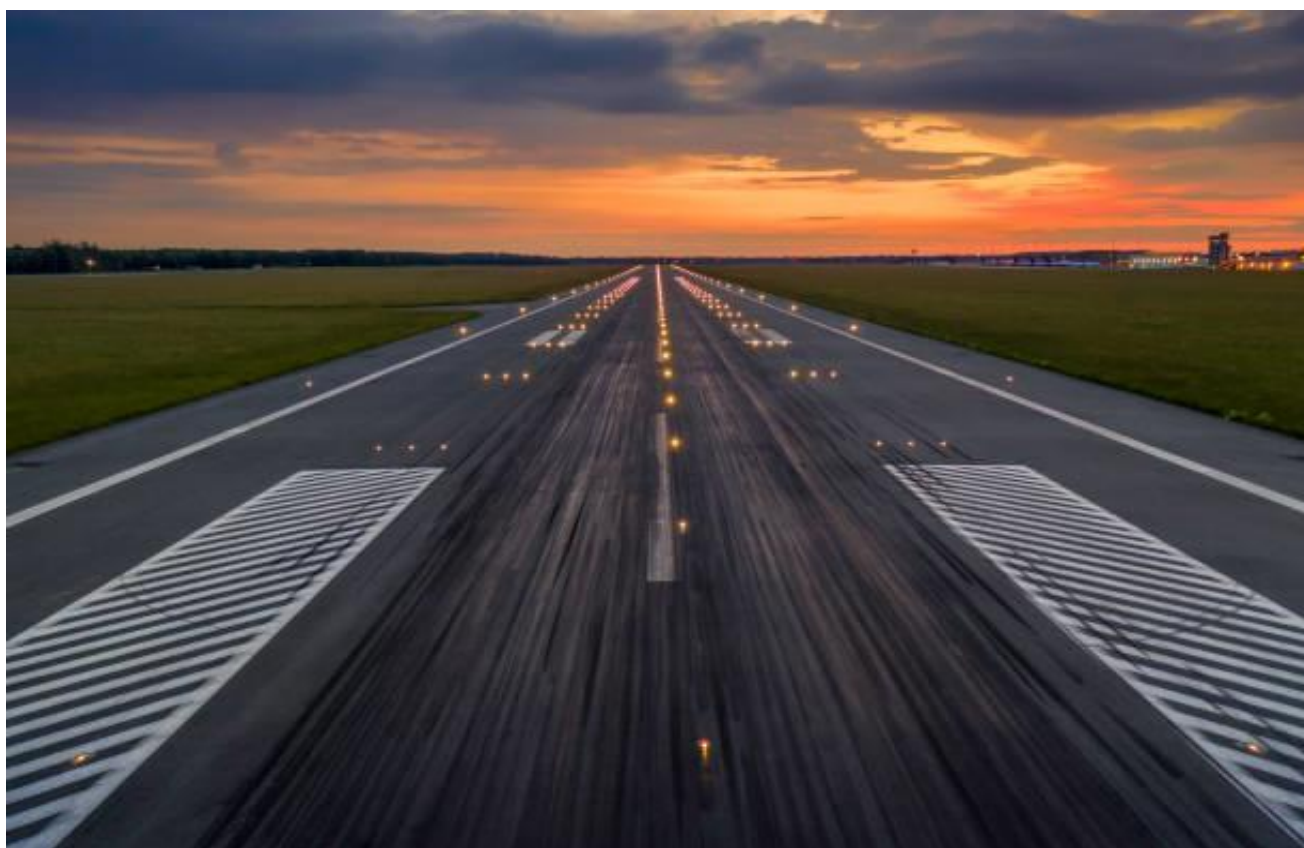




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής
Εργαστήριο Οδοστρωμάτων

Διπλωματική Εργασία

**ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΔΙΕΘΝΟΥΣ ΔΕΙΚΤΗ ΟΜΑΛΟΤΗΤΑΣ (IRI) ΓΙΑ ΤΗΝ
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (PCI) ΓΙΑ ΑΣΦΑΛΤΙΚΑ
ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΩΝ**



ΙΩΝΑ ΕΛΕΝΑ

Επιβλέπουσα: Χριστίνα Πλατή, Καθηγήτρια ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2023

Ιωνά Έλενα (2023)

Αξιοποίηση του Διεθνούς Δείκτη Ομαλότητας (IRI) για την εκτίμηση του Δείκτη
Κατάστασης (PCI) για ασφαλτικά οδοστρώματα αεροδρομίων
Διπλωματική Εργασία

Επιβλέπουσα: Χριστίνα Πλατή, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Iona Elena (2023)

Utilization of the International Roughness Index (IRI) to estimate the Pavement
Condition Index (PCI) for asphalt airport pavements
Diploma Thesis

Supervisor: Christina Plati, NTUA Professor
National Technical University of Athens, Greece.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας και κατ' επέκταση των προπτυχιακών μου σπουδών, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κα. Χριστίνα Πλατή, Καθηγήτρια της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος, και ειδικότερα για την συνολική καθοδήγηση και τις συμβουλές που μου προσέφερε κατά την διεκπεραίωση της εργασίας.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Αγγελική Αρμένη, Δρ Συνεργάτη-Ερευνήτρια της σχολής, για την πολύτιμη βοήθεια και για την άψογη συνεργασία που είχαμε σε όλα τα στάδια εκπόνησης της εργασίας.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για τη συνεχή υποστήριξη, την ενθάρρυνση και τη συμπαράσταση που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου.

Αθήνα, Οκτώβριος 2023

Ιωνά Έλενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την διαδικασία εκτίμησης του Δείκτη Κατάστασης (PCI: Pavement Condition Index) για ασφαλτικά οδοστρώματα αεροδρομίων μέσα από την αξιοποίηση του Διεθνούς Δείκτη Ομαλότητας (IRI: International Roughness Index). Οι δείκτες αυτοί χαρακτηρίζουν την κατάσταση του οδοστρώματος ως προς τις φθορές και την ομαλότητα, αντίστοιχα, και συμβάλλουν στην αξιολόγηση αυτού. Ο δείκτης IRI λαμβάνεται τυπικά με χρήση εξειδικευμένου εξοπλισμού που καταγράφει την ομαλότητα του τμήματος του οδοστρώματος με βάση καθιερωμένους αλγόριθμους υπολογιστών, ενώ ο δείκτης PCI βασίζεται σε υποκειμενική κατάταξη αξιολόγησης των φθορών του οδοστρώματος. Ωστόσο, η κοστοβόρα και χρονοβόρα διαδικασία εκτίμησης του δείκτη PCI με τα τυπικά συστήματα καταγραφής, οδήγησε στην ανάπτυξη μοντέλων συσχέτισης για την πρόβλεψη του PCI από το IRI ή και το αντίστροφο. Αξιοποιώντας υπάρχουσες τιμές του δείκτη IRI από τη βάση δεδομένων του Εργαστηρίου Οδοστρωμάτων ΕΜΠ, προερχόμενες από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε υφιστάμενο αεροδρόμιο του Ελλαδικού χώρου, υπολογίζονται οι τιμές του δείκτη PCI, μέσω διάφορων μοντέλων συσχέτισης. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται σύγκριση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, όπως αυτά προέκυψαν από τα επιμέρους μοντέλα. Τα αποτελέσματα αυτά οδηγούν σε χρήσιμα συμπεράσματα για τα μοντέλα συσχέτισης που χρησιμοποιήθηκαν, τα οποία στοιχειοθετούν προτάσεις για μελλοντική έρευνα, όσον αφορά στην αξιολόγηση της ομαλότητας και της κατάστασης των οδοστρωμάτων αεροδρομίων.

Λέξεις κλειδιά: οδόστρωμα, αεροδρόμιο, ομαλότητα, δομική κατάσταση, IRI, PCI

ABSTRACT

This thesis deals with the estimation of the Pavement Condition Index (PCI) for asphalt pavements of airports through the use of the International Roughness Index (IRI). These indicators characterize the condition of the pavement in terms of wear and smoothness, respectively, and contribute to its evaluation. The IRI is typically obtained using specialized equipment that records the smoothness of the pavement section based on established computer algorithms, while the PCI is based on a subjective ranking of pavement wear assessment. However, the costly and time-consuming process of estimating PCI with typical recording systems has led to the development of correlation models to predict PCI from IRI or vice versa. Utilizing existing values of the IRI from the NTUA Pavement Laboratory database, derived from measurements carried out at an existing airport in Greece, the values of the PCI are calculated, through various correlation models. Afterwards, a comparison and evaluation of the results, as obtained from the individual models, is carried out. These results lead to useful conclusions for the correlation models used, which provide suggestions for future research regarding the assessment of the smoothness and condition of airport pavements.

Key words: pavement, airports, roughness, structural condition, IRI, PCI

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	11
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
1.1 Αντικείμενο.....	13
1.2 Στόχος και Μεθοδολογία.....	14
1.3 Δομή Εργασίας.....	15
2. ΔΕΙΚΤΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ	17
2.1 Ορισμός	17
2.2 Τύποι οδοστρωμάτων.....	20
2.3 Φθορές και Δείκτης Κατάστασης Οδοστρώματος.....	21
2.3.1 Φθορά εύκαμπτων οδοστρωμάτων	21
2.3.2 Είδη φθορών που σχετίζονται με τον δείκτη δομικής κατάστασης	23
2.4 Συστήματα Καταγραφής.....	31
2.4.1 Γενικά.....	31
2.4.2 Οπτικές επιθεωρήσεις	32
2.4.3 Τεχνολογίες απεικόνισης υψηλής ανάλυσης.....	32
2.4.4 Υπέρυθρη θερμογραφία	35
3. ΔΙΕΘΝΗΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΟΜΑΛΟΤΗΤΑΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ	38
3.1 Γενικά	38
3.2 Χαρακτηριστικά ομαλότητας οδοστρωμάτων.....	39
3.3 Διεθνής Δείκτης Ομαλότητας.....	41
3.4 Συστήματα Καταγραφής Ομαλότητας	44
3.4.1 Γενικά.....	44

3.4.2	Συστήματα καταγραφής της μηχανικής απόκρισης.....	45
3.4.3	Υψηλής ταχύτητας προφιλόμετρα	45
3.4.4	Προφίλογράφοι.....	46
3.4.5	Ελαφρά προφιλόμετρα	48
3.4.6	Χειροκίνητες συσκευές	48
4.	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΕΙΚΤΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ.....	51
4.1	Γενικά	51
4.2	Μοντέλα εκτίμησης.....	51
5.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	55
5.1	Γενικά	55
5.2	Ανάλυση δεδομένων	55
5.3	Σύγκριση αποτελεσμάτων	57
6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	62
7.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	64
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	67

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1 Κλίμακα κατάταξης PCI.....	18
Εικόνα 2.2 Χαρακτηριστική διατομή ασφατικού οδοστρώματος.....	21
Εικόνα 2.3 Ρωγμή τύπου αλιγάτορα	25
Εικόνα 2.4 Διαμήκης ρωγμή.....	25
Εικόνα 2.5 Εγκάρσια ρωγμή.....	26
Εικόνα 2.6 Αυλακώσεις οδοστρωμάτων	27
Εικόνα 2.7 Τοπική διόγκωση οδοστρώματος.....	27
Εικόνα 2.8 Καθίζηση οδοστρώματος.....	28
Εικόνα 2.9 Ενανθράκωση του ασφατικού υλικού	29
Εικόνα 2.10 Αποκόλληση αδρανών	29
Εικόνα 2.11 Ανάδυση ασφάλτου	30
Εικόνα 2.12 Λείανση αδρανών	31
Εικόνα 2.13 (α) UAV με έξι φτερά (b) κάμερα MCAsnap 12 (c) πλήρης οδική εικόνα MCA.....	33
Εικόνα 2.14 Όχημα συλλογής δεδομένων φθορών και ομαλότητας του οδοστρώματος (Mobile Mapping System).....	35
Εικόνα 2.15 Κάμερα υπερύθρων	36
Εικόνα 2.16 Χρήση υπέρυθρης θερμογραφίας για την ανίχνευση θερμικού διαχωρισμού σε επιφάνεια ασφάλτου	36
Εικόνα 3.1 Συνέπειες έλλειψης ομαλότητας στα οδοστρώματα αεροδρομίων (Λοΐζος, Πλατή, 2014).....	40
Εικόνα 3.2 Επιφάνεια οδοστρώματος και κατατομές (Λοΐζος και Πλατή, 2019)	41
Εικόνα 3.3 Κύρια στοιχεία κυματισμών επιπεδότητας (S. H. Cardoso, 2002)	41
Εικόνα 3.4 Διάταξη προσομοίωσης υπολογισμού του IRI (Λοΐζος & Πλατή, 2008)...	42
Εικόνα 3.5 Εύρος τιμών IRI σε σχέση με τους διάφορους τύπους οδοστρωμάτων και τις ταχύτητες προσπέλασής τους.....	43
Εικόνα 3.6 Bump Intergrator	45
Εικόνα 3.7 Υψηλής ταχύτητας προφιλόμετρο	46
Εικόνα 3.8 Σκίτσα California Profilograph και Rainhart Profilograph (Loofetetal., 2007)	47

Εικόνα 3.9 California Profilograph	47
Εικόνα 3.10 Προφιλόμετρο ελαφρού τύπου.....	48
Εικόνα 3.11 Τοπογραφική αποτύπωση της επιφάνειας (RLM).....	49
Εικόνα 3.12 Συσκευή Dipstick	50
Εικόνα 3.13 Συσκευή Walking Profiler	50
Εικόνα 5.1 IRI πριν την αποκατάσταση κατά μήκος του διαδρόμου προσγείωσης	56
Εικόνα 5.2 IRI μετά την αποκατάσταση κατά μήκος του διαδρόμου προσγείωσης	56
Εικόνα 5.3 Τιμή IRI πριν και μετά την αποκατάσταση	57
Εικόνα 5.4 Σύγκριση PCI πριν και μετά την αποκατάσταση οδοστρώματος	59
Εικόνα 5.5 Ποσοστιαία μεταβολή βελτίωσης του PCI	60

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1 Φθορές εύκαμπτων οδοστρωμάτων που λαμβάνει υπόψη ο δείκτης PCI	23
Πίνακας 5.1 Μεταβολή του PCI πριν και μετά την αποκατάσταση οδοστρώματος	58
Πίνακας Π.1 Δεδομένα επεξεργασίας πριν την αποκατάσταση	67
Πίνακας Π.2 Δεδομένα επεξεργασίας μετά την αποκατάσταση.....	74

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο

Η ολοένα αυξανόμενη επιβατική και εμπορευματική κίνηση που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια στις αερομεταφορές είναι αξιοσημείωτη. Ωστόσο, αυτή η αυξημένη κίνηση στις υποδομές αεροπορικών μεταφορών, τα ολοένα και μεγαλύτερα και πιο αποδοτικά αεροσκάφη, καθώς και το απρόβλεπτο των καιρικών συνθηκών είναι παράγοντες που επιταχύνουν τη φθορά των οδοστρωμάτων των αεροδρομίων, καθιστώντας τα πιο επιρρεπή σε επικίνδυνα επίπεδα υποβάθμισης. Η υιοθέτηση μιας απλής και αξιόπιστης διαδικασίας για την αξιολόγηση της σχετικής επίδρασης των αεροσκαφών και τον έλεγχο επάρκειας της φέρουσας ικανότητας των οδοστρωμάτων μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στη διαχείριση τους (Ψαράκη-Καλουπτσίδη, 2009).

Ένα κρίσιμο εργαλείο όπως ένα σύστημα διαχείρισης οδοστρώματος είναι απαραίτητο για να βοηθήσει τους αρμόδιους φορείς στη διαδικασία λήψης αποφάσεων των πιο κατάλληλων προληπτικών και οικονομικά αποδοτικών λύσεων για την εκτέλεση συντήρησης και αποκατάστασης. Στη παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική ανασκόπηση για τα μοντέλα συσχέτισης δύο παραμέτρων που χαρακτηρίζουν την κατάσταση του οδοστρώματος. Αυτές οι παράμετροι είναι ο Δείκτης Κατάστασης Οδοστρώματος (PCI: Pavement Condition Index) και ο Διεθνής Δείκτης Ομαλότητας (IRI: International Roughness Index).

Στην πράξη τα επιφανειακά χαρακτηριστικά είναι αυτά που γίνονται αντιληπτά από τους χρήστες του οδοστρώματος. Σαν αποτέλεσμα αυτού ήταν η ανάπτυξη διάφορων μεθόδων οι οποίες καταγράφουν τα χαρακτηριστικά αυτά, έτσι ώστε μετά την καταγραφή να συγκρίνονται με τα όρια που έχουν θεσπιστεί. Από τη σύγκριση αυτή συμπεραίνεται αν το οδόστρωμα χρειάζεται επέμβαση ή όχι. Γενικά, τα όρια αυτά αναφέρονται στις προδιαγραφές ενός έργου κατασκευής ή συντήρησης οδοστρωμάτων (Λοΐζος & Πλατή, 2018). Ο Δείκτης Κατάστασης Οδοστρώματος (PCI) παρέχει τη δυνατότητα για την εκτίμηση της κατάστασης του οδοστρώματος των οδών, βασιζόμενος στις φθορές που παρατηρούνται στην επιφάνεια του. Εκτός από τις

οδούς, ο δείκτης PCI έχει υιοθετηθεί και από τα πρότυπα της ASTM (American Society for Testing and Material) για την αξιολόγηση της κατάστασης οδοστρωμάτων αεροδρομίων (ASTM, 1997). Για την ενιαία και σαφή έκφραση της ομαλότητας του οδοστρώματος, ανεξάρτητα από τη μέθοδο μέτρησης, έχει αναπτυχθεί σε παγκόσμιο επίπεδο ο Διεθνής Δείκτης Ομαλότητας (IRI). Ο δείκτης IRI χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των δεδομένων που καταγράφονται με τη βοήθεια εξειδικευμένων οργάνων μέτρησης και αφορούν στην ομαλότητα του οδοστρώματος.

Ωστόσο, οι συμβατικές μέθοδοι καταγραφής του δείκτη PCI απαιτούν μια κοστοβόρα και χρονοβόρα διαδικασία υπολογισμού, με αποτέλεσμα να υπάρχει έντονο ενδιαφέρον για τη συσχέτιση των δύο δεικτών PCI και IRI που οδήγησε στην ανάπτυξη μοντέλων για την εκτίμηση του PCI από το IRI και αντίστροφα.

1.2 Στόχος και Μεθοδολογία

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε με στόχο τη διερεύνηση της διαδικασίας εκτίμησης του Δείκτη Κατάστασης Οδοστρωμάτων (PCI) μέσω κάποιων μοντέλων συσχέτισής του με τον Διεθνή Δείκτη Ομαλότητας (IRI), όπως αυτά προέκυψαν από τη διεθνή βιβλιογραφία. Εξίσου σημαντικό στόχο αποτελεί και η μετέπειτα σύγκριση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από το εκάστοτε μοντέλο συσχέτισης. Η χρήση του κατάλληλου μοντέλου παίζει σημαντικό ρόλο στη διαχείριση του οδοστρώματος και τη λήψη αποφάσεων για τη συντήρηση και την σωστή και ασφαλή λειτουργία του.

Για την επίτευξη του προαναφερόμενου στόχου, στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αρχικά πραγματοποιείται βιβλιογραφική ανασκόπηση για τον εντοπισμό των μεθόδων προσδιορισμού της κατάστασης του οδοστρώματος. Στη συνέχεια, μέσα από τη διεθνή βιβλιογραφία εντοπίζονται τα μοντέλα συσχέτισης του δείκτη PCI με τον IRI που έχουν αναπτυχθεί παγκοσμίως, εκ των οποίων απομονώνονται τα οκτώ μοντέλα με τα καλύτερα και πιο αποδεκτά αποτελέσματα. Έπειτα, μέσω των μοντέλων αυτών, εκτιμάται ο δείκτης PCI οδοστρώματος διαδρόμου προσγείωσης/ απογείωσης αεροσκαφών, σε περιφερειακό αεροδρόμιο του Ελλαδικού

χώρου με την αξιοποίηση του δείκτη IRI. Η διερεύνηση πραγματοποιήθηκε πριν και μετά τις εργασίες αποκατάστασης του διαδρόμου προσγείωσης/ απογείωσης αεροσκαφών. Τα στοιχεία ομαλότητας αντλήθηκαν από τη βάση δεδομένων του Εργαστηρίου Οδοστρωμάτων ΕΜΠ και αφορούν σε μετρημένες τιμές του δείκτη IRI(m/km) ανά 10m σε συνολικό τμήμα 2.85 km υφιστάμενου αεροδρομίου. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το εκάστοτε μοντέλο, αποτυπώνονται σε διαγράμματα, ώστε να συγκριθούν και να αξιολογηθούν, οδηγώντας σε χρήσιμα συμπεράσματα.

1.3 Δομή Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από επτά κεφάλαια, συμπεριλαμβανομένου του παρόντος εισαγωγικού κεφαλαίου.

Στο **κεφάλαιο 2** παρουσιάζονται σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, η μέθοδος υπολογισμού του Δείκτη Κατάστασης Οδοστρωμάτων (PCI) στα αεροδρόμια, τα μέσα καταγραφής και η κλίμακα κατάταξης του PCI.

Στο **κεφάλαιο 3** παρουσιάζονται σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, η μέθοδος υπολογισμού του Διεθνή Δείκτη Ομαλότητας (IRI) στα αεροδρόμια καθώς και τα συστήματα καταγραφής της ομαλότητας.

Στο **κεφάλαιο 4** παρουσιάζονται τα μοντέλα εκτίμησης του δείκτη PCI από τον δείκτη IRI, όπως αυτά προκύπτουν από τη διεθνή βιβλιογραφία.

Στο **κεφάλαιο 5** γίνεται ανάλυση των στοιχείων πεδίου και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τη σύγκριση των μοντέλων εκτίμησης του δείκτη PCI.

Στο **κεφάλαιο 6** συνοψίζονται τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας και παρουσιάζονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Τέλος, στο **κεφάλαιο 7** παρατίθεται το σύνολο της βιβλιογραφίας που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.

2. ΔΕΙΚΤΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

2.1 Ορισμός

Η διατήρηση της κατάστασης των οδοστρωμάτων του αεροδρομίου σε ένα επιθυμητό επίπεδο αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την ασφαλή λειτουργία των αεροδρομίων. Ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την αξιολόγηση της κατάστασης των οδοστρωμάτων, τόσο στις οδούς, όσο και στα αεροδρόμια είναι ο Δείκτης Κατάστασης Οδοστρώματος PCI (Pavement Condition Index).

Ο Δείκτης Κατάστασης Οδοστρώματος (PCI) , είναι ένας δείκτης που παρέχει τη δυνατότητα εκτίμησης της κατάστασης του οδοστρώματος βάσει των φθορών που παρατηρούνται στην επιφάνεια του με βάση το πρότυπο της ASTM (American Society for Testing and Material) για την αξιολόγηση της κατάστασης οδοστρωμάτων αεροδρομίων. Ο δείκτης αυτός προσφέρει μια ορθολογική και αντικειμενική βάση για τον προσδιορισμό των αναγκών και των προτεραιοτήτων συντήρησης και επισκευής, ωστόσο δεν εκφράζει τη δομική επάρκεια του οδοστρώματος, ούτε παρέχει άμεση εκτίμηση της ομαλότητας ή της αντιστοιχιστικής ικανότητας του. Η συνεχής παρακολούθηση του PCI χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του ρυθμού φθοράς του οδοστρώματος, ο οποίος επιτρέπει τον έγκαιρο εντοπισμό μεγάλων αναγκών αποκατάστασης. Η εξαγωγή του δείκτη γίνεται με συγκεκριμένο μαθηματικό αλγόριθμο (Εξ. 2.1) με βάση το ποσοστό της έκτασης και το επίπεδο σοβαρότητας κάθε φθοράς, καθώς και συντελεστών βαρύτητας για κάθε τύπο και επίπεδο σοβαρότητας φθοράς (ASTM 1997, Shahin 1994).

$$PCI=100-\max CDV \quad [2.1]$$

Η κατάταξη του δείκτη PCI γίνεται σε μια κλίμακα από 0 έως 100, με το 0 να αντιπροσωπεύει ένα οδόστρωμα που έχει αστοχήσει και το 100 να υποδηλώνει ένα οδόστρωμα σε άριστη κατάσταση. Η κλίμακα κατάταξης χωρίζεται σε διαφορετικά εύρη που αντιστοιχούν στο επίπεδο φθοράς του οδοστρώματος και στις απαιτούμενες ενέργειες συντήρησης ή αποκατάστασης (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1 Κλίμακα κατάταξης PCI

(Πηγή: ASTM D5340 – 20)

Η κατηγοριοποίηση της κλίμακας του δείκτη PCI γίνεται ως εξής:

Καλό (PCI 85-100): Το οδόστρωμα είναι σε πολύ καλή κατάσταση, παρουσιάζει ελάχιστη ή καθόλου φθορά. Η τακτική συντήρηση είναι επαρκής για τη διατήρηση αυτής της κατάστασης.

Ικανοποιητικό (PCI 70-84): Το οδόστρωμα εμφανίζει κάποια σημάδια φθοράς, αλλά συνολικά, είναι δομικά σταθερό. Συνιστώνται μικρές επισκευές και προληπτική συντήρηση.

Μέτριο (PCI 55-69): Το οδόστρωμα παρουσιάζει μέτριες φθορές, συμπεριλαμβανομένων ρωγμών, φθοράς της επιφάνειας και περιστασιακές λακκούβες. Είναι απαραίτητο να γίνουν ενέργειες αποκατάστασης.

Κακό (PCI 40-54): Το οδόστρωμα αντιμετωπίζει σημαντική φθορά, με εκτεταμένες ρωγμές, αυλακώσεις και ανωμαλίες στην επιφάνεια. Μπορεί να απαιτηθούν εκτεταμένες επισκευές ή ανακατασκευή.

Αστοχία (PCI 0-39): Το οδόστρωμα που λαμβάνει τόσο χαμηλές τιμές είναι σε πολύ κακή κατάσταση (PCI 10-39), ενώ μπορεί και να έχει αστοχήσει (PCI 0-9). Το οδόστρωμα αυτό δεν είναι λειτουργικό, ούτε ασφαλές και απαιτεί άμεση ανακατασκευή ή πλήρη αποκατάσταση.

Ο δείκτης PCI καταγράφεται για διάφορους τύπους οδοστρωμάτων, ωστόσο η παρούσα εργασία αφορά σε ασφαλτικά οδοστρώματα των αεροδρομίων.

Η διατήρηση του δείκτη PCI σε υψηλά επίπεδα της κλίμακας κατάταξης είναι απαραίτητη για τα οδοστρώματα των αεροδρομίων για διάφορους σημαντικούς λόγους:

- Ασφάλεια: Τα οδοστρώματα του αεροδρομίου πρέπει να παρέχουν μια ασφαλή και λεία επιφάνεια για την κίνηση του αεροσκάφους, συμπεριλαμβανομένης της απογείωσης, της προσγείωσης και της τροχοδρόμησης. Η τακτική αξιολόγηση με την εκτίμηση του δείκτη PCI επιτρέπει στα αεροδρόμια να εντοπίζουν πιθανούς κινδύνους για την ασφάλεια και να ιεραρχούν τις επισκευές ανάλογα, ελαχιστοποιώντας τους κινδύνους για τα αεροσκάφη και τους επιβάτες.
- Κόστος-Αποτελεσματικότητα: Η έγκαιρη συντήρηση και αποκατάσταση με βάση την εκτίμηση του δείκτη PCI μπορεί να παρατείνει τη διάρκεια ζωής των οδοστρωμάτων και να αποτρέψει δαπανηρές επείγουσες επισκευές ή πλήρη ανακατασκευή. Επενδύοντας στη συντήρηση ρουτίνας την κατάλληλη στιγμή, τα αεροδρόμια μπορούν να βελτιστοποιήσουν τους προϋπολογισμούς τους και να μειώσουν τις μακροπρόθεσμες δαπάνες.
- Λειτουργική αποτελεσματικότητα: Τα καλά συντηρημένα οδοστρώματα διασφαλίζουν την ομαλή κίνηση των αεροσκαφών, μειώνοντας τις καθυστερήσεις και βελτιώνοντας τη συνολική λειτουργία του αεροδρομίου. Η διατήρηση υψηλότερων τιμών του δείκτη PCI συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση των διαταραχών που προκαλούνται από ζητήματα που σχετίζονται με το οδόστρωμα, όπως κλείσιμο, παρακάμψεις ή μειωμένη χωρητικότητα.
- Συμμόρφωση και πρότυπα: Τα αεροδρόμια υπόκεινται σε κανονιστικές απαιτήσεις και βιομηχανικά πρότυπα που απαιτούν τακτική επιθεώρηση και συντήρηση των συνθηκών του οδοστρώματος. Οι εκτιμήσεις του δείκτη PCI παρέχουν μια τυποποιημένη μέθοδο για την εκπλήρωση αυτών των υποχρεώσεων, διασφαλίζοντας τη συμμόρφωση και τη λογοδοσία.

Συμπερασματικά, η εκτίμηση του Δείκτη Κατάστασης Οδοστρώματος (PCI) χρησιμεύει ως ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για τα αεροδρόμια, ώστε να αξιολογούν και να διαχειρίζονται αποτελεσματικά την κατάσταση των οδοστρωμάτων τους. Με την καταγραφή και την αξιολόγηση των φθορών, μέσω της παροχής μιας τυποποιημένης κλίμακας κατάταξης του δείκτη PCI, επιτρέπεται στα αεροδρόμια να δίνουν προτεραιότητα στις ενέργειες συντήρησης και αποκατάστασης, διασφαλίζοντας την ασφαλή και αποτελεσματική λειτουργία των αεροδρομίων. Η τακτική παρακολούθηση επιτρέπει στα αεροδρόμια να αντιμετωπίζουν προληπτικά τα ζητήματα των οδοστρωμάτων, να βελτιστοποιούν τους προϋπολογισμούς και να συμμορφώνονται με τα πρότυπα του κλάδου, ενισχύοντας τελικά τη συνολική εμπειρία αεροδρομίου τόσο για τους επιβάτες όσο και για τους ενδιαφερόμενους φορείς.

2.2 Τύποι οδοστρωμάτων

Τα οδοστρώματα που χρησιμοποιούνται στα αεροδρόμια παρουσιάζουν την ίδια δομή με εκείνα των οδών. Ως προς την ελαστικότητά τους διακρίνονται σε:

- Εύκαμπτα (ανώτερη στρώση από ασφαλτικό υλικό)
 - Ημιεύκαμπτα / Ημιάκαμπτα (ενισχυμένη βάση και υπόβαση)
 - Δύσκαμπτα (ανώτερη στρώση από άοπλο ή οπλισμένο σκυρόδεμα)
- } ασφαλτικά

Αποτέλεσμα των διαφορετικών λειτουργικών απαιτήσεων των καταστροφμάτων αεροδρομίου είναι η χρήση διαφορετικών τύπων οδοστρωμάτων. Στα δάπεδα αναμονής και συντήρησης των αεροσκαφών συνήθως επιλέγεται η κατασκευή δύσκαμπτου οδοστρώματος, το οποίο έχει πολύ καλή συμπεριφορά έναντι των στατικών φορτίων και της χημικής διάβρωσης. Αντίθετα, σε διαδρόμους προσγείωσης-απογείωσης, τροχοδρόμους και συνδετήριους διαδρόμους συνήθως χρησιμοποιούνται ασφαλτικά οδοστρώματα, δεδομένου ότι μπορούν να παρέχουν καλύτερη ποιότητα κύλισης, απόσβεση κραδασμών, ταχύτητα στην κατασκευή και ευελιξία σε θέματα συντήρησης και αποκατάστασης βλαβών. Μία από τις πιο σημαντικές εγκαταστάσεις σε ένα αεροδρόμιο είναι ο διάδρομος προσγείωσης και απογείωσης των αεροσκαφών, ο οποίος θα πρέπει να καλύπτει τις διεθνείς προδιαγραφές, τόσο σε θέματα αντοχής του οδοστρώματος, όσο και σε θέματα που αφορούν τις διαστάσεις του.

Ως εκ τούτου, η κατάσταση του διαδρόμου προσγείωσης/ απογείωσης πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη, ιδίως στη συντήρηση για την πρόληψη και την επισκευή των φθορών. Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην εκτίμηση και την αξιολόγηση του δείκτη PCI για τα ασφαλτικά οδοστρώματα αεροδρομίων (Εικόνα 2.2).

Ασφαλτικές στρώσεις
Βάση από ασύνδετο αμμοχάλικο ή ΚΘΑ
Υπόβαση από ασύνδετο αμμοχάλικο ή ΚΘΑ
Στρώση έδρασης

Εικόνα 2.2 Χαρακτηριστική διατομή ασφαλτικού οδοστρώματος

Για κάθε τύπο οδοστρώματος, εντοπίζονται φθορές ή καταπονήσεις, οι οποίες εκτιμώνται και έχουν άμεση σχέση με τον κύκλο ζωής του κάθε οδοστρώματος, για δεδομένες κυκλοφοριακές και καιρικές συνθήκες. Τα στοιχεία των φθορών που εντοπίζονται σε ένα οδόστρωμα, ποσοτικοποιούνται μέσω κατάλληλων δεικτών. Οι υπόψη δείκτες μπορούν να παρέχουν μια απλούστερη και συγκρίσιμη αποτύπωση της κατάστασης των οδοστρωμάτων. Ένας τέτοιος δείκτης είναι και ο Δείκτης Κατάστασης Οδοστρωμάτων (PCI).

2.3 Φθορές και Δείκτης Κατάστασης Οδοστρώματος

2.3.1 Φθορά εύκαμπτων οδοστρωμάτων

Ο όρος «φθορά» αναφέρεται σε ατέλειες ή καταπονήσεις του οδοστρώματος που γίνονται αντιληπτές με απλή παρατήρηση, εκτιμώνται και σχετίζονται με τον κύκλο ζωής για κάθε τύπο οδοστρώματος για δεδομένες κυκλοφοριακές και καιρικές συνθήκες.

Σύμφωνα με το Strategic Highway Research Program (SHRP,1993), οι φθορές που συναντώνται κυρίως στα εύκαμπτα οδοστρώματα κατατάσσονται σε τέσσερις κύριες κατηγορίες:

- τις ρηγματώσεις (cracking)
- τις παραμορφώσεις της επιφάνειας (distortion)
- τις αποσαθρώσεις (disintegration) και
- την απώλεια υφής της επιφάνειας κύλισης (loss of skid resistance)

Οι ρηγματώσεις και οι παραμορφώσεις ξεκινούν συνήθως από τις κατώτερες στρώσεις (ή και το αντίθετο) και φτάνουν μέχρι την επιφανειακή στρώση, ενώ οι αποσαθρώσεις και η λείανση της επιφάνειας κύλισης εμφανίζονται και αναπτύσσονται στην επιφανειακή στρώση.

Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την εμφάνιση επιφανειακών φθορών στο οδόστρωμα είναι:

- Κυκλοφοριακά φορτία: Η επαναλαμβανόμενη κίνηση των οχημάτων, ιδιαίτερα των βαρέων φορτηγών και των αεροσκαφών, υποβάλλει το οδόστρωμα σε καταπόνηση. Το βάρος, η διάταξη του άξονα και η συχνότητα της κυκλοφορίας επηρεάζουν σημαντικά τον ρυθμό φθοράς. Οι υψηλότεροι φόρτοι κυκλοφορίας επιταχύνουν τη διαδικασία φθοράς.
- Περιβαλλοντικές συνθήκες (θερμοκρασία, παγετός, υγρασία)
- Χρήση ακατάλληλων υλικών και κακοτεχνίες στη φάση της κατασκευής
- Καθυστέρηση της κατασκευής των διάφορων στρώσεων του ασφαλτοτάπητα

Σε αυτό το κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στους τύπους φθορών των εύκαμπτων οδοστρωμάτων αεροδρομίων που λαμβάνονται υπόψη από τον δείκτη PCI, υπογραμμίζοντας τη σημασία τους στη διαχείριση του οδοστρώματος.

2.3.2 Είδη φθορών που σχετίζονται με τον δείκτη δομικής κατάστασης

2.3.2.1 Γενικά

Τα οδοστρώματα ταξινομούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες σύμφωνα με την ελαστικότητα τους (εύκαμπτα και δύσκαμπτα). Επομένως, οι φθορές που αναφέρονται σε αυτά κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το είδος του οδοστρώματος, καθώς κάθε κατηγορία παρουσιάζει διαφοροποιήσεις ως προς τις καταπονήσεις που εμφανίζει εξαιτίας των διαφορετικών της χαρακτηριστικών (Μουρατίδης, 2006).

Οι επιμέρους φθορές των βασικών κατηγοριών μπορούν να ομαδοποιηθούν ανάλογα με την προέλευσή τους και ανάλογα με τη γεωμετρία τους για τα εύκαμπτα οδοστρώματα. Οι φθορές των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων μπορούν να καταταχθούν συνολικά με έναν τρόπο, ο οποίος τείνει προς την κατηγοριοποίηση σύμφωνα με τη γεωμετρία (κυρίως για τις ρηγματώσεις).

Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται τα 16 είδη φθορών εύκαμπτων οδοστρωμάτων που λαμβάνονται υπόψη για την εκτίμηση του δείκτη PCI (ASTM, 1997, Shahin, 1994).

Πίνακας 2.1 Φθορές εύκαμπτων οδοστρωμάτων που λαμβάνει υπόψη ο δείκτης PCI

Ρηγματώσεις	Ρωγμές τύπου αλιγάτορα (Alligator Cracking)
	Ρωγμές πολυγωνικού τύπου (Block Cracking)
	Ρωγμές ανάκλασης (Joint Reflection Cracking)
	Διαμήκεις και εγκάρσιες ρωγμές (Longitudinal and Transverse Cracking)
	Ρωγμές από ολίσθηση ταπήτων (Slippage Cracking)
Παραμορφώσεις	Αυλακώσεις (Rutting)
	Τοπική διόγκωση (Swell)
	Ρυτιδώσεις (Corrugation)
	Καθιζήσεις (Depression)
	Τοπικές μετακινήσεις του ασφαλτοτάπητα (Shoving)
Αποσαθρώσεις	Αποκόλληση αδρανών (ravelling and weathering)
	Καύση ή ενανθράκωση του ασφαλτικού υλικού (Jet-blast Erosion)
	Μπαλώματα από φθορές (Patching and Utility Cut Patching)

Απώλεια υφής της επιφάνειας κύλισης	Λείανση αδρανών (Polished Aggregate)
	Ανάδυση ασφάλτου (Bleeding)
	Φθορά της επιφάνειας του οδοστρώματος λόγω ρίψης καυσίμων, ελαίων ή άλλων διαλυτών (Oil Spillage)

2.3.2.2 Ρηγματώσεις

Οι ρηγματώσεις αποτελούν έναν κοινό τύπο επιφανειακών φθορών του οδοστρώματος που παρατηρείται στα εύκαμπτα οδοστρώματα αεροδρομίων. Μπορεί να οφείλεται στα βαριά φορτία αεροσκαφών, στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και στις υποκείμενες κινήσεις του εδάφους. Για την εκτίμηση του δείκτη PCI πραγματοποιείται αξιολόγηση της έκτασης και της σοβαρότητας της ρωγμής, συμπεριλαμβανομένων των διαμήκων, εγκάρσιων και πολυγωνικού τύπου ρωγμών. Η ρηγμάτωση μπορεί να επηρεάσει τη δομική επάρκεια του οδοστρώματος και να οδηγήσει σε περαιτέρω φθορά εάν δεν αντιμετωπιστεί.

Η δημιουργία ρηγματώσεων μπορεί να ξεκινήσει είτε από την επιφάνεια του οδοστρώματος με αποτέλεσμα την εξασθένηση του οδοστρώματος και την είσοδο νερού προκαλώντας περαιτέρω φθορά, είτε σε άλλες περιπτώσεις, η ρηγμάτωση ξεκινάει από τις υποκείμενες στρώσεις των ασφαλικών του οδοστρώματος. Η ρηγμάτωση αυτή οφείλεται σε δομική ανεπάρκεια των υποκείμενων στρώσεων (βάσης και υπόβασης) και προοδευτικά επεκτείνεται προς την επιφάνεια του οδοστρώματος. Οι ρωγμές του οδοστρώματος σταδιακά αυξάνονται σε έκταση, σοβαρότητα και συχνότητα και οδηγούν στην αποσάθρωση της επιφάνειας του οδοστρώματος (Νικολαΐδης 2002).

Ρωγμές τύπου αλιγάτορα

Οι ρωγμές τύπου αλιγάτορα (Εικόνα 2.3) είναι διακλαδιζόμενες και αλληλοσυνδεόμενες ρωγμές που σχηματίζουν πολυγωνικά κομμάτια (μπλοκ) όμοια με αυτά του δέρματος του αλιγάτορα. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα κομμάτια αυτά δίνουν τη εντύπωση ότι είναι σχεδόν έτοιμα να αποκολληθούν.



Εικόνα 2.3 Ρωγμή τύπου αλιγάτορα

Διαμήκειες ρωγμές

Οι διαμήκειες ρωγμές ή ρωγμές στην τροχιά των τροχών (Εικόνα 2.4) είναι ρωγμές που διατρέχουν το οδόστρωμα περίπου παράλληλα με τον άξονα της οδού και σχετίζονται με την απαρχή ρωγμών τύπου αλιγάτορα. Η αιτία εμφάνισης αυτών των ρωγμών είναι η κόπωση των ασφαλτομιγμάτων λόγω επαναλαμβανόμενης φόρτισης από την κυκλοφορία και η τοπική θραύση του οδοστρώματος.



Εικόνα 2.4 Διαμήκης ρωγμή

Εγκάρσιες ρωγμές

Εγκάρσιες χαρακτηρίζονται οι ρωγμές (Εικόνα 2.5) που διατρέχουν το οδόστρωμα σχεδόν κάθετα με τον άξονα της οδού. Συνήθως οφείλονται σε συρρίκνωση της επιφάνειας του οδοστρώματος που προκαλείται από χαμηλές θερμοκρασίες,

σκλήρυνση της ασφάλτου ή σε ρηγματώσεις υποκείμενων στρώσεων του οδοστρώματος όπως π.χ. στρώσεις κατεργασμένου θραυστού υλικού με τσιμέντο.



Εικόνα 2.5 Εγκάρσια ρωγμή

2.3.2.3 Παραμορφώσεις

Οι παραμορφώσεις αποτελούν μέρος των επιφανειακών φθορών του οδοστρώματος. Οι μόνιμες παραμορφώσεις της επιφάνειας του οδοστρώματος περιλαμβάνουν αυλακώσεις, τοπικές διογκώσεις και καθιζήσεις, κυματώσεις του οδοστρώματος και καθιζήσεις ή ανυψώσεις των άκρων του οδοστρώματος. Οι φθορές αυτές επηρεάζουν άμεσα την ομαλότητα του οδοστρώματος και οδηγούν σε μείωση της ασφάλειας κίνησης και της άνεσης στην οδήγηση (Νικολαΐδης 2002). Τα αίτια που προκαλούν τις παραμορφώσεις είναι κυρίως ο υψηλός κυκλοφοριακός φόρτος και τα σημαντικά αξονικά φορτία, η ποιότητα του εδάφους έδρασης και ο παγετός.

Αυλακώσεις

Η αυλάκωση (Εικόνα 2.6) αναφέρεται στις μόνιμες κοιλότητες που σχηματίζονται από επαναλαμβανόμενα φορτία τροχών, ιδιαίτερα σε περιοχές όπου το αεροσκάφος στρίβει ή φρενάρει. Μπορεί να οδηγήσει σε συσσώρευση νερού, μειωμένη αποστράγγιση και αυξημένο κίνδυνο υδρολίσθησης. Για την εκτίμηση του δείκτη PCI καταγράφεται το βάθος και η έκταση της αυλάκωσης, καθώς επηρεάζει σημαντικά την ομαλότητα και την ασφάλεια των οδοστρωμάτων του αεροδρομίου.



Εικόνα 2.6 Αυλακώσεις οδοστρώματων

Τοπικές διογκώσεις

Οι τοπικές διογκώσεις (Εικόνα 2.7) του οδοστρώματος είναι οι προς τα πάνω μετακινήσεις του οδοστρώματος που χαρακτηρίζονται από διακλαδιζόμενες ρηγματώσεις. Οφείλονται σε τοπική διόγκωση του υπεδάφους, της υπόβασης ή της βάσης και σπανίως των ασφαλτικών στρώσεων. Η συνηθέστερη αιτία που προκαλεί τη διόγκωση είναι η διαστολή του εγκλωβισμένου νερού κατά την διάρκεια του χειμώνα λόγω παγετού. Βεβαίως δεν πρέπει να αποκλείεται και η επίδραση της υγρασίας σε διογκούμενα εδαφικά υλικά.



Εικόνα 2.7 Τοπική διόγκωση οδοστρώματος

Τοπικές καθιζήσεις

Οι τοπικές καθιζήσεις (Εικόνα 2.8) είναι τοπικές ταπεινώσεις της στάθμης της οδού με περιορισμένη έκταση. Το βύθισμα που δημιουργείται, βάθους 2 cm ή περισσότερο, κατακρατεί νερό που δεν αποτελεί μόνο αιτία καταστροφής του οδοστρώματος, αλλά και κίνδυνο για τους χρήστες της οδού, λόγω ολισθηρότητας, πάγου κ.τ.λ. Οι τοπικές

καθιζήσεις είναι συνήθως περιορισμένης έκτασης και οφείλονται στην τοπική καθίζηση των υποκείμενων στρώσεων λόγω κυκλοφορίας βαρύτερης της προβλεφθείσας ή λόγω ελαττωματικής κατασκευής του οδοστρώματος .



Εικόνα 2.8 Καθίζηση οδοστρώματος

2.3.2.4 Αποσαθρώσεις

Αποσάθρωση είναι η θρυμματίση του οδοστρώματος σε μικρά ασύνδετα κομμάτια. Περιλαμβάνει, επίσης, την αποκόλληση των αδρανών από την επιφάνεια του οδοστρώματος (Νικολαΐδης 2002).

Ενανθράκωση του ασφαλτικού υλικού (Jet-blast Erosion)

Η καύση ή ενανθράκωση του ασφαλτικού υλικού (Εικόνα 2.9) ορίζεται ως σκουρόχρωμη περιοχή της επιφάνειας του οδοστρώματος, όπου το ασφαλτικό συνδετικό υλικό έχει καεί ή ανθρακοποιηθεί. Οι τοπικές καύσεις ενδέχεται να διαφέρουν σε βάθος έως περίπου 1/2 ίντσας (13 mm).



Εικόνα 2.9 Ενανθράκωση του ασφαλτικού υλικού

Αποκόλληση αδρανών

Αποκόλληση αδρανών (Εικόνα 2.10) ονομάζεται η κατάσταση κατά την οποία αποκολλώνται αδρανή από το οδόστρωμα με αποτέλεσμα η υφή της επιφάνειάς του να γίνεται τραχιά και ανώμαλη. Η φθορά επεκτείνεται από την άκρη του οδοστρώματος προς το κέντρο και από την επιφάνεια προς τα κάτω. Η αποκόλληση των αδρανών γίνεται προοδευτικά, αφού πρώτα αποκολλώνται τα λεπτόκοκκα αδρανή και στη συνέχεια τα χονδρόκοκκα. Κατ' αυτόν τον τρόπο το οδόστρωμα αποκτά ολοένα και μεγαλύτερη τραχύτητα, παρουσιάζοντας σε πολλές περιπτώσεις και λακκούβες.



Εικόνα 2.10 Αποκόλληση αδρανών

2.3.2.5 Απώλεια υφής οδοστρώματος

Η απώλεια υφής του οδοστρώματος είναι ένας τύπος φθοράς που επιδρά στην ασφάλεια και την εξυπηρέτηση των χρηστών και όχι στην δομική κατάστασή του. Η υφή της επιφάνειας και η αντίσταση στην ολίσθηση είναι κρίσιμοι παράγοντες για τη διασφάλιση της ασφαλούς λειτουργίας του αεροσκάφους. Το PCI αξιολογεί το βάθος της υφής του οδοστρώματος και την αντίσταση στην ολίσθηση, καθώς οι ανεπαρκείς τιμές μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο την αποτελεσματικότητα πέδησης, την πρόσφυση του ελαστικού και τη συνολική ασφάλεια (Νικολαΐδης 2002).

Ανάδυση ασφάλτου

Ανάδυση (Εικόνα 2.11) είναι το φαινόμενο της κάθετης μετακίνησης ασφάλτου μέσα στο ασφαλτόμιγμα και η εμφάνιση της στην επιφάνεια του οδοστρώματος, δημιουργώντας έναν ασφατικό υμένα που υπερκαλύπτει τα αδρανή. Υποδηλώνεται από εκχείλιση ασφατικού υλικού στην επιφάνεια του οδοστρώματος που εμφανίζει γυαλιστερή, σαν καθρέφτη, επιφάνεια η οποία σε υψηλές θερμοκρασίες γίνεται κολλώδης .

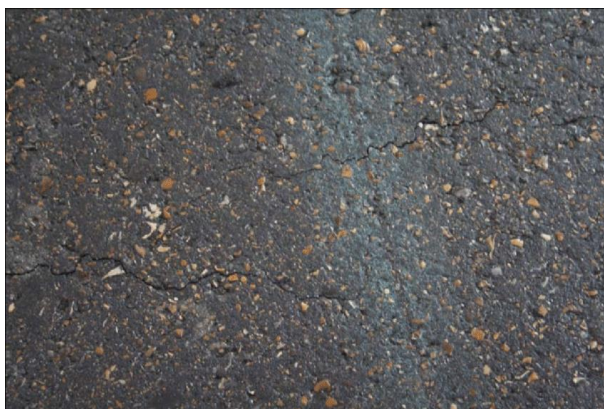


Εικόνα 2.11 Ανάδυση ασφάλτου

Λείανση αδρανών

Πρόκειται για φθορά αδρανών (Εικόνα 2.12) λόγω της κυκλοφορίας, με αποτέλεσμα την εμφάνιση λείας και ολισθηρής επιφάνειας στο οδόστρωμα. Οφείλεται κυρίως σε κακή εκτίμηση της αντοχής των αδρανών του ασφαλτομίγματος και χρήση

ακατάλληλων αδρανών, όπως επίσης και σε βύθιση των χονδρόκοκκων αδρανών στο ασφαλτόμιγμα υπό την επίδραση της κυκλοφορίας.



Εικόνα 2.12 Λείανση αδρανών

Κάθε είδος καταπόνησης σχετίζεται με συγκεκριμένες ιδιότητες του οδοστρώματος όπως είναι η γήρανση, η τριβή ή τα υλικά κατασκευής. Αυτού του είδους οι φθορές μπορεί να διαχωριστούν και να εκτιμηθούν στο πλαίσιο της οπτικής επισκόπησης ενός οδοστρώματος ή μέσω κατάλληλων αυτοματοποιημένων τεχνικών.

2.4 Συστήματα Καταγραφής

2.4.1 Γενικά

Η τεχνολογική πρόοδος έχει συμβάλλει στην ανάπτυξη προηγμένων τεχνικών καταγραφής για τον δείκτη PCI, επιτρέποντας την ακριβέστερη ανίχνευση και αξιολόγηση των φθορών στα οδοστρώματα.

Για την εκτίμηση των επιφανειακών φθορών του οδοστρώματος έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι που ξεκινούν από την απλή οπτική επισκόπηση της επιφάνειας του οδοστρώματος με παρατηρητές που βαδίζουν σε αυτό ή το διατρέχουν μέσα σε όχημα, έως τεχνολογικά εξελιγμένες μεθόδους με χρήση αισθητήρων, βιντεοσκόπησης, επεξεργασίας εικόνας, αυτοματοποιημένων συστημάτων κ.α. (Gramling, 1994). Στο παρόν κεφάλαιο, παρατίθενται τα συστήματα που χρησιμοποιούνται για την καταγραφή της φθοράς του οδοστρώματος και την εκτίμηση του δείκτη PCI στα αεροδρόμια.

2.4.2 Οπτικές επιθεωρήσεις

Οι οπτικές επιθεωρήσεις αποτελούν τη βάση για την καταγραφή της φθοράς του οδοστρώματος. Εκπαιδευμένοι επιθεωρητές πραγματοποιούν ολοκληρωμένες επιτόπιες μελέτες για να αξιολογήσουν οπτικά την κατάσταση των επιφανειών του οδοστρώματος. Καταγράφουν διάφορους τύπους φθοράς, όπως ρωγμές, λακκούβες, αυλακώσεις και παραμορφώσεις επιφάνειας. Στη συνέχεια, οι παρατηρήσεις χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των συνθηκών με βάση τυποποιημένα κριτήρια, που αποτελούν τη βάση για τους υπολογισμούς PCI.

2.4.3 Τεχνολογίες απεικόνισης υψηλής ανάλυσης

2.4.3.1 Γενικά

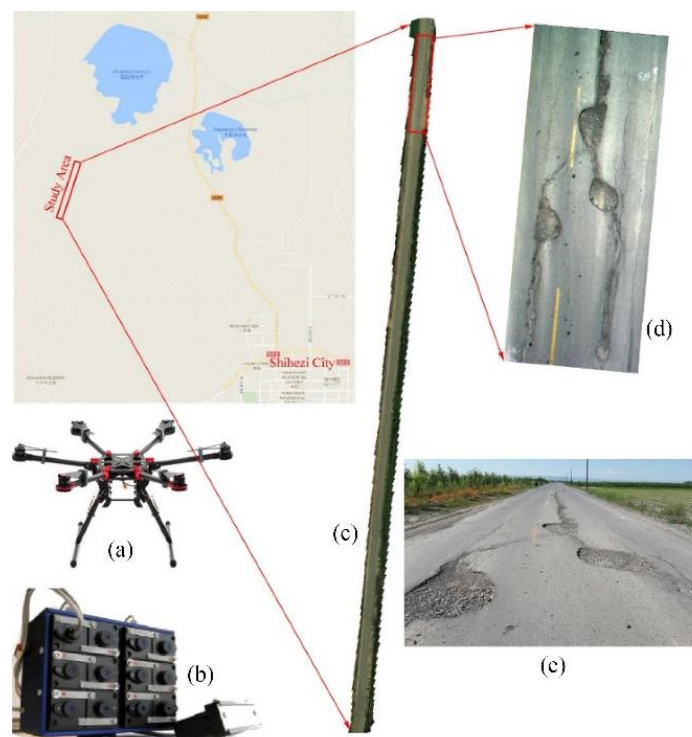
Οι τεχνολογίες απεικόνισης υψηλής ανάλυσης είναι καθοριστικές για την καταγραφή, την αξιολόγηση και τη διαχείριση των συνθηκών του οδοστρώματος των αεροδρομίων, με τη βοήθεια του Δείκτη Κατάστασης Οδοστρώματος (PCI). Αυτές οι προηγμένες τεχνικές απεικόνισης παρέχουν λεπτομερείς και ακριβείς πληροφορίες σχετικά με τις φθορές του οδοστρώματος, τις συνθήκες επιφάνειας και τα δομικά χαρακτηριστικά.

Προηγμένες τεχνολογίες απεικόνισης, όπως κάμερες υψηλής ανάλυσης και συστήματα σάρωσης οδοστρώματων, χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για τη βελτίωση της ακρίβειας και της αποτελεσματικότητας της καταγραφής των φθορών του οδοστρώματος. Αυτά τα συστήματα καταγράφουν λεπτομερείς εικόνες των επιφανειών του οδοστρώματος, επιτρέποντας την ακριβή εξέταση των προβλημάτων. Τα δεδομένα που συλλέγονται μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση και τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων και την ποσοτικοποίηση της έκτασης της φθοράς του οδοστρώματος.

2.4.3.2 Μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV)

Τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα UAV (Unmanned Aerial Vehicle), κοινώς γνωστά ως drones (Εικόνα 2.13), έχουν αναδειχθεί ως πολύτιμα εργαλεία καταγραφής των φθορών του οδοστρώματος για την εκτίμηση του Δείκτη Κατάστασης

Οδοστρώματος (PCI) στα αεροδρόμια. Τα UAV είναι εξοπλισμένα με κάμερες υψηλής ανάλυσης και προηγμένες τεχνολογίες απεικόνισης, καταγράφοντας λεπτομερείς εικόνες ολόκληρου του δικτύου του οδοστρώματος από διάφορες γωνίες και ύψη. Επιπλέον, τα UAV υπερτερούν στο να καλύπτουν μεγάλες περιοχές γρήγορα και αποτελεσματικά. Με την ικανότητά τους να πετούν πάνω από τεράστιες εκτάσεις οδοστρωμάτων αεροδρομίων σε σύντομο χρονικό διάστημα, απλοποιούν τη διαδικασία συλλογής δεδομένων για την εκτίμηση του δείκτη PCI. Οι εικόνες υψηλής ποιότητας διευκολύνουν τον εντοπισμό και τον ποσοτικό προσδιορισμό διαφόρων τύπων φθοράς του οδοστρώματος, όπως ρωγμές, λακκούβες, αυλακώσεις και παραμορφώσεις επιφάνειας. Επιπλέον, η χρήση UAV προκαλεί ελάχιστη διακοπή στις λειτουργίες του αεροδρομίου, καθώς μπορεί να προγραμματιστεί σε ώρες εκτός αιχμής ή όταν ο εναέριος χώρος είναι προσωρινά κλειστός. Αυτό διασφαλίζει ότι οι βασικές δραστηριότητες επιθεώρησης πραγματοποιούνται χωρίς να επηρεάζονται σημαντικά οι δραστηριότητες του αεροδρομίου.



Εικόνα 2.13 (α)UAV με έξι φτερά (β) κάμερα MCAsnap 12 (γ) πλήρης οδική εικόνα MCA

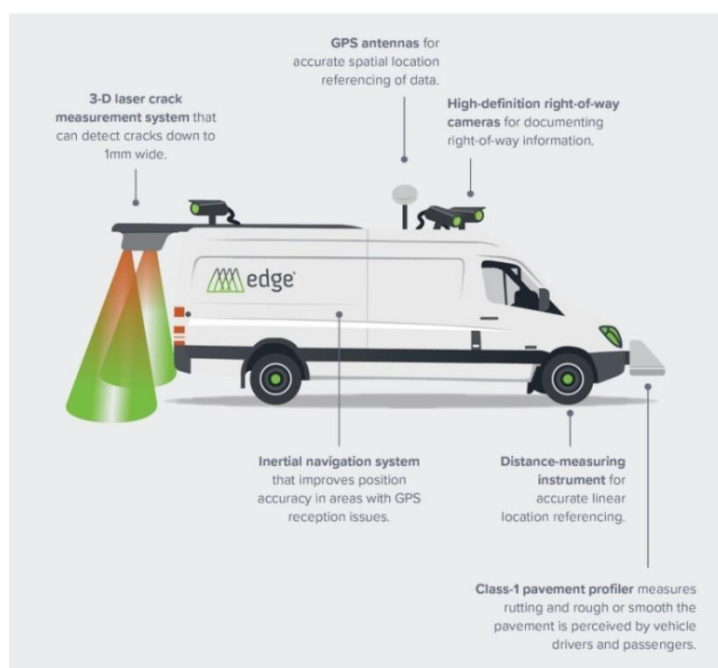
(δ) δείγμα οδικής εικόνας MCA (ε) σημειακή φωτογραφία του δρόμου μελέτης

Τέλος, η χρήση UAV για την εκτίμηση του δείκτη PCI στα αεροδρόμια μπορεί να οδηγήσει σε εξοικονόμηση κόστους. Σε σύγκριση με τις παραδοσιακές χειροκίνητες επιθεωρήσεις, οι οποίες συχνά περιλαμβάνουν σημαντικές δαπάνες εργασίας, εξοπλισμού και υλικοτεχνικής υποστήριξης, οι αξιολογήσεις που βασίζονται σε UAV προσφέρουν μια πιο αποτελεσματική και οικονομικά αποδοτική εναλλακτική λύση, καθιστώντας τα UAV πολύτιμη επένδυση στη διαχείριση του οδοστρώματος (SuryaSaratChandra Congress,2022).

2.4.3.3 Συστήματα χαρτογράφησης για φορητές συσκευές (MMS)

Τα φορητά συστήματα χαρτογράφησης MMS (Mobile Mapping Systems) χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στην παρακολούθηση και την αξιολόγηση της κατάστασης του οδοστρώματος των αεροδρομίων, χάρη στην ικανότητα τους να παρέχουν ταχύτερη και πιο ολοκληρωμένη συλλογή δεδομένων σε μεγάλες επιφάνειες. Τα δεδομένα που συλλέγονται από το MMS μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση του δείκτη PCI, επιτρέποντας καλύτερη λήψη αποφάσεων σχετικά με τις εργασίες συντήρησης και αποκατάστασης.

Τα φορητά συστήματα χαρτογράφησης περιλαμβάνουν τη χρήση οχημάτων (Εικόνα 2.14) εξοπλισμένων με κάμερες υψηλής ανάλυσης, αισθητήρες LiDAR και τεχνολογία GPS. Καθώς το όχημα διασχίζει το οδόστρωμα λαμβάνονται εικόνες σε τακτά χρονικά διαστήματα μαζί με τα αντίστοιχα δεδομένα τοποθεσίας. Αυτή η ενοποίηση εικόνων και χωρικών πληροφοριών επιτρέπει την ακριβή χαρτογράφηση και ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης του οδοστρώματος (Συμειωνίδης, 2006).



Εικόνα 2.14 Όχημα συλλογής δεδομένων φθορών και ομαλότητας του οδοστρώματος (Mobile Mapping System)

Στο όχημα της εικόνας 2.14 είναι τοποθετημένες κάμερες υψηλής ευκρίνειας για την λεπτομερή καταγραφή της κατάστασης του οδοστρώματος, κεραίες GPS και όργανο μέτρησης απόστασης (DMI) για ακριβή χωρική και γραμμική αναφορά τοποθεσίας των συλλεγόμενων δεδομένων, αδρανειακό σύστημα πλοήγησης που βελτιώνει την ακρίβεια θέσης σε περιοχές με προβλήματα λήψης GPS και σύστημα μέτρησης ρωγμών με λέιζερ 3D που μπορεί να δει και να ανιχνεύσει ρωγμές πλάτους έως και 1 mm.

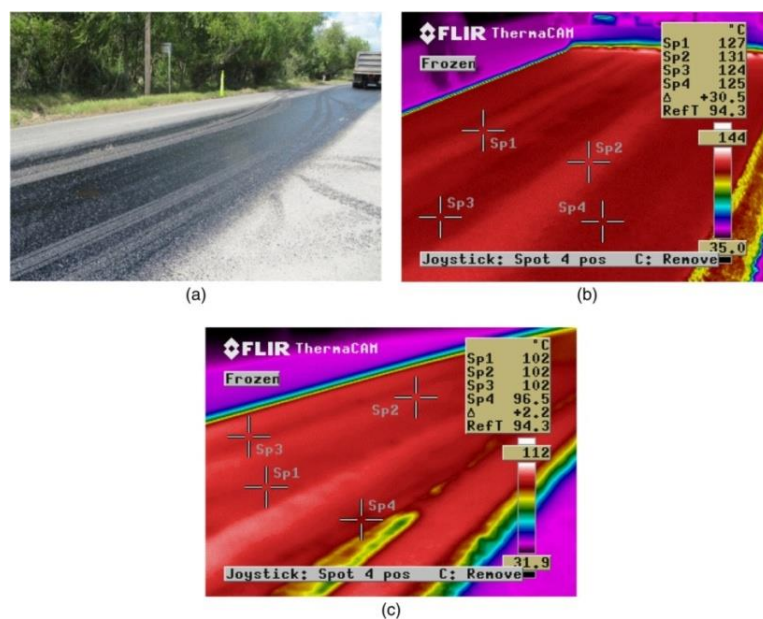
2.4.4 Υπέρυθρη θερμογραφία

Η υπέρυθρη θερμογραφία χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των θερμικών ιδιοτήτων των οδοστρωμάτων του αεροδρομίου. Μετρώντας την κατανομή θερμοκρασίας σε όλη την επιφάνεια του οδοστρώματος, η υπέρυθρη θερμογραφία μπορεί να ανιχνεύσει διακυμάνσεις στις περιοχές θερμότητας που μπορεί να υποδηλώνουν κρυφές φθορές ή δομικά προβλήματα. Αυτή η τεχνολογία βοηθά στον εντοπισμό περιοχών που είναι επιρρεπείς σε διείδυση υγρασίας, αποκολλήσεις ή μείωση της συμπύκνωσης της ασφάλτου, υποστηρίζοντας πιο ολοκληρωμένες

εκτιμήσεις του δείκτη PCI στα αεροδρόμια. Για την αξιολόγηση του οδοστρώματος, οι κάμερες υπέρυθρων (Εικόνες 2.15 και 2.16) μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σταθερές θέσεις ή να τοποθετηθούν σε οχήματα.



Εικόνα 2.15 Κάμερα υπέρυθρων



Εικόνα 2.16 Χρήση υπέρυθρης θερμογραφίας για την ανίχνευση θερμικού διαχωρισμού σε επιφάνεια ασφάλτου

Τα πλεονεκτήματα της υπέρυθρης θερμογραφίας περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Επιτρέπει τη γρήγορη και εύκολη εγκατάσταση εξοπλισμού.
- Παρέχει γρήγορη συλλογή δεδομένων.
- Παράγει ακριβή αποτελέσματα σε κατάλληλες συνθήκες.

- Επιτρέπει την παρακολούθηση και τις ρυθμίσεις σε πραγματικό χρόνο κατά τη διάρκεια της κατασκευής όταν χρησιμοποιείται ράβδος αισθητήρα τοποθετημένη σε οδόστρωμα.
- Εντοπίζει πιθανές περιοχές κινδύνου που η οπτική μελέτη ενδέχεται να μην εντοπίσει.

3. ΔΙΕΘΝΗΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΟΜΑΛΟΤΗΤΑΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

3.1 Γενικά

Η ομαλότητα ενός οδοστρώματος αποτελεί μια βασική παράμετρο για την αξιολόγηση της λειτουργικής κατάστασης του. Σε αντίθεση με τον Δείκτη Κατάστασης Οδοστρωμάτων (PCI), για τον οποίο έχει διεξαχθεί εκτενής έρευνα σχετικά με τη χρήση του και την καταλληλότητά του ως προς τα οδοστρώματα αεροδρομίων, η αξιολόγηση της ομαλότητας του οδοστρώματος είναι ένα πιο αμφιλεγόμενο ζήτημα. Αυτό συμβαίνει επειδή φαίνεται να υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός παραμέτρων που έχουν χρησιμοποιηθεί για οδοστρώματα αεροδρομίων, τόσο σε επίπεδο έρευνας όσο και σε επίπεδα του κλάδου.

Μια παράμετρος που έχει προσελκύσει σημαντικό ενδιαφέρον είναι ο Διεθνής Δείκτης Ομαλότητας (IRI: International Roughness Index), ο οποίος αναπτύχθηκε για επιφάνειες οδοστρωμάτων αυτοκινητοδρόμων. Ωστόσο, ως παράμετρος που είναι εξαιρετικά οικεία στους μηχανικούς οδοστρωμάτων, ο δείκτης IRI έχει πράγματι χρησιμοποιηθεί εκτενώς για την αξιολόγηση της ομαλότητας των οδοστρωμάτων των αεροδρομίων. Ως εκ τούτου, η εγκυρότητά του στο πλαίσιο των αεροδρομίων αξίζει διαρκώς να διερευνάται, όπως και η μελέτη της πιθανής σχέσης του με τις συνθήκες του οδοστρώματος (D. Cereceda et al., 2022).

Με την παρακολούθηση και τη διαχείριση των επιπέδων IRI στα οδοστρώματα του αεροδρομίου, εξασφαλίζεται η βέλτιστη ποιότητα κύλισης για τα αεροσκάφη, η βελτίωση της επιχειρησιακής απόδοσης και η παράταση της διάρκειας ζωής της υποδομής του οδοστρώματος. Επιπλέον, τα δεδομένα που συλλέγονται μέσω καταγραφής του δείκτη IRI μπορούν να βοηθήσουν στον σχεδιασμό και την εφαρμογή στρατηγικών προληπτικής συντήρησης για την ελαχιστοποίηση της φθοράς του οδοστρώματος και την αποφυγή δαπανηρών επισκευών.

3.2 Χαρακτηριστικά ομαλότητας οδοστρωμάτων

Η ομαλότητα (roughness) ορίζεται ως οι διαμήκεις αποκλίσεις μιας επιφάνειας οδοστρώματος από μία απόλυτα επίπεδη επιφάνεια (Janoff, 1975).

Η αρχική ομαλότητα επιδεινώνεται όταν εκτίθεται το οδόστρωμα σε μεγάλα κυκλοφοριακά φορτία και σε έντονες καιρικές συνθήκες που προκαλούν την ανάπτυξη φθορών στην επιφάνειά του.

Μερικοί παράγοντες που προκαλούν την απώλεια ομαλότητας είναι οι εξής (Sayers & Karamihas, 1996, Janoff, 1975):

- Κακοτεχνίες κατά την κατασκευή
- Τοπικές φθορές οδοστρωμάτων (λακκούβες, ρηγματώσεις κ.α.)
- Κυκλοφοριακοί φόρτοι (τροχοαυλακώσεις)
- Περιβαλλοντικές συνθήκες

Η καταγραφή και η αξιολόγηση της ομαλότητας για τα οδοστρώματα αεροδρομίων διαφέρει σε σχέση με την ομαλότητα για τα οδοστρώματα οδών. Τα αεροσκάφη έχουν πολύ μεγαλύτερο βάρος και διαφορετική δομή από τα οχήματα και κινούνται σε πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες, με αποτέλεσμα να αντιδρούν διαφορετικά στις επιφανειακές φθορές του οδοστρώματος. Επίσης, η απόσταση ανάμεσα στα φορεία τροχών του αεροσκάφους είναι μεγαλύτερη σε σχέση με το μεταξόνιο των επιβατικών οχημάτων και των φορτηγών, καθιστώντας το αεροσκάφος πιο ευαίσθητο σε μεγαλύτερου μήκους κυματισμούς. Ακόμα, κατά τις διαδικασίες της απογείωσης και της προσγείωσης το οδόστρωμα και το αεροσκάφος καταπονούνται με μεγαλύτερα δυναμικά φορτία (J.E. Woods, 2008).

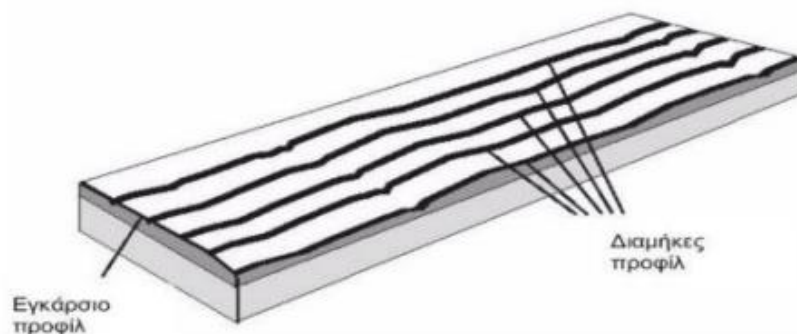
Σύμφωνα και με την Εικόνα 3.1, η έλλειψη ομαλότητας μπορεί να έχει σαν συνέπεια πιθανές φθορές του αεροσκάφους και αύξηση του λειτουργικού κόστους. Ακόμα η έλλειψη ομαλότητας έχει σαν συνέπεια και την καταπόνηση του οδοστρώματος, λόγω της δυναμικής φόρτισης που αναπτύσσεται, που οδηγεί σε μείωση του χρόνου ζωής του και σε ενδεχόμενη απαίτηση επισκευών υψηλού κόστους.



Εικόνα 3.1 Συνέπειες έλλειψης ομαλότητας στα οδοστρώματα αεροδρομίων (Λοΐζος, Πλατή, 2014)

Η ομαλότητα ήταν από τα πρώτα λειτουργικά χαρακτηριστικά που κατηγοριοποιήθηκαν και άρχισαν να συλλέγονται τακτικά δεδομένα προκειμένου να αξιολογηθεί η κατάσταση υφιστάμενων οδοστρωμάτων. Για την ενιαία και σαφή έκφραση της ομαλότητας του οδοστρώματος, ανεξάρτητα από τη μέθοδο μέτρησης, έχει αναπτυχθεί σε παγκόσμιο επίπεδο ο Διεθνής Δείκτης Ομαλότητας IRI (International Roughness Index).

Η ομαλότητα ενός οδοστρώματος μπορεί να εκφραστεί με τη χρήση διάφορων δεικτών που προκύπτουν από την επεξεργασία και ανάλυση των σχετικών στοιχείων συλλογής. Η ομαλότητα είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την κατατομή της επιφάνειας του οδοστρώματος (προφίλ). Μία κατατομή της επιφάνειας του οδοστρώματος ή αλλιώς προφίλ, είναι μία δυσδιάστατη τομή κατά μήκος μίας νοητής γραμμής και μπορεί να έχει είτε διαμήκη είτε εγκάρσια διεύθυνση (Εικόνα 3.2). Η αξιολόγηση της ομαλότητας των οδοστρωμάτων συνδέεται με την κατά μήκος κατανομή του οδοστρώματος, κατά τη διεύθυνση κίνησης.



Εικόνα 3.2 Επιφάνεια οδοστρώματος και κατατομές (Λοΐζος και Πλατή,2019)

Συνεπώς, με τον όρο ομαλότητα αναφερόμαστε κυρίως στην κατά μήκος επιπεδότητα. Η διαμήκης ή κατά μήκος ομαλότητα περιγράφεται από τους κυματισμούς (Εικόνα 3.3) της επιφάνειας του οδοστρώματος. Η παράμετρος αυτή είναι συνυφασμένη με την αξιολόγηση της ομαλότητας.



Εικόνα 3.3 Κύρια στοιχεία κυματισμών επιπεδότητας (S. H. Cardoso, 2002)

Στα οδοστρώματα οδών η ομαλότητα περιγράφεται από τους κυματισμούς μήκους κυρίως 0,5-50 m (Λοΐζος και Πλατή,2019). Ωστόσο η ομαλότητα οδών δεν εξετάζει τα μεγαλύτερα μήκη κύματος που είναι απαραίτητα για την αξιολόγηση της ομαλότητας των αεροδρομίων, γιατί στα επιβατικά οχήματα και φορτηγά η απόσταση μεταξύ των αξόνων των τροχών είναι πολύ μικρότερη σε σύγκριση με το πολύ μεγαλύτερο μεταξόνιο (wheelbase) των αεροσκαφών (Song I. et al., 2014).

3.3 Διεθνής Δείκτης Ομαλότητας

Ο Διεθνής Δείκτης Ομαλότητας (IRI: International Roughness Index) καθορίστηκε μετά από μαθηματική προσομοίωση ενός τροχού με ελατήρια γνωστών μηχανικών

χαρακτηριστικών και βάρους ίσου με ένα τυπικό άξονα επιβατικού οχήματος, ο οποίος κινείται πάνω σε επιφάνειες με διαφορετικό βαθμό ομαλότητας με σταθερή ταχύτητα 80 km/h, γνωστό και ως προσομοίωση του «ενός τετάρτου του οχήματος» ή «Quarter car». Ο δείκτης IRI λαμβάνει τιμές μεταξύ του 0 και 20 μονάδων, με τις μεγαλύτερες τιμές να εκφράζουν οδοστρώματα που χαρακτηρίζονται από μειωμένη ομαλότητα.

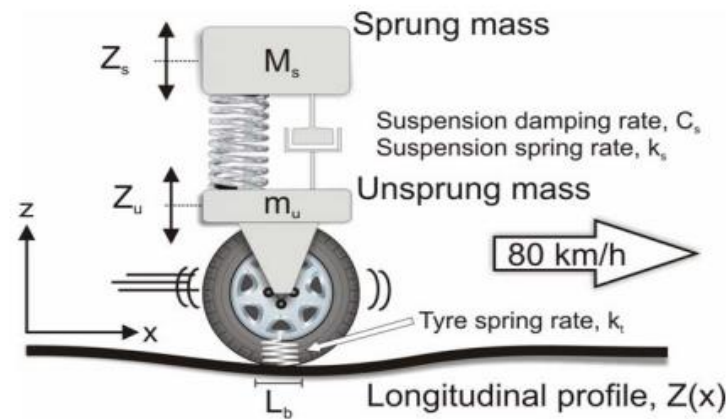


Figure 1. Quarter car model

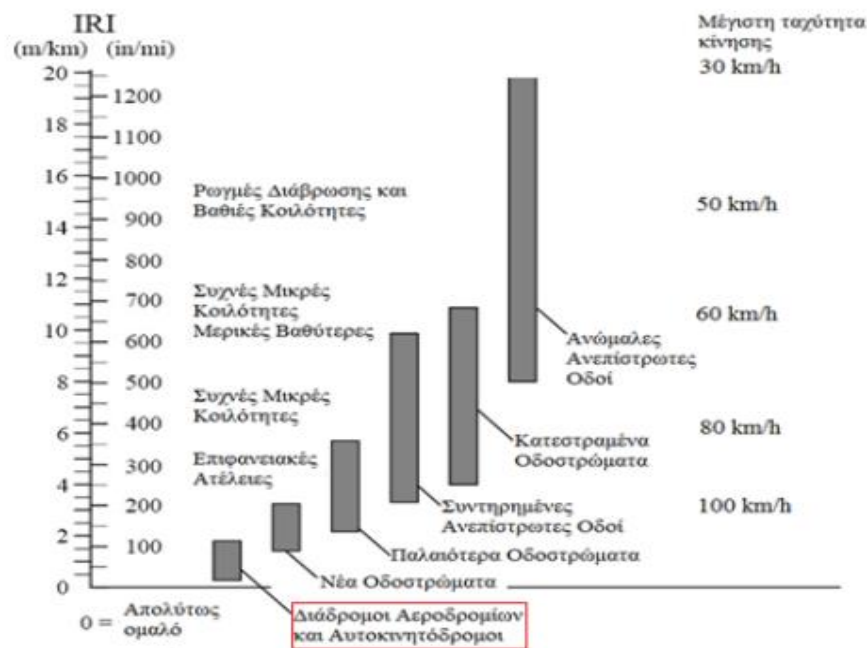
Εικόνα 3.4 Διάταξη προσομοίωσης υπολογισμού του IRI (Λοΐζος & Πλατή, 2008)

Αναλυτικότερα, η προσομοίωση του «ενός τετάρτου του οχήματος» που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του δείκτη IRI αποτελείται από (Gillespie, 1992):

- τη μάζα του οχήματος (Sprung mass) (m_s), η οποία είναι η μάζα του τμήματος του οχήματος που επιβαρύνει την ανάρτηση και συμπεριλαμβάνει ποσοστά του βάρους των τμημάτων της ίδιας της ανάρτησης
- τη μάζα του άξονα (Unsprung mass) (m_u), η οποία αφορά στη μάζα που αντιστοιχεί στο βάρος που δεν επιβαρύνει το σύστημα της ανάρτησης, αλλά υποστηρίζεται από τον τροχό ή το ελαστικό και ακολουθεί τις μετακινήσεις του
- το ελατήριο της ανάρτησης με σταθερά k_s
- την απόσβεση (c_s)
- το ελαστικό, το οποίο θεωρείται ότι συμπεριφέρεται κι αυτό σαν ελατήριο με σταθερά k_t

Οι παραπάνω παράμετροι λαμβάνουν συγκεκριμένες τιμές στη διαδικασία υπολογισμού του δείκτη IRI. Το σύνολο των τιμών αυτών αποτελούν το «χρυσό όχημα» (Golden Car) (Λοΐζος και Πλατή,2019).

Για διαδρόμους αεροδρομίων τα αποδεκτά όρια που κυμαίνεται η τιμή του IRI είναι περίπου από 0,5 ως 2 m/km, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.5.



Εικόνα 3.5 Εύρος τιμών IRI σε σχέση με τους διάφορους τύπους οδοστρωμάτων και τις ταχύτητες προσπέλασής τους

Ο δείκτης IRI είναι ο ευρύτερα διαδεδομένος και χρησιμοποιούμενος δείκτης, ο οποίος εκφράζεται σε μονάδες κλίσης (m/km). Μία τιμή IRI ίση με 0 m/km σε συγκεκριμένο διάστημα δείγματος σημαίνει ότι η επιφάνεια του οδοστρώματος είναι εντελώς ομαλή. Θεωρητικά δεν υπάρχει άνω όριο τιμών IRI, αν και πρακτικά τιμές που ξεπερνούν τα 8 m/km αφορούν οδόστρωμα το οποίο είναι αδιάβατο, εκτός βέβαια των περιπτώσεων όπου η ταχύτητα κίνησης είναι πολύ μικρή.

3.4 Συστήματα Καταγραφής Ομαλότητας

3.4.1 Γενικά

Η καταγραφή του δείκτη IRI στα οδοστρώματα των αεροδρομίων ακολουθεί παρόμοια μεθοδολογία όπως και σε άλλα οδικά δίκτυα. Περιλαμβάνει τη χρήση εξειδικευμένου εξοπλισμού για τη συλλογή δεδομένων προφίλ κατά μήκος καθορισμένων τμημάτων του οδοστρώματος. Αυτές οι συσκευές μετρούν τις κατακόρυφες αποκλίσεις της επιφάνειας του οδοστρώματος και αποτυπώνουν τα χαρακτηριστικά ομαλότητας.

Οι τιμές IRI που λαμβάνονται από τα προφίλ του οδοστρώματος του αεροδρομίου παρέχουν ένα ποσοτικό μέτρο της ομαλότητας που βιώνουν τα αεροσκάφη κατά την απογείωση, την προσγείωση και την τροχοδρόμηση. Είναι καθοριστικής σημασίας για την αξιολόγηση της ποιότητας κύλισης, της άνεσης και της ασφάλειας των λειτουργιών του αεροσκάφους. Η διατήρηση των βέλτιστων επιπέδων IRI στα οδοστρώματα των αεροδρομίων είναι απαραίτητη για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου ζημιάς στο αεροσκάφος, τη βελτίωση της άνεσης των επιβατών και την αποφυγή υπερβολικής φθοράς στα όργανα προσγείωσης και σε άλλα εξαρτήματα του αεροσκάφους. Οι τακτικές μετρήσεις του IRI βοηθούν στον εντοπισμό τμημάτων του οδοστρώματος που απαιτούν προσοχή, όπως περιοχές με υπερβολική τραχύτητα ή ανομοιομορφία που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την απόδοση και την ασφάλεια του αεροσκάφους.

Γενικά, ο εξοπλισμός, που χρησιμοποιείται διεθνώς για την καταγραφή της ομαλότητας, διακρίνεται στις παρακάτω πέντε κατηγορίες (Perera and Kohn,2002):

1. Συστήματα καταγραφής της μηχανικής απόκρισης (Response Type Road Roughness Measuring Systems : RTRRMS)
2. Υψηλής ταχύτητας προφιλόμετρα (High speed inertial profilers)
3. Προφιλογράφοι (Profilographs)
4. «Ελαφρά» προφιλόμετρα (Lightweight profilers)
5. Χειροκίνητες συσκευές (Manual devices)

3.4.2 Συστήματα καταγραφής της μηχανικής απόκρισης

Τα συστήματα καταγραφής της μηχανικής απόκρισης μετρούν την απόκριση της επιφάνειας του οδοστρώματος στη διέλευση του οχήματος. Αυτοκινούμενα οχήματα ή τυπικά τρέιλερ χρησιμοποιούνται για να ενσωματώσουν συσκευές καταγραφής της απόκρισης. Αντιπροσωπευτικό σύστημα αυτής της κατηγορίας είναι το Bump Intergrator (Εικόνα 3.6).



Εικόνα 3.6 Bump Intergrator

Τα συστήματα που αφορούν αυτοκινούμενα οχήματα συναθροίζουν την κατακόρυφη κίνηση του πίσω τροχού σε σχέση με τον σκελετό του οχήματος, ενώ αυτά που αφορούν συρόμενα τρέιλερ συναθροίζουν την κατακόρυφη κίνηση του τρέιλερ σε σχέση με τον σκελετό του οχήματος ρυμούλκησης (Α. Λοΐζος και Χ. Πλατή, 2014).

3.4.3 Υψηλής ταχύτητας προφιλόμετρα

Τα προφιλόμετρα υψηλής ταχύτητας (Εικόνα 3.7) είναι τα πιο τεχνολογικά εξελιγμένα και ευρέως διαδεδομένα συστήματα καταγραφής της ομαλότητας ενός οδοστρώματος. Καταγράφουν τα χαρακτηριστικά των κατατομών της επιφάνειας του οδοστρώματος σε υψηλές ταχύτητες κίνησης. Για την καταγραφή χρησιμοποιείται ένα επιταχυνσιόμετρο (accelerometer) και ένας ή περισσότεροι αισθητήρες (laser) που μετράνε την κατακόρυφη απόσταση μεταξύ του επιταχυνσιόμετρου και του εδάφους. Επίσης μέσω του ταχύμετρου του οχήματος προσδιορίζεται η απόσταση που διανύεται.



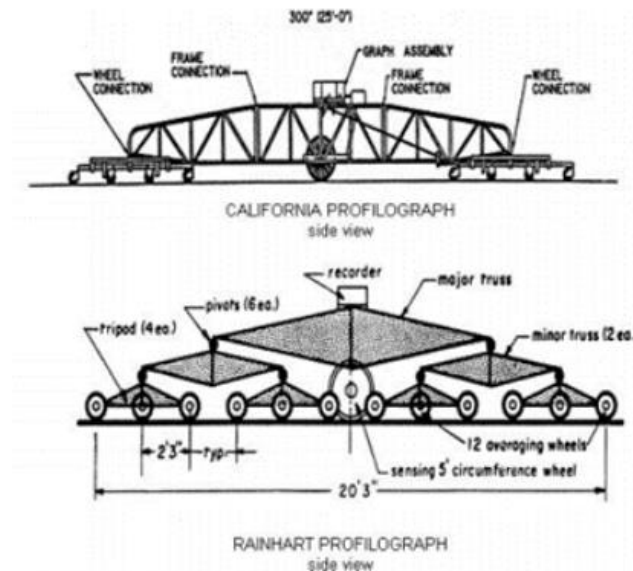
Εικόνα 3.7 Υψηλής ταχύτητας προφιλόμετρο

Κατόπιν επεξεργασίας των στοιχείων συλλογής προκύπτει η ζητούμενη κατατομή της επιφάνειας του οδοστρώματος που αναπαράγουν την ομαλότητα του οδοστρώματος. Στα πλεονεκτήματα των συστημάτων αυτής της κατηγορίας συγκαταλέγεται εκτός άλλων και η δυνατότητα μέτρησης και άλλων χαρακτηριστικών του οδοστρώματος, όπως η υφή της επιφάνειάς του, καθώς και η δυνατότητα πραγματοποίησης εκτιμήσεων σχετικά με το βάθος ενδεχόμενων τροχοσυλακώσεων (Λοΐζος & Πλατή, 2014).

3.4.4 Προφίλογράφοι

Οι προφίλογράφοι εφαρμόστηκαν ευρέως στους κρατικούς αυτοκινητόδρομους κατά τη διάρκεια του 1980 και 1990, αποκλειστικά για τη μέτρηση και τον έλεγχο της ομαλότητας του αρχικού οδοστρώματος. Τα συστήματα αυτά είναι χαμηλής ταχύτητας (3 έως 8 km/h) τα οποία αποτελούνται από άκαμπτη δοκό ή πλαίσιο το οποίο υποστηρίζεται από τροχούς τοποθετημένους κατά μήκος. Η αρχή λειτουργίας τους στηρίζεται στην καταγραφή των αποκλίσεων της κίνησης του κεντρικού τροχού σε σχέση με κατάλληλα επιλεγμένο σημείο αναφοράς (Α. Λοΐζος και Χ. Πλατή, 2014). Χρησιμοποιούνται δύο βασικά μοντέλα προφίλογράφων: ο California profilograph και ο Rainhart profile. Ο πρώτος αποτελείται από 4 έως 12 τροχούς προσαρτημένους στα άκρα ενός πλαισίου μήκους 7,6 m καθώς και τροχούς στο κέντρο του πλαισίου. Από την άλλη ο δεύτερος προφίλογράφος χρησιμοποιεί 12 τροχούς στήριξης ομοιόμορφα σε απόσταση κατά μήκος ενός πλαισίου 7,5m σε αντισταθμίσεις έως μέχρι 560mm έτσι ώστε κανένας τροχός να μην ακολουθεί την ίδια διαδρομή. Η κύρια διαφορά τους

είναι ότι ο προφίλογράφος τύπου Rainhart χρησιμοποιεί δώδεκα τροχούς διατεταγμένους σε τέσσερις ομάδες των τριών (Looft et al., 2007). Αυτοί οι δύο τύποι φαίνονται στην Εικόνα 3.8:



Εικόνα 3.8 Σκίτσα California Profilograph και Rainhart Profilograph (Looft et al., 2007)

Οι προφίλογράφοι σύρονται ή ρυμουλκούνται με μικρές ταχύτητες κατά μήκος της επιφάνειας του εκάστοτε οδοστρώματος, ενώ χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ομαλότητας δειγματοληπτικά κατά τη διάρκεια της κατασκευής νέων οδοστρωμάτων ή επιστρώσεων. Η Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας της Αμερικής (FAA: Federal Aviation Administrator) συμπεριλαμβάνει τον προφίλογράφο στις προδιαγραφές αξιολόγησης της ομαλότητας του οδοστρώματος αεροδρομίων.



Εικόνα 3.9 California Profilograph

3.4.5 Ελαφρά προφιλόμετρα

Τα προφιλόμετρα ελαφρού τύπου (Εικόνα 3.10) χρησιμοποιούνται κυρίως κατά την κατασκευή νέων στρώσεων οδοστρώματος. Η αρχή λειτουργίας τους είναι η ίδια με αυτή των υψηλών ταχυτήτων προφιλόμετρων, με τη διαφορά ότι το σύστημα καταγραφής της ομαλότητας είναι ενσωματωμένο σε ένα ελαφρύ/μικρό όχημα (Α. Λοΐζος και Χ. Πλατή, 2014).



Εικόνα 3.10 Προφιλόμετρο ελαφρού τύπου

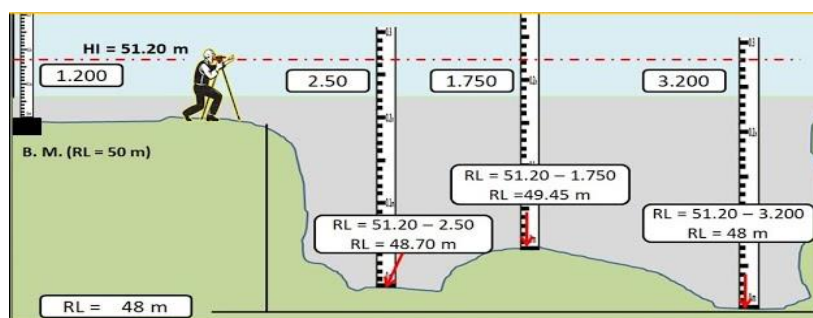
Τα προφιλόμετρα που αναπτύχθηκαν για τη μέτρηση της ομαλότητας στα οδοστρώματα οδών μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τα οδοστρώματα αεροδρομίων. Ωστόσο, τα περισσότερα προφιλόμετρα καταγράφουν μήκη κύματος έως και 45 μέτρα μόνο, ενώ ένα αεροσκάφος ανταποκρίνεται σε μήκη κύματος μέχρι περίπου 120 μέτρα. Κατά την εφαρμογή των προφιλόμετρων προσοχή πρέπει να δοθεί στην αφαίρεση ή τη ρύθμιση των φίλτρων για να επιτρέπεται η μέτρηση μεγαλύτερου μήκους κύματος (P. A. vanGelder και M. J. A. Stet, 2009). Τα προφίλ που καταγράφονται από αυτές τις συσκευές μπορούν να συμβάλλουν στη δημιουργία ενός δείκτη ομαλότητας όπως είναι ο Διεθνής Δείκτης Ομαλότητας IRI, είτε με βάση τα δεδομένα αυτά να δημιουργήσουν μία προσομοίωση ενός προφίλ από την οποία θα ληφθεί ο δείκτης προφίλ (Profile Index, PI) (Perera and Kohn, 2002).

3.4.6 Χειροκίνητες συσκευές

Μία ποικιλία μη αυτόματου εξοπλισμού διατίθεται για την αποτύπωση της ομαλότητας των οδοστρωμάτων. Τα χειροκίνητα συστήματα της αποτύπωσης της

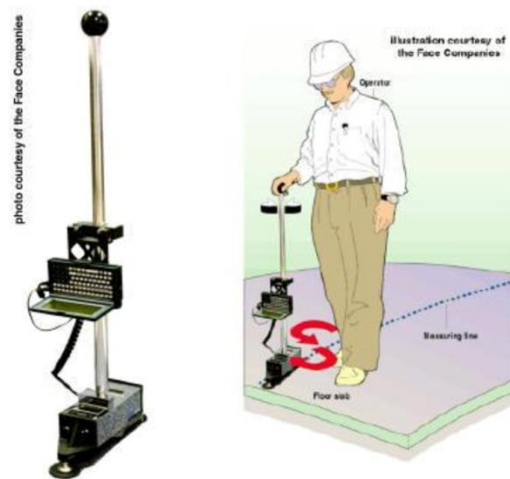
ομαλότητας των οδοστρωμάτων συνοψίζονται σε τρεις κατηγορίες: στην τοπογραφική αποτύπωση της επιφάνειας των οδοστρωμάτων Road and Level Method (Εικόνα 3.11), στη συσκευή Dipstick (Εικόνα 3.12) και στη συσκευή Walking Profiler (Εικόνα 3.13) (Robinson,2000).

Η τοπογραφική αποτύπωση της επιφάνειας του οδοστρώματος (Road and Level Method), σε συνδυασμό με υψηλή πυκνότητα των απαιτούμενων σημείων αποτύπωσης, είναι αναμφίβολα η πιο ακριβής μέθοδος καταγραφής της γεωμετρικής κατατομής της επιφάνειας ενός οδοστρώματος. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί ένα στατικό τρίποδο όργανο το οποίο τοποθετείται πάνω στο οδόστρωμα και μια κατακόρυφη σταδία η οποία μετακινείται σε ίσα διαστήματα από το όργανο. Μέσω του οργάνου διαβάζονται από τη σταδία οι υψομετρικές τιμές. Το μεγάλο πλήθος των απαιτούμενων σημείων καθιστά όμως τη διαδικασία αυτή εξαιρετικά χρονοβόρα και δαπανηρή καθώς απαιτεί δύο άτομα για τη μέτρηση.



Εικόνα 3.11 Τοπογραφική αποτύπωση της επιφάνειας (RLM)

Η κύρια εφαρμογή αυτών των συσκευών στις μετρήσεις προφίλ δρόμου είναι να ληφθούν οι υψομετρικές μετρήσεις σε τμήματα βαθμονόμησης που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ακρίβειας των προφίλ. Το προφίλ ενός τμήματος δοκιμής που λαμβάνεται από αυτές τις συσκευές μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό ενός δείκτη ομαλότητας όπως ο δείκτης IRI (Perera and Kohn, 2002).



The Face Companies

Εικόνα 3.12 Συσκευή Dipstick



Εικόνα 3.13 Συσκευή Walking Profiler

Ανάλογα είναι και τα μειονεκτήματα της συσκευής Dipstick ενώ η συσκευή Walking profiler παρέχει κάποια πλεονεκτήματα σε σχέση με τα προηγούμενα, καθώς απαιτείται ένας χειριστής και η κίνηση γίνεται με ταχύτητα βαδίσματος. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τη βαθμονόμηση των προφιλόμετρων υψηλής ταχύτητας που αναφέρθηκαν παραπάνω.

4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΕΙΚΤΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

4.1 Γενικά

Για την αποτελεσματική διαχείριση του οδοστρώματος των αεροδρομίων, απαιτείται η συστηματική αξιολόγηση του, μέσω δεικτών που χαρακτηρίζουν την ομαλότητα και τη κατάσταση του οδοστρώματος.

Η εκτίμηση του δείκτη PCI είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την αξιολόγηση της κατάστασης των οδοστρωμάτων στα αεροδρόμια. Παρέχει μια αριθμητική τιμή που αντιπροσωπεύει τη συνολική κατάσταση και ποιότητα της επιφάνειας του οδοστρώματος. Ο δείκτης PCI εκτιμάται από τη καταγραφή των φθορών, ωστόσο υπάρχει η δυνατότητα εκτίμησης του από τον δείκτη IRI μέσω των μοντέλων συσχέτισης. Ο δείκτης IRI εκφράζει την ομαλότητα του οδοστρώματος, η οποία είναι ένας σημαντικός παράγοντας της ποιότητας κύλισης των αεροσκαφών και της ομαλής λειτουργίας των αεροδρομίων.

4.2 Μοντέλα εκτίμησης

Κατά καιρούς έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα εκτίμησης του δείκτη PCI από το IRI και αντίστροφα. Παρακάτω, παρουσιάζονται τα μοντέλα με τη μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα των μετρήσεων, δηλαδή τα στατιστικά πιο αξιόπιστα μοντέλα, όπως αυτά προέκυψαν από σχετική βιβλιογραφική ανασκόπηση και τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή των αποτελεσμάτων στην παρούσα εργασία. Ο δείκτης IRI μετρείται σε m/km ή in/mi, ανάλογα με την περιοχή που έλαβε χώρα η ανάπτυξη του εκάστοτε μοντέλου. Στην παρούσα εργασία μετατράπηκαν όλες οι σχέσεις σε m/km.

Piryonesi and El-Diraby, 2021

Σύμφωνα με τους S.M. Piryonesi και T.E. El-Diraby, όπως αναφέρεται στη σχετική βιβλιογραφία (S.M. Piryonesi & T.E. El-Diraby, 2021), υπάρχει μία ισχυρή συσχέτιση μεταξύ του PCI και του IRI, όπως αυτή εκφράζεται στην εξ. [4.1]:

$$\text{IRI} = -0.045\text{PCI} + 5.024 \quad [4.1]$$

όπου, το IRI είναι ο Διεθνής Δείκτης Ομαλότητας, το PCI είναι ο Δείκτης Κατάστασης του Οδοστρώματος και το R^2 είναι ο συντελεστής προσδιορισμού, ο οποίος στη προκειμένη είναι αρκετά υψηλός και ισούται με $R^2 = 0.697$. Παρακινούμενοι από αυτόν τον υψηλό συντελεστή προσδιορισμού, ομαδοποίησαν κάποια δεδομένα, ώστε να αναζητήσουν μοντέλα που προβλέπουν το IRI με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Dewan and Smith, 2012

Το παρόν μοντέλο αναπτύχθηκε από τους Dewan & Smith το 2002 και θεωρείται από τα πιο διαδεδομένα μοντέλα εκτίμησης του IRI από το PCI, εξ. [4.2]:

$$\text{IRI} = 0.0171(153 - \text{PCI}) \quad [4.2]$$

Αναπτύχθηκε για τις πόλεις και τις κομητείες του Bay Area στην Καλιφόρνια με σκοπό τη χρήση του μοντέλου για την εκτίμηση του κόστους/οφέλους των χρηστών σε σύστημα διαχείρισης οδοστρώματος. Η τιμή R^2 του μοντέλου ήταν 0,53. Οι πραγματικές και οι προβλεπόμενες τιμές του IRI συγκρίθηκαν γραφικά για να απεικονίσουν τη διασπορά δεδομένων και για επικύρωση μοντέλου (Dewan, 2012).

Ali et al., 2019

Τα αποτελέσματα από την ανάλυση συσχέτισης μεταξύ των δεδομένων IRI και PCI που ελήφθησαν, ερευνήθηκαν για τα οδικά δίκτυα στην πόλη St. John's, Newfoundland. Με βάση τα δεδομένα που συλλέχθηκαν προτείνεται το ακόλουθο μοντέλο παλινδρόμησης εξ. [4.3]:

$$\text{PCI} = 81.890 - 11.037\text{IRI} \quad [4.3]$$

Ο συντελεστής συσχέτισης (R^2) αυτής της σχέσης είναι 0,79 (Ali et al., 2019).

Sharaf and Mandeel, 1998

Η εξίσωση [4.4] συσχετίζει το PCI και το IRI και αναπτύχθηκε από τους Sharaf και Mandeel το 1998, από τα δεδομένα κατάστασης του αιγυπτιακού οδικού δικτύου (Sharaf & Mandeel, 1998).

$$\text{IRI} = 0.15(100 - \text{PCI}) \quad [4.4]$$

Elhadidy et al., 2021

Η σιγμοειδής συνάρτηση με τις τελικές σταθερές παλινδρόμησης παρουσιάζεται στην εξίσωση [4.5]. Το μοντέλο παράγει εξαιρετικά ακριβείς προβλέψεις όπως υποδεικνύεται από το πολύ υψηλό $R^2 = 0.995$ και αναπτύχθηκε από τους Elhadidy et al., το 2021.

$$\text{IRI} = 79.933 / 14.061 + \exp(0.048 \text{PCI}) \quad [4.5]$$

Park et. al., 2007

Κάποιοι ερευνητές διερεύνησαν τη σχέση IRI-PCI με αποδεκτή στατιστική εγκυρότητα. Οι Park et al. το 2007 καθιέρωσαν μια σχέση ισχύος μεταξύ PCI και IRI, χρησιμοποιώντας δεδομένα από εννέα πολιτείες και επαρχίες στη Βόρεια Αμερική. Τα δεδομένα IRI-PCI εξήχθησαν για αυτοκινητόδρομους στις περιοχές του Delaware, Maryland, New Jersey, Νέα Υόρκη, Vermont, Virginia, Ontario, Κεμπέκ και το νησί του Πρίγκιπα Εδουάρδου. Η βάση δεδομένων περιλαμβάνει 20 τμήματα οδοστρώματος με 63 σημεία δεδομένων. Πρότειναν το μοντέλο ισχύος που συσχετίζει το IRI με το PCI όπως παρουσιάζεται στην εξ. [4.6]:

$$\log \text{PCI} = 2 - 0.436(\log \text{IRI}) \quad [4.6]$$

Shrestha and Khadka, 2021

Το 2017, από τα 23,6 km που ελήφθησαν για τη μελέτη, λήφθηκαν δεδομένα από τα 18,9 km για την ανάπτυξη σχέσεων μεταξύ των δεικτών της ομαλότητας (IRI) και της κατάστασης του οδοστρώματος (PCI). Τα υπόλοιπα μήκη διατηρήθηκαν για την επαλήθευση των μοντέλων. Επιπλέον, οι σχέσεις που αναπτύχθηκαν επαληθεύτηκαν

με τα τελευταία δεδομένα του 2019. Τα τελευταία δεδομένα των 3 km για το Satdobato-Godavari λήφθηκαν για επαλήθευση. Η σχέση μεταξύ PCI και IRI μπορεί να αναπτυχθεί σε διάφορες μορφές όπως γραμμικές, εκθετικές και πολυωνυμικές συναρτήσεις (Shrestha & Khadka,2021).

Η πολυωνυμική σχέση (Μοντέλο 7^ο) που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση των δεδομένων μεταξύ PCI και IRI λόγω μεγαλύτερης συσχέτισης, δημιουργήθηκε από τα επιμέρους δείγματα που ελήφθησαν κατά τη διάρκεια της μελέτης. Η σχέση προέκυψε από τα δεδομένα ενός γραφήματος πολυωνυμικής κλίμακας, η οποία μπορεί να διατυπωθεί ως:

$$PCI=0.1003IRI^2- 7.944IRI+100.62 \text{ [4.7]}$$

Arhin and Noel, 2014

Οι Arhin & Noel το 2014 χρησιμοποίησαν δεδομένα IRI-PCI, που ελήφθησαν από το Τμήμα Μεταφορών της Ουάσινγκτον (DC: District of Columbia) για 3 χρόνια, για να αναπτύξουν μοντέλα παλινδρόμησης που θα μπορούσαν να προβλέψουν το PCI από το IRI για διαφορετικούς αυτοκινητόδρομους ή τύπους οδοστρωμάτων. Το μοντέλο που αναπτύχθηκε για ασφαλτικά οδοστρώματα, περιγράφεται στην εξ. [4.8] (Arhin & Noel, 2014),

$$\log PCI=-0.115\log(IRI)+2.131 \text{ [4.8].}$$

Στις σχέσεις 4.1- 4.7 το IRI μετριέται σε m/km, ενώ στη σχέση 4.8 το IRI μετριέται σε in/mi. Όλες οι σχέσεις μετατράπηκαν σε m/km, ώστε να χρησιμοποιηθούν στην πειραματική ανάλυση.

5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

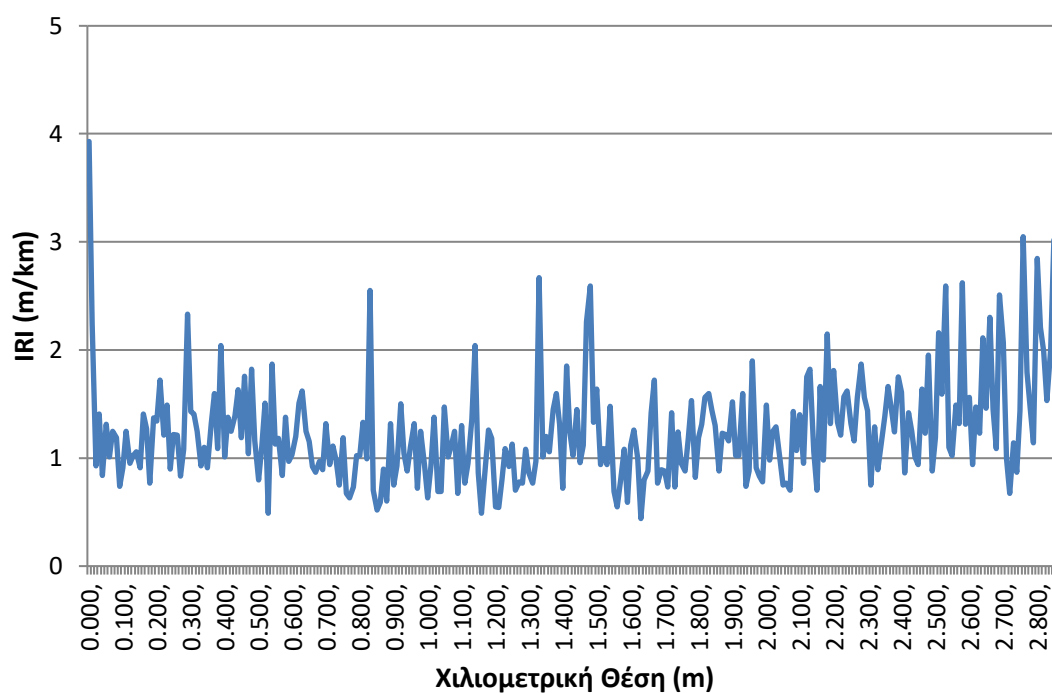
5.1 Γενικά

Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα επεξεργασίας από τη βάση δεδομένων του Εργαστηρίου Οδοστρώματων ΕΜΠ. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν μετρημένες τιμές του δείκτη IRI (m/km) ανά 10m σε συνολικό τμήμα 2.85 km υφιστάμενου αεροδρομίου πριν και μετά την αποκατάσταση του οδοστρώματος. Στη συνέχεια, εκτιμήθηκαν οι αντίστοιχες τιμές PCI για κάθε μία από τις 286 μετρημένες τιμές IRI, μέσω των μοντέλων συσχέτισης (βλ. Παράρτημα). Συνεπώς, διερευνάται η επίδραση των μοντέλων αυτών στις εκτιμώμενες τιμές PCI, πριν και μετά την αποκατάσταση του οδοστρώματος, δίνοντας τη δυνατότητα σύγκρισης και αξιολόγησης των αποτελεσμάτων.

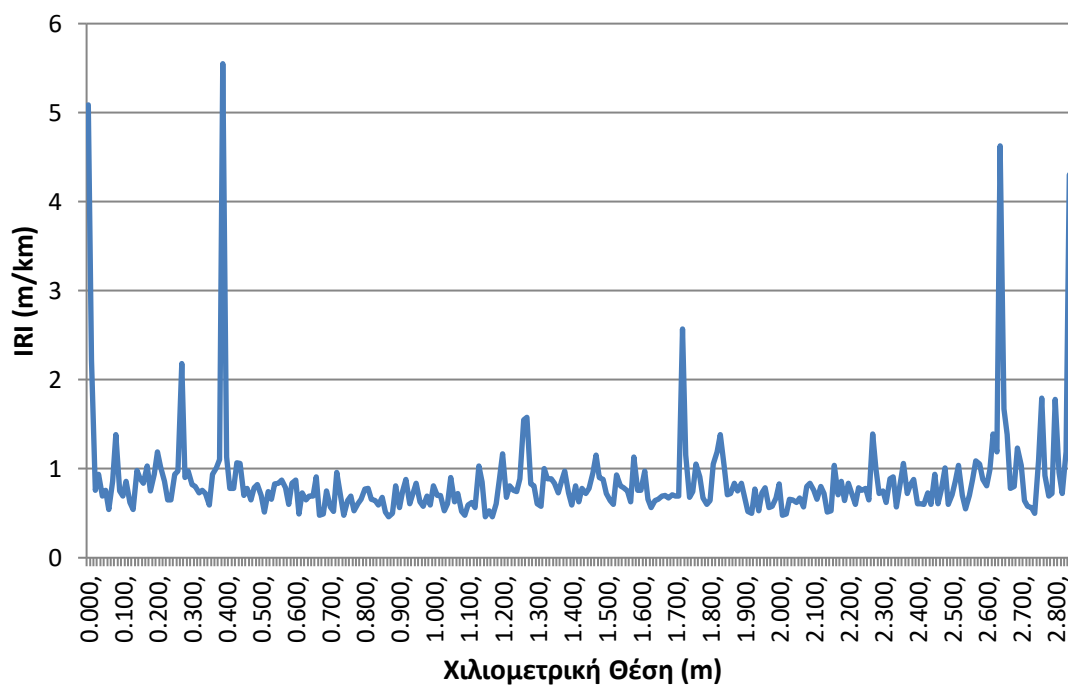
5.2 Ανάλυση δεδομένων

Ο δείκτης IRI είναι ένα διεθνώς αποδεκτό μέτρο για την αξιολόγηση της ομαλότητας στα οδοστρώματα οδών, και παρόλο που δεν είναι τόσο αποδεκτό για διαδρόμους αεροδρομίων, χρησιμοποιείται για την ανάλυση και την αξιολόγηση αυτών.

Στις Εικόνες 5.1 και 5.2 παρουσιάζονται οι τιμές του δείκτη IRI (m/km), κατά μήκος του διαδρόμου προσγείωσης/ απογείωσης αεροσκαφών, πριν και μετά την αποκατάσταση του οδοστρώματος, αντίστοιχα.

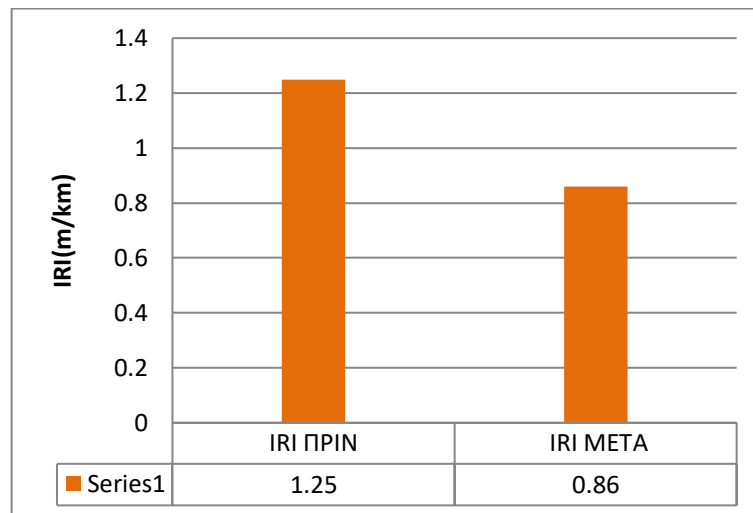


Εικόνα 5.1 IRI πριν την αποκατάσταση κατά μήκος του διαδρόμου προσγείωσης



Εικόνα 5.2 IRI μετά την αποκατάσταση κατά μήκος του διαδρόμου προσγείωσης

Στα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι μετά την αποκατάσταση του οδοστρώματος οι τιμές του IRI μειώθηκαν αισθητά, με εξαίρεση μεμονωμένες θέσεις καταγραφής, οι οποίες αυξήθηκαν. Ωστόσο, ο μέσος όρος των τιμών του IRI που μετρήθηκε πριν την αποκατάσταση ήταν ίσος με $IRI=1.25 \text{ m/km}$, ενώ μετά την αποκατάσταση ο δείκτης αυτός μειώθηκε στο 0.86 m/km (Εικόνα 5.3).



Εικόνα 5.3 Τιμή IRI πριν και μετά την αποκατάσταση

Όπως αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, οι τιμές αυτές υποδεικνύουν μια πολύ ομαλή και υψηλής ποιότητας επιφάνεια οδοστρώματος. Τα οδοστρώματα με πολύ χαμηλές τιμές IRI γενικά παρουσιάζουν πολύ καλή ομαλότητα και παρέχουν τις βέλτιστες συνθήκες για ασφαλείς και αποτελεσματικές λειτουργίες των αεροσκαφών.

5.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων

Η συνεχής παρακολούθηση του δείκτη PCI χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του ρυθμού φθοράς του οδοστρώματος, ο οποίος επιτρέπει τον έγκαιρο εντοπισμό μεγάλων αναγκών αποκατάστασης (ASTM, 1997, Shahin, 1994). Επομένως, είναι πολύ σημαντικό να χρησιμοποιούνται αξιόπιστα μοντέλα για την εκτίμηση του δείκτη PCI, ώστε να ανταποκρίνεται στη πραγματική κατάσταση του οδοστρώματος και να αξιολογείται σωστά.

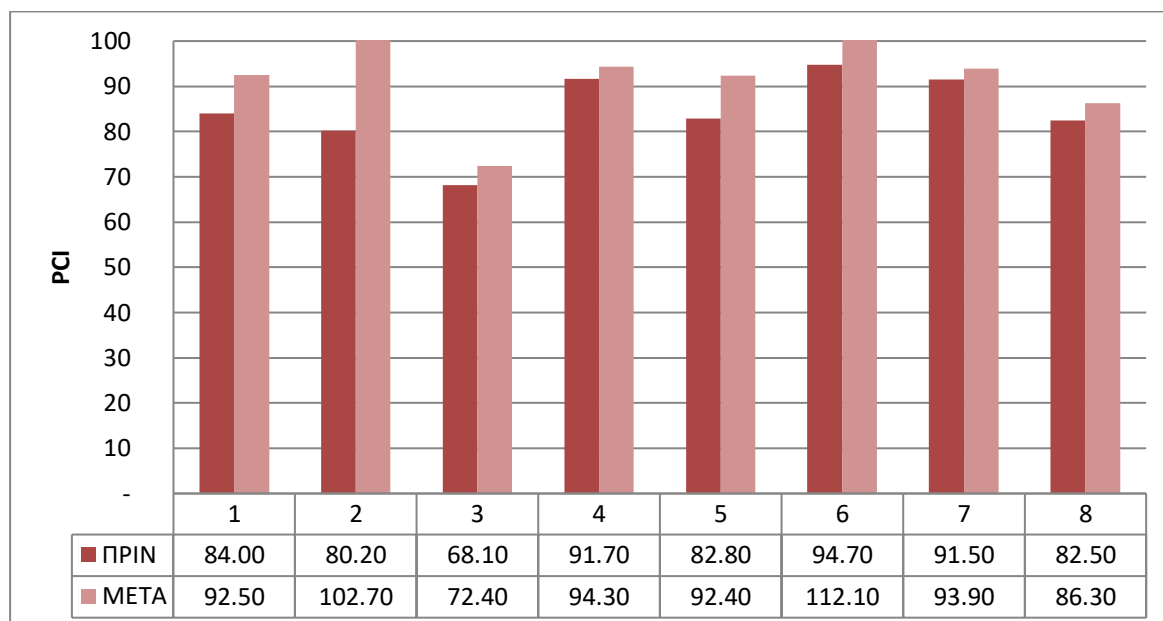
Στη παρούσα εργασία, για κάθε μία μετρημένη τιμή IRI, που αντιστοιχεί σε μία χιλιομετρική θέση του ασφαλικού οδοστρώματος υφιστάμενου αεροδρομίου, συνολικού μήκους 2.850 μέτρων, υπολογίστηκε μία αντίστοιχη τιμή PCI. Αυτό συνέβη και για τα 8 μοντέλα συσχέτισης ξεχωριστά, πριν και μετά την αποκατάσταση του οδοστρώματος.

Στη συνέχεια, υπολογίστηκε μία μέση τιμή του δείκτη PCI για κάθε ένα μοντέλο, πριν και μετά την αποκατάσταση αντίστοιχα, με σκοπό την σύγκριση και την αξιολόγηση των μοντέλων αυτών, ως προς τα αποτελέσματα τους. Πιο συγκεκριμένα, οι μεταβολές στη μέση τιμή του δείκτη PCI πριν και μετά την αποκατάσταση, για κάθε ένα μοντέλο συσχέτισης, παρουσιάζονται αναλυτικά στον πίνακα 5.1:

Πίνακας 5.1 Μεταβολή του PCI πριν και μετά την αποκατάσταση οδοστρώματος

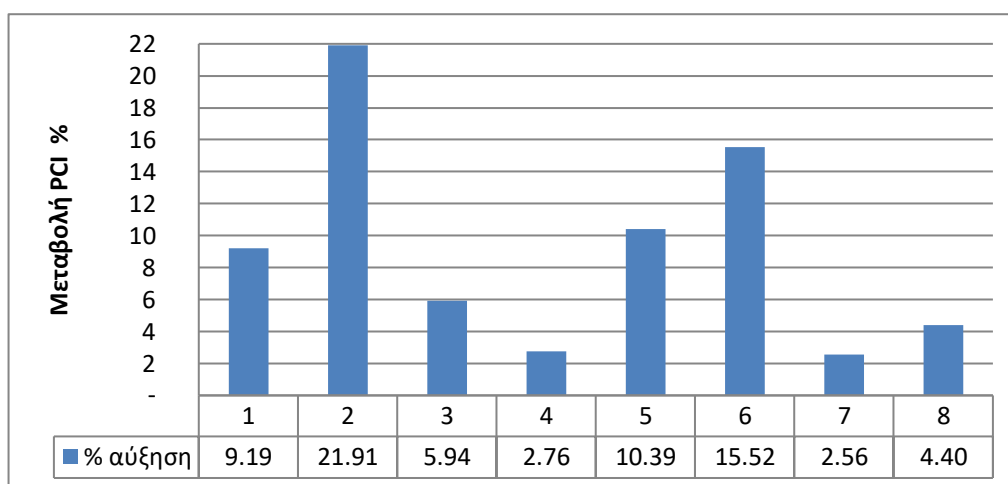
	ΜΟΝΤΕΛΑ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ	ΤΩΝ	PCI ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	PCI ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
1	$IRI = -0.045PCI + 5.024$	Piryonesi & El-Diraby	84	92.5
2	$IRI = 0.0171(153 - PCI)$	Dewan & Smith	80.2	102.7
3	$PCI = 81.890 - 11.037IRI$	Ali et al.	68.1	72.4
4	$IRI = 0.15(100 - PCI)$	Sharaf & Mandeel	91.7	94.3
5	$IRI = 79.933 / [14.061 + \exp(0.048PCI)]$	Elhadidy et al.	82.8	92.4
6	$\log PCI = 2 - 0.436(\log IRI)$	Park et al.	94.7	112.1
7	$PCI = 0.1003IRI^2 - 7.944IRI + 100.62$	Shrestha & Khadka	91.5	93.9
8	$\log PCI = -0.115\log(IRI) + 2.131$	Arhin & Noel	82.5	86.3

Τα παραπάνω αποτελέσματα εμφανίζονται και στατιστικά με μορφή διαγράμματος (Εικόνα 5.4) από το οποίο διεξάγονται κάποια συμπεράσματα για το κάθε μοντέλο συσχέτισης και το πώς επηρεάζει η αποκατάσταση του υφιστάμενου οδοστρώματος τον δείκτη PCI.



Εικόνα 5.4 Σύγκριση PCI πριν και μετά την αποκατάσταση οδοστρώματος

Με μια πρώτη γενική ματιά, παρατηρείται ότι ο δείκτης PCI σε όλα τα μοντέλα συσχέτισης παρουσιάζει αρκετά υψηλές τιμές, που αντιστοιχούν σε ένα ικανοποιητικό έως καλό επίπεδο κατάστασης του οδοστρώματος. Μια δεύτερη γενική παρατήρηση είναι ότι σε όλα τα μοντέλα εντοπίζεται μία μεταβολή αύξησης των τιμών του δείκτη PCI. Αυτό δηλώνει ότι μετά την αποκατάσταση, η κατάσταση του υφιστάμενου οδοστρώματος βελτιώθηκε σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις. Συγκεκριμένα, η ποσοστιαία μεταβολή βελτίωσης για το κάθε μοντέλο, παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 5.5):



Εικόνα 5.5 Ποσοστιαία μεταβολή βελτίωσης του PCI

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι το μοντέλο των Dewan & Smith (2) παρουσιάζει τη μεγαλύτερη βελτίωση με ποσοστό 21,91% σε αντίθεση με το μοντέλο των Shrestha & Khadka (7) που σημειώνει τη μικρότερη μεταβολή με ποσοστό 2.56%. Παρατηρείται ότι παρόλο που όλα τα μοντέλα μετά την αποκατάσταση του οδοστρώματος δίνουν βελτιωμένες τιμές PCI, η διαφορά στην ποσοστιαία μεταβολή τους είναι μεγάλη. Ωστόσο αυτό δε σημαίνει ότι τα μοντέλα με μεγαλύτερη ποσοστιαία μεταβολή, θα δίνουν απαραίτητα και τις μεγαλύτερες τιμές PCI μετά την αποκατάσταση.

Αξιολογώντας το διάγραμμα της Εικόνας 5.4 προκύπτει ότι το μοντέλο που δίνει τη μεγαλύτερη τιμή PCI πριν την αποκατάσταση του οδοστρώματος, είναι των Park et al. (6) με τιμή 94.7 (πολύ καλή κατάσταση), ενώ αντίθετα το μοντέλο που δίνει τη χαμηλότερη τιμή είναι των Ali et al. (3) με τιμή 68.1 (μέτρια κατάσταση). Αντίστοιχα, μετά την αποκατάσταση του οδοστρώματος, τη μέγιστη τιμή PCI τη δίνουν τα μοντέλα των Dewan & Smith (2) και των Park et al. (6) που ξεπερνάνε τη τιμή 100, δηλώνοντας ότι το οδόστρωμα είναι σε άριστη κατάσταση και δε λαμβάνονται υπόψη. Και σε αυτή τη περίπτωση, το μοντέλο που δίνει τη χαμηλότερη τιμή PCI είναι των Ali et al. (3) με τιμή 72.4 και ποσοστιαία μεταβολή βελτίωσης 5.94%.

Συμπερασματικά, το μοντέλο των Park et al.(6) είναι αυτό που δίνει τις υψηλότερες τιμές PCI τόσο πριν όσο και μετά την αποκατάσταση του οδοστρώματος, δηλώνοντας

ότι το οδόστρωμα βρίσκεται σε πολύ καλή κατάσταση παρουσιάζοντας ελάχιστη έως καθόλου φθορά. Εξίσου υψηλές τιμές PCI δίνουν και τα μοντέλα των Sharaf & Mandeel (4) και των Shrestha & Khadka (7) με τελικές τιμές 94.3 και 93.9 αντίστοιχα. Επίσης χαρακτηριστικό των παραπάνω μοντέλων είναι ότι παρόλο τις υψηλές τιμές PCI που δίνουν, παρουσιάζουν και τα χαμηλότερα ποσοστά μεταβολής 2.76% και 2.57% αντίστοιχα, επιβεβαιώνοντας τον ισχυρισμό ότι η μεταβολή στη τιμή του PCI δε σχετίζεται με το πόσο υψηλή είναι.

Τέλος, το μοντέλο που παρουσιάζει τη χαμηλότερη τιμή PCI τόσο πριν όσο και μετά την αποκατάσταση είναι των Ali et al. (3) παρόλη την αύξηση μεταβολής που λαμβάνει ίση με 5.94%. Το γεγονός αυτό ωστόσο δε καθιστά το μοντέλο αναξιόπιστο. Αντιθέτως, μοντέλα που δίνουν χαμηλότερες τιμές, όπως και αυτό των Arhen & Noel (8) μπορεί να θεωρηθούν συντηρητικά, και να χρησιμοποιηθούν υπέρ ασφαλείας του έργου.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η εκτίμηση του Δείκτη Κατάστασης PCI, μέσω μοντέλων συσχέτισης του Δείκτη PCI με τον IRI και της αξιοποίησης του Δείκτη Ομαλότητας IRI για ασφαλικά οδοστρώματα αεροδρομίων. Συνοψίζοντας τα όσα έχουν αναφερθεί, θα παρουσιαστούν τα συμπεράσματα που προέκυψαν τόσο από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, όσο και από την πειραματική ανάλυση, καθώς και διάφορες προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση προέκυψε ότι η εκτίμηση του δείκτη PCI μέσω των μοντέλων συσχέτισης παίζει καθοριστικό ρόλο στην αξιολόγηση και τη διαχείριση των οδοστρωμάτων στα αεροδρόμια. Η διαδικασία υπολογισμού είναι λιγότερο δαπανηρή και χρονοβόρα από τα συμβατικά συστήματα καταγραφής, ωστόσο θα μπορούσε να χαρακτηριστεί μικρότερης ακρίβειας. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από τη βάση δεδομένων του Εργαστηρίου Οδοστρωμάτων ΕΜΠ, τα οποία αφορούσαν μετρήσεις του Δείκτη IRI σε υφιστάμενο ασφαλτικό οδόστρωμα αεροδρομίου, μήκους περίπου 2.850 μέτρων. Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν και συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα των τιμών του δείκτη PCI για οκτώ διαφορετικά μοντέλα συσχέτισης του PCI με το IRI πριν και μετά την αποκατάσταση του οδοστρώματος.

Μέσα από τη πειραματική ανάλυση, συμπεραίνεται ότι σε γενικές γραμμές ο δείκτης PCI που εκτιμήθηκε για το υφιστάμενο οδόστρωμα του διαδρόμου προσγείωσης/απογείωσης αεροδρομίου, ήταν αρκετά καλός πριν την αποκατάσταση του οδοστρώματος, ενώ μετά την αποκατάσταση, οι τιμές αυξήθηκαν, αγγίζοντας σε κάποιες περιπτώσεις τη μέγιστη τιμή που μπορεί να λάβει ο δείκτης PCI. Αυτό δηλώνει ότι το οδόστρωμα είναι σε πολύ καλή κατάσταση και χρειάζεται περιορισμένες ενέργειες συντήρησης. Συγκεκριμένα, το μοντέλο των Dewan & Smith (2) παρουσιάζει τη μεγαλύτερη μεταβολή βελτίωσης, ενώ το μοντέλο των Shrestha & Khadka (7) σημειώνει τη μικρότερη. Επιπλέον, ξεχωρίζει το μοντέλο των Park et al. (6), διότι δίνει τις υψηλότερες τιμές PCI τόσο πριν όσο και μετά την αποκατάσταση του οδοστρώματος, ενώ εξίσου υψηλές τιμές PCI δίνουν και τα μοντέλα των Sharaf &

Mandeel (4) και των Shrestha & Khadka (7), αντίστοιχα. Τα παραπάνω μοντέλα, παρόλο τις υψηλές τιμές PCI που δίνουν, παρουσιάζουν τα χαμηλότερα ποσοστά στη μεταβολή βελτίωσης του δείκτη PCI, οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι η μεταβολή στη τιμή του PCI δε σχετίζεται με το πόσο υψηλή είναι. Τέλος, το μοντέλο που παρουσιάζει τη χαμηλότερη τιμή PCI τόσο πριν όσο και μετά την αποκατάσταση είναι των Ali et al. (3) παρόλη την αυξημένη βελτίωση που λαμβάνει. Το συγκεκριμένο μοντέλο, όπως και αυτό των Arhen & Noel (8) αντίστοιχα, μπορεί να χαρακτηριστεί ως συντηρητικό μοντέλο και λειτουργεί υπέρ ασφαλείας του έργου.

Κατόπιν τούτων, προκύπτουν κάποιες προτάσεις για μελλοντική έρευνα όσον αφορά στην αξιολόγηση των μοντέλων συσχέτισης του δείκτη PCI με τον IRI, με σκοπό τη διαχείριση της κατάστασης των οδοστρωμάτων αεροδρομίων. Δεδομένων των παραπάνω συμπερασμάτων κρίνεται ότι ο εκτιμώμενος δείκτης PCI, από τα μοντέλα συσχέτισής του με τον IRI (m/km), λαμβάνει αρκετά υψηλές τιμές στην κλίμακα κατάταξης, δηλώνοντας ότι το οδόστρωμα που μελετήθηκε βρίσκεται σε πολύ καλή κατάσταση. Για το λόγο αυτό συνίσταται η έρευνα για την εφαρμογή των συγκεκριμένων οκτώ μοντέλων συσχέτισης, σε αεροδρόμια με διαφορετικές τιμές του δείκτη IRI –ενδεχομένως πιο υψηλές–, ώστε να μελετηθεί το πώς ανταποκρίνονται τα μοντέλα αυτά σε διαφορετικά εύρη τιμών. Τέλος, προτείνεται και η εφαρμογή των μοντέλων συσχέτισης σε μη ασφατικά (δύσκαμπτα) οδοστρώματα αεροδρομίων, ώστε να ελεγχθεί το εύρος της χρήσης τους και οι διαφορές που θα προκύψουν.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ali A., Hossain K., Hussein A., Swarna S., Dhasmana H. & Hossain M. (2019). Towards development of PCI and IRI models for road networks in the City of St. John's. *Airfield and Highway Pavements 2019: Design, Construction, Condition Evaluation, and Management of Pavements*, pp.335 - 342
- Adeli S., Gilani V., Novin M.K., Motesharei E. & Salehfard R. (2021). Development of a Relationship between Pavement Condition Index and International Roughness Index in Rural Road Network. *Advances in Civil Engineering*, vol.2021, ID 6635820.
- Arhin S.A. & Noel E.C. (2014). *Predicting pavement condition index using International Roughness Index in Washington DC*. S.I: Final Report for HUTRC Project.
- Arhin S.A., Williams L.N., Ribbiso A. & Anderson M.F. (2015). Predicting pavement condition index using International Roughness Index in a Dense urban area. *Journal of Civil Engineering Research*, 5(1), pp. 10-17.
- ASTM D5340–20 (1997^a). *Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys*. West Conshohocken, PA, USA: American Society for Testing and Materials.
- ASTM D5340-93 (1997^b). *Standard Specification for Hot-Mixed, Hot-Laid Bituminous Paving Mixtures*. West Conshohocken, PA, USA: American Society for Testing and Materials.
- ASTM E1364 – 95 (2012). *Standard Test Method for Measuring Road Roughness by Static Level Method*. West Conshohocken, PA, USA: American Society for Testing and Materials.
- Bennett C. R. & Wang H. (2003). *Harmonising Automated Rut Depth Measurements*. Transfund New Zealand Research Report No 242.
- Cardoso S. H. (2002). *Practical Manual on the Aircraft-Pavement Interaction and Runway Roughness Evaluation*. Seminar on Airfield Pavement Maintenance and Short Course on the Aircraft-Pavement Interaction. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.
- Cereceda D., Medel-Vera C., Ortiz M. & Tramon J. (2022). Roughness and condition prediction models for airfield pavements using digital image processing. *Automation in Construction*, Vol. 139(0), pp. 104-325.
- Congress S. & Puppala A. (2022). *Lessons Learned in Airport Asset Inspection Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Based Close-Range Photogrammetry*. International Conference on Transportation and Development 2022: Other Modes—Rail, Transit, and Aviation, pp. 212-222.
- DeMarco A.J. & Stedman C.C. (2007). *Automated GPS Mapping of Road Roughness*. Project Report of Worcester Polytechnic Institute.
- Dewan S.A. & Smith R.A. (2002). Estimating IRI from Pavement Distresses to Calculate Vehicle Operating Costs for the Cities and Counties of San Francisco Bay Area. *Transportation Research Record*, 1816(1), pp. 65–72.

Dhakal N. & Elseifi M.A (2016). Use of Infrared Thermography to Detect Thermal Segregation in Asphalt Overlay and Reflective Cracking Potential. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28(2), pp. 1-32.

Elhadidy A.A., El-Badawy S.M. & Elbeltagi E.E., (2021). A simplified pavement condition index regression model for pavement evaluation», *International Journal of Pavement Engineering*, 22(1), pp. 1-10.

Gelder P.A. & Stet M.J.A (2009). *Evaluation Methods for Longitudinal Evenness of Runway Pavements*. S.I: Report based on a presentation held at the European Airport Pavement Workshop, Amsterdam.

Gillespie T. D. (1992). Fundamentals on Vehicle Dynamics. *Society of Automotive Engineers Inc.*

Gramling W.L. (1994). Current Practices in Determining Pavement Condition. *NCHRP Synthesis of Highway Practice*, 22(203), pp. 1-63.

Miller J.S. & Bellinger W.Y. (1993). Distress identification manual for the long - term pavement performance project. Highway Research Program, National Research Council, Washington D.C., National Academy of Sciences, 1700(7), pp.8-72.

Neufville R. & Odoni A. (2009). *Συστήματα Αεροδρομίων: Μελέτη, Σχεδιασμός, Διαχείριση*. Απόδοση και προσαρμογή Βούλα Ψαράκη-Καλουπτσίδη.

Park K, Thomas NE & Lee WK (2007). Applicability of the International Roughness Index as a predictor of asphalt pavement condition. *Journal of Transportation Engineering*, 133(12), pp.706–709.

Perera R.W. & Kohn S.D. (2002). Issues in Pavement Smoothness: A Summary Report. *NCHRP Web Document 42, Project 20-51[1]: Contractor's Final Report*.

Pirayonesi S.M & El-Diraby T.E. (2021). Examining the relationship between two road performance indicators: Pavement condition index and international roughness index. *Transportation Geotechnics*, vol.26,100441.

Robinson, P. (2000). *Pavement Condition Monitoring Guidelines, Roughness*. ARRB Transport Research.

Sandra A.K. & Sarkar A.K. (2013). Development of a model for estimating International Roughness Index from pavement distresses. *International Journal of Pavement Engineering*, 14(8), pp. 715–724.

Satkar S. & Khadka R. (2021). Assessment of relationship between Road Roughness and Pavement Surface Condition. *Journal of Advanced College of Engineering and Management*, vol. 6, pp.177-185.

Sayers M.W. (1995). On the Calculation of International Roughness Index from Longitudinal Road Profile. *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board*.1501, pp.1-12.

Sayers M. & Karamihas S. (1996). *Interpretation of road roughness profile data*. Final Report for Federal Highway Administration Contract.

Sayers M. & Karamihas S. (1998). The little book of profiling: basic information about measuring and interpreting road profiles. s.I: Report for UMTRI, Engineering Research Division.

Shah Y., Jain S.S., Tiwari D. & Jain M.K. (2013). *Development of overall pavement condition index for urban road network*. s.I: 2nd Conference of Transportation Research Group of India (2nd CTRG) 104(2013), pp. 332–341.

Shahin M.Y. (1996). *Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots*. 3rd Printing, Kluwer Academic Publishers, MA.

Sharaf E.A. & Mandeel F. (1998). *An analysis of the impact of different priority setting techniques on network pavement condition*. s.I: Proceedings of 4th international conference on managing pavements, pp. 158–168.

Song I., Larkin A. & Augustin S. (2014). *Profile data comparisons for airfield runway pavements*. s.I: FAA Worldwide Airport Technology Transfer Conference Galloway, New Jersey, USA.

Woods J.E. (2008). A Study of Airport Pavement Roughness and Aircraft. *Pavement Interaction Using Wavelet Analysis*, San Antonio, University of Texas, ProQuest.

Λοΐζος Α. & Πλατή Χ. (2014). *Οδοστρώματα Οδών και Αεροδρομίων*. Τεύχος Α - Οδοστρώματα Αεροδρομίων, Αθήνα: Εργαστήριο Οδοποιίας, ΕΜΠ.

Λοΐζος Α. & Πλατή Χ. (2014). *Οδοστρώματα Οδών και Αεροδρομίων*. Τεύχος Β - Συστήματα Παρακολούθησης και Διαχείρισης Οδοστρωμάτων, Αθήνα: Εργαστήριο Οδοποιίας, ΕΜΠ.

Λοΐζος Α. & Πλατή Χ. (2019). *Αξιολόγηση και Συντήρηση Οδοστρωμάτων*. Αθήνα: Εργαστήριο Οδοποιίας, ΕΜΠ.

Μουρατίδης Α. (2006). *Διαχείριση οδών και Οδικών Έργων*, Θεσσαλονίκη, ΑΠΘ.

Νικολαΐδης Α. (1996). *Οδοποιία: Οδοστρώματα, Υλικά και Έλεγχος Ποιότητας*, Θεσσαλονίκη.

Νικολαΐδης Α. (2002). *Οδοποιία: Οδοστρώματα, Υλικά και Έλεγχος Ποιότητας*. 2^η έκδοση, Θεσσαλονίκη: Μ. Τριανταφύλλου & Σία

Συμεωνίδης Π. (2006). Συστήματα Τεκμηρίωσης Πολιτιστικών Πόρων. Σέρρες: ΤΕΙ Γεωπληροφορικής Σερρών.

Χατζόπουλος Ν. Ι. (2006). *Τοπογραφία*, Εκδόσεις Β. Γκιούρδας, Μυτιλήνη.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας Π.1 Δεδομένα επεξεργασίας πριν την αποκατάσταση

From	Average IRI (m/km)	Piryonesi & ElDiraby	Dewan & Smith	Ali et al.	Sharaf & Mandeel	Elhadidy et al.	Park et al.	Shrestha & Khadka	Arhin & Noel
0.000,	3,93	24,31	-76,84	38,51	73,80	38,27	55,06	92,07	71,68
0.010,	2,25	61,64	21,40	57,06	85,00	63,88	70,22	218,74	76,43
0.020,	0,93	90,98	98,60	71,63	93,80	89,06	103,21	93,32	84,60
0.030,	1,41	80,31	70,53	66,33	90,60	78,18	86,09	89,62	80,65
0.040,	0,84	92,98	103,86	72,62	94,40	91,58	107,90	94,02	85,60
0.050,	1,31	82,53	76,37	67,43	91,27	80,19	88,89	90,39	81,34
0.060,	1,01	89,20	93,92	70,74	93,27	86,99	99,57	92,70	83,81
0.070,	1,25	83,87	79,88	68,09	91,67	81,45	90,73	90,85	81,78
0.080,	1,19	85,20	83,39	68,76	92,07	82,76	92,70	91,31	82,24
0.090,	0,74	95,20	109,71	73,72	95,07	94,64	114,03	94,80	86,86
0.100,	0,91	91,42	99,77	71,85	93,93	89,61	104,20	93,47	84,82
0.110,	1,25	83,87	79,88	68,09	91,67	81,45	90,73	90,85	81,78
0.120,	0,95	90,53	97,43	71,40	93,67	88,53	102,26	93,16	84,40
0.130,	1,02	88,98	93,33	70,63	93,20	86,74	99,14	92,62	83,71
0.140,	1,06	88,09	90,99	70,19	92,93	85,76	97,49	92,31	83,34
0.150,	0,91	91,42	99,77	71,85	93,93	89,61	104,20	93,47	84,82
0.160,	1,41	80,31	70,53	66,33	90,60	78,18	86,09	89,62	80,65
0.170,	1,27	83,42	78,71	67,87	91,53	81,03	90,10	90,69	81,63
0.180,	0,77	94,53	107,95	73,39	94,87	93,69	112,07	94,56	86,46
0.190,	1,37	81,20	72,87	66,77	90,87	78,97	87,17	89,92	80,92
0.200,	1,34	81,87	74,62	67,10	91,07	79,58	88,02	90,16	81,12
0.210,	1,72	73,42	52,40	62,91	88,53	72,47	78,94	87,25	78,83
0.220,	1,21	84,76	82,22	68,54	91,93	82,32	92,02	91,15	82,08
0.230,	1,49	78,53	65,85	65,44	90,07	76,63	84,04	89,01	80,14
0.240,	0,9	91,64	100,35	71,96	94,00	89,88	104,70	93,55	84,92
0.250,	1,22	84,53	81,64	68,42	91,87	82,10	91,70	91,08	82,00
0.260,	1,21	84,76	82,22	68,54	91,93	82,32	92,02	91,15	82,08
0.270,	0,83	93,20	104,44	72,73	94,47	91,87	108,46	94,10	85,72
0.280,	1,08	87,64	89,82	69,97	92,80	85,28	96,70	92,16	83,16
0.290,	2,33	59,87	16,73	56,17	84,47	62,66	69,16	82,65	76,12
0.300,	1,43	79,87	69,36	66,11	90,47	77,79	85,56	89,47	80,52
0.310,	1,41	80,31	70,53	66,33	90,60	78,18	86,09	89,62	80,65
0.320,	1,25	83,87	79,88	68,09	91,67	81,45	90,73	90,85	81,78
0.330,	0,93	90,98	98,60	71,63	93,80	89,06	103,21	93,32	84,60
0.340,	1,1	87,20	88,65	69,75	92,67	84,81	95,93	92,00	82,99

0.350,	0,91	91,42	99,77	71,85	93,93	89,61	104,20	93,47	84,82
0.360,	1,32	82,31	75,79	67,32	91,20	79,99	88,60	90,31	81,27
0.370,	1,6	76,09	59,42	64,23	89,33	74,60	81,47	88,17	79,49
0.380,	1,09	87,42	89,24	69,86	92,73	85,04	96,31	92,08	83,07
0.390,	2,04	66,31	33,68	59,37	86,40	67,16	73,28	84,83	77,30
0.400,	1,01	89,20	93,92	70,74	93,27	86,99	99,57	92,70	83,81
0.410,	1,38	80,98	72,28	66,66	90,80	78,77	86,90	89,85	80,85
0.420,	1,25	83,87	79,88	68,09	91,67	81,45	90,73	90,85	81,78
0.430,	1,39	80,76	71,70	66,55	90,73	78,57	86,63	89,77	80,78
0.440,	1,63	75,42	57,66	63,90	89,13	74,06	80,81	87,94	79,32
0.450,	1,19	85,20	83,39	68,76	92,07	82,76	92,70	91,31	82,24
0.460,	1,76	72,53	50,06	62,46	88,27	71,78	78,15	86,95	78,62
0.470,	1,04	88,53	92,16	70,41	93,07	86,25	98,30	92,47	83,52
0.480,	1,82	71,20	46,55	61,80	87,87	70,76	77,02	86,49	78,32
0.490,	1,16	85,87	85,15	69,09	92,27	83,43	93,73	91,54	82,48
0.500,	0,8	93,87	106,20	73,06	94,67	92,76	110,22	94,33	86,08
0.510,	1,11	86,98	88,07	69,64	92,60	84,57	95,55	91,93	82,90
0.520,	1,51	78,09	64,68	65,22	89,93	76,26	83,55	88,85	80,02
0.530,	0,49	100,76	124,33	76,48	96,73	104,26	136,48	96,75	91,07
0.540,	1,87	70,09	43,63	61,25	87,53	69,92	76,12	86,12	78,07
0.550,	1,13	86,53	86,90	69,42	92,47	84,11	94,81	91,77	82,73
0.560,	1,18	85,42	83,98	68,87	92,13	82,98	93,04	91,39	82,32
0.570,	0,84	92,98	103,86	72,62	94,40	91,58	107,90	94,02	85,60
0.580,	1,38	80,98	72,28	66,66	90,80	78,77	86,90	89,85	80,85
0.590,	0,97	90,09	96,26	71,18	93,53	88,01	101,34	93,01	84,20
0.600,	1,03	88,76	92,75	70,52	93,13	86,49	98,72	92,54	83,62
0.610,	1,2	84,98	82,81	68,65	92,00	82,54	92,36	91,23	82,16
0.620,	1,51	78,09	64,68	65,22	89,93	76,26	83,55	88,85	80,02
0.630,	1,62	75,64	58,25	64,01	89,20	74,24	81,03	88,01	79,37
0.640,	1,25	83,87	79,88	68,09	91,67	81,45	90,73	90,85	81,78
0.650,	1,15	86,09	85,73	69,20	92,33	83,65	94,09	91,62	82,56
0.660,	0,92	91,20	99,18	71,74	93,87	89,33	103,70	93,40	84,71
0.670,	0,87	92,31	102,11	72,29	94,20	90,72	106,26	93,78	85,26
0.680,	0,97	90,09	96,26	71,18	93,53	88,01	101,34	93,01	84,20
0.690,	0,89	91,87	100,94	72,07	94,07	90,16	105,21	93,63	85,03
0.700,	1,32	82,31	75,79	67,32	91,20	79,99	88,60	90,31	81,27
0.710,	0,94	90,76	98,01	71,52	93,73	88,80	102,73	93,24	84,50
0.720,	1,11	86,98	88,07	69,64	92,60	84,57	95,55	91,93	82,90
0.730,	0,98	89,87	95,67	71,07	93,47	87,75	100,88	92,93	84,10
0.740,	0,75	94,98	109,12	73,61	95,00	94,32	113,36	94,72	86,72
0.750,	1,19	85,20	83,39	68,76	92,07	82,76	92,70	91,31	82,24
0.760,	0,67	96,76	113,80	74,50	95,53	97,01	119,08	95,34	87,86
0.770,	0,63	97,64	116,14	74,94	95,80	98,45	122,32	95,66	88,48
0.780,	0,73	95,42	110,29	73,83	95,13	94,97	114,71	94,87	86,99

0.790,	1,02	88,98	93,33	70,63	93,20	86,74	99,14	92,62	83,71
0.800,	1,02	88,98	93,33	70,63	93,20	86,74	99,14	92,62	83,71
0.810,	1,33	82,09	75,20	67,21	91,13	79,78	88,31	90,23	81,19
0.820,	0,99	89,64	95,09	70,96	93,40	87,50	100,44	92,85	84,00
0.830,	2,55	54,98	3,86	53,75	83,00	59,37	66,49	81,02	75,34
0.840,	0,7	96,09	112,05	74,16	95,33	95,97	116,83	95,11	87,41
0.850,	0,52	100,09	122,57	76,15	96,53	102,90	132,99	96,52	90,45
0.860,	0,59	98,53	118,48	75,38	96,07	99,98	125,87	95,97	89,15
0.870,	0,9	91,64	100,35	71,96	94,00	89,88	104,70	93,55	84,92
0.880,	0,6	98,31	117,89	75,27	96,00	99,59	124,95	95,89	88,98
0.890,	1,32	82,31	75,79	67,32	91,20	79,99	88,60	90,31	81,27
0.900,	0,75	94,98	109,12	73,61	95,00	94,32	113,36	94,72	86,72
0.910,	0,93	90,98	98,60	71,63	93,80	89,06	103,21	93,32	84,60
0.920,	1,5	78,31	65,26	65,33	90,00	76,45	83,80	88,93	80,08
0.930,	1,04	88,53	92,16	70,41	93,07	86,25	98,30	92,47	83,52
0.940,	0,88	92,09	101,52	72,18	94,13	90,43	105,73	93,71	85,14
0.950,	1,1	87,20	88,65	69,75	92,67	84,81	95,93	92,00	82,99
0.960,	1,32	82,31	75,79	67,32	91,20	79,99	88,60	90,31	81,27
0.970,	0,72	95,64	110,88	73,94	95,20	95,30	115,40	94,95	87,13
0.980,	1,25	83,87	79,88	68,09	91,67	81,45	90,73	90,85	81,78
0.990,	0,94	90,76	98,01	71,52	93,73	88,80	102,73	93,24	84,50
1.000,	0,63	97,64	116,14	74,94	95,80	98,45	122,32	95,66	88,48
1.010,	0,92	91,20	99,18	71,74	93,87	89,33	103,70	93,40	84,71
1.020,	1,38	80,98	72,28	66,66	90,80	78,77	86,90	89,85	80,85
1.030,	0,69	96,31	112,63	74,27	95,40	96,31	117,56	95,19	87,56
1.040,	0,69	96,31	112,63	74,27	95,40	96,31	117,56	95,19	87,56
1.050,	1,47	78,98	67,02	65,67	90,20	77,02	84,54	89,16	80,27
1.060,	1,01	89,20	93,92	70,74	93,27	86,99	99,57	92,70	83,81
1.070,	1,12	86,76	87,49	69,53	92,53	84,34	95,18	91,85	82,82
1.080,	1,25	83,87	79,88	68,09	91,67	81,45	90,73	90,85	81,78
1.090,	0,67	96,76	113,80	74,50	95,53	97,01	119,08	95,34	87,86
1.100,	1,3	82,76	76,96	67,54	91,33	80,40	89,19	90,46	81,41
1.110,	0,77	94,53	107,95	73,39	94,87	93,69	112,07	94,56	86,46
1.120,	0,95	90,53	97,43	71,40	93,67	88,53	102,26	93,16	84,40
1.130,	1,36	81,42	73,45	66,88	90,93	79,17	87,45	90,00	80,99
1.140,	2,04	66,31	33,68	59,37	86,40	67,16	73,28	84,83	77,30
1.150,	0,86	92,53	102,69	72,40	94,27	91,00	106,80	93,86	85,37
1.160,	0,49	100,76	124,33	76,48	96,73	104,26	136,48	96,75	91,07
1.170,	0,91	91,42	99,77	71,85	93,93	89,61	104,20	93,47	84,82
1.180,	1,26	83,64	79,30	67,98	91,60	81,24	90,41	90,77	81,70
1.190,	1,18	85,42	83,98	68,87	92,13	82,98	93,04	91,39	82,32
1.200,	0,55	99,42	120,82	75,82	96,33	101,61	129,78	96,28	89,87
1.210,	0,54	99,64	121,40	75,93	96,40	102,03	130,82	96,36	90,06
1.220,	0,8	93,87	106,20	73,06	94,67	92,76	110,22	94,33	86,08

1.230,	1,09	87,42	89,24	69,86	92,73	85,04	96,31	92,08	83,07
1.240,	0,92	91,20	99,18	71,74	93,87	89,33	103,70	93,40	84,71
1.250,	1,13	86,53	86,90	69,42	92,47	84,11	94,81	91,77	82,73
1.260,	0,7	96,09	112,05	74,16	95,33	95,97	116,83	95,11	87,41
1.270,	0,78	94,31	107,37	73,28	94,80	93,38	111,44	94,48	86,33
1.280,	0,77	94,53	107,95	73,39	94,87	93,69	112,07	94,56	86,46
1.290,	1,08	87,64	89,82	69,97	92,80	85,28	96,70	92,16	83,16
1.300,	0,86	92,53	102,69	72,40	94,27	91,00	106,80	93,86	85,37
1.310,	0,77	94,53	107,95	73,39	94,87	93,69	112,07	94,56	86,46
1.320,	0,97	90,09	96,26	71,18	93,53	88,01	101,34	93,01	84,20
1.330,	2,67	52,31	-3,16	52,42	82,20	57,60	65,17	80,12	74,94
1.340,	1,01	89,20	93,92	70,74	93,27	86,99	99,57	92,70	83,81
1.350,	1,2	84,98	82,81	68,65	92,00	82,54	92,36	91,23	82,16
1.360,	1,06	88,09	90,99	70,19	92,93	85,76	97,49	92,31	83,34
1.370,	1,45	79,42	68,19	65,89	90,33	77,40	85,04	89,31	80,39
1.380,	1,6	76,09	59,42	64,23	89,33	74,60	81,47	88,17	79,49
1.390,	1,31	82,53	76,37	67,43	91,27	80,19	88,89	90,39	81,34
1.400,	0,72	95,64	110,88	73,94	95,20	95,30	115,40	94,95	87,13
1.410,	1,85	70,53	44,80	61,47	87,67	70,26	76,47	86,27	78,17
1.420,	1,24	84,09	80,47	68,20	91,73	81,67	91,05	90,92	81,85
1.430,	1,02	88,98	93,33	70,63	93,20	86,74	99,14	92,62	83,71
1.440,	1,45	79,42	68,19	65,89	90,33	77,40	85,04	89,31	80,39
1.450,	0,96	90,31	96,84	71,29	93,60	88,27	101,80	93,09	84,30
1.460,	1,12	86,76	87,49	69,53	92,53	84,34	95,18	91,85	82,82
1.470,	2,26	61,42	20,82	56,95	84,93	63,73	70,08	83,18	76,39
1.480,	2,59	54,09	1,52	53,30	82,73	58,78	66,04	80,72	75,20
1.490,	1,33	82,09	75,20	67,21	91,13	79,78	88,31	90,23	81,19
1.500,	1,64	75,20	57,08	63,79	89,07	73,88	80,60	87,86	79,26
1.510,	0,94	90,76	98,01	71,52	93,73	88,80	102,73	93,24	84,50
1.520,	1,09	87,42	89,24	69,86	92,73	85,04	96,31	92,08	83,07
1.530,	0,94	90,76	98,01	71,52	93,73	88,80	102,73	93,24	84,50
1.540,	1,48	78,76	66,43	65,56	90,13	76,82	84,29	89,08	80,20
1.550,	0,69	96,31	112,63	74,27	95,40	96,31	117,56	95,19	87,56
1.560,	0,55	99,42	120,82	75,82	96,33	101,61	129,78	96,28	89,87
1.570,	0,78	94,31	107,37	73,28	94,80	93,38	111,44	94,48	86,33
1.580,	1,08	87,64	89,82	69,97	92,80	85,28	96,70	92,16	83,16
1.590,	0,59	98,53	118,48	75,38	96,07	99,98	125,87	95,97	89,15
1.600,	1,12	86,76	87,49	69,53	92,53	84,34	95,18	91,85	82,82
1.610,	1,26	83,64	79,30	67,98	91,60	81,24	90,41	90,77	81,70
1.620,	1	89,42	94,50	70,85	93,33	87,24	100,00	92,78	83,90
1.630,	0,44	101,87	127,25	77,03	97,07	106,70	143,04	97,14	92,21
1.640,	0,8	93,87	106,20	73,06	94,67	92,76	110,22	94,33	86,08
1.650,	0,88	92,09	101,52	72,18	94,13	90,43	105,73	93,71	85,14
1.660,	1,42	80,09	69,94	66,22	90,53	77,98	85,82	89,54	80,59

1.670,	1,72	73,42	52,40	62,91	88,53	72,47	78,94	87,25	78,83
1.680,	0,77	94,53	107,95	73,39	94,87	93,69	112,07	94,56	86,46
1.690,	0,89	91,87	100,94	72,07	94,07	90,16	105,21	93,63	85,03
1.700,	0,88	92,09	101,52	72,18	94,13	90,43	105,73	93,71	85,14
1.710,	0,73	95,42	110,29	73,83	95,13	94,97	114,71	94,87	86,99
1.720,	1,42	80,09	69,94	66,22	90,53	77,98	85,82	89,54	80,59
1.730,	0,73	95,42	110,29	73,83	95,13	94,97	114,71	94,87	86,99
1.740,	1,24	84,09	80,47	68,20	91,73	81,67	91,05	90,92	81,85
1.750,	0,95	90,53	97,43	71,40	93,67	88,53	102,26	93,16	84,40
1.760,	0,88	92,09	101,52	72,18	94,13	90,43	105,73	93,71	85,14
1.770,	1,18	85,42	83,98	68,87	92,13	82,98	93,04	91,39	82,32
1.780,	1,53	77,64	63,51	65,00	89,80	75,88	83,08	88,70	79,90
1.790,	0,82	93,42	105,03	72,84	94,53	92,16	109,04	94,17	85,84
1.800,	1,19	85,20	83,39	68,76	92,07	82,76	92,70	91,31	82,24
1.810,	1,31	82,53	76,37	67,43	91,27	80,19	88,89	90,39	81,34
1.820,	1,56	76,98	61,75	64,67	89,60	75,33	82,38	88,47	79,72
1.830,	1,6	76,09	59,42	64,23	89,33	74,60	81,47	88,17	79,49
1.840,	1,44	79,64	68,77	66,00	90,40	77,59	85,30	89,39	80,46
1.850,	1,3	82,76	76,96	67,54	91,33	80,40	89,19	90,46	81,41
1.860,	0,88	92,09	101,52	72,18	94,13	90,43	105,73	93,71	85,14
1.870,	1,23	84,31	81,05	68,31	91,80	81,88	91,37	91,00	81,93
1.880,	1,22	84,53	81,64	68,42	91,87	82,10	91,70	91,08	82,00
1.890,	1,16	85,87	85,15	69,09	92,27	83,43	93,73	91,54	82,48
1.900,	1,52	77,87	64,09	65,11	89,87	76,07	83,31	88,78	79,96
1.910,	1,02	88,98	93,33	70,63	93,20	86,74	99,14	92,62	83,71
1.920,	1,02	88,98	93,33	70,63	93,20	86,74	99,14	92,62	83,71
1.930,	1,6	76,09	59,42	64,23	89,33	74,60	81,47	88,17	79,49
1.940,	0,74	95,20	109,71	73,72	95,07	94,64	114,03	94,80	86,86
1.950,	0,88	92,09	101,52	72,18	94,13	90,43	105,73	93,71	85,14
1.960,	1,9	69,42	41,87	60,92	87,33	69,43	75,59	85,89	77,93
1.970,	0,91	91,42	99,77	71,85	93,93	89,61	104,20	93,47	84,82
1.980,	0,83	93,20	104,44	72,73	94,47	91,87	108,46	94,10	85,72
1.990,	0,78	94,31	107,37	73,28	94,80	93,38	111,44	94,48	86,33
2.000,	1,49	78,53	65,85	65,44	90,07	76,63	84,04	89,01	80,14
2.010,	0,98	89,87	95,67	71,07	93,47	87,75	100,88	92,93	84,10
2.020,	1,25	83,87	79,88	68,09	91,67	81,45	90,73	90,85	81,78
2.030,	1,29	82,98	77,54	67,65	91,40	80,61	89,49	90,54	81,48
2.040,	1	89,42	94,50	70,85	93,33	87,24	100,00	92,78	83,90
2.050,	0,75	94,98	109,12	73,61	95,00	94,32	113,36	94,72	86,72
2.060,	0,77	94,53	107,95	73,39	94,87	93,69	112,07	94,56	86,46
2.070,	0,7	96,09	112,05	74,16	95,33	95,97	116,83	95,11	87,41
2.080,	1,43	79,87	69,36	66,11	90,47	77,79	85,56	89,47	80,52
2.090,	1,07	87,87	90,41	70,08	92,87	85,52	97,09	92,23	83,25
2.100,	1,4	80,53	71,11	66,44	90,67	78,37	86,36	89,69	80,72

2.110,	0,95	90,53	97,43	71,40	93,67	88,53	102,26	93,16	84,40
2.120,	1,75	72,76	50,64	62,58	88,33	71,95	78,35	87,03	78,67
2.130,	1,82	71,20	46,55	61,80	87,87	70,76	77,02	86,49	78,32
2.140,	1,06	88,09	90,99	70,19	92,93	85,76	97,49	92,31	83,34
2.150,	0,7	96,09	112,05	74,16	95,33	95,97	116,83	95,11	87,41
2.160,	1,66	74,76	55,91	63,57	88,93	73,52	80,17	87,71	79,15
2.170,	0,98	89,87	95,67	71,07	93,47	87,75	100,88	92,93	84,10
2.180,	2,15	63,87	27,25	58,16	85,67	65,43	71,62	84,00	76,83
2.190,	1,32	82,31	75,79	67,32	91,20	79,99	88,60	90,31	81,27
2.200,	1,81	71,42	47,13	61,91	87,93	70,93	77,21	86,57	78,37
2.210,	1,33	82,09	75,20	67,21	91,13	79,78	88,31	90,23	81,19
2.220,	1,21	84,76	82,22	68,54	91,93	82,32	92,02	91,15	82,08
2.230,	1,57	76,76	61,17	64,56	89,53	75,14	82,15	88,40	79,66
2.240,	1,62	75,64	58,25	64,01	89,20	74,24	81,03	88,01	79,37
2.250,	1,32	82,31	75,79	67,32	91,20	79,99	88,60	90,31	81,27
2.260,	1,16	85,87	85,15	69,09	92,27	83,43	93,73	91,54	82,48
2.270,	1,56	76,98	61,75	64,67	89,60	75,33	82,38	88,47	79,72
2.280,	1,87	70,09	43,63	61,25	87,53	69,92	76,12	86,12	78,07
2.290,	1,56	76,98	61,75	64,67	89,60	75,33	82,38	88,47	79,72
2.300,	1,44	79,64	68,77	66,00	90,40	77,59	85,30	89,39	80,46
2.310,	0,75	94,98	109,12	73,61	95,00	94,32	113,36	94,72	86,72
2.320,	1,29	82,98	77,54	67,65	91,40	80,61	89,49	90,54	81,48
2.330,	0,89	91,87	100,94	72,07	94,07	90,16	105,21	93,63	85,03
2.340,	1,12	86,76	87,49	69,53	92,53	84,34	95,18	91,85	82,82
2.350,	1,39	80,76	71,70	66,55	90,73	78,57	86,63	89,77	80,78
2.360,	1,66	74,76	55,91	63,57	88,93	73,52	80,17	87,71	79,15
2.370,	1,46	79,20	67,60	65,78	90,27	77,21	84,79	89,24	80,33
2.380,	1,24	84,09	80,47	68,20	91,73	81,67	91,05	90,92	81,85
2.390,	1,75	72,76	50,64	62,58	88,33	71,95	78,35	87,03	78,67
2.400,	1,61	75,87	58,83	64,12	89,27	74,42	81,25	88,09	79,43
2.410,	0,86	92,53	102,69	72,40	94,27	91,00	106,80	93,86	85,37
2.420,	1,42	80,09	69,94	66,22	90,53	77,98	85,82	89,54	80,59
2.430,	1,25	83,87	79,88	68,09	91,67	81,45	90,73	90,85	81,78
2.440,	1,01	89,20	93,92	70,74	93,27	86,99	99,57	92,70	83,81
2.450,	0,94	90,76	98,01	71,52	93,73	88,80	102,73	93,24	84,50
2.460,	1,64	75,20	57,08	63,79	89,07	73,88	80,60	87,86	79,26
2.470,	1,23	84,31	81,05	68,31	91,80	81,88	91,37	91,00	81,93
2.480,	1,95	68,31	38,95	60,37	87,00	68,61	74,74	85,51	77,70
2.490,	0,88	92,09	101,52	72,18	94,13	90,43	105,73	93,71	85,14
2.500,	1,19	85,20	83,39	68,76	92,07	82,76	92,70	91,31	82,24
2.510,	2,16	63,64	26,67	58,05	85,60	65,27	71,48	83,93	76,79
2.520,	1,59	76,31	60,00	64,34	89,40	74,78	81,69	88,24	79,54
2.530,	2,59	54,09	1,52	53,30	82,73	58,78	66,04	80,72	75,20
2.540,	1,1	87,20	88,65	69,75	92,67	84,81	95,93	92,00	82,99

2.550,	1,02	88,98	93,33	70,63	93,20	86,74	99,14	92,62	83,71
2.560,	1,49	78,53	65,85	65,44	90,07	76,63	84,04	89,01	80,14
2.570,	1,32	82,31	75,79	67,32	91,20	79,99	88,60	90,31	81,27
2.580,	2,62	53,42	-0,23	52,97	82,53	58,34	65,71	80,50	75,10
2.590,	1,31	82,53	76,37	67,43	91,27	80,19	88,89	90,39	81,34
2.600,	1,56	76,98	61,75	64,67	89,60	75,33	82,38	88,47	79,72
2.610,	0,94	90,76	98,01	71,52	93,73	88,80	102,73	93,24	84,50
2.620,	1,47	78,98	67,02	65,67	90,20	77,02	84,54	89,16	80,27
2.630,	1,23	84,31	81,05	68,31	91,80	81,88	91,37	91,00	81,93
2.640,	2,11	64,76	29,59	58,60	85,93	66,05	72,21	84,30	77,00
2.650,	1,46	79,20	67,60	65,78	90,27	77,21	84,79	89,24	80,33
2.660,	2,3	60,53	18,48	56,50	84,67	63,12	69,55	82,88	76,24
2.670,	1,45	79,42	68,19	65,89	90,33	77,40	85,04	89,31	80,39
2.680,	1,09	87,42	89,24	69,86	92,73	85,04	96,31	92,08	83,07
2.690,	2,51	55,87	6,20	54,19	83,27	59,97	66,95	81,31	75,48
2.700,	2,07	65,64	31,93	59,04	86,20	66,68	72,82	84,61	77,17
2.710,	0,99	89,64	95,09	70,96	93,40	87,50	100,44	92,85	84,00
2.720,	0,67	96,76	113,80	74,50	95,53	97,01	119,08	95,34	87,86
2.730,	1,14	86,31	86,32	69,31	92,40	83,88	94,45	91,69	82,65
2.740,	0,87	92,31	102,11	72,29	94,20	90,72	106,26	93,78	85,26
2.750,	1,44	79,64	68,77	66,00	90,40	77,59	85,30	89,39	80,46
2.760,	3,05	43,87	-25,38	48,23	79,67	52,02	61,50	77,32	73,80
2.770,	1,79	71,87	48,30	62,13	88,07	71,27	77,58	86,72	78,47
2.780,	1,46	79,20	67,60	65,78	90,27	77,21	84,79	89,24	80,33
2.790,	1,14	86,31	86,32	69,31	92,40	83,88	94,45	91,69	82,65
2.800,	2,85	48,31	-13,68	50,43	81,00	54,96	63,34	78,79	74,38
2.810,	2,21	62,53	23,74	57,50	85,27	64,50	70,77	83,55	76,59
2.820,	1,99	67,42	36,61	59,93	86,73	67,96	74,08	85,21	77,52
2.830,	1,53	77,64	63,51	65,00	89,80	75,88	83,08	88,70	79,90
2.840,	2,01	66,98	35,44	59,71	86,60	67,64	73,76	85,06	77,43
2.850,	3,02	44,53	-23,63	48,56	79,87	52,46	61,76	77,54	73,89

Πίνακας Π.2 Δεδομένα επεξεργασίας μετά την αποκατάσταση

From	Average IRI (m/km)	Piryonesi & El-Diraby	Dewan & Smith	Ali et al.	Sharaf & Mandeel	Elhadidy et al.	Park et al.	Shrestha & Khadka	Arhin & Noel
0.000,	5,09	-1,47	-144,68	25,71	66,07	10,34	49,19	62,78	69,58
0.010,	2,22	62,31	23,16	57,39	85,20	64,34	70,63	83,48	76,55
0.020,	0,76	94,76	108,54	73,50	94,93	94,00	112,71	94,64	86,59
0.030,	0,94	90,76	98,01	71,52	93,73	88,80	102,73	93,24	84,50
0.040,	0,69	96,31	112,63	74,27	95,40	96,31	117,56	95,19	87,56
0.050,	0,76	94,76	108,54	73,50	94,93	94,00	112,71	94,64	86,59
0.060,	0,54	99,64	121,40	75,93	96,40	102,03	130,82	96,36	90,06
0.070,	0,86	92,53	102,69	72,40	94,27	91,00	106,80	93,86	85,37
0.080,	1,38	80,98	72,28	66,66	90,80	78,77	86,90	89,85	80,85
0.090,	0,75	94,98	109,12	73,61	95,00	94,32	113,36	94,72	86,72
0.100,	0,69	96,31	112,63	74,27	95,40	96,31	117,56	95,19	87,56
0.110,	0,86	92,53	102,69	72,40	94,27	91,00	106,80	93,86	85,37
0.120,	0,62	97,87	116,73	75,05	95,87	98,83	123,17	95,73	88,64
0.130,	0,54	99,64	121,40	75,93	96,40	102,03	130,82	96,36	90,06
0.140,	0,98	89,87	95,67	71,07	93,47	87,75	100,88	92,93	84,10
0.150,	0,89	91,87	100,94	72,07	94,07	90,16	105,21	93,63	85,03
0.160,	0,84	92,98	103,86	72,62	94,40	91,58	107,90	94,02	85,60
0.170,	1,03	88,76	92,75	70,52	93,13	86,49	98,72	92,54	83,62
0.180,	0,75	94,98	109,12	73,61	95,00	94,32	113,36	94,72	86,72
0.190,	0,94	90,76	98,01	71,52	93,73	88,80	102,73	93,24	84,50
0.200,	1,19	85,20	83,39	68,76	92,07	82,76	92,70	91,31	82,24
0.210,	1,02	88,98	93,33	70,63	93,20	86,74	99,14	92,62	83,71
0.220,	0,86	92,53	102,69	72,40	94,27	91,00	106,80	93,86	85,37
0.230,	0,65	97,20	114,97	74,72	95,67	97,72	120,66	95,50	88,16
0.240,	0,65	97,20	114,97	74,72	95,67	97,72	120,66	95,50	88,16
0.250,	0,94	90,76	98,01	71,52	93,73	88,80	102,73	93,24	84,50
0.260,	0,97	90,09	96,26	71,18	93,53	88,01	101,34	93,01	84,20
0.270,	2,18	63,20	25,50	57,83	85,47	64,96	71,19	83,78	76,71
0.280,	0,9	91,64	100,35	71,96	94,00	89,88	104,70	93,55	84,92
0.290,	0,97	90,09	96,26	71,18	93,53	88,01	101,34	93,01	84,20
0.300,	0,82	93,42	105,03	72,84	94,53	92,16	109,04	94,17	85,84
0.310,	0,8	93,87	106,20	73,06	94,67	92,76	110,22	94,33	86,08
0.320,	0,73	95,42	110,29	73,83	95,13	94,97	114,71	94,87	86,99
0.330,	0,76	94,76	108,54	73,50	94,93	94,00	112,71	94,64	86,59
0.340,	0,72	95,64	110,88	73,94	95,20	95,30	115,40	94,95	87,13
0.350,	0,59	98,53	118,48	75,38	96,07	99,98	125,87	95,97	89,15
0.360,	0,94	90,76	98,01	71,52	93,73	88,80	102,73	93,24	84,50
0.370,	1,01	89,20	93,92	70,74	93,27	86,99	99,57	92,70	83,81
0.380,	1,1	87,20	88,65	69,75	92,67	84,81	95,93	92,00	82,99
0.390,	5,55	-11,69	-171,58	20,63	63,00	-22,39	47,37	59,62	68,89

0.400,	1,13	86,53	86,90	69,42	92,47	84,11	94,81	91,77	82,73
0.410,	0,78	94,31	107,37	73,28	94,80	93,38	111,44	94,48	86,33
0.420,	0,78	94,31	107,37	73,28	94,80	93,38	111,44	94,48	86,33
0.430,	1,07	87,87	90,41	70,08	92,87	85,52	97,09	92,23	83,25
0.440,	1,06	88,09	90,99	70,19	92,93	85,76	97,49	92,31	83,34
0.450,	0,7	96,09	112,05	74,16	95,33	95,97	116,83	95,11	87,41
0.460,	0,78	94,31	107,37	73,28	94,80	93,38	111,44	94,48	86,33
0.470,	0,65	97,20	114,97	74,72	95,67	97,72	120,66	95,50	88,16
0.480,	0,79	94,09	106,78	73,17	94,73	93,07	110,82	94,41	86,21
0.490,	0,82	93,42	105,03	72,84	94,53	92,16	109,04	94,17	85,84
0.500,	0,7	96,09	112,05	74,16	95,33	95,97	116,83	95,11	87,41
0.510,	0,51	100,31	123,16	76,26	96,60	103,34	134,12	96,59	90,66
0.520,	0,74	95,20	109,71	73,72	95,07	94,64	114,03	94,80	86,86
0.530,	0,66	96,98	114,39	74,61	95,60	97,36	119,86	95,42	88,01
0.540,	0,83	93,20	104,44	72,73	94,47	91,87	108,46	94,10	85,72
0.550,	0,84	92,98	103,86	72,62	94,40	91,58	107,90	94,02	85,60
0.560,	0,87	92,31	102,11	72,29	94,20	90,72	106,26	93,78	85,26
0.570,	0,79	94,09	106,78	73,17	94,73	93,07	110,82	94,41	86,21
0.580,	0,6	98,31	117,89	75,27	96,00	99,59	124,95	95,89	88,98
0.590,	0,84	92,98	103,86	72,62	94,40	91,58	107,90	94,02	85,60
0.600,	0,87	92,31	102,11	72,29	94,20	90,72	106,26	93,78	85,26
0.610,	0,49	100,76	124,33	76,48	96,73	104,26	136,48	96,75	91,07
0.620,	0,73	95,42	110,29	73,83	95,13	94,97	114,71	94,87	86,99
0.630,	0,65	97,20	114,97	74,72	95,67	97,72	120,66	95,50	88,16
0.640,	0,69	96,31	112,63	74,27	95,40	96,31	117,56	95,19	87,56
0.650,	0,69	96,31	112,63	74,27	95,40	96,31	117,56	95,19	87,56
0.660,	0,91	91,42	99,77	71,85	93,93	89,61	104,20	93,47	84,82
0.670,	0,48	100,98	124,91	76,59	96,80	104,73	137,71	96,83	91,29
0.680,	0,49	100,76	124,33	76,48	96,73	104,26	136,48	96,75	91,07
0.690,	0,75	94,98	109,12	73,61	95,00	94,32	113,36	94,72	86,72
0.700,	0,57	98,98	119,65	75,60	96,20	100,78	127,77	96,12	89,50
0.710,	0,52	100,09	122,57	76,15	96,53	102,90	132,99	96,52	90,45
0.720,	0,96	90,31	96,84	71,29	93,60	88,27	101,80	93,09	84,30
0.730,	0,69	96,31	112,63	74,27	95,40	96,31	117,56	95,19	87,56
0.740,	0,48	100,98	124,91	76,59	96,80	104,73	137,71	96,83	91,29
0.750,	0,64	97,42	115,56	74,83	95,73	98,08	121,48	95,58	88,32
0.760,	0,69	96,31	112,63	74,27	95,40	96,31	117,56	95,19	87,56
0.770,	0,53	99,87	121,99	76,04	96,47	102,46	131,89	96,44	90,26
0.780,	0,61	98,09	117,31	75,16	95,93	99,21	124,05	95,81	88,81
0.790,	0,66	96,98	114,39	74,61	95,60	97,36	119,86	95,42	88,01
0.800,	0,77	94,53	107,95	73,39	94,87	93,69	112,07	94,56	86,46
0.810,	0,78	94,31	107,37	73,28	94,80	93,38	111,44	94,48	86,33
0.820,	0,66	96,98	114,39	74,61	95,60	97,36	119,86	95,42	88,01
0.830,	0,64	97,42	115,56	74,83	95,73	98,08	121,48	95,58	88,32

0.840,	0,59	98,53	118,48	75,38	96,07	99,98	125,87	95,97	89,15
0.850,	0,68	96,53	113,22	74,38	95,47	96,66	118,31	95,26	87,71
0.860,	0,51	100,31	123,16	76,26	96,60	103,34	134,12	96,59	90,66
0.870,	0,46	101,42	126,08	76,81	96,93	105,69	140,29	96,99	91,74
0.880,	0,5	100,53	123,74	76,37	96,67	103,80	135,28	96,67	90,86
0.890,	0,81	93,64	105,61	72,95	94,60	92,46	109,62	94,25	85,96
0.900,	0,56	99,20	120,23	75,71	96,27	101,19	128,76	96,20	89,69
0.910,	0,75	94,98	109,12	73,61	95,00	94,32	113,36	94,72	86,72
0.920,	0,88	92,09	101,52	72,18	94,13	90,43	105,73	93,71	85,14
0.930,	0,61	98,09	117,31	75,16	95,93	99,21	124,05	95,81	88,81
0.940,	0,72	95,64	110,88	73,94	95,20	95,30	115,40	94,95	87,13
0.950,	0,84	92,98	103,86	72,62	94,40	91,58	107,90	94,02	85,60
0.960,	0,63	97,64	116,14	74,94	95,80	98,45	122,32	95,66	88,48
0.970,	0,58	98,76	119,06	75,49	96,13	100,38	126,81	96,05	89,33
0.980,	0,69	96,31	112,63	74,27	95,40	96,31	117,56	95,19	87,56
0.990,	0,59	98,53	118,48	75,38	96,07	99,98	125,87	95,97	89,15
1.000,	0,81	93,64	105,61	72,95	94,60	92,46	109,62	94,25	85,96
1.010,	0,7	96,09	112,05	74,16	95,33	95,97	116,83	95,11	87,41
1.020,	0,7	96,09	112,05	74,16	95,33	95,97	116,83	95,11	87,41
1.030,	0,53	99,87	121,99	76,04	96,47	102,46	131,89	96,44	90,26
1.040,	0,61	98,09	117,31	75,16	95,93	99,21	124,05	95,81	88,81
1.050,	0,9	91,64	100,35	71,96	94,00	89,88	104,70	93,55	84,92
1.060,	0,63	97,64	116,14	74,94	95,80	98,45	122,32	95,66	88,48
1.070,	0,72	95,64	110,88	73,94	95,20	95,30	115,40	94,95	87,13
1.080,	0,52	100,09	122,57	76,15	96,53	102,90	132,99	96,52	90,45
1.090,	0,48	100,98	124,91	76,59	96,80	104,73	137,71	96,83	91,29
1.100,	0,59	98,53	118,48	75,38	96,07	99,98	125,87	95,97	89,15
1.110,	0,62	97,87	116,73	75,05	95,87	98,83	123,17	95,73	88,64
1.120,	0,56	99,20	120,23	75,71	96,27	101,19	128,76	96,20	89,69
1.130,	1,03	88,76	92,75	70,52	93,13	86,49	98,72	92,54	83,62
1.140,	0,85	92,76	103,27	72,51	94,33	91,29	107,34	93,94	85,48
1.150,	0,46	101,42	126,08	76,81	96,93	105,69	140,29	96,99	91,74
1.160,	0,53	99,87	121,99	76,04	96,47	102,46	131,89	96,44	90,26
1.170,	0,46	101,42	126,08	76,81	96,93	105,69	140,29	96,99	91,74
1.180,	0,61	98,09	117,31	75,16	95,93	99,21	124,05	95,81	88,81
1.190,	0,88	92,09	101,52	72,18	94,13	90,43	105,73	93,71	85,14
1.200,	1,17	85,64	84,56	68,98	92,20	83,20	93,38	91,46	82,40
1.210,	0,68	96,53	113,22	74,38	95,47	96,66	118,31	95,26	87,71
1.220,	0,81	93,64	105,61	72,95	94,60	92,46	109,62	94,25	85,96
1.230,	0,76	94,76	108,54	73,50	94,93	94,00	112,71	94,64	86,59
1.240,	0,74	95,20	109,71	73,72	95,07	94,64	114,03	94,80	86,86
1.250,	0,89	91,87	100,94	72,07	94,07	90,16	105,21	93,63	85,03
1.260,	1,55	77,20	62,34	64,78	89,67	75,51	82,61	88,55	79,78
1.270,	1,58	76,53	60,58	64,45	89,47	74,96	81,92	88,32	79,60

1.280,	0,83	93,20	104,44	72,73	94,47	91,87	108,46	94,10	85,72
1.290,	0,81	93,64	105,61	72,95	94,60	92,46	109,62	94,25	85,96
1.300,	0,61	98,09	117,31	75,16	95,93	99,21	124,05	95,81	88,81
1.310,	0,58	98,76	119,06	75,49	96,13	100,38	126,81	96,05	89,33
1.320,	1	89,42	94,50	70,85	93,33	87,24	100,00	92,78	83,90
1.330,	0,89	91,87	100,94	72,07	94,07	90,16	105,21	93,63	85,03
1.340,	0,89	91,87	100,94	72,07	94,07	90,16	105,21	93,63	85,03
1.350,	0,84	92,98	103,86	72,62	94,40	91,58	107,90	94,02	85,60
1.360,	0,73	95,42	110,29	73,83	95,13	94,97	114,71	94,87	86,99
1.370,	0,86	92,53	102,69	72,40	94,27	91,00	106,80	93,86	85,37
1.380,	0,97	90,09	96,26	71,18	93,53	88,01	101,34	93,01	84,20
1.390,	0,73	95,42	110,29	73,83	95,13	94,97	114,71	94,87	86,99
1.400,	0,59	98,53	118,48	75,38	96,07	99,98	125,87	95,97	89,15
1.410,	0,81	93,64	105,61	72,95	94,60	92,46	109,62	94,25	85,96
1.420,	0,63	97,64	116,14	74,94	95,80	98,45	122,32	95,66	88,48
1.430,	0,78	94,31	107,37	73,28	94,80	93,38	111,44	94,48	86,33
1.440,	0,72	95,64	110,88	73,94	95,20	95,30	115,40	94,95	87,13
1.450,	0,78	94,31	107,37	73,28	94,80	93,38	111,44	94,48	86,33
1.460,	0,95	90,53	97,43	71,40	93,67	88,53	102,26	93,16	84,40
1.470,	1,15	86,09	85,73	69,20	92,33	83,65	94,09	91,62	82,56
1.480,	0,9	91,64	100,35	71,96	94,00	89,88	104,70	93,55	84,92
1.490,	0,88	92,09	101,52	72,18	94,13	90,43	105,73	93,71	85,14
1.500,	0,72	95,64	110,88	73,94	95,20	95,30	115,40	94,95	87,13
1.510,	0,64	97,42	115,56	74,83	95,73	98,08	121,48	95,58	88,32
1.520,	0,6	98,31	117,89	75,27	96,00	99,59	124,95	95,89	88,98
1.530,	0,93	90,98	98,60	71,63	93,80	89,06	103,21	93,32	84,60
1.540,	0,81	93,64	105,61	72,95	94,60	92,46	109,62	94,25	85,96
1.550,	0,79	94,09	106,78	73,17	94,73	93,07	110,82	94,41	86,21
1.560,	0,75	94,98	109,12	73,61	95,00	94,32	113,36	94,72	86,72
1.570,	0,63	97,64	116,14	74,94	95,80	98,45	122,32	95,66	88,48
1.580,	1,13	86,53	86,90	69,42	92,47	84,11	94,81	91,77	82,73
1.590,	0,76	94,76	108,54	73,50	94,93	94,00	112,71	94,64	86,59
1.600,	0,76	94,76	108,54	73,50	94,93	94,00	112,71	94,64	86,59
1.610,	0,97	90,09	96,26	71,18	93,53	88,01	101,34	93,01	84,20
1.620,	0,66	96,98	114,39	74,61	95,60	97,36	119,86	95,42	88,01
1.630,	0,56	99,20	120,23	75,71	96,27	101,19	128,76	96,20	89,69
1.640,	0,64	97,42	115,56	74,83	95,73	98,08	121,48	95,58	88,32
1.650,	0,66	96,98	114,39	74,61	95,60	97,36	119,86	95,42	88,01
1.660,	0,69	96,31	112,63	74,27	95,40	96,31	117,56	95,19	87,56
1.670,	0,7	96,09	112,05	74,16	95,33	95,97	116,83	95,11	87,41
1.680,	0,67	96,76	113,80	74,50	95,53	97,01	119,08	95,34	87,86
1.690,	0,71	95,87	111,46	74,05	95,27	95,63	116,11	95,03	87,27
1.700,	0,69	96,31	112,63	74,27	95,40	96,31	117,56	95,19	87,56
1.710,	0,69	96,31	112,63	74,27	95,40	96,31	117,56	95,19	87,56

1.720,	2,57	54,53	2,69	53,52	82,87	59,08	66,26	80,87	75,27
1.730,	1,15	86,09	85,73	69,20	92,33	83,65	94,09	91,62	82,56
1.740,	0,68	96,53	113,22	74,38	95,47	96,66	118,31	95,26	87,71
1.750,	0,74	95,20	109,71	73,72	95,07	94,64	114,03	94,80	86,86
1.760,	1,05	88,31	91,58	70,30	93,00	86,00	97,90	92,39	83,43
1.770,	0,91	91,42	99,77	71,85	93,93	89,61	104,20	93,47	84,82
1.780,	0,67	96,76	113,80	74,50	95,53	97,01	119,08	95,34	87,86
1.790,	0,6	98,31	117,89	75,27	96,00	99,59	124,95	95,89	88,98
1.800,	0,64	97,42	115,56	74,83	95,73	98,08	121,48	95,58	88,32
1.810,	1,05	88,31	91,58	70,30	93,00	86,00	97,90	92,39	83,43
1.820,	1,19	85,20	83,39	68,76	92,07	82,76	92,70	91,31	82,24
1.830,	1,38	80,98	72,28	66,66	90,80	78,77	86,90	89,85	80,85
1.840,	1,03	88,76	92,75	70,52	93,13	86,49	98,72	92,54	83,62
1.850,	0,71	95,87	111,46	74,05	95,27	95,63	116,11	95,03	87,27
1.860,	0,72	95,64	110,88	73,94	95,20	95,30	115,40	94,95	87,13
1.870,	0,84	92,98	103,86	72,62	94,40	91,58	107,90	94,02	85,60
1.880,	0,75	94,98	109,12	73,61	95,00	94,32	113,36	94,72	86,72
1.890,	0,84	92,98	103,86	72,62	94,40	91,58	107,90	94,02	85,60
1.900,	0,68	96,53	113,22	74,38	95,47	96,66	118,31	95,26	87,71
1.910,	0,52	100,09	122,57	76,15	96,53	102,90	132,99	96,52	90,45
1.920,	0,5	100,53	123,74	76,37	96,67	103,80	135,28	96,67	90,86
1.930,	0,77	94,53	107,95	73,39	94,87	93,69	112,07	94,56	86,46
1.940,	0,53	99,87	121,99	76,04	96,47	102,46	131,89	96,44	90,26
1.950,	0,73	95,42	110,29	73,83	95,13	94,97	114,71	94,87	86,99
1.960,	0,79	94,09	106,78	73,17	94,73	93,07	110,82	94,41	86,21
1.970,	0,56	99,20	120,23	75,71	96,27	101,19	128,76	96,20	89,69
1.980,	0,58	98,76	119,06	75,49	96,13	100,38	126,81	96,05	89,33
1.990,	0,67	96,76	113,80	74,50	95,53	97,01	119,08	95,34	87,86
2.000,	0,83	93,20	104,44	72,73	94,47	91,87	108,46	94,10	85,72
2.010,	0,48	100,98	124,91	76,59	96,80	104,73	137,71	96,83	91,29
2.020,	0,49	100,76	124,33	76,48	96,73	104,26	136,48	96,75	91,07
2.030,	0,66	96,98	114,39	74,61	95,60	97,36	119,86	95,42	88,01
2.040,	0,65	97,20	114,97	74,72	95,67	97,72	120,66	95,50	88,16
2.050,	0,62	97,87	116,73	75,05	95,87	98,83	123,17	95,73	88,64
2.060,	0,67	96,76	113,80	74,50	95,53	97,01	119,08	95,34	87,86
2.070,	0,57	98,98	119,65	75,60	96,20	100,78	127,77	96,12	89,50
2.080,	0,8	93,87	106,20	73,06	94,67	92,76	110,22	94,33	86,08
2.090,	0,84	92,98	103,86	72,62	94,40	91,58	107,90	94,02	85,60
2.100,	0,76	94,76	108,54	73,50	94,93	94,00	112,71	94,64	86,59
2.110,	0,66	96,98	114,39	74,61	95,60	97,36	119,86	95,42	88,01
2.120,	0,8	93,87	106,20	73,06	94,67	92,76	110,22	94,33	86,08
2.130,	0,72	95,64	110,88	73,94	95,20	95,30	115,40	94,95	87,13
2.140,	0,51	100,31	123,16	76,26	96,60	103,34	134,12	96,59	90,66
2.150,	0,53	99,87	121,99	76,04	96,47	102,46	131,89	96,44	90,26

2.160,	1,04	88,53	92,16	70,41	93,07	86,25	98,30	92,47	83,52
2.170,	0,71	95,87	111,46	74,05	95,27	95,63	116,11	95,03	87,27
2.180,	0,86	92,53	102,69	72,40	94,27	91,00	106,80	93,86	85,37
2.190,	0,64	97,42	115,56	74,83	95,73	98,08	121,48	95,58	88,32
2.200,	0,84	92,98	103,86	72,62	94,40	91,58	107,90	94,02	85,60
2.210,	0,73	95,42	110,29	73,83	95,13	94,97	114,71	94,87	86,99
2.220,	0,6	98,31	117,89	75,27	96,00	99,59	124,95	95,89	88,98
2.230,	0,79	94,09	106,78	73,17	94,73	93,07	110,82	94,41	86,21
2.240,	0,76	94,76	108,54	73,50	94,93	94,00	112,71	94,64	86,59
2.250,	0,78	94,31	107,37	73,28	94,80	93,38	111,44	94,48	86,33
2.260,	0,65	97,20	114,97	74,72	95,67	97,72	120,66	95,50	88,16
2.270,	1,39	80,76	71,70	66,55	90,73	78,57	86,63	89,77	80,78
2.280,	1	89,42	94,50	70,85	93,33	87,24	100,00	92,78	83,90
2.290,	0,72	95,64	110,88	73,94	95,20	95,30	115,40	94,95	87,13
2.300,	0,75	94,98	109,12	73,61	95,00	94,32	113,36	94,72	86,72
2.310,	0,62	97,87	116,73	75,05	95,87	98,83	123,17	95,73	88,64
2.320,	0,89	91,87	100,94	72,07	94,07	90,16	105,21	93,63	85,03
2.330,	0,91	91,42	99,77	71,85	93,93	89,61	104,20	93,47	84,82
2.340,	0,57	98,98	119,65	75,60	96,20	100,78	127,77	96,12	89,50
2.350,	0,84	92,98	103,86	72,62	94,40	91,58	107,90	94,02	85,60
2.360,	1,06	88,09	90,99	70,19	92,93	85,76	97,49	92,31	83,34
2.370,	0,72	95,64	110,88	73,94	95,20	95,30	115,40	94,95	87,13
2.380,	0,82	93,42	105,03	72,84	94,53	92,16	109,04	94,17	85,84
2.390,	0,88	92,09	101,52	72,18	94,13	90,43	105,73	93,71	85,14
2.400,	0,61	98,09	117,31	75,16	95,93	99,21	124,05	95,81	88,81
2.410,	0,61	98,09	117,31	75,16	95,93	99,21	124,05	95,81	88,81
2.420,	0,6	98,31	117,89	75,27	96,00	99,59	124,95	95,89	88,98
2.430,	0,73	95,42	110,29	73,83	95,13	94,97	114,71	94,87	86,99
2.440,	0,6	98,31	117,89	75,27	96,00	99,59	124,95	95,89	88,98
2.450,	0,94	90,76	98,01	71,52	93,73	88,80	102,73	93,24	84,50
2.460,	0,61	98,09	117,31	75,16	95,93	99,21	124,05	95,81	88,81
2.470,	0,76	94,76	108,54	73,50	94,93	94,00	112,71	94,64	86,59
2.480,	1,01	89,20	93,92	70,74	93,27	86,99	99,57	92,70	83,81
2.490,	0,6	98,31	117,89	75,27	96,00	99,59	124,95	95,89	88,98
2.500,	0,71	95,87	111,46	74,05	95,27	95,63	116,11	95,03	87,27
2.510,	0,86	92,53	102,69	72,40	94,27	91,00	106,80	93,86	85,37
2.520,	1,04	88,53	92,16	70,41	93,07	86,25	98,30	92,47	83,52
2.530,	0,7	96,09	112,05	74,16	95,33	95,97	116,83	95,11	87,41
2.540,	0,55	99,42	120,82	75,82	96,33	101,61	129,78	96,28	89,87
2.550,	0,7	96,09	112,05	74,16	95,33	95,97	116,83	95,11	87,41
2.560,	0,88	92,09	101,52	72,18	94,13	90,43	105,73	93,71	85,14
2.570,	1,09	87,42	89,24	69,86	92,73	85,04	96,31	92,08	83,07
2.580,	1,05	88,31	91,58	70,30	93,00	86,00	97,90	92,39	83,43
2.590,	0,88	92,09	101,52	72,18	94,13	90,43	105,73	93,71	85,14

2.600,	0,81	93,64	105,61	72,95	94,60	92,46	109,62	94,25	85,96
2.610,	0,99	89,64	95,09	70,96	93,40	87,50	100,44	92,85	84,00
2.620,	1,39	80,76	71,70	66,55	90,73	78,57	86,63	89,77	80,78
2.630,	1,19	85,20	83,39	68,76	92,07	82,76	92,70	91,31	82,24
2.640,	4,63	8,76	-117,78	30,79	69,13	24,25	51,26	65,99	70,34
2.650,	1,67	74,53	55,32	63,46	88,87	73,34	79,96	87,63	79,10
2.660,	1,38	80,98	72,28	66,66	90,80	78,77	86,90	89,85	80,85
2.670,	0,78	94,31	107,37	73,28	94,80	93,38	111,44	94,48	86,33
2.680,	0,8	93,87	106,20	73,06	94,67	92,76	110,22	94,33	86,08
2.690,	1,23	84,31	81,05	68,31	91,80	81,88	91,37	91,00	81,93
2.700,	1,04	88,53	92,16	70,41	93,07	86,25	98,30	92,47	83,52
2.710,	0,64	97,42	115,56	74,83	95,73	98,08	121,48	95,58	88,32
2.720,	0,58	98,76	119,06	75,49	96,13	100,38	126,81	96,05	89,33
2.730,	0,56	99,20	120,23	75,71	96,27	101,19	128,76	96,20	89,69
2.740,	0,5	100,53	123,74	76,37	96,67	103,80	135,28	96,67	90,86
2.750,	1,09	87,42	89,24	69,86	92,73	85,04	96,31	92,08	83,07
2.760,	1,79	71,87	48,30	62,13	88,07	71,27	77,58	86,72	78,47
2.770,	0,92	91,20	99,18	71,74	93,87	89,33	103,70	93,40	84,71
2.780,	0,69	96,31	112,63	74,27	95,40	96,31	117,56	95,19	87,56
2.790,	0,72	95,64	110,88	73,94	95,20	95,30	115,40	94,95	87,13
2.800,	1,78	72,09	48,89	62,24	88,13	71,44	77,77	86,80	78,52
2.810,	0,96	90,31	96,84	71,29	93,60	88,27	101,80	93,09	84,30
2.820,	0,72	95,64	110,88	73,94	95,20	95,30	115,40	94,95	87,13
2.830,	1,19	85,20	83,39	68,76	92,07	82,76	92,70	91,31	82,24
2.840,	4,3	16,09	-98,48	34,43	71,33	31,46	52,94	68,32	70,95