



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ & ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Σύγκριση κριτηρίου υπερφόρτωσης οδοστρωμάτων
αεροδρομίων στο πλαίσιο των μεθόδων ACN-PCN και
ACR-PCR»



ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΠΟΛΥΖΟΣ

Επιβλέπων: Ανδρέας Λοΐζος, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2024

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας τη διπλωματική μου εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους που με στήριξαν και συνέβαλαν στην εκπόνησή της.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Ανδρέα Λοΐζο, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου, αποφασίζοντας να μου αναθέσει τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την διδάκτορα, κυρία Αγγελική Αρμένη, για την πολύτιμη βοήθεια και τις συμβουλές που μου παρείχε σε όλα τα στάδια της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια, τους φίλους και τους συναδέλφους μου για τη στήριξη και την κατανόηση που έδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η σύγκριση του κριτηρίου υπερφόρτωσης εύκαμπτων οδοστρωμάτων αεροδρομίων μεταξύ των μεθόδων ACN-PCN και ACR-PCR. Η υπερφόρτωση των οδοστρωμάτων αεροδρομίων αποτελεί ένα ζήτημα με ιδιαίτερη σημασία για την ομαλή λειτουργία ενός αεροδρομίου. Φορείς που επηρεάζουν και διαμορφώνουν τις διεθνείς προδιαγραφές, όπως είναι ο ICAO και η FAA, έχουν προχωρήσει στην έκδοση κανονισμών, σύμφωνα με τους οποίους χαρακτηρίζεται η φέρουσα ικανότητα ενός οδοστρώματος αεροδρομίου, καθώς και οι προϋποθέσεις υπέρβασής της. Η μέχρι στιγμής ισχύουσα μέθοδος, η οποία είναι η ACN-PCN, όπως και η ACR-PCR η οποία θα την αντικαταστήσει, θέτουν πολύ συγκεκριμένα κριτήρια με τα οποία μπορεί η υπέρβαση της φέρουσας ικανότητας ενός οδοστρώματος να κριθεί αποδεκτή. Στη συγκεκριμένη εργασία γίνεται εφαρμογή και σύγκριση των κριτηρίων υπερφόρτωσης των δύο μεθόδων. Για την ανάλυση επιλέχθηκε ενδεικτικό σενάριο κυκλοφορίας για τις συνθήκες του ελλαδικού χώρου, με βάση την οποία καθορίστηκε η διατομή του οδοστρώματος. Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν οι δείκτες PCN και PCR του οδοστρώματος και ακολούθησε η επιλογή αεροσκαφών που εμπίπτουν στα κριτήρια υπερφόρτωσης του ICAO σύμφωνα με την κάθε μέθοδο ξεχωριστά. Ακολούθησε η εκτίμηση της επίδρασης κάθε αεροσκάφους στη φθορά του οδοστρώματος. Τα συμπεράσματα της εργασίας που προέκυψαν επικεντρώνονται στη διαφορά του εύρους ανοχής της κάθε μεθόδου και στη σημασία της αποδεκτής υπερφόρτωσης για τη φθορά του εξεταζόμενου εύκαμπτου οδοστρώματος.

ABSTRACT

The aim of this thesis is to highlight the differences on the acceptable overload operations between the current standardized method ACN-PCN and new ACR-PCR. To achieve that, both of the methods were applied on a case study, which included a typical aircraft traffic that operates on a flexible pavement section. After calculating the ACN, PCN, ACR and PCR indicators, the overload criteria was used to form the acceptable overload traffic according to each method.

The results were investigated by comparing the different types of overload aircrafts that each method allowed and by calculating the contribution of every aircraft on the Cumulative Damage Factor (CDF). The range of the CDF value that was affected by the overload operations is presented through comparative diagrams, so as to visualize the impact of each aircraft and therefore the impact of each method on the pavement's remaining life. The conclusions that were exported from this comparative investigation are also included in this thesis.

Πίνακας περιεχομένων

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Γενική Ανασκόπηση.....	1
1.2 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας.....	2
1.3 Μεθοδολογία.....	2
1.4 Δομή Διπλωματικής Εργασίας.....	3
2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΩΝ ACN-PCN.....	4
2.1 Εισαγωγή.....	4
2.2 Βασική Αρχή Μεθόδου ACN-PCN.....	4
2.3 Δείκτης ACN.....	4
2.3.1 Πάχος Αναφοράς.....	5
2.3.2 Κατηγοριοποίηση Εδαφικής Αντοχής.....	5
2.3.3 Προσδιορισμός του δείκτη ACN.....	6
2.4 Δείκτης PCN.....	8
2.4.1 Προσδιορισμός του δείκτη PCN.....	8
2.5 Μέθοδος υπολογισμού του PCN σύμφωνα με την FAA.....	10
2.5.1 Εμπειρική μέθοδος υπολογισμού – Using Aircraft Method.....	15
2.5.2 Υπολογιστική μέθοδος αξιολόγησης – Technical Evaluation Method.....	16
2.5.3 Υπολογισμός πάχους αξιολόγησης.....	16
2.6 Λογισμικά υποστήριξης της μεθόδου ACN-PCN.....	21
2.6.1 Λογισμικό COMFAA 3.0.....	21
2.6.2 Λογισμικό ICAO-ACN.....	22
2.7 Υπερφόρτωση Εύκαμπτων Οδοστρωμάτων κατά τη μέθοδο ACN-PCN.....	24
3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΩΝ ACR-PCR.....	25
3.1 Εισαγωγή.....	25
3.2 Βασική αρχή της μεθόδου ACR-PCR.....	25
3.3 Δείκτης ACR.....	26
3.3.1 Προσδιορισμός δείκτη ACR.....	26
3.3.2 Πάχος Αναφοράς.....	27

3.3.3 Κατηγορίες Εδαφικής Αντοχής.....	27
3.4 Δείκτης PCR.....	28
3.4.1 Προσδιορισμός δείκτη PCR.....	28
3.4.2 Δείκτης Αθροιστική Φθοράς – CDF (Cumulative Damage Factor)	30
3.4.3 Ερμηνεία του δείκτη CDF	30
3.4.4 Κρίσιμες θέσεις αστοχίας.....	31
3.4.5 Εμπειρική Μέθοδος Υπολογισμού – Using Aircraft Method	31
3.4.6 Υπολογιστική Μέθοδος Αξιολόγησης – Technical Evaluation Method	32
3.4.7 Μέθοδος FAA για την εκτίμηση του PCR	35
3.5 Υπερφόρτωση Εύκαμπτων Οδοστρωμάτων κατά την ACR-PCR	37

4. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΡΙΤΗΡΙΟΥ ΥΠΕΡΦΟΡΤΩΣΗΣ ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ACN-PCN ΚΑΙ ACR-PCR.....	38
4.1 Εισαγωγή.....	38
4.2 Ομοιότητες κριτηρίου υπερφόρτωσης μεταξύ των δύο μεθόδων	38
4.3 Διαφορές κριτηρίου υπερφόρτωσης μεταξύ των δύο μεθόδων	40
4.4 Σύνοψη	40

5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΡΙΤΗΡΙΟΥ ΥΠΕΡΦΟΡΤΩΣΗΣ ΣΕ ΕΥΚΑΜΠΤΟ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ

ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ	41
5.1 Εισαγωγή.....	41
5.2 Στοιχεία ανάλυσης.....	41
5.2.1 Θεώρηση κυκλοφορίας.....	41
5.2.2 Θεώρηση διατομής.....	43
5.3 Εφαρμογή κριτηρίου υπερφόρτωσης κατά τη μέθοδο ACN-PCN.....	44
5.3.1 Εισαγωγή.....	44
5.3.2 Υπολογισμός δείκτη ACN	45
5.3.3 Υπολογισμός δείκτη PCN	45
5.3.4 Εφαρμογή κριτηρίου υπερφόρτωσης.....	47
5.4 Εφαρμογή κριτηρίου υπερφόρτωσης κατά τη μέθοδο ACR-PCR.....	49
5.4.1 Εισαγωγή.....	49
5.4.2 Υπολογισμός δείκτη ACR	49
5.4.3 Υπολογισμός δείκτη PCR	49
5.4.4 Εφαρμογή κριτηρίου υπερφόρτωσης.....	50
5.5 Δείκτης CDF διατομής σχεδιασμού.....	51
5.6 Σύγκριση κριτηρίου υπερφόρτωσης μεταξύ των δύο μεθόδων	53

5.6.1 Σύγκριση σύνθεσης κυκλοφορίας υπέρβαρων αεροσκαφών	53
5.6.2 Σύγκριση δείκτη CDF με την προσθήκη υπέρβαρων αεροσκαφών	54
5.7 Σύνοψη αποτελεσμάτων σύγκρισης των δύο μεθόδων	65
5.7.1 Κυκλοφορία υπέρβαρων τύπων αεροσκαφών	65
5.7.2 Φθορά στρώσης έδρασης	66
5.7.3 Φθορά ασφαλικής στρώσης	66
5.7.4 Σύγκριση αύξησης φθοράς μεταξύ ασφαλικής στρώσης και στρώσης έδρασης	66
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	67
6.1 Διαμόρφωση υπέρβαρης κυκλοφορίας	67
6.2 Φθορά στρώσης έδρασης	67
6.3 Κόστος συντήρησης και επισκευής	67
6.4 Συνεισφορά των υπέρβαρων αεροσκαφών στα έσοδα του αεροδρομίου	68
6.5 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	68
6.5.1 Υπερφόρτωση φέρουσας ικανότητας δύσκαμπτων οδοστρωμάτων	68
6.5.2 Συσχέτιση δείκτη CDF – δείκτη ACR	68
6.5.3 Επιρροή του νέου κριτηρίου υπερφόρτωσης στα έξοδα συντήρησης του αεροδρομίου	69
6.5.4 Περιβαλλοντικές συνθήκες	69
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	70
8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	72

Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 2.1 Νομογράφημα υπολογισμού του δείκτη ACN αεροσκαφών με βάση το πάχος αναφοράς σε εύκαμπτα οδοστρώματα αεροδρομίων (Λοΐζος & Πλατή, 2021)	7
Εικόνα 2.2 Διάγραμμα μεθόδου CBR	8
Εικόνα 2.3 Έκφραση του δείκτη PCN (Λοΐζος & Πλατή, 2021).....	9
Εικόνα 2.4 Απεικόνιση της αλληλεπίδρασης των δεικτών ACN και PCN.....	10
Εικόνα 2.5 Διάγραμμα υπολογισμού δείκτη PCN εύκαμπτου οδοστρώματος για χρήση από αεροσκάφη με φορείο μονού τροχού (FAA, 1983).....	12
Εικόνα 2.6 Διάγραμμα υπολογισμού δείκτη PCN εύκαμπτου οδοστρώματος για χρήση από αεροσκάφη με φορείο διπλού τροχού (FAA, 1983).....	13
Εικόνα 2.7 Διάγραμμα υπολογισμού δείκτη PCN εύκαμπτου οδοστρώματος για χρήση από αεροσκάφη με φορείο διπλού τροχού διπλού άξονα (FAA, 1983).....	14
Εικόνα 2.8 Τυπική διατομή εύκαμπτου οδοστρώματος για τον υπολογισμό του πάχους αξιολόγησης	18
Εικόνα 2.9 Υπολογιστικό φύλλο για τον υπολογισμό του οδοστρώματος αξιολόγησης	20
Εικόνα 2.10 Περιβάλλον εργασίας λογισμικού COMFAA	21
Εικόνα 2.11 Εξαγωγή αποτελεσμάτων από το λογισμικό COMFAA	22
Εικόνα 2.12 Εξαγωγή αποτελεσμάτων από το λογισμικό COMFAA.....	22
Εικόνα 2.13 Περιβάλλον εργασίας λογισμικού ICAO-ACN	23
Εικόνα 3.1 Επεξηγηματική απεικόνιση του δείκτη ACR σε εύκαμπτο οδοστρώμα (Fabre, 2022).....	26
Εικόνα 3.2 Περιβάλλον εργασίας του λογισμικού ICAO-ACR.....	27
Εικόνα 3.3 Έκφραση του δείκτη PCR Εικόνα 3.4 Απεικόνιση αλληλεπίδρασης του δείκτη ACR με τον δείκτη PCR	29
Εικόνα 3.5 Κρίσιμες θέσεις διατομής εύκαμπτου οδοστρώματος αεροδρομίων (Λοΐζος & Πλατή, 2021).....	31
Εικόνα 3.6 Διάγραμμα ροής υπολογισμού του δείκτη PCR (Fabre, 2022).....	33
Εικόνα 3.7 Περιβάλλον λογισμικού FAARFILED 2.0 – Εισαγωγή δεδομένων	36
Εικόνα 5.1 Διατομή μελέτης εύκαμπτου οδοστρώματος.....	44
Εικόνα 5.2 Διατομή οδοστρώματος αξιολόγησης κατά τη μέθοδο ACN-PCN	46
Εικόνα 5.3 Διάγραμμα δείκτη CDF για τη στρώση έδρασης.....	52
Εικόνα 5.4 Διάγραμμα CDF ασφαλικής στρώσης με προσθήκη αεροσκάφους υπερφόρτωσης κατά τη μέθοδο ACN - PCN.....	58
Εικόνα 5.5 Διάγραμμα CDF ασφαλικής στρώσης με προσθήκη αεροσκάφους υπερφόρτωσης κατά τη μέθοδο ACR – PCR.....	59

Εικόνα 5.6 Διάγραμμα % Αύξηση CDF ασφαλτικής στρώσης με προσθήκη αεροσκάφους υπερφόρτωσης κατά τη μέθοδο ACN – PCN.....	59
Εικόνα 5.7 Διάγραμμα % Αύξηση CDF ασφαλτικής στρώσης με προσθήκη αεροσκάφους υπερφόρτωσης κατά τη μέθοδο ACR - PCR.....	60
Εικόνα 5.8 Διάγραμμα CDF στρώσης έδρασης με προσθήκη αεροσκάφους υπερφόρτωσης κατά τη μέθοδο ACN - PCN.....	61
Εικόνα 5.9 Διάγραμμα CDF στρώσης έδρασης με προσθήκη αεροσκάφους υπερφόρτωσης κατά τη μέθοδο ACR – PCR.....	61
Εικόνα 5.10 Διάγραμμα % Αύξηση CDF στρώσης έδρασης με προσθήκη αεροσκάφους υπερφόρτωσης κατά τη μέθοδο ACN – PCN.....	62
Εικόνα 5.11 Διάγραμμα % Αύξηση CDF στρώσης έδρασης με προσθήκη αεροσκάφους υπερφόρτωσης κατά τη μέθοδο ACR – PCR.....	63
Εικόνα 5.12 Διάγραμμα σύγκρισης της % αύξησης CDF μεταξύ ασφαλτικής στρώσης και στρώσης έδρασης κατά τη μέθοδο ACN – PCN	64
Εικόνα 5.13 Διάγραμμα σύγκρισης της % αύξησης CDF μεταξύ ασφαλτικής στρώσης και στρώσης έδρασης κατά τη μέθοδο ACR - PCR	65

Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 2.1 Κατηγορίες εδαφικής αντοχής με βάση τις τιμές του δείκτη CBR	6
Πίνακας 2.2 Συμβολισμός μέγιστης επιτρεπόμενης πίεσης ελαστικών κατά τη μέθοδο ACN - PCN.....	9
Πίνακας 2.3 Πάχη στρώσεων διατομής αναφοράς (FAA, 2014).....	17
Πίνακας 2.4 Πρότυπα υλικά και συντελεστές ισοδυναμίας διαμόρφωσης οδοστρώματος αξιολόγησης (FAA, 2014)	19
Πίνακας 3.1 Κατηγορίες εδαφικής αντοχής ανάλογα με το μέτρο ελαστικότητας (FAA, 2022).....	28
Πίνακας 3.2 Κατηγορίες μέγιστης επιτρεπόμενης πίεσης ελαστικών για τον δείκτη PCR (FAA, 2022).....	29
Πίνακας 4.1 Ομοιότητες κριτηρίου υπερφόρτωσης μεταξύ των μεθόδων ACN-PCN και ACR-PCR	39
Πίνακας 5.1 Κατάταξη συνηθέστερων τύπων αεροσκαφών κατά φθίνουσα σειρά	42
Πίνακας 5.2 Κυκλοφορία σεναρίου μελέτης	43
Πίνακας 5.3 Χαρακτηριστικά στρώσεων της επιλεγμένης διατομής – Συμβολισμός υλικών σύμφωνα με την FAA (FAA, 2014)	44
Πίνακας 5.4 Τιμές του δείκτη ACN για την επιλεγμένη κυκλοφορία.....	45
Πίνακας 5.5 Πίνακας τιμών ACN-PCN για τη δεδομένη κίνηση αεροσκαφών	46
Πίνακας 5.6 Τιμές του δείκτη PCN για τη δεδομένη κίνηση αεροσκαφών.....	47
Πίνακας 5.7 Αεροσκάφη υπέρβαρης κυκλοφορίας με τις αντίστοιχες τιμές του δείκτη ACN	48
Πίνακας 5.8 Τιμές του δείκτη ACR για την επιλεγμένη αεροπορική κυκλοφορία.....	49
Πίνακας 5.9 Αεροσκάφη υπέρβαρης κυκλοφορίας με τις αντίστοιχες τιμές του δείκτη ACR κατά τη μέθοδο ACR-PCR.....	51
Πίνακας 5.10 Δείκτης CDF στρώσης έδρασης σύμφωνα με τη συμβατική κυκλοφορία	51
Πίνακας 5.11 Δείκτης CDF ασφαλικής στρώσης σύμφωνα με τη συμβατική κυκλοφορία	52
Πίνακας 5.12 Σύγκριση υπέρβαρων αεροσκαφών μεταξύ των μεθόδων ACN-PCN και ACR-PCR	54
Πίνακας 5.13 Τιμές του δείκτη CDF για τους υπέρβαρους τύπους αεροσκαφών της μεθόδου ACN-PCN	56
Πίνακας 5.14 Τιμές του δείκτη CDF για τους υπέρβαρους τύπους αεροσκαφών της μεθόδου ACR-PCR	57

Πίνακας 8.1 Κίνηση αεροσκαφών του αεροδρομίου Θεσσαλονίκης (SKG) για το έτος αναφοράς 2019.....	72
Πίνακας 8.2 Κίνηση αεροσκαφών του αεροδρομίου Κέρκυρας (CFU) για το έτος αναφοράς 2019.....	73
Πίνακας 8.3 Κίνηση αεροσκαφών του αεροδρομίου Μυκόνου (JMK) για το έτος αναφοράς 2019.....	74
Πίνακας 8.4 Κίνηση αεροσκαφών του αεροδρομίου Σαντορίνης (JTR) για το έτος αναφοράς 2019.....	75
Πίνακας 8.5 Κίνηση αεροσκαφών του αεροδρομίου Χανίων για το έτος αναφοράς 2019.....	76
Πίνακας 8.6 Κίνηση αεροσκαφών του αεροδρομίου Ρόδου για το έτος αναφοράς 2019 (1/2)	77
Πίνακας 8.7 Κίνηση αεροσκαφών του αεροδρομίου Ρόδου για το έτος αναφοράς 2019 (2/2)	77

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενική Ανασκόπηση

Τα οδοστρώματα ενός αεροδρομίου αποτελούν μία από τις βασικότερες υποδομές του, δεδομένου ότι καλούνται να εξυπηρετήσουν με ασφάλεια την κίνηση των αεροσκαφών. Ειδικότερα, οι διάδρομοι προσγείωσης-απογείωσης (Π/Α) αεροσκαφών δέχονται ένα μεγάλο εύρος φορτίων, τα οποία διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό από εκείνα που δέχονται τα οδοστρώματα του οδικού δικτύου. Λόγω των ιδιαίτερων φορτίσεων που προκαλούνται από τα αεροσκάφη, καθώς και της κρισιμότητας του οδοστρώματος του διαδρόμου Π/Α για την ομαλή λειτουργία του αεροδρομίου, είναι απαραίτητη η γνώση της φέρουσας ικανότητάς του. Στο πλαίσιο αυτό, η ανάπτυξη συστημάτων κατάταξης της φέρουσας ικανότητας ενός οδοστρώματος σε καθορισμένο σύστημα αναφοράς συμβάλλει στη βελτίωση της διαχείρισης της λειτουργίας ενός αεροδρομίου. Η ισχύουσα μέθοδος κατάταξης της φέρουσας ικανότητας οδοστρωμάτων αεροδρομίων είναι η ACN-PCN (Aircraft Classification Number – Pavement Classification Number), η οποία εισήχθη από τον Διεθνή Οργανισμό Πολιτικής Αεροπορίας ICAO (International Civil Aviation Organization) το 1981 (ICAO, 1983). Η μέθοδος βασίζεται στη σύγκριση μεταξύ της καταπόνησης που προκαλεί ένα αεροσκάφος σε ένα οδόστρωμα και της φέρουσας ικανότητας του οδοστρώματος.

Την ισχύουσα μέθοδο ACN-PCN αναμένεται να αντικαταστήσει εντός του 2024 η μέθοδος ACR-PCR (Aircraft Classification Rating - Pavement Classification Rating). Η μέθοδος ACR-PCR έχει εισαχθεί πρόσφατα από τον ICAO με σκοπό να παρέχει ένα επικαιροποιημένο σύστημα κατάταξης, το οποίο θα βασίζεται σε αναλυτικές διαδικασίες αξιολόγησης της κατάστασης του οδοστρώματος.

Κατά τη λειτουργία ενός αεροδρομίου, συχνά προκύπτει η ανάγκη χρήσης του διαδρόμου Π/Α αεροσκαφών από αεροσκάφη που είτε δεν έχουν ληφθεί υπόψη κατά τον σχεδιασμό της διατομής του οδοστρώματος είτε αναμένεται να παρουσιάσουν περισσότερες κινήσεις από τις αρχικά θεωρούμενες. Η εξυπηρέτηση τέτοιων αεροσκαφών μπορεί να προκαλέσει υπερφόρτωση του οδοστρώματος. Για την αξιολόγηση τέτοιων περιπτώσεων, οι αρχές ενός αεροδρομίου συνήθως χρησιμοποιούν ως γνώμονα συγκεκριμένες οδηγίες, με τις οποίες στοχεύουν τόσο στον περιορισμό της φθοράς που προκαλείται στη διατομή του οδοστρώματος, όσο και στη μέγιστη δυνατή διεύρυνση του εύρους των εξυπηρετούμενων τύπων αεροσκαφών. Πιο συγκεκριμένα, μέσω της

εφαρμογής του κριτηρίου υπερφόρτωσης που προτείνεται από τον ICAO, εξετάζεται εάν η υπέρβαση της φέρουσας ικανότητας του οδοστρώματος είναι εντός ενός προβλεπόμενου αποδεκτού επιπέδου και κρίνεται εάν θα επιτραπεί η εξυπηρέτηση ενός συγκεκριμένου τύπου αεροσκάφους. Σημειώνεται ότι οι οδηγίες που παρέχονται από τον ICAO για την περίπτωση της υπερφόρτωσης βασίζονται στα συστήματα κατάταξης της φέρουσας ικανότητας ACN-PCN και ACR-PCR.

1.2 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία στοχεύει στη διερεύνηση της επίδρασης της εισαγωγής της μεθόδου ACR-PCR στη διαχείριση της κυκλοφορίας των εύκαμπτων οδοστρωμάτων αεροδρομίων. Για τον σκοπό αυτό πραγματοποιείται σύγκριση του κριτηρίου υπερφόρτωσης ενός οδοστρώματος με βάση τη μέθοδο ACN-PCN ως προς το αντίστοιχο κριτήριο με βάση τη μέθοδο ACR-PCR.

1.3 Μεθοδολογία

Για την επίτευξη του στόχου της παρούσας εργασίας αρχικά πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική ανασκόπηση για την καταγραφή των βασικών αρχών των μεθόδων ACN-PCN και ACR-PCR, καθώς και του κριτηρίου υπερφόρτωσης που προτείνεται από τον ICAO για την κάθε μεθοδολογία. Στη συνέχεια ακολούθησε εφαρμογή του κριτηρίου υπερφόρτωσης για μία ενδεικτική διατομή εύκαμπτου οδοστρώματος. Για τον σκοπό αυτό συλλέχθηκαν στοιχεία αεροπορικών κινήσεων από αεροδρόμια του ελλαδικού χώρου, με στόχο να διαμορφωθεί μία ενδεικτική εικόνα της κυκλοφορίας των ελληνικών περιφερειακών αεροδρομίων. Για το υπόψη σενάριο κυκλοφορίας ακολούθησε η διαστασιολόγηση της διατομής.

Με δεδομένα τα χαρακτηριστικά της διατομής και της εξυπηρετούμενης κυκλοφορίας, έγινε εκτίμηση των δεικτών PCN και PCR του οδοστρώματος. Στη συνέχεια εφαρμόστηκε το κριτήριο της υπερφόρτωσης του ICAO για κάθε δείκτη χωριστά. Για τον σκοπό αυτό, επιλέχθηκαν αεροσκάφη τα οποία πληρούσαν τις προϋποθέσεις του αντίστοιχου κριτηρίου υπερφόρτωσης με βάση την κάθε μέθοδο. Ακολούθησε η διερεύνηση της επίδρασης κάθε αεροσκάφους ξεχωριστά, μέσω της εκτίμησης της φθοράς του οδοστρώματος. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε τόσο για τα υπέρβαρα αεροσκάφη με βάση τη μέθοδο ACN-PCN, όσο και για εκείνα με βάση τη μέθοδο ACR-PCR. Στη συνέχεια έγινε σύγκριση της φθοράς που προκύπτει από τα αεροσκάφη που προκαλούν υπερφόρτωση σύμφωνα με την κάθε μέθοδο. Από αυτή τη σύγκριση προέκυψαν συμπεράσματα σχετικά με την ανοχή της κάθε μεθόδου ως προς την υπέρβαση της

φέρουσας ικανότητας των οδοστρωμάτων και κατά συνέπεια ως προς το εύρος ευελιξίας στην εξυπηρετούμενη κίνηση ενός αεροδρομίου.

1.4 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Η διπλωματική εργασία αποτελείται από 8 κεφάλαια. Πέραν του παρόντος κεφαλαίου ακολουθούν τα εξής:

Το δεύτερο κεφάλαιο, όπου περιγράφεται η ισχύουσα μέθοδος ACN-PCN και αναφέρονται οι βασικές αρχές της. Αναλύονται τα κριτήρια με βάση τα οποία χαρακτηρίζεται η φέρουσα ικανότητα ενός εύκαμπτου οδοστρώματος και γίνεται αναφορά στο κριτήριο υπερφόρτωσης του ICAO σύμφωνα με την υπόψη μέθοδο.

Το τρίτο κεφάλαιο, στο οποίο γίνεται περιγραφή της επικαιροποιημένης μεθόδου κατάταξης της φέρουσας ικανότητας οδοστρωμάτων αεροδρομίων ACR-PCR. Γίνεται αναφορά στις βασικές αρχές της μεθόδου και στον τρόπο εφαρμογής της, καθώς και στο κριτήριο υπερφόρτωσης του ICAO με βάση την υπόψη μέθοδο.

Το τέταρτο κεφάλαιο, στο οποίο παρατίθενται οι ομοιότητες και οι διαφορές που υπάρχουν μεταξύ του κριτηρίου υπερφόρτωσης του ICAO για τις μεθόδους ACN-PCN και ACR-PCR. Γίνεται σύγκριση των βασικών αρχών του κριτηρίου των δύο μεθόδων και καταγράφονται ομοιότητες και διαφορές σε θεωρητικό επίπεδο.

Το πέμπτο κεφάλαιο, όπου γίνεται εφαρμογή των δύο μεθόδων ξεχωριστά. Αρχικά επιλέχθηκε η εξυπηρετούμενη κυκλοφορία αεροσκαφών και η διατομή του εύκαμπτου οδοστρώματος. Εφαρμόστηκαν οι δύο μέθοδοι και υπολογίστηκαν οι δείκτες PCN και PCR. Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε το κριτήριο υπερφόρτωσης σύμφωνα με την κάθε μέθοδο και έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από το καθένα ξεχωριστά.

Το έκτο κεφάλαιο, το οποίο αποτελείται από τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα διερεύνηση. Με βάση αυτά εντοπίζονται περαιτέρω ζητήματα που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για περαιτέρω έρευνα.

Το έβδομο κεφάλαιο, στο οποίο παρουσιάζεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε.

Το όγδοο κεφάλαιο αποτελεί το παράρτημα και απεικονίζονται οι πίνακες με την ετήσια κίνηση ελληνικών περιφερειακών αεροδρομίων.

2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΩΝ ACN-PCN

2.1 Εισαγωγή

Η μέθοδος ACN-PCN (Aircraft Classification Number – Pavement Classification Number) ορίστηκε από τον Διεθνή Οργανισμό Πολιτικής Αεροπορίας ICAO (International Civil Aviation Organization) το 1981, με σκοπό να καθιερωθεί ως ο βασικός τρόπος ελέγχου της δομικής επάρκειας των οδοστρωμάτων αεροδρομίων (ICAO, 1983). Χρησιμοποιείται από όλα τα αεροδρόμια τα οποία συμβαδίζουν με τις προδιαγραφές και τους κανόνες λειτουργίας του ICAO, δημιουργώντας έτσι ένα κοινό σύστημα κατάταξης της φέρουσας ικανότητας των οδοστρωμάτων τους.

2.2 Βασική Αρχή Μεθόδου ACN-PCN

Βασική αρχή της μεθόδου ACN-PCN είναι ότι ένα οδόστρωμα είναι ικανό να εξυπηρετήσει ένα αεροσκάφος, χωρίς κανέναν περιορισμό φόρτου ή αριθμού κινήσεων, όταν η επίδραση του αεροσκάφους στο οδόστρωμα δεν υπερβαίνει τη φέρουσα ικανότητα του οδοστρώματος. Σε αντίθετη περίπτωση, οι αρχές του αεροδρομίου θα πρέπει να εξετάσουν εάν γίνεται να εξυπηρετηθεί ο τύπος του αεροσκάφους, πληρώνοντας ορισμένες προϋποθέσεις κυρίως ως προς το βάρος και τον αριθμό διελεύσεων του. Η συνθήκη αυτή εκφράζεται και υπολογίζεται με τους δείκτες ACN και PCN οι οποίοι αναλύονται παρακάτω.

2.3 Δείκτης ACN

Ο δείκτης ACN (Aircraft Classification Number) αποτελεί την αριθμητική έκφραση της σχετικής επίδρασης ενός αεροσκάφους σε ένα οδόστρωμα για μία προκαθορισμένη αντοχή εδάφους. Ορίζεται ως το διπλάσιο φορτίο (σε χιλιάδες kgf) του μονού τροχού με πίεση 1,25 MPa (DSWL: Derived Single Wheel Load) το οποίο επιφέρει την ίδια ένταση με το πραγματικό σύστημα τροχών του αεροσκάφους σε ένα οδόστρωμα πάχους ίσου με το πάχος αναφοράς (FAA, 2014).

Η τιμή του δείκτη ACN επηρεάζεται από το βάρος, την πίεση των ελαστικών και την κατηγορία εδαφικής αντοχής του οδοστρώματος στο οποίο προσεγγίζει το αεροσκάφος. Οι κατασκευαστές των αεροσκαφών δημοσιεύουν τις τιμές του ACN του εκάστοτε τύπου, προσδιορίζοντας σε κάθε κατηγορία εδαφικής αντοχής την αντίστοιχη τιμή τόσο για την

περίπτωση που είναι φορτωμένο το μέγιστο φορτίο, όσο και για την περίπτωση που το αεροσκάφος είναι κενό.

Η κατηγορία εδαφικής αντοχής επηρεάζει άμεσα το πάχος του οδοστρώματος, καθώς η επίδραση του φορτίου σε εδαφική στρώση υψηλής αντοχής είναι μικρή, ενώ αντιθέτως σε στρώση χαμηλής αντοχής η επίδραση είναι μεγαλύτερη. Ο δείκτης ACN προσδιορίζεται με δύο διαφορετικές τιμές για κάθε μία κατηγορία εδαφικής αντοχής. Από αυτές τις τιμές, η μέγιστη αντιστοιχεί στην περίπτωση που το αεροσκάφος φέρει το μέγιστο δυνατό βάρος που είναι ικανό να εξυπηρετήσει και η ελάχιστη τιμή αντιστοιχεί την περίπτωση που είναι κενό.

Οι τιμές του ACN είναι δημοσιευμένες για τους περισσότερους τύπους αεροσκαφών (ICAO, 1983)

2.3.1 Πάχος Αναφοράς

Για τα εύκαμπτα οδοστρώματα, το πάχος αναφοράς ισούται με το συμβατικό πάχος του οδοστρώματος που επιτρέπει 10000 καλύψεις-διελεύσεις (C) του πραγματικού συστήματος τροχών του αεροσκάφους για μία συγκεκριμένη κατηγορία εδαφικής αντοχής. Ο ICAO όρισε τον αριθμό των 10000 καλύψεων-διελεύσεων (C), ώστε να προκύψει μία ρεαλιστική εκτίμηση της βαριάς φόρτισης από τους διαφορετικούς τύπους αεροσκαφών που εξυπηρετούνται στο οδόστρωμα ενός αεροδρομίου. Το βασικό χαρακτηριστικό του πάχους αναφοράς είναι η απεξάρτηση του δείκτη ACN από το πάχος του εκάστοτε οδοστρώματος μελέτης. Ο υπολογισμός του διαφέρει με βάση την κατηγορία εδαφικής αντοχής (Λοΐζος & Πλατή, 2021).

2.3.2 Κατηγοριοποίηση Εδαφικής Αντοχής

Η κατηγορία εδαφικής αντοχής καθορίζεται βασιζόμενη στον δείκτη CBR (California Bearing Ratio) της στρώσης έδρασης. Η εδαφική αντοχή διακρίνεται στις εξής τέσσερις κατηγορίες:

- Υψηλή αντοχή (A): αντιπροσωπεύει όλες τις τιμές CBR πάνω από 13%, με χαρακτηριστική τιμή το 15%.
- Μέτρια αντοχή (B): αντιπροσωπεύει τις τιμές CBR από 8% έως 13%, με χαρακτηριστική τιμή το 10%.
- Χαμηλή αντοχή (C): αντιπροσωπεύει τις τιμές CBR από 4% έως 8%, με χαρακτηριστική τιμή το 6%.
- Πολύ χαμηλή αντοχή (D): αντιπροσωπεύει όλες τις τιμές CBR κάτω από 4%, με χαρακτηριστική τιμή το 3%.

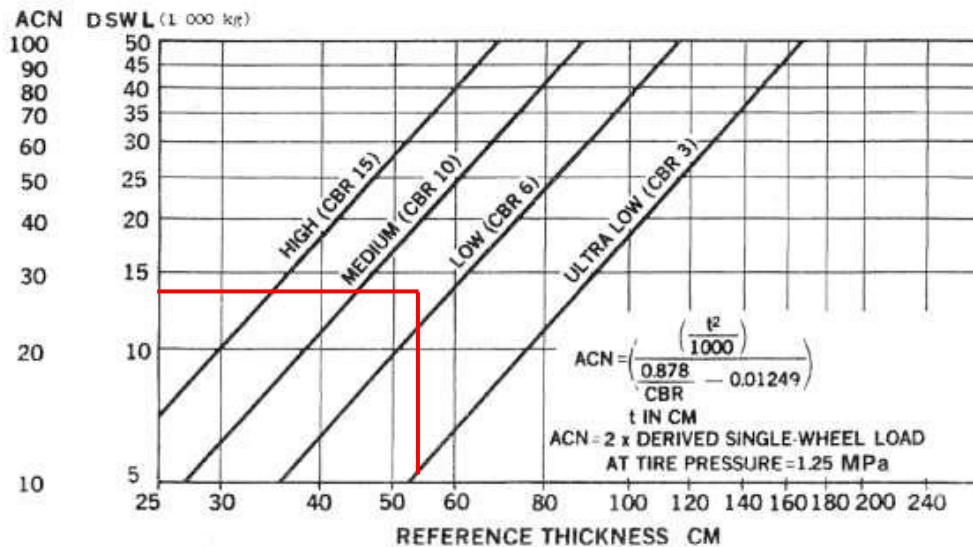
Πίνακας 2.1 Κατηγορίες εδαφικής αντοχής με βάση τις τιμές του δείκτη CBR

Κατηγορία Εδαφικής Αντοχής	Εύρος τιμών CBR	Χαρακτηριστική τιμή CBR	Κωδικοποίηση
Πολύ Χαμηλή	$CBR \leq 4\%$	3%	D
Χαμηλή	$4\% < CBR \leq 8\%$	6%	C
Μέτρια	$8\% < CBR < 13\%$	10%	B
Υψηλή	$CBR \geq 13\%$	15%	A

2.3.3 Προσδιορισμός του δείκτη ACN

Η τιμές του δείκτη ACN ενός αεροσκάφους συνήθως είναι γνωστοποιημένες από την κατασκευάστρια εταιρεία. Παρ' όλα αυτά, σε περίπτωση που ο δείκτης ACN δεν είναι γνωστός, υπάρχει η δυνατότητα να υπολογιστεί μέσω συγκεκριμένης διαδικασίας.

Η τιμή του δείκτη ACN προκύπτει μέσω του ακόλουθου νομογραφήματος, το οποίο βασίζεται στις αρχές της μεθόδου CBR.



Εικόνα 2.1 Νομογράφημα υπολογισμού του δείκτη ACN αεροσκαφών με βάση το πάχος αναφοράς σε εύκαμπτα οδοστρώματα αεροδρομίων (Λοΐζος & Πλατή, 2021)

Για τη χρήση του νομογραφήματος απαιτείται η τιμή του πάχους αναφοράς, η οποία υπολογίζεται από τη σχέση:

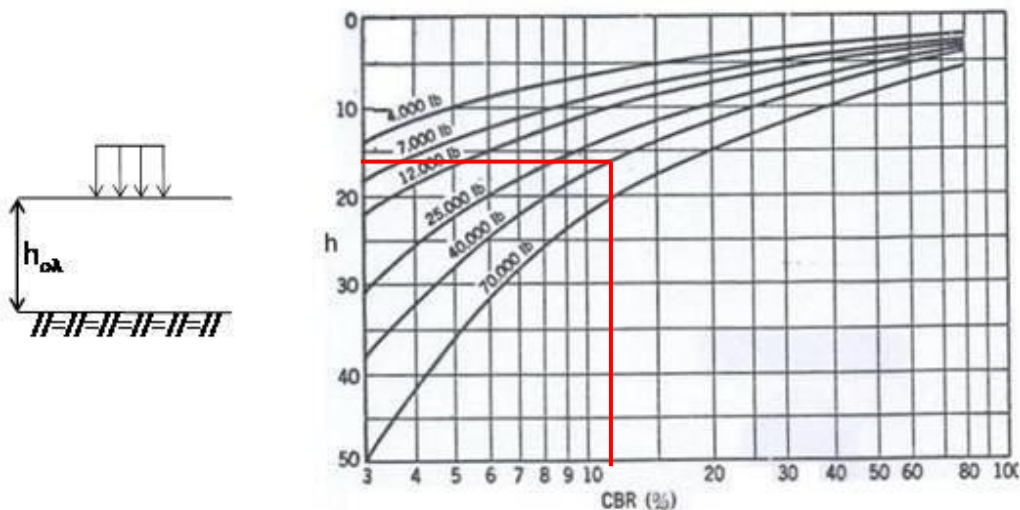
$$t_{\text{αναφ}} = \sqrt{\frac{DSWL}{C_1 \times CBR} - \frac{DSWL}{C_2 \times P_s}}$$

όπου:

- $t_{\text{αναφ}}$: το πάχος αναφοράς σε cm
- DSWL: το φορτίο μονού τροχού με πίεση 1.25 MPa
- CBR: η χαρακτηριστική τιμή αντοχής του εδαφικού υλικού ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκει
- P_s : πίεση 1.25 MPa
- C_1, C_2 : συντελεστές απόκλισης του Bussinesq με τιμές $C_1=0,5695$ και $C_2=32,035$

Έχοντας υπολογίσει το πάχος αναφοράς και γνωρίζοντας την κατηγορία εδαφικής αντοχής, η τιμή του ACN προκύπτει από την Εικόνα 2.1.

Σημειώνεται ότι ο υπολογισμός του πάχους αναφοράς βασίζεται στη μέθοδο CBR (California Bearing Ratio) η οποία αναπτύχθηκε το 1929 από το Σώμα Μηχανικών των Η.Π.Α. Στην Εικόνα 2.1 φαίνεται το γενικό νομογράφημα της μεθόδου με βάση το οποίο υπολογίζεται το απαιτούμενο πάχος οδοστρώματος με βάση τη φέρουσα ικανότητα του υλικού της υποκείμενης στρώσης.



Εικόνα 2.2 Διάγραμμα μεθόδου CBR

2.4 Δείκτης PCN

Ο δείκτης PCN (Pavement Classification Number) εκφράζει τη φέρουσα ικανότητα ενός οδοστρώματος αεροδρομίου και ορίζεται ως το ACN του αεροσκάφους που προκαλεί τη μέγιστη ένταση την οποία μπορεί να δεχτεί το οδόστρωμα με ασφάλεια.

2.4.1 Προσδιορισμός του δείκτη PCN

Η εκτίμηση του δείκτη PCN γίνεται από τις αρχές ενός αεροδρομίου, εφαρμόζοντας είτε την εμπειρική μέθοδο είτε την υπολογιστική μέθοδο, οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω.

Η έκφραση του PCN διαμορφώνεται από τις πέντε ακόλουθες παραμέτρους:

- 1) Αριθμητική τιμή: Η αριθμητική τιμή του δείκτη PCN αποτελεί την πρώτη παράμετρο έκφρασης του και μέσω αυτής γίνεται η σύγκριση με την αντίστοιχη αριθμητική τιμή του δείκτη ACN.
- 2) Τύπος οδοστρώματος: Στην περίπτωση που το εξεταζόμενο οδόστρωμα είναι εύκαμπτο χρησιμοποιείται ο χαρακτήρας F (Flexible), ενώ στην περίπτωση που το οδόστρωμα είναι δύσκαμπτο χρησιμοποιείται ο χαρακτήρας R (Rigid).
- 3) Κατηγορία εδαφικής αντοχής: Ανάλογα με το CBR της στρώσης έδρασης το οδόστρωμα κατατάσσεται σε μία από τις κατηγορίες εδαφικής αντοχής (A,B,C,D), όπως ακριβώς αυτές έχουν καθοριστεί για το ACN.

- 4) Μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση ελαστικών: Τα οδοστρώματα αεροδρομίων κατατάσσονται στις τέσσερις παρακάτω κατηγορίες ανάλογα με τη μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση των αεροθαλάμων των τροχών:

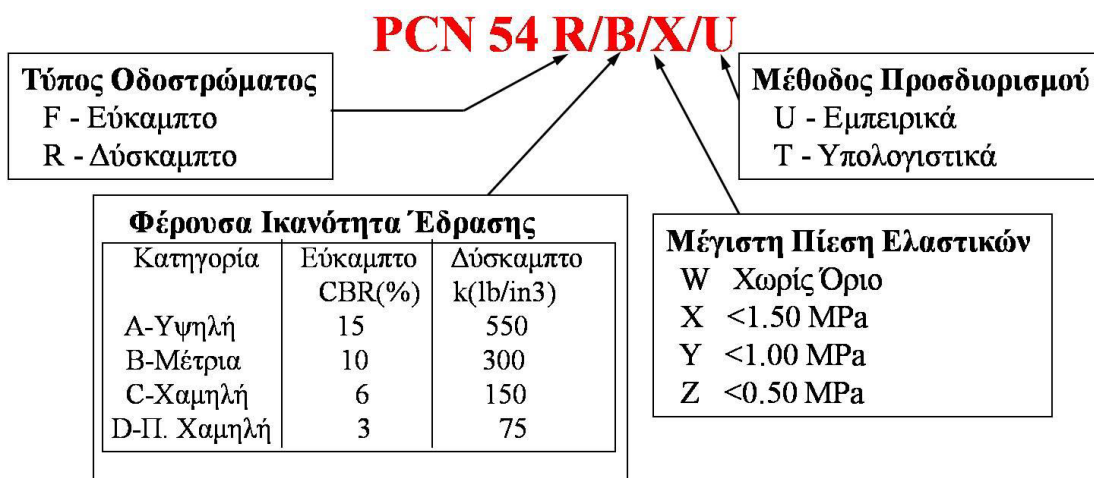
Πίνακας 2.2 Συμβολισμός μέγιστης επιτρεπόμενης πίεσης ελαστικών κατά τη μέθοδο ACN - PCN

Κατηγορία	Χαρακτηρισμός	Μέγιστη Επιτρεπόμενη Πίεση
W	Υψηλή	Χωρίς περιορισμό
X	Μέση	Έως 1,5MPa
Y	Χαμηλή	Έως 1,0MPa
Z	Πολύ χαμηλή	Έως 0,5MPa

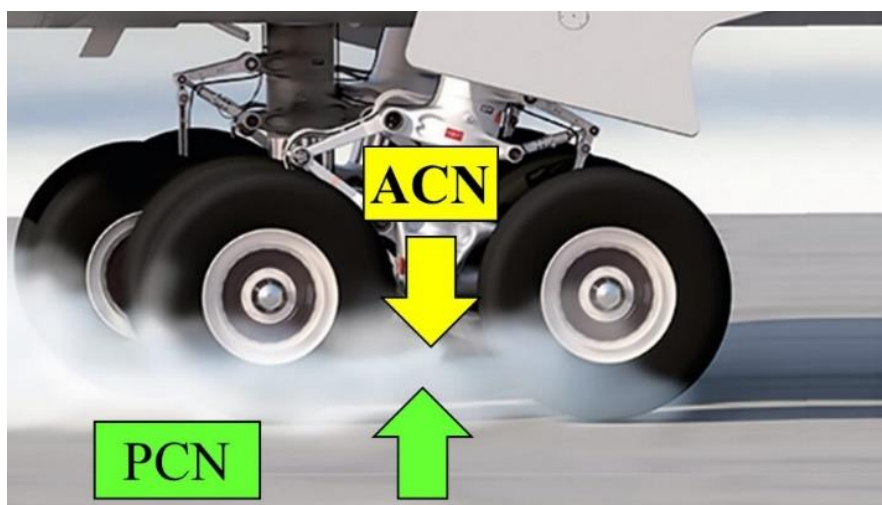
- 5) Μεθοδολογία υπολογισμού: Στην περίπτωση που ο δείκτης PCN ενός οδοστρώματος προσδιορίζεται εμπειρικά, λόγω μακράς χρήσης του αεροδρομίου από συγκεκριμένους τύπους αεροσκαφών, χρησιμοποιείται ο χαρακτήρας U, ενώ στην περίπτωση που χρησιμοποιείται κάποια υπολογιστική μέθοδος χρησιμοποιείται ο χαρακτήρας T.

Έτσι η τελική έκφραση του PCN έχει τη μορφή (Εικόνα 2.3):

Αριθμητική τιμή/Τύπος οδοστρώματος/Κατηγορία εδαφικής αντοχής/Μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση/Μεθοδολογία υπολογισμού



Εικόνα 2.3 Έκφραση του δείκτη PCN (Λοΐζος & Πλατή, 2021)



Εικόνα 2.4 Απεικόνιση της αλληλεπίδρασης των δεικτών ACN και PCN

Η φέρουσα ικανότητα ενός οδοστρώματος μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου, λόγω παραγόντων όπως είναι η επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών και των επαναλαμβανόμενων φορτίσεων που δέχεται. Για τον λόγο αυτό, η τακτική επικαιροποίηση του δείκτη PCN κρίνεται απαραίτητη.

Σημειώνεται ότι ο ICAO δεν έχει ορίσει κάποια συγκεκριμένη μεθοδολογία που πρέπει να εφαρμόζεται για την εκτίμηση της αριθμητικής τιμής του δείκτη PCN και η επιλογή της μεθόδου βρίσκεται στην διακριτική ευχέρεια των αρχών του κάθε αεροδρομίου. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας η εκτίμηση του δείκτη PCN γίνεται με τη μεθοδολογία που παρέχεται από την Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας FAA (Federal Aviation Administration), η οποία αναλύεται στη συνέχεια.

2.5 Μέθοδος υπολογισμού του PCN σύμφωνα με την FAA

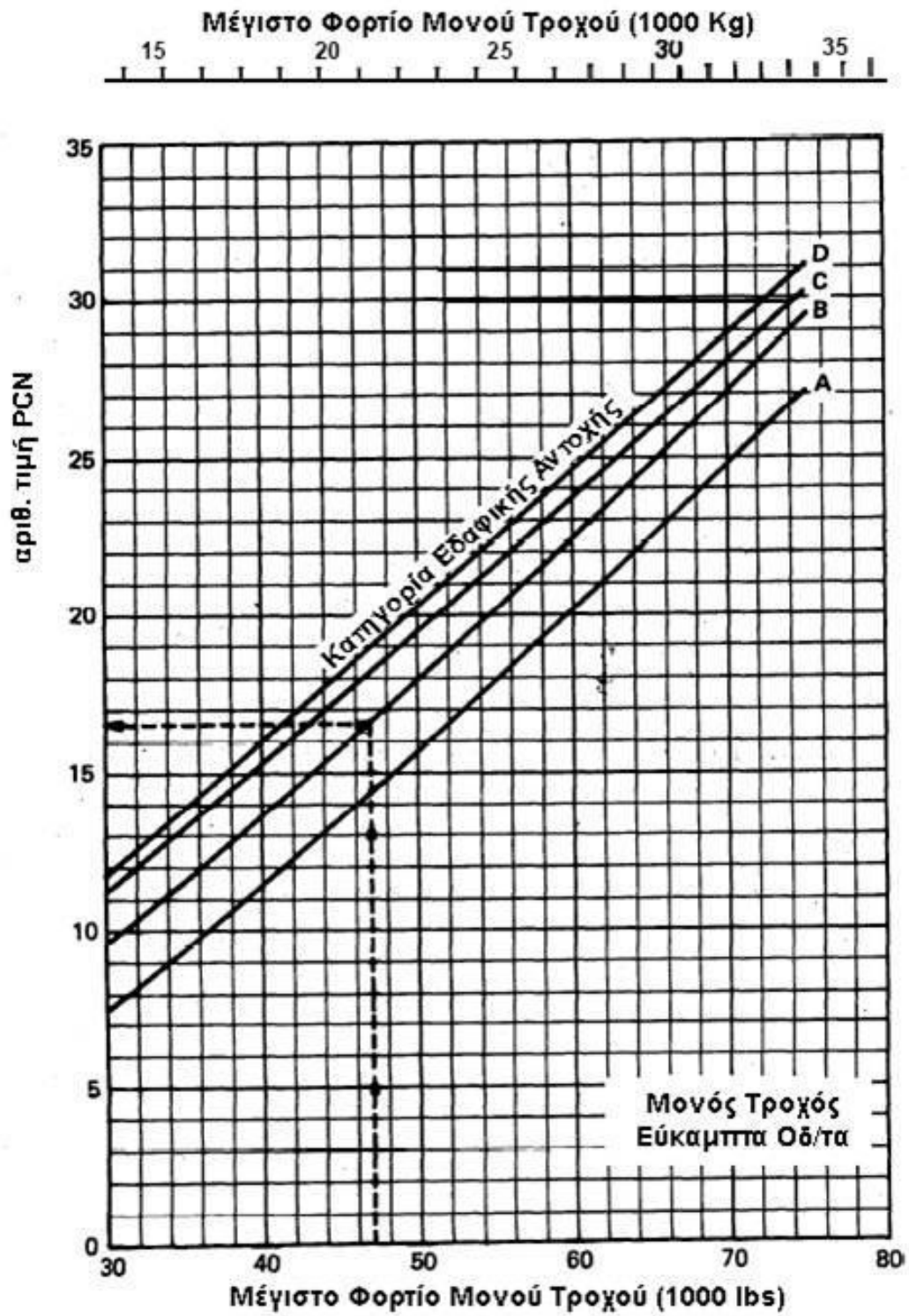
Η αρχική μορφή της μεθόδου FAA για τον προσδιορισμό του δείκτη PCN αναπτύχθηκε το 1983 (FAA, 1983). Ο υπολογισμός της αριθμητικής τιμής του PCN προκύπτει μέσω διαγραμμάτων τα οποία διαμορφώθηκαν με βάση το σύστημα τροχών των αεροσκαφών που εξυπηρετεί το οδόστρωμα. Η χρήση των διαγραμμάτων μπορεί να γίνει τόσο για νέα όσο και για υφιστάμενα οδοστρώματα αεροδρομίων, ανεξαρτήτως της παλαιότητας τους. Έχοντας ως κύριο κριτήριο το μέγιστο δυνατό φορτίο το οποίο μπορεί να εξυπηρετήσει

το οδόστρωμα στην επιθυμητή διάρκεια ζωής του, λαμβάνονται και οι αντίστοιχες παραδοχές. Στα νέα οδοστρώματα το φορτίο είναι το μέγιστο ανά σύστημα τροχών για το οποίο σχεδιάζεται το οδόστρωμα, ενώ στα υφιστάμενα οδοστρώματα γίνεται χρήση του αντίστοιχου μέγιστου επιτρεπόμενου βάρους ανά σύστημα τροχών (Λοΐζος & Πλατή, 2021). Σημειώνεται ότι στα υφιστάμενα οδοστρώματα η εκτίμηση του μέγιστου επιτρεπόμενου βάρους μπορεί να βασιστεί σε αναλύσεις επιτόπου μετρήσεων και καταγραφών.

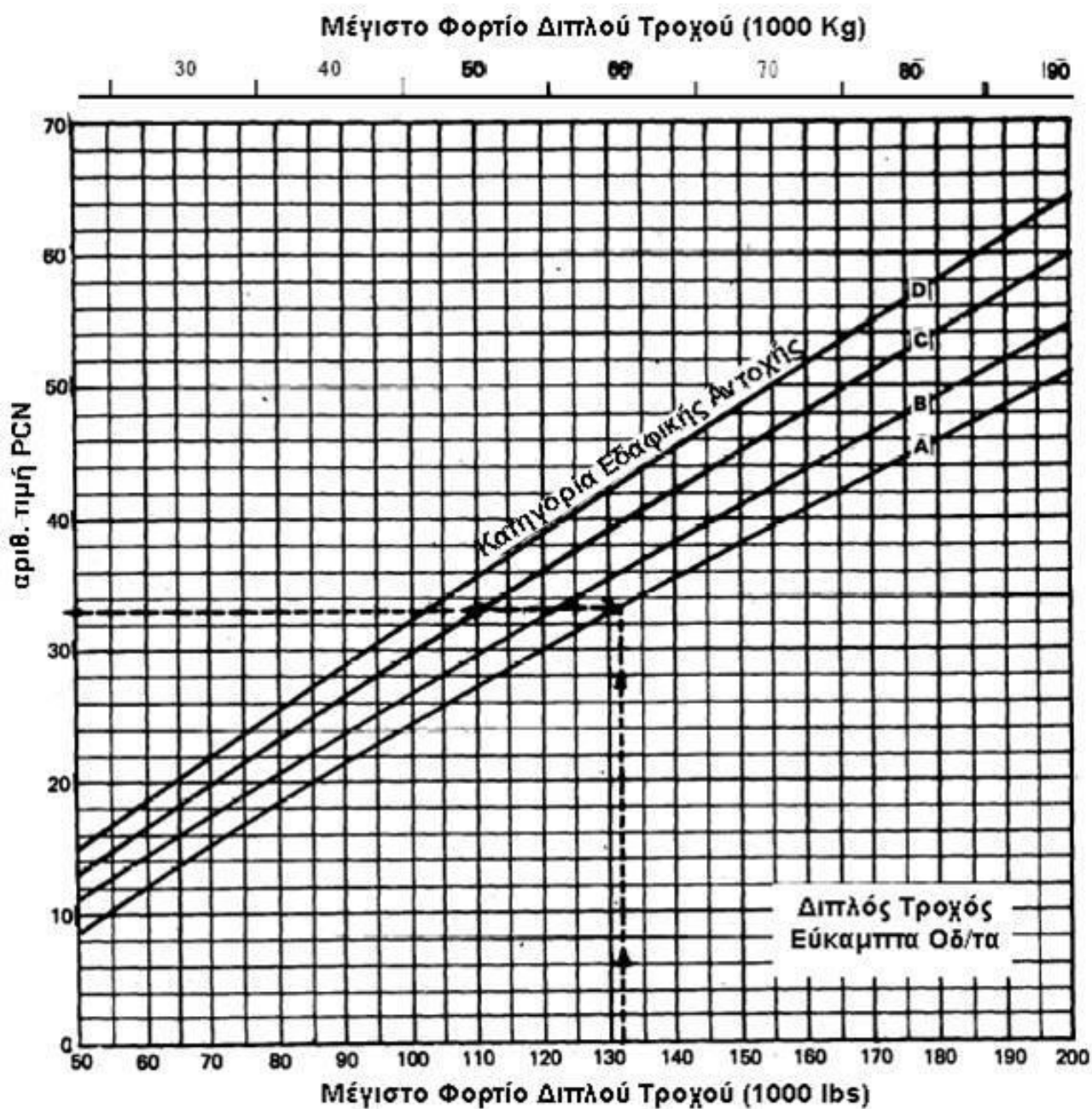
Η χρήση των διαγραμμάτων της μεθόδου κατά την FAA γίνεται χρησιμοποιώντας ως δεδομένα το μέγιστο επιτρεπτό βάρος και την κατηγορία εδαφικής αντοχής. Η κατηγορία εδαφικής αντοχής επιλέγεται σύμφωνα με το δείκτη CBR κατά τη μέθοδο ACN-PCN.

Τα βήματα για τον υπολογισμό της αριθμητικής τιμής του δείκτη PCN είναι τα εξής:

- 1) Επιλογή κατάλληλου διαγράμματος ανάλογα το είδος του οδοστρώματος και τον τύπο του φορείου (Εικόνες 2.5, 2.6, 2.7).
- 2) Εισαγωγή στον οριζόντιο άξονα του μέγιστου φορτίου που μπορεί να εξυπηρετήσει το οδόστρωμα.
- 3) Χάραξη κατακόρυφης ημιευθείας από εκείνο το σημείο.
- 4) Στο σημείο που η κατακόρυφη ημιευθεία τέμνει την κατηγορία εδαφικής αντοχής του οδοστρώματος, φέρεται οριζόντια ημιευθεία προς τον κατακόρυφο άξονα.
- 5) Η τιμή του κατακόρυφου άξονα στο σημείο που τέμνεται από την οριζόντια ημιευθεία καταγράφεται ως η αριθμητική τιμή του δείκτη PCN.
- 6) Σε περίπτωση που τα εξυπηρετούμενα αεροσκάφη έχουν διαφορετικά συστήματα τροχών, η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε είδος συστήματος ξεχωριστά και η τελική αριθμητική τιμή του δείκτη PCN είναι η μεγαλύτερη που προέκυψε.



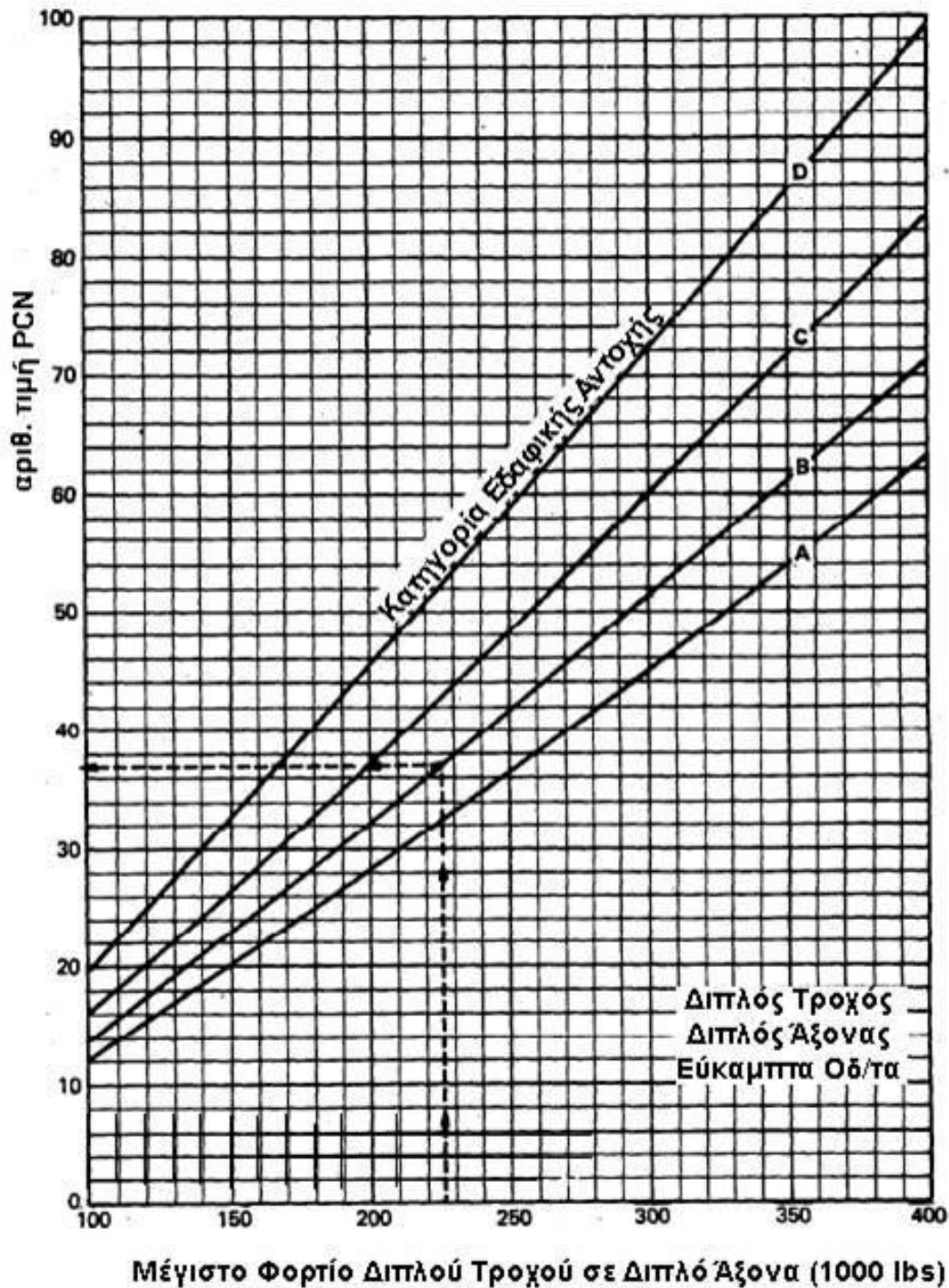
Εικόνα 2.5 Διάγραμμα υπολογισμού δείκτη PCN εύκαμπτου οδοστρώματος για χρήση από αεροσκάφη με φορτίο μονού τροχού (FAA, 1983)



Εικόνα 2.6 Διάγραμμα υπολογισμού δείκτη PCN εύκαμπτου οδοστρώματος για χρήση από αεροσκάφη με φορείο διπλού τροχού (FAA, 1983)

Μέγιστο Φορτίο Διπλού Τροχού σε Διπλό Άξονα (1000 Kg)

50 75 100 125 150 175



Εικόνα 2.7 Διάγραμμα υπολογισμού δείκτη PCN εύκαμπτου οδοστρώματος για χρήση από αεροσκάφη με φορείο διπλού τροχού διπλού άξονα (FAA, 1983)

Σχετικά με τη μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση των ελαστικών, στα ασφαλικά οδοστρώματα είναι πιθανό, σε σπάνιες περιπτώσεις, να εφαρμοστούν περιορισμοί μικρής κλίμακας, λόγω της σύνθεσης και των ιδιοτήτων των ασφαλικών στρώσεων. Σημειώνεται ότι έρευνες έχουν δείξει πως με βάση την τρέχουσα τακτική, το ενδεχόμενο να εμφανιστούν προβλήματα λόγω υψηλής πίεσης των ελαστικών είναι αμελητέο.

Στην περίπτωση που εφαρμοστεί η παραπάνω μέθοδος, τότε ο δείκτης μεθοδολογίας υπολογισμού συμβολίζεται με την ένδειξη T. Εφόσον δεν είναι δυνατό να εφαρμοστεί η διαδικασία, ακολουθείται η εμπειρική μέθοδος υπολογισμού (Using Aircraft Method) όπως αυτή προτείνεται από την FAA.

2.5.1 Εμπειρική μέθοδος υπολογισμού – Using Aircraft Method

Ο υπολογισμός της τιμής του δείκτη PCN μέσω της εμπειρικής μεθόδου προκύπτει από τους τύπους των αεροσκαφών που εξυπηρετεί το οδόστρωμα του αεροδρομίου. Λαμβάνοντας υπόψη και συγκρίνοντας τους δείκτες ACN όλων των αεροσκαφών που κάνουν χρήση του εξεταζόμενου οδοστρώματος, επιλέγεται το αεροσκάφος με τον μεγαλύτερο ACN, του οποίου η αριθμητική τιμή καταγράφεται ως η τιμή του PCN. Με αυτόν τον τρόπο, γίνεται θεώρηση ότι το οδόστρωμα είναι ικανό να εξυπηρετεί όλους τους τύπους αεροσκαφών της δεδομένης αεροπορικής κίνησης χωρίς κανένα περιορισμό του φορτίου του. Η εμπειρική μέθοδος χρησιμοποιεί την παραδοχή ότι η διατομή είναι ικανή να αντέξει 10.000 καλύψεις-διελεύσεις του αεροσκάφους με το μεγαλύτερο ACN από την υπόλοιπη σύνθεση της κυκλοφορίας.

Η εμπειρική μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί σε περιπτώσεις όπου δεν είναι γνωστή η ακριβής μορφή της διατομής του οδοστρώματος. Σε τέτοια περίπτωση, προτείνεται να γίνει παραδοχή ότι η εδαφική αντοχή είναι μέτρια – κατηγορία B.

Λόγω των παραδοχών που εφαρμόζονται στη μέθοδο, είναι πιθανό να προκύψει ανακριβής εκτίμηση του δείκτη PCN του οδοστρώματος. Η οποιαδήποτε θετική ή αρνητική απόκλιση της τελικής εκτιμώμενης τιμής του δείκτη PCN θεωρείται αντιοικονομική, καθώς είτε προκαλεί αυξημένη φθορά στο οδόστρωμα ανεβάζοντας το κόστος συντήρησης, είτε περιορίζει τους αποδεκτούς τύπους αεροσκαφών μειώνοντας έτσι τα έσοδα. Για να περιοριστεί αυτή η απόκλιση, η FAA συστήνει να επιλέγεται η μεγαλύτερη τιμή του ACN, η οποία αντιστοιχεί σε αεροσκάφος το οποίο κάνει τακτική χρήση του οδοστρώματος. Η τακτική αυτή χρήση μεταφράζεται σε 500 ετήσιες

απογειώσεις του αεροσκάφους, σε 20ετή περίοδο σχεδιασμού του οδοστρώματος (FAA, 2014).

2.5.2 Υπολογιστική μέθοδος αξιολόγησης – Technical Evaluation Method

Η υπολογιστική μέθοδος αξιολόγησης φέρουσας ικανότητας οδοστρώματος αεροδρομίου (Technical Evaluation Method) στοχεύει στον, κατά το μέγιστο δυνατό, λεπτομερή και ρεαλιστικό υπολογισμό της αριθμητικής τιμής του δείκτη PCN. Η εφαρμογή της μεθόδου είναι μια διαδικασία, η οποία απαιτεί τον συνδυασμό πολλών μεταβαλλόμενων παραμέτρων, όπως είναι η υπάρχουσα και η μελλοντική κυκλοφορία των αεροσκαφών, τα πάχη των επιμέρους στρώσεων της διατομής του οδοστρώματος καθώς και τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά της. Επομένως, ο ακριβής υπολογισμός της φέρουσας ικανότητας του οδοστρώματος προϋποθέτει τον προσδιορισμό των προαναφερθέντων παραμέτρων. Χαρακτηριστικό συγκριτικό πλεονέκτημα της μεθόδου έναντι της προαναφερθείσας εμπειρικής είναι η ακρίβεια της, η οποία όμως απαιτεί αυξημένους πόρους και επιπλέον χρόνο.

Με βάση τη σχετική μεθοδολογία που έχει αναπτυχθεί από την FAA (FAA, 2014), για την εκτίμηση του δείκτη PCN χρησιμοποιούνται ως δεδομένα τα ακόλουθα χαρακτηριστικά του οδοστρώματος.

- Πάχη επιμέρους στρώσεων διατομής οδοστρώματος.
- Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά διατομής (συμπεριλαμβανομένης και της κατηγορίας εδαφικής αντοχής).
- Αναλυτική σύνθεση κυκλοφορίας που εξυπηρετεί το οδόστρωμα (τύποι αεροσκαφών και ετήσιες διελεύσεις).

Με βάση τα στοιχεία των παχών των επιμέρους στρώσεων του οδοστρώματος γίνεται ο υπολογισμός του πάχους αξιολόγησης (Evaluation Thickness).

2.5.3 Υπολογισμός πάχους αξιολόγησης

Για την εκτίμηση του δείκτη PCN ενός εύκαμπτου οδοστρώματος μέσω της υπολογιστικής μεθόδου, απαιτείται η μετατροπή του πραγματικού πάχους της διατομής του οδοστρώματος σε μία διατομή αναφοράς. Η υπόψη διατομή αποτελείται από ασφαλτικές στρώσεις και στρώση βάσης από ασύνδετο αμμοχάλικο με CBR >80% συγκεκριμένου πάχους, καθώς και από μία στρώση υπόβασης από ασύνδετο αμμοχάλικο μεταβλητού πάχους με CBR > 20%.

Η διατομή αναφοράς ενός εύκαμπτου οδοστρώματος προκύπτει από τις ασφαλικές στρώσεις, τη βάση και την υπόβαση οι οποίες αποτελούνται από υλικά συγκεκριμένων προδιαγραφών. Η FAA έχει κατηγοριοποιήσει τα υλικά αυτά όπως αναλύονται παρακάτω.

- Ασφαλικές στρώσεις από το τυπικό υλικό με χαρακτηρισμό <<P-401>>.
- Στρώση βάσης από ασύνδετο αμμοχάλικο από το τυπικό υλικό με τον χαρακτηρισμό <<P-209>>.
- Στρώση υπόβασης από ασύνδετο αμμοχάλικο από το τυπικό υλικό με χαρακτηρισμό <<P-154>>.

Για τα εύκαμπτα οδοστρώματα, αναλόγως του συστήματος των τροχών των εξυπηρετούμενων αεροσκαφών, γίνεται διαχωρισμός ανάμεσα σε δύο τύπους διατομών αναφοράς. Έτσι, ο διαχωρισμός αυτός γίνεται ως εξής:

- 1) Κανένα από τα αεροσκάφη της εξυπηρετούμενης κυκλοφορίας δεν έχει πάνω από τέσσερις τροχούς στο κύριο φορείο. Σε αυτή την περίπτωση, η διατομή αναφοράς διαμορφώνεται από ασφαλική στρώση πάχους 3in (υλικού P-401) και στρώση βάσης από θραυστό αμμοχάλικο πάχους 6in (υλικού P-209).
- 2) Τουλάχιστον ένα από τα αεροσκάφη της εξυπηρετούμενης κυκλοφορίας έχει τέσσερις ή περισσότερους τροχούς στο κύριο φορείο. Σε αυτή την περίπτωση, η διατομή αναφοράς αποτελείται από ασφαλική στρώση πάχους 5in (υλικού P-401) και στρώση βάσης από θραυστό αμμοχάλικο πάχους 8in (υλικού P-209).

Πίνακας 2.3 Πάχη στρώσεων διατομής αναφοράς (FAA, 2014)

Πάχος στρώσεων οδοστρώματος αξιολόγησης (inches)	Λιγότεροι από 4 τροχούς στο κύριο φορείο	4 ή περισσότεροι τροχοί στο κύριο φορείο
Ασφαλική στρώση (υλικό P-401)	3	5
Στρώση βάσης από θραυστό αμμοχάλικο (υλικό P-209)	6	8

Στην περίπτωση που το οδόστρωμα διαθέτει πλεόνασμα πάχους ασφαλικών στρώσεων και στρώσης βάσης ή στρώσεις από βελτιωμένα υλικά, σε σχέση με τα τυπικά υλικά της FAA, πραγματοποιείται μετατροπή του σε πάχος υπόβασης με χρήση κατάλληλων συντελεστών ισοδυναμίας και προκύπτει το πάχος αξιολόγησης.

Εάν το αξιολογούμενο οδόστρωμα είναι ανεπαρκές ως προς τα ελάχιστα πάχη, τότε χρησιμοποιούνται αντίστοιχα πιο συντηρητικοί συντελεστές ισοδυναμίας (FAA, 2014).



Εικόνα 2.8 Τυπική διατομή εύκαμπτου οδοστρώματος για τον υπολογισμό του πάχους αξιολόγησης

Για την πιο άμεση εφαρμογή της μεθόδου, η FAA έχει αναπτύξει το υπολογιστικό φύλλο που απεικονίζεται στην Εικόνα 2.9, το οποίο διευκολύνει τη διαδικασία υπολογισμού του πάχους αξιολόγησης.

Επίσης, στον Πίνακα 2.4 αναγράφονται οι συντελεστές ισοδυναμίας για εύκαμπτα οδοστρώματα, καθώς και τα αντίστοιχα πρότυπα υλικά.

Πίνακας 2.4 Πρότυπα υλικά και συντελεστές ισοδυναμίας διαμόρφωσης οδοστρώματος αξιολόγησης (FAA, 2014)

Κατασκευαστικό Υλικό	Περιγραφή	Εύρος συντελεστών ισοδυναμίας για μετατροπή σε θραυστό αμμοχάλικο (Υλικό P-209)	Προτεινόμενη τιμή συντελεστή ισοδυναμίας για μετατροπή σε θραυστό αμμοχάλικο (Υλικό P-209)	Εύρος συντελεστών ισοδυναμίας για μετατροπή σε υλικό υπόβασης (Υλικό P-154)	Προτεινόμενη τιμή συντελεστή ισοδυναμίας για μετατροπή σε υλικό υπόβασης (Υλικό P-154)
P-401	Θερμό ασφαλτόμικγμα	1.2 έως 1.6	1.6	1.7 έως 2.3	2.3
P-403	Θερμό ασφαλτόμικγμα	1.2 έως 1.6	1.6	1.7 έως 2.3	2.3
P-306	Σταθεροποιημένη βάση από τσιμέντο	1.2 έως 1.6	1.2	1.6 έως 2.3	1.6
P-304	Σταθεροποιημένη βάση από τσιμέντο	1.2 έως 1.6	1.2	1.6 έως 2.3	1.6
P-212	Βάση (Shell base course)	—	—	—	—
P-213	Βάση από μίγμα άμμου-αργίλου	—	—	—	—
P-220	Σταθεροποιημένη βάση από τσιμέντο	—	—	—	—
P-209	Βάση από θραυστό αμμοχάλικο	1.0	1.0	1.2 έως 1.6	1.4
P-208	Βάση από ασύνδετο αμμοχάλικο	1.0	1.0	1.0 έως 1.5	1.2
P-211	Βάση από ασβεστόλιθο	1.0	1.0	1.0 έως 1.5	1.2
P-154	Υπόβαση από μη θραυστό αμμοχάλικο	δεν χρησιμοποιείται	—	1.0	1.0

Εικόνα 2.9 Υπολογιστικό φύλλο για τον υπολογισμό του οδοστρώματος αξιολόγησης

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Help

Clipboard Font Alignment Number Styles Cells Editing

G14 : X ✓ fx 8

Reference Guidance	AC 150/5335-5C App B Fig. A2-2	Convert to P-209	AC 150/5335-5C App B Figs.A2-1&2 Convert to P-154	Existing Flexible Pavement Layers	ENTER Existing Layer Thickness
P-401/3 P 403	1,6	<input checked="" type="checkbox"/> Use FAA Std Factors	P-401/3	200,0	mm
P-306 ECONOCRTE	1,2		P-306	0,0	mm
P-304 CEM. TRTD	1,2	n/a	P-304	0,0	mm
P-209 Cr AGG	1,0	1,4	P-209	250,0	mm
P-208 Agg, P-211	1,0	1,2	P-208	0,0	mm
P-301 SOIL-CEM.	n/a	1,2	P-301	0,0	mm
P-154 Subbase	n/a	1,0	P-154	250,0	mm
Equivalent Thickness, mm					Subgrade CBR... 8,0
P-401/3	127,0				
P-209	203,2				
P-154	479,0				
Total	809,2				
ENTER Ref. Section Requirements					
P-401 reference t	127,00	mm			
P-209 reference t	203,20	mm			

COMFAA Inputs

Evaluation thickness t = 809 mm

Evaluation CBR = 8,0

Recommended PCN Codes: F/C/IX

Existing Pavement

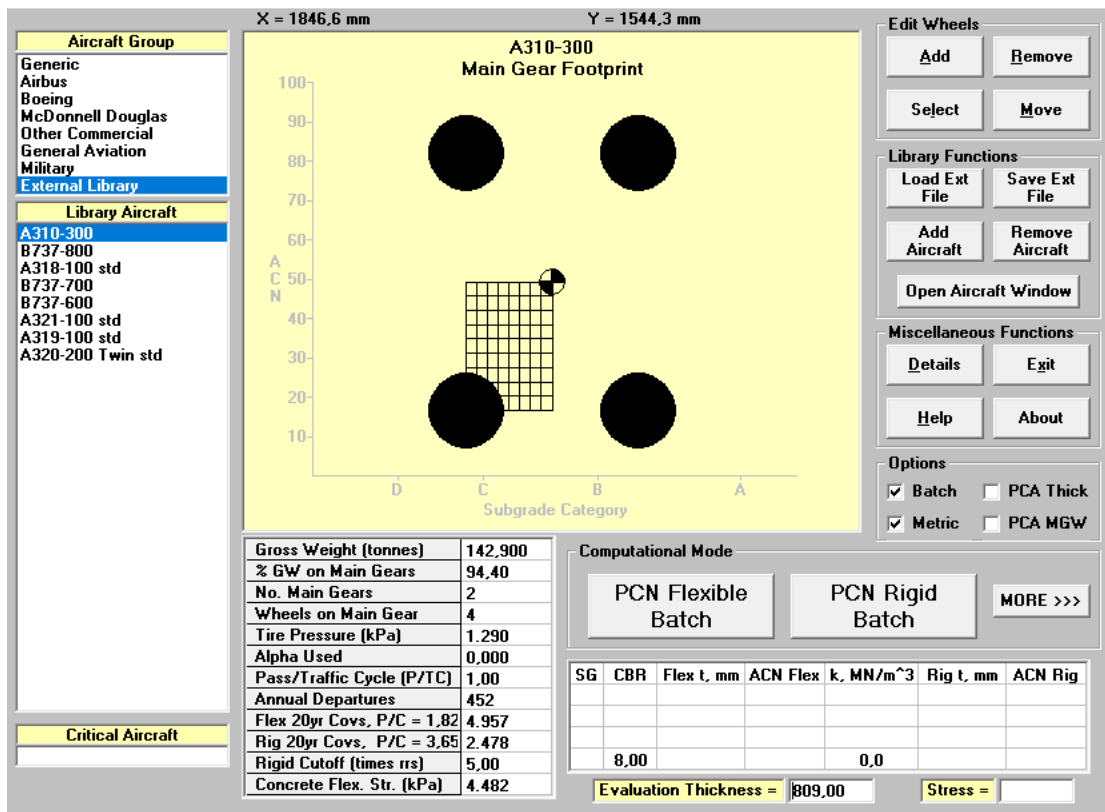
Equivalent Pavement

Airport Pavement ID	Loc ID	LOC ID GA RW
P-401/3 P 403		4.0 (P-209 1.6)
P-306 ECONOCRTE		
P-304 CEM. TRTD		
P-209 Cr AGG		6.0 (P-154 1.4)
P-208 Agg, P-211		
P-301 SOIL-CEM.		
P-154 Subbase		6.0
Units	English	
COMFAA CBR		4,0
COMFAA Thickness		17.2 in.

2.6 Λογισμικά υποστήριξης της μεθόδου ACN-PCN

2.6.1 Λογισμικό COMFAA 3.0

Η FAA έχει προχωρήσει στην ανάπτυξη του λογισμικού COMFAA 3.0 με στόχο την εκτίμηση του δείκτη PCN μέσω της μεθόδου ACN-PCN. Αρχικά, εισάγονται δεδομένα όπως είναι το είδος του οδοστρώματος, το πάχος αξιολόγησης, η τιμή του δείκτη CBR και η εξυπηρετούμενη κυκλοφορία. Παράλληλα, υπάρχει η δυνατότητα παραμετροποίησης παραγόντων όπως είναι το βάρος των αεροσκαφών και ο αριθμός των αναχωρήσεων σε βάθος εικοσαετίας. Οι αρμόδιες αρχές του αεροδρομίου υπολογίζουν, κατά αυτόν τον τρόπο, στοιχεία όπως είναι ο δείκτης ACN για το κάθε αεροσκάφος της εισαγόμενης κυκλοφορίας και ο δείκτης PCN, σύμφωνα με τη μέθοδο της FAA (DeBord, 2012).



Εικόνα 2.10 Περιβάλλον εργασίας λογισμικού COMFAA

ICAO ACN Computation, Detailed Output

Unit Conversions | Show Alpha | Show Ext File | Single Aircraft ACN: Flexible Rigid | Other Calculation Modes: PCN ACN Batch Thickness Life MGW | Back

Save PCN Output to a Text File

This file name = PCN Results Flexible 27-5-2024 11:55:28.txt
 Library file name = C:\Users\Alexandros Polyzos\Desktop\New folder\Airport5.Ext
 Units = Metric

Evaluation pavement type is flexible and design procedure is CBR.
 Alpha Values are those approved by the ICAO in 2007.

CBR = 8,00 (Subgrade Category is C(6))
 Evaluation pavement thickness = 809,0 mm
 Pass to Traffic Cycle (PtoTC) Ratio = 1,00
 Maximum number of wheels per gear = 4
 Maximum number of gears per aircraft = 2

At least one aircraft has 4 or more wheels per gear. The FAA recommends a reference section assuming 127 mm of HMA and 203 mm of crushed aggregate for equivalent thickness calculations.

Εικόνα 2.11 Εξαγωγή αποτελεσμάτων από το λογισμικό COMFAA

ICAO ACN Computation, Detailed Output

Unit Conversions | Show Alpha | Show Ext File | Single Aircraft ACN: Flexible Rigid | Other Calculation Modes: PCN ACN Batch Thickness Life MGW | Back

Save PCN Output to a Text File

Results Table 1. Input Traffic Data

No.	Aircraft Name	Gross Weight	Percent Gross Wt	Tire Press	Annual Deps	20-yr Coverages	6D Thick
1	B737-100	50,349	91,90	1.082	288	1.508	441,1
2	A310-300	142,900	94,40	1.290	202	2.215	596,4
3	A318-100 std	56,400	90,40	1.020	252	1.351	445,1
4	B737-700	70,307	91,70	1.413	334	1.752	541,4
5	B737-600	65,771	91,66	1.413	1.180	5.988	574,3
6	A321-100 std	83,400	95,60	1.360	2.504	14.530	713,3
7	A319-100 std	64,400	92,60	1.190	1.032	5.541	554,5
8	A320-200 Twin std	73,900	93,80	1.380	3.402	18.287	663,3

Results Table 2. PCN Values

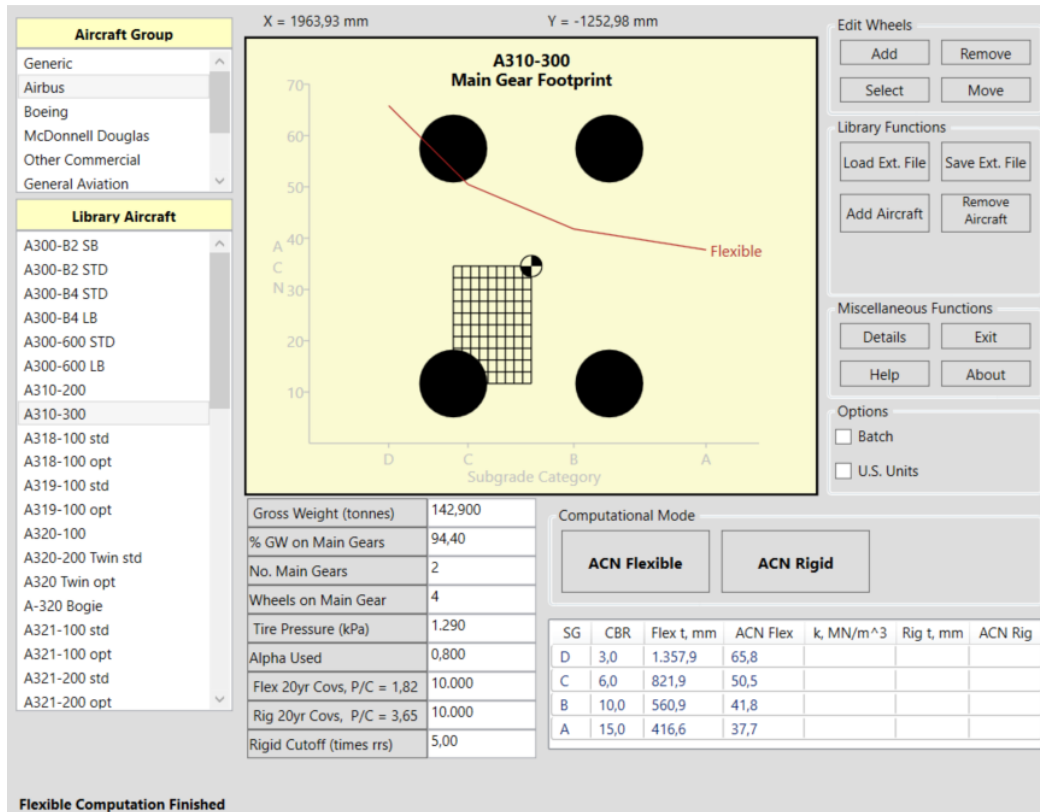
No.	Aircraft Name	Critical Aircraft Total Equiv. Covs.	Thickness for Total Equiv. Covs.	Maximum Allowable Gross Weight	ACN Thick at Max. Allowable Gross Weight	CDF	PCN on C(6)
1	B737-100	>5,000,000	796,2	51,663	631,83	0,0000	29,8
2	A310-300	269.269	764,2	154,070	868,97	0,0010	56,4
3	A318-100 std	>5,000,000	792,9	58,120	642,13	0,0000	30,8
4	B737-700	338.462	750,1	79,107	809,27	0,0006	48,9
5	B737-600	1.561.764	760,9	72,373	764,72	0,0005	43,7
6	A321-100 std	16.843	720,3	99,913	942,22	0,1061	65,2
7	A319-100 std	>5,000,000	768,3	69,711	733,28	0,0001	40,2
8	A320-200 Twin std	153.442	743,5	84,257	838,18	0,0147	52,5

Εικόνα 2.12 Εξαγωγή αποτελεσμάτων από το λογισμικό COMFAA

2.6.2 Λογισμικό ICAO-ACN

Ο ICAO έχει αναπτύξει το λογισμικό ICAO-ACN, το οποίο χρησιμοποιείται στην εύρεση της τιμής του δείκτη ACN για τα αεροσκάφη που εξυπηρετούν τα αεροδρόμια. Εφαρμόζοντας τη διαδικασία της μεθόδου ACN-PCN, προκύπτει η τιμή του ACN, για κάθε

κατηγορία εδαφικής αντοχής, τόσο για την περίπτωση που το αεροσκάφος μεταφέρει το μέγιστο φορτίο, όσο και για την περίπτωση όπου είναι κενό.



Εικόνα 2.13 Περιβάλλον εργασίας λογισμικού ICAO-ACN

2.7 Υπερφόρτωση Εύκαμπτων Οδοστρωμάτων κατά τη μέθοδο ACN-PCN

Η υπερφόρτωση ενός οδοστρώματος μπορεί να προκληθεί από την αύξηση των κινήσεων των αεροσκαφών, που δεν περιλαμβάνονται στον αρχικό σχεδιασμό, του φορτίου τους ή από συνδυασμό και των δύο. Παρά το γεγονός ότι η υπερφόρτωση των οδοστρωμάτων επηρεάζει αρνητικά τη διάρκεια ζωής τους, η εξυπηρέτηση αεροσκαφών με φορτία μεγαλύτερα από αυτά που προβλέπονται από τον σχεδιασμό δεν συνεπάγεται την άμεση καταστροφή τους. Τα οδοστρώματα των αεροδρομίων εν γένει είναι ικανά να δεχτούν μία εύλογη υπερφόρτωση, η οποία θα επιφέρει μικρή αύξηση της φθοράς και αντίστοιχη μείωση του απαιτούμενου χρόνου συντήρησής τους. Για αυτόν τον λόγο, οι αρχές του αεροδρομίου καλούνται να εξετάσουν κάθε τέτοια περίπτωση ξεχωριστά.

Ο ICAO έχει καθιερώσει τα παρακάτω κριτήρια υπερφόρτωσης (FAA, 2014).

- Περιστασιακές κινήσεις αεροσκαφών με ACN κατά 10% μεγαλύτερο από το PCN ευκάμπτου οδοστρώματος γενικά δεν αναμένεται να προκαλέσουν φθορά μείζονος σημασίας στο οδόστρωμα.
- Το ίδιο ισχύει για τα δύσκαμπτα οδοστρώματα στην περίπτωση που το ACN του αεροσκάφους είναι μεγαλύτερο κατά 5% του PCN.
- Εάν δεν είναι γνωστή η δομή του οδοστρώματος τότε γίνεται δεκτό ως όριο υπέρβασης του PCN το 5% (για περιστασιακές κινήσεις). Ο αριθμός των κινήσεων των υπέρβαρων αεροσκαφών κατ' έτος δεν πρέπει να υπερβαίνει το 5% των συνολικών ετήσιων κινήσεων που εξυπηρετεί το οδόστρωμα.

Πέρα από ειδικές περιπτώσεις, η υπερφόρτωση των οδοστρωμάτων πρέπει να απαγορεύεται εάν εμφανιστούν ενδείξεις φθοράς ή αστοχίας των υλικών του οδοστρώματος. Επίσης, η υπερφόρτωση πρέπει να αποφεύγεται κατά τα διαστήματα όπου το οδόστρωμα είναι περισσότερο ευάλωτο λόγω των συνθηκών που επικρατούν (παγετός, μείωση αντοχής ασύνδετων υλικών λόγω υδάτων, εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες κ.λπ.).

Στα οδοστρώματα όπου εξυπηρετούνται υπέρβαρα αεροσκάφη, κρίνεται αναγκαίο να πραγματοποιούνται τακτικοί έλεγχοι, με στόχο να αποφευχθεί το ενδεχόμενο πρόκλησης εκτεταμένων φθορών, σημαντική μείωση της εναπομένουσας ζωής και κατά συνέπεια της υπερβολικής αύξησης των απαιτήσεων συντήρησης και αποκατάστασής τους.

3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΩΝ ACR-PCR

3.1 Εισαγωγή

Η μέθοδος κατάταξης φέρουσας ικανότητας οδοστρωμάτων αεροδρομίων ACR-PCR (Aircraft Classification Rating – Pavement Classification Rating) βασίζεται σε παρόμοιες αρχές με τη μέθοδο ACN-PCN (Botha, 2023). Οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις της αεροπορικής βιομηχανίας, καθώς και οι γενικότερες εξελίξεις στον τομέα της ανάλυσης οδοστρωμάτων, έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη αναλυτικών μεθόδων σχεδιασμού και αξιολόγησης οδοστρωμάτων αεροδρομίων (Broutin, 2022). Οι υπόψη μεθοδολογίες αποτέλεσαν τη βάση για την ανάπτυξη της μεθόδου ACR-PCR, η οποία αποτελεί την εξέλιξη της μεθόδου ACN-PCN. Η χρήση της ACR-PCR πρόκειται να καθιερωθεί από τους διεθνείς οργανισμούς από τον Νοέμβριο του 2024 (Tarlie, 2022).

3.2 Βασική αρχή της μεθόδου ACR-PCR

Η μέθοδος ACR-PCR παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες με τη μέθοδο ACN-PCN. Σε αντιστοιχία με τον δείκτη ACN, η επίδραση κάθε αεροσκάφους εκφράζεται μέσω του δείκτη ACR ενώ η φέρουσα ικανότητα του οδοστρώματος εκφράζεται μέσω του δείκτη PCR. Στην περίπτωση που ισχύει ότι $ACR_{α/φους} < PCR_{οδ/τος}$, το αεροσκάφος μπορεί να εξυπηρετηθεί από το υπόψη οδόστρωμα, χωρίς να του επιβληθεί κάποιος περιορισμός ως προς τις διελεύσεις και το φορτίο του. Αντιθέτως, εάν ισχύει ότι $ACR_{α/φους} > PCR_{οδ/τος}$, θα πρέπει να ακολουθήσει διερεύνηση από τις αρχές του αεροδρομίου, για να εξεταστεί εάν η χρήση του οδοστρώματος από το υπόψη αεροσκάφος είναι αποδεκτή χωρίς να επιβληθούν περιορισμοί σχετικά με το βάρος του αεροσκάφους και το πλήθος των διελεύσεών του.

Απαραίτητη συνθήκη για να μπορεί να εφαρμοστεί η μέθοδος ACR-PCR είναι το οδόστρωμα να έχει φέρουσα ικανότητα τέτοια ώστε να μπορούν να εξυπηρετηθούν αεροσκάφη με βάρος τουλάχιστον 5700 kg (12500 pounds).

3.3 Δείκτης ACR

Ο δείκτης ACR (Aircraft Classification Rating) είναι η αριθμητική έκφραση της επίδρασης ενός αεροσκάφους στο οδόστρωμα, ανάλογα με την εκάστοτε κατηγορία εδαφικής αντοχής (FAA, 2022).

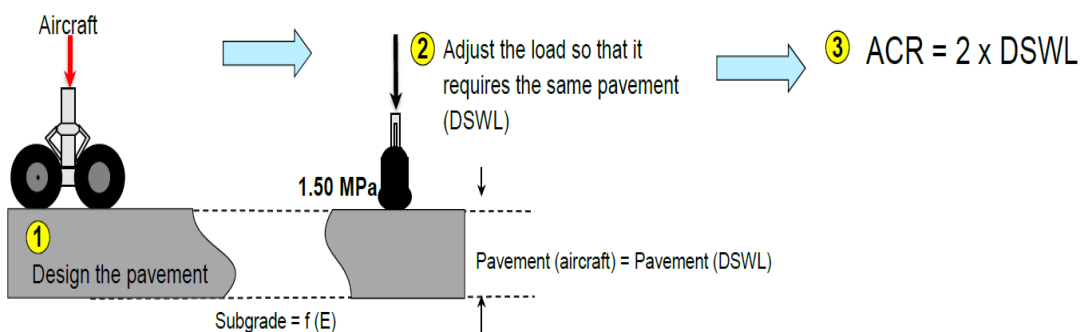
3.3.1 Προσδιορισμός δείκτη ACR

Οι κατασκευάστριες εταιρείες των αεροσκαφών γνωστοποιούν για το κάθε αεροσκάφος την αριθμητική τιμή του δείκτη ACR (Fabre, 2022). Σε περίπτωση που δεν είναι γνωστός ο δείκτης ενός αεροσκάφους, εφαρμόζεται η διαδικασία υπολογισμού της τιμής του.

Αρχικά, υπολογίζεται το πάχος αναφοράς, λαμβάνοντας υπόψη το φορτίο του αεροσκάφους, την κατηγορία εδαφικής αντοχής και τις προβλεπόμενες 36.500 καλύψεις-διελεύσεις του αεροσκάφους. Έπειτα, επιλέγεται η κατάλληλη διατομή του οδοστρώματος αναφοράς, του οποίου το συνολικό πάχος αποτελεί το απαιτούμενο πάχος για τον υπολογισμό του δείκτη ACR.

Με δεδομένο πλέον το πάχος αναφοράς και για συγκεκριμένη κατηγορία εδαφικής αντοχής, προσδιορίζεται το Ισοδύναμο Φορτίο Μονού Τροχού (DSWL: Derived Single Wheel Load) υπό σταθερή πίεση 1,50MPa.

Η τιμή του δείκτη ACR εκφράζεται ως το διπλάσιο του φορτίου μονού τροχού (σε χιλιάδες kgr) με πίεση 1,50 MPa και επιδρά με την ίδια καταπόνηση με το πραγματικό σύστημα τροχών του αεροσκάφους σε οδόστρωμα πάχους ίσο με το πάχος αναφοράς.



Εικόνα 3.1 Επεξηγηματική απεικόνιση του δείκτη ACR σε εύκαμπτο οδόστρωμα (Fabre, 2022)

Ο ICAO έχει αναπτύξει το λογισμικό ICAO-ACR, μέσω του οποίου οι αρμόδιες αρχές του αεροδρομίου μπορούν να εκτιμήσουν τον ζητούμενο δείκτη ACR ενός αεροσκάφους για διαφορετικές κατηγορίες της στρώσης έδρασης, τόσο για εύκαμπτα όσο και για δύσκαμπτα οδοστρώματα (Εικόνα 3.2) (Brill, 2020).

ICAO-ACR Version 1.32 Date December 9, 2020

Input Data

Pavement Type Flexible Rigid

Gross Weight (tonnes)

Percent GW

Number of Wheels

Tire Pressure (kPa)

Wheel Coordinates (mm)

No	X	Y
1	-6.040,5	0.0
2	-4.643,5	0.0
3	-6.040,5	1.981,0
4	-4.643,5	1.981,0
5	6.040,5	0.0

Select Airplane Group

Select Airplane

Calculate ACR *

Display Select Wheels (SW) Metric

Subgrade Category	Subgrade Modulus [MPa]	Flexible ACR Number	ACR Thickness t [mm]

Input Data - Gear 2

Percent GW 2

Number of Wheels 2

Tire Pressure 2 (kPa)

Wheel Coordinates (mm)

No	X	Y

Εικόνα 3.2 Περιβάλλον εργασίας του λογισμικού ICAO-ACR

3.3.2 Πάχος Αναφοράς

Για τα εύκαμπτα οδοστρώματα, το πάχος αναφοράς ισούται με το συμβατικό πάχος του οδοστρώματος το οποίο επιτρέπει 36.500 καλύψεις-διελεύσεις C του πραγματικού συστήματος τροχών του αεροσκάφους για μια συγκεκριμένη κατηγορία εδαφικής αντοχής.

3.3.3 Κατηγορίες Εδαφικής Αντοχής

Η κατηγορία εδαφικής αντοχής διαμορφώνεται με βάση την τιμή του μέτρου ελαστικότητας E της στρώσης έδρασης και χαρακτηρίζεται με μία από τις τέσσερις παρακάτω κατηγορίες.

- Υψηλή αντοχή (A): $E > 150$ MPa, χαρακτηριστική τιμή τα 200 MPa
- Μέτρια αντοχή (B): $100 < E < 150$ MPa, χαρακτηριστική τιμή τα 120 MPa
- Χαμηλή αντοχή (C): $60 < E < 100$ MPa, χαρακτηριστική τιμή τα 80 MPa
- Πολύ χαμηλή αντοχή (D): $E < 60$ MPa, με χαρακτηριστική τιμή τα 50 MPa

Πίνακας 3.1 Κατηγορίες εδαφικής αντοχής ανάλογα με το μέτρο ελαστικότητας (FAA, 2022)

Κατηγορία	A	B	C	D
Αντοχή	Υψηλή	Μέτρια	Χαμηλή	Πολύ χαμηλή
Χαρακτηριστική Τιμή Μέτρου Ελαστικότητας E	200MPa	120MPa	80MPa	50MPa
Εύρος	$E \geq 150\text{MPa}$	$150\text{MPa} > E \geq 100\text{MPa}$	$100\text{MPa} > E \geq 60\text{MPa}$	$60\text{MPa} > E$

3.4 Δείκτης PCR

Ο δείκτης PCR (Pavement Classification Rating) αποτελεί την αριθμητική έκφραση της φέρουσας ικανότητας του οδοστρώματος, για το φορτίο του οποίου ο απεριόριστος αριθμός διελεύσεων θεωρείται ασφαλής (Fabre, 2022). Η τιμή του PCR προκύπτει ως το μέγιστο ACR του αεροσκάφους που μπορεί να εξυπηρετεί το οδόστρωμα.

3.4.1 Προσδιορισμός δείκτη PCR

Η τελική έκφραση του δείκτη PCR προσδιορίζεται από τις ίδιες παραμέτρους που καθορίζουν τον δείκτη PCN, οι οποίες είναι οι ακόλουθες.

- Τύπος οδοστρώματος: Για εύκαμπτο οδόστρωμα γίνεται χρήση του χαρακτήρα F (Flexible), ενώ για δύσκαμπτο γίνεται χρήση του χαρακτήρα R (Rigid).
- Κατηγορία εδαφικής αντοχής: Χρησιμοποιείται η κωδικοποίηση που έχει καθοριστεί για τον χαρακτηρισμό της αντοχής της στρώσης έδρασης με βάση την τιμή του δείκτη CBR.
- Μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση ελαστικών: Ο συμβολισμός της μέγιστης επιτρεπόμενης πίεσης ελαστικών γίνεται σύμφωνα με τον Πίνακα 3.2.

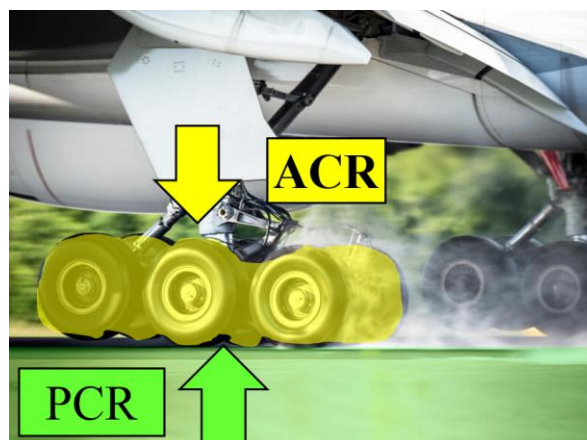
Πίνακας 3.2 Κατηγορίες μέγιστης επιτρεπόμενης πίεσης ελαστικών για τον δείκτη PCR (FAA, 2022)

Κατηγορία	Χαρακτηρισμός	Μέγιστη Επιτρεπόμενη Πίεση
W	Υψηλή	Χωρίς περιορισμό
X	Μέση	Έως 1,75MPa
Y	Χαμηλή	Έως 1,25MPa
Z	Πολύ χαμηλή	Έως 0,5MPa

- Μεθοδολογία υπολογισμού: Εάν η μέθοδος που εφαρμόστηκε για τον υπολογισμό του δείκτη PCR είναι η εμπειρική, επιλέγεται η κωδικοποίηση U (Using Aircraft Method). Εάν η μέθοδος που εφαρμόστηκε είναι υπολογιστική, χρησιμοποιείται η κωδικοποίηση T (Technical Aircraft Method).



Εικόνα 3.3 Έκφραση του δείκτη PCR



Εικόνα 3.4 Απεικόνιση αλληλεπίδρασης του δείκτη ACR με τον δείκτη PCR

3.4.2 Δείκτης Αθροιστική Φθοράς – CDF (Cumulative Damage Factor)

Για την αξιολόγηση της φέρουσας ικανότητας της διατομής του οδοστρώματος, είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη η αθροιστική φθορά που προκαλείται από τους διαφορετικούς τύπους αεροσκαφών που συνθέτουν την κυκλοφορία.

Ο δείκτης αθροιστικής φθοράς CDF (Cumulative Damage Factor) δηλώνει το μέγεθος της καταπόνησης που έχει δεχθεί η διατομή του οδοστρώματος σε σχέση με τη διάρκεια ζωής του. Εκφράζεται ως ο λόγος των προβλεπόμενων καλύψεων-διελεύσεων των αεροσκαφών της κυκλοφορίας του αεροδρομίου προς τον συνολικό αριθμό καλύψεων-διελεύσεων έως την αστοχία του οδοστρώματος (Fabre, 2022) (FAA, 2022).

$$CDF = \frac{\text{Αριθμός εφαρμοσμένων καλύψεων – διελεύσεων της κυκλοφορίας}}{\text{Αριθμός καλύψεων – διελεύσεων έως την αστοχία του οδοστρώματος}}$$

Όπου μία κάλυψη-διέλευση θεωρείται μία εφαρμογή της μέγιστης καταπόνησης λόγω συγκεντρωμένου φορτίου στη διατομή του οδοστρώματος (Fabre, 2022).

Για την τιμή του δείκτη CDF ισχύει η αρχή Miner κατά την οποία:

$CDF = CDF_1 + CDF_2 + \dots + CDF_N$, όπου $i = 1 \dots N$ η τιμή του δείκτη CDF για κάθε ένα αεροσκάφος της κυκλοφορίας.

3.4.3 Ερμηνεία του δείκτη CDF

Η ερμηνεία του δείκτη CDF γίνεται μέσω της σύγκρισης της τιμής του με την μονάδα.

- $CDF = 1$, η διατομή του οδοστρώματος θα αντέξει για όλη την περίοδο σχεδιασμού του.
- $CDF < 1$, η διατομή του οδοστρώματος στο τέλος της περιόδου σχεδιασμού του θα έχει επιπλέον εναπομένουσα ζωή και ο δείκτης CDF θα εκφράσει το μέγεθος της χρήσης από την αρχικώς σχεδιασμένη ζωή του οδοστρώματος.
- $CDF > 1$, η διατομή του οδοστρώματος θα αστοχήσει πριν το τέλος της περιόδου σχεδιασμού του.

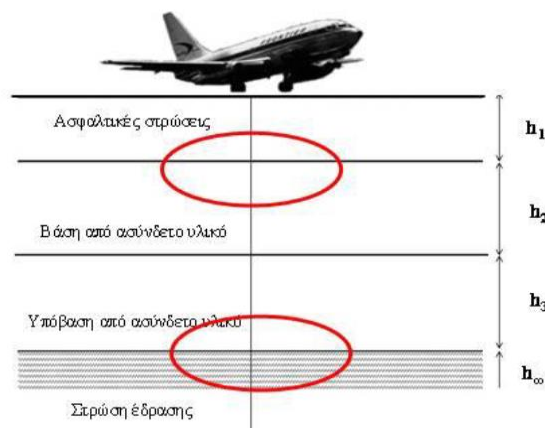
Η χρήση του όρου αστοχία οδοστρώματος/διατομής οδοστρώματος σημαίνει ότι έχει αστοχήσει τουλάχιστον μία από τις στρώσεις που σχηματίζουν την τελική διατομή. Επομένως, για να θεωρηθεί ότι ένα οδοστρώμα έχει αστοχήσει, αρκεί να υπάρξει αστοχία της μίας μόνο στρώσης και όχι ολόκληρης της διατομής.

Εφόσον η τιμή του δείκτη CDF είναι γνωστή, είναι πλέον δυνατό να καταγραφεί το αεροσκάφος που προκαλεί τη μέγιστη φθορά, το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί στην εκτίμηση του δείκτη PCR.

3.4.4 Κρίσιμες θέσεις αστοχίας

Για τα εύκαμπτα οδοστρώματα, οι κρίσιμες θέσεις αστοχίας είναι δύο. Η πρώτη είναι ο πυθμένας των ασφαλτικών στρώσεων, όπου μπορεί να προκύψει αστοχία λόγω κόπωσης του υλικού από την αναπτυσσόμενη οριζόντια εφελκυστική παραμόρφωση, και η δεύτερη είναι η επιφάνεια της στρώσης έδρασης, όπου εμφανίζεται κίνδυνος αστοχίας της στρώσης έδρασης λόγω των παραμενουσών παραμορφώσεων από την αναπτυσσόμενη κατακόρυφη παραμόρφωση. Λόγω της σημασίας των κρίσιμων θέσεων στην εναπομένονσα ζωή του οδοστρώματος, ο δείκτης CDF υπολογίζεται τόσο για τις ασφαλτικές στρώσεις (CDF_{HMA}), όσο και για τη στρώση έδρασης (CDF_{SUB}) (Loizos, Armeni, & Plati, 2021).

Οι κρίσιμες θέσεις αστοχίας εύκαμπτου οδοστρώματος αεροδρομίου παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.5.



Εικόνα 3.5 Κρίσιμες θέσεις διατομής εύκαμπτου οδοστρώματος αεροδρομίων (Λοΐζος & Πλατή, 2021)

3.4.5 Εμπειρική Μέθοδος Υπολογισμού – Using Aircraft Method

Η εμπειρική μέθοδος υπολογισμού του δείκτη PCR μπορεί να εφαρμοστεί στις περιπτώσεις όπου δεν είναι δυνατή η εφαρμογή της υπολογιστικής μεθόδου. Δεν χαρακτηρίζεται ως αναλυτική μέθοδος και για αυτό συστήνεται στους αρμόδιους φορείς των αεροδρομίων να είναι ιδιαίτερα προσεκτικοί κατά την εφαρμογή της.

Η βασική αρχή της μεθόδου είναι ότι συγκεντρώνοντας την τιμή του δείκτη ACR από τους τύπους αεροσκαφών που εξυπηρετεί το εξεταζόμενο οδόστρωμα, επιλέγεται ο τύπος αεροσκάφους με τη μεγαλύτερη τιμή ACR, η οποία καταγράφεται ως τιμή του δείκτη PCR.

Η εφαρμογή της εμπειρικής μεθόδου γίνεται με τα ακόλουθα βήματα.

- 1) Χαρακτηρισμός του οδοστρώματος ως εύκαμπτο (F) ή δύσκαμπτο (R).
- 2) Επιλογή της κατηγορίας εδαφικής αντοχής με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία για τη διατομή. Σε περίπτωση που τα στοιχεία της διατομής είναι ελλιπή γίνεται θεώρηση ότι η κατηγορία εδαφικής αντοχής είναι Μέτρια (B) ή Χαμηλή (C).
- 3) Εύρεση, από την εξυπηρετούμενη κυκλοφορία, του αεροσκάφους με τη μέγιστη τιμή του δείκτη ACR. Η τιμή του δείκτη ACR είναι γνωστή για κάθε αεροσκάφος από τη κατασκευάστρια εταιρεία και αναγράφεται στα εγχειρίδια ACAP (Airplane Characteristics of Airport Planning). Σε περίπτωση που δεν είναι διαθέσιμη, υπάρχει η δυνατότητα υπολογισμού σύμφωνα με τις οδηγίες του ICAO (ICAO, 2018).
- 4) Ορισμός της αριθμητικής τιμής του δείκτη PCR. Η τιμή του υψηλότερου ACR, μεταξύ των αεροσκαφών που συνθέτουν την κυκλοφορία, ορίζεται ως η αριθμητική τιμή του δείκτη PCR.
- 5) Προσδιορισμός κατηγορίας μέγιστης πίεσης των ελαστικών (W, X, Y, Z). Εάν, στα εύκαμπτα οδοστρώματα, δεν είναι διαθέσιμα στοιχεία για την πίεση των ελαστικών που χρησιμοποιούν το οδόστρωμα προτείνεται η επιλογή της μέσης κατηγορίας (X). Στα δύσκαμπτα οδοστρώματα, λόγω της μεγαλύτερης αντοχής του σκυροδέματος σε σχέση με την άσφαλτο, προτείνεται η επιλογή της υψηλής κατηγορίας (W).
- 6) Χαρακτηρισμός της μεθοδολογίας προσδιορισμού του δείκτη PCR. Η μέθοδος υπολογισμού που ακολουθήθηκε είναι η εμπειρική, επομένως χρησιμοποιείται η κωδικοποίηση U (Using).

3.4.6 Υπολογιστική Μέθοδος Αξιολόγησης – Technical Evaluation Method

Κατά την υπολογιστική μέθοδο λαμβάνονται υπόψη δεδομένα όπως η ετήσια κυκλοφορία των αεροσκαφών, η διατομή του οδοστρώματος και τα μέτρα ελαστικότητας των

στρώσεων της, η ενδεχόμενη αύξηση της κυκλοφορίας, καθώς και άλλοι παράγοντες που σχετίζονται με την καταπόνηση που προκαλούν οι εξυπηρετούμενοι τύποι αεροσκαφών στο οδόστρωμα.

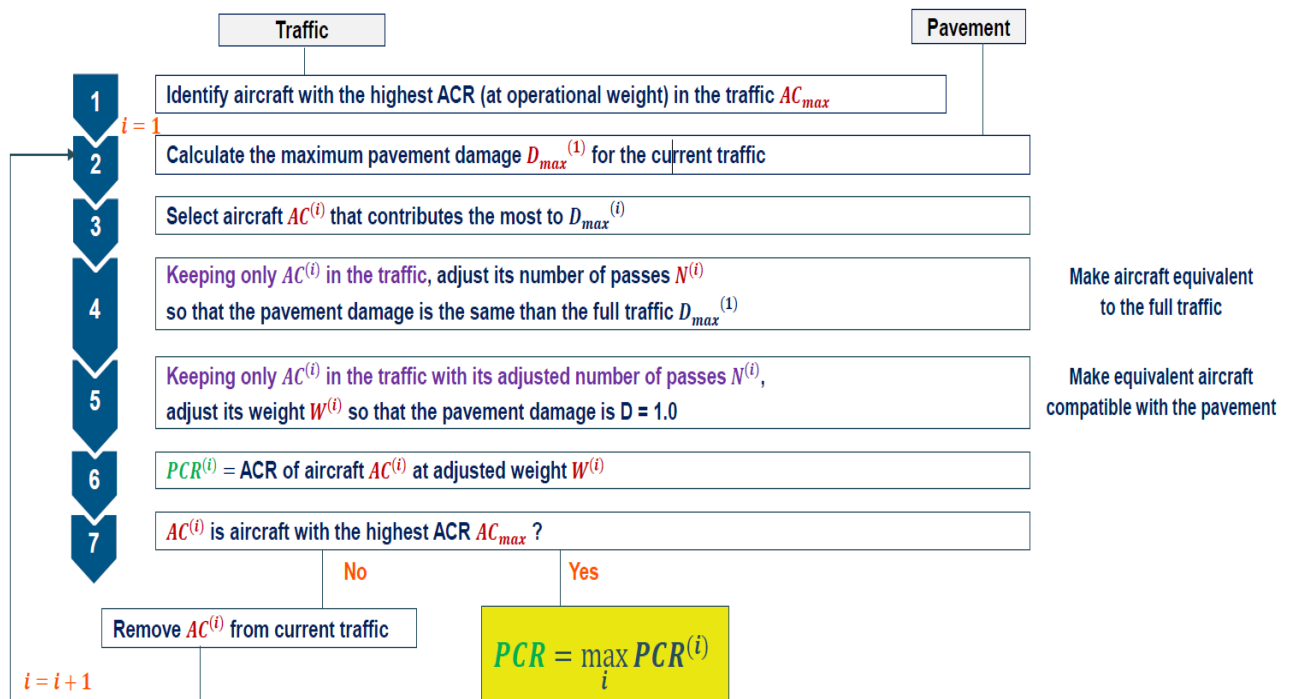
Η εύρεση του δείκτη PCR συμβαδίζει με τον δείκτη αθροιστικής φθοράς CDF, ο οποίος ακολουθεί την αρχή Miner:

$CDF = CDF_1 + CDF_2 + \dots + CDF_N$, όπου $i = 1 \dots N$ η τιμή του δείκτη CDF για κάθε ένα αεροσκάφος της κυκλοφορίας.

Έτσι:

- Εάν $CDF_{οδ/τος} \leq 1$, δεν εφαρμόζεται κάποιος περιορισμός στο βάρος κανενός αεροσκάφους της εξεταζόμενης κυκλοφορίας.
- Εάν $CDF_{οδ/τος} > 1$, θα χρειαστεί να επιβληθούν περιορισμοί σε τουλάχιστον ένα αεροσκάφος από την εξεταζόμενη κυκλοφορία.

Η προτεινόμενη διαδικασία της μεθόδου, όπως αυτή έχει οριστεί από τον ICAO, φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα ροής.



Εικόνα 3.6 Διάγραμμα ροής υπολογισμού του δείκτη PCR (Fabre, 2022)

Εφαρμόζοντας τη μέθοδο κατά τα προβλεπόμενα βήματα, σχηματίζεται η κωδικοποίηση του δείκτη PCR και οι αρχές του αεροδρομίου αποκτούν πλέον εικόνα για την έκφραση της φέρουσας ικανότητας του οδοστρώματος. Η υπολογιστική μέθοδος θεωρείται πολύ πιο ακριβής και λεπτομερής σε σχέση με την εμπειρική και η εφαρμογή της προτιμάται όταν είναι εφικτή (Honey & Crislip, 2023).

Η διαδικασία υπολογισμού του δείκτη PCR περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

- 1) Καταγραφή των στοιχείων του οδοστρώματος όπως: τα μέτρα ελαστικότητας και τα πάχη των επιμέρους στρώσεων του οδοστρώματος, καθώς και η εξυπηρετούμενη και μελλοντική κυκλοφορία αεροσκαφών.
- 2) Ορισμός των τύπων αεροσκαφών που συνθέτουν την κυκλοφορία, καταγράφοντας τις ετήσιες απογειώσεις, το βάρος των αεροσκαφών και τη διάρκεια της περιόδου σχεδιασμού.
- 3) Προσδιορισμός του δείκτη ACR για τον κάθε εξυπηρετούμενο τύπο αεροσκάφους, καταγράφοντας την μέγιστη τιμή του δείκτη από όλη τη σύνθεση της κυκλοφορίας.
- 4) Υπολογισμός της μέγιστης τιμής του δείκτη CDF λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των τύπων αεροσκαφών που επιχειρούν στο οδόστρωμα.
- 5) Καταγραφή του αεροσκάφους με τη μεγαλύτερη συνεισφορά στην τιμή του δείκτη CDF και χαρακτηρισμός του ως κρίσιμο αεροσκάφος. Από την εφαρμογή αυτού του βήματος και έπειτα, τα υπόλοιπα αεροσκάφη που συνθέτουν την εξυπηρετούμενη κυκλοφορία δεν λαμβάνονται υπόψη.
- 6) Αναγωγή των ετησίων απογειώσεων του κρίσιμου αεροσκάφους έως ότου η μέγιστη φθορά η οποία προκαλείται από αυτό να ισούται με τη μέγιστη τιμή του δείκτη CDF της σύνθεσης αεροσκαφών, όπως αυτή προέκυψε στο βήμα 4.
- 7) Προσαρμογή του φορτίου του κρίσιμου αεροσκάφους, ώστε η τιμή του δείκτη αθροιστικής μάζας CDF να είναι $CDF = 1$ για τον αριθμό των ετήσιων απογειώσεων του βήματος 6. Το φορτίο αυτό αποτελεί το μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο του κρίσιμου αεροσκάφους MAGW (Maximum Allowable Gross Weight).
- 8) Υπολογισμός της τιμής του δείκτη ACR για το κρίσιμο αεροσκάφος, λαμβάνοντας υπόψη το μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος του όπως αυτό υπολογίστηκε στο βήμα

6. Η τιμή που προκύπτει για τον δείκτη ACR καταγράφεται ως αριθμητική τιμή για τον δείκτη PCR(i).
- 9) Στην περίπτωση που η τιμή του δείκτη ACR του κρίσιμου αεροσκάφους, υπολογίζοντας με το μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο, ισούται με τη μέγιστη τιμή του ACR για το ίδιο αεροσκάφος (με το φορτίο λειτουργίας) του βήματος 3, τότε η τιμή αυτή ορίζεται ως η αριθμητική τιμή του δείκτη PCR.
- 10) Εάν δεν ισχύει η συνθήκη του βήματος 9, τότε το κρίσιμο αεροσκάφος εξαιρείται από την κυκλοφορία των αεροσκαφών και έτσι διαμορφώνεται μία νέα απομειωμένη σύνθεση κυκλοφορίας.
- 11) Με τη νέα κυκλοφορία που διαμορφώθηκε στο βήμα 10 γίνεται υπολογισμός του δείκτη CDF και στη συνέχεια γίνεται ο ορισμός του νέου κρίσιμου αεροσκάφους.
- 12) Γίνεται επανάληψη των βημάτων 5 έως 9 της μεθόδου. Κατά το βήμα 6, γίνεται χρήση της μέγιστης τιμής του CDF, όπως αυτή υπολογίστηκε σύμφωνα με την αρχική σύνθεση της κυκλοφορίας των αεροσκαφών, ώστε να υπολογιστούν οι ισοδύναμες ετήσιες απογειώσεις για την απομειωμένη σύνθεση της κυκλοφορίας.
- 13) Η αριθμητική τιμή του δείκτη PCR ορίζεται ως η μέγιστη τιμή των δεικτών PCR(i) της παραπάνω διαδικασίας.

3.4.7 Μέθοδος FAA για την εκτίμηση του PCR

Δεδομένου ότι δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη μεθοδολογία εκτίμησης του PCR, η FAA έχει αναπτύξει σχετική μεθοδολογία λαμβάνοντας υπόψη τις βασικές αρχές σχεδιασμού και αξιολόγησης οδοστρωμάτων αεροδρομίων (FAA, 2022). Η εφαρμογή της υπόψη μεθοδολογίας πραγματοποιείται μέσω του λογισμικού FAARFIELD 2.0, το οποίο αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για τις αρχές ενός αεροδρομίου. Κατά την εφαρμογή, ο μελετητής εισάγει δεδομένα όπως τους τύπους αεροσκαφών που επιχειρούν στο εξεταζόμενο οδόστρωμα και τα πάχη και τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά της διατομής του. Στα περισσότερα εισαγόμενα δεδομένα ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να διαμορφώσει ξεχωριστά παραμέτρους, όπως το φορτίο ενός αεροσκάφους και η ετήσια αύξηση της κυκλοφορίας. Τα εξαγόμενα αποτελέσματα δίνουν στοιχεία τα οποία περιλαμβάνουν την τιμή των δεικτών PCR, ACR, CDF στρώσης έδρασης, CDF ασφαλικής στρώσης. Οι βασικές λειτουργίες που εξυπηρετεί το FAARFIELD 2.0 είναι οι τέσσερις παρακάτω.

- Υπολογισμός δείκτη PCR
- Υπολογισμός απαιτήσεων συμπίκνωσης στρώσης έδρασης
- Σχεδιασμός διατομής
- Προσδιορισμός διάρκειας ζωής διατομής

Οι μονάδες μέτρησης του λογισμικού είναι είτε στο μετρικό σύστημα είτε στο σύστημα μέτρησης των Η.Π.Α. Στην Εικόνα 3.7 παρουσιάζονται στοιχεία από το περιβάλλον εργασίας του λογισμικού FAARFIELD 2.0.

The screenshot shows the 'Section' window in the FAARFIELD 2.0 software. The interface includes a menu bar at the top, a left-hand 'Explorer' pane, and a main workspace divided into several sections.

Section Information:

- Job Name: Airport 5
- Section Name: New Section 1
- Life: (dropdown menu)
- Run: (button)
- Include in Summary Report: Add To Batch:

Pavement Layers Table:

Material	Thickness (mm)	E (MPa)	CBR
P-401/P-403 HMA Surface	200	1,378.95	
P-209 Crushed Aggregate	250	374.05	
P-154 Uncrushed Aggregate	250	125.17	
Subgrade		82.74	8

Design Life: 20 years. The standard design life for pavement section is 20 years (1 to 50 allowed).

Results: Calculated Life (Years): (empty field). Total thickness to the top of the subgrade: 700 mm.

Traffic Table:

Airplane Name	Gross Taxi Weight (kg)	Annual Departures	Annual Growth (%)	Total Departures	CDF Contributions	CDF Max for Airplane	P/C Ratio	Tire Pressure (kPa)	Percent GW on Gear	Tire Contact Width (mm)	Tire Lee
A320-200 std	73,900	3,402	0	68,040	0.02	0.02	1.26	1378.95	0.95	315	504
A319-100 std	64,400	1,032	0	20,640	0	0	1.26	1192.79	0.95	316	506
A321-100 std	83,400	2,504	0	50,080	0.49	0.49	1.26	1358.27	0.95	337	540
B737-600	65,771	1,180	0	23,600	0	0	1.29	1282.43	0.95	308	496
B737-700	70,307	334	0	6,680	0	0	1.29	1358.27	0.95	310	496

Εικόνα 3.7 Περιβάλλον λογισμικού FAARFIELD 2.0 – Εισαγωγή δεδομένων

3.5 Υπερφόρτωση Εύκαμπτων Οδοστρωμάτων κατά την ACR-PCR

Η έννοια της υπερφόρτωσης εύκαμπτων οδοστρωμάτων στη μέθοδο ACR-PCR σχετίζεται με τα όρια τα οποία καθορίζουν πότε ένα αεροσκάφος με ACR μεγαλύτερο του PCR δύναται να εξυπηρετηθεί. Τα όρια αυτά έχουν τεθεί με στόχο τη βέλτιστη αξιοποίηση του οδοστρώματος, έτσι ώστε να αυξάνεται επιλεκτικά το εύρος της αποδεκτής εξυπηρετούμενης κυκλοφορίας, χωρίς να προκαλείται δυσανάλογη φθορά στο οδόστρωμα που απαιτεί ιδιαίτερα αντισυμβαλλόμενη συντήρηση. Οι προϋποθέσεις για να κριθεί αποδεκτό ένα αεροσκάφος για το οποίο ισχύει η συνθήκη $ACR_{α/φους} > PCR_{οδ/τος}$ είναι οι εξής (FAA, 2022):

- Η τιμή του δείκτη ACR να μην ξεπερνάει το 110% της τιμής του δείκτη PCR.
- Ο αριθμός των κινήσεων των αεροσκαφών υπερφόρτωσης να μην ξεπερνάει το 5% της συνολικής ετήσιας κυκλοφορίας.

Στην περίπτωση που δεν ικανοποιούνται οι παραπάνω προϋποθέσεις, θα πρέπει να γίνει αναλυτική μελέτη ώστε να κριθεί αποδεκτή ή απορριπτή η χρήση του οδοστρώματος από το υπόψη αεροσκάφος.

Η υπερφόρτωση συνιστάται να αποφεύγεται όταν οι καιρικές συνθήκες ευνοούν την αύξηση της φθοράς του οδοστρώματος, όπως είναι ο παγετός ή οι εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες. Επιπλέον, η υπερφόρτωση απαγορεύεται σε περιπτώσεις όπου έχουν εμφανιστεί σημάδια αστοχίας ή έντονης φθοράς στη διατομή του οδοστρώματος.

Η αστοχία των στρώσεων της διατομής ενός οδοστρώματος συνήθως δεν συμβαίνει ακαριαία, εξαίρεση αποτελούν οι πολύ ακραίες και σπάνιες περιπτώσεις, γεγονός που σημαίνει ότι τα οδοστρώματα των αεροδρομίων πρέπει να ελέγχονται λεπτομερώς τακτικά, ώστε να αποφευχθεί ο κίνδυνος μελλοντικής αστοχίας. Έτσι, κρίνεται αναγκαίο να γίνεται έλεγχος του οδοστρώματος μετά από κάθε εξυπηρέτηση υπέρβαρου αεροσκάφους.

4. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΡΙΤΗΡΙΟΥ ΥΠΕΡΦΟΡΤΩΣΗΣ ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ACN-PCN ΚΑΙ ACR-PCR

4.1 Εισαγωγή

Η υπερφόρτωση του οδοστρώματος αποτελεί ένα σημαντικότερο ζήτημα που απασχολεί συχνά τις αρχές ενός αεροδρομίου. Η σωστή αξιολόγηση της αποδεκτής υπερφόρτωσης μπορεί να διευρύνει κατά πολύ την κυκλοφορία που εξυπηρετεί το αεροδρόμιο, αποφέροντας πολλαπλά οικονομικά οφέλη τόσο στο ίδιο το αεροδρόμιο, όσο και στην τοπική οικονομία που επηρεάζει. Αντιθέτως, η λανθασμένη αξιολόγηση της αποδεκτής υπερφόρτωσης οδηγεί σε ιδιαίτερα αυξημένα κόστη συντήρησης, αλλά και σε μειωμένα έσοδα από αεροσκάφη που δεν προσέγγισαν το αεροδρόμιο ενώ θα μπορούσαν. Επομένως, η ορθή αξιολόγηση της δυνατότητας εξυπηρέτησης αεροσκαφών, των οποίων η καταπόνηση που προκαλούν στο οδόστρωμα είναι μεγαλύτερη της υπολογισμένης φέρουσας ικανότητας, κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική.

4.2 Ομοιότητες κριτηρίου υπερφόρτωσης μεταξύ των δύο μεθόδων

Η πρώτη ομοιότητα που εντοπίζεται κατά τη σύγκριση των δύο μεθόδων είναι ότι και στις δύο περιπτώσεις ως υπερφόρτωση ενός οδοστρώματος θεωρείται η συνθήκη $ACN_{α/φους} > PCN_{οδ/τος}$ και $ACR_{α/φους} > PCR_{οδ/τος}$ αντίστοιχα. Η ερμηνεία αυτής της ανίσωσης είναι ότι λόγω της αυξημένης φθοράς που προκαλεί το αεροσκάφος στη διατομή του οδοστρώματος, πρέπει να εφαρμοστούν περιορισμοί, ώστε να μην μειωθεί κατά το μέγιστο δυνατό η εναπομένουσα διάρκεια ζωής του οδοστρώματος και να μην προκληθούν ζημιές στις στρώσεις της διατομής του (FAA, 2014) (FAA, 2022).

Τις περισσότερες φορές, τα οδοστρώματα αεροδρομίων μπορούν να δεχτούν μία εύλογη υπερφόρτωση από την οποία θα προκληθεί σχετικά μικρή αύξηση της φθοράς τους και θα μειωθεί ανάλογα το χρονικό διάστημα στο οποίο απαιτείται η συντήρησή τους (Πλατή & Λοΐζος, 2021).

Σύμφωνα με τη μέθοδο ACN-PCN, οι βασικές προϋποθέσεις που πρέπει να ικανοποιεί ένα αεροσκάφος υπερφόρτωσης, προκειμένου να κριθεί αποδεκτό για να εξυπηρετηθεί από το οδόστρωμα είναι οι παρακάτω.

- Περιστασιακές κινήσεις του υπέρβαρου αεροσκάφους με ACN μέχρι 10% μεγαλύτερο από την τιμή του PCN εύκαμπτου οδοστρώματος.
- Για διατομές οδοστρώματος των οποίων ο τύπος του οδοστρώματος δεν είναι γνωστός, το αποδεκτό όριο είναι ο ACN να είναι μέχρι 5% μεγαλύτερος από τον δείκτη PCN του εύκαμπτου οδοστρώματος. Η προϋπόθεση αυτή ισχύει για περιστασιακές κινήσεις όπως αναφέρθηκε παραπάνω.
- Οι ετήσιες κινήσεις των υπέρβαρων αεροσκαφών δεν θα πρέπει να ξεπερνούν το 5% των συνολικών ετήσιων κινήσεων της κυκλοφορίας που εξυπηρετεί το οδόστρωμα.

Ομοίως, για να θεωρηθεί αποδεκτό ένα υπέρβαρο αεροσκάφος στη μέθοδο ACR-PCR ισχύουν οι εξής προϋποθέσεις:

- Περιστασιακές κινήσεις του υπέρβαρου αεροσκάφους με δείκτη ACR μεγαλύτερο του PCR το πολύ κατά 10% της τιμής του PCR.
- Οι ετήσιες κινήσεις των υπέρβαρων αεροσκαφών πρέπει να είναι λιγότερες από το 5% των συνολικών ετήσιων κινήσεων που εξυπηρετεί το αεροδρόμιο.

Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται οι όμοιες προϋποθέσεις του κριτηρίου υπερφόρτωσης των δύο μεθόδων.

Πίνακας 4.1 Ομοιότητες κριτηρίου υπερφόρτωσης μεταξύ των μεθόδων ACN-PCN και ACR-PCR

ACN-PCN	ACR-PCR
$ACN_{α/φους} < 110\% PCN_{οδ/τος}$	$ACR_{α/φους} < 110\% PCR_{οδ/τος}$
Κινήσεις υπέρβαρων α/φών < 5% συνολικών ετήσιων κινήσεων του αεροδρομίου	Κινήσεις υπέρβαρων α/φών < 5% συνολικών ετήσιων κινήσεων του αεροδρομίου

Επιπλέον, και στις δύο μεθόδους συστήνεται η απαγόρευση της υπερφόρτωσης σε περιπτώσεις ακραίων καιρικών συνθηκών όπως είναι οι καύσωνες, οι καταιγίδες και οι παγετοί. Επίσης, προτείνεται η επικαιροποίηση της φέρουσας ικανότητας μετά από κάθε εξυπηρέτηση υπέρβαρων αεροσκαφών.

4.3 Διαφορές κριτηρίου υπερφόρτωσης μεταξύ των δύο μεθόδων

Οι διαφορές που εμφανίζονται μεταξύ των δύο μεθόδων στο κριτήριο της υπερφόρτωσης, σε θεωρητικό επίπεδο, είναι μικρής κλίμακας.

Μια βασική διαφορά είναι ότι, κατά τη μέθοδο ACN-PCN, οι περιστασιακές κινήσεις των υπέρβαρων αεροσκαφών μπορεί να είναι μεγαλύτερες το πολύ κατά 10% στα εύκαμπτα οδοστρώματα και 5% στα δύσκαμπτα. Αυτή η διαφοροποίηση στην ανοχή υπέρβασης μεταξύ εύκαμπτου και δύσκαμπτου οδοστρώματος δεν συμβαίνει στη μέθοδο ACR-PCR, όπου το αντίστοιχο ποσοστό είναι 10% ανεξαρτήτως εάν το εξεταζόμενο οδόστρωμα είναι εύκαμπτο ή δύσκαμπτο.

Μια επιπλέον διαφορά είναι στο θεωρητικό υπόβαθρο της κάθε μεθόδου. Η μέθοδος ACN-PCN βασίζεται στις αρχές της μεθόδου CBR, ενώ η ACR-PCR βασίζεται στην έννοια της φθοράς μέσω του δείκτη CDF (Fabre, 2018).

4.4 Σύνοψη

Όπως έχει αναφερθεί, οι δύο μέθοδοι παρουσιάζουν αρκετές διαφορές ως προς την ακρίβεια και τη θεώρηση ορισμένων βασικών παραγόντων. Παρ' όλα αυτά, η έννοια της υπερφόρτωσης και το εύρος ανοχής που επιτρέπουν και οι δύο μέθοδοι είναι ένα από τα κοινά τους σημεία (White, 2021). Η μόνη ουσιαστική διαφορά που παρατηρείται είναι ότι, όσον αφορά τις κινήσεις των υπέρβαρων τύπων αεροσκαφών, στη μέθοδο ACR-PCR δεν διαχωρίζονται τα εύκαμπτα από τα δύσκαμπτα οδοστρώματα. Επίσης, η μεγαλύτερη ακρίβεια της μεθόδου ACR-PCR αναμένεται να δώσει αναλυτικότερη και πιο αντικειμενική εικόνα της φθοράς που έχει προκληθεί μετά το πέρας της υπέρβαρης κυκλοφορίας. Στο επόμενο κεφάλαιο θα ελεγχθεί το κριτήριο υπερφόρτωσης και θα γίνει αναλυτική σύγκριση μέσω της εφαρμογής ενός παραδείγματος.

5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΡΙΤΗΡΙΟΥ ΥΠΕΡΦΟΡΤΩΣΗΣ ΣΕ ΕΥΚΑΜΠΤΟ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ

5.1 Εισαγωγή

Στην παρούσα εργασία, για τη σύγκριση της υπερφόρτωσης μεταξύ των δύο μεθόδων, συλλέχθηκαν στοιχεία αεροπορικών κινήσεων από αεροδρόμια του ελλαδικού χώρου, με στόχο να διαμορφωθεί μια ενδεικτική εικόνα της κυκλοφορίας των ελληνικών περιφερειακών αεροδρομίων. Για το υπόψη σενάριο κυκλοφορίας ακολούθησε η διαστασιολόγηση της διατομής ενός εύκαμπτου οδοστρώματος, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την εφαρμογή των δύο μεθόδων.

Με δεδομένα τα χαρακτηριστικά της διατομής και της εξυπηρετούμενης κυκλοφορίας, αρχικά έγινε εκτίμηση του δείκτη PCN του οδοστρώματος. Έπειτα, ακολουθώντας τις διεθνείς οδηγίες του ICAO, υπολογίστηκαν τα κριτήρια υπερφόρτωσης του οδοστρώματος και με βάση αυτά επιλέχθηκαν τα αντίστοιχα υπέρβαρα αεροσκάφη. Ακολούθησε η διερεύνηση της επίδρασης κάθε αεροσκάφους ξεχωριστά, μέσω της εκτίμησης της φθοράς για τις δύο κρίσιμες θέσεις του οδοστρώματος. Ακολουθώντας την ίδια συλλογιστική πορεία, έγινε εκτίμηση του δείκτη PCR και τέθηκαν τα όρια υπερφόρτωσης του οδοστρώματος. Έτσι, σύμφωνα με τις καινούργιες προδιαγραφές, επιλέχθηκαν τα αεροσκάφη της νέας υπέρβαρης κυκλοφορίας.

Τελικό βήμα της μελέτης, ήταν σύγκριση μεταξύ των αποδεκτών υπέρβαρων αεροσκαφών που προέκυψαν από την κάθε κυκλοφορία και της αντίστοιχης φθοράς που προκαλεί το καθένα από αυτά στη διατομή του οδοστρώματος. Τα συμπεράσματα της σύγκρισης αυτής παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.

5.2 Στοιχεία ανάλυσης

5.2.1 Θεώρηση κυκλοφορίας

Η θεώρηση της κυκλοφορίας που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα ανάλυση έγινε με στόχο να εμπεριέχονται σε αυτή αεροσκάφη τα οποία επιχειρούν σε αεροδρόμια του ελλαδικού χώρου. Για τον λόγο αυτό, ελήφθησαν υπόψη στοιχεία από τα περιβαλλοντικά δελτία των αεροδρομίων Θεσσαλονίκης, Ρόδου, Χανίων, Κέρκυρας, Σαντορίνης και Μυκόνου για το έτος 2019 (Fraport Greece). Σημειώνεται ότι ο λόγος για τον οποίον δεν επιλέχθηκε πιο πρόσφατη χρονολογία είναι ότι λόγω της πανδημίας του Covid-19, η αεροπορική κίνηση ήταν κατακόρυφα μειωμένη κατά τα έτη 2020-2021. Μέσω των

επιλεγμένων περιβαλλοντικών δελτίων έγινε η καταγραφή της κίνησης του κάθε αεροδρομίου. Η αεροπορική κίνηση του κάθε αεροδρομίου παρουσιάζεται στους πίνακες που παρατίθενται στο παράτημα.

Μετά τη συγκέντρωση της κίνησης αεροσκαφών των παραπάνω αεροδρομίων, ακολούθησε η ανάλυση τους με στόχο να εντοπιστούν οι τύποι αεροσκαφών που επιχειρούν με μεγαλύτερη συχνότητα σε αυτά. Κατά την ανάλυση αυτή, συγκεντρώθηκαν αθροιστικά από όλα τα αεροδρόμια οι κινήσεις όλων των αεροσκαφών ανά τύπο αεροσκάφους. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν απεικονίζονται στον Πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1 Κατάταξη συνηθέστερων τύπων αεροσκαφών κατά φθίνουσα σειρά

Α.Α.	Συνολικά	
	Τύπος Αεροσκάφους	Συνολική Κίνηση
1	A320	44705
2	B73H	37819
3	A32A	8995
4	B738	8879
5	A319	8503
6	A321	6816
7	DH8D	6057
8	B712	4387
9	AT72	4187
10	AT45	4130
11	AT75	4008
12	A32B	3228
13	B733	2058
14	B73W	1400
15	A21N	914
16	A20N	802
17	C56X	593
18	DH8A	553
19	AT43	538
20	EC35	363
21	AT73	348
22	E190	346
23	B73C	343
24	B462	294
25	B737	288
26	CL60	288
27	B76W	278
28	EC20	197
29	AS55	163
30	A109	126
31	D62	96
32	C550	38

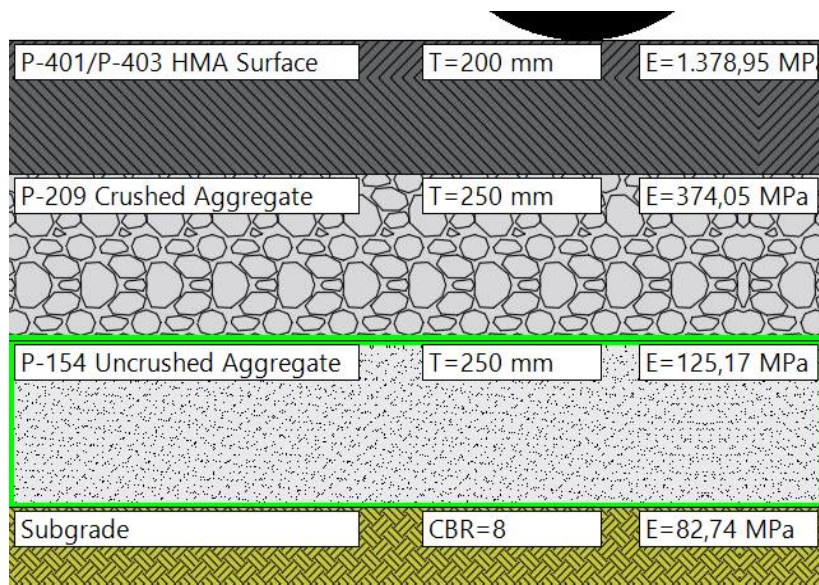
Με αυτόν τον τρόπο σχηματίστηκε μία εικόνα της συνηθέστερης κίνησης αεροσκαφών σε κεντρικά περιφερειακά αεροδρόμια της Ελλάδος. Από την κατάταξη αυτή επιλέχθηκαν ενδεικτικά αεροσκάφη που παρουσιάζουν υψηλή συχνότητα κίνησης. Η επιλογή του αριθμού των διελεύσεων έγινε με βάση τα στοιχεία κινήσεων αεροσκαφών των αεροδρομίων, η οποία όμως σε πολλά αεροσκάφη καταγράφηκε μειωμένη, καθώς οι ίδιοι τύποι αεροσκαφών πραγματοποιούν πολύ λιγότερες διελεύσεις στα υπόλοιπα, λιγότερο τουριστικά, περιφερειακά αεροδρόμια της χώρας. Η τελική κυκλοφορία αεροσκαφών που επιλέχθηκε απεικονίζεται στον Πίνακα 5.2. Η υπόψη κυκλοφορία χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση των δεικτών PCN και PCR.

Πίνακας 5.2 Κυκλοφορία σεναρίου μελέτης

Τύπος Αεροσκάφους	Ετήσιες Διελεύσεις	Τροχός	Άξονας
A321-100 std	2504	Διπλός	Μονός
A320-200 twin std	3402		
B737-700	334		
B737-600	1180		
A319-100 std	1032		
A318-100 std	252		
B737-100	288		
A310-300	202	Διπλός	Διπλός

5.2.2 Θεώρηση διατομής

Το επόμενο βήμα μετά τη διαμόρφωση της κίνησης αεροσκαφών ήταν η επιλογή της διατομής του οδοστρώματος που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση των δεικτών PCN και PCR. Προς τούτο ελήφθη υπόψη η κυκλοφορία του Πίνακα 5.2 και πραγματοποιήθηκε σχεδιασμός της διατομής με την αναλυτική μέθοδο της FAA. Η διατομή που προέκυψε αποτελείται από ασφαλτικές στρώσεις πάχους 20cm, στρώση βάσης από ασύνδετο αμμοχάλικο πάχους 25cm και στρώση υπόβασης από ασύνδετο αμμοχάλικο πάχους 25cm (Εικόνα 5.1). Η στρώση έδρασης θεωρήθηκε ότι έχει τιμή CBR 8%, κατατάσσοντας την συντηρητικά και υπέρ της ασφαλείας στην κατηγορία εδαφικής αντοχής C.



Εικόνα 5.1 Διατομή μελέτης εύκαμπτου οδοστρώματος

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν κατά τον σχεδιασμό της διατομής είναι τα τυπικά υλικά της FAA (Πίνακας 5.3).

Πίνακας 5.3 Χαρακτηριστικά στρώσεων της επιλεγμένης διατομής – Συμβολισμός υλικών σύμφωνα με την FAA (FAA, 2014)

Στρώση	Συμβολισμός υλικών κατά την FAA	Πάχος (mm)	Μέτρο Ελαστικότητας
Ασφαλτική στρώση	P-401/P-403 HMA Surface	200	E=1378,95 MPa
Βάση	P-209 Crushed Aggregate	250	E=374,05 MPa
Υπόβαση	P-154	250	E=125,17 MPa
Στρώση έδρασης	Subgrade	-	E=82,74 MPa

5.3 Εφαρμογή κριτηρίου υπερφόρτωσης κατά τη μέθοδο ACN-PCN

5.3.1 Εισαγωγή

Αρχικός στόχος της εφαρμογής του κριτηρίου υπερφόρτωσης είναι να σχηματιστεί μία αποδεκτή κυκλοφορία υπέρβαρων αεροσκαφών κατά τη μέθοδο ACN-PCN, η οποία στη συνέχεια θα συγκριθεί με την αντίστοιχη κυκλοφορία υπέρβαρων αεροσκαφών που θα προκύψει εφαρμόζοντας το κριτήριο υπερφόρτωσης κατά τη μέθοδο ACR-PCR.

5.3.2 Υπολογισμός δείκτη ACN

Ο υπολογισμός του δείκτη ACN των εξυπηρετούμενων τύπων αεροσκαφών πραγματοποιείται σύμφωνα με τη διαδικασία που έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 2, την οποία εφαρμόζει και το λογισμικό ICAO – ACN. Χρησιμοποιώντας ως δεδομένα την επιλεγμένη κυκλοφορία αεροσκαφών προέκυψαν οι τιμές του δείκτη ACN για τις τέσσερις εδαφικές κατηγορίες (Πίνακας 5.4).

Πίνακας 5.4 Τιμές του δείκτη ACN για την επιλεγμένη κυκλοφορία

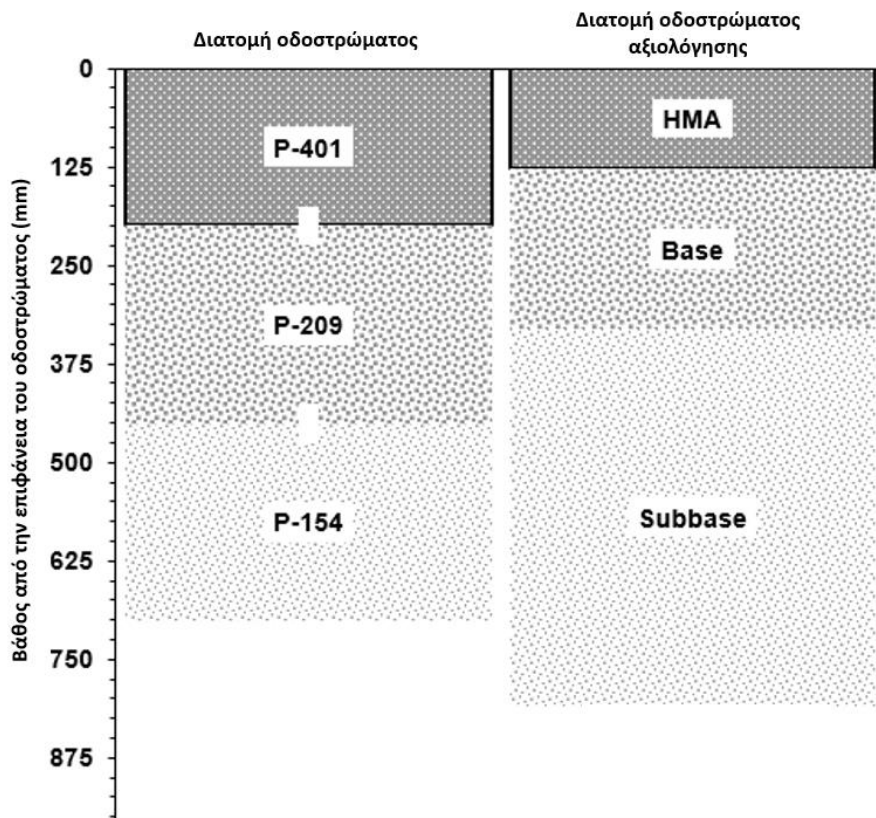
Τύπος Αεροσκάφους	ACN (A)	ACN (B)	ACN (C)	ACN (D)
A321-100 std	45,2	47,5	52,2	58,9
A320-200 twin std	38,5	40,0	44,4	50,2
B737-700	36,3	38,1	42,1	47,2
B737-600	33,5	35,0	38,6	43,7
A319-100 std	31,9	32,8	36,4	42,1
A318-100 std	25,8	26,8	29,6	34,8
B737-100	24,9	25,7	29,3	33,1
A310-300	37,7	41,8	50,5	65,8

Ο υπολογισμός των τιμών ACN ενός αεροσκάφους μπορεί να γίνει και μέσω του λογισμικού COMFAA, στη βάση δεδομένων του οποίου εμπεριέχεται η πλειοψηφία των τύπων αεροσκαφών που συναντώνται στα διεθνή αεροδρόμια.

5.3.3 Υπολογισμός δείκτη PCN

Μετά την καταγραφή των τιμών του δείκτη ACN για τους τύπους αεροσκαφών της κυκλοφορίας υπολογίστηκε ο δείκτης PCN της εξεταζόμενης διατομής οδοστρώματος.

Το πάχος αξιολόγησης εκτιμήθηκε ίσο με 809mm, δεδομένου ότι η κυκλοφορία περιέχει τουλάχιστον ένα αεροσκάφος με τέσσερις ή περισσότερους τροχούς στο κύριο φορείο. Σύμφωνα με την FAA, λόγω της σύνθεσης της κυκλοφορίας, το πάχος των ασφαλικών στρώσεων της διατομής αναφοράς αντιστοιχεί σε 127mm (P-401/3 – 5inches), της βάσης σε 203mm (P-209 – 8inches) και της υπόβασης σε 479mm (P-154) (FAA, 2014). Η διατομή του οδοστρώματος αξιολόγησης απεικονίζεται στην Εικόνα 5.2.



Εικόνα 5.2 Διατομή οδοστρώματος αξιολόγησης κατά τη μέθοδο ACN-PCN

Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας ως δεδομένα το πάχος του οδοστρώματος αξιολόγησης και τα χαρακτηριστικά της κίνησης αεροσκαφών, υπολογίστηκαν οι απαιτούμενες τιμές του δείκτη PCN για τον κάθε τύπο αεροσκάφους εφαρμόζοντας την αντίστοιχη μεθοδολογία της FAA.

Πίνακας 5.5 Πίνακας τιμών ACN-PCN για τη δεδομένη κίνηση αεροσκαφών

ACN - PCN							
A/A	Αεροσκάφος	ACN (C)	Τροχός	Άξονας	Βάρος kg	Ετήσιες Διελύσεις	PCN (C)
1	A321-100 std	52,2	Διπλός	Μονός	83400	2504	65,2
2	A320-200 twin std	44,4			73900	3402	53,4
3	B737-700	42,1			70307	334	49,6
4	B737-600	38,6			65771	1180	44,2
5	A319-100 std	36,4			64400	1032	40,6
6	A318-100 std	29,6			56400	252	30,9
7	B737-100	29,3			50349	288	30,6
8	A310-300	50,5	Διπλός	Διπλός	142900	202	57,1
Evaluation Thickness			809	CBR	8		

Πίνακας 5.6 Τιμές του δείκτη PCN για τη δεδομένη κίνηση αεροσκαφών

Τύπος Αεροσκάφους	PCN
A321-100 std	65
A320-200 twin std	53
B737-700	50
B737-600	44
A319-100 std	41
A318-100 std	31
B737-100	31
A310-300	57

Με βάση τις παραπάνω τιμές, προκύπτει ότι η αριθμητική τιμή του PCN είναι 65. Οι υπόλοιπες τέσσερις παράμετροι που συμπληρώνουν την καταγραφή του δείκτη PCN διαμορφώνονται ως εξής:

- Τύπος οδοστρώματος: F, διότι το οδόστρωμα είναι εύκαμπτο
- Κατηγορία εδαφικής αντοχής: C, επειδή η τιμή του δείκτη CBR είναι 8%
- Μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση ελαστικών: X, ορίζεται η μέση κατηγορία στο 1,5 MPa
- Μέθοδος υπολογισμού που ακολουθήθηκε: T, υπολογιστική μέθοδος σύμφωνα με την FAA.

Επομένως, η έκφραση του δείκτη PCN είναι:

PCN 65/F/C/X/T

5.3.4 Εφαρμογή κριτηρίου υπερφόρτωσης

Έχοντας υπολογίσει την τιμή του δείκτη PCN, ακολούθησε η εφαρμογή του κριτηρίου υπερφόρτωσης, με στόχο σε επόμενο στάδιο να οριστεί μια ενδεικτική αποδεκτή κυκλοφορία υπέρβαρων αεροσκαφών.

Έπειτα, εφαρμόστηκαν οι περιορισμοί των προϋποθέσεων υπερφόρτωσης που αναλύθηκαν στα κεφάλαια 2 και 4. Προκειμένου να υπολογιστεί το ανώτατο όριο της αποδεκτής τιμής του δείκτη ACN, προστέθηκε το 10% της αρχικής τιμής του PCN στην υπάρχουσα τιμή του.

Η τιμή αυτή προέκυψε από τη σχέση:

$$\text{maxACN} = 110\% \text{ PCN}$$

Δεδομένου πλέον ότι η αριθμητική τιμή του δείκτη PCN είναι 65, κάνοντας απλή αντικατάσταση στην παραπάνω σχέση προέκυψε ότι:

$$\text{maxACN} = 72 \text{ (C)}$$

Η επόμενη προϋπόθεση που είναι απαραίτητο να ικανοποιείται είναι ο περιορισμός των διελεύσεων των υπέρβαρων αεροσκαφών. Το μέγιστο ανώτατο όριο κατά τον ICAO έχει οριστεί στο 5% της συμβατικής εξυπηρετούμενης κυκλοφορίας. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, οι συνολικές διελεύσεις είναι 9194 που σημαίνει ότι η υπέρβαρη κυκλοφορία μπορεί να αποτελείται από το πολύ 460 διελεύσεις ετησίως.

Με αυτά τα δύο δεδομένα ολοκληρώνεται η οριοθέτηση της υπέρβαρης κατηγορίας και επόμενο βήμα είναι η επιλογή αποδεκτών υπέρβαρων αεροσκαφών.

Το πρώτο κριτήριο που πρέπει να ικανοποιείται εκφράζεται από την εξής σχέση:

$$\text{overloadACN} < 72 \text{ (C)}$$

Χρησιμοποιώντας ως γνώμονα την παραπάνω σχέση, επιλέχθηκαν οι τέσσερις τύποι αεροσκαφών που φαίνονται στον Πίνακα 5.7.

Πίνακας 5.7 Αεροσκάφη υπέρβαρης κυκλοφορίας με τις αντίστοιχες τιμές του δείκτη ACN

Τύπος Υπέρβαρου Αεροσκάφους	ACN (A)	ACN (B)	ACN (C)	ACN (D)
A300-600 std	48,8	55,1	68	84,9
A340-200 std	52,8	56,9	65,7	88,9
B767-300 ER	48,8	53,9	67	86,7
A340-200 opt	53,5	57,7	70	90,2

5.4 Εφαρμογή κριτηρίου υπερφόρτωσης κατά τη μέθοδο ACR-PCR

5.4.1 Εισαγωγή

Προκειμένου να εφαρμοστεί το κριτήριο υπερφόρτωσης αρχικά απαιτείται εκτίμηση του δείκτη PCR του οδοστρώματος καθώς και προσδιορισμός των τιμών των ACR. Με βάση τα παραπάνω και τηρώντας τις προβλεπόμενες προϋποθέσεις, θα προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας των αποδεκτών υπέρβαρων αεροσκαφών.

5.4.2 Υπολογισμός δείκτη ACR

Οι τιμές του δείκτη ACR του κάθε τύπου αεροσκάφους είναι γνωστές από τις κατασκευάστριες εταιρείες για όλες τις κατηγορίες εδαφικής αντοχής. Σε περίπτωση που δεν είναι γνωστές, μπορεί να υπολογιστούν σύμφωνα με τη μέθοδο που αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3. Στον πίνακα 5.8 φαίνονται οι τιμές του ACR των αεροσκαφών που εξετάστηκαν για όλες τις εδαφικές κατηγορίες, όπως προέκυψαν από τη χρήση του λογισμικού ICAO-ACR.

Πίνακας 5.8 Τιμές του δείκτη ACR για την επιλεγμένη αεροπορική κυκλοφορία

Τύπος Αεροσκάφους	ACR (A)	ACR (B)	ACR (C)	ACR (D)
A321-100 std	399	431	475	535
A320-200 twin std	345	368	400	444
B737-700	321	345	377	422
B737-600	196	319	345	389
A319-100 std	361	473	327	365
A318-100 std	225	246	265	297
B737-100	212	233	253	291
A310-300	340	372	434	573

5.4.3 Υπολογισμός δείκτη PCR

Μετά τον υπολογισμό των δεικτών ACR, ακολούθησε ο προσδιορισμός του δείκτη PCR. Ο δείκτης PCR υπολογίστηκε για διατομή όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 5.1. Σε αντίθεση με τη μέθοδο ACN-PCN, όπου απαιτείται η διαμόρφωση του πάχους αξιολόγησης, κατά τον προσδιορισμό του δείκτη PCR χρησιμοποιούνται τα πραγματικά

πάχη των επιμέρους στρώσεων της εξεταζόμενης διατομής του οδοστρώματος (FAA, 2022).

Με βάση το μέτρο ελαστικότητας της στρώσης έδρασης προέκυψε ότι η κατηγορία εδαφικής αντοχής της διατομής είναι η C, ενώ η μέγιστη αποδεκτή πίεση των ελαστικών συντηρητικά επιλέχθηκε ότι είναι η μέση (X). Κατόπιν, εφαρμόζοντας τη μέθοδο της FAA προέκυψε η ολοκληρωμένη έκφραση του PCR, η οποία είναι:

$$\text{PCR } 492/\text{F}/\text{C}/\text{X}/\text{T}$$

5.4.4 Εφαρμογή κριτηρίου υπερφόρτωσης

Για να σχηματιστεί η επιτρεπτή υπέρβαρη κυκλοφορία αεροσκαφών απαιτείται να υπολογιστεί η μέγιστη αποδεκτή τιμή που αντιστοιχεί στον δείκτη ACR των υπέρβαρων αεροσκαφών. Το πρώτο βασικό κριτήριο που πρέπει να ικανοποιείται είναι ότι ο δείκτης ACR του εξυπηρετούμενου υπέρβαρου αεροσκάφους δεν πρέπει να υπερβαίνει τον PCR του οδοστρώματος για περισσότερο από το 10% του PCR. Επομένως, δεδομένου ότι το 110% του PCR είναι $1,1 \times 492 = 541$, το ανώτατο όριο για την αποδεκτή τιμή του ACR είναι:

$$\text{maxACR} = 541 \text{ (C)}$$

Το δεύτερο βασικό κριτήριο είναι ο περιορισμός της υπέρβαρης κυκλοφορίας αεροσκαφών στο 5% της ετήσιας συνολικής εξυπηρετούμενης κυκλοφορίας. Όπως υπολογίστηκε αντίστοιχα και στη μέθοδο ACN-PCN, οι ετήσιες υπέρβαρες διελεύσεις δεν πρέπει να υπερβαίνουν τις 460.

Έχοντας πλέον γνωστά τα κριτήρια για τη διαμόρφωση της κυκλοφορίας υπερφόρτωσης, ακολούθησε η επιλογή αποδεκτών υπέρβαρων τύπων αεροσκαφών. Η τελική υπέρβαρη κυκλοφορία αποτελείται από τους παρακάτω τύπους.

Πίνακας 5.9 Αεροσκάφη υπέρβαρης κυκλοφορίας με τις αντίστοιχες τιμές του δείκτη ACR κατά τη μέθοδο ACR-PCR

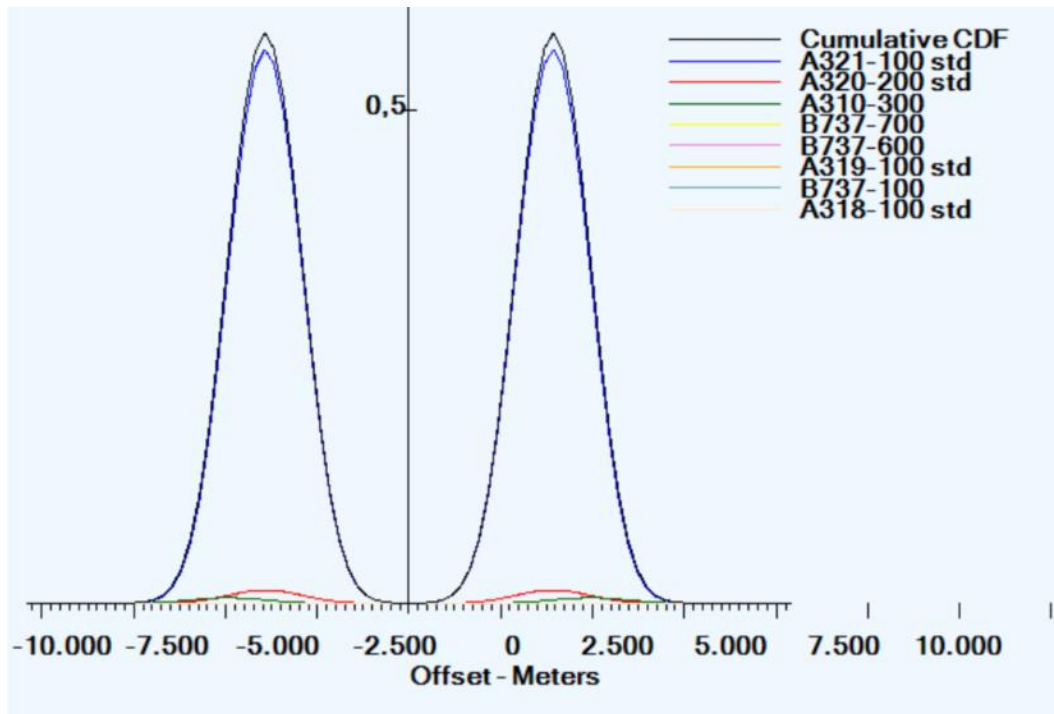
Τύπος Υπέρβαρου Αεροσκάφους	ACR (A)	ACR (B)	ACR (C)	ACR (D)
B737-900 ER	423	460	503	572
B767-200 ER	376	405	508	580
A300-B4 LB	379	424	499	660
A321-200 std	437	471	517	584

5.5 Δείκτης CDF διατομής σχεδιασμού

Η επίδραση της υπέρβαρης κυκλοφορίας στην εξεταζόμενη διατομή προσδιορίστηκε μέσω του δείκτη φθοράς CDF. Για τον σκοπό αυτό αρχικά υπολογίστηκε η φθορά που προκαλείται από την κυκλοφορία για την οποία έχει σχεδιαστεί το οδόστρωμα, πριν την εφαρμογή του κριτηρίου της υπερφόρτωσης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, έγινε υπολογισμός του δείκτη CDF, εφαρμόζοντας τη μέθοδο που αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3. Ο υπολογισμός πραγματοποιήθηκε για τις δύο κρίσιμες θέσεις αστοχίας της διατομής. Στον πίνακα 5.10 αναφέρονται οι τιμές του δείκτη CDF για την στρώση έδρασης και στον Πίνακα 5.11 αναφέρονται οι τιμές του CDF για την ασφαλτική στρώση. Επιπλέον στην Εικόνα 5.3 φαίνεται σχηματική απεικόνιση των επιμέρους φθορών για τη στρώση έδρασης του οδοστρώματος.

Πίνακας 5.10 Δείκτης CDF στρώσης έδρασης σύμφωνα με τη συμβατική κυκλοφορία

Τύπος Αεροσκάφους	CDF _{sub}
A321-100 std	0,49
A320-200 twin std	0,02
B737-700	0
B737-600	0
A319-100 std	0
A318-100 std	0
B737-100	0
A310-300	0
Συνολικός δείκτης CDF_{sub}	0,51



Εικόνα 5.3 Διάγραμμα δείκτη CDF για τη στρώση έδρασης

Ακολουθώντας την αρχή Miner, προκύπτει ότι η τιμή του δείκτη CDF για τη στρώση έδρασης είναι 0,51. Για τα αεροσκάφη για τα οποία η τιμή του δείκτη CDF είναι 0, σημαίνει ότι η συνεισφορά τους στη συνολική φθορά της στρώσης έδρασης είναι αμελητέα.

Ομοίως, στον Πίνακα 5.11 καταγράφονται οι τιμές του δείκτη CDF κάθε αεροσκάφους για τις ασφαλτικές στρώσεις, με την αθροιστική τιμή του δείκτη να ισούται με 0,97.

Πίνακας 5.11 Δείκτης CDF ασφαλτικής στρώσης σύμφωνα με τη συμβατική κυκλοφορία

Τύπος Αεροσκάφους	CDF _{HMA}
A321-100 std	0,56
A320-200 twin std	0,41
B737-700	0
B737-600	0
A319-100 std	0
A318-100 std	0
B737-100	0
A310-300	0
Συνολικός δείκτης HMA CDF	0,97

Όπως παρατηρήθηκε και στον Πίνακα 5.10 για τη στρώση έδρασης, έτσι και στον Πίνακα 5.11 για την ασφαλική στρώση, τα αεροσκάφη των οποίων η τιμή είναι 0, προκαλούν αμελητέα φθορά στην ασφαλική στρώση. Παρατηρώντας τους δύο πίνακες, φαίνεται ότι η μεγαλύτερη φθορά προκαλείται από δύο μόνο τύπους αεροσκαφών, τόσο στην επιφάνεια της στρώση έδρασης, όσο και στον πυθμένα των ασφαλικών στρώσεων. Οι υπόλοιποι τύποι αεροσκαφών φαίνεται να έχουν μηδενική συνεισφορά στη διαμόρφωση του δείκτη CDF, γεγονός που σημαίνει ότι η καταπόνηση που προκαλούν στη διατομή του εξεταζόμενου οδοστρώματος είναι πάρα πολύ μικρή σε σχέση με αυτή των A321-100 std και A320-200 twin std. Επιπλέον, από την τιμή του δείκτη CDF στις ασφαλικές στρώσεις και στη στρώση έδρασης, γίνεται αντιληπτό ότι οι ασφαλικές στρώσεις είναι πιο ευάλωτες στην καταπόνηση που δέχονται από την κίνηση των αεροσκαφών που επιχειρούν στην εξεταζόμενη διατομή του οδοστρώματος.

5.6 Σύγκριση κριτηρίου υπερφόρτωσης μεταξύ των δύο μεθόδων

5.6.1 Σύγκριση σύνθεσης κυκλοφορίας υπέρβαρων αεροσκαφών

Έχοντας πλέον εφαρμόσει τις δύο μεθόδους και έχοντας σχηματίσει την κυκλοφορία των υπέρβαρων τύπων αεροσκαφών για κάθε μία αντίστοιχα, ακολουθεί η σύγκριση των κριτηρίων με στόχο να εντοπιστούν ομοιότητες και διαφορές που υπάρχουν. Για το σκοπό αυτό αρχικά έγινε η σύγκριση των υπέρβαρων τύπων αεροσκαφών όπως προέκυψαν για την κάθε μέθοδο. Υπενθυμίζεται ότι τα αποδεκτά όρια που είχαν τεθεί ήταν:

- ${}_{\text{overload}}\text{ACN} < 72$ (C), για τη μέθοδο ACN-PCN
- ${}_{\text{overload}}\text{ACR} < 541$ (C), για τη μέθοδο ACR-PCR.

Στον πίνακα 5.12 έχουν καταγραφεί τα αεροσκάφη υπερφόρτωσης των δύο μεθόδων και οι αντίστοιχες τιμές των δεικτών ACN και ACR για την εδαφική κατηγορία C.

Πίνακας 5.12 Σύγκριση υπέρβαρων αεροσκαφών μεταξύ των μεθόδων ACN-PCN και ACR-PCR

Αεροσκάφη Υπερφόρτωσης					
Μέθοδος	Αεροσκάφος	ACN (C)	ACR (C)	ACN>1,10%PCN	ACR>1,10%PCR
ACN-PCN	A300-600 std	68	584,3	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	ΜΗ ΑΠΟΔΕΚΤΟ
	A340-200 std	65,7	568,45	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	ΜΗ ΑΠΟΔΕΚΤΟ
	B767-300 ER	67	557,45	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	ΜΗ ΑΠΟΔΕΚΤΟ
	A340-200 opt	70	625,37	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	ΜΗ ΑΠΟΔΕΚΤΟ
ACR-PCR	B737-900 ER	56	502,9	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
	B767-200 ER	59,8	507,86	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
	A300-B4 LB	58,4	498,47	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
	A321-200 std	57,6	517,19	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	ΑΠΟΔΕΚΤΟ

Συγκρίνοντας τα υπέρβαρα αεροσκάφη των δύο μεθόδων φαίνεται ότι οι αποδεκτοί τύποι της ACN-PCN είναι τελείως διαφορετικοί από αυτούς της ACR-PCR. Η μέθοδος ACR-PCR εμφανίζει μικρότερη ανοχή στην αποδοχή υπέρβαρων αεροσκαφών, καθώς απορρίπτει όλα τα υπέρβαρα αεροσκάφη που έχουν κριθεί αποδεκτά από τη μέθοδο ACN-PCN. Αντιθέτως, η μέθοδος ACN-PCN δέχεται όλα τα παραπάνω αεροσκάφη ανεξαρτήτως της μεθόδου που επιλέχθηκαν.

Μια επιπλέον παρατήρηση είναι ότι τα υπέρβαρα αεροσκάφη της μεθόδου ACR-PCR έχουν τιμή για τον δείκτη ACN μικρότερη του 65 για την εδαφική κατηγορία C, γεγονός που σημαίνει ότι για τα ίδια αεροσκάφη για τη μέθοδο ACN-PCN δεν θεωρούνται υπέρβαρα και μπορούν να εξυπηρετηθούν χωρίς κανέναν περιορισμό ως προς τον αριθμό των διελεύσεων τους.

5.6.2 Σύγκριση δείκτη CDF με την προσθήκη υπέρβαρων αεροσκαφών

Επόμενο βήμα σύγκρισης του κριτηρίου υπερφόρτωσης των δύο μεθόδων είναι η φθορά που προκαλείται στη εξεταζόμενη διατομή του οδοστρώματος από τις διελεύσεις των υπέρβαρων αεροσκαφών. Για να μπορέσει να προσδιοριστεί η φθορά που προκαλείται, προστέθηκε ο κάθε τύπος υπέρβαρου αεροσκάφους ξεχωριστά στη συμβατική κυκλοφορία του αεροδρομίου και έπειτα έγινε επαναξιολόγηση της τιμής του δείκτη CDF στον πυθμένα των ασφαλτικών στρώσεων και στην επιφάνεια της στρώσης έδρασης. Στη συνέχεια, καταγράφηκαν οι τιμές του CDF τόσο για το κάθε υπέρβαρο αεροσκάφος ξεχωριστά, όσο και για το σύνολο της κυκλοφορίας. Για το κάθε υπέρβαρο αεροσκάφος

θεωρήθηκε ότι θα εκτελέσει το μέγιστο αριθμό των επιτρεπτών ετήσιων διελεύσεων, ο οποίος, όπως αναλύθηκε προηγουμένως, αντιστοιχεί σε 460 διελεύσεις.

Στον Πίνακα 5.13, παρουσιάζονται οι υπέρβαροι τύποι αεροσκαφών, κατά τη μέθοδο ACN-PCN, με τις αντίστοιχες τιμές του δείκτη CDF για τον κάθε τύπο αεροσκάφους στις κρίσιμες θέσεις της διατομής, καθώς και το ποσοστό αύξησης του δείκτη σε αυτές. Μέσω αυτής της ανάλυσης προκύπτει ο τύπος αεροσκάφους που προκαλεί μεγαλύτερη αύξηση της φθοράς του οδοστρώματος και, κατά συνέπεια, μεγαλύτερη μείωση της διάρκειας ζωής του.

Η σημασία των δεικτών που εμπεριέχονται στους Πίνακες 5.13 και 5.14 είναι η εξής:

- Sub CDF α/φ: Η συνεισφορά του αεροσκάφους στην τιμή του δείκτη CDF της στρώση έδρασης.
- HMA CDF α/φ: Η συνεισφορά του αεροσκάφους στην τιμή του δείκτη CDF των ασφαλικών στρώσεων.
- Sub CDF: Η τιμή του δείκτη CDF για τη στρώση έδρασης.
- HMA CDF: Η τιμή του δείκτη CDF για τις ασφαλικές στρώσεις.
- +% Sub CDF: Το επί τις εκατό ποσοστό αύξησης του δείκτη CDF της στρώσης έδρασης.
- +% Sub CDF: Το επί τις εκατό ποσοστό αύξησης του δείκτη CDF των ασφαλικών στρώσεων.

Πίνακας 5.13 Τιμές του δείκτη CDF για τους υπέρβαρους τύπους αεροσκαφών της μεθόδου ACN-PCN

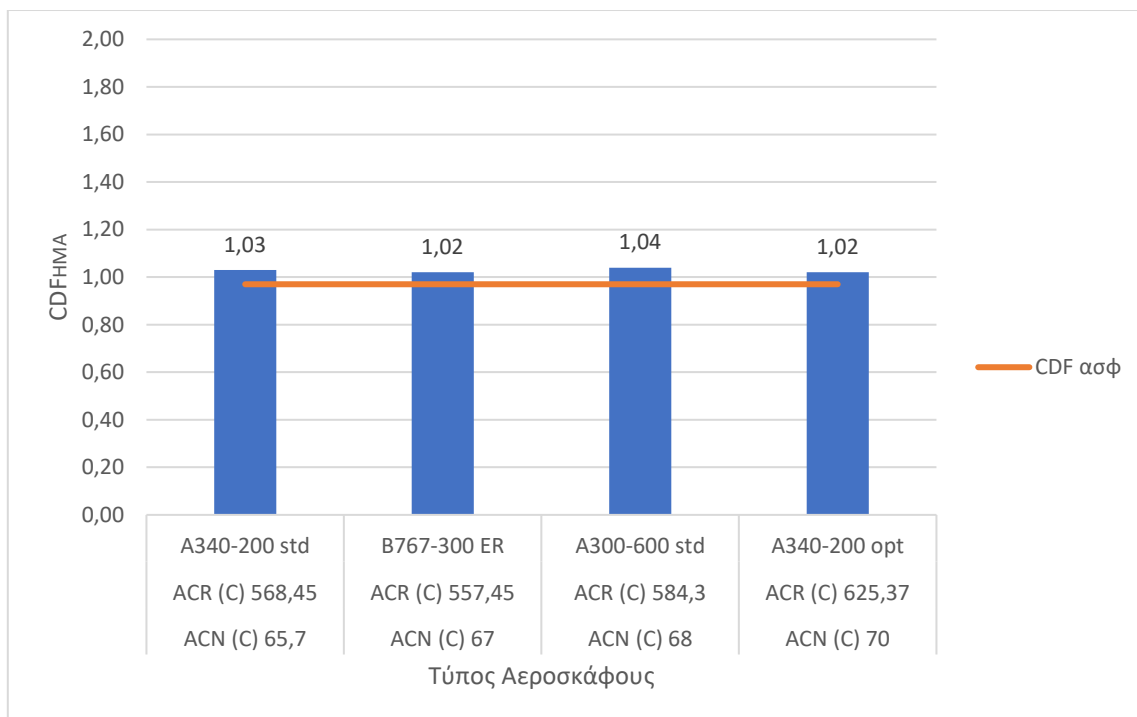
Μέθοδος	Τύπος Αεροσκάφους	ACN (C)	ACR(C)	Δείκτης CDF	
ACN-PCN	A300-600 std	68	584,3	Sub CDF α/φ	0,02
				HMA CDF α/φ	0,42
				Sub CDF	1,40
				HMA CDF	1,03
				+% Sub CDF	+175%
				+% HMA CDF	+6%
	A340-200 std	65,7	568,45	Sub CDF α/φ	1,14
				HMA CDF α/φ	0,05
				Sub CDF	1,45
				HMA CDF	1,02
				+% Sub CDF	+184%
				+% HMA CDF	+5%
	B767-300 ER	67	557,45	Sub CDF α/φ	0,20
				HMA CDF α/φ	0,07
				Sub CDF	0,71
				HMA CDF	1,04
				+% Sub CDF	+39%
				+% HMA CDF	+7%
	A340-200 opt	70	625,37	Sub CDF α/φ	1,36
				HMA CDF α/φ	0,06
				Sub CDF	1,67
				HMA CDF	1,02
				+% Sub CDF	+227%
				+% HMA CDF	+5%

Ομοίως, προσδιορίστηκε η επίδραση της υπέρβαρης κυκλοφορίας, όπως αυτή ορίστηκε με βάση τη μέθοδο ACR-PCR, και τα σχετικά αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 5.14:

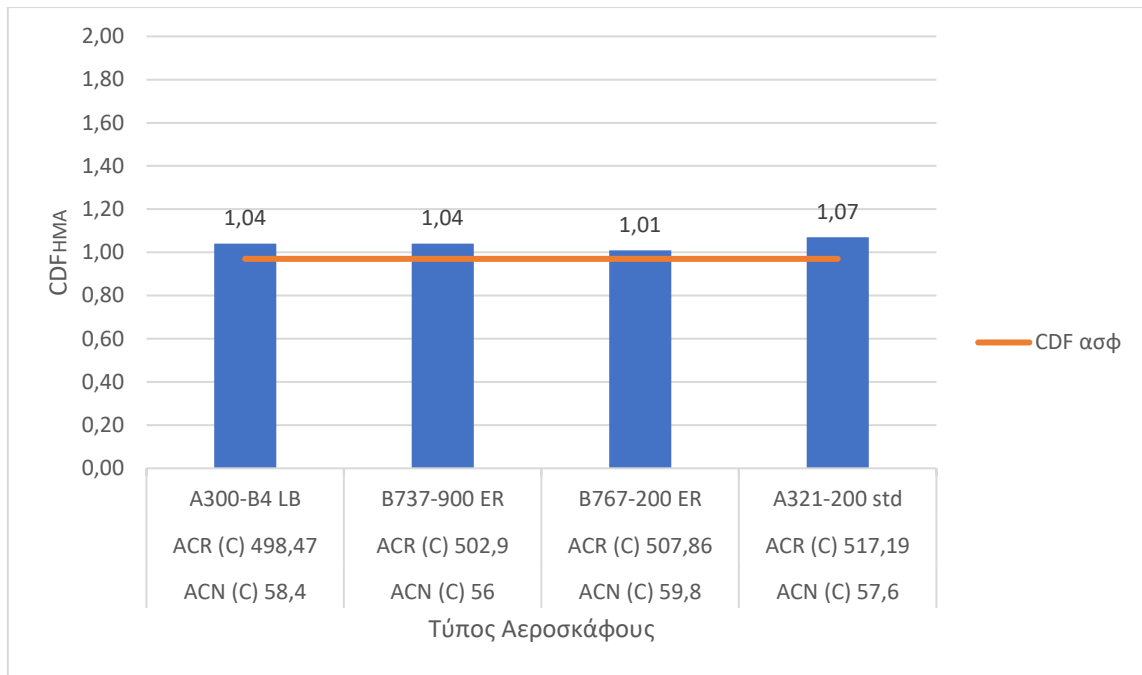
Πίνακας 5.14 Τιμές του δείκτη CDF για τους υπέρβαρους τύπους αεροσκαφών της μεθόδου ACR-PCR

Μέθοδος	Τύπος Αεροσκάφους	ACN (C)	ACR (C)	Δείκτης CDF	
ACR-PCR	B737-900 ER	56	502,9	Sub CDF α/φ	0,24
				HMA CDF α/φ	0,08
				Sub CDF	0,74
				HMA CDF	1,04
				+% Sub CDF	+45%
				+% HMA CDF	+7%
	B767-200 ER	59,8	507,86	Sub CDF α/φ	0,30
				HMA CDF α/φ	0,07
				Sub CDF	0,81
				HMA CDF	1,04
				+% Sub CDF	+59%
				+% HMA CDF	+7%
	A300-B4 LB	58,4	498,47	Sub CDF α/φ	0,15
				HMA CDF α/φ	0,04
				Sub CDF	0,65
				HMA CDF	1,01
				+% Sub CDF	+27%
				+% HMA CDF	+4%
	A321-200 std	57,6	517,19	Sub CDF α/φ	0,35
				HMA CDF α/φ	0,10
				Sub CDF	0,87
				HMA CDF	1,07
				+% Sub CDF	+71%
				+% HMA CDF	+10%

Αφού ολοκληρώθηκε ο υπολογισμός των τιμών του δείκτη CDF στις κρίσιμες θέσεις της διατομής για όλους τους υπέρβαρους τύπους αεροσκαφών, ακολούθησε η ερμηνεία των παραπάνω πινάκων. Έχοντας ως στόχο να απεικονιστεί γραφικά η φθορά που προκαλεί ο κάθε τύπος αεροσκάφους στη διατομή του εύκαμπτου οδοστρώματος και το ποσοστό αύξησης της, σε σχέση με τις τιμές που υπήρχαν πριν εξυπηρετηθεί η υπέρβαρη κυκλοφορία, σχηματίστηκαν τα ακόλουθα διαγράμματα για τις τιμές του CDF στον πυθμένα των ασφαλικών στρώσεων (CDF_{HMA}) και στην επιφάνεια της στρώσης έδρασης (CDF_{SUB}).

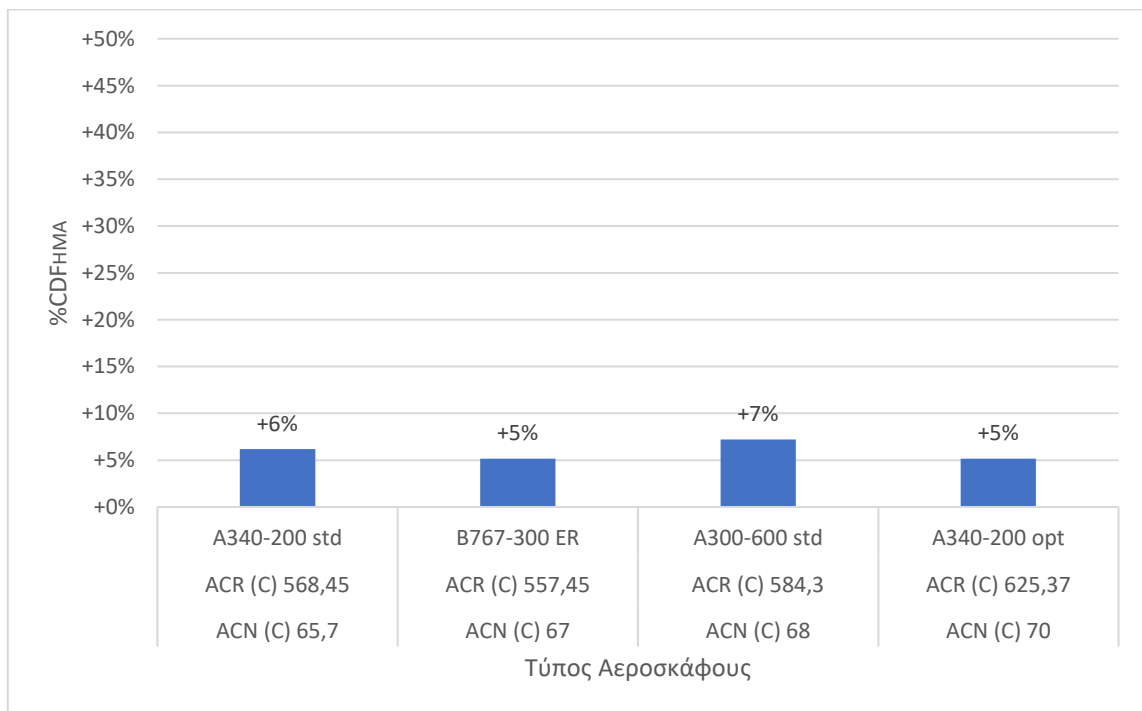


Εικόνα 5.4 Διάγραμμα CDF ασφαλικής στρώσης με προσθήκη αεροσκάφους υπερφόρτωσης κατά τη μέθοδο ACN - PCN

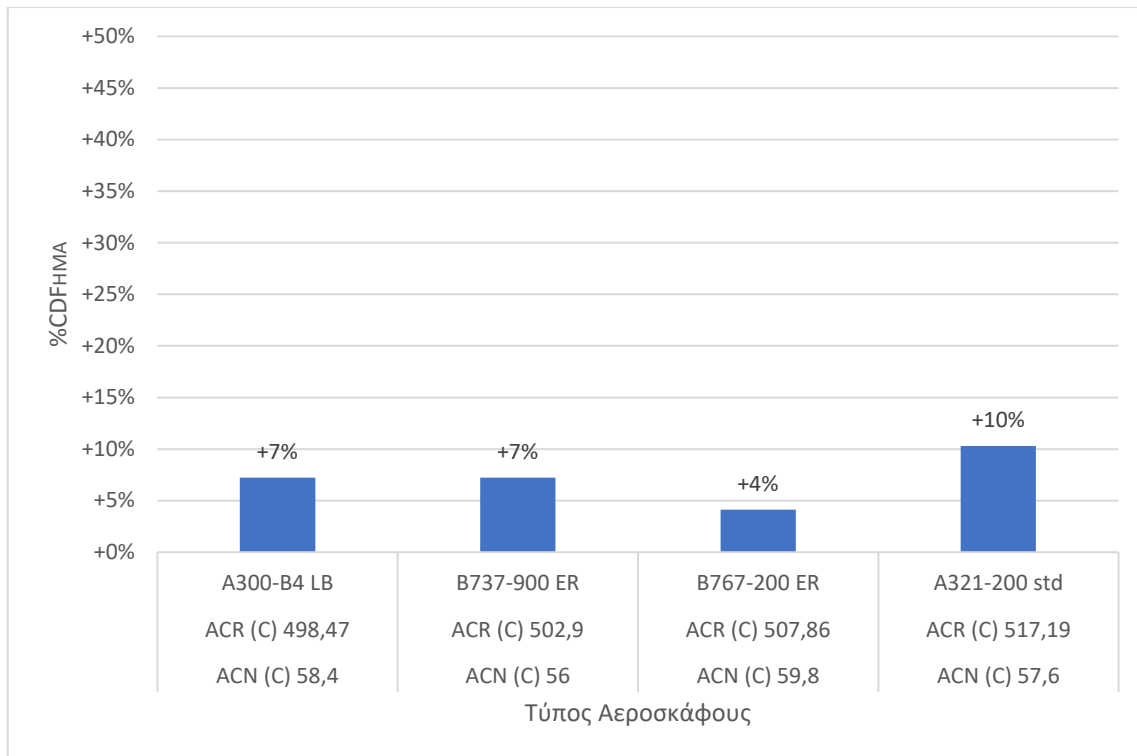


Εικόνα 5.5 Διάγραμμα CDF ασφαλικής στρώσης με προσθήκη αεροσκάφους υπερφόρτωσης κατά τη μέθοδο ACR – PCR

Συγκρίνοντας τα δύο παραπάνω διαγράμματα των Εικόνων 5.4 – 5.5, παρατηρείται ότι ο δείκτης CDF δεν παρουσιάζει αξιόλογη μεταβολή και για τις δύο περιπτώσεις εφαρμογής του κριτηρίου υπερφόρτωσης με τις μεθόδους ACN-PCN και ACR-PCR.



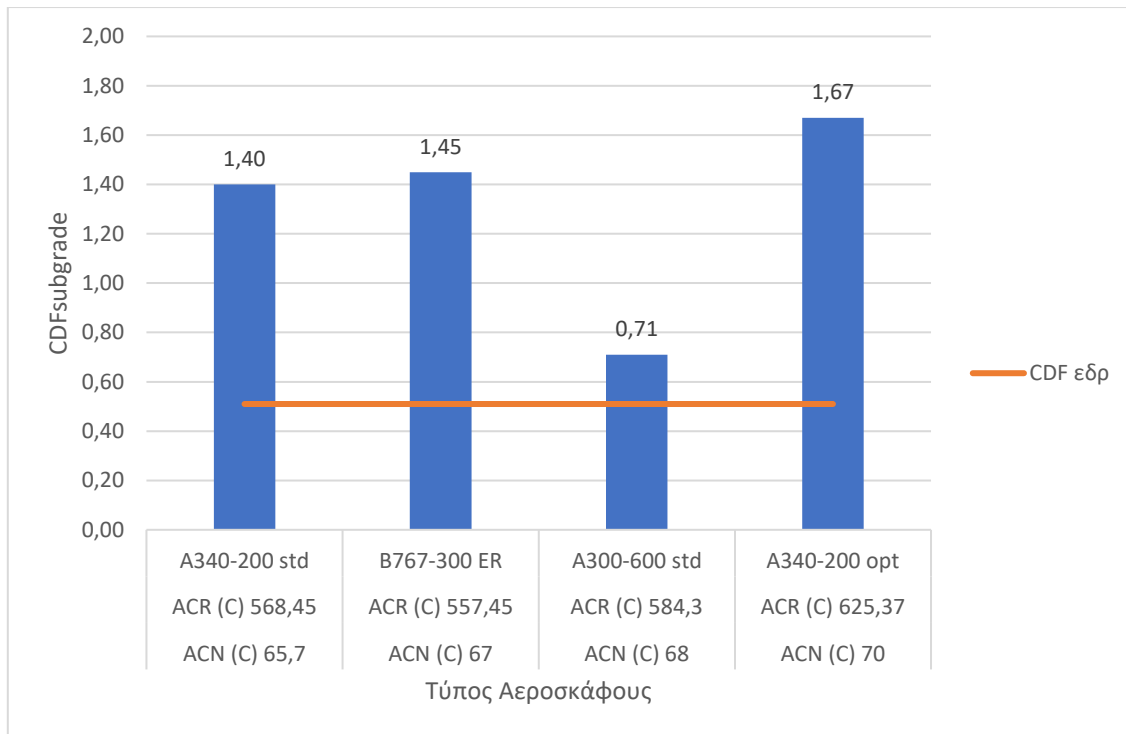
Εικόνα 5.6 Διάγραμμα % Αύξηση CDF ασφαλικής στρώσης με προσθήκη αεροσκάφους υπερφόρτωσης κατά τη μέθοδο ACN – PCN



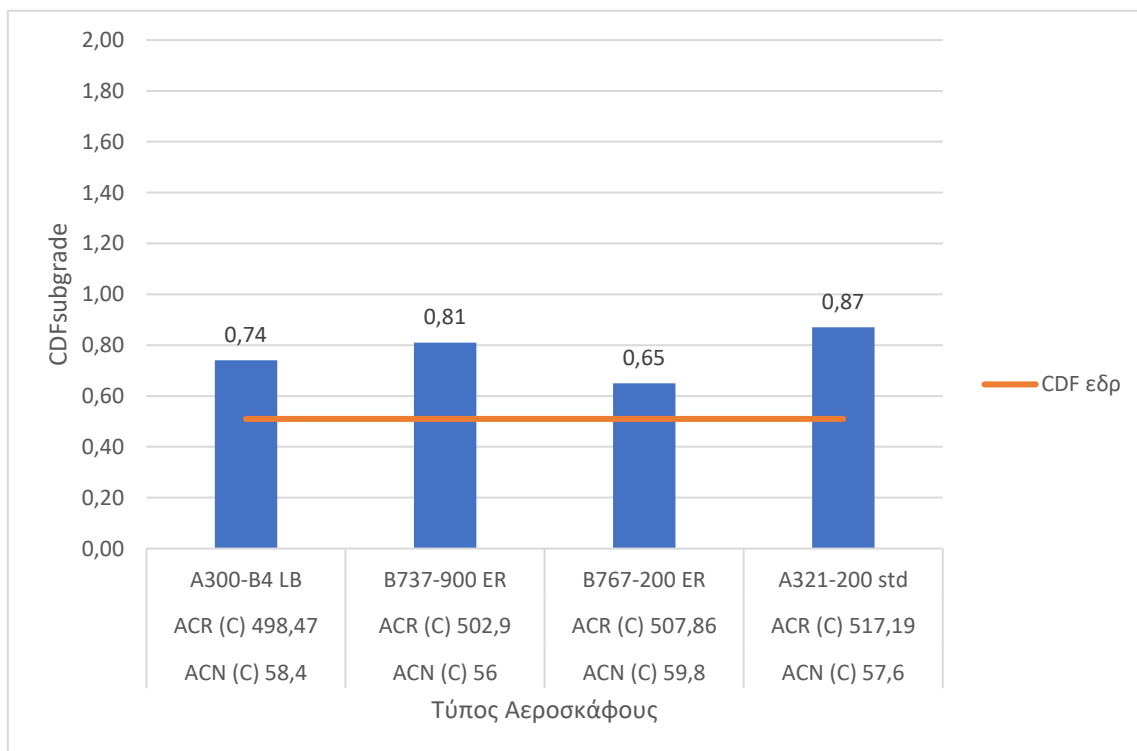
Εικόνα 5.7 Διάγραμμα % Αύξηση CDF ασφαλικής στρώσης με προσθήκη αεροσκάφους υπερφόρτωσης κατά τη μέθοδο ACR - PCR

Συγκρίνοντας τα διαγράμματα των Εικόνων 5.6 – 5.7, προκύπτει ότι η ποσοστιαία αύξηση της τιμής του δείκτη CDF στον πυθμένα των ασφαλικών στρώσεων είναι σε παρόμοια επίπεδα ανεξαρτήτως εάν το υπέρβαρο αεροσκάφος έχει επιλεγεί σύμφωνα με τη μέθοδο ACN-PCN ή τη μέθοδο ACR-PCR, καθώς από όλα τα υπέρβαρα αεροσκάφη, μόνο το A321-200 std προκάλεσε αύξηση του CDF μεγαλύτερη του 7%.

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία για την εκτίμηση του δείκτη CDF της στρώσης έδρασης, προσδιορίστηκε η επίδραση των υπέρβαρων αεροσκαφών στη συνολική φθορά της διατομής του οδοστρώματος. Πιο συγκεκριμένα, στην Εικόνα 5.8 φαίνεται η μεταβολή της φθοράς για την περίπτωση της υπέρβαρης κυκλοφορίας κατά τη μέθοδο ACN-PCN και την Εικόνα 5.9 φαίνεται η αντίστοιχη μεταβολή για την περίπτωση της υπέρβαρης κυκλοφορίας κατά τη μέθοδο ACR-PCR. Από τη σχετική ανάλυση προκύπτει ότι με βάση το κριτήριο υπερφόρτωσης της μεθόδου ACN-PCN, ο δείκτης CDF μπορεί να ξεπεράσει κατά πολύ τη μονάδα, γεγονός που σημαίνει ιδιαίτερα αυξημένη καταπόνηση στην υπόψη κρίσιμη θέση αστοχίας.



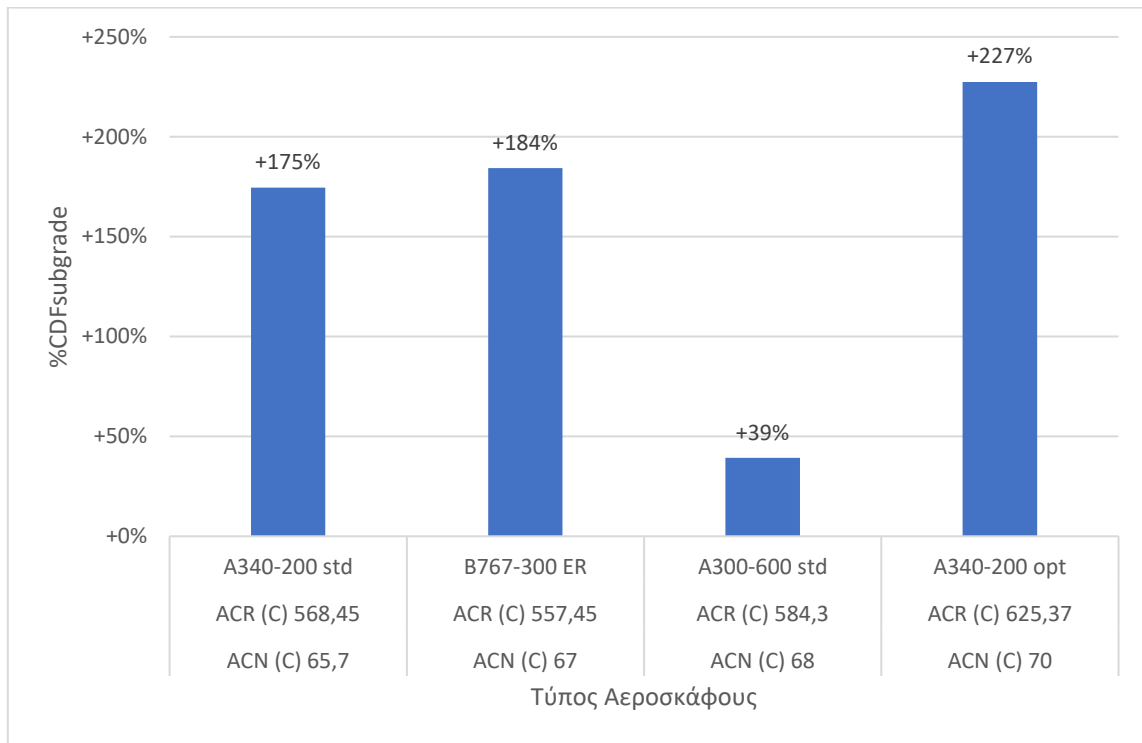
Εικόνα 5.8 Διάγραμμα CDF στρώσης έδρασης με προσθήκη αεροσκάφους υπερφόρτωσης κατά τη μέθοδο ACN - PCN



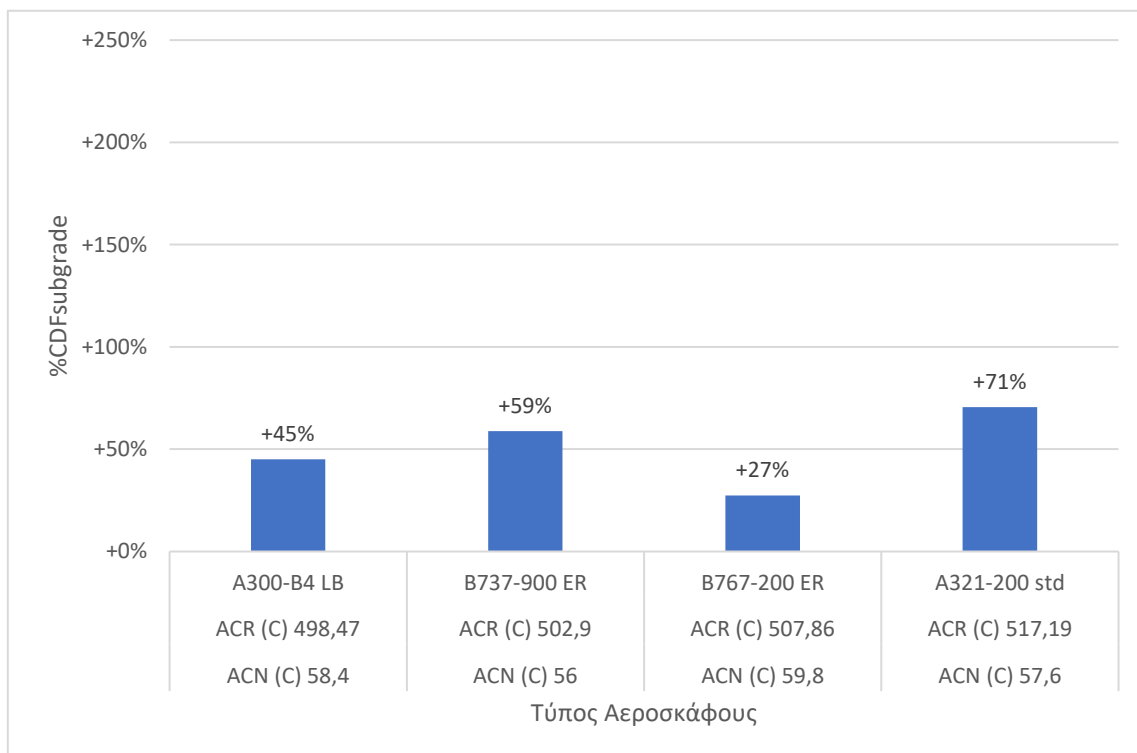
Εικόνα 5.9 Διάγραμμα CDF στρώσης έδρασης με προσθήκη αεροσκάφους υπερφόρτωσης κατά τη μέθοδο ACR – PCR

Παρατηρώντας τις Εικόνες 5.8 – 5.9, διαπιστώνεται ότι και με τη μέθοδο ACR-PCR παρατηρείται σημαντική αύξηση της φθοράς της στρώσης έδρασης, όμως ο δείκτης CDF

διατηρείται σε σχετικά χαμηλά επίπεδα, καταπονώντας σε πιο αποδεκτό βαθμό τη στρώση έδρασης. Το γεγονός αυτό φαίνεται πιο παραστατικά και από την απεικόνιση της ποσοστιαίας αύξησης της φθοράς, όπως παρουσιάζεται στις Εικόνες 5.10 και 5.11 αντίστοιχα.



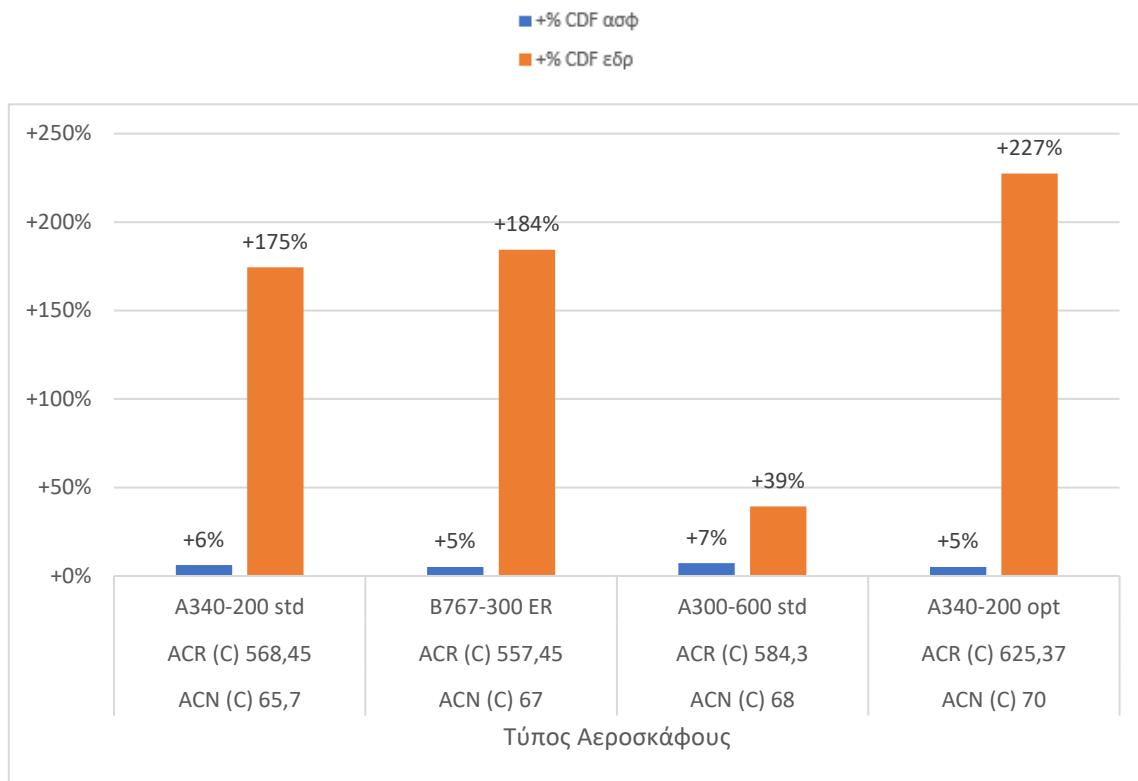
Εικόνα 5.10 Διάγραμμα % Αύξηση CDF στρώσης έδρασης με προσθήκη αεροσκάφους υπερφόρτωσης κατά τη μέθοδο ACN – PCN



Εικόνα 5.11 Διάγραμμα % Αύξηση CDF στρώσης έδρασης με προσθήκη αεροσκάφους υπερφόρτωσης κατά τη μέθοδο ACR – PCR

Από τα παραπάνω διαγράμματα είναι εμφανής η διαφορά στην καταπόνηση που προκαλούν τα υπέρβαρα αεροσκάφη της μεθόδου ACN-PCN σε σχέση με αυτά της μεθόδου ACR-PCR. Το ποσοστό της επί τις εκατό αύξησης, κατά τη μέθοδο ACN-PCN, μπορεί να διαμορφωθεί σε τιμές έως και τρεις φορές υψηλότερες σε σχέση με το ποσοστό αύξησης που υπολογίστηκε κατά τη μέθοδο ACR-PCR.

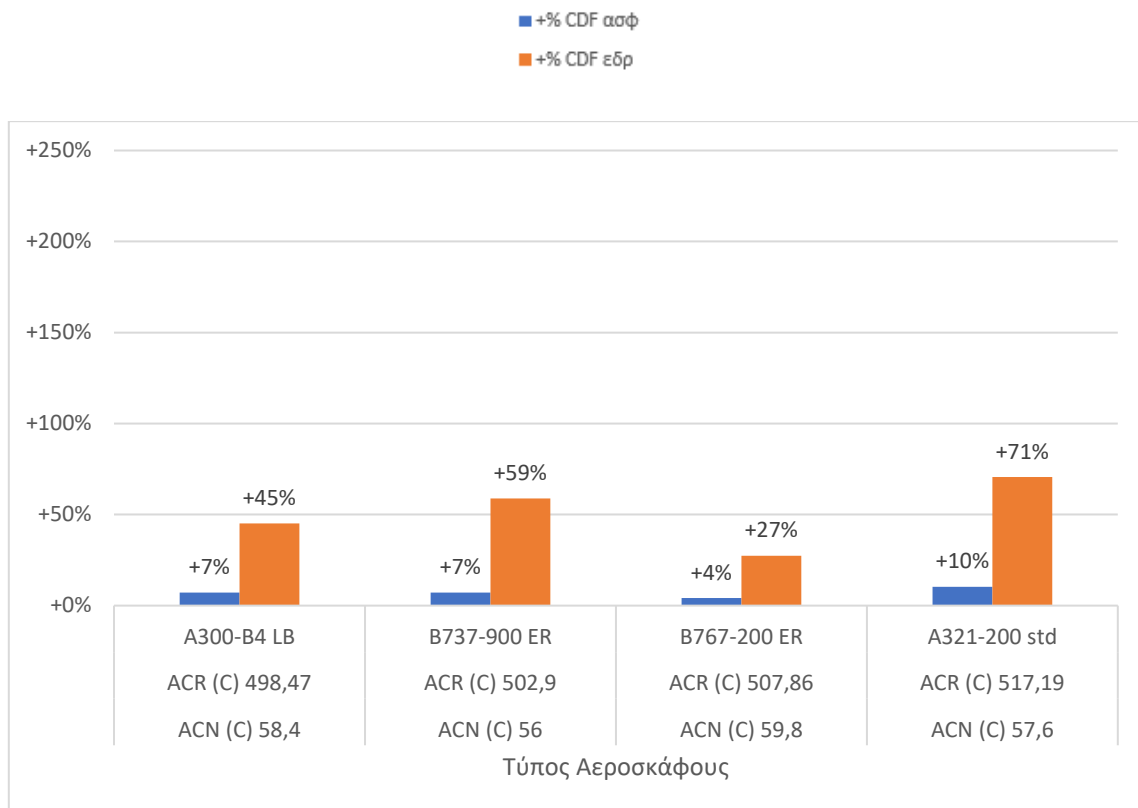
Επιπλέον, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγκριση, ανεξαρτήτως μεθόδου, του δείκτη CDF για τη στρώση έδρασης σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή του για τις ασφαλικές στρώσεις. Παρατηρώντας τις Εικόνες 5.12 και 5.13, μπορεί να αποτυπωθεί η διαφορά μεταξύ της αύξησης της καταπόνησης που προκαλείται, για τα ίδια επιβαλλόμενα υπέρβαρα φορτία, στην επιφάνεια της στρώσης έδρασης και στον πυθμένα των ασφαλικών στρώσεων.



Εικόνα 5.12 Διάγραμμα σύγκρισης της % αύξησης CDF μεταξύ ασφαλτικής στρώσης και στρώσης έδρασης κατά τη μέθοδο ACN – PCN

Παρατηρώντας την Εικόνα 5.12, φαίνεται ότι κατά την υπερφόρτωση της μεθόδου ACN-PCN υπάρχει μεγάλη διαφορά στην αύξηση της φθοράς που δέχεται η στρώση έδρασης σε σχέση με την ασφαλτική στρώση. Χαρακτηριστικό ενδεικτικό παράδειγμα αποτελεί το αεροσκάφος A340-200 opt, το οποίο αύξησε τον δείκτη CDF_{HMA} κατά 5%, ενώ ο δείκτης CDF_{SUB} αυξήθηκε κατά 227%.

Στη συνέχεια, η ίδια σύγκριση έγινε και για τη μέθοδο ACR-PCR.



Εικόνα 5.13 Διάγραμμα σύγκρισης της % αύξησης CDF μεταξύ ασφαλικής στρώσης και στρώσης έδρασης κατά τη μέθοδο ACR - PCR

Από την Εικόνα 5.13 παρατηρείται ότι η στρώση έδρασης δέχεται πολύ μεγαλύτερη φθορά σε σχέση με τις ασφαλικές στρώσεις. Ωστόσο η διαφορά αυτή είναι μικρότερη σε σχέση με την αντίστοιχη κατά τη μέθοδο ACN-PCN.

5.7 Σύνοψη αποτελεσμάτων σύγκρισης των δύο μεθόδων

5.7.1 Κυκλοφορία υπέρβαρων τύπων αεροσκαφών

Κατά την εφαρμογή των κριτηρίων για τη διαμόρφωση της αποδεκτής κυκλοφορίας των υπέρβαρων τύπων αεροσκαφών, προέκυψαν διαφορετικά αποτελέσματα μεταξύ των δύο μεθόδων. Η έως τώρα εφαρμοζόμενη μέθοδος ACN-PCN φαίνεται να είναι πολύ πιο ανεκτική σε σχέση με την ACR-PCR, καθώς οι αποδεκτοί τύποι της ACN-PCN κρίθηκαν απορριπτέοι από την ACR-PCR. Αντιθέτως, οι υπέρβαροι τύποι αεροσκαφών που προέκυψαν από την ACR-PCR, κρίθηκαν αποδεκτοί και από την ACN-PCN. Από αυτό το αποτέλεσμα γίνεται αντιληπτό ότι η ACR-PCR επιτρέπει ένα αρκετά μικρότερο περιθώριο υπερφόρτωσης της διατομής ενός εύκαμπτου οδοστρώματος.

5.7.2 Φθορά στρώσης έδρασης

Η φθορά της στρώσης έδρασης, που προκαλείται από την υπερφόρτωση μιας διατομής οδοστρώματος, αναμένεται να είναι αρκετά μεγαλύτερη σε σχέση με τη φθορά που προκαλείται κατά την εξυπηρέτηση της προβλεπόμενης κίνησης αεροσκαφών. Από τη σύγκριση που πραγματοποιήθηκε μεταξύ του κριτηρίου υπερφόρτωσης των δύο μεθόδων, προέκυψε ότι η φθορά που προκαλείται στη στρώση έδρασης από την υπέρβαρη κυκλοφορία κατά τη μέθοδο ACN-PCN, είναι, κατά πολύ μεγάλο βαθμό, μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή που προκαλείται κατά τη μέθοδο ACR-PCR. Η αύξηση της φθοράς συνεπάγεται τη μείωση της εναπομένουσας διάρκειας ζωής της στρώσης έδρασης και, κατά συνέπεια, της εναπομένουσας διάρκειας ζωής του οδοστρώματος. Επομένως, σύμφωνα με τα έως τώρα αποτελέσματα, φαίνεται πως κατά την υπερφόρτωση της φέρουσας ικανότητας της διατομής, η μέθοδος ACR-PCR, προκαλεί μικρότερη αύξηση της φθοράς της στρώσης έδρασης, επηρεάζοντας έτσι σε μικρότερο βαθμό και την περίοδο ζωής της.

5.7.3 Φθορά ασφαλικής στρώσης

Οι ασφαλικές στρώσεις αποτελούν το τμήμα της διατομής το οποίο δέχεται την άμεση επαφή με τα φορτία των τροχών των αεροσκαφών. Κατά τη σύγκριση των δύο μεθόδων παρατηρήθηκε ότι η φθορά που προκαλείται από τη διέλευση της συμβατικής κυκλοφορίας αεροσκαφών στην ασφαλική στρώση είναι μεγαλύτερη από αυτή που προκαλείται στη στρώση έδρασης. Επιπλέον, κατά τη διέλευση της υπέρβαρης κυκλοφορίας αεροσκαφών, παρατηρήθηκε μικρή αύξηση της τιμής του δείκτη CDF για τον πυθμένα των ασφαλικών στρώσεων, ανεξαρτήτως της μεθόδου. Τόσο κατά τη μέθοδο ACN-PCN, όσο και κατά την ACR-PCR, ο δείκτης CDF κυμάνθηκε σε παρόμοια επίπεδα μεταξύ 1,01 και 1,07.

5.7.4 Σύγκριση αύξησης φθοράς μεταξύ ασφαλικής στρώσης και στρώσης έδρασης

Κατά την επιβολή των φορτίων από την υπέρβαρη κυκλοφορία αεροσκαφών, αναμένεται να προκύψει αύξηση της φθοράς, τόσο στη στρώση έδρασης, όσο και στην ασφαλική στρώση. Και στις δύο μεθόδους, η αύξηση της φθοράς της στρώσης έδρασης ήταν μεγαλύτερη από την αύξηση της φθοράς της ασφαλικής στρώσης. Αυτό σημαίνει ότι και ανεξαρτήτως μεθόδου, η στρώση έδρασης δέχεται μεγαλύτερη μείωση της εναπομένουσας ζωής σε σχέση με την ασφαλική στρώση.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο παρόν κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας.

6.1 Διαμόρφωση υπέρβαρης κυκλοφορίας

Από τη σχετική διερεύνηση προέκυψε ότι το εύρος της υπέρβαρης κυκλοφορίας που επιτρέπει η μέθοδος ACR-PCR είναι πιο περιορισμένο σε σχέση με αυτό που επιτρέπει η ACN-PCN. Η ACR-PCR φαίνεται να λαμβάνει υπόψη πιο αντικειμενικά κριτήρια και με λιγότερες παραδοχές για την εκτίμηση του δείκτη PCR, με αποτέλεσμα να οδηγεί σε πιο συντηρητικά αποτελέσματα, όσον αφορά στην αποδοχή της υπέρβαρης κυκλοφορίας. Η υπέρβαρη κυκλοφορία σύμφωνα με το κριτήριο της ACR-PCR είναι αποδεκτή σύμφωνα με την ACN-PCN χωρίς όμως να ισχύει πάντα το αντίθετο. Επομένως, αναμένεται ότι με την καθιέρωση της ACR-PCR, από τον Νοέμβριο του 2024, ενδεχομένως να υπάρξουν περιορισμοί στους αποδεκτούς τύπους υπέρβαρων αεροσκαφών που εξυπηρετούν τα αεροδρόμια.

6.2 Φθορά στρώσης έδρασης

Η μέθοδος ACR-PCR παρατηρήθηκε ότι επιτρέπει κυκλοφορία υπέρβαρων τύπων αεροσκαφών η οποία προκαλεί αρκετά μικρότερη φθορά σε σχέση με την αντίστοιχη κυκλοφορία της ACN-PCN. Κατά τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, η στρώση έδρασης παρουσίασε μικρότερη φθορά σε σχέση με την ACN-PCN, γεγονός που σημαίνει ότι αναμένεται να προκληθεί μικρότερη μείωση στην εναπομένουσα διάρκεια ζωής της. Η ασφαλική στρώση δεν παρουσίασε κάποια αντίστοιχη διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων. Δεδομένου ότι η ασφαλική στρώση αποτελεί την πρώτη οπτική ένδειξη που παρατηρούν οι αρμόδιες αρχές ενός αεροδρομίου, συστήνεται να εξακολουθεί να εφαρμόζεται η επαναξιολόγηση της φέρουσας ικανότητας του οδοστρώματος μετά από τη διέλευση της υπέρβαρη κυκλοφορίας, ανεξαρτήτως της επιλεγμένης μεθόδου, καθώς μπορεί να έχουν προκληθεί έντονες καταπονήσεις στη στρώση έδρασης οι οποίες δεν είναι ορατές.

6.3 Κόστος συντήρησης και επισκευής

Η μέθοδος ACR-PCR φαίνεται να είναι πιο συντηρητική ως προς την υπερφόρτωση ενός εύκαμπτου οδοστρώματος, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε μικρότερο κόστος

συντήρησης για τις αρχές του αεροδρομίου. Η μέθοδος ACN-PCN, επιτρέπει την επιβολή πολύ μεγαλύτερων φορτίσεων, οι οποίες απαιτούν και την ανάλογη προβλεπόμενη συντήρηση. Η μείωση των εξόδων συντήρησης αποτελεί κύριο μέλημα των αρχών του κάθε αεροδρομίου, χωρίς όμως αυτό να συμβαίνει εις βάρος της ασφάλειας και οποιωνδήποτε σχετικών προβλεπόμενων προδιαγραφών. Έτσι, αναμένεται να εξοικονομηθούν μεγάλα οικονομικά κεφάλαια, τα οποία θα μπορούν να αξιοποιηθούν σε άλλες, εξίσου ζωτικής σημασίας, ανάγκες του αεροδρομίου.

6.4 Συνεισφορά των υπέρβαρων αεροσκαφών στα έσοδα του αεροδρομίου

Ο περιορισμός των υπέρβαρων εξυπηρετούμενων αεροσκαφών συνοδεύεται τόσο από μείωση των εξόδων συντήρησης όπως αναφέρθηκε παραπάνω, όσο και από μείωση των αντίστοιχων εσόδων. Κάθε απορριπτικός τύπος αεροσκάφους σημαίνει απώλεια εισπράξεων για το αεροδρόμιο. Επομένως, αναμένεται ότι η εφαρμογή της μεθόδου από το φθινόπωρο του 2024 ενδεχομένως να επηρεάσει ελαφρώς τα έσοδα των αεροδρομίων. Δεδομένου ότι τα υπέρβαρα αεροσκάφη αποτελούν εξαιρέσεις στην κυκλοφορία που εξυπηρετεί ένα αεροδρόμιο και δεν αποτελούν τον κύριο παράγοντα εσόδων, η μείωση των εσόδων που θα παρατηρηθεί μπορεί να είναι μικρής κλίμακας. Σε κάθε περίπτωση η εκπόνηση σχετικής τεχνικοοικονομικής μελέτης μπορεί να παρέχει μια πιο ακριβή εκτίμηση στον τομέα αυτό.

6.5 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Όπως συμβαίνει κάθε φορά που μια καινούργια έννοια εισάγεται στον χώρο της μηχανικής, έτσι και στην εφαρμογή της νέας μεθόδου ACR-PCR αναμένεται να προκύψουν αρκετά ζητήματα τα οποία θα χρήζουν περαιτέρω έρευνας. Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε και τα συμπεράσματα που προέκυψαν, εντοπίστηκαν θέματα των οποίων η μελλοντική εξέλιξη δεν είναι ξεκάθαρη και έτσι απαιτείται επιπλέον έρευνα για την κατανόησή τους.

6.5.1 Συσχέτιση δείκτη CDF – δείκτη ACR

Σε αντίθεση με τον δείκτη ACR, η έννοια του δείκτη CDF είναι γνωστή στον χώρο των οδοστρωμάτων των αεροδρομίων εδώ και πολλά χρόνια. Η μελλοντική μακροχρόνια εφαρμογή της μεθόδου ACR-PCR αναμένεται να δείξει τη σχέση ανάμεσα στην τιμή του δείκτη ACR και στη φθορά που προκαλούν οι αντίστοιχοι τύποι αεροσκαφών. Με την χρήση της ACR-PCR, σε πραγματικό πλέον και όχι θεωρητικό περιβάλλον, θα

παρατηρηθεί η γραμμικότητα της σχέσης μεταξύ της αύξησης του δείκτη ACR και της προκαλούμενης φθοράς στο οδόστρωμα.

6.5.2 Επιρροή του νέου κριτηρίου υπερφόρτωσης στα έξοδα συντήρησης του αεροδρομίου

Όπως έχει αναφερθεί, η νέα πιο συντηρητική, ως προς την υπερφόρτωση, μέθοδος ACR-PCR εκτιμάται ότι θα μειώσει τα έξοδα συντήρησης που απαιτούνται λόγω της υπέρβαρης κυκλοφορίας, αλλά και τα αντίστοιχα έσοδα που εισπράττονται από την εξυπηρέτησή της. Ακόμα δεν είναι ξεκάθαρο ποιο από τα δύο οικονομικά μεγέθη είναι μεγαλύτερο και οι αρχές του κάθε αεροδρομίου ενδέχεται χρειαστεί να υπολογίσουν το κρίσιμο σημείο ισορροπίας μεταξύ αυτών των δύο παραγόντων.

6.5.3 Περιβαλλοντικές συνθήκες

Οι περιβαλλοντικές συνθήκες που χαρακτηρίζουν το κλιματικό περιβάλλον του κάθε αεροδρομίου κατέχουν καθοριστικό ρόλο στη συμπεριφορά των οδοστρωμάτων του. Παράγοντες όπως είναι η θερμοκρασία και η υγρασία επηρεάζουν άμεσα τα δομικά υλικά μιας διατομής οδοστρώματος. Για τον λόγο αυτόν, εκτιμάται ότι θα παρουσιάσει ενδιαφέρον μια έρευνα η οποία θα συγκρίνει δύο αεροδρόμια τελείως διαφορετικού κλίματος, τα οποία θα εξυπηρετούν τους ίδιους τύπους αεροσκαφών. Από τα αποτελέσματα που θα προκύψουν αναμένεται ότι θα μπορέσει να εντοπιστεί η σχέση της μεθόδου ACR-PCR με τις κλιματικές συνθήκες, τόσο για την κανονική κυκλοφορία αεροσκαφών, όσο και για την υπέρβαρη.

6.5.4 Υπερφόρτωση φέρουσας ικανότητας δύσκαμπτων οδοστρωμάτων

Η συγκεκριμένη εργασία εστίασε στην έννοια της υπερφόρτωσης της φέρουσας ικανότητας των εύκαμπτων οδοστρωμάτων αεροδρομίων. Σε ένα αεροδρόμιο κατέχουν εξίσου σημαντικό ρόλο στην ομαλή λειτουργία του τόσο τα εύκαμπτα, όσο και τα δύσκαμπτα οδοστρώματα. Επομένως, εκτιμάται ότι θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμη μια παρόμοια μελέτη για την συμπεριφορά των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων κατά την υπερφόρτωση της φέρουσας ικανότητας τους σύμφωνα με την καινούργια μέθοδο.

7. Βιβλιογραφία

- Armeni, A., & Loizos, A. (2022), Preliminary evaluation of the ACR-PCR system for reporting the bearing capacity of flexible airfield pavements, *Transportation Engineering*, Volume 8 (100117).
- Botha, N. (2023), ACR-PCR: What Does it Mean for Airports? ACI World Insights.
- Brill, D. R. (2020,), ACR/PCR Overview Aircraft Classification Rating/ Pavement Classification Rating, Proceedings, REDAC Subcommittee on Airports, FAA, Atlantic City, 4 March 2020.
- Broutin, M. (2022), ACR-PCR A new method to report pavement strength, Proceedings, EASA Webinar on the New Method to Report Pavement Strength ACR PCR, (pp. 9-28), 6 October 2022.
- DeBord, K. (2012), Calculating PCN using the FAA Method, The Boeing Company.
- FAA. (1983), Federal Aviation Administration, "Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength - PCN", Advisory Circular 150/5335-5, Washington DC.
- FAA. (1995), Federal Aviation Administration, "Airport Pavement Design and Evaluation", Advisory Circular 150/5320-6D, Washington DC.
- FAA. (2014), Federal Aviation Administration, "Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength - PCN", Advisory Circular 150/5335-5C, Washington DC.
- FAA. (2022), Federal Aviation Administration, "Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength - PCR", Advisory Circular 150/5335-5D, Washington DC.
- Fabre, C. (2018), The Aircraft Classification Rating – Pavement Classification Rating ACR-PCR, Proceedings, ALACPA, Quito, Ecuador, 28 May - 01 June 2018.
- Fabre, C. (2022), The ACR/PCR method, Proceedings, EASA Webinar on the New Method to Report Pavement Strength ACR PCR, (pp. 29-87), 6 October 2022.
- Fraport Greece. <https://www.fraport-greece.com/ell/profil-aerodromion>.
- Honey, H. & Crislip, J. (2023), ICAO ACR-PCR Procedure of Reporting Airport Pavement Strength Introduction to FAA AC 150/5335-5D, Proceedings, The Fourth Meeting

of the Asia/Pacific Aerodrome Design and Operations Task Force (AP-ADO/TF/4), (Category 5), Chiang Rai, Thailand, 10 - 13 January 2023.

ICAO. (1983), International Civil Aviation Organization, Airport Services Manual, Part 3 Pavements, Second Edition, I.C.A.O. Publications.

ICAO. (2018), Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation, Aerodromes Volume I Aerodrome Design and Operations, I.C.A.O. Publications.

Loizos, A., Armeni, A., & Plati, C. (2021), Airfield Pavement Overloading and Current Practice, Proceedings, ASCE Airfield and Highway Pavements, (pp. 88-97), 8-10 June 2021.

NATO. (2007), AEP-46A Aircraft Classification Numbers (ACN)/Pavement Classification Number (PCN), NATO Standardization Agency.

Tarlie, S. (2022), New method to report pavement strength (ACR-PCR), Proceedings, EASA Webinar on the New Method to Report Pavement Strength ACR PCR, (pp. 1-8), 6 October 2022.

Transport Canada. (2001), Aircraft Classification Numbers (ACN's). Ottawa: Transport Canada Technical Evaluation Engineering Department.

White, G. (2021), Changing from ACN-PCN to ACR-PCR, Proceedings, AAA Pavement & Lighting Forum, Gold Coast, Australia, 26 - 27 May 2021.

Λοΐζος, Α., & Πλατή, Χ. (2021), Σημειώσεις για το μάθημα αξιολόγηση και συντήρηση οδοστρωμάτων, ΕΜΠ.

Πλατή, Χ., & Λοΐζος, Α. (2021), Σημειώσεις για το μάθημα σχεδιασμός οδοστρωμάτων οδών και αεροδρομίων, ΕΜΠ.

8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 8.1 Κίνηση αεροσκαφών του αεροδρομίου Θεσσαλονίκης (SKG) για το έτος αναφοράς 2019

Περιβαλλοντικό Δελτίο SKG - 2019



Τύποι αεροσκαφών εξυπηρέτησης πτήσεων	
Επικρατέστεροι τύποι α/φων εξυπηρέτησης πτήσεων εσωτερικού	
Τύπος Αεροσκάφους	Αρ. Πτήσεων
A320	8.371
DH8D	2.131
AT72	1.606
A319	1.224
AT45	1.060
B73H	969
A32A	909
A321	817
B733	567
AT43	538
Άλλο	2.474
Επικρατέστεροι τύποι α/φων εξυπηρέτησης πτήσεων εσωτερικού	
Τύπος Αεροσκάφους	Αρ. Πτήσεων
B73H	10.133
A320	9.468
A319	3.397
B738	2.074
A32A	1.541
A321	1.435
B733	893
A32B	409
AT73	348
B73C	343
Άλλο	5.031



Περιβαλλοντικό Δελτίο CFU - 2019

Τύποι αεροσκαφών εξυπηρέτησης πτήσεων	
Επικρατέστεροι τύποι α/φων εξυπηρέτησης πτήσεων εσωτερικού	
Τύπος Αεροσκάφους	Αρ. Πτήσεων
A320	1.475
AT45	1.000
AT75	530
DH8D	292
A32A	240
AT72	215
A321	47
B462	34
C56X	33
A319	32
Άλλος	704
Επικρατέστεροι τύποι α/φων εξυπηρέτησης πτήσεων εξωτερικού	
Τύπος Αεροσκάφους	Αρ. Πτήσεων
B73H	6.752
A320	3.233
B738	1.667
A32A	1.498
A319	1.000
A321	839
A32B	431
A20N	394
B73W	334
B737	288
Άλλος	4274

Περιβαλλοντικό Δελτίο JMK - 2019



Τύπος Αεροσκάφους	Αρ. Πτήσεων
DH8D	1.508
A320	1.377
B712	1.203
AT75	406
EC35	363
A32A	280
AT72	274
EC20	197
AS55	163
A109	126
Άλλος	1.997
Επικρατέστεροι τύποι α/φων εξυπηρέτησης πτήσεων εξωτερικού	
Τύπος Αεροσκάφους	Αρ. Πτήσεων
A320	1.902
A32A	1.286
B73H	1.154
B712	703
A319	620
B738	474
C56X	472
E190	346
CL60	288
A20N	270
Άλλος	3.392

Περιβαλλοντικό Δελτίο JTR - 2019



Τύποι αεροσκαφών εξυπηρέτησης πτήσεων	
Επικρατέστεροι τύποι α/φων εξυπηρέτησης πτήσεων εσωτερικού	
Τύπος Αεροσκάφους	Αρ. Πτήσεων
AT75	2.188
DH8D	2.090
A320	2.046
B712	1.364
AT72	1.266
B73H	1.175
A321	802
A32A	386
B462	260
AT45	230
Άλλος	1.611
Επικρατέστεροι τύποι α/φων εξυπηρέτησης πτήσεων εξωτερικού	
Τύπος Αεροσκάφους	Αρ. Πτήσεων
A320	1.799
B73H	1.451
A32A	946
B712	842
A319	682
A20N	318
A32B	306
B738	292
B73W	154
C56X	88
Άλλος	1.023

Πίνακας 8.5 Κίνηση αεροσκαφών του αεροδρομίου Χανίων για το έτος αναφοράς 2019

Περιβαλλοντικό Δελτίο CHQ - 2019



Τύποι αεροσκαφών εξυπηρέτησης πτήσεων	
Επικρατέστεροι τύποι α/φων εξυπηρέτησης πτήσεων εσωτερικού	
Τύπος Αεροσκάφους	Αρ. Πτήσεων
A320	2.808
AT75	884
AT72	826
A32A	434
B73H	412
AT45	228
A321	100
D62	96
B733	80
A319	68
Άλλος	411
Επικρατέστεροι τύποι α/φων εξυπηρέτησης πτήσεων εξωτερικού	
Τύπος Αεροσκάφους	Αρ. Πτήσεων
B73H	6.136
A320	1.988
B738	1.270
A32B	836
A321	708
B73W	414
A21N	382
A319	364
A32A	315
B76W	278
Άλλος	1.464

Πίνακας 8.6 Κίνηση αεροσκαφών του αεροδρομίου Ρόδου για το έτος αναφοράς 2019 (1/2)

Τύποι αεροσκαφών εξυπηρέτησης πτήσεων	
Επικρατέστεροι τύποι α/φων εξυπηρέτησης πτήσεων εσωτερικού	
Τύπος Αεροσκάφους	Αρ. Πτήσεων
A320	3.878
AT45	1.612

¹ Στον συνολικό αριθμό πτήσεων δεν περιλαμβάνονται οι εκπαιδευτικές και στρατιωτικές πτήσεις.

Fraport Greece B S.A.

Page: 7/19

Περιβαλλοντικό Δελτίο RHO - 2019



DH8A	553
A321	387
A32A	356
B712	275
A319	274
B733	49
C550	38
DH8D	36
Άλλος	423

Πίνακας 8.7 Κίνηση αεροσκαφών του αεροδρομίου Ρόδου για το έτος αναφοράς 2019 (2/2)

Επικρατέστεροι τύποι α/φων εξυπηρέτησης πτήσεων εξωτερικού	
Τύπος Αεροσκάφους	Αρ. Πτήσεων
B73H	9.637
A320	6.360
B738	3.102
A321	1.681
A32B	1.246
A319	842
A32A	804
A21N	532
B73W	498
B733	469
Άλλος	4.416