώματα ή την περίσσεια ασφάλτου ή άλλων λιπαντικών στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Η διατήρηση ενός ασφαλτικού οδοστρώματος που επιτρέπει τη ροή νερού αποτελεί βασικό παράγοντα.

1.16 Bleeding

Μια επιφάνεια του ασφαλτικού οδοστρώματος μπορεί να ξεπλυθεί με άσφαλτο και να χάσει την αντοχή της στην ολίσθηση. Το bleeding μπορεί να προκληθεί από την υπερβολική άσφαλτο στο μείγμα, την υπερβολική δόση συνδετικού υλικού ή την επικάλυψη του δεσμού ή από την κακή κατασκευή ενός σφραγίσματος. Η αυξημένη κυκλοφοριακή κίνηση μπορεί να προκαλέσει το μίγμα να είναι ασταθές και να συμβάλλει στο bleeding.



Διάγραμμα 12: Bleeding (Mettas et al.)

1.17 Surface Treatment Distress

Οι επιφανειακές επιδιορθώσεις στα ασφαλτικά οδοστρώματα μπορούν να επιφέρουν και αυτές τα δικά τους προβλήματα. Τα προβλήματα που μπορεί να επιφέρουν είναι η απώλεια της κάλυψης των αδρανών αλλά και οι ραβδώσεις στα οδοστρώματα .

1.18 Απώλεια Κάλυψης Αδρανών

Οι επιφανειακές επεξεργασίες που πραγματοποιούνται καθημερινά στα ασφαλτικά οδοστρώματα επηρεάζουν την κάλυψη των αδρανών. Επίσης η απώλεια της κάλυψης των αδρανών μπορεί να οφείλεται στο ότι ο δρόμος μπορεί να δοθεί στην κυκλοφορία με αποτέλεσμα να μην προλαμβάνουν να δένουν τα αδρανή με τον άσφαλο. Επιπλέον η απώλεια κάλυψης μπορεί να είναι και αποτέλεσμα στο ότι δεν υπάρχει επαρκές άσφαλτος στο μίγμα .



Διάγραμμα 13: Απώλεια κάλυψης Αδρανών

1.19 Ραβδώσεις

Οι ραβδώσεις είναι η παρουσία εναλλασσόμενων λωρίδων αδρανών ή ασφάλτου. Οι ραβδώσεις προκαλούνται κυρίως από την άνιση εφαρμογή της ασφάλτου στην επιφάνεια του οδοστρώματος πριν από την εφαρμογή των αδρανών.



Διάγραμμα 14: Ραβδώσεις

Παρατηρήθηκε ότι τα οδοστρώματα παρουσιάζουν διάφορα προβλήματα – ατέλειες οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν στην καταστροφή τους . Πώς όμως αυτά τα προβλήματα θα μπορούν να γίνουν αντιληπτά εκτός από την επιτόπου οπτική επιθεώρηση ; Στο επόμενο στάδιο της μελέτης αυτής παρουσιάζονται διάφορες τεχνικές τηλεπισκόπησης που έγιναν από διάφορους μελετητές για το πώς μπορούν να αναγνωριστούν τα διάφορα προβλήματα αλλά και ταυτόχρονα πως μπορούμε μέσα από την χρήση κάποιων οργάνων να εξάγουμε διάφορα δεδομένα τα οποία μπορούν να μας οδηγήσουν στην αναγνώριση των διαφορών που παρουσιάζουν τα ασφατικά οδοστρώματα . Οι έρευνες εστίαζαν στις φασματικές υπογραφές που εξάγονταν από τα αποτελέσματα της κάθε έρευνας ξεχωριστά . Παρακάτω παρουσιάζονται οι έρευνες αυτές και τα συμπεράσματα μαζί με τους προβληματισμούς των μελετητών.

2 Εύρεση προβλημάτων των ασφαλικών οδοστρωμάτων με τη Χρήση Τεχνικών Τηλεπισκόπηση

Όπως αναφέρθηκε και στο πιο πάνω κεφάλαιο τα ασφατικά οδοστρώματα εξυπηρετούν πολλές ανάγκες καθημερινά. Υπάρχουν πάρα πολλά οδικά δίκτυα σε όλο τον κόσμο και ταυτόχρονα κατασκευάζονται καθημερινά καινούργια με σκοπό να εξυπηρετούν τους ανθρώπους . Τα οδοστρώματα αποτελούνται κυρίως από άσφαλτο . Τα ασφατικά οδοστρώματα παρουσιάζουν πολλά προβλήματα μετά την διάθεση τους στην κυκλοφορία . Τα προβλήματα αυτά εμφανίζονται κάτω από διαφορετικές συνθήκες , και επίσης το κάθε ένα πρέπει να έχει διαφορετική αντιμετώπιση αφού οι καταστάσεις δημιουργίας του είναι διαφορετικές . Υπάρχουν πολλοί τρόποι να ανιχνευτούν τα πιο πάνω προβλήματα. Ο πιο εύκολος είναι να γίνει μια επιτόπου οπτική επιθεώρηση του πεδίου από τα κατάλληλα άτομα με σκοπό να εκτιμηθεί το μέγεθος της ζημιάς , οι αιτίες της ζημιάς , καθώς επίσης να βρεθούν οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να επιδιορθωθεί το πρόβλημα. Μια σύγχρονη μέθοδος η οποία μπορεί να επιφέρει γρηγορότερα αποτελέσματα είναι η Τηλεπισκόπηση. Μέσω της τηλεπισκόπησης θα μπορούσε να ανιχνευτούν ανά πάσα στιγμή τα προβλήματα , χωρίς να χρειάζεται η επιτόπου οπτική παρακολούθηση . Φυσικά μέχρι στιγμής δεν μπορούν να ανιχνευθούν όλα τα προβλήματα μέσω της Τηλεπισκόπησης (πχ Δορυφόροι, συστήματα λέιζερ κτλ.) αλλά με την πάροδο του χρόνου και την ανάπτυξη της τεχνολογίας θα είναι πιο εφικτό. Η τηλεπισκόπηση στηρίζεται κυρίως στην διαφορά των φασματικών υπογραφών που έχουν τα οδοστρώματα ανάλογα με την ηλικία των οδοστρωμάτων . Πιο κάτω θα παρουσιαστούν μερικές έρευνες που έγιναν με βάση τα χρήσιμα διάφορων τεχνικών τηλεπισκόπησης .

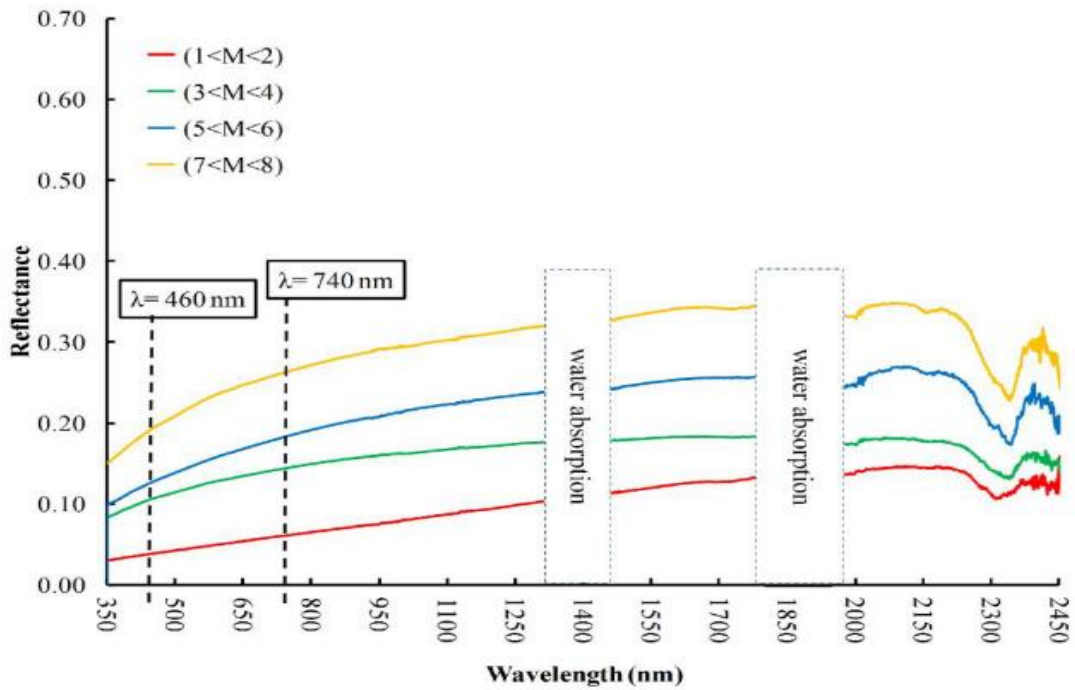
2.1 Mapping Asphalt Road Conditions with Hyperspectral Remote Sensing

Το 2004 οι Herold et al. n.d., μελέτησαν με φασματομετρία εδάφους – απεικόνιση και με επιτόπιο έλεγχο ασφαλτικά οδοστρώματα με σκοπό να εντοπίσουν την γήρανση και τη φθορά της ασφάλτου. Ανακάλυψαν ότι η φθορά και η γήρανση παράγουν μετρήσιμες μεταβολές στα φάσματα. Δημιούργησαν μια φασματική βιβλιοθήκη χρησιμοποιώντας φασματόμετρο πλήρους φάσματος ASD για τη αξιολόγηση των φασματικών χαρακτηριστικών των οδικών συνθηκών . Χρησιμοποίησαν επιπλέον το AVIRIS για να εντοπίσουν τους δρόμους . Κύριος στόχος ήταν να διερευνηθούν οι σχέσεις μεταξύ των παραμέτρων της τηλεπισκόπησης (φασματική ανάκλαση) και οι παράμετροι της οδικής κατάστασης. Η διαφορά ανάκλασης και η ένταση των απορροφήσεων υδρογονανθράκων είναι λιγότερες για ρωγμές σε σύγκριση με τις διαφορές των νέων επιφανειών ασφάλτου μεταξύ των ζωνών που κυμαίνονται στα 830 nm και στα 490 nm. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπήρξαν προβλήματα με τη φασματική βαθμονόμηση των δεδομένων Hyperspectralir υψηλής ανάλυσης . Επίσης ανέφεραν ότι οι αλγόριθμοι μπορούν να δώσουν μια πολύ καλύτερη εκτίμηση στις καταστάσεις που συνάντησαν. Οι συγκεκριμένοι αλγόριθμοι χαρτογραφούσαν και προσδιόριζαν τα οδοστρώματα υψηλής ποιότητας. Τέλος μια τεχνολογία η οποία αναδύεται μέσω του UAV (Unmanned Airborne Vehicle) σε συνδυασμό με μια άλλη τεχνολογία το VNIR μπορούν να βοηθήσουν στην περαιτέρω έρευνα και εξεύρεση περισσότερων αποτελεσμάτων και λύσεων .

2.2 Integration of Field and Laboratory Spectral Data with Multi-Resolution Remote Sensed Imagery for Asphalt Surface Differentiation.

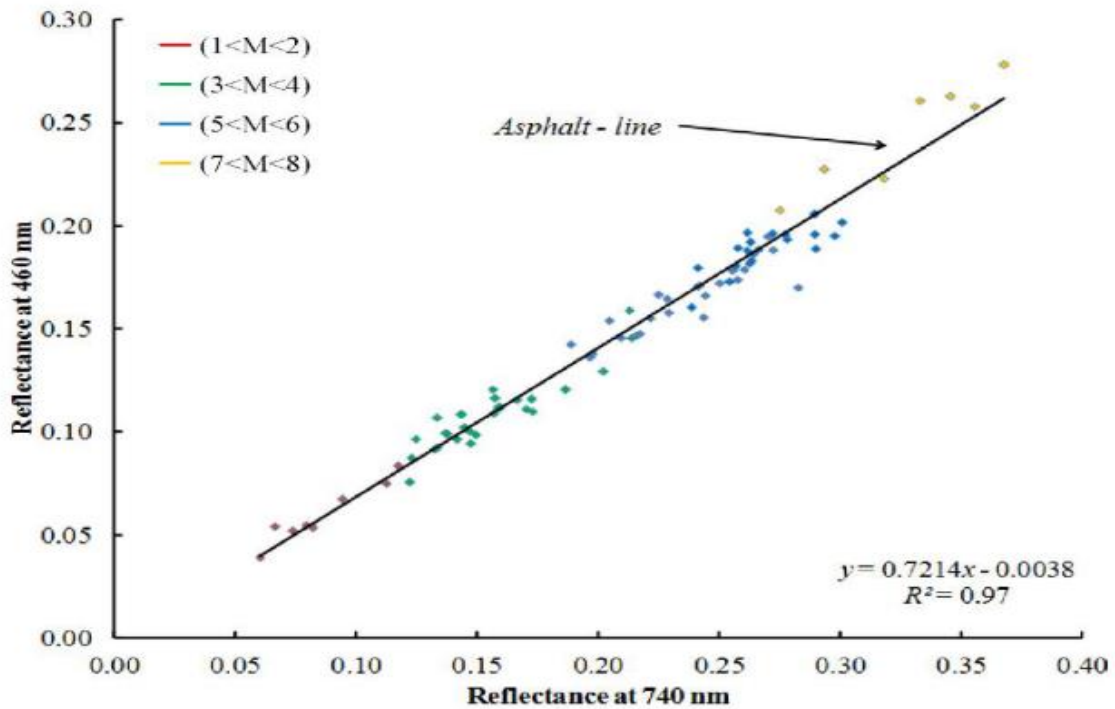
Το 2014 οι Mei et al. ,στο συγκεκριμένο άρθρο παρουσίασαν μια μελέτη – έρευνα πολλαπλών αναλύσεων για τη βελτίωση της διαφοροποίησης της επιφάνειας ασφάλτου χρησιμοποιώντας φασματομετρικά δεδομένα πεδίου, εργαστηριακή ανάλυση και τηλεανίχνευση. Χρησιμοποιήθηκαν MIVIS (Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer, Πολυφασματικό Υπέρυθρο και ορατό φασματόμετρο απεικόνισης) και πολυφασματικές εικόνες (QuickBird και Ikonos) . Κυμάνθηκαν σε δεδομένα πεδίου $\lambda = 460$ και 740 nm . Χρησιμοποίησαν μια περιοχή μελέτης στην Ιταλία την περίοδο 2007 – 2010, μελετώντας αυτοκινητόδρομους , χώρους στάθμευσης και δευτερογενείς δρόμους , με την βοήθεια υπερφασματικών εικόνων (Hyperspectral) και πολυφασματικών εικόνων (multispectral). Οι δρόμοι ήταν ηλικίας 1 μέχρι 5 χρονών , με διαφορετικές συνθήκες. Επιπλέον χρησιμοποίησαν σπεκτροραδιομετρικά δεδομένα , μετρώντας κυρίως την ένταση του φωτός που κυμαίνονταν σε μήκη κύματος από 350 – 2500 nm. Στην μεθοδολογία αναφέρεται ότι τόσο τα υπερφασματικά (Hyperspectral) και πολυφασματικά (multispectral) δεδομένα αναλύθηκαν με τηλεπισκόπηση. Τα αποτελέσματα ήταν ότι η ανάλυση των φασματικών υπογραφών πεδίου δείχνει μια σημαντική μεταβολή της κλίσης στην ορατή και σχεδόν υπέρυθρη περιοχή των φασμάτων , που συνδέεται με τη απώλεια επιφανειακής πίσσας. Χρησιμοποιώντας τιμές ανάκλασης $\lambda = 460$ nm και $\lambda = 740$ nm τα γραφήματα αποκαλύπτουν μια καλή ομαδοποίηση των εικονοστοιχείων τα οποία θα μπορούσαν να σχετίζονται μια μακροσκοπική κατηγορία ασφάλτου. Το διάγραμμα 15 παρουσιάζει τη μεταβολή της κλίσης στη φασματική περιοχή Vis η οποία μπορεί να ταιριάζει στις διεργασίες αφαίρεσης της ασφάλτου σε τιμές ανάκλασης $\lambda = 460$ nm και $\lambda = 740$ nm . Επίσης το διάγραμμα 16 παρουσιάζει τις τιμές ανάκλασης των εικονοστοιχείων ασφάλτου μαζί ως μακροσκοπική κατηγορία ασφάλτου, παρουσιάζουν μια γραμμική κατανομή τύπου ($|y = ax + b|$) που μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι η γραμμή ασφάλτου. Για να διευκολυνθούν οι διαδικασίες ταξινόμησης εικόνων, οι κλάσεις χρωμάτων Munsell ομαδοποιήθηκαν σε 4 κύριες ομάδες (αποσυνθέσεις ασφάλτου), καθένα από τις

οποιές αποτελείται από 2 κατηγορίες χρωμάτων, ως εξής: Κατηγορία 1: $1 < M < 2$;



Διάγραμμα 16: Σχέση μεταξύ $\lambda = 460 \text{ nm}$ $\lambda = 740 \text{ nm}$ τιμές ανάκλασης που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια επιτόπιων ερευνών (Mei et al.)

Κατηγορία 2: $3 < M < 4$; Κατηγορία 3: $5 < M < 6$; και κλάση 4: $7 < M < 8$.



Διάγραμμα 15: Φάσματα Υποστρωμάτων Ασφάλτου και Γραμμή Ασφάλτου (Mei et al.)

2.3 Angular spectral response from covered asphalt

Το 2007 οι Casselgren et al. , μέτρησαν την φασματική ανάκλαση σε τέσσερις διαφορετικές καταστάσεις ασφατικής επιφάνειας που ήταν ξηρή, υγρή, κατάσταση παγετού και χιονιού. Η μέθοδος αυτή εξέταζε τις μετρήσεις για να εξακριβωθεί η πιθανότητα λανθασμένης ταξινόμησης μεταξύ των επιφανειών. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε δεν έγινε στο πεδίο αλλά έγινε σε εργαστήριο με τον κατάλληλο εξοπλισμό που απαιτείτο. Ο εξοπλισμός αποτελείτο από μισή σφαίρα με την πηγή φωτός τοποθετημένη σε 0° . Επίσης χρησιμοποίησαν φώς αλογόνου για φωτισμό, φακό και άσφαλο τύπου ABTII . Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε φασματόμετρο (NIR 1,7 από την Εταιρεία Boehringher Ingelheim micro Parts GmbH) που μετρά 1100-1700 nm . Το φασματόμετρο ρυθμίστηκε για να μετρά το ποσοστό του φωτός που αντανακλάται από την επιφάνεια . Οι μετρούμενες εντάσεις ήταν οι ψηφιοποιημένες τιμές ανάγνωσης 16 bit κάθε εικονοστοιχείων της συστοιχίας ανιχνευτών. Η μετρούμενη τιμή εξαρτιόταν από το χρόνο ολοκλήρωσης και την ένταση του αντίστοιχου μήκους κύματος. Ο χρόνος ολοκλήρωσης ρυθμίστηκε στη μέγιστη τιμή για την ανίχνευση του ανακλώμενου φωτός από το νερό και τον πάγο έξω από το άμεσο αντανακλαστικό. Το φως αναφοράς μετρήθηκε κατευθείαν στον φωτισμό σε απόσταση διπλάσια από την ακτίνα της σφαίρας. Όλα τα αποτελέσματα επεξεργάστηκαν με λογισμικό . Μελετήθηκαν συγκεκριμένα τέσσερις επιφάνειες ξηρή άσφαλο, άσφαλο που καλυπτόταν με νερό, πάγο και χιόνι. Ανακάλυψαν ότι οι τέσσερις επιφάνειες χωρίζονταν σε 14 στρώσεις , από το οποίο το κάθε στρώμα αντιπροσωπεύει 344 φάσματα ανακλώμενης έντασης . Επίσης ανακάλυψαν ότι μπορούν να αναγνωριστούν οι διαφορετικές συνθήκες ασφάλτου με το NIR φασματόμετρο σε εργαστηριακό περιβάλλον. Τέλος αυτές οι συνθήκες ανιχνεύσιμες με χαμηλή πιθανότητα λανθασμένης ταξινόμησης εύρους 1%-4% .

2.4 Assessing the impacts of climate change on road infrastructure

Το 2017 οι Shao et al., μελέτησαν πως οι κλιματικές αλλαγές μπορούν να επιφέρουν σημαντικά προβλήματα στους δρόμους. Οι αλλαγές που επέρχονται στο περιβάλλον όπως η αύξηση της θερμοκρασίας επιφέρει γήρανση της πίσσας της ασφάλτου κατά 90%. Επίσης η αύξηση της βροχόπτωσης επιφέρει μεταβολή στην υγρασία με αποτέλεσμα να επέρχεται πιο γρήγορα η φθορά. Η έρευνα αυτή αποσκοπεί στην αξιολόγηση των πιθανών επιπτώσεων στην αλλαγή του κλίματος για την περιοχή του νοτιοανατολικού Queensland της Αυστραλίας κατά τα επόμενα 90 χρόνια και περαιτέρω προσδιορισμό και αξιολόγηση των πιθανών επιπτώσεων της αλλαγής του κλίματος στα οδοστρώματα. Οι δρόμοι στην συγκεκριμένη περιοχή είχαν μήκος 180,500 km. Οι δρόμοι σχεδιάζονται για να έχουν ζωή περίπου 20-40 χρόνια ανάλογα με το σχεδιασμό, όμως οι κλιματικές αλλαγές που επιφέρουν αύξηση της θερμοκρασίας και αλλαγή της βροχόπτωσης μπορούν να επιφέρουν αλλαγές στις ισορροπίες με αποτέλεσμα η διάρκεια ζωής να είναι λιγότερη από ότι σχεδιάστηκε. Για την μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο το HDM-4 που προβλέπει την επιδείνωση του οδοστρώματος ως συνάρτηση της κατάστασης του οδοστρώματος, της κυκλοφοριακής φόρτωσης, των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και των επιπτώσεων συντήρησης. Σε αυτή τη μελέτη, η ανάλυση μοντέλων επαναλαμβάνεται για οδικά τμήματα με διαφορετικά επίπεδα κυκλοφορίας και διάφορες αρχικές συνθήκες, προσδιορίζοντας έτσι την υποβάθμιση των οδοστρωμάτων που αντιπροσωπεύουν διαφορετικό επίπεδο οδικής ιεραρχίας. Η κατάσταση του οδοστρώματος εκφράζεται με την ένταση του ασφάλτου. Το επίπεδο κυκλοφορίας εκφράζεται με βάση την ετήσια μέση ημερήσια κυκλοφορία (AADT) και τη σύνθεση της κυκλοφορίας. Με όσα μελετήθηκαν στην μελέτη αυτή εξάχθηκαν τα πιο κάτω αποτελέσματα :

1. Η βροχόπτωση και η θερμοκρασία είναι οι κυριότεροι κλιματικοί παράγοντες που επηρεάζουν την υποβάθμιση του οδοστρώματος.
2. Η ανάλυση των τάσεων της κλιματικής αλλαγής δείχνει μια μέση αύξηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας κατά 1,1 ° C από το 2007 έως το 2040, από 2,4 ° C έως το 2070 και από τους 3,7° C μέχρι το 2099.

3. Οι μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις προβλέπεται να μειωθούν κατά περίπου 22% έως το 2040, κατά 32% έως το 2070 και κατά 42% κατά 2099.

4. Με βάση τη βαθμονόμηση HDM-4 των τοποθεσιών LTPP, αναπτύχθηκε μια σχέση μεταξύ του δείκτη υγρασίας Thornthwaite και των μέσων ευέλικτων ποσοστών φθοράς του οδοστρώματος στο IRI / έτος. Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της πρόβλεψης επιδόσεων οδοστρώματος σε επίπεδο δικτύου λόγω των αλλαγών του κλίματος που αντιπροσωπεύουν οι αλλαγές στο δείκτη υγρασίας Thornthwaite.

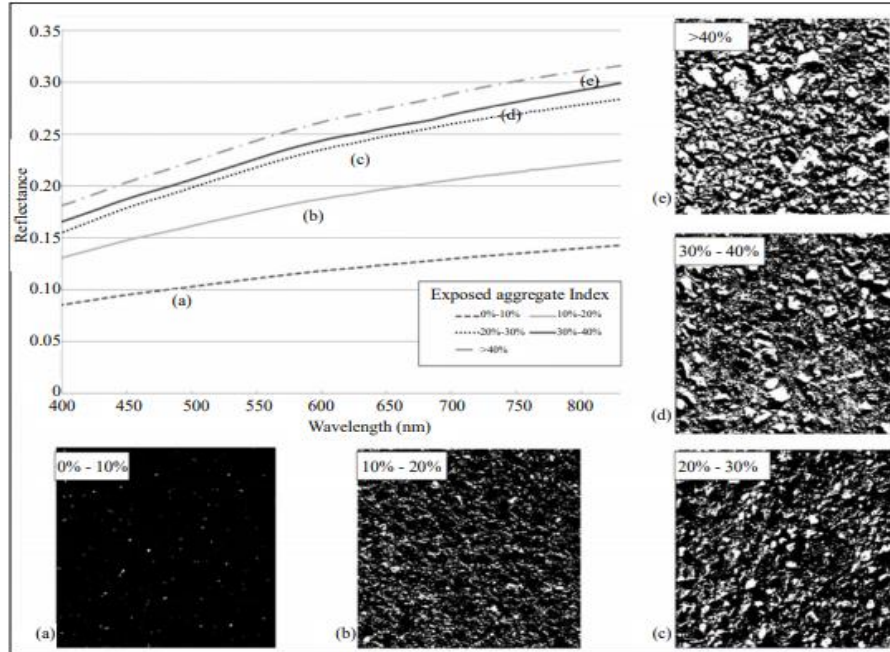
2.5 Road Asphalt Pavements Analyzed by Airborne Thermal Remote Sensing: Preliminary Results of the Venice Highway

Το 2008 οι Pascucci et al., προσπάθησαν να αξιολογήσουν τα ελαττώματα της επιφάνειας του ασφαλτικού οδοστρώματος χρησιμοποιώντας airborne emissivity data. Οι έρευνες έγιναν σε με αστική περιοχή κοντά στη Βενετία της Ιταλίας. Για την συγκεκριμένη έρευνα προσδιορίστηκαν και επιλέχθηκαν ασφατικές οδοστρώσεις των δρόμων σε εικόνες MIVIS. Τα πρωτογενή ελαττώματα που εμφανίζονται είναι η εκσκαφή, η έκπλυση και η στίλβωση. Οι μέθοδοι ήταν προ επεξεργασία εικόνας με ραδιομετρική βαθμονόμηση των ακατέργαστων δεδομένων, ατμοσφαιρική διόρθωση των δεδομένων θερμικού υπέρυθρου και βαθμονόμηση σε εμφανή ικανότητα εκπομπής με διαχωρισμό θερμοκρασίας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η airborne remote sensing είναι χρήσιμη για τον εντοπισμό δρόμων, και η διάκριση τους σε αυτούς που γίνονται εργασίες συντήρησης. Τέλος αξιολογήθηκε η δυναμικότητα εκτίμησης των επιφανειών ελαττωματικών ασφάλτων με τη χρήση δεδομένων αερομεταφερόμενων thermal InfaRed. τα αποτελέσματα αλλοιώνονται από την θερμότητα και την φωτεινότητα.

2.6 Bitumen Removal Determination on Asphalt Pavement Using Digital Imaging Processing and Spectral Analysis

Το 2014 οι Mei et al. ασχολήθηκαν με σκοπό την ποσοτικοποίηση αφαίρεσης της ασφάλτου στην επιφάνεια του δρόμου χρησιμοποιώντας ψηφιακή επεξεργασία εικόνας(DIP) και φασματική ανάλυση. Η ανάκτηση της αφαίρεσης της ασφάλτου είναι ένα σημαντικό ζήτημα για τη διαχείριση των οδικών και περιβαλλοντικών μελετών σχετικά με την φθορά της ασφάλτου και τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Για την συγκεκριμένη έρευνα πάρθηκαν ένα σύνολο 200 ψηφιακών εικόνων ασφάλτου, με τις αντίστοιχες φασματικές υπογραφές. Για τη συγκεκριμένη μελέτη λήφθηκαν διαφορετικές επιφάνειες ασφάλτου με διαφορετικές ζημιές. Οι εικόνες λήφθηκαν με ψηφιακή φωτογραφική μηχανή με εστίαση 35mm και αισθητήρα 10,7 megapixels. Κάθε εικόνα αποκτήθηκε με διαβαθμισμένο χάρακα βαθμονόμησης (40 cm × 40 cm) που τοποθετιόταν πάντα στην ίδια θέση. Αυτός ο χάρακας αναφοράς έχει ασπρόμαυρες λωρίδες, πλάτος 5 cm που επιτρέπουν ένα πεδίο προ-βαθμονόμησης για κάθε εικόνα. Για κάθε στόχο πραγματοποιήθηκε φασματική μέτρηση χρησιμοποιώντας υπερφασματική φορητή συσκευή (Fieldspec3-A.S.D.) η οποία μετρά την ακτινοβολία ($W \cdot sr^{-1} \cdot M^{-2}$) σε μια περιοχή από 350 nm έως 2500 nm. Με βάση τις τεχνικές αναγνώρισης προτύπων, επιτρέπει την παραγωγή επαναληπτικών μετρήσεων για να εκτιμηθεί η ποσότητα ασφάλτου που αφαιρείται από την επιφάνεια ασφάλτου και επιτρέπει την ποσοτικοποίηση της συνολικής έκθεσης στην ατμόσφαιρα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τον υπολογισμό του Exposed Aggregate Index (EAI) και με την πραγματοποίηση μιας συσχέτισης με τα φασματικά δεδομένα. Το σχήμα 19 παρουσιάζει τις φασματικές υπογραφές πέντε διαφορετικών στόχων με διαφορετική ποσότητα εκτεθειμένων αδρανών) 0% <EAI <10%, β) 10% <EAI <20%, γ) 20% <EAI <30%. Τα αποτελέσματα αυτού του υπολογισμού δείχνουν την αύξηση των τιμών ανάκλασης στην περιοχή VIS με την αύξηση της EAI. Οι τάξεις EAI μπορούν να αναφέρονται στο ποσοστό επιφανειακής πίσσας (BIT) πάνω σε αδρανή όπως: α) 90% <BIT <100%, β) 80% <BIT <90%, γ) 70% <BIT <60% <BIT <70% και ε) BIT <60%. Ενώ οι τιμές του πρώτου παραγώγου στα 400 nm δεν παρουσιάζουν μεγάλες τιμές συσχετίσεων με την EAI, η διαφορά ορατού εύρους (VIS) και των δεικτών (I_{MEE}) φαίνεται να επαρκεί για την ανάκτηση της επιφανειακής αφαίρεσης της ασφάλτου επίσης με τη χρήση και των δύο

υπερφασματικών και πολυφασματικών δεδομένων. Τέλος η προτεινόμενη μεθοδολογία, με βάση τις τεχνικές αναγνώρισης προτύπων, επιτρέπει την παραγωγή επαναλαμβανόμενων μετρήσεων για την εκτίμηση της ποσότητας ασφάλτου που αφαιρείται στην επιφάνεια ασφάλτου και επιτρέπει την ποσοτικοποίηση της συνολικής έκθεσης στην ατμόσφαιρα.



Διάγραμμα 17: Αντανάκλαση πέντε διαφορετικών φασματικών υπογραφών στόχων με διαφορετικά επίπεδα EAI (Mei et al.)

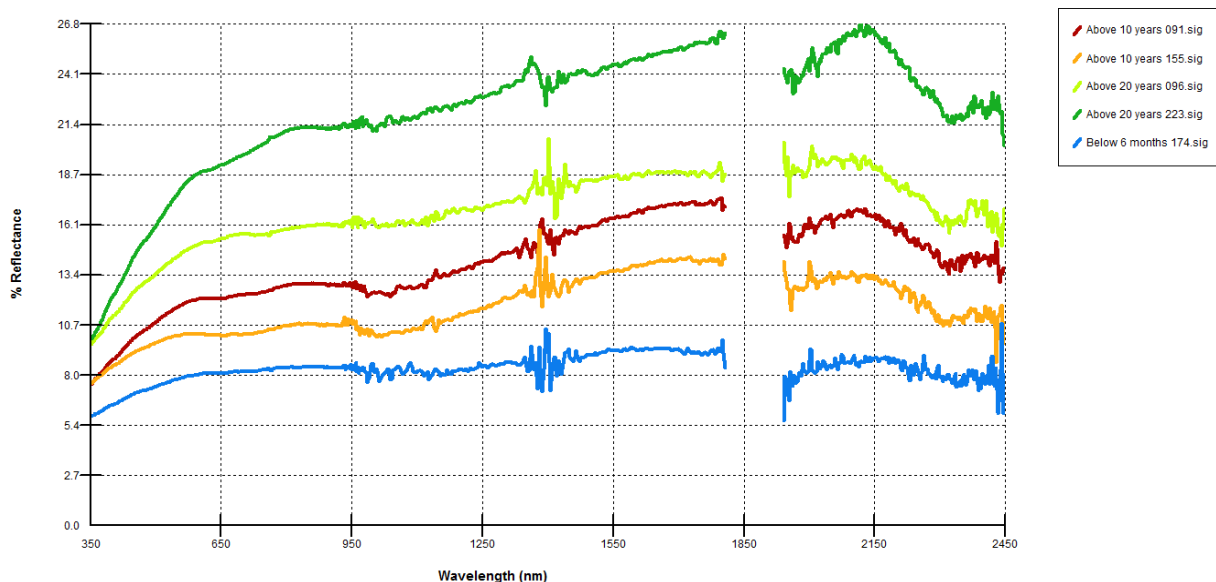
2.7 Detection of Asphalt Pavement Potholes and Cracks Based on the Unmanned Aerial Vehicle Multispectral Imagery

Σε μια μελέτη που έγινε το 2018 από τους Pan et al. ,χρησιμοποιήθηκαν πολυφασματικές εικόνες που λήφθηκαν από μη επανδρωμένο αεροσκάφος, με σκοπό να διακρίνουν τα οδοστρώματα που ήταν σε καλή κατάσταση σε σχέση με αυτά που είχαν προβλήματα όπως ρωγμές . Ο δρόμος ο οποίος μελέτησαν βρισκόταν σε μια αγροτική περιοχή της Κίνας και είχε κατασκευαστεί το 2006 , Ο μισός δρόμος το 2010 ξανακατασκευάστηκε . Το συνολικό μήκος του δρόμου που μελετήθηκε ήταν 500m. Οι ρωγμές είχαν πλάτος περίπου 2,8 cm και οι λακκούβες περίπου 97 cm. Για την έρευνα αυτή χρησιμοποιήθηκε multispectral camera η οποία λάμβανε εικόνες από το οδόστρωμα της 29 Ιουλίου 2017 και κυμαινόταν σε ένα μήκος κύματος από 450 nm μέχρι 1000nm. Το UAV που χρησιμοποιήθηκε το οποίο ήταν επανδρωμένο με κάμερες διενήργησε μια πτήση το μεσημέρι χωρίς σύννεφα και με μικρή ταχύτητα ανέμου με σκοπό να επιτευχθεί το πείραμα χωρίς να επηρεάζεται από σκιά που θα δημιουργούσαν οι καιρικές συνθήκες. Η πτήση εκτελέστηκε σε ύψος 25m από το έδαφος. Χρησιμοποιήθηκε επιπλέον GPS σε 14 σημεία του οδοστρώματος , καθώς επίσης ένας αλγόριθμος για ανάλυση των δεδομένων ο οποίος ήταν ενσωματωμένος σε ένα λογισμικό και τέλος χρησιμοποιήθηκε το ArcGIS για να εξήχθη η περιοχή του δρόμου με το χέρι .Όλες οι εικόνες που αποκτήθηκαν από το σύστημα τηλεπισκόπησης UAV ταξινομήθηκαν σε δύο κατηγορίες: το ένα περιλάμβανε μόνο τα κανάλια RGB (Band5, Band3 και Band1) κάθε εικόνας ως κοινή ψηφιακή εικόνα (εικόνες RGB) και το άλλο περιλαμβάνει όλες τις 12 ζώνες εικόνων (Band1-Band12) για να αντιπροσωπεύει το MSI. Η μελέτη έδειξε ότι τα χωρικά χαρακτηριστικά συνέβαλαν πολύ περισσότερο στην ακρίβεια της ανίχνευσης των ρωγμών και των λακκουβών, από ότι τα φασματικά για τα RGB και τα 12-band MSI. Οι τρεις τύποι χαρακτηριστικών που εξάγονται από το UAV MSI μπορούν να επιτύχουν την καλύτερη ταξινόμηση και το λιγότερο χρόνο εκτέλεσης εάν χρησιμοποιούν έναν ταξινομητή RF 18 δέντρων. Η συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης ρωγμών, λακκουβών και μη οδοστρωμένων οδοστρωμάτων είναι 98,3% με το UAV MSI. Τέλος, η πλατφόρμα UAV διαμορφωμένη με πολυφασματικούς απομακρυσμένους αισθητήρες μπορεί να

παρέχει ένα πολύτιμο εργαλείο για την παρακολούθηση της κατάστασης του ασφαλτικού οδοστρώματος.

2.8 Monitoring Asphalt Pavement Damages Using Remote Sensing Techniques

Σε μια μελέτη που έγινε τον Φεβρουάριο του 2015 στην Κύπρο και συγκεκριμένα στην περιοχή της Πάφου οι ερευνητές είχαν ο κύριο σκοπό να ανιχνεύσουν τα κατεστραμμένα ασφαλτικά οδοστρώματα χρησιμοποιώντας τεχνικές τηλεπισκόπησης και μερικά τυπικά φασματικά προφίλ διάφορων ασφαλτικών οδοστρωμάτων που αποκτήθηκαν με τη χρήση του σπεκτροραδιόμετρου SVC1024. Κυρίως σκοπός της συγκεκριμένης μελέτης ήταν να χρησιμοποιηθούν τρεις διαφορετικοί τρόποι τηλεπισκόπησης με σκοπό να γίνει αναγνωρίσει και χαρτογράφηση των ζημιών των ασφαλτικών οδοστρωμάτων. Ο εξοπλισμός που είχε χρησιμοποιηθεί για την μελέτη αυτή ήταν σπεκτροραδιόμετρο τύπου SVC 1024 που έχει μήκος κύματος 350 - 2500 nm. Επίσης χρησιμοποιήθηκε με επανδρωμένο σκάφος UAV με κάμερες υψηλής ανάλυσης (θερμικές, πολυφασματικές και υπέρυθρες) και επιπλέον είχαν χρησιμοποιηθεί δορυφορικοί αισθητήρες. Όλα τα δεδομένα συγκρίθηκαν με τη φασματική βιβλιοθήκη του σπεκτροραδιόμετρου SVC 1024. Όλοι οι δρόμοι που χρησιμοποιήθηκαν ήτα διαφορετικών ηλικιών (νέοι , >10, >20 χρόνια) και ταυτόχρονα είχαν διαφορετικές ζημιές. Το Διάγραμμα 18 παρουσιάζει τα φασματικά δείγματα από κάθε δρόμο που μελετήθηκε, χωρίς δομική βλάβη. Η μπλε γραμμή είναι τα φασματικά δεδομένα του νέου δρόμου, η πορτοκαλί και οι κόκκινες γραμμές είναι τα δεδομένα των δρόμων ηλικίας άνω των 10 ετών, ενώ οι δύο πράσινες γραμμές απεικονίζουν τους δρόμους ηλικίας άνω των 20 ετών. Ο φρέσκος δρόμος φαίνεται να είναι αυτός με μικρότερη ανάκλαση, ενώ όλα τα άλλα δείγματα έχουν αυξημένη ανάκλαση. Τέλος από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι η γήρανση αυξάνει την ανάκλαση ενώ οι ρωγμές την μειώνουν.



Διάγραμμα 18: Δρόμοι διαφορετικών ηλικιών χωρίς δομικές ζημιές (Mettas et al. n.d.)

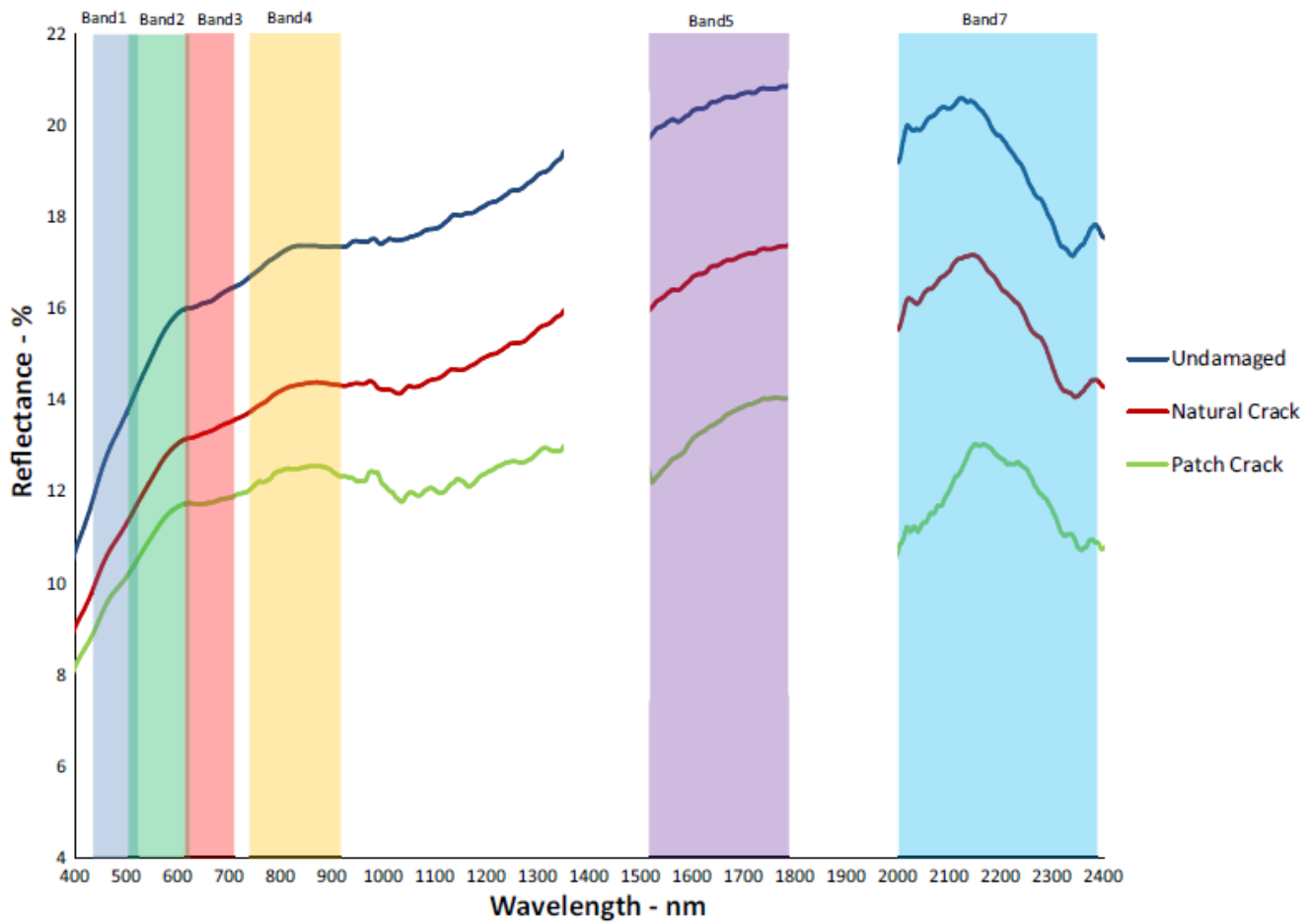
2.9 Detecting Forest Road Wearing Course Damage Using Different Methods of Remote Sensing

Σε μια πρόσφατη έρευνα που έγινε το 2018 από τους Hruza et al., στην Τσέχικη Δημοκρατία, εφαρμόστηκαν τέσσερις διαφορετικές μέθοδοι τηλεπισκόπησης με κύριο στόχο να επαληθευτεί η πιθανότητα και η ακρίβεια της βλάβης της πορείας στο δρόμο σε Δασικούς δρόμους οι οποίοι κατασκευάστηκαν στο δεύτερο μισό του περασμένου αιώνα με αποτέλεσμα να έχουν φθαρεί και να καταστραφεί. Οι επιστήμονες που έκαναν την έρευνα εφάρμοσαν τις ακόλουθες μεθόδους φωτογραμμετρία κοντινού εύρους, επίγεια σάρωση λέιζερ, σάρωση μέσω κινητού λέιζερ και σάρωση με αερομεταφερόμενο λέιζερ. Για τις προαναφερθέντες μεθόδους χρησιμοποιήθηκαν τα πιο κάτω όργανα :κάμερα GoPro Hero 5, λογισμικό AGISOFT PhotoScan, ArcGIS, Χρησιμοποιήθηκαν επεκτάσεις 3D Analyst και Spatial Analyst για την επεξεργασία, μετρητής λέιζερ Faro Focus 3D, στατικός πανοραμικός σαρωτής του τύπου "Phase-Shift, σαρωτής Riegl VMX-450, δεδομένα από μόνιμους σταθμούς GNSS, λογισμικό Arplanix POSPac MMS, λογισμικό OPALS (Orientation and Processing of Airborne Laser Scanning data) και φωτογραμμετρικό αεροσκάφος L-410. Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν έδειξαν ότι οι διαφορές που υπολογίστηκαν μεταξύ συγκεκριμένων μοντέλων και γεωδαιτικών μετρήσεων έδειξαν ότι η φωτογραμμετρία μικρής εμβέλειας πέτυχε ένα RMSE (Root Mean Square Error: μέθοδος στατιστικού

μοντέλου που υπολογίζεται με μαθηματικό τύπο) = 0,0110 m και της επίγειας σάρωσης λέιζερ ήταν $RMSE = 0,0243$ m. Με βάση αυτά τα αποτελέσματα, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι αυτές οι δύο μέθοδοι είναι επαρκείς για την παρακολούθηση της πορείας ασφάλτου σε δασικούς δρόμους. Αυτές οι μέθοδοι επιτρέπουν τον ακριβή και αντικειμενικό εντοπισμό, το μέγεθος και τον ποσοτικό προσδιορισμό της οδικής ζημίας. Αντίθετα, η φορητή σάρωση λέιζερ με $RMSE = 0,3167$ m δεν φτάνει στην απαιτούμενη ακρίβεια για την ανίχνευση ζημιών σε δασικούς δρόμους λόγω της βλάστησης που επηρεάζει την ακρίβεια των μετρήσεων. Παρόμοια αποτελέσματα επιτυγχάνονται με αερομεταφερόμενη σάρωση με λέιζερ, με $RMSE = 0,1339$ m. Όσον αφορά τον απαιτούμενο χρόνο, η φωτογραμμετρία μικρής εμβέλειας φαίνεται να είναι η καταλληλότερη μέθοδος για την ανίχνευση ζημιών σε δασικούς δρόμους.

2.10 Risk provision using field spectroscopy to identify spectral regions for the detection of defects in flexible pavements

Αυτό το άρθρο περιγράφει μια σειρά διαφορετικών μεθοδολογιών τηλεπισκόπησης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση ασφαλικών οδοστρωμάτων, με τη χρήση φασματοσκοπίας πεδίου για την εξέταση ασφαλικών οδοστρωμάτων διαφορετικής ηλικίας και καταστάσεων. Όλες οι μετρήσεις έγιναν τον Φεβρουάριο το 2015 σε ασφατικά οδοστρώματα που είχαν διαφορετική ηλικία από 1 ετών μέχρι άνω των 20 ετών. Επίσης οι χρησιμοποιήθηκαν 4 κατηγορίες ασφαλικών οδοστρωμάτων: ασφαλτοστρωμένο οδόστρωμα χωρίς ρωγμές, φυσικά σχηματισμένες ρωγμές, ρωγμές που σχηματίστηκαν λόγω της κατασκευής δρόμων και γυαλισμένες με άσφαλο επιφάνειες. Τα δεδομένα για την έρευνα αυτή συλλέχτηκαν με το σπεκτροραδιόμετρο SVC 1024 το οποίο έχει φασματικό εύρος 350-2500 nm. Οι εμπρόσθιοι οπτικοί φακοί που χρησιμοποιήθηκαν είχαν οπτικό πεδίο 4 και όλα τα δεδομένα συλλέχθηκαν από ύψος 1,10 m, πράγμα που σημαίνει ότι κάλυπτε κύκλο 0,08 m διάμετρος. Το όργανο χρησιμοποιεί τρεις ανιχνευτές που εκτείνονται σε ορατές, υπέρυθρες και βραχείες υπέρυθρες ακτίνες με εύρος ζώνης: B3,5 nm για 350-1000 nm, B3,8 nm για 1000-1885 nm και B2,5 nm για 1885-2500 nm. Ένας βαθμονομημένος πίνακας φασματοσκοπίου χρησιμοποιήθηκε ως λευκό σημείο αναφοράς και θεωρήθηκε ως επιφάνεια Lambertian. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε δορυφόρος τύπου Landsat 7. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε από τους μελετητές παρουσιάζεται σε τέσσερα βήματα :Συλλογή και ανάλυση δεδομένων in situ, Ανάλυση «In-band» για το Landsat 7, Κατάλληλες ταινίες για τον εντοπισμό ελαττωμάτων ασφάλτου και Επικύρωση των αποτελεσμάτων. Το διάγραμμα 19 παρουσιάζει την διαφορά της ανακλαστικότητας ανάμεσα σε ασφαλτοστρωμένο οδόστρωμα χωρίς ρωγμές, φυσικά σχηματισμένες ρωγμές, ρωγμές που σχηματίστηκαν λόγω της κατασκευής δρόμων και το διάγραμμα 20 δείχνει την διαφορά της διακύμανσης της ανακλαστικότητας μεταξύ ασφαλτοστρωμένου οδοστρώματος χωρίς ρωγμές και γυαλισμένες με άσφαλο επιφάνειες. Τέλος τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχουν φασματικές διαφορές σε σχέση με ελαττώματα ασφάλτου, όπως είναι η φυσική ρωγμή, η σπασμένη ρωγμή και η στίλβωση.



Διάγραμμα 19: Διαφορά ανακλαστικότητα ανάμεσα σε ασφαλτοστρωμένο οδόστρωμα χωρίς ρωγμές, φυσικά σχηματισμένες ρωγμές, ρωγμές που σχηματίστηκαν λόγω της κατασκευής δρόμων (Mettas et al.)

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω η εξέλιξη της τεχνολογίας βοήθησε αρκετά ώστε να μπορούμε να ανιχνεύουμε τα προβλήματα που παρουσιάζονται στα ασφαλικά οδοστρώματα. Όπως βλέπουμε έγιναν αρκετές έρευνες και μελέτες σε διάφορα ασφαλικά οδοστρώματα με διαφορετικές ατέλειες, προβλήματα αλλά και ταυτόχρονα με διαφορετικές ηλικίες κατασκευής. Οι ερευνητές δεν περιορίστηκαν μόνο στην οπτική έρευνα αλλά χρησιμοποίησαν διάφορες μεθόδους τηλεπισκόπησης όπως Δορυφόρους , ραδιόμετρα , κάμερες , συστήματα GPS κτλ. με σκοπό να μπορούν να έχουν όσο γίνεται περισσότερα δεδομένα για να μπορέσουν να επιτύχουν αποτελέσματα τα οποία θα αξιοποιηθούν και στα επόμενα χρόνια. Με βάση των όσον μελετήθηκαν, συλλέχτηκαν οι κατάλληλες πληροφορίες με σκοπό να γίνει μια έρευνα εκ μέρους μου για να παρουσιαστεί πιο κάτω η μεθοδολογία που ακολούθησα καθώς και τα αποτελέσματα μου όσον αφορά την έρευνα μου χρησιμοποιώντας μεθόδους τηλεπισκόπηση . Μέσα από την δική μου έρευνα θα εξαχθούν τα αποτελέσματα μου σε όσα μελετήθηκαν με κύριο σκοπό να παρουσιαστεί ένα micrixel, μέσω διαγράμματος από το οποίο θα μπορούμε να δούμε πόσο επηρεάζει η κάθε ατέλεια ξεχωριστά το οδόστρωμα και ταυτόχρονα σε πιο ποσοστό μπορεί πρέπει να είναι για να είναι εμφανές από τρεις δορυφόρους παράλληλα.

3 Μελέτη Προβλημάτων και Ατελειών Ασφαλτικών Οδοστρωμάτων Χρησιμοποιώντας Διάφορες Τεχνικές Τηλεπισκόπησης

3.1 Σκοπός Έρευνας- Μελέτης

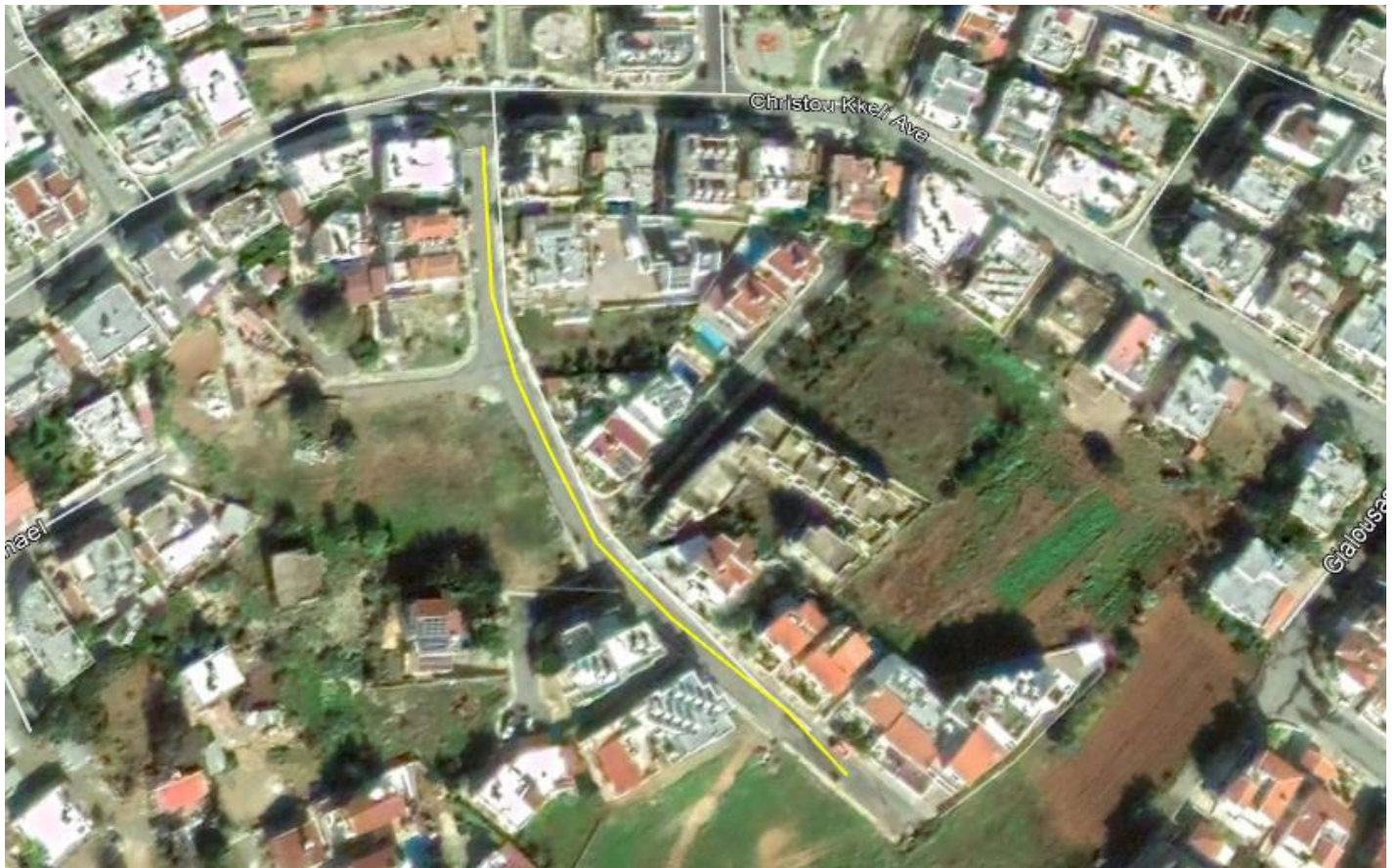
Η μελέτη – έρευνα που έκανα είχε ως κύριο σκοπό να παρουσιαστούν οι φασματικές υπογραφές των ασφαλτικών οδοστρωμάτων που είχαν διαφορετική ηλικία μεταξύ τους και ταυτόχρονα διαφορετικές ατέλειες. Έπειτα μέσα από τις φασματικές υπογραφές των οδοστρωμάτων και των ατελειών παρουσιάζεται ένα mix pixel μέσω γραφήματος για το κάθε οδόστρωμα, δηλαδή σε πόσο ποσοστό θα πρέπει να βρίσκεται η κάθε ατέλεια ανάλογα με το οδόστρωμα στο οποίο βρίσκεται για να είναι εμφανές από τρεις δορυφόρους χαμηλής, μέσης και υψηλής ανάλυσης.

3.2 Περιοχή Μελέτης – Έρευνας

Η μελέτη έγινε στην Επαρχία Πάφου στην κοινότητα Έμπας το Μάιο του 2020. Μελετήθηκαν τρεις διαφορετικοί δρόμοι της κοινότητας με διαφορετικές ηλικίες και διαφορετικά προβλήματα. Οι δρόμοι είχαν διαφορά ηλικίας κατασκευής τα 3,4 και 1 χρόνο αντίστοιχα, δηλαδή κατασκευάστηκαν το 2015,2016 και 2019. Η επιλογή των συγκεκριμένων περιοχών έγινε με χαρακτηριστικό την διαφορά ηλικίας , αλλά και τις διάφορες ατέλειες που παρουσίαζαν τα οδοστρώματα λόγω της ηλικίας τους. Πιο κάτω παρουσιάζονται οι δρόμοι που μελετήθηκαν μέσα από εικόνες του Google Earth.



Διάγραμμα 20: Οδός Γρηγόρη Αυξεντίου και 28^{ης} Οκτωβρίου , Έτος Κατασκευής 2015



Διάγραμμα 22: Οδός Ιάκωβου Πατάτσου , Έτος Κατασκευής 2016

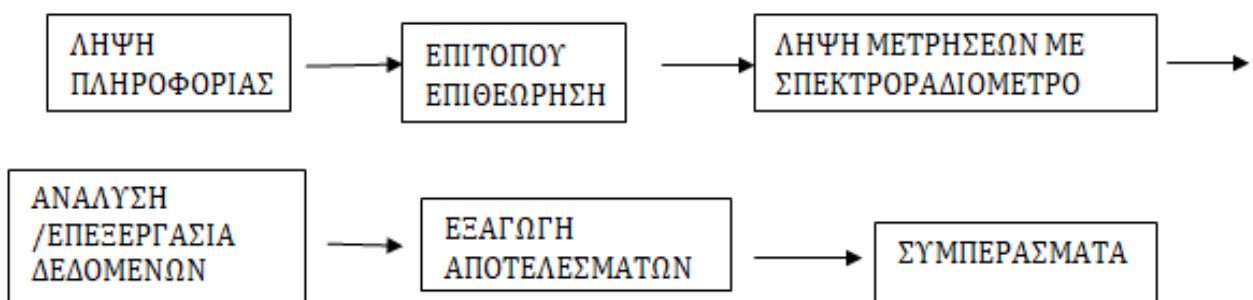


Διάγραμμα 21 Οδός Ανδρέα Έλληνα , Έτος Κατασκευής 2019

3.3 Μεθοδολογία Έρευνας

Αρχικά συλλέχτηκαν οι πληροφορίες για τις περιοχές που θα μελετούσαμε. Αφού επικοινωνήσα με τα δημόσια έργα με παρέπεμψαν στην κοινότητα Έμπας . Μετά από επικοινωνία με τον Μηχανικό της κοινότητας μου δόθηκαν κάποιες περιοχές τις οποίες είχαν κατασκευάσει τα τελευταία έξι χρόνια. Πριν μεταβώ στην περιοχή , χρησιμοποιήθηκε Google Earth όπου τοποθετήθηκαν τα σημεία και παρουσιάζονται πιο πάνω οι εικόνες των περιοχών που μελετήθηκαν όπως λήφθηκαν από το πρόγραμμα και με κίτρινο χρώμα παρουσιάζονται οι δρόμοι που μελετήθηκαν. Αφού έλαβα την πληροφορία μετέβηκα στις συγκεκριμένες περιοχές με σκοπό να αξιολογηθεί η κατάσταση που βρίσκονταν τα οδοστρώματα. Μετά από την επιτόπου οπτική επιθεώρηση επιλέχτηκαν τρία οδοστρώματα τα οποία είχαν κατασκευαστεί το 2015,2016 και 2019 αντίστοιχα. Η επιλογή έγινε με βάση το έτος κατασκευής αλλά και με τις ατέλειες που παρουσίαζε το κάθε οδόστρωμα ξεχωριστά για να μπορούμε να έχουμε ένα πρόσφατο αλλά και κάποια πιο παλιά οδοστρώματα για να είναι εμφανείς οι διαφορές μεταξύ τους . Τα οδοστρώματα είχαν διαφορά 1 χρόνο, 3 χρόνια και 4 χρόνια. Λόγω του περιορισμένου χρόνου δεν μπορούσαν να μετρηθούν και άλλα ενδιάμεσα οδοστρώματα για να έχουμε καλύτερα αποτελέσματα για σύγκριση αλλά και περισσότερα δεδομένα. Για την μέτρηση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε σπεκτροραδιόμετρο τύπου SVC 1024 το οποίο καλύπτει εύρος μήκους κύματος από 350nm–μέχρι 2500nm. Επιπρόσθετά για τις μετρήσεις των ατελειών χρησιμοποιήθηκε μέτρο για να μπορούμε να γνωρίζουμε το μέγεθος τους και τα πάχη που είχαν. Με το σπεκτροραδιόμετρο μετρήθηκε το κάθε οδόστρωμα 3 φορές μια στα αριστερά , μια στα δεξιά και μια στο κέντρο με σκοπό να έχουμε ένα αριθμό της τάξεως των εκατόν μετρήσεων για το κάθε οδόστρωμα σε καθαρό άσφαλτο απαλλαγμένο από ατέλειες . Μετά στο κάθε οδόστρωμα μετρήθηκε η κάθε ατέλεια ξεχωριστά με το ίδιο όργανο , λαμβάνοντας τρεις με τέσσερις μετρήσεις για την κάθε μια ξεχωριστά ανάλογα με το μέγεθος που καταλάμβανε στο δρόμο. Αφού συλλέχτηκε όλη η πληροφορία μετέβηκα στο γραφείο για περισσότερη μελέτη και εξαγωγή αποτελεσμάτων. Εξάχθηκαν όλα τα δεδομένα από το όργανο και διαχωρίστηκαν στο πρόγραμμα excel. Αφού έγινε ο διαχωρισμός των μετρήσεων με βήμα 5nm (δηλαδή από το 350 nmμέχρι το 2500 nm ,με βήμα 5 nm) , υπολογίστηκε ο

μέσος όρος των μετρήσεων μας για να εξαχθούν τα γραφήματα, που δείχνουν τις φασματικές υπογραφές των οδοστρωμάτων με ατέλειες και χωρίς ατέλειες για το καθένα ξεχωριστά. Αφού ήταν εμφανές οι διαφορές με την βοήθεια και πάλι του excel δημιουργήθηκε ένα γράφημα για τον κάθε δρόμο ξεχωριστά , πάνω στο οποίο παρουσιάζεται η φασματική υπογραφή του δρόμου χωρίς ατέλειες αλλά και ταυτόχρονα η φασματική υπογραφή του δρόμου μαζί με τις ατέλειες του και έτσι δίνεται το γράφημα για το mix pixel. Για να γίνει το συγκεκριμένο γράφημα τοποθετήθηκαν διάφορα βάρη στις μετρήσεις κάθε ατέλειας με μορφή ποσοστού , αλλά και στις μετρήσεις του καθαρού ασφάλτου. Η πρόσθεση του κάθε ενός μας έδινε το γράφημα που θέλαμε. Έπειτα επιλέχθηκαν τρεις δορυφόροι χαμηλής , μέσης και υψηλής ανάλυσης που ήταν οι Landsat 8, Spot 7 και World View 3. Από τον κάθε δορυφόρο είδαμε πόσα τετραγωνικά εκατοστά αντιπροσωπεύει με σκοπό να δούμε πόσα τετραγωνικά θα αντιπροσωπεύει το ποσοστό της κάθε ατέλειας , αλλά και του καθαρού οδοστρώματος για να μπορούν να αξιοποιηθούν σε μεταγενέστερο στάδιο. Τέλος να αναφέρω ότι για τις μετρήσεις που έγινα έξω χρησιμοποιήθηκε gps αλλά και drone , όμως οι μετρήσεις που λήφθηκαν από αυτά θα αξιοποιηθούν στο μέλλον για άλλες έρευνες.



Μεθοδολογία Έρευνας που ακολουθήθηκε Μέσω Διαγράμματος

3.4 Ατέλειες που εντοπίστηκαν στα οδοστρώματα που έγιναν οι μετρήσεις

Όπως ήταν αναμενόμενο το οδόστρωμα του έτους 2019 δεν θα παρουσίαζε αρκετές ατέλειες . Σε αυτό εντοπίστηκαν φρεάτια, λάδια από τα οχήματα και χώματα, καθώς επίσης και ένα μικρό μέρος ravelling. Στα οδοστρώματα των ετών 2015 και 2016 εντοπίστηκαν ατέλειες όπως φρεάτια , λάδια αυτοκινήτων ρωγμές παράλληλες , κάθετες και τύπου block. Επίσης είχαμε χώματα , κτυπήματα από μηχανήματα και κομμάτια όπου έλειπε ο ασφαλτος και υπήρχε μπετόν. Καθώς επίσης είχαμε και στο οδόστρωμα τους έτους 2015 ένα μέρος όπου υπέστη ravelling. Οι περισσότερες ατέλειες όπως ήταν αναμενόμενο ήταν στα οδοστρώματα του έτους 2015 και 2016 λόγω ότι έχουν χρησιμοποιηθεί περισσότερο και έχουν εκτεθεί για αρκετά χρόνια στις κακές καιρικές συνθήκες αλλά και στον ήλιο, σε σχέση με το οδόστρωμα του έτους 2019 το οποίο θεωρείτε πρόσφατο και καινούργιο. Πιο κάτω παρουσιάζονται μερικές φωτογραφίες από τις ατέλειες που είδα και μέτρησα στα ασφαλτικά οδοστρώματα τα οποία μελετήθηκαν .



Διάγραμμα 23: Κάθετη Γραμμή σε οδόστρωμα Μήκους 1.5 m πάχους 0.5cm



Διάγραμμα 24: Παράλληλη Γραμμή σε οδόστρωμα μήκους 10m και πάχους 1cm.



Διάγραμμα 25: Φρέατιο σε οδόστρωμα από σκυρόδεμα και χάλυβα



Διάγραμμα 26: Κηλίδες από λάδι πάνω σε οδόστρωμα



Διάγραμμα 27: Κομμάτι από Μπετόν



Διάγραμμα 28: Πιθανά κτυπήματα από Εκσκαφέα



Διάγραμμα 29: Ασφαλτικό οδόστρωμα που αποτελείται από τρεις διαφορετικούς ασφάλτους διαφορετικής ηλικίας

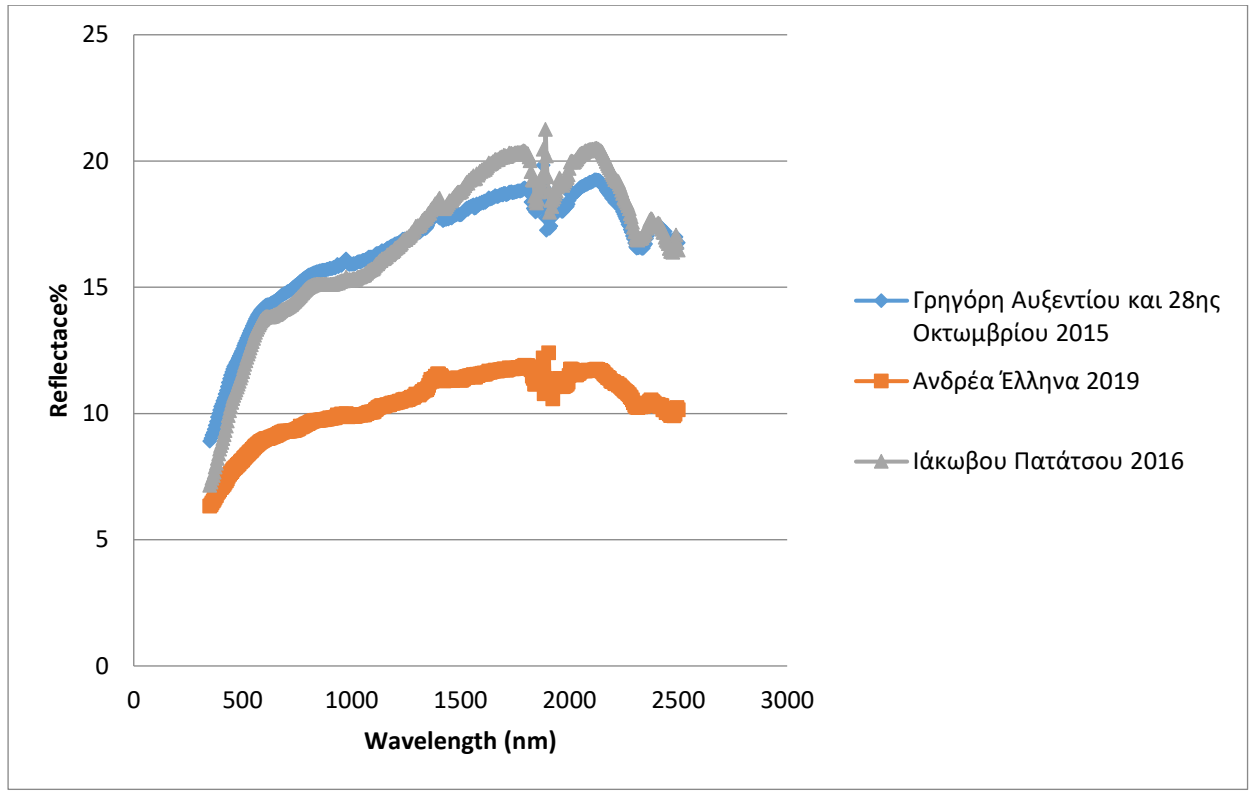
3.5 Επιλογή Δορυφόρων

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω μέσα από τα αποτελέσματα που θα εξαχθούν θα γίνει μια αντιστοιχία του mix pixel σε σχέση με τα τετραγωνικά εκατοστά που καλύπτει ο δορυφόρος σε ένα κανονικό pixel. Η επιλογή των δορυφόρων έγινε ανάλογα με την ανάλυση τους. Επιλέχτηκε ένας δορυφόρος χαμηλής, μέσης και υψηλής ανάλυσης. Οι δορυφόροι ήταν ο Landsat 8 ο οποίος είναι χαμηλής ανάλυσης και καλύπτει εύρος 9000000cm^2 αφού καλύπτει σε ένα pixel $30*30\text{m}$. Ο άλλος δορυφόρος ήταν ο spot7 ο οποίος είναι μέσης ανάλυσης αφού καλύπτει 360000cm^2 , αφού καλύπτει σε ένα pixel $6*6\text{m}$. Ο τελευταίος ήταν ο World view 3, που καλύπτει 15376cm^2 και είναι ο υψηλής ανάλυσης και καλύπτει $1,24*1,24\text{m}$.

4 Αποτελέσματα

4.1 Φασματικές Υπογραφές Οδοστρωμάτων, χωρίς Ατέλειες

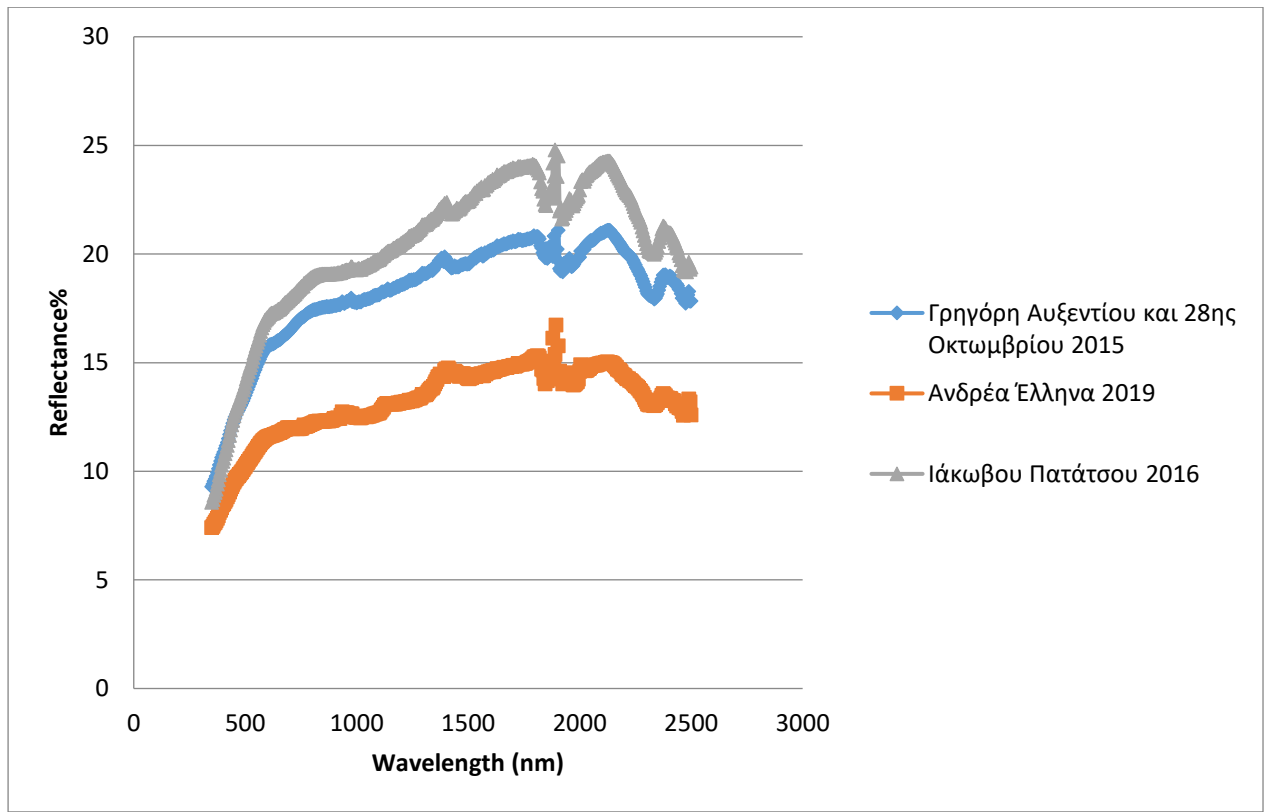
Μέσα από τις μετρήσεις που λήφθηκαν εξάχθηκαν οι φασματικές υπογραφές των τριών ασφαλικών οδοστρωμάτων που είχαν μετρηθεί. Το διάγραμμα 30 αφορά τις φασματικές υπογραφές του καθαρού ασφάλτου των οδοστρωμάτων χωρίς να παρουσιάζονται οι μετρήσεις των ατελειών. Το γράφημα εξάχθηκε μετά από εκατό μετρήσεις για τον κάθε δρόμο ξεχωριστά. Στο πιο κάτω γράφημα ο οριζόντιος άξονας αντιπροσωπεύει το μήκος κύματος με τιμές από 350-2500 nm και αντιπροσωπεύει το μήκος κύματος που μετρούσε και το σπεκτροραδιόμετρο. Ο κατακόρυφος άξονας αντιπροσωπεύει τις τιμές των ανακλάσεων που είχε η κάθε μέτρηση που μετρούσε το όργανο, οι οποίες προέκυψαν από τον μέσο όρο τις κάθε μέτρησης του κάθε μήκους κύματος. Παρατηρούμε ότι την χαμηλότερη ανάκλαση την έχει ο δρόμος που κατασκευάστηκε το 2019, λαμβάνοντας τιμές από 6,3 – 11,75. Αμέσως μετά βλέπουμε ότι το οδόστρωμα του έτους 2016 έχει μεγάλη διαφορά με το οδόστρωμα του 2019 αφού λαμβάνει τιμές από 7,1-21,2. Ο δρόμος του 2015 παίρνει τιμές από 8,9 – 17,9. Οι τιμές των οδοστρωμάτων που είναι κοντινά σε ηλικία δεν έχουν μεγάλη διαφορά μεταξύ τους, αλλά και τα δύο οδοστρώματα έχουν μεγάλη διαφορά με το άλλο του 2019 που είναι και το πιο πρόσφατο. Οι διαφορές αυτές είναι αναμενόμενες αφού από όσα γνωρίζουμε από την βιβλιογραφία υπάρχουν μεγάλες διαφορές και αλλαγές στα ασφαλικά οδοστρώματα τα πρώτα δύο χρόνια τις ζωής. Οι τιμές των ανακλάσεων ανάμεσα στα πιο παλιά με το πιο πρόσφατο παρουσιάζουν μεγάλες αλλαγές, ενώ στα πιο παλιά που είναι κοντά ηλικιακά και έχουν διαφορά ένα χρόνο μόνο δεν έχουμε μεγάλη απόκλιση μεταξύ των τιμών. Ένας βασικός λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι βρίσκονται στην ίδια περιοχή και μπορεί να χτυπήθηκαν από τις ίδιες καιρικές συνθήκες με αποτέλεσμα οι αλλαγές που έχουν να είναι κοντά όσο αφορά τις τιμές ανάκλασης τους.



Διάγραμμα 30: Φασματικές Υπογραφές ασφαλτικών οδοστρωμάτων έτους κατασκευής 2015,2016,2019 καθαρό οδόστρωμα χωρίς ατέλειες(προβλήματα)

4.2 Φασματικές Υπογραφές οδοστρωμάτων, συμπεριλαμβανομένου των ατελειών τους και του καθαρού ασφάλτου

Στο διάγραμμα 31 παρουσιάζονται οι φασματικές υπογραφές των ίδιων ασφαλικών οδοστρωμάτων με πριν αλλά τώρα περιλαμβάνονται εκτός από τις 100 μετρήσεις του καθαρού ασφάλτου , και οι μετρήσεις των ατελειών που ανέρχονταν στις 100-150 για κάθε δρόμο ξεχωριστά ,αφού υπήρχαν διαφορετικές στον καθένα τους. Ο οριζόντιος άξονας αντιπροσωπεύει και πάλι το μήκος κύματος που κυμαίνεται από 350-2500 nm , ενώ ο κατακόρυφος δίνει τις τιμές των ανακλάσεων που προέκυψαν από το μέσο όρο τις κάθε μέτρησης του μήκους κύματος που λήφθηκε από το όργανο. Παρατηρούμε ότι υπάρχει αύξηση στις τιμές που κυμαίνονται οι υπογραφές. Για το οδόστρωμα του έτους 2019 υπάρχει μια αύξηση των 5 μονάδων ενώ για τα άλλα δύο υπάρχει μια αύξηση των 3-3.5 μονάδων κάτι που για αυτά τα δύο δείχνει ότι περίπου την ίδια ανάκλαση αφού βρίσκονται κοντά ηλικιακά. Παρατηρούμε επίσης ότι τα οδοστρώματα των ετών 2015 και 2016 έχουν λιγότερη αύξηση από ότι αυτό του 2019, με αποτέλεσμα να αιτιολογείται το ότι μετά το πέρας των δύο ετών ζωής τους η αλλαγές στην ανάκλαση δεν είναι μεγάλες. Όσο αφορά το πιο πρόσφατο οδόστρωμα έχει μεγαλύτερη αύξηση κάτι που δείχνει ότι όσο πιο νέο είναι το οδόστρωμα τόσο μεγαλύτερη είναι η αλλαγή στις ανάκλασης. Επιπρόσθετα το οδόστρωμα που κατασκευάστηκε το έτος 2016 κανονικά θα έπρεπε να βρίσκεται κοντά και πιο κάτω από το οδόστρωμα του 2015. Το συγκεκριμένο οδόστρωμα βρίσκεται 3,5 μονάδες ανάκλασης πιο πάνω από αυτό του 2015. Τα αποτελέσματα αυτά όμως δικαιολογούνται αφού όταν έγινε η επιτόπου οπτική επιθεώρηση των δρόμων ο άσφαλτος του δρόμου που είχε κατασκευαστεί το 2016 είχε πολύ περισσότερες ατέλειες και προβλήματα από αυτών του 2015 το οποίο θα μπορούσε να ήταν το αντίθετο. Τέλος η διαφορά αυτή μπορεί να οφείλεται και στο ότι ο συγκεκριμένος δρόμος σε μερικά σημεία προφανώς να μην αποτελείτο από τον ίδιο άσφαλο , κάτι που ήταν αντιληπτό με γυμνό μάτι αφού υπήρχαν κομμάτια ασφάλτου που φαίνονταν πιο ξεθωριασμένα , και ίσως να ήταν πιο παλιά , γι' αυτό μπορεί να οφείλεται και αυτή η αύξηση στην τιμή της ανάκλασης από αυτό το οδόστρωμα , αφού για τα συγκεκριμένα κομμάτια πιο αναφέρθηκαν δεν γνωρίζαμε το έτος κατασκευής τους.



Διάγραμμα 31: Φασματικές Υπογραφές ασφαλτικών οδοστρωμάτων έτους κατασκευής 2015,2016,2019 συμπεριλαμβανομένου του καθαρού ασφάλτου και των ατελειών τους(προβλημάτων, όλος ο δρόμος)

4.3 Σύγκριση Διαγραμμάτων 30 και 31

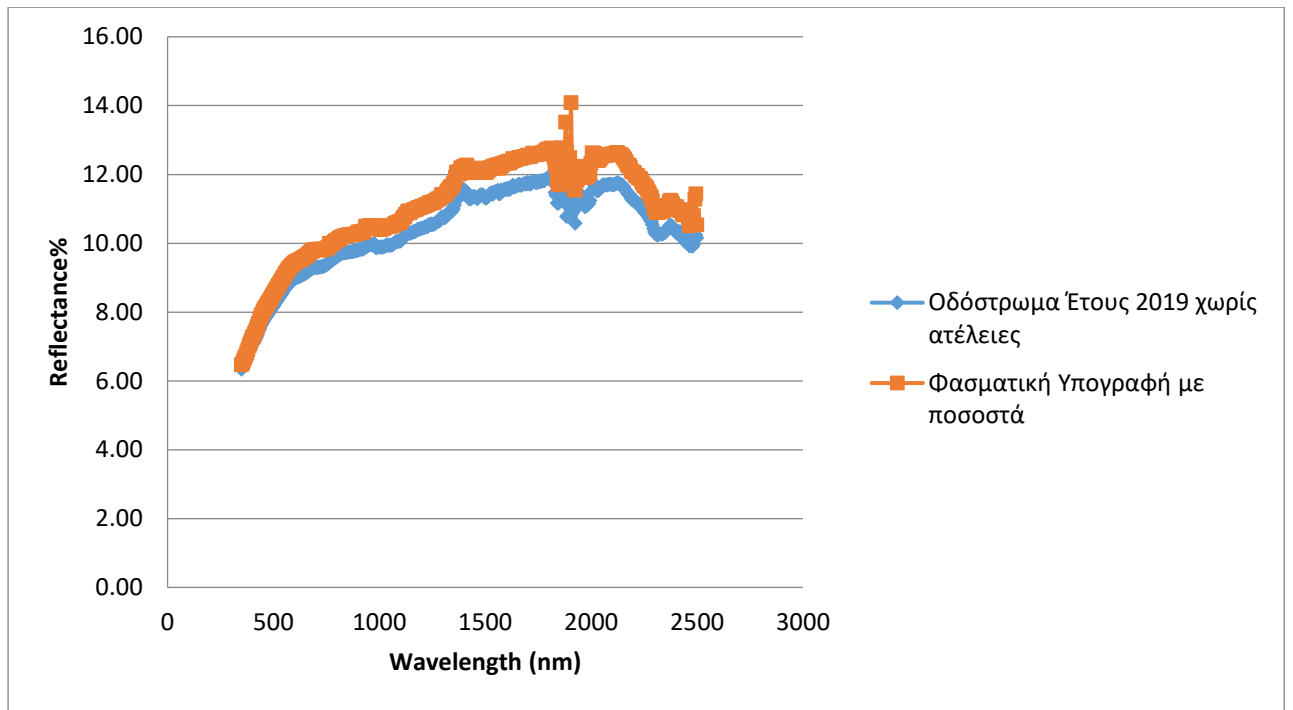
Παρατηρούμε μέσα από τα δύο διαγράμματα ότι ο δρόμος που είναι ο πιο πρόσφατος και έχει 3 και 4 χρόνια διαφορά με τους αντίστοιχους του 2016 και 2015 έχει το λιγότερο ποσοστό ανάκλασης σε σχέση με τους άλλους δυο. Οι άλλοι δύο έχουν μεγαλύτερο λόγο τις διαφορές ηλικίας. Βλέπουμε επίσης ότι οι ατέλειες προκαλούν αύξηση του ποσοστού ανάκλασης, αλλά και αλλαγή της φασματικής υπογραφής. Τέλος συμπεράνουμε ότι όσο μεγαλύτερο σε ηλικία είναι ένα ασφαλτικό οδόστρωμα τόσο μεγαλύτερο ποσοστό ανάκλασης θα έχει, και ως φυσικό επακόλουθο θα έχει διαφορετική φασματική υπογραφή, λόγω του ότι εκτίθεται περισσότερο και στις καιρικές συνθήκες, ότι χρησιμοποιείται πολύ περισσότερα χρόνια και ότι τα προβλήματα αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου.

4.4 Φασματική Υπογραφή ασφάλτου γνωρίζοντας το ποσοστό που περιέχει από την κάθε ατέλεια , αλλά και το ποσοστό ασφάλτου

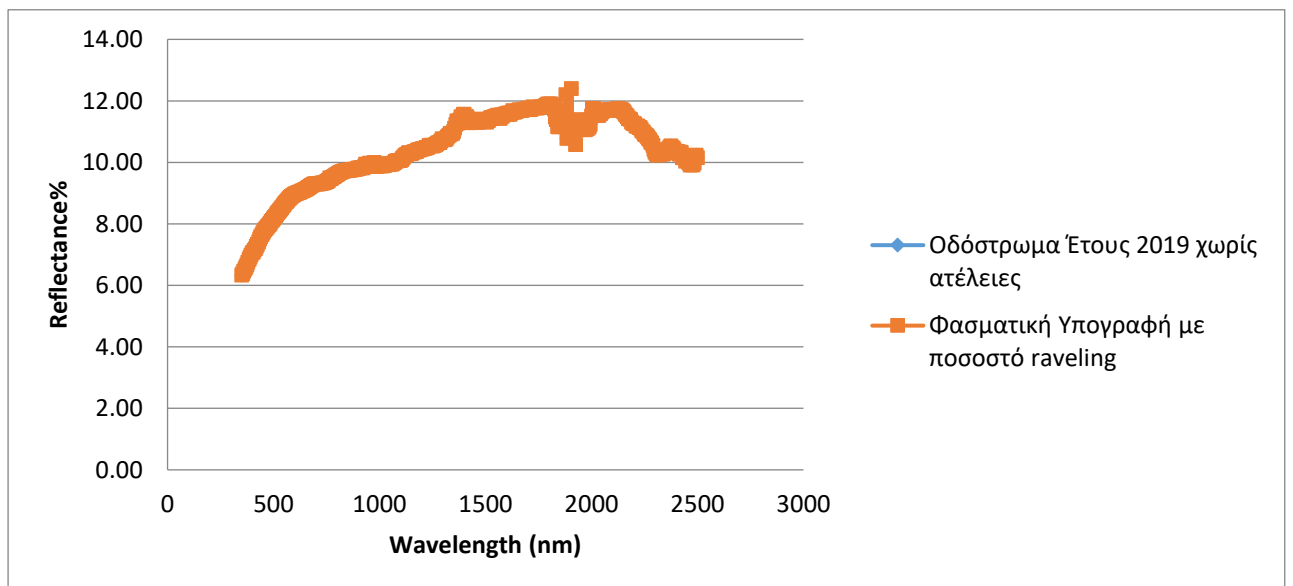
Αφού έγινε η σύγκριση και η μελέτη όσο αφορά τις διαφορές των ασφαλικών οδοστρωμάτων όσο αφορά τις φασματικές τους υπογραφές με ή χωρίς ατέλειες η έρευνα εστίασε στο να προσπαθήσω να δώσω βάρη υπό την μορφή ποσοστών με κύριο σκοπό να δημιουργηθεί μια φασματική υπογραφή στην οποία θα γνωρίζουμε το ποσοστό του ασφάλτου που περιέχει αλλά και το ποσοστό των ατελειών που περιέχει. Μετά από την δημιουργία της συγκεκριμένης φασματικής υπογραφής για το κάθε οδόστρωμα ξεχωριστά , φτάσαμε στο αποτέλεσμα αφού γνωρίζουμε το ποσοστό ανάκλασης του κάθε τι που περιέχει η υπογραφή(πχ. ποσοστό ασφάλτου, ποσοστό λαδιού, ποσοστό από φρεάτιο κτλ) , μπόρεσαν και εξάχθηκαν πόσα τετραγωνικά εκατοστά αντιπροσωπεύει το κάθε ποσοστό με σκοπό όταν θα ληφθεί ένα pixel από τους δορυφόρους που προαναφέρθηκαν , να είναι εμφανές στις εικόνες τους. Έτσι θα μπορεί να δοθεί ένας αρχικός ορισμός για τη δημιουργία ενός mix pixel πάνω σε ασφαλικά οδοστρώματα κάτι το οποίο με περεταίρω έρευνα και επεξεργασία μπορεί να γίνει πολύ καλύτερο και να μας βοηθήσει αρκετά. Αξίζει να σημειωθεί ότι πολλές από τις ατέλειες δεν μπορούν να γίνουν εμφανές λόγω του ότι το μέγεθος τους δεν είναι αρκετό καθώς επίσης και το ποσοστό ανάκλασης που εκπέμπουν δεν μπορεί να οδηγήσει σε πιο ευδιάκριτη αναγνώριση. Παρακάτω παρατίθενται διαγράμματα για την κάθε φασματική υπογραφή , αλλά και πίνακες με τους δορυφόρους και τα τετραγωνικά εκατοστά που καλύπτουν.

4.5 Φασματική Υπογραφή Οδοστρώματος Έτους κατασκευή 2019 , γνωρίζοντας τα ποσοστά ανάκλασης Ατελειών και Ασφάλτου

Το διάγραμμα 32 παρουσιάζει δυο διαφορετικές φασματικές υπογραφές. Η φασματική υπογραφή με το μπλε χρώμα παρουσιάζει τον καθαρό ασφάλτο του συγκεκριμένου δρόμου που είχε κατασκευαστεί το 2019 και έχει ηλικία ενός έτους. Η φασματική υπογραφή με το πορτοκαλί χρώμα παρουσιάζει τις ατέλειες και το ποσοστό που καταλαμβάνει η καθεμία αλλά και το ποσοστό ασφάλτου που περιέχει. Μετά από αρκετές δοκιμές που έγιναν η συγκεκριμένη φασματική υπογραφή , έδειξε ότι δεν μπορούν να είναι εμφανές όλες οι ατέλειες του συγκεκριμένου οδοστρώματος. Στο οδόστρωμα υπήρχε ravelling οι οποίες όταν τοποθετήθηκε ποσοστό σε αυτές δεν ήταν εμφανές οι αλλαγές. Η πορτοκαλί φασματική υπογραφή περιλαμβάνει για το συγκεκριμένο οδόστρωμα 66% ασφάλτο, 16% κηλίδα από λάδι μεγέθους 30*60 ,1% πεζοδρόμιο που αποτελείται από μπετόν και 17% φρεάτιο λυμάτων κατασκευασμένο από χάλυβα και σκυρόδεμα. Τα ποσοστά αυτά είναι αρκετά ώστε να έχουμε μεταβολή της φασματικής υπογραφής. Οι συγκεκριμένες ατέλειες ήταν οι μόνες που μπορούσαν να προκαλέσουν μεταβολή. Βλέπουμε στο διάγραμμα 32 ότι η φασματική υπογραφή με πορτοκαλί χρώμα αρχίζει από τις από το ίδιο σημείο που αρχίζει και η άλλη φασματική υπογραφή. Έπειτα παρατηρούμε ότι από το μήκος κύματος 550nm αρχίζει να μεταβάλλεται και να παρατηρείται μια αύξηση του 0.5% και συνεχίζει να αυξάνεται , μέχρι που φτάνει αύξηση της τάξεως του 1.7% όπου είναι και η κορύφωση της φασματικής υπογραφής στο μήκος κύματος 1905(nm) ,έπειτα η αύξηση συνεχίζει να κυμαίνεται και πάλι στο 0.4%.Στο Διάγραμμα 33 παρουσιάζεται η ατέλεια ravelling στην οποία τοποθετήθηκε ποσοστό 99,99% και στον ασφάλτο τοποθετήθηκε 0.01%.Παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει αλλαγή στην φασματική υπογραφή του ασφάλτου και η μορφή που ακολουθεί η φασματική υπογραφή του ravelling είναι η ίδια με την άλλη , επομένως δεν μπορεί να γίνει αντιληπτό, όπως παρουσιάζεται στο διάγραμμα 33.



Διάγραμμα 32: Φασματικές υπογραφές ασφάλτου Έτους κατασκευής 2019 ,καθαρού ασφάλτου χωρίς ατέλειες(προβλήματα) και με ατέλειες(προβλήματα) με τη χρήση βαρών (ποσοστών)



Διάγραμμα 33: Φασματικές υπογραφές ασφάλτου Έτους κατασκευής 2019 ,χωρίς ατέλειες(προβλήματα) και με ατέλεια(raveling)με τη χρήση βαρών (ποσοστών)

4.6 Δεδομένα Δορυφόρων και Ποσοστών Ασφάλτου– Ατελειών για οδόστρωμα Έτους 2019

Ο πίνακας ένα παρουσιάζει του δορυφόρους και την ανάλυση και τετραγωνικά εκατοστά που καλύπτει ο καθένας ξεχωριστά. Επίσης παρουσιάζονται τα ποσοστά από τις ατέλειες , μετατρέποντας τα σε τετραγωνικά εκατοστά για το πόσο πρέπει να καλύπτουν στο κάθε δορυφόρο με σκοπό να είναι εμφανές σε ένα mix pixel.

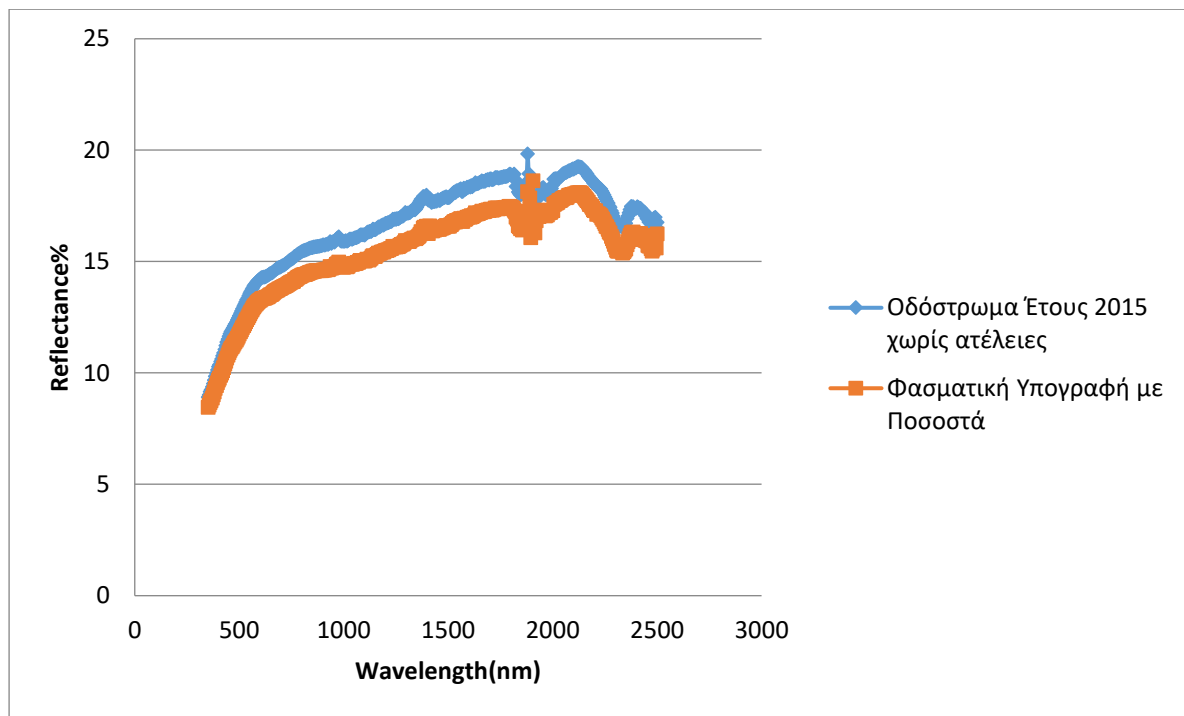
Table 1: Δορυφόροι , Ατέλειες(προβλήματα) σε Ποσοστό και Τετραγωνικά Εκατοστά που Καλύπτουν

Δορυφόροι	Ανάλυση	Τετραγωνικά εκατοστά cm ²	Ατέλειες σε Ποσοστό (%) και Τετραγωνικά εκατοστά που καλύπτουν			
			Ασφαλτος 66%	Λάδι 16%	Πεζοδρόμιο 1%	Φρεάτιο 17%
Landsat 8	Χαμηλή	9000000	5940000	1440000	90000	1530000
Spot 7	Μέση	360000	237600	57600	3600	61200
World View 3	Υψηλή	15376	10148.16	2460.16	153.76	2613.92

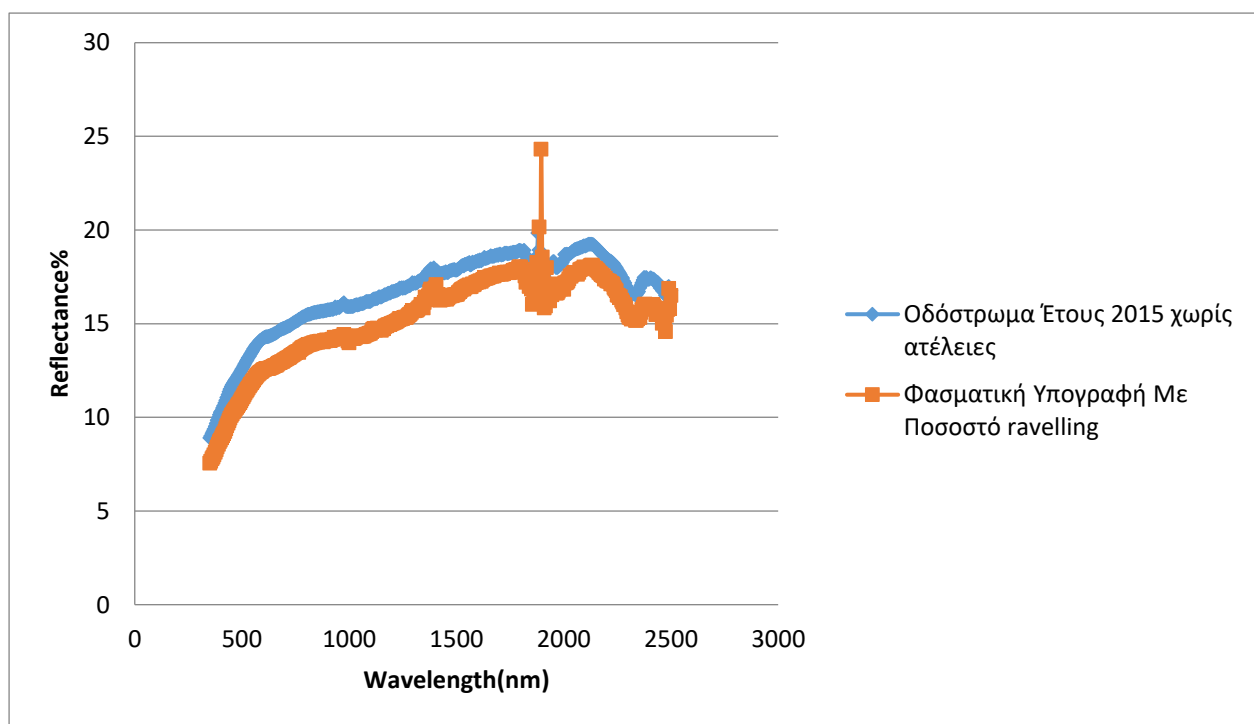
4.7 Φασματική Υπογραφή Οδοστρώματος Έτους κατασκευή 2015 , γνωρίζοντας τα ποσοστά ανάκλασης Ατελειών και Ασφάλτου

Το διάγραμμα 34 παρουσιάζει δυο διαφορετικές φασματικές υπογραφές. Η φασματική υπογραφή με το μπλε χρώμα παρουσιάζει τον καθαρό ασφαλτο του συγκεκριμένου δρόμου που είχε κατασκευαστεί το 2015 και έχει ηλικία πέντε ετών. Η φασματική υπογραφή με το πορτοκάλι χρώμα παρουσιάζει τις ατέλειες και το ποσοστό που καταλαμβάνει η καθεμία αλλά και το ποσοστό ασφάλτου που περιέχει. Μετά από αρκετές δοκιμές που έγιναν συγκεκριμένη φασματική υπογραφή , έδειξε ότι δεν μπορούν να είναι εμφανές όλες οι ατέλειες του συγκεκριμένου οδοστρώματος, όπως και στο προηγούμενο οδόστρωμα του 2019. Στο οδόστρωμα υπήρχαν αρκετές ρωγμές κάθετες αλλά και κάποιες παράλληλες στις οποίες όταν τοποθετήσαμε βάρος με ποσοστό δεν παρουσίαζαν αλλαγές στη

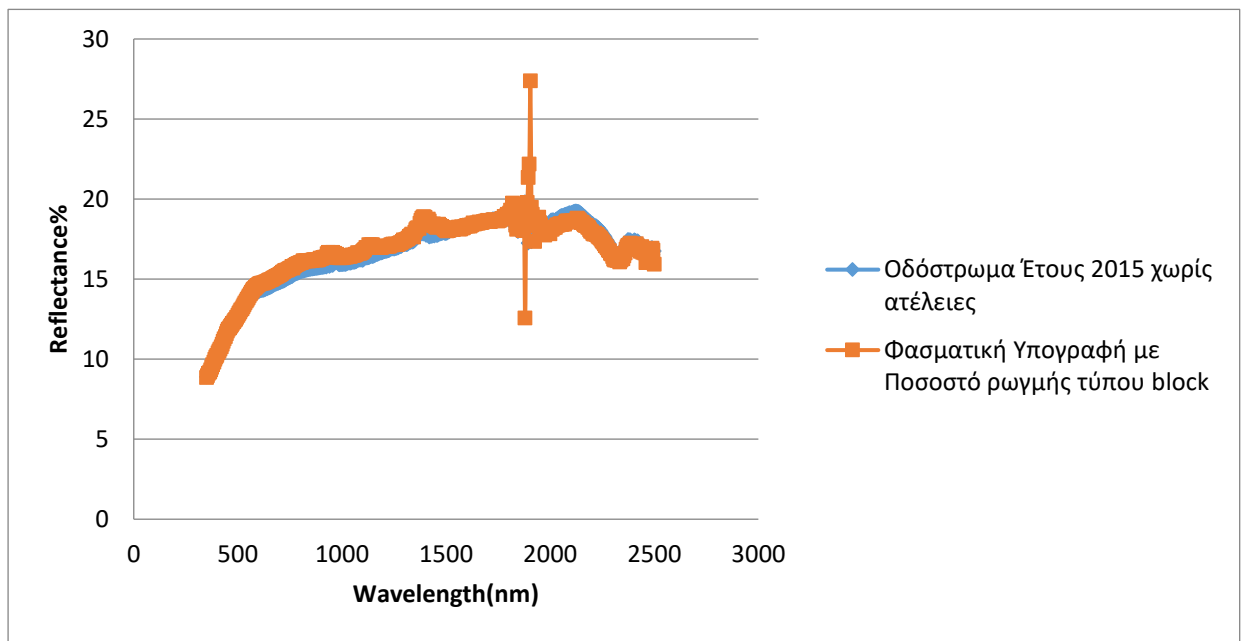
φασματική υπογραφή του καθαρού ασφάλτου, λόγω του μικρού πάχους στο οποίο είχαν με την μορφή τριχοειδών. Επίσης υπήρχε και σε αυτό το οδόστρωμα travelling το οποίο δεν μπορούσε να γίνει αντιληπτό από την φασματική υπογραφή για την δεν παρουσίαζε αλλαγές όπως και πριν. Η πορτοκάλι φασματική υπογραφή περιλαμβάνει για το συγκεκριμένο οδόστρωμα 41% ασφάλτο, 28% ρωγμή παράλληλη πάχους 1 cm ,1% πεζοδρόμιο που αποτελείται από μπετόν ,8% φρεάτιο λυμάτων κατασκευασμένο από χάλυβα και σκυρόδεμα 3% χόμα και 19% τσίχλα με διάμετρο 3 cm. Τα ποσοστά αυτά είναι αρκετά ώστε να έχουμε μεταβολή της φασματικής υπογραφής. Σε αυτό το οδόστρωμα υπήρχαν περισσότερες ατέλειες επομένως συμπεριλήφθηκαν περισσότερες στην φασματική υπογραφή. Βλέπουμε στο διάγραμμα 34 ότι η φασματική υπογραφή με πορτοκάλι χρώμα αρχίζει να έχει από το 350nm 0.5% πιο κάτω από την κανονική φασματική υπογραφή της ασφάλτου. Επίσης παρατηρούμε ότι από το μήκος κύματος 550nm η μείωση αγγίζει το 1% και συνεχίζει να μειώνεται , μέχρι που φτάνει σε μείωση της τάξεως του 1.3% όπου είναι και η κορύφωση της φασματικής υπογραφής στο μήκος κύματος 1880(nm) ,έπειτα η μείωση συνεχίζει να κυμαίνεται κοντά στο 1%. Στο Διάγραμμα 35 παρουσιάζεται η ατέλεια travelling στην οποία τοποθετήθηκε ποσοστό 99% και στον ασφάλτο τοποθετήθηκε 1%.Επίσης στο διάγραμμα 36 παρουσιάζεται ένα block crack που έχει πάρει βάρος 99% και 1 % ασφαλτος και στο διάγραμμα 37 παρουσιάζεται μια κάθετη ρωγμή με τα ίδια βάρη. Παρατηρούμε ότι σε αυτά τα τρία διαγράμματα 35,36,37 δεν παρουσιάζεται αλλαγή στην φασματική υπογραφή και βρίσκονται ακριβώς πάνω στην άλλη. Επομένως δεν μπορεί να είναι εφικτή η κατανόηση τους είτε μέσω δορυφόρου , είτε από την φασματική υπογραφή που δημιουργήθηκε.



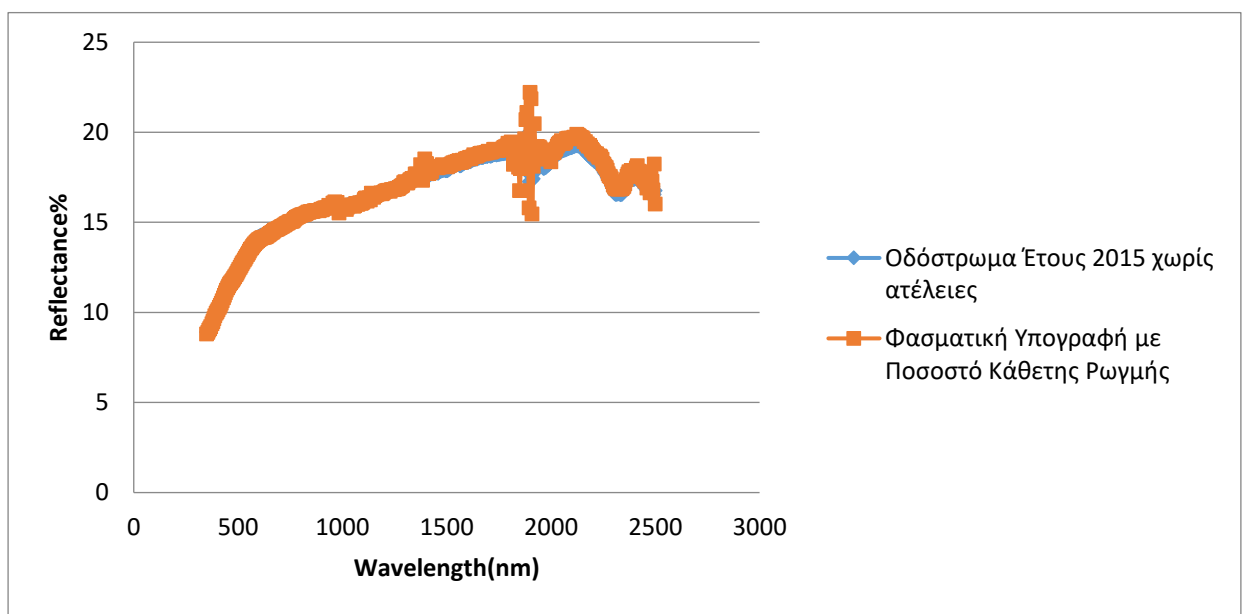
Διάγραμμα 34: Φασματικές υπογραφές ασφάλτου Έτους κατασκευής 2015 ,χωρίς ατέλειες και με ατέλειες(προβλημάτων)με τη χρήση βαρών (ποσοστών)



Διάγραμμα 35: Φασματικές υπογραφές ασφάλτου Έτους κατασκευής 2015 ,χωρίς ατέλειες(προβλήματα) και με ατέλεια(ravelling)με τη χρήση βαρών (ποσοστών)



Διάγραμμα 36: Φασματικές υπογραφές ασφάλτου Έτους κατασκευής 2015 ,χωρίς ατέλειες(προβλήματα) και με ατέλεια(ρωγμή τύπου block)με τη χρήση βαρών (ποσοστών)



Διάγραμμα 37: Φασματικές υπογραφές ασφάλτου Έτους κατασκευής 2015 ,χωρίς ατέλειες(προβλήματα) και με ατέλεια(ρωγμή τύπου κάθετη)με τη χρήση βαρών (ποσοστών)

4.8 Δεδομένα Δορυφόρων και Ποσοστών Ασφάλτου – Ατελειών για οδόστρωμα Έτους 2015

Ο πίνακας δύο παρουσιάζει του δορυφόρους και την ανάλυση και τετραγωνικά εκατοστά που καλύπτει ο καθένας ξεχωριστά. Επίσης παρουσιάζονται τα ποσοστά από τις ατέλειες , μετατρέποντας τα σε τετραγωνικά εκατοστά για το πόσο πρέπει να καλύπτουν στο κάθε δορυφόρο με σκοπό να είναι εμφανές σε ένα mix pixel.

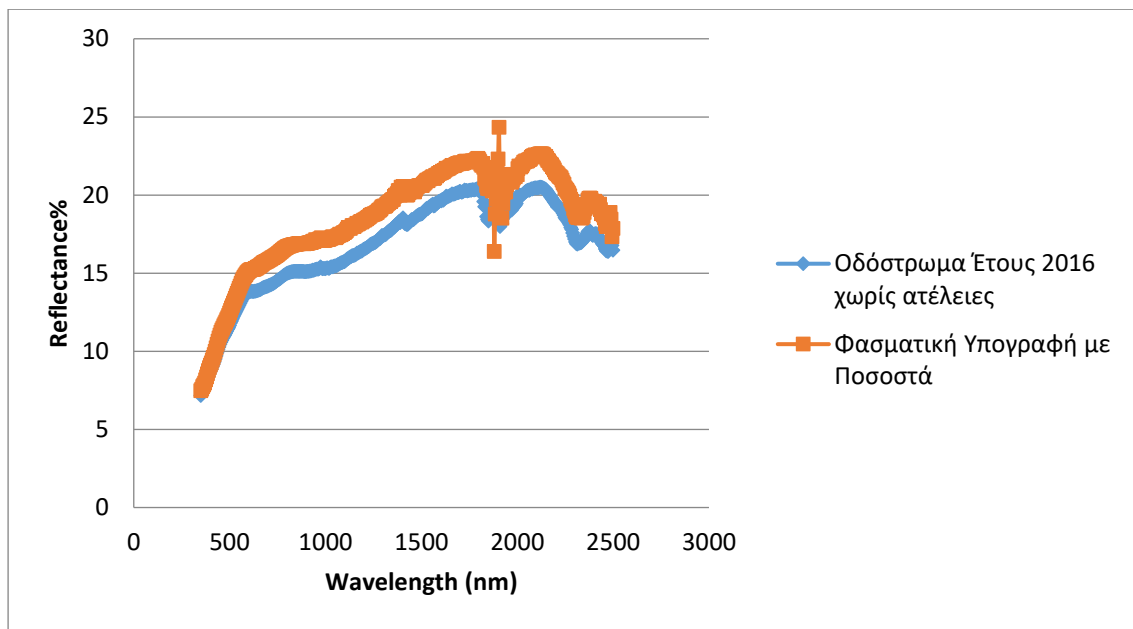
Table 2: Δορυφόροι , Ατέλειες(προβλήματα) σε Ποσοστό και Τετραγωνικά Εκατοστά που Καλύπτουν

Δορυφόροι	Ανάλυση	Τετραγωνικά εκατοστά cm ²	Ατέλειες σε Ποσοστό (%) και Τετραγωνικά εκατοστά που καλύπτουν					
			Ασφαλτος 41%	Παράλληλη ρωγμή 1cm πάχος 28%	Πεζοδρόμιο 1%	Φρεάτιο 8%	Χώμα 3%	Τσίγλα 3cm διάμετρο 19%
Landsat 8	Χαμηλή	9000000	3690000	2520000	90000	720000	270000	1710000
Spot7	Μέση	360000	147600	100800	3600	28800	10800	68400
World View 3	Υψηλή	15376	6304.16	4305.28	153.76	1230.08	461.28	2921.44

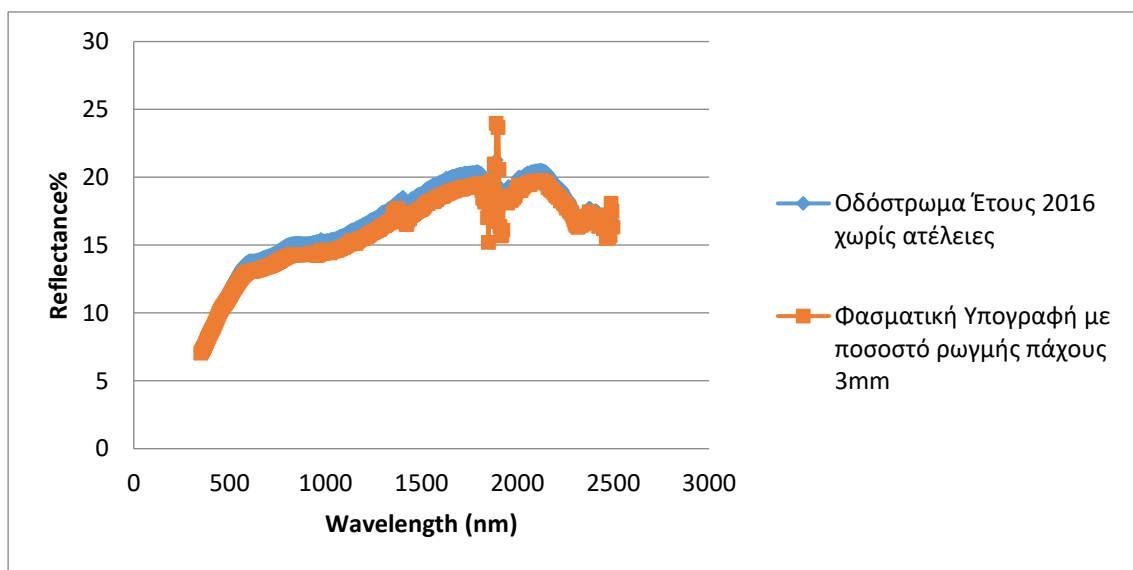
4.9 Φασματική Υπογραφή Οδοστρώματος Έτους κατασκευή 2016 , γνωρίζοντας τα ποσοστά ανάκλασης Ατελειών και Ασφάλτου

Το διάγραμμα 38 παρουσιάζει δυο διαφορετικές φασματικές υπογραφές. Η φασματική υπογραφή με το μπλε χρώμα παρουσιάζει τον καθαρό ασφαλτο του συγκεκριμένου δρόμου που είχε κατασκευαστεί το 2016 και έχει ηλικία τεσσάρων ετών. Η φασματική υπογραφή με το πορτοκάλι χρώμα αντικατοπτρίζει τις ατέλειες και το ποσοστό που καταλαμβάνει η καθεμία αλλά καθώς και το ποσοστό που καταλαμβάνει ο ασφαλτος. Στο οδόστρωμα υπήρχαν αρκετές ρωγμές στις οποίες όταν τοποθετήσαμε βάρος με ποσοστό δεν παρουσίαζαν αλλαγές στη φασματική υπογραφή του ασφάλτου, λόγω του μικρού πάχους τους.

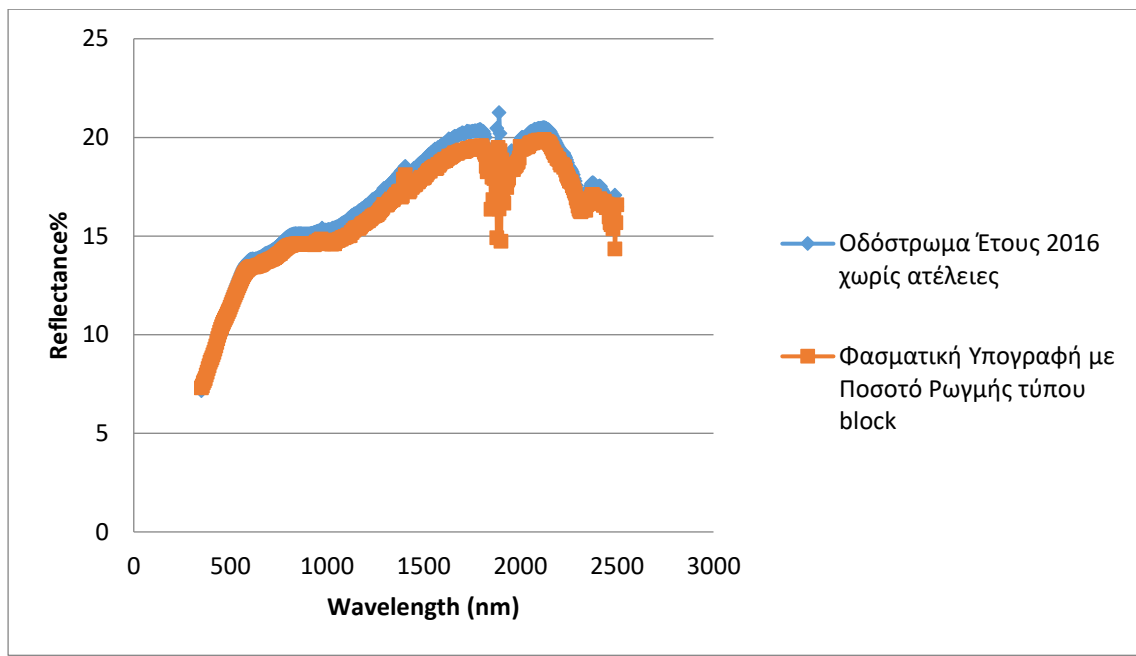
Οι ρωγμές ήταν κάθετες και αρκετά λεπτές . Επίσης υπήρχαν άσπρες γραμμές κατά μήκος του δρόμου οι οποίες προήλθαν από αυτοκίνητα αλλά ούτε ατές προκαλούσαν αλλαγές στην φασματική υπογραφή όταν τοποθετήθηκε ποσοστό. Επιπρόσθετα υπήρχαν λάδια αυτοκινήτων, κομμάτια από μπετόν , χρώμα κόκκινο λόγω του ότι υπήρχε ένωση με χωράφια . Υπήρχαν ενώσεις με άλλα οδοστρώματα που δεν γνωρίζαμε την ηλικία τους. Η δημιουργία της κόκκινης φασματικής υπογραφής για το ασφαλτικό οδόστρωμα το συγκεκριμένο 51% άσφαλτο, 11% μπετόν ,1% πεζοδρόμιο που αποτελείται από μπετόν ,30% λάδι αρκετά έντονο και 7%χρώμα. Τα ποσοστά αυτά μας ικανοποιούν στο ώστε να παρουσιαστή μεταβολή της φασματικής υπογραφής. Επιπρόσθετα και σε αυτό το οδόστρωμα υπήρχαν περισσότερες ατέλειες από το οδόστρωμα του έτους 2019, επομένως συμπεριλήφθηκαν περισσότερες στην φασματική υπογραφή. Βλέπουμε στο διάγραμμα 38 ότι η φασματική υπογραφή με κόκκινο χρώμα αρχίζει να έχει από το 425nm 0.5% σταθερή αύξηση για την κάθε τιμή στην φασματική υπογραφή που δημιουργήθηκε. Επίσης παρατηρούμε ότι από το μήκος κύματος 500nm η αύξηση αγγίζει το 0.8% και συνεχίζει να αυξάνεται , μέχρι που από τα 700nm η αύξησης αγγίζει το 1.7 % και συνεχίζει για όλες τις τιμές σχεδόν το ίδιο μέχρι που στο 2030nm η αύξηση φτάνει το 2%και συνεχίζει μέχρι να πέσει και πάλι η αύξηση στο 1.6% περίπου για να ολοκληρωθεί η φασματική υπογραφή. Στο Διάγραμμα 39 παρουσιάζεται μια ρωγμή πάχους 3mm στην οποία τοποθετήθηκε ποσοστό 99% και στον άσφαλτο τοποθετήθηκε 1%χωρίς να παρουσιάσει αλλαγή. Επίσης στο διάγραμμα 40 παρουσιάζεται ένα block crack που έχει πάρει βάρος 99% και 1 % άσφαλτος και στο διάγραμμα 41 παρουσιάζεται μια άσπρη γραμμή με τα ίδια ποσοστά χωρίς καμία από αυτές τις δύο ατέλειες να εμφανίζει σημαντικές αλλαγές. Ακόμη βλέπουμε στο διάγραμμα 42 ρωγμές που βρίσκονταν σε καθίζηση , όμως ούτε αυτές μας ικανοποιούν. Παρατηρούμε ότι σε αυτά τα διαγράμματα (39,40,41,42) δεν παρουσιάζεται αλλαγή στην φασματική υπογραφή και βρίσκονται ακριβώς πάνω στην άλλη φασματική υπογραφή της καθαρής ασφάλτου. Επομένως δεν μπορεί να είναι εφικτή η κατανόηση τους είτε μέσω δορυφόρου , είτε από την φασματική υπογραφή που δημιουργήθηκε, λόγω του ότι λαμβάνοντας ένα ποσοστό της τάξεως του 99% δεν γίνεται αλλαγή επομένως για να είναι εμφανές πρέπει να έχουν μεγαλύτερο μέγεθος.



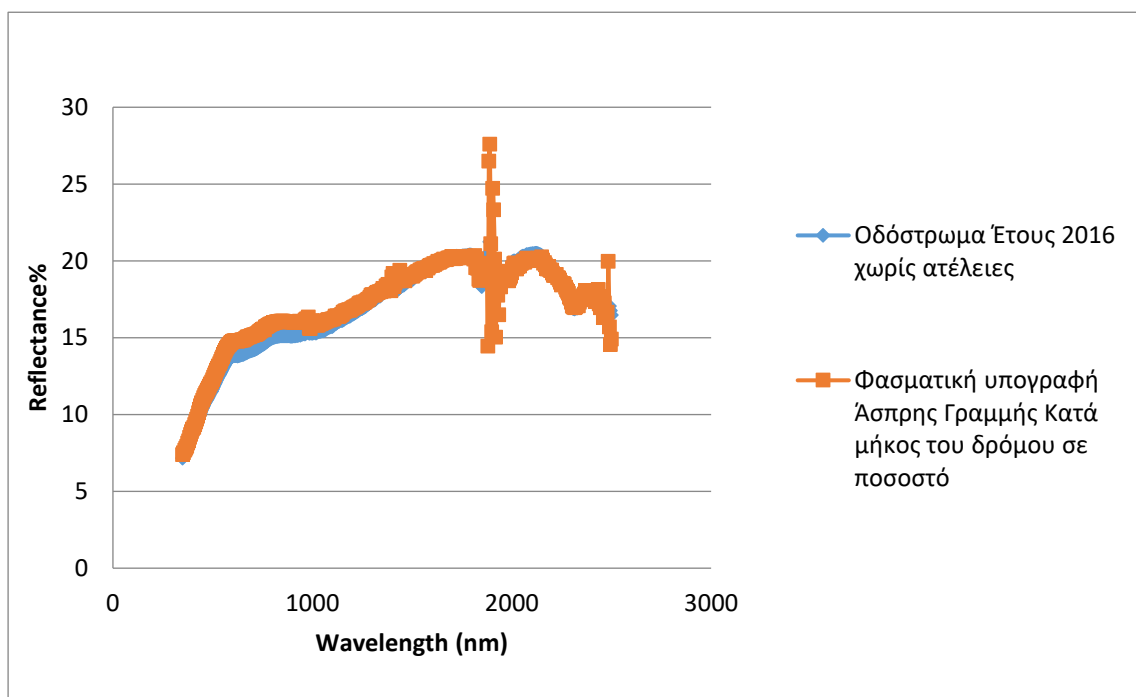
Διάγραμμα 38: Φασματικές υπογραφές ασφάλτου Έτους κατασκευής 2016 ,χωρίς ατέλειες και με ατέλειες(προβλήματα) με τη χρήση βαρών (ποσοστών)



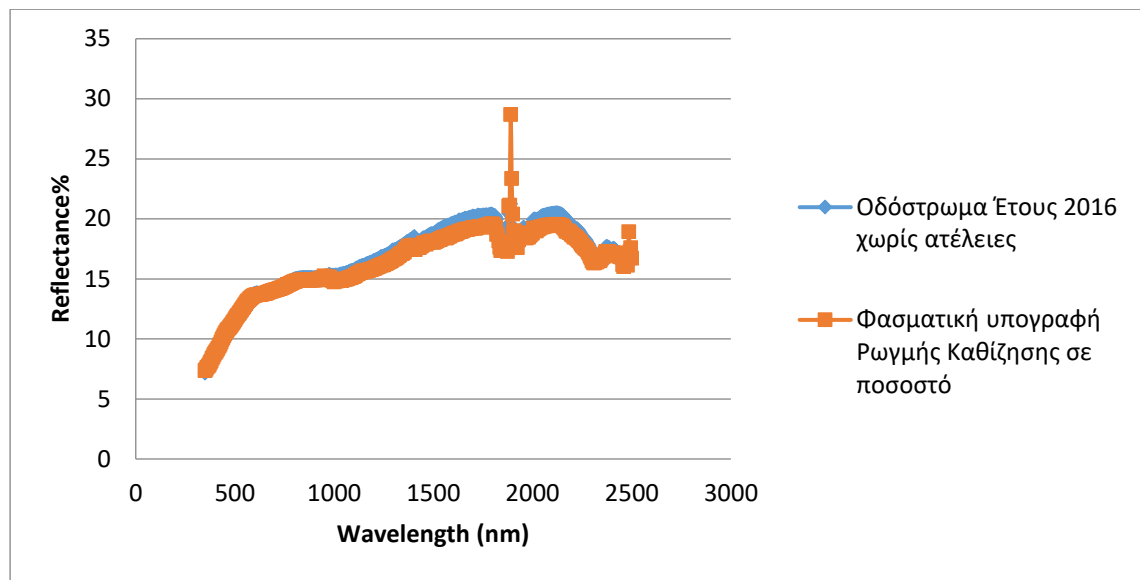
Διάγραμμα 39: Φασματικές υπογραφές ασφάλτου Έτους κατασκευής 2016 ,χωρίς ατέλειες(προβλήματα) και με ατέλεια(ρωγμή πάχους 3mm)με τη χρήση βαρών (ποσοστών)



Διάγραμμα 40: Φασματικές υπογραφές ασφάλτου Έτους κατασκευής 2016 ,χωρίς ατέλειες(προβλήματα) και με ατέλεια(ρωγμή τύπου block)με τη χρήση βαρών (ποσοστών)



Διάγραμμα 41: Φασματικές υπογραφές ασφάλτου Έτους κατασκευής 2016 ,χωρίς ατέλειες (προβλήματα) και με ατέλεια(άσπρη γραμμή κατά μήκος του δρόμου)με τη χρήση βαρών (ποσοστών)



Διάγραμμα 42: Φασματικές υπογραφές ασφάλτου Έτους κατασκευής 2016 ,χωρίς ατέλειες(προβλήματα) και με ατέλεια(ρωγμή καθίζησης)με τη χρήση βαρών (ποσοστών)

4.10 Δεδομένα Δορυφόρων και Ποσοστών Ασφάλτου – Ατελειών για οδόστρωμα Έτους 2016

Ο πίνακας τρία παρουσιάζει του δορυφόρους και την ανάλυση και τετραγωνικά εκατοστά που καλύπτει ο καθένας ξεχωριστά. Επίσης παρουσιάζονται τα ποσοστά από τις ατέλειες , μετατρέποντας τα σε τετραγωνικά εκατοστά για το πόσο πρέπει να καλύπτουν στο κάθε δορυφόρο με σκοπό να είναι εμφανές σε ένα mix pixel.

Table 3: Δορυφόροι , Ατέλειες σε Ποσοστό και Τετραγωνικά Εκατοστά που Καλύπτουν

Δορυφόροι	Ανάλυση	Τετραγωνικά εκατοστά cm ²	Ατέλειες σε Ποσοστό (%) και Τετραγωνικά εκατοστά που καλύπτουν				
			Άσφαλτος 51%	Μπετόν 11%	Πεζοδρόμιο 1%	Λάδι30%	Χώμα 7%
Landsat 8	Χαμηλή	9000000	4590000	99000	90000	2700000	630000
Spot 7	Μέση	360000	183600	39600	3600	108000	25200
World View 3	Υψηλή	15376	7841.76	1691.36	153.76	4612.8	1076.32

5 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

Αρχικά μελετήθηκαν σε θεωρητικό επίπεδο οι ατέλειες που παρουσιάζουν τα ασφαλτικά οδοστρώματα. Μετά έγινε μια έρευνα όσον αφορά προηγούμενες έρευνες στα ασφαλτικά οδοστρώματα εστιάζοντας όμως στην έρευνα που έγιναν αξιοποιώντας μεθόδους τηλεπισκόπησης. Επιπρόσθετα παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε αλλά και τα αποτελέσματα που εξάχθηκαν. Έγιναν μελέτες σε ασφαλτικά οδοστρώματα διαφορετικών ηλικιών που είχαν κατασκευαστεί τα έτη 2015,2016 και 2019. Οι μετρήσεις λήφθηκαν στο πεδίο με το σπεκτροραδιόμετρο και επεξεργάστηκαν στο γραφείο με το πρόγραμμα excel. Αρχικά εξάχθηκαν οι φασματικές υπογραφές των τριών οδοστρωμάτων σε μετρήσεις που αφορούσαν καθαρό άσφαλτο, δηλαδή να μην συμπεριλαμβάνει μετρήσεις ατελειών. Οι φασματικές υπογραφές παρουσίασαν διαφορά μεταξύ τους όπως ήταν αναμενόμενο. Η υπογραφή του οδοστρώματος του 2019 είχε διαφορά ανάκλασης περίπου 6 μονάδες από το 2015 και 10 μονάδες από αυτό του 2016. Ενώ αυτό του 2015 με αυτό του 2016 είχαν διαφορά 3 μονάδες. Υπό κανονικές συνθήκες θα έπρεπε το οδόστρωμα του 2015 να βρίσκεται πιο ψηλά από αυτό του 2016, όμως όταν έγινε οπτική επιθεώρηση παρατηρήθηκε ότι το ασφαλτικό οδόστρωμα του 2016 είχε τις περισσότερες ατέλειες και τα πιο πολλά προβλήματα από τα άλλα δύο. Αυτά δικαιολογούνται με τις φασματικές υπογραφές που εξάχθηκαν όταν συμπεριλήφθηκαν όλες οι μετρήσεις στο κάθε οδόστρωμα (καθαρός άσφαλτος και ατέλειες(προβλήματα), βλέπε διάγραμμα 31). Αφού εξάχθηκαν και μελετήθηκαν οι φασματικές υπογραφές των οδοστρωμάτων που αναφέρθηκαν , προσπάθησα να δημιουργήσω και καινούργιο το οποίο δεν έχει ασχοληθεί κάποιος ακόμη στα ασφαλτικά οδοστρώματα. Δημιουργήθηκε και στα τρία οδοστρώματα μια φασματική υπογραφή για το καθένα στην οποία τοποθετήθηκαν βάρη υπό την μορφή ποσοστών σε κάποιες ατέλειες , αλλά και στον άσφαλτο με σκοπό να δούμε πόσο μπορεί να αλλάξει η φασματική υπογραφή. Ως μέτρο σύγκρισης υπήρχε η φασματική υπογραφή του κάθε οδοστρώματος η οποία εξάχθηκε μόνο από τον καθαρό άσφαλτο. Τα αποτελέσματα που πήραμε έδειξαν ότι οι αλλαγές αρχίζουν με ένα ποσοστό του 0.5% και φτάνουν μέχρι το 2% για να υπάρξει διαφορά μεταξύ των φασματικών υπογραφών του κανονικού οδοστρώματος και

αυτής που φτιάχτηκε. Όλα τα ποσοστά αναφέρονται σε ποσοστά ανάκλασης. Είδαμε ότι και οι τρεις φασματικές υπογραφές που δημιουργήθηκαν άσφαλτο από 41%-66% που είναι αρκετά σημαντικό ποσοστό. Επίσης παρατηρήθηκε ότι και οι τρεις φασματικές υπογραφές περιέχουν ποσοστό πεζοδρομίου 1% το οποίο μας δείχνει ότι επιτεύχθηκε ίσως ένα αποτέλεσμα. Επίσης όλες οι ατέλειες που συμπεριλήφθησαν ήταν ατέλειες που μπορούσαν να μεταβάλουν αρκετά την ανάκλαση αφού είχαν χαρακτηριστικά με έντονο χρώμα , εκτός από την ρωγμή που συμπεριλήφθηκε και είχε ένα πάχος 1cmγια να δώσει ικανοποιητικές αλλαγές. Παράλληλα είχαμε και ατέλειες που δεν προκαλούσαν αλλαγές όπως ήταν οι ρωγμές διαφόρων τύπων , και χρήζουν ίσως περεταίρω μελλοντικές μελέτες. Τέλος έγινε μια θεωρητική μελέτη σε τρεις δορυφόρους χαμηλής, μέσης και υψηλής ανάλυσης και αφού γνωρίζαμε τα τετραγωνικά εκατοστά που καλύπτουν σε ένα ριχελαντιστοιχίσαμε το ποσοστό τις κάθε ατέλειες σε τετραγωνικά εκατοστά για το κάθε δορυφόρο(βλέπε πίνακες 1,2,3) με σκοπό να προσδιορίσουμε ένα mix ρichel που ήταν ένας και από τους στόχους τις πτυχιακής μου. Στους Πίνακες αυτούς το μεγαλύτερο ποσοστό το καταλαμβάνει η άσφαλτος. Παρατηρείται επιπλέον ότι οι άλλες ατέλειες όπως είναι το πεζοδρόμιο καταλαμβάνουν ποσοστό της τάξεως του 1% που είναι το ίδιο και για τα τρία οδοστρώματα. Μεγάλα ποσοστά στους πίνακες καταλαμβάνει η ρωγμή , το λάδι και η τσίχλα λόγω του ότι το μέγεθος και το πάχος τους χρειάζεται να είναι αρκετό για να είναι εμφανές. Σε χαμηλά ποσοστά κυμαίνεται το χρώμα και τα φρεάτια αφού λόγω του υλικού του οποίου αποτελούνται μπορούν να είναι εμφανές λαμβάνοντας μικρότερη έκταση. Τα αποτελέσματα που δίνουν οι πίνακες δεν μπορούν να συγκριθούν σε απόλυτο βαθμό αφού κάθε δρόμος έχει διαφορετικές ατέλειες (προβλήματα) ,επομένως αυτά που συμπεριλήφθηκαν είναι για το καθένα ξεχωριστά και χρειάζονται περεταίρω μελλοντική έρευνα για να καταλήξουμε σε κάτι πιο ολοκληρωμένο.

6 Συμπεράσματα

Με την ολοκλήρωση της έρευνας εξάγονται αρκετά συμπεράσματα αλλά και προβληματισμοί. Αρχικά διαπιστώθηκε ότι τα ασφαλικά οδοστρώματα αντιμετωπίζουν αρκετά προβλήματα και διακατέχονται από πολλές ατέλειες(προβλήματα) οι οποίες μπορούν να είναι αντιληπτές είτε με μια απλή επιτόπου οπτική επιθεώρηση. Οι φασματικές υπογραφές διαφέρουν αρκετά από ηλικία σε ηλικία όσον αφορά τον καθαρό άσφαλτο, αλλά και ταυτόχρονα όταν συμπεριληφθούν οι ατέλειες(προβλήματα) μπορεί να γίνει αντιληπτό το πρόβλημα αφού είναι εμφανές οι αλλαγές. Επιπρόσθετα διαπιστώθηκε ότι σε ένα οδόστρωμα αυτά που προκαλούν μεγάλες αλλαγές στην φασματική υπογραφή είναι τα πεζοδρόμια, τα φρεάτια, το χώμα, τα λάδια και οι τσίχλες. Όλα αυτά εκπέμπουν διαφορετικό φως αφού αποτελούνται κυρίως από έντονα χρώματα και διαφορετικά υλικά που μπορούν να δώσουν αρκετά καλά αποτελέσματα. Οι άλλες ατέλειες όπως είναι οι ρωγμές διαφόρων τύπων αλλά και το raveling που έγινε αντιληπτό σε κάποια σημεία δεν μπορούν να μας δώσουν τόσο μεγάλες αλλαγές, επομένως είναι δύσκολο να τα διακρίνουμε μέσω της φασματικής υπογραφής. Οι φασματικές υπογραφές που φτιάχτηκαν δεν τα περιλάμβαναν αυτά για τους πιο πάνω λόγους, εκτός από μια που περιλάμβανε μια ρωγμή η οποία είχε πάχος 1cm. Για να εξαχθούν οι φασματικές υπογραφές τοποθετήθηκαν βάρη με την μορφή ποσοστών. Τα ποσοστά αυτά διέφεραν από ατέλεια σε ατέλεια αφού η καθεμιά έπαιρνε διαφορετικό ποσοστό για να μας δώσει κάποια αλλαγή. Σημαντικό είναι να αναφερθεί πως κάποιες ατέλειες πήραν βάρος τις τάξεως του 99,99% και στον άσφαλτο δόθηκε το 0,01%. Αυτά τα ποσοστά δόθηκαν με σκοπό να δούμε αν παρατηρούνται αλλαγές. Δεν ήταν όμως εφικτό αφού για τις συγκεκριμένες ατέλειες η πορεία της φασματικής υπογραφής ήταν η ίδια με αυτή του ασφάλτου. Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι μετρήθηκαν πέντε οδοστρώματα και τα δύο όμως δεν μελετήθηκαν περισσότερο λόγω του περιορισμένου χρόνου που υπήρχε. Επιπρόσθετα θα ήταν καλύτερο να μπορούσαν να μετρηθούν και άλλα και να αναλυθούν τα δεδομένα τους με σκοπό να είναι πιο εμφανές οι διαφορές στις φασματικές υπογραφές αφού θα είχαν υπό κανονικές συνθήκες δεδομένα για οδοστρώματα κάθε έτους ξεχωριστά. Όσο αφορά τις καινούργιες φασματικές υπογραφές που δημιουργήθηκαν βάση ποσοστών είναι κάτι καινούργιο το οποίο

δεν έγινε περαιτέρω έρευνα από άλλους επιστήμονες πάνω σε ασφαλικά οδοστρώματα. Ο στόχος από αυτό το κομμάτι είναι να μπορεί να αναγνωρισθεί στο μέλλον από διάφορους δορυφόρους το ποσοστό που κατέχουν σε ένα οδόστρωμα , δηλαδή να φτιαχτεί ένα mix pixel κάτι το οποίο έγινε και στην δική μου μελέτη. Αυτά τα αποτελέσματα που κατέληξα μπορούν να αξιοποιηθούν σε μεταγενέστερο στάδιο και με περισσότερη επεξεργασία για να οριστεί καλύτερα το mix pixel. Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά την μελέτη που έγινε στο πεδίο χρησιμοποιήθηκε GPS αλλά και σε κάποιες περιοχές χρησιμοποιήθηκε και drone. Τα δεδομένα τους θα αξιοποιηθούν σε μεταγενέστερο στάδιο με σκοπό να εξαχθούν καλύτερα αποτελέσματα όσο αφορά τα ασφαλικά οδοστρώματα. Κλείνοντας θα ήθελα να αναφέρω ότι αν γίνει περισσότερη έρευνα και αξιοποίηση των αποτελεσμάτων ίσως στο μέλλον καταφέρουμε να επιτύχουμε πιο εύκολες και γρήγορες μεθόδους για την αναγνώριση των προβλημάτων που θα παρουσιάζονται στα ασφαλικά οδοστρώματα., χρησιμοποιώντας κυρίως δορυφόρους με σκοπό να εξοικονομούμε χρόνο, κόστος και να γίνετε γρηγορότερη εύρεση των προβλημάτων των ασφαλικών οδοστρωμάτων.

7 Βιβλιογραφία

- Casselgren, J., Sjö Dahl, M., and LeBlanc, J. (2007). “Angular spectral response from covered asphalt.” *Applied Optics*, 46(20), 4277–4288.
- Herold, M., Roberts, D. A., Hall, E., Barbara, S., and Information, G. (n.d.). “Herold_Roberts_Roads_Condition.” (Figure 1), 1–3.
- Hrůza, P., Mikita, T., Tyagur, N., Krejza, Z., Cibulka, M., Procházková, A., and Patočka, Z. (2018). “Detecting forest road wearing course damage using different methods of remote sensing.” *Remote Sensing*, 10(4), 1–17.
- Mei, A., Manzo, C., Bassani, C., Salvatori, R., and Allegrini, A. (2014a). “Bitumen Removal Determination on Asphalt Pavement Using Digital Imaging Processing and Spectral Analysis.” *Open Journal of Applied Sciences*, 04(06), 366–374.
- Mei, A., Salvatori, R., Fiore, N., Allegrini, A., and D’Andrea, A. (2014b). “Integration of Field and Laboratory Spectral Data with Multi-Resolution Remote Sensed Imagery for Asphalt Surface Differentiation.” *Remote Sensing*, 6(4), 2765–2781.
- Mettas, C., Agapiou, A., Themistocleous, K., Neocleous, K., Hadjimitsis, D., and Michaelides, S. (2016). “Risk provision using field spectroscopy to identify spectral regions for the detection of defects in flexible pavements.” *Natural Hazards*, Springer Netherlands, 83, 83–96.
- Mettas, C., Themistocleous, K., Neocleous, K., Christofe, A., Pilakoutas, K., Hadjimitsis, D., and Engineering, S. (n.d.). “MONITORING ASPHALT PAVEMENT DAMAGES USING.”
- Naukowe, Z., Ślaskiej, P., and Transport, S. (2017). “Scientific Journal of Silesian University of Technology . Series Transport DOES ELECTRIC CAR PRODUCE EMISSIONS ?” 94.
- Pan, Y., Zhang, X., Cervone, G., and Yang, L. (2018). “Detection of Asphalt Pavement Potholes and Cracks Based on the Unmanned Aerial Vehicle Multispectral Imagery.” *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, IEEE, 11(10), 3701–3712.
- 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*, 8(2), 1278–1296.
- Shao, Z., Jenkins, G., and Oh, E. (2017). “Assessing the impacts of climate change on road infrastructure.” *International Journal of GEOMATE*, 13(38), 120–128.
- Casselgren, J., Sjö Dahl, M., and LeBlanc, J. (2007). “Angular spectral response from covered asphalt.” *Applied Optics*, 46(20), 4277–4288.
- Herold, M., Roberts, D. A., Hall, E., Barbara, S., and Information, G. (n.d.). “Herold_Roberts_Roads_Condition.” (Figure 1), 1–3.
- Hrůza, P., Mikita, T., Tyagur, N., Krejza, Z., Cibulka, M., Procházková, A., and Patočka, Z. (2018). “Detecting forest road wearing course damage using different methods of remote sensing.” *Remote Sensing*, 10(4), 1–17.
- Mei, A., Manzo, C., Bassani, C., Salvatori, R., and Allegrini, A. (2014a). “Bitumen Removal Determination on Asphalt Pavement Using Digital Imaging Processing and Spectral Analysis.” *Open Journal of Applied Sciences*, 04(06), 366–374.

- Mei, A., Salvatori, R., Fiore, N., Allegrini, A., and D'Andrea, A. (2014b). "Integration of Field and Laboratory Spectral Data with Multi-Resolution Remote Sensed Imagery for Asphalt Surface Differentiation." *Remote Sensing*, 6(4), 2765–2781.
- Mettas, C., Agapiou, A., Themistocleous, K., Neocleous, K., Hadjimitsis, D., and Michaelides, S. (2016). "Risk provision using field spectroscopy to identify spectral regions for the detection of defects in flexible pavements." *Natural Hazards*, Springer Netherlands, 83, 83–96.
- Mettas, C., Themistocleous, K., Neocleous, K., Christofe, A., Pilakoutas, K., Hadjimitsis, D., and Engineering, S. (n.d.). "MONITORING ASPHALT PAVEMENT DAMAGES USING."
- Naukowe, Z., Śląskiej, P., and Transport, S. (2017). "Scientific Journal of Silesian University of Technology . Series Transport DOES ELECTRIC CAR PRODUCE EMISSIONS ?" 94.
- Pan, Y., Zhang, X., Cervone, G., and Yang, L. (2018). "Detection of Asphalt Pavement Potholes and Cracks Based on the Unmanned Aerial Vehicle Multispectral Imagery." *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, IEEE, 11(10), 3701–3712.
- 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*, 8(2), 1278–1296.
- Shao, Z., Jenkins, G., and Oh, E. (2017). "Assessing the impacts of climate change on road infrastructure." *International Journal of GEOMATE*, 13(38), 120–128.
- Casselgren, J., Sjö Dahl, M., and LeBlanc, J. (2007). "Angular spectral response from covered asphalt." *Applied Optics*, 46(20), 4277–4288.
- Herold, M., Roberts, D. A., Hall, E., Barbara, S., and Information, G. (n.d.). "Herold_Roberts_Roads_Condition." (Figure 1), 1–3.
- Hrůza, P., Mikita, T., Tyagur, N., Krejza, Z., Cibulka, M., Procházková, A., and Patočka, Z. (2018). "Detecting forest road wearing course damage using different methods of remote sensing." *Remote Sensing*, 10(4), 1–17.
- Mei, A., Manzo, C., Bassani, C., Salvatori, R., and Allegrini, A. (2014a). "Bitumen Removal Determination on Asphalt Pavement Using Digital Imaging Processing and Spectral Analysis." *Open Journal of Applied Sciences*, 04(06), 366–374.
- Mei, A., Salvatori, R., Fiore, N., Allegrini, A., and D'Andrea, A. (2014b). "Integration of Field and Laboratory Spectral Data with Multi-Resolution Remote Sensed Imagery for Asphalt Surface Differentiation." *Remote Sensing*, 6(4), 2765–2781.
- Mettas, C., Agapiou, A., Themistocleous, K., Neocleous, K., Hadjimitsis, D., and Michaelides, S. (2016). "Risk provision using field spectroscopy to identify spectral regions for the detection of defects in flexible pavements." *Natural Hazards*, Springer Netherlands, 83, 83–96.
- Mettas, C., Themistocleous, K., Neocleous, K., Christofe, A., Pilakoutas, K., Hadjimitsis, D., and Engineering, S. (n.d.). "MONITORING ASPHALT PAVEMENT DAMAGES USING."

- Naukowe, Z., Śląskiej, P., and Transport, S. (2017). "Scientific Journal of Silesian University of Technology . Series Transport DOES ELECTRIC CAR PRODUCE EMISSIONS ?" 94.
- Pan, Y., Zhang, X., Cervone, G., and Yang, L. (2018). "Detection of Asphalt Pavement Potholes and Cracks Based on the Unmanned Aerial Vehicle Multispectral Imagery." *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, IEEE, 11(10), 3701–3712.
- 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*, 8(2), 1278–1296.
- Shao, Z., Jenkins, G., and Oh, E. (2017). "Assessing the impacts of climate change on road infrastructure." *International Journal of GEOMATE*, 13(38), 120–128.
- Shao, Z., Jenkins, G., and Oh, E. (2017). "Assessing the impacts of climate change on road infrastructure." *International Journal of GEOMATE*, 13(38), 120–128.
- 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.
- Casselgren, J., Sjö Dahl, M., and LeBlanc, J. (2007). "Angular spectral response from covered asphalt." *Applied Optics*, 46(20), 4277–4288.
- Herold, M., Roberts, D. A., Hall, E., Barbara, S., and Information, G. (n.d.). "Herold_Roberts_Roads_Condition." (Figure 1), 1–3.
- Hrůza, P., Mikita, T., Tyagur, N., Krejza, Z., Cibulka, M., Procházková, A., and Patočka, Z. (2018). "Detecting forest road wearing course damage using different methods of remote sensing." *Remote Sensing*, 10(4), 1–17.
- Mei, A., Manzo, C., Bassani, C., Salvatori, R., and Allegrini, A. (2014a). "Bitumen Removal Determination on Asphalt Pavement Using Digital Imaging Processing and Spectral Analysis." *Open Journal of Applied Sciences*, 04(06), 366–374.
- Mei, A., Salvatori, R., Fiore, N., Allegrini, A., and D'Andrea, A. (2014b). "Integration of Field and Laboratory Spectral Data with Multi-Resolution Remote Sensed Imagery for Asphalt Surface Differentiation." *Remote Sensing*, 6(4), 2765–2781.
- Mettas, C., Agapiou, A., Themistocleous, K., Neocleous, K., Hadjimitsis, D., and Michaelides, S. (2016). "Risk provision using field spectroscopy to identify spectral regions for the detection of defects in flexible pavements." *Natural Hazards*, Springer Netherlands, 83, 83–96.
- Mettas, C., Themistocleous, K., Neocleous, K., Christofe, A., Pilakoutas, K., Hadjimitsis, D., and Engineering, S. (n.d.). "MONITORING ASPHALT PAVEMENT DAMAGES USING."
- Naukowe, Z., Śląskiej, P., and Transport, S. (2017). "Scientific Journal of Silesian University of Technology . Series Transport DOES ELECTRIC CAR PRODUCE EMISSIONS ?" 94.

- Pan, Y., Zhang, X., Cervone, G., and Yang, L. (2018). "Detection of Asphalt Pavement Potholes and Cracks Based on the Unmanned Aerial Vehicle Multispectral Imagery." *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, IEEE, 11(10), 3701–3712.
- 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*, 8(2), 1278–1296.
- Shao, Z., Jenkins, G., and Oh, E. (2017). "Assessing the impacts of climate change on road infrastructure." *International Journal of GEOMATE*, 13(38), 120–128.
- Casselgren, J., Sjö Dahl, M., and LeBlanc, J. (2007). "Angular spectral response from covered asphalt." *Applied Optics*, 46(20), 4277–4288.
- 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*, 8(2), 1278–1296.
- Dwight Walker. (n.d.). "Asphalt magazine." *Asphalt Institute*, <<http://asphaltmagazine.com/>>.