



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΦΘΟΡΑΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ
ΚΑΙ ΤΕΛΗ ΠΡΟΣΓΕΙΩΣΗΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ

ΛΑΜΠΡΟΣ ΑΝΑΣΤΑΣΟΠΟΥΛΟΣ

Επιβλέπων: Λοΐζος Ανδρέας, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2023

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας τον κύκλο σπουδών στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν προς την επίτευξη αυτού του στόχου.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως τον καθηγητή μου κύριο Ανδρέα Λοΐζο, χωρίς την εμπιστοσύνη και την συνεχή στήριξη του οποίου, θα ήταν εξαιρετικά δύσκολο το έργο μου. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Διδάκτορα κυρία Αγγελική Αρμένη, για την άψογη συνεργασία και την πολύτιμη βοήθεια, η οποία ήταν πάντα διαθέσιμη για οτιδήποτε προέκυπτε.

Κλείνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την υποστήριξη και συμπαράσταση που μου προσφέρουν σε κάθε μου προσπάθεια, ανεξαρτήτως αποτελέσματος.

Σύνοψη – Περίληψη

Η διερεύνηση των παραγόντων που καθορίζουν τα τέλη προσγείωσης των αεροσκαφών είναι μια διαδικασία που απαιτείται τόσο για την εξέλιξη της αεροναυτιλίας, όσο και για την ομαλή και απρόσκοπτη συνεργασία των οργανισμών διαχείρισης των αερολιμένων με τις αεροπορικές εταιρείες. Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε διερεύνηση της σχέσης της προκαλούμενης φθοράς εύκαμπτου οδοστρώματος διαδρόμου προσγείωσης-απογείωσης αεροσκαφών περιφερειακού αερολιμένα του Ελλαδικού χώρου με τα τέλη προσγείωσης των αεροσκαφών. Για την επίτευξη αυτού αξιοποιήθηκαν οι βασικές αρχές της αναλυτικής μεθόδου σχεδιασμού και αξιολόγησης οδοστρωμάτων αεροδρομίων της Ομοσπονδιακής Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας FAA (Federal Aviation Administration). Η σχετική διερεύνηση περιλαμβάνει προσομοίωση της διατομής του οδοστρώματος του αερολιμένα για συγκεκριμένη σύνθεση κυκλοφορίας και υπολογισμό της αναπτυσσόμενης φθοράς, καθώς και των κρίσιμων εντατικών μεγεθών, μέσω του συστήματος FAARFIELD. Επιπλέον διερευνάται η σχέση της εντατικής κατάστασης του οδοστρώματος και της φθοράς με τα τέλη προσγείωσης των αεροσκαφών και εξετάζεται η επάρκεια των ήδη υπαρχόντων παραγόντων που διαμορφώνουν τις χρεώσεις των αερολιμένων.

Abstract

Investigating the factors that determine aircraft landing fees is a process that is necessary both for the development of air travel and for the smooth and seamless cooperation of airport management organizations with airlines. In the context of this thesis, an investigation was carried out of the relationship between the damage of the flexible pavement of the runway of a regional airport in Greece and the landing fees of the aircraft. To achieve this, the basic principles of the analytical method of design and evaluation of airport pavements of the Federal Aviation Administration FAA (Federal Aviation Administration) were used. The relevant investigation includes simulation of the cross-section of the airport pavement for a specific traffic composition and calculation of the developing wear, as well as the critical intensive quantities, through the FAARFIELD system. In addition, the relationship of pavement severity and damage with aircraft landing fees is investigated and the adequacy of the existing factors shaping airport charges is examined.

Πίνακας περιεχομένων

Σύνοψη – Περίληψη	3
Abstract.....	4
Κατάλογος Εικόνων	7
Κατάλογος Πινάκων	9
1. Εισαγωγή	10
1.1 Γενικά στοιχεία.....	10
1.2 Μεθοδολογία	11
1.3 Δομή εργασίας	12
2. Τέλη προσγείωσης των αεροσκαφών	13
2.1 Εισαγωγή.....	13
2.2 Τύποι και εξέλιξη αεροσκαφών	13
2.3 Τιμολογιακή πολιτική των διεθνών αεροδρομίων	17
2.4 Τιμολογιακή πολιτική των ελληνικών αεροδρομίων	18
3. Μέθοδος της Ομοσπονδιακής Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας.....	22
3.1 Γενικά στοιχεία.....	22
3.2 Εύκαμπτα οδοστρώματα	22
3.2.1 Δείκτης αθροιστικής φθοράς οδοστρώματος	25
3.2.2 Λόγος καλύψεων-διελεύσεων (P/C)	28
3.2.3 Κρίσιμες θέσεις αστοχίας.....	30
3.2.4 Νόμοι κόπωσης και αστοχίας	30
3.3 Σύστημα FAARFIELD	32
4. Διερεύνηση σχέσης επίδρασης αεροσκαφών σε διατομή εύκαμπτου οδοστρώματος και τέλη προσγείωσης.....	35
4.1 Εισαγωγή.....	35
4.2 Στοιχεία της κυκλοφορίας.....	35
4.3 Στοιχεία της διατομής του οδοστρώματος	39
4.4 Υπολογισμός τελών προσγείωσης	40
4.5 Υπολογισμός οριζόντιων και κατακόρυφων τάσεων και παραμορφώσεων	43
4.5.1 Σχέση παραμορφώσεων με MTOW.....	45
4.5.2 Σχέση παραμορφώσεων με τέλη προσγείωσης	46
4.6 Υπολογισμός φθοράς.....	49
4.7 Υπολογισμός σχετικής φθοράς	53
5. Δείκτης επίδρασης αεροσκαφών ACR και τέλη προσγείωσης.....	56
5.1 Δείκτης επίδρασης αεροσκάφους ACR.....	56
5.2 Σχέση παραμορφώσεων με ACR.....	58
5.3 Σχέση σχετικής φθοράς με ACR	62
5.4 Σχέση ACR με τέλη προσγείωσης.....	65
6. Συμπεράσματα	67
7. Βιβλιογραφία	69
Παράρτημα Α: Τάσεις και παραμορφώσεις στην ασφαλτική στρώση	71
Παράρτημα Β: Τάσεις και παραμορφώσεις στη στρώση έδρασης	84

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1: Τυπικό αεροσκάφος 1 ^{ου} Παγκοσμίου Πολέμου	13
Εικόνα 2.2: Αεροσκάφος Douglas DC-8-50.....	14
Εικόνα 2.3: Αεροσκάφος Airbus A320	14
Εικόνα 2.4: Αεροσκάφος Airbus A380-800.....	15
Εικόνα 2.5: Αύξηση βάρους αεροσκαφών ανά έτος κατασκευής.....	15
Εικόνα 2.6: Τυπικές διατάξεις τροχών αεροσκαφών σε ένα φορείο	16
Εικόνα 3.1: Διατομή εύκαμπτου οδοστρώματος	23
Εικόνα 3.2: Τυπικά υλικά της FAA εύκαμπτων οδοστρωμάτων	24
Εικόνα 3.3 Μοντέλο ελαστικών στρώσεων	25
Εικόνα 3.4: Γράφημα τιμών CDF παραδείγματος	27
Εικόνα 3.5: Διατομή οδοστρώματος παραδείγματος	27
Εικόνα 3.6: Ενεργό πλάτος τροχών χωρίς επικάλυψη	29
Εικόνα 3.7: Ενεργό πλάτος τροχών με επικάλυψη.....	29
Εικόνα 3.8: Κρίσιμες θέσεις αστοχίας	30
Εικόνα 3.9: Επιφάνεια λειτουργίας του προγράμματος FAARFIELD.....	33
Εικόνα 4.1: Τύποι και κίνηση αεροσκαφών περιφερειακού αερολιμένα	36
Εικόνα 4.2 Αεροσκάφος Boeing 757-300	37
Εικόνα 4.3 Αεροσκάφος Airbus A321-200std	37
Εικόνα 4.4 Αεροσκάφος Boeing 737-800	38
Εικόνα 4.5 Αεροσκάφος Airbus A320-200std	38
Εικόνα 4.6: Αεροσκάφος Airbus A320neo	38
Εικόνα 4.7: Αεροσκάφος Boeing 737-700	39
Εικόνα 4.8: Διατομή οδοστρώματος του περιφερειακού αερολιμένα.....	39
Εικόνα 4.9: Καθορισμός υλικών οδοστρώματος.....	40
Εικόνα 4.10: Διάγραμμα σχέσης MTOW - Τελών Προσγείωσης.....	42
Εικόνα 4.11: Τιμές τάσεων και παραμορφώσεων ασφαλικών στρώσεων	43
Εικόνα 4.12: Τιμές τάσεων και παραμορφώσεων στρώσης έδρασης	44
Εικόνα 4.13: Διάγραμμα σχέσης MTOW - Οριζόντιας παραμόρφωσης στον πυθμένα των ασφαλικών στρώσεων	45
Εικόνα 4.14: Διάγραμμα σχέσης MTOW - Κατακόρυφης παραμόρφωσης στην επιφάνεια της στρώσης έδρασης	46
Εικόνα 4.15: Διάγραμμα σχέσης οριζόντιων παραμορφώσεων - τελών προσγείωσης	47
Εικόνα 4.16: Διάγραμμα σχέσης κατακόρυφων παραμορφώσεων - τελών προσγείωσης.....	48
Εικόνα 4.17: Γράφημα τιμών CDF ανά αεροσκάφος.....	50
Εικόνα 4.18: Σχέση CDF (SG) - Τέλη Προσγείωσης	51
Εικόνα 4.19: Σχέση CDF (HMA) - Τέλη Προσγείωσης	52
Εικόνα 4.20: Διάγραμμα σχέσης σχετικής φθοράς (AC) - τελών προσγείωσης.....	54
Εικόνα 4.21: Διάγραμμα σχέσης σχετικής φθοράς (SG) - τελών προσγείωσης.....	55
Εικόνα 5.1: Δείκτης PCR	57

Εικόνα 5.2: Σχέση ACR με DSWL.....	58
Εικόνα 5.3: Τιμές ACR ανά αεροσκάφος	59
Εικόνα 5.4: Διάγραμμα σχέσης οριζόντιας παραμόρφωσης των ασφαλικών στρώσεων - ACR	60
Εικόνα 5.5: Διάγραμμα σχέσης κατακόρυφης παραμόρφωσης στρώσης έδρασης– ACR	62
Εικόνα 5.6: Διάγραμμα σχέσης σχετικής φθοράς ασφαλικών στρώσεων - ACR	63
Εικόνα 5.7: Διάγραμμα σχέσης σχετικής φθοράς στρώσης έδρασης - ACR	64
Εικόνα 5.8: Διάγραμμα σχέσης ACR - τελών προσγείωσης.....	66

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1 Επιβατική κίνηση ελληνικών αερολιμένων (2019)	19
Πίνακας 2.2 Τέλη Προσγείωσης σύμφωνα με ΥΠΑ	20
Πίνακας 3.1: Σύνθεση κυκλοφορίας παραδείγματος	28
Πίνακας 4.1: Στοιχεία αεροσκαφών που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση.....	36
Πίνακας 4.2: Τέλη προσγείωσης περιφερειακού αερολιμένα (2021)	41
Πίνακας 4.3: Τέλη προσγείωσης ανά αεροσκάφος ανά προσγείωση	42
Πίνακας 4.4: Τιμές οριζόντιων και κατακόρυφων παραμορφώσεων ανά αεροσκάφος.....	44
Πίνακας 4.5: Τιμές οριζόντιων παραμορφώσεων και τελών προσγείωσης αεροσκαφών.....	47
Πίνακας 4.6: Τιμές κατακόρυφων παραμορφώσεων και τελών προσγείωσης αεροσκαφών ...	48
Πίνακας 4.7: Τιμές φθοράς στρώσης έδρασης και τελών προσγείωσης.....	51
Πίνακας 4.8: Τιμές φθοράς ασφαλικής στρώσης και τελών προσγείωσης.....	52
Πίνακας 4.9: Τιμές σχετικής φθοράς ασφαλικών στρώσεων	53
Πίνακας 4.10: Τιμές σχετικής φθοράς στρώσης έδρασης.....	54
Πίνακας 5.1: Τιμές ACR και οριζόντιων παραμορφώσεων ανά αεροσκάφος	60
Πίνακας 5.2: Τιμές ACR και κατακόρυφων παραμορφώσεων ανά αεροσκάφος.....	61
Πίνακας 5.3: Τιμές ACR και σχετικής φθοράς ασφαλικών στρώσεων	63
Πίνακας 5.4: Τιμές ACR και σχετικής φθοράς στρώσης έδρασης	64
Πίνακας 5.5: Τιμές δείκτη ACR.....	65

1. Εισαγωγή

1.1 Γενικά στοιχεία

Τα αεροδρόμια αποτελούν μία από τις βασικότερες υποδομές μίας χώρας. Η ύπαρξή τους συντελεί στην δημιουργία νέων θέσεων εργασίας, καθώς και στην ανάπτυξη βιομηχανιών και υπηρεσιών στην περιοχή τους. Συνιστούν καθοριστικό παράγοντα στην ενίσχυση της τουριστικής βιομηχανίας και στην ανάπτυξη της εμπορικής δραστηριότητας και συνεισφέρουν στην ανάπτυξη νέων υποδομών μεταφορών, όπως το οδικό και σιδηροδρομικό δίκτυο, που συνδέουν τα αεροδρόμια με τις γύρω περιοχές. Ακόμη, αποτελούν σημαντικό κομμάτι της οικονομίας και απαιτούν συνεχή ανάπτυξη και βελτίωση για να παραμείνουν ανταγωνιστικά σε διεθνές περιβάλλον. Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία της Παγκόσμιας Τράπεζας του 2016, οι αερομεταφορές στην Ελλάδα ισοδυναμούν με το 10.2% του ΑΕΠ, ενώ από το έτος 2013 έως 2018, οι αεροπορικές συνδέσεις αυξήθηκαν κατά 106%.

Τα οδοστρώματα αεροδρομίων (διάδρομοι προσγείωσης-απογείωσης, τροχόδρομοι, χώροι στάθμευσης) αποτελούν περίπου το 30% της συνολικής επένδυσης και υποδομής και το 40% του ετήσιου κόστους συντήρησης ενός αεροδρομίου. Ταυτόχρονα, είναι μία κατασκευή η οποία θα πρέπει συνεχώς να προσαρμόζεται στις υπάρχουσες συνθήκες προκειμένου να εξυπηρετεί με ασφάλεια την κίνηση αεροσκαφών (Fabre & Vaurs, 2019). Επιπλέον, παρουσιάζουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά με τα οδοστρώματα των οδών, όσον αφορά στα υλικά των επιμέρους στρώσεων τους, στη δομή τους, στον τρόπο κατασκευής τους και στην επίδραση των κλιματολογικών συνθηκών, ωστόσο διαφοροποιούνται σε ορισμένες βασικές παραμέτρους σχεδιασμού και λειτουργίας τους.

Οι κύριες διαφορές μεταξύ των οδοστρωμάτων των οδών και των αεροδρομίων έγκεινται στις απαιτήσεις σχεδιασμού και κατασκευής για την υποστήριξη βαρέων φορτίων αεροσκαφών, στην εξασφάλιση αυστηρότερων κανόνων και προτύπων ασφαλείας, καθώς και στις διαφορετικές μεθόδους σχεδιασμού και αξιολόγησης των οδοστρωμάτων. Ορισμένες από τις διαφορές μεταξύ των δύο τύπων οδοστρωμάτων αναφέρονται στο μέγεθος και στο πλήθος των φορτίων, στη συχνότητα φόρτισης και στο πάχος των επιμέρους στρώσεων. Η κυκλοφορία στα αεροδρόμια είναι τέτοια, ώστε η κατανομή της να συγκεντρώνεται κυρίως στο κέντρο του οδοστρώματος, ενώ στις οδούς στην άκρη του οδοστρώματος. Τα φορτία μεταβιβάζονται στο οδόστρωμα μέσω του συστήματος τροχών των αεροσκαφών, με τη διάταξη των φορέων τους να έχει καθοριστικό ρόλο στην εντατική καταπόνηση του οδοστρώματος.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι διαφοροποιήσεις που εντοπίζονται ανάμεσα στα οδοστρώματα οδών και αεροδρομίων, αποτελούν παράγοντες που έχουν σημαντικές επιπτώσεις στον σχεδιασμό τους και κατ' επέκταση σε θέματα κατασκευής και συμπεριφοράς τους. Για τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση των οδοστρωμάτων αεροδρομίων έχουν αναπτυχθεί ποικίλες μέθοδοι εύκαμπτων και δύσκαμπτων οδοστρωμάτων, με την επικρατέστερη να είναι η μέθοδος της Ομοσπονδιακής Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας FAA (Federal Aviation Administration) (FAA, 2021).

Τα οδοστρώματα των αερολιμένων συνιστούν κατασκευές, που αντιμετωπίζουν συνεχή καταπόνηση από τα βαριά φορτία των αεροσκαφών, γεγονός που συντελεί στην συνεχή φθορά τους και στην ανάγκη για συντήρησή τους. Προς επίτευξη αυτού η διοίκηση του εκάστοτε αερολιμένα εφαρμόζει ορισμένες χρεώσεις στις αεροπορικές εταιρείες για την χρήση των υποδομών, των χώρων στάθμευσης και των διαδρόμων προσγείωσης-απογείωσης, με τις σημαντικότερες εξ αυτών να είναι τα τέλη προσγείωσης των αεροσκαφών.

Τα τέλη προσγείωσης των αεροσκαφών, ξεκίνησαν να επιβάλλονται από τις αρχές της δεκαετίας του 1930, με σκοπό την χρηματοδότηση των υποδομών του αεροδρομίου. Από τη συνεχή ανάπτυξη του κλάδου των αερομεταφορών και την ανάγκη για χρηματοδότηση των αερολιμένων, τα τέλη προσγείωσης έγιναν πιο διαδεδομένα σε όλο τον κόσμο. Σήμερα, αποτελούν σημαντική πηγή εσόδων για τους αερολιμένες και χρησιμοποιούνται για να καλυφθούν τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης των υποδομών. Τα τέλη προσγείωσης υπολογίζονται ανά αεροσκάφος, ανά προσγείωση και εξαρτώνται από το μέγιστο βάρος απογείωσης των αεροσκαφών.

Στο πλαίσιο αυτό, δημιουργείται το ερώτημα εάν ο τρόπος τιμολόγησης έχει εκσυγχρονιστεί με την πάροδο των χρόνων και εάν είναι επαρκείς οι παράγοντες που έχουν ληφθεί υπόψη για την διαμόρφωση της υπάρχουσας τιμολογιακής πολιτικής των αερολιμένων. Κρίνεται ακόμη αναγκαίο να εξεταστεί κατά πόσο λαμβάνεται υπόψη η φθορά που προκαλούν τα αεροσκάφη στο οδόστρωμα, για τον υπολογισμό των χρεώσεων. Ως εκ τούτου, στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνάται η σχέση της φθοράς του οδοστρώματος, λόγω της επίδρασης των αεροσκαφών, με τα τέλη προσγείωσης.

1.2 Μεθοδολογία

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε έρευνα για την τιμολογιακή πολιτική των ελληνικών αερολιμένων και των παραμέτρων με βάση τις οποίες προσδιορίζονται τα τέλη προσγείωσης των αεροσκαφών. Στη συνέχεια προσδιορίστηκαν τα τέλη προσγείωσης για διαφόρους τύπους αεροσκαφών του Ελλαδικού χώρου.

Ακολούθως, επιλέχθηκε αεροδρόμιο περιφερειακού αερολιμένα του Ελλαδικού χώρου και διερευνήθηκε η φθορά που προκαλούν τα αεροσκάφη της σύνθεσης της κυκλοφορίας στο οδόστρωμα του διαδρόμου προσγείωσης-απογείωσης αεροσκαφών. Κατόπιν διερευνήθηκε η σχέση της φθοράς με τα τέλη προσγείωσης των αεροσκαφών. Για τον σκοπό αυτό αντλήθηκαν στοιχεία από τη βάση δεδομένων του Εργαστηρίου Οδοστρωμάτων του ΕΜΠ και αξιοποιήθηκε η διεθνώς αναγνωρισμένη μεθοδολογία σχεδιασμού και αξιολόγησης οδοστρωμάτων αεροδρομίων της FAA (Federal Aviation Administration).

Επιπλέον διερευνήθηκε η σχέση των τελών προσγείωσης αεροσκαφών με τον δείκτη ACR (Aircraft Classification Rating), οποίος είναι ένας δείκτης που εκφράζει τη σχετική επίδραση ενός αεροσκάφους στο οδόστρωμα. Ο υπόψη δείκτης αποτελεί βασικό στοιχείο του συστήματος ACR-PCR (Aircraft Classification Rating/Pavement Classification Rating), το οποίο αφορά στην κατάταξη της φέρουσας ικανότητας των οδοστρωμάτων ενός αεροδρομίου.

Σημειώνεται ότι το υπόψη σύστημα αναμένεται να τεθεί σε ισχύ από το 2024, και αποτελεί την επικαιροποιημένη μορφή του ισχύοντος συστήματος κατάταξης ACN-PCN (Aircraft Classification Number / Pavement Classification Number).

Με στόχο την περαιτέρω διερεύνηση της σχέσης των τελών προσγείωσης και της φθοράς των αεροσκαφών πραγματοποιείται εκτίμηση των κρίσιμων εντατικών μεγεθών που αναπτύσσονται στο οδόστρωμα εξαιτίας της φόρτισης των αεροσκαφών, λαμβάνοντας υπόψη αεροσκάφη με διαφορετικά χαρακτηριστικά όπως σύστημα τροχών, μέγιστο φορτίο αεροσκάφους και πίεση ελαστικών.

1.3 Δομή εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται συνολικά από επτά κεφάλαια.

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή, στο οποίο αναφέρεται το αντικείμενο και ο στόχος της υπόψη διπλωματικής εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι τύποι και η εξέλιξη των αεροσκαφών και αναλύεται η τιμολογιακή πολιτική τόσο των ελληνικών όσο και των διεθνών αερολιμένων, καθώς και οι παράγοντες που επηρεάζουν τις χρεώσεις των τελών προσγείωσης των αεροσκαφών.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μέθοδος της FAA που αφορά στην αξιολόγηση εύκαμπτων οδοστρωμάτων αεροδρομίων. Παρατίθενται οι βασικές αρχές της μεθόδου, καθώς και γενικά στοιχεία του συστήματος FAARFIELD (Federal Aviation Administration Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design), με τη χρήση του οποίου πραγματοποιείται η εφαρμογή της μεθόδου.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία του αερολιμένα που εξετάστηκε καθώς και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εύρεση της φθοράς και των κρίσιμων εντατικών μεγεθών μέσω του συστήματος FAARFIELD. Επιπρόσθετα, διερευνάται η σχέση μεταξύ του μέγιστου βάρους απογείωσης των αεροσκαφών, της φθοράς και των κρίσιμων εντατικών μεγεθών με τα τέλη προσγείωσης των αεροσκαφών.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναφέρονται βασικά στοιχεία του συστήματος ACR-PCR και διερευνάται η σχέση του δείκτη επίδρασης των αεροσκαφών ACR με τις αναπτυσσόμενες παραμορφώσεις στον πυθμένα των ασφαλικών στρώσεων και στην επιφάνεια της στρώσης έδρασης, καθώς και με τα τέλη προσγείωσης των αεροσκαφών.

Στο έκτο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν και αναφέρονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Στο έβδομο κεφάλαιο παρατίθεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της υπόψη διπλωματικής εργασίας.

Στα παραρτήματα Α και Β παρατίθενται οι τιμές των εντατικών μεγεθών ανά αεροσκάφος της σύνθεσης κυκλοφορίας, όπως προέκυψαν μέσω του συστήματος FAARFIELD.

2. Τέλη προσγείωσης των αεροσκαφών

2.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η τιμολογιακή πολιτική τόσο των ελληνικών όσο και των διεθνών αερολιμένων, καθώς και οι παράγοντες που επηρεάζουν τις χρεώσεις των τελών προσγείωσης των αεροσκαφών. Επιπλέον γίνεται αναφορά στην εξέλιξη των αεροσκαφών με την πάροδο του χρόνου και παρατίθενται στοιχεία των συνηθέστερων τύπων αεροσκαφών.

2.2 Τύποι και εξέλιξη αεροσκαφών

Η διαχρονική εξέλιξη των αεροσκαφών, έχει οδηγήσει σε μεγαλύτερα και βαρύτερα αεροσκάφη, με αποτέλεσμα την αύξηση των πιέσεων ελαστικών και των φορτίων εντατικής καταπόνησης των οδοστρωμάτων των αεροδρομίων, επιφέροντας αλλαγές στον τρόπο σχεδίασης και κατασκευής τους.

Η πρώτη ελεγχόμενη, μηχανοκίνητη πτήση πραγματοποιήθηκε από τους αδελφούς Ράιτ το 1903. Το 1909 κατασκευάστηκε το πρώτο αεροσκάφος, ενώ το 1914 τα αεροσκάφη χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του Α' Παγκοσμίου Πολέμου, οδηγώντας στον εκσυγχρονισμό τους και στην ανάπτυξη στρατιωτικών μαχητικών αεροσκαφών.



Εικόνα 2.1: Τυπικό αεροσκάφος 1^{ου} Παγκοσμίου Πολέμου

Κατά τις δεκαετίες του 1920 και του 1930 παρατηρήθηκε ανάπτυξη μεγαλύτερων και πιο ισχυρών αεροσκαφών, όπως το Boeing 247 και το Douglas DC-3, που έφεραν αλλαγές στις αερομεταφορές, έχοντας ως κύριο άξονα την άνεση και αξιοπιστία των επιβατών.

Κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, η πρόοδος στην τεχνολογία των αεροσκαφών οδηγήθηκε από τη στρατιωτική αναγκαιότητα, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη κινητήρων και των πρώτων αεροσκαφών τζετ, όπως το Messerschmitt Me 262. Μεταξύ των δεκαετιών του 1940 και του 1950, οι πιέσεις των ελαστικών στα στρατιωτικά αεροσκάφη είχε διπλασιαστεί και συγκεκριμένα η πίεση ελαστικών από 0,6 MPa έγινε 1,2 MPa.

Μετά τον πόλεμο, οι εμπορικές αεροπορικές εταιρείες επεκτάθηκαν γρήγορα, με την εισαγωγή μεγαλύτερων, ταχύτερων και πιο αποτελεσματικών αεροσκαφών, όπως το Boeing 707 και το

Douglas DC-8. Το Douglas DC-8 αποτέλεσε σημαντικό βήμα στην ανάπτυξη των εμπορικών αεροσκαφών, μετά την κυκλοφορία του το 1958, διαθέτοντας φορτίο 19 τόνων και πίεση ελαστικών 1,35MPa.



Εικόνα 2.2: Αεροσκάφος Douglas DC-8-50

Στα τέλη της δεκαετίας του 1960, η εποχή των υπερηχητικών μεταφορών ξεκίνησε με την ανάπτυξη του Concorde, το οποίο μπορούσε να πετάξει με διπλάσια ταχύτητα του ήχου, αλλά η παραγωγή του και η χρήση του διακόπηκε, λόγω του υψηλού κόστους συντήρησής του.

Τα τελευταία χρόνια, η πίεση των ελαστικών και τα φορτία ανά τροχό αυξάνονται σταδιακά, με αεροσκάφη όπως το B737-800 και το Airbus A320 να είναι τα επικρατέστερα για τις αερομεταφορές παγκοσμίως, με βάρος που ξεπερνά τους 70 τόνους και πίεση ελαστικών μεγαλύτερη των 1,3 MPa.



Εικόνα 2.3: Αεροσκάφος Airbus A320

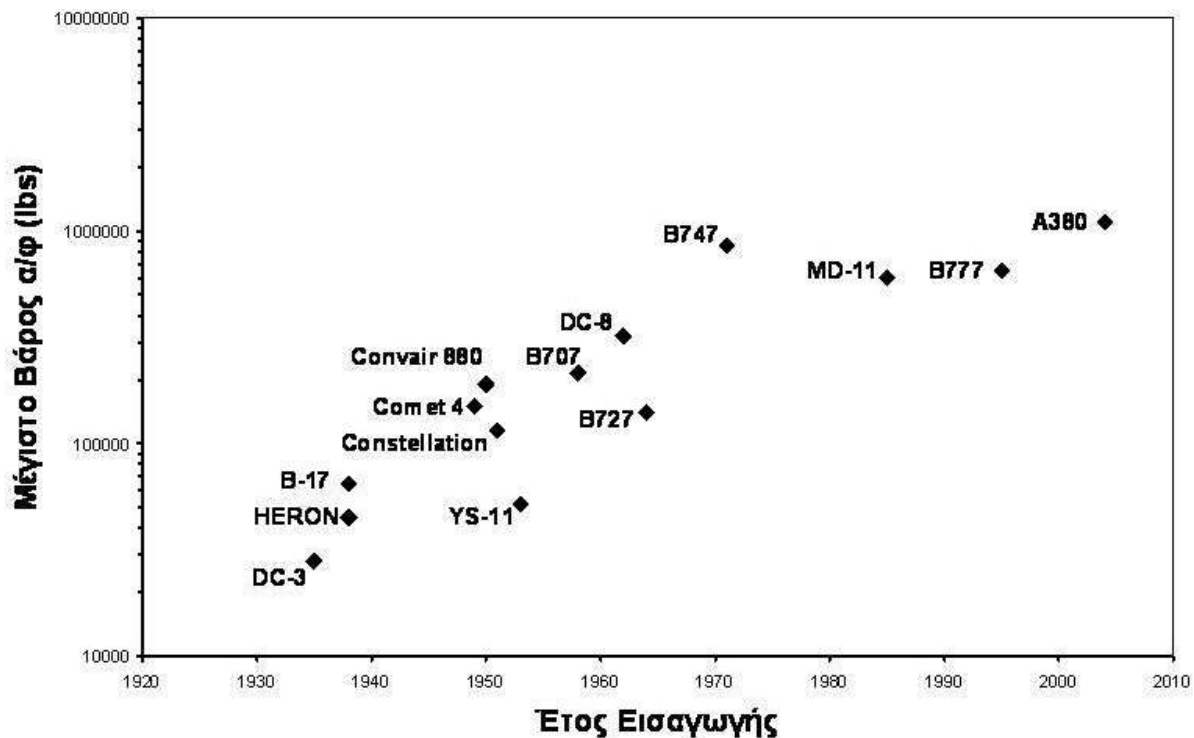
Το 2005 εισήχθη στην κυκλοφορία το μεγαλύτερο επιβατικό αεροσκάφος παγκοσμίως, το A380-800, με μέγιστο βάρος απογείωσης 775 τόνους, φορτίο 26,8 τόνους ανά τροχό και πίεση ίση με 1,50 MPa. Αξίζει να σημειωθεί ότι το κύριο φορείο είναι διάταξης διπλού-τρίδυμου τροχού, ώστε να ελαχιστοποιείται η καταπόνηση του οδοστρώματος στα σημεία επαφής, ωστόσο πολλά αεροδρόμια χρειάστηκε να αναβαθμίσουν τις εγκαταστάσεις τους για να το φιλοξενήσουν.



Εικόνα 2.4: Αεροσκάφος Airbus A380-800

Συνοπτικά, τα φορτία των αεροσκαφών αποτελούν τον κύριο παράγοντα καταπόνησης για τα οδοστρώματα των αεροδρομίων. Λόγω της συνεχούς αύξησης της μεταφορικής ζήτησης και της εισαγωγής νέων, μεγαλύτερων και βαρύτερων αεροσκαφών παρατηρείται μια αντίστοιχη αύξηση και των απαιτήσεων φέρουσας ικανότητας των οδοστρωμάτων. Η σχετικά πρόσφατη εισαγωγή των νέων τύπων μεγάλων αεροσκαφών (New Large Aircrafts – NLA) όπως είναι το B777 και το A380, έχει πρακτικά θέσει νέες απαιτήσεις και προδιαγραφές για τα χαρακτηριστικά των οδοστρωμάτων, και γενικότερα για το σχεδιασμό των αεροδρομίων.

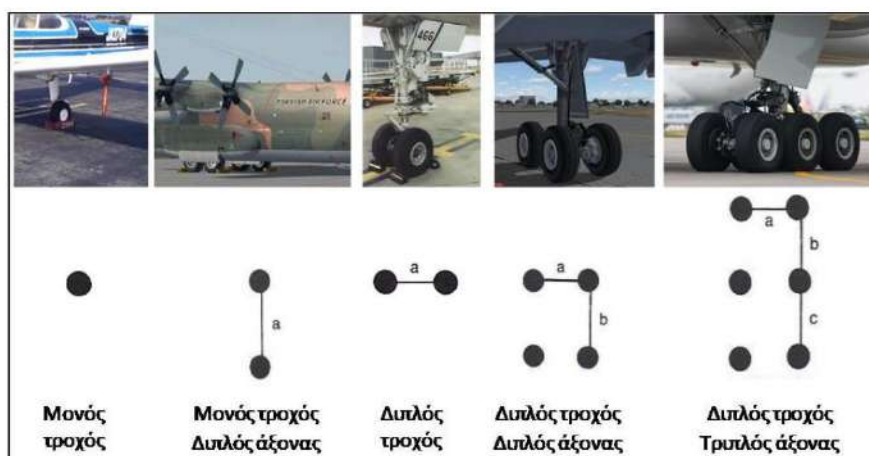
Στην Εικόνα 2.5 απεικονίζεται η συσχέτιση της αύξησης του βάρους των αεροσκαφών, σύμφωνα με το έτος κατασκευής τους.



Εικόνα 2.5: Αύξηση βάρους αεροσκαφών ανά έτος κατασκευής

Οι τύποι των αεροσκαφών που αναμένεται να δεχθεί ένα οδόστρωμα και ο αριθμός των προβλεπόμενων διελεύσεων τους καθορίζουν τη διαστασιολόγηση ενός οδοστρώματος, ώστε να επιτευχθεί η προβλεπόμενη διάρκεια ζωής του. Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία εξετάζονται διάφοροι τύποι αεροσκαφών, ως προς τα αντίστοιχα φορτία τους, σε σχέση με την καταπόνηση που ασκούν στο οδόστρωμα. Οι αναλύσεις που έχουν πραγματοποιηθεί αφορούν αεροσκάφη της πολιτικής αεροπορίας, τα οποία δέχονται τα ελληνικά αεροδρόμια. Ωστόσο, τα αεροσκάφη που ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία παρουσιάζουν πολλές διαφοροποιήσεις, με τις σημαντικότερες εκ των οποίων να παρατηρούνται στο μέγιστο βάρος απογείωσης (Maximum Take-Off Weight – MTOW), στον τύπο των φορείων και τη διάταξη των τροχών καθώς και στην πίεση των ελαστικών.

Η διάταξη των τροχών των αεροσκαφών συνιστά καθοριστικό παράγοντα για την εντατική καταπόνηση του οδοστρώματος, μεταβιβάζοντας σε αυτό τα φορτία των αεροσκαφών. Οι αποστάσεις μεταξύ των τροχών του φορείου είναι διαφορετικές για κάθε αεροσκάφος όπως και η πίεση των ελαστικών. Για τις περισσότερες εφαρμογές οδοστρωμάτων η επιφάνεια επαφής προσομοιάζεται με κύκλο, όπως και για τις οδούς, ενώ η κατανομή της πίεσης θεωρείται ομοιόμορφη (Λοΐζος & Πλατή, 2021). Στην Εικόνα 2.6 παρατηρούνται οι τυπικές διατάξεις των τροχών των αεροσκαφών σε ένα φορείο.



Εικόνα 2.6: Τυπικές διατάξεις τροχών αεροσκαφών σε ένα φορείο

Το μέγιστο βάρος απογείωσης (MTOW) ενός αεροσκάφους είναι το μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος, κατά το οποίο μπορεί ο πιλότος να ξεκινήσει την διαδικασία της απογείωσης. Υπολογίζεται αθροίζοντας το λειτουργικό καθαρό βάρος του αεροσκάφους, το βάρος των επιβατών ή του φορτίου αντίστοιχα και το βάρος των καυσίμων, ενώ αποτελεί το μέγιστο βάρος που μπορεί να έχει το αεροσκάφος, σύμφωνα με τους κανονισμούς. Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας για την καταπόνηση του οδοστρώματος είναι η κατανομή του συνολικού φορτίου του αεροσκάφους στα φορεία του, όπου συνήθως το 95% του φορτίου του αεροσκάφους το αναλαμβάνει το πίσω φορείο (κύριο φορείο) και το 5% το ρηνιαίο. Επιπρόσθετα, τα φορτία μεταφέρονται στο οδόστρωμα μέσω των σημείων επαφής των ελαστικών, καθιστώντας την πίεση τους μείζονος σημασίας. Από τις συνολικές κινήσεις των αεροσκαφών προκύπτουν και

οι αντίστοιχες καλύψεις-διελεύσεις, ένα εξίσου σημαντικό μέγεθος για την αντοχή του οδοστρώματος, που θα αναλυθεί εκτενέστερα στο κεφάλαιο 3.2.2.

2.3 Τιμολογιακή πολιτική των διεθνών αεροδρομίων

Όπως στα ελληνικά, έτσι και στα διεθνή αεροδρόμια το μέγεθος που έχει καθοριστικό ρόλο για τον υπολογισμό των τελών προσγείωσης των αεροσκαφών είναι το μέγιστο βάρος απογείωσης (MTOW). Ενώ παρατηρείται ότι η νομοθεσία από χώρα σε χώρα ποικίλει και η κάθε αρχή έχει θεσμοθετήσει τους δικούς της κανόνες τιμολόγησης, η γενική κατεύθυνση που ακολουθείται φαίνεται ότι δεν διαφέρει σημαντικά, με το μέγιστο βάρος απογείωσης να αποτελεί το σημαντικότερο, και σε ορισμένες περιπτώσεις το μοναδικό μέγεθος για την τιμολογιακή πολιτική που ακολουθούν τα κράτη. Επομένως, παρατηρείται ότι λαμβάνεται υπόψη η σύσταση του ICAO (International Civil Aviation Organization), με τα τέλη προσγείωσης να καθορίζονται σύμφωνα με το μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος απογείωσης του αεροσκάφους.

Σύμφωνα με τις οδηγίες του ICAO για τις χρεώσεις των αερογραμμών τα τέλη προσγείωσης πρέπει να βασίζονται στο μέγιστο βάρος απογείωσης (MTOW) του αεροσκάφους (ICAO, 2012). Κατά την απογείωση το βάρος πρέπει να συμπίπτει με αυτό που αναφέρεται στο πιστοποιητικό αξιοπλοΐας, λαμβάνοντας υπόψη τοπικούς περιορισμούς που ενδέχεται να επηρεάσουν το μέγιστο βάρος απογείωσης του αεροσκάφους. Συνήθως, προτείνεται να υπάρχει σταθερή χρέωση ανά αεροσκάφος ή συνδυασμός σταθερής χρέωσης έως ένα σημείο και αύξηση της τιμής αναλογικά με τους τόνους του αεροσκάφους πέραν του σημείου αυτού. Επιπρόσθετα, το μήκος της περιοχής πτήσης δεν πρέπει να λαμβάνεται ως παράγοντας για τον καθορισμό των τελών προσγείωσης.

Τα τέλη προσγείωσης και στάθμευσης για πτήσεις του εσωτερικού είναι χαμηλότερα από εκείνα για διεθνείς πτήσεις, κατά περίπου 25 τοις εκατό (25%). Επιπρόσθετα, τα τέλη προσγείωσης συνιστούν το σημαντικότερο τέλος των αεροπορικών εταιρειών και αποτελούν περίπου το τέσσερα τοις εκατό (4%) των συνολικών εξόδων τους. Αξίζει ακόμη να σημειωθεί ότι τα τέλη προσγείωσης αποτελούν το σαράντα τέσσερα τοις εκατό (44%) των συνολικών εσόδων ενός αερολιμένα (Kesharwani, 2001).

Σύμφωνα με την Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας (FAA), τα τέλη προσγείωσης διαφέρουν από αερολιμένα σε αερολιμένα, επιτρέποντας στην διαχειριστική αρχή του εκάστοτε αεροδρομίου να ορίσει την δική της τιμολογιακή πολιτική. Έχει διαπιστωθεί ότι τα τέλη προσγείωσης μπορεί να διαφέρουν σημαντικά ανά τα αμερικάνικα αεροδρόμια, παρατηρώντας ακόμη και οχταπλάσια τιμή σε ορισμένες περιπτώσεις. Η βιβλιογραφία όσον αφορά στις χρεώσεις των αεροδρομίων είναι περιορισμένη και οι ενδείξεις για τους παράγοντες που επηρεάζουν τα τέλη προσγείωσης των αεροσκαφών είναι ασαφείς. Παρακάτω θα αναφερθούν οι σημαντικότερες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί για τον προσδιορισμό των αεροναυτικών τελών των αερολιμένων.

Σύμφωνα με την έρευνα του (Dender, 2007), η οποία αφορούσε 55 μεγάλα αμερικάνικα αεροδρόμια κατά το 1998-2022, παρατηρήθηκε ότι η μέση απόσταση πτήσης, το ποσοστό διεθνών πτήσεων και τα αεροδρόμια με περιορισμούς υποδοχής, παρουσιάζουν θετική αναλογική συσχέτιση με τα αεροπορικά έσοδα ανά επιβάτη. Ακόμη, παρατηρήθηκε ότι όσο αυξάνεται ο ανταγωνισμός μεταξύ των αερογραμμών του εκάστοτε αεροδρομίου, καθώς και ο αριθμός των αναχωρήσεων των αεροσκαφών, τόσο μειώνονται τα αεροπορικά έσοδα ανά επιβάτη.

Οι έρευνες των (Bel & Fageda, 2009) και (Bilotkach & Clougherty, 2012) επικεντρώθηκαν στην ιδιωτικοποίηση και στην ρύθμιση των τελών προσγείωσης στα Ευρωπαϊκά αεροδρόμια. Ενώ τα εμπειρικά αποτελέσματα της έρευνας υπέδειξαν ότι οι χρεώσεις των ιδιωτικών αεροδρομίων είναι υψηλότερες, η έρευνα των Bilotkach et al. (2012) έδειξε ότι η ιδιωτικοποίηση οδηγεί σε χαμηλότερες χρεώσεις. Ακόμη, υπέδειξε ότι τα τέλη προσγείωσης ήταν χαμηλότερα σε αεροδρόμια όπου εφαρμόζονται συγκεκριμένοι κανονισμοί τιμολόγησης, ενώ οι Bel and Fageda διαπίστωσαν ότι ο μηχανισμός ρύθμισης δεν φαίνεται να έχει καμία σχέση με την τιμολόγηση του αεροδρομίου.

Η έρευνα του (Choo, 2014), διερευνά τους παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή χρέωσης των τελών προσγείωσης μεταξύ των αεροδρομίων στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Παρατηρήθηκε ότι σε μεγαλύτερα αεροδρόμια τα τέλη προσγείωσης είναι χαμηλότερα. Ο λόγος για αυτό θα μπορούσε να είναι δισημάντος, αφενός για την αποδοτικότητα του κόστους και αφετέρου για αποζημίωση των αεροπορικών εταιρειών που υποστηρίζουν οικονομικά την κατασκευή και συντήρηση των εγκαταστάσεων του αεροδρομίου. Επιπρόσθετα, από την έρευνα προέκυψε ότι τα αεροπορικά τέλη είναι υψηλότερα σε κομβικά αεροδρόμια και σε αεροδρόμια με αυξημένη διεθνή επιβατική κίνηση, ενώ παρατηρήθηκε ότι ορισμένες αεροπορικές εταιρείες ενδέχεται να εξασφαλίζουν χαμηλότερες τιμές τελών, λόγω της μεγαλύτερης διαπραγματευτικής τους δύναμης.

2.4 Τιμολογιακή πολιτική των ελληνικών αεροδρομίων

Η Ελλάδα αποτελεί μια χώρα με αυξημένη επιβατική κίνηση, λόγω της γεωπολιτικής της θέσης και του αυξημένου τουρισμού. Το κυριότερο αεροδρόμιο της χώρας είναι ο Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών «Ελευθέριος Βενιζέλος» (Athens International Airport), το οποίο βρίσκεται ανάμεσα στους μεγαλύτερους αερολιμένες της Ευρώπης, με επιβατική κίνηση άνω των 30 εκατομμυρίων ετησίως.

Η χώρα διαθέτει πληθώρα πολιτικών αεροδρομίων, εκ των οποίων τη λειτουργία, τη συντήρηση, τη διαχείριση και την ανάπτυξη δεκατεσσάρων εξ αυτών, έχει αναλάβει η Fraport Greece έως το 2055. Τα 14 περιφερειακά αεροδρόμια, χωρίζονται σε δύο ομάδες (Α και Β), σύμφωνα με τη γεωγραφική τους θέση, και εξυπηρετούν στο σύνολό τους περίπου 30 εκατομμύρια επιβάτες ετησίως.

Στη συνέχεια παρατίθεται πίνακας με τα μεγαλύτερα ελληνικά πολιτικά αεροδρόμια και με την επιβατική τους κίνηση κατά το χρονολογικό έτος 2019.

Πίνακας 2.1 Επιβατική κίνηση ελληνικών αερολιμένων (2019)

Αερολιμένες	Επιβατική Κίνηση (2019)	
	Εσωτερικού	Εξωτερικού
Άκτιο	16.763	609.027
Χανιά	672.946	2.310.596
Κέρκυρα	342.844	2.933.120
Καβάλα	68.328	254.957
Κεφαλονιά	100.958	673.212
Θεσσαλονίκη	2.164.242	4.731.089
Ζάκυνθος	94.297	1.716.130
Συνολικά Ομάδα Α	3.460.378	13.228.131
Κως	284.948	2.391.696
Μυτιλήνη	362.759	133.818
Μύκονος	524.877	995.268
Ρόδος	803.994	4.738.229
Σάμος	181.455	298.525
Σαντορίνη	1.228.840	1.071.600
Σκιάθος	55.535	390.684
Συνολικά Ομάδα Β	3.442.408	10.019.820
Αθήνα (Ελ. Βενιζέλος)	7.751.014	25.573.993

Στην Ελλάδα τα τέλη προσγείωσης είναι ρυθμισμένα από την Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας (ΥΠΑ), με τα αεροδρόμια να ακολουθούν τις οδηγίες για την τιμολογιακή πολιτική, με ορισμένες αποκλίσεις. Ακολουθώντας, παρατίθεται η προτεινόμενη τιμολόγηση των τελών προσγείωσης σύμφωνα με την ΥΠΑ και όπως παρουσιάζεται στην επίσημη ιστοσελίδα της.

Τα τέλη προσγείωσης των αεροσκαφών παρατίθενται στον Πίνακα 2.2.

Πίνακας 2.2 Τέλη Προσγείωσης σύμφωνα με ΥΠΑ

Τέλη προσγείωσης	
Μέγιστο βάρος απογείωσης (tn)	Χρέωση (€)
$5,7 < W \leq 10$	11,50
$10 < W \leq 25$	11,50 Για τους πρώτους 10 τόνους και 1,1455 για κάθε επί πλέον τόνο ή κλάσμα αυτού.
$25 < W \leq 50$	28,67 Για τους πρώτους 25 τόνους και 1,438 για κάθε επί πλέον τόνο ή κλάσμα αυτού.
$50 < W \leq 65$	64,62 Για τους πρώτους 50 τόνους και 1,6141 για κάθε επί πλέον τόνο ή κλάσμα αυτού.
$65 < W \leq 80$	88,83 Για τους πρώτους 65 τόνους και 1,6434 για κάθε επί πλέον τόνο ή κλάσμα αυτού.
$80 < W \leq 150$	113,48 Για τους πρώτους 80 τόνους και 1,6141 για κάθε επί πλέον τόνο ή κλάσμα αυτού.
$150 < W \leq 300$	226,47 Για τους πρώτους 150 τόνους και 1,6434 για κάθε επί πλέον τόνο ή κλάσμα αυτού.
$W > 300$	472,99 Για τους πρώτους 300 τόνους και 1,2913 για κάθε επί πλέον τόνο ή κλάσμα αυτού.

Επιπλέον, ισχύουν οι παρακάτω πρόσθετες χρεώσεις (ΥΠΑ, 2013):

- i. Για τις προσγειώσεις ή απογειώσεις αεροσκαφών που πραγματοποιούνται κατά το χρονικό διάστημα από τριάντα (30) λεπτά μετά τη δύση του ηλίου μέχρι και τριάντα (30) λεπτά πριν την ανατολή του, υπολογίζεται επιβάρυνση 40% στο ποσό του τέλους προσγείωσης, ως προσαύξηση νυκτερινής απασχόλησης.

- ii. Για τις προσγειώσεις αεροσκαφών που πραγματοποιούνται κατά τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο και κατά το χρονικό διάστημα από τις 11.00 έως και 17.00 τοπική ώρα, υπολογίζεται επιβάρυνση 25% στο ποσό του τέλους προσγείωσης, ως προσαύξηση απασχόλησης χρόνου αιχμής θερινής περιόδου. Όταν επιβάλλεται συγχρόνως προσαύξηση απασχόλησης χρόνου αιχμής θερινής περιόδου 25% και προσαύξηση νυκτερινής απασχόλησης 40%, διευκρινίζεται ότι οι προσαυξήσεις υπολογίζονται, κάθε μια ξεχωριστά, με βάση το τέλος προσγείωσης και ύστερα προσθέτονται.
- iii. Για τη χρονική περίοδο από την 1η Οκτωβρίου έως την 31η Μαρτίου εκάστου έτους ισχύει έκπτωση 50% στα τέλη προσγείωσης, απογείωσης.

3. Μέθοδος της Ομοσπονδιακής Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας

3.1 Γενικά στοιχεία

Η μέθοδος της Ομοσπονδιακής Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας (FAA) είναι ευρέως χρησιμοποιούμενη για την αξιολόγηση και τον σχεδιασμό οδοστρωμάτων αεροδρομίων. Το 1995 δημοσιεύθηκε η εμπειρική μέθοδος της FAA, η οποία βασιζόταν σε εμπειρικές παραδοχές σε συνδυασμό με αποτελέσματα ερευνών που είχαν διεξαχθεί από την FAA. Το 2009 δημοσιεύθηκε η αναλυτική μέθοδος της FAA, η οποία χρησιμοποιείται τόσο για τη διαστασιολόγηση νέων, όσο και για την αξιολόγηση των υφιστάμενων εύκαμπτων και δύσκαμπτων οδοστρωμάτων αεροδρομίων. Η επικαιροποιημένη μορφή της μεθόδου περιγράφεται στο εγχειρίδιο (FAA, 2021).

Σύμφωνα με τη μέθοδο της FAA, ο σχεδιασμός και η αξιολόγηση ενός οδοστρώματος αεροδρομίου πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη τη σύνθεση της κυκλοφορίας, τις ετήσιες διελεύσεις και τα υλικά των επιμέρους στρώσεων του οδοστρώματος. Η ανάλυση βασίζεται σε κατάλληλους νόμους κόπωσης και αστοχίας των υλικών που χαρακτηρίζουν την συμπεριφορά των υπόψη υλικών. Η διαδικασία σχεδιασμού περιλαμβάνει τον υπολογισμό του αριθμού των επιτρεπόμενων διελεύσεων των αεροσκαφών κατά τη διάρκεια της σχεδιαστικής ζωής του οδοστρώματος και τον προσδιορισμό του απαιτούμενου πάχους οδοστρώματος για να αντέξει τα αναμενόμενα κυκλοφοριακά φορτία.

3.2 Εύκαμπτα οδοστρώματα

Τα εύκαμπτα οδοστρώματα χρησιμοποιούνται συνήθως σε διαδρόμους προσγείωσης – απογείωσης αεροδρομίων και τροχοδρόμους. Αποτελούνται από πολλαπλές στρώσεις υλικών που έχουν σχεδιαστεί για να υποστηρίζουν την κυκλοφορία των αεροσκαφών, μεταφέροντας το φορτίο από τις υπερκείμενες στρώσεις στη στρώση έδρασης. Τα εύκαμπτα οδοστρώματα αποτελούν μια συνήθη επιλογή για τους διαδρόμους των αεροδρομίων, επειδή είναι οικονομικά, ανθεκτικά και μπορούν να σχεδιαστούν για να αντέχουν βαριά φορτία και συχνή κυκλοφορία.

Οι στρώσεις ενός τυπικού εύκαμπτου οδοστρώματος σε ένα αεροδρόμιο περιλαμβάνουν τα ακόλουθα (Λοΐζος & Πλατή, 2021):

1. Την ασφαλική επίστρωση, που απαιτείται από στρώσεις ασφαλτομίγματος, οι οποίες εν γένει διακρίνονται στην ανώτερη στρώση που ονομάζεται επιφανειακή στρώση (σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να είναι αντιολισθηρή), στην (ενδιάμεση) συνδετική στρώση και στην (υποκείμενη) στρώση ασφαλικής βάσης.
2. Τη στρώση βάσης, που κατασκευάζεται από συμπυκνωμένο ασύνδετο (θραυστό) αμμοχάλικο ορισμένης διαβάθμισης.
3. Τη στρώση υπόβασης, που κατασκευάζεται από συμπυκνωμένο ασύνδετο (θραυστό) αμμοχάλικο ορισμένης διαβάθμισης.

4. Τη στρώση έδρασης, το φυσικό έδαφος ή η συμπυκνωμένη επιφάνεια γης πάνω στην οποία κατασκευάζεται το οδόστρωμα.

Στην Εικόνα 3.1 παρατίθεται η διατομή εύκαμπτου οδοστρώματος και απεικονίζονται οι επιμέρους στρώσεις.



Εικόνα 3.1: Διατομή εύκαμπτου οδοστρώματος

Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα υλικά για εύκαμπτα οδοστρώματα στα αεροδρόμια είναι το θερμό ασφαλτόμιγμα (HMA) P-401 και P-403, ειδικά σχεδιασμένα για να υποστηρίζουν τα βαριά φορτία των αεροσκαφών. Για την κάλυψη των προδιαγραφών και των συνεχών αυξανόμενων απαιτήσεων από τα οδοστρώματα η FAA προτείνει συγκεκριμένα υλικά για την κατασκευή των επιμέρους στρώσεων. Συγκεκριμένα, το θερμό ασφαλτόμιγμα P-401 και το P-403 χρησιμοποιούνται σε τοποθεσίες που χρειάζονται επιφάνεια ανθεκτική στα καύσιμα. Το P-208 μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν υλικό βάσης όταν το οδόστρωμα σχεδιάζεται για μικτά φορτία έως 60.000 λίβρες (27.200 κιλά) ή λιγότερο, ενώ για μεγαλύτερα φορτία χρησιμοποιείται το P209.

Στην Εικόνα 3.2 παρατίθενται τα τυπικά υλικά της μεθόδου της FAA για εύκαμπτα οδοστρώματα.

Υλικό		Στρώση οδοστρώματος	Μέτρο ελαστικότητας (MPa)	Λόγος Poisson
P-401/P-403 HMA	Θερμό Ασφαλτόμιγμα	Ασφαλτική στρώση	1.300	0,35
P-401/P-403 HMA	Ασφαλτική Βάση θερμού ασφαλτομίγματος	Βάση	3.000	0,35
P-306 Lean Concrete	Σταθεροποιημένη βάση από τσιμέντο	Βάση	5.000	0,20
P-304 cement treated base	Σταθεροποιημένη βάση από τσιμέντο	Βάση	3.500	0,20
P-209 crushed aggregate	Βάση από θραυστό αμμοχάλικο	Βάση	Καθορίζεται από τον χρήστη	0,35
P-208 aggregate	Βάση από ασύνδετο αμμοχάλικο	Βάση	Καθορίζεται από τον χρήστη	0,35
P-219 Recycled concrete aggregate	Ανακυκλώσιμο σκυρόδεμα με αδρανή	Βάση	Καθορίζεται από τον χρήστη	0,35
P-211 Lime rock	Ασβεστόλιθος	Βάση	Καθορίζεται από τον χρήστη	0,35
P-154 uncrushed aggregate	Μη θραυστό αμμοχάλικο	Υπόβαση	Καθορίζεται από τον χρήστη	0,35
P-301 soil cement	Εδαφικό υλικό κατεργασμένο με τσιμέντο	Υπόβαση	1.700	0,20

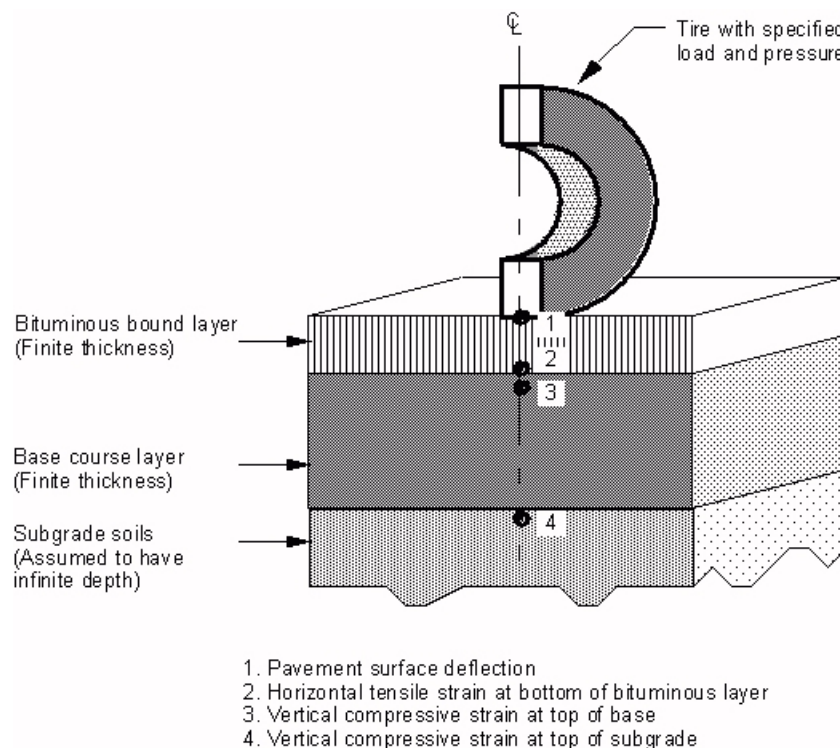
Εικόνα 3.2: Τυπικά υλικά της FAA εύκαμπτων οδοστρωμάτων

Τα εύκαμπτα οδοστρώματα αποτελούνται από διαδοχικές στρώσεις υλικών. Η ασφαλτική στρώση παραλαμβάνει φορτία από τα αεροσκάφη και τα μεταβιβάζει στις υποκείμενες στρώσεις. Συνεπώς οι τάσεις που αναπτύσσονται εξαιτίας της φόρτισης των αεροσκαφών διαδοχικά μειώνονται, με αποτέλεσμα να είναι οι μέγιστες στην ασφαλτική στρώση και να απομειώνονται σταδιακά προς την στρώση έδρασης.

Ο σχεδιασμός των εύκαμπτων οδοστρωμάτων στα αεροδρόμια βασίζεται σε διάφορους παράγοντες, όπως είναι η προβλεπόμενη σύνθεση της κυκλοφορίας, οι κλιματολογικές συνθήκες και τα χαρακτηριστικά της στρώσης έδρασης. Το πάχος του οδοστρώματος, καθώς και η επιλογή των υλικών είναι κρίσιμα στοιχεία για την υπολογιζόμενη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος.

Σύμφωνα με τη μέθοδο της FAA, ο σχεδιασμός και η ανάλυση των εύκαμπτων οδοστρωμάτων βασίζεται στην θεωρία των πολλαπλών ελαστικών στρώσεων. Αναλυτικότερα, το οδόστρωμα θεωρείται ένα πολυεπίπεδο ελαστικό μοντέλο, για το οποίο υπολογίζονται τάσεις, παραμορφώσεις και μετατοπίσεις σε οποιοδήποτε σημείο του, που προκύπτουν από την εφαρμογή επιφανειακού φορτίου. Σύμφωνα με την θεωρία των ελαστικών στρώσεων, κάθε στρώση θεωρείται ότι αποτελείται από υλικό ομοιογενές, ισότροπο και γραμμικά ελαστικό.

Στην Εικόνα 3.3 παρατηρείται ένα μοντέλο ελαστικών στρώσεων σε εύκαμπτο οδόστρωμα.



Εικόνα 3.3 Μοντέλο ελαστικών στρώσεων

Τα οδοστρώματα των αεροδρομίων πρέπει να είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να αντέχουν τα επιβαλλόμενα φορτία των αεροσκαφών χωρίς να αστοχούν. Ένα οδόστρωμα πρέπει να διατηρεί την απαραίτητη φέρουσα ικανότητα υπό συνθήκες φόρτισης καθ' όλη την αναμενόμενη διάρκεια ζωής του.

3.2.1 Δείκτης αθροιστικής φθοράς οδοστρώματος

Για τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση των οδοστρωμάτων η μέθοδος της FAA λαμβάνει υπόψη τον συντελεστή αθροιστικής φθοράς των αεροσκαφών (Cumulative Damage Factor – CDF). Η αθροιστική φθορά προκύπτει ως το άθροισμα των επιμέρους φθορών που προκαλεί το κάθε αεροσκάφος και εκφράζεται ποσοτικά μέσω της τιμής του δείκτη CDF.

Ο δείκτης CDF εκφράζει το ποσοστό της διάρκειας ζωής ενός οδοστρώματος που έχει εξαντληθεί. Ορίζεται ως ο λόγος των εφαρμοσμένων διελεύσεων της διάρκειας σχεδιασμού προς τις επιτρεπόμενες διελεύσεις μέχρι την αστοχία. Υπολογίζεται από τον λόγο των ετήσιων απογειώσεων επί την περίοδο σχεδιασμού του οδοστρώματος προς το λόγο καλύψεων – διελεύσεων (P/C) επί τις καλύψεις έως την αστοχία (Shafabakhsh, 2014).

Η τιμή του CDF δίνεται από τη σχέση (1):

$$\text{CDF} = \frac{\text{Απογειώσεις αεροσκάφους για όλη την περίοδο σχεδιασμού}}{(P/C) \text{ Καλύψεις αεροσκάφους έως την αστοχία}} \quad (1)$$

$$\text{CDF} = \frac{(\text{Ετήσιες απογειώσεις αεροσκάφους}) \times (\text{περίοδος σχεδιασμού σε έτη})}{(P/C) \times (\text{καλύψεις έως την αστοχία})}$$

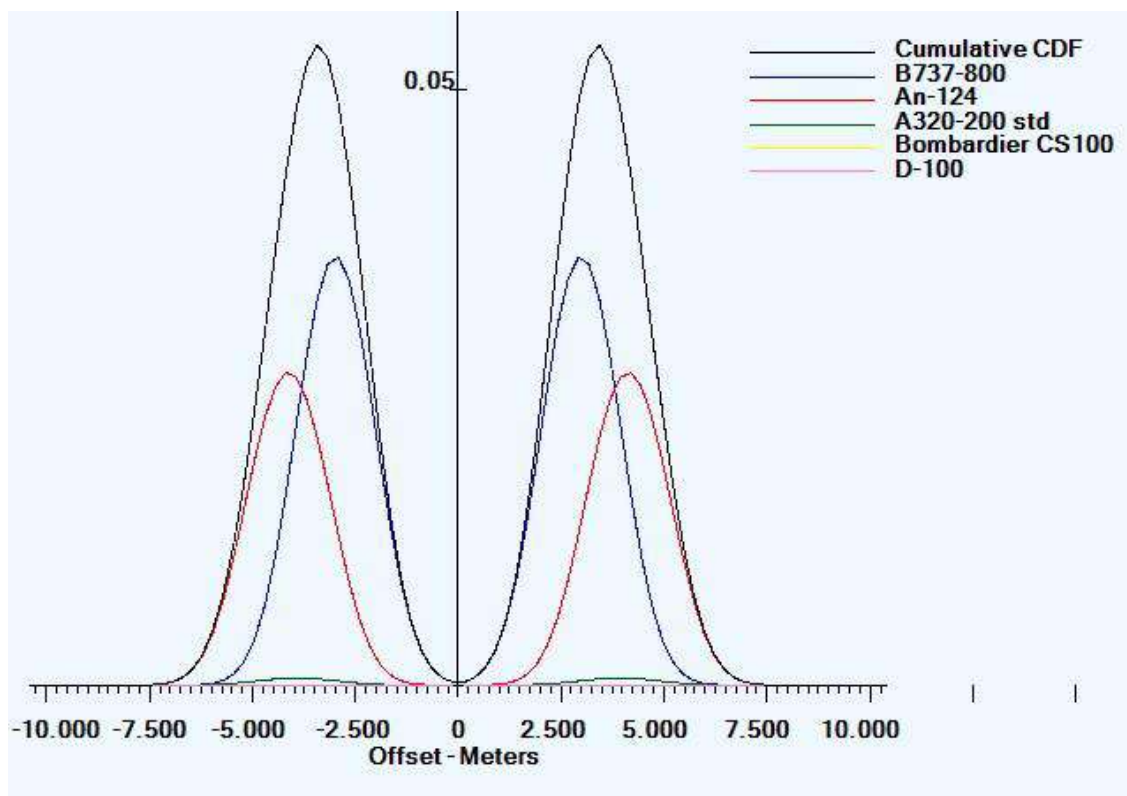
Ο σχεδιασμός των οδοστρωμάτων βασίζεται στην υπόθεση ότι η αστοχία του οδοστρώματος επέρχεται όταν ο δείκτης CDF είναι μεγαλύτερος από την μονάδα. Αναλυτικά, όταν η τιμή του CDF ισούται με 1 (CDF=1), το οδόστρωμα θα έχει εξαντλήσει όλη τη διάρκεια ζωής του. Στην περίπτωση που το CDF είναι μικρότερο του 1 (CDF<1), το οδόστρωμα θα έχει κάποια εναπομένονσα διάρκεια ζωής και η τιμή του εκφράζει το κλάσμα της διάρκειας ζωής που χρησιμοποιήθηκε. Όταν η τιμή του CDF είναι μεγαλύτερη του 1 (CDF>1), όλη η διάρκεια της δομικής ζωής του οδοστρώματος θα έχει εξαντληθεί και το οδόστρωμα θα έχει αστοχήσει (Kawa, 2012).

Μια τιμή CDF μεγαλύτερη του ένα δεν σημαίνει ότι το οδόστρωμα δεν θα υποστηρίξει πλέον την κυκλοφορία, αλλά ότι θα έχει αστοχήσει σύμφωνα με τον ορισμό της αστοχίας που χρησιμοποιείται στις διαδικασίες σχεδιασμού, οι οποίες λαμβάνουν υπόψη τις προδιαγραφές των υλικών κατασκευής (FAA, 2021).

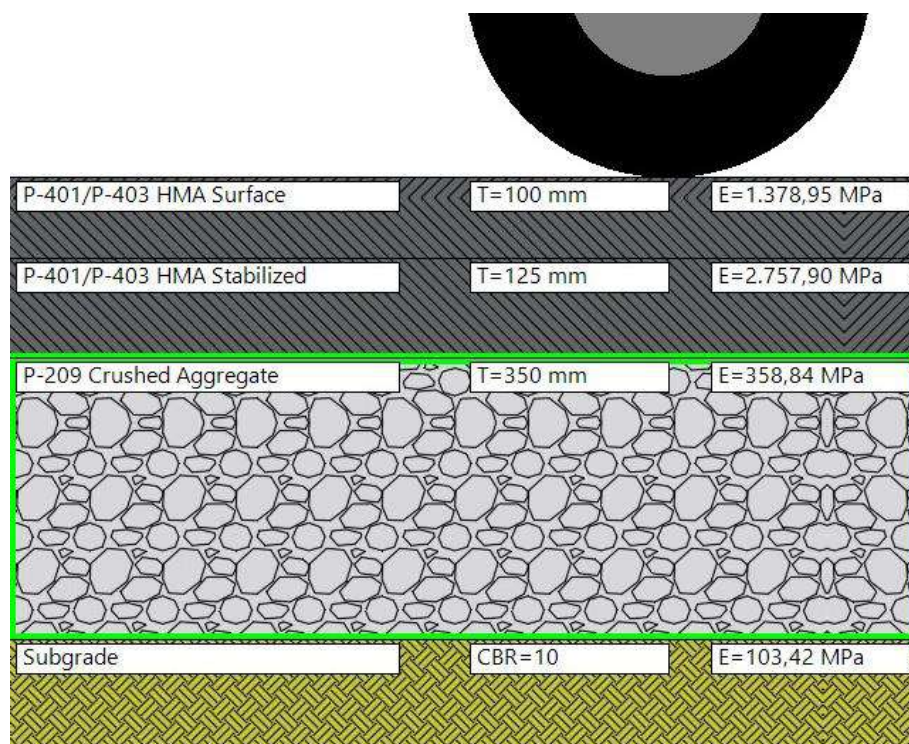
Το σύστημα FAARFIELD υπολογίζει μία τιμή του δείκτη CDF για κάθε λωρίδα πλάτους 10 ιντσών (254 χιλ.) κατά μήκος του οδοστρώματος σε συνολικό πλάτος 820 ιντσών (20,8 μ) και η τιμή του CDF που λαμβάνεται υπόψη για τον σχεδιασμό είναι η μέγιστη τιμή που προκύπτει ανάμεσα στις 82 λωρίδες πλάτους που δημιουργούνται.

Το γράφημα του CDF απεικονίζει το διαγράμμα CDF του κάθε αεροσκάφους σε συνάρτηση με τη θέση κατά πλάτος του οδοστρώματος, καθώς και το διάγραμμα του συνολικού CDF για συνδυασμό όλων των αεροσκαφών στη σύνθεση της κυκλοφορίας. Η συνολική φθορά προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους φθορών των αεροσκαφών και υπολογίζεται από την σχέση $\text{CDF} = \text{CDF}_1 + \text{CDF}_2 + \dots + \text{CDF}_N$, όπου N είναι ο συνολικός αριθμός των αεροσκαφών της κυκλοφορίας.

Στην Εικόνα 3.4 απεικονίζεται παράδειγμα εκτίμησης του δείκτη CDF της στρώσης έδρασης εύκαμπτου οδοστρώματος αεροδρομίου, όπως προέκυψε από την εφαρμογή του συστήματος FAARFIELD. Το υπόψη γράφημα προέκυψε για την διατομή εύκαμπτου οδοστρώματος που φαίνεται στην Εικόνα 3.5 και τη σύνθεση κυκλοφορίας του Πίνακα 3.1.



Εικόνα 3.4: Γράφημα τιμών CDF παραδείγματος



Εικόνα 3.5: Διατομή οδοστρώματος παραδείγματος

Πίνακας 3.1: Σύνθεση κυκλοφορίας παραδείγματος

Αεροσκάφη	Ετήσιες Κινήσεις	MTOW (tn)	Σύστημα Τροχών	Πίεση Ελαστικών (Kpa)
Antonov An-124	1000	398,00	πενταπλού-δίδυμου τροχού	1.337,58
Boeing B737-800	1000	79,24	διπλού τροχού	1.406,53
Airbus A320-200 std	1000	73,90	διπλού τροχού	1.378,95
Bombardier CS100	1000	61,16	διπλού τροχού	1.303,11
D-100	1000	45,36	διπλού τροχού	965,27

Αξίζει να σημειωθεί ότι η διαμόρφωση του συστήματος προσγείωσης των αεροσκαφών αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα για την εκτίμηση των φθορών στα οδοστρώματα των αεροδρομίων. Συνήθως τα βαριά αεροσκάφη διαθέτουν περισσότερους τροχούς, ώστε να κατανέμονται οι τάσεις λόγω των μεγάλων φορτίων και να μειώνεται η καταπόνηση του οδοστρώματος, με αποτέλεσμα σε ορισμένες περιπτώσεις, αεροσκάφη με μικρότερο βάρος να προκαλούν μεγαλύτερα εντατικά μεγέθη στο οδόστρωμα. Επιπρόσθετα, κατά την έρευνα του (Shafabakhsh, 2014), διαπιστώθηκε ότι όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση των τροχών μεταξύ τους, τόσο μικρότερο είναι το CDF για τα αεροσκάφη και αντίστροφα.

3.2.2 Λόγος καλύψεων-διελεύσεων (P/C)

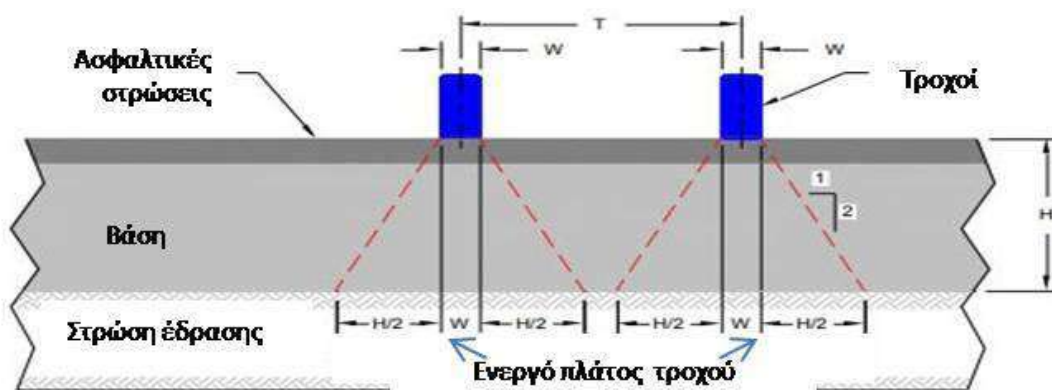
Ένα πολύ σημαντικό μέγεθος που λαμβάνεται υπόψη για τον υπολογισμό της φθοράς του οδοστρώματος είναι ο λόγος καλύψεων διελεύσεων. Ένα αεροσκάφος δεν διέρχεται σε μια απόλυτη διαδρομή ή κατά μήκος της ίδιας διαδρομής κάθε φορά, κατά την διέλευση του από ένα οδόστρωμα αεροδρομίου. Κατά την κίνηση ενός αεροσκάφους κατά μήκος του διαδρόμου, μπορεί να χρειαστούν πολλές διελεύσεις, ώστε ένα συγκεκριμένο σημείο του να λάβει την μέγιστη καταπόνηση. Ο λόγος του αριθμού των διελεύσεων που απαιτούνται για την εφαρμογή μιας κάλυψης σε μια μονάδα επιφάνειας του οδοστρώματος εκφράζεται με τον λόγο καλύψεων-διελεύσεων P/C (pass to coverage ratio).

Εξ ορισμού, μια κάλυψη συμβαίνει όταν μια μονάδα επιφάνειας του οδοστρώματος έχει τη μέγιστη καταπόνηση που προκαλείται από ένα δεδομένο αεροσκάφος. Για τα εύκαμπτα οδοστρώματα, οι καλύψεις είναι ένα μέτρο του αριθμού των επαναλήψεων της μέγιστης παραμόρφωσης που προκαλείται στην κορυφή της στρώσης έδρασης.

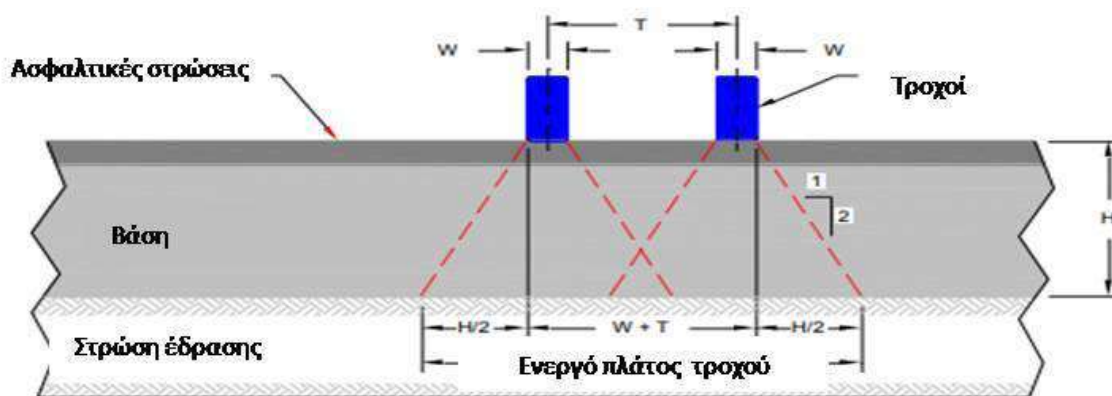
Οι καλύψεις που προκύπτουν από συγκεκριμένο τύπο αεροσκάφους εξαρτώνται από ποικίλους παράγοντες. Είναι μία συνάρτηση του αριθμού των διελεύσεων των αεροσκαφών, του αριθμού και της απόστασης των τροχών του κύριου φορείου του αεροσκάφους, του πλάτους της επιφάνειας επαφής ελαστικού, της απόστασης μεταξύ των τροχών, καθώς και της θέσης τους σε συνάρτηση με τον άξονα του οδοστρώματος (HoSang, 1975).

Για τον υπολογισμό του λόγου καλύψεων-διελεύσεων (P/C) εξετάζεται το πάχος της διατομής του οδοστρώματος μέσω της έννοιας του ενεργού πλάτους ελαστικού, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 3.6 και στην Εικόνα 3.7. Το πλάτος της επιφάνειας επαφής ελαστικού προσδιορίζεται υποθέτοντας ότι έχει ελλειπτικό σχήμα, με το λόγο του κύριου άξονα προς τον δευτερεύοντα άξονα ίσο με 1,6.

Στα εύκαμπτα οδοστρώματα, το ενεργό πλάτος του ελαστικού μετριέται στην κορυφή της στρώσης έδρασης. Οι γραμμές απόκρισης (response lines) σχεδιάζονται με κλίση 1:2 από το άκρο του τροχού μέχρι την επιφάνεια της στρώσης έδρασης όπως παρουσιάζονται στις εικόνες 3.6 και 3.7. Αν οι γραμμές απόκρισης δεν επικαλύπτονται, τότε οι τροχοί θεωρούνται ανεξάρτητοι. Η μέγιστη τιμή της κατακόρυφης τάσης στην κορυφή της στρώσης έδρασης υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη όλους τους τροχούς, στο σύστημα τροχών που έρχεται σε επαφή με το οδόστρωμα. Ακόμη, θεωρείται ότι η μέγιστη υπολογισμένη τάση ενεργεί σε όλο το ενεργό πλάτος, που αντιστοιχεί στο κάθε ελαστικό (Kawa, 2012).



Εικόνα 3.6: Ενεργό πλάτος τροχών χωρίς επικάλυψη

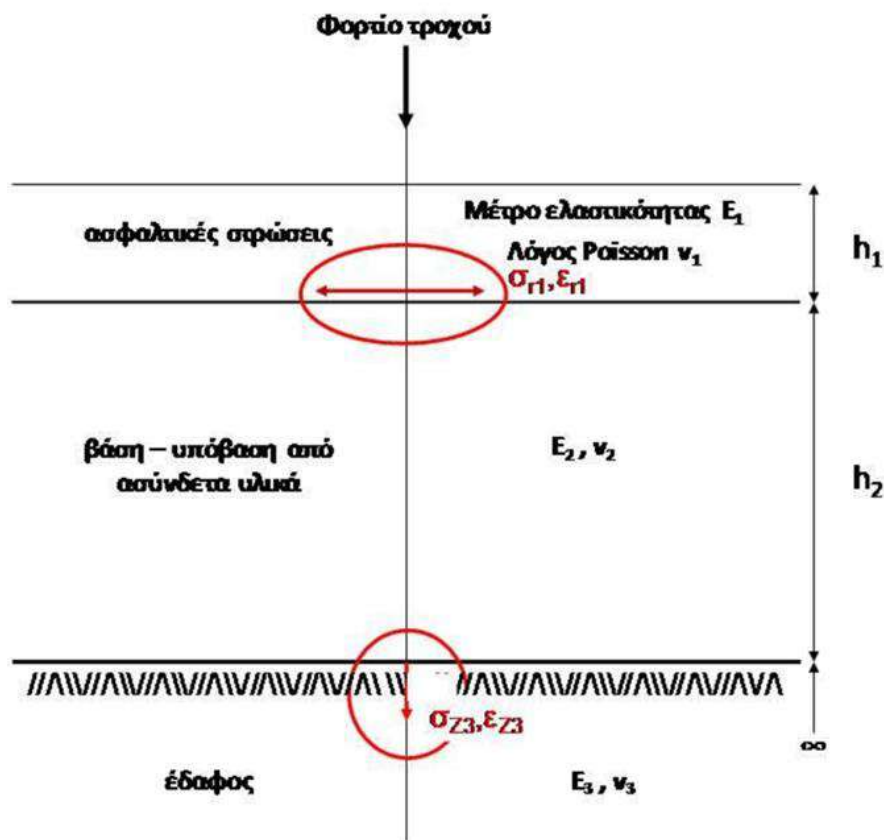


Εικόνα 3.7: Ενεργό πλάτος τροχών με επικάλυψη

3.2.3 Κρίσιμες θέσεις αστοχίας

Η φθορά ενός οδοστρώματος επέρχεται είτε λόγω των αξονικών φορτίων είτε λόγω των κλιματολογικών συνθηκών (θερμοκρασία) ή από συνδυασμό και των δύο αυτών παραμέτρων. Οι κρίσιμες θέσεις για την εντατική κατάσταση ενός εύκαμπτου οδοστρώματος είναι ο πυθμένας των ασφαλτικών στρώσεων και η επιφάνεια της στρώσης έδρασης. Τα κρίσιμα εντατικά μεγέθη που αναπτύσσονται στις παραπάνω κρίσιμες θέσεις είναι οι οριζόντιες εφελκυστικές τάσεις και παραμορφώσεις στον πυθμένα των ασφαλτικών στρώσεων και οι κατακόρυφες θλιπτικές τάσεις και παραμορφώσεις στην κορυφή της στρώσης έδρασης.

Στην Εικόνα 3.8 απεικονίζονται οι κρίσιμες θέσεις αστοχίας των ασφαλτικών στρώσεων και της στρώσης έδρασης σε διατομή εύκαμπτου οδοστρώματος.



Εικόνα 3.8: Κρίσιμες θέσεις αστοχίας

3.2.4 Νόμοι κόπωσης και αστοχίας

Σύμφωνα με την μέθοδο της FAA, για τον υπολογισμό των επιτρεπόμενων καλύψεων-διελεύσεων των αεροσκαφών έως την αστοχία, και κατ' επέκταση για τον υπολογισμό της φθοράς, χρησιμοποιούνται νόμοι κόπωσης και αστοχίας των υλικών.

Για τον υπολογισμό των καλύψεων-διελεύσεων έως την αστοχία της στρώσης έδρασης χρησιμοποιείται η εξίσωση (2) και η εξίσωση (3).

$$C = \left(\frac{0,04141}{\varepsilon_v}\right)^{8,1}, C \leq 1000 \quad (2)$$

$$\text{Log}_{10}(C) = (1/(-0.1638 + 185.19\varepsilon_v))^{0,60586} \quad (3)$$

όπου,

C: οι επιτρεπόμενες καλύψεις έως την αστοχία της στρώσης έδρασης.

ε_v : η μέγιστη κατακόρυφη παραμόρφωση στην κορυφή της στρώσης έδρασης

Για την αστοχία λόγω κόπωσης των ασφαλικών στρώσεων και τον υπολογισμό των καλύψεων έως την αστοχία χρησιμοποιείται η εξίσωση (4) (Shen & Carpenter, 2007).

$$N_f = 0.4801PV^{-0.9007} \quad (4)$$

όπου,

N_f : επιτρεπόμενες καλύψεις έως ότου επέλθει αστοχία των ασφαλικών στρώσεων.

Ο όρος PV υπολογίζεται από την εξίσωση (5).

$$PV = 44.422\varepsilon_h^{5.140}S^{2.993}VP^{1.850}GP^{-0.4063} \quad (5)$$

όπου,

ε_h : μέγιστη οριζόντια παραμόρφωση στον πυθμένα των ασφαλικών στρώσεων.

S: η δυσκαμψία που προκύπτει μέσω της εργαστηριακής δοκιμής standard four-point bending beam fatigue test, η οποία δίνει τη μέγιστη δυσκαμψία για το ασφαλτόμιγμα, υπό διαφορετικές τιμές θερμοκρασίας και συχνοτήτων. Σύμφωνα με την αναλυτική μέθοδο της FAA, για το τυπικό υλικό P-401 η τιμή του S ορίζεται ίση με 4.137 MPa. Η τιμή αυτή προέκυψε για συχνότητα 10 Hz και θερμοκρασία 20°C.

Ο όρος VP δίνεται από την εξίσωση (6):

$$VP = \frac{Va}{Va+Vb} \quad (6)$$

όπου,

Va: όγκος κενών αέρα.

Vb: περιεκτικότητα σε άσφαλτο κατά όγκο.

Ο όρος GP δίνεται από την εξίσωση (7).

$$GP = \frac{PNMS-PPCS}{P200} \quad (7)$$

όπου,

PNMS: το ποσοστό αδρανών που περνά από το ονομαστικό μέγιστο κόσκινο (Normal Maximum Size).

PPCS: το ποσοστό αδρανών που περνά από το κύριο κόσκινο (Primary Control Sieve).

Για την περίπτωση των τυπικών υλικών της FAA κατά την εφαρμογή του συστήματος FAARFIELD, οι παραπάνω παράμετροι λαμβάνουν τις τιμές: $S=4137$ MPa, $V_a=3,5\%$, $V_b=12\%$, $PNMS=95\%$, $PPCS=58\%$ και $P200=4,5\%$.

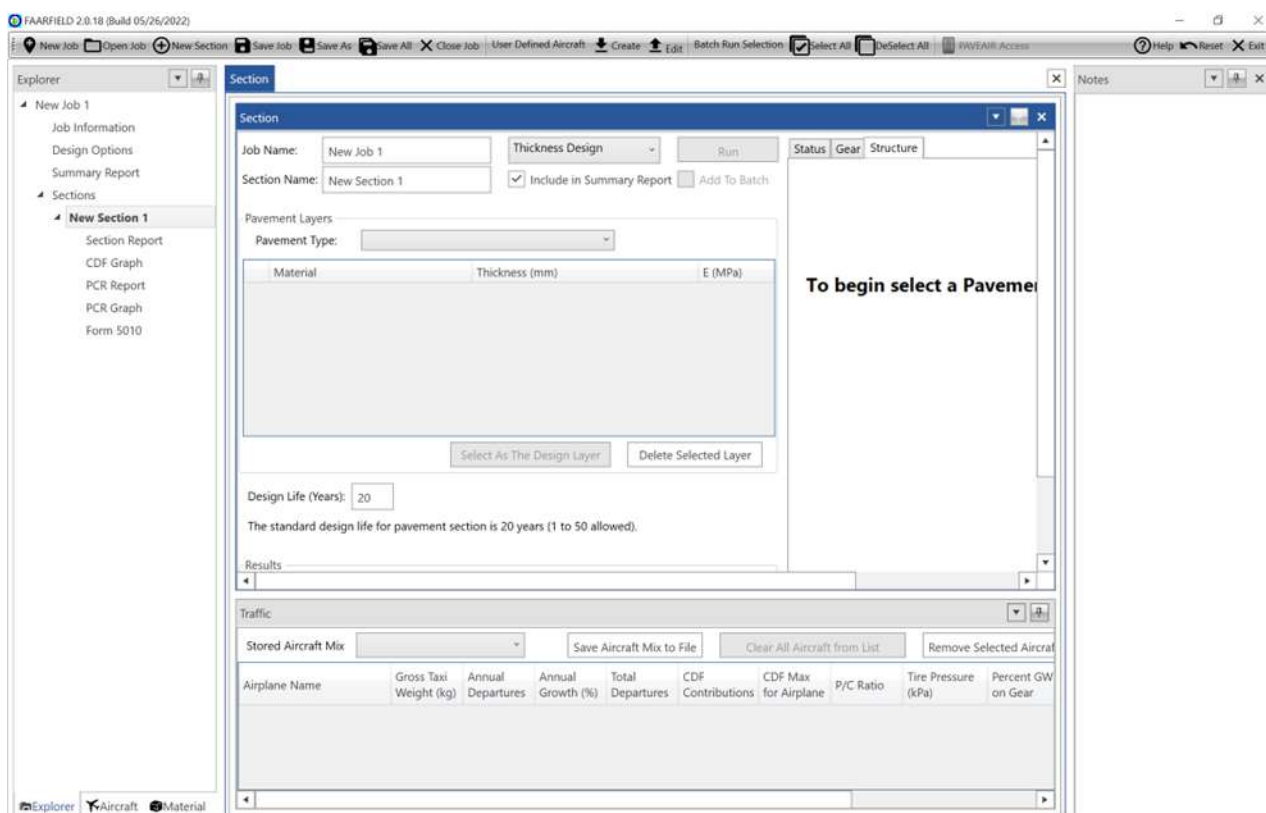
3.3 Σύστημα FAARFIELD

Το σύστημα FAARFIELD αναπτύχθηκε από την FAA για τον σχεδιασμό και την ανάλυση των οδοστρωμάτων αεροδρομίων. Χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της δομικής κατάστασης των οδοστρωμάτων και για τον προσδιορισμό του πάχους των στρώσεων οδοστρώματος που απαιτούνται για την υποστήριξη των αναμενόμενων φορτίων αεροσκαφών.

Με την χρήση του προγράμματος δίνεται η δυνατότητα να αξιολογηθούν τόσο δύσκαμπτα όσο και εύκαμπτα οδοστρώματα και λαμβάνονται υπόψη παράγοντες όπως το πάχος των στρώσεων και ο τύπος του οδοστρώματος, περιβαλλοντικές συνθήκες, τύποι και βάρη των αεροσκαφών, καθώς και η σύνθεση της κυκλοφορίας. Ακόμη, παρέχονται πληροφορίες για την αναμενόμενη απόδοση του οδοστρώματος με την πάροδο του χρόνου, υπολογίζοντας την διάρκεια της περιόδου σχεδιασμού. Αντίστοιχα, έχοντας ως δεδομένο την περίοδο σχεδιασμού (προτεινόμενη από το πρόγραμμα είναι τα 20 έτη) μπορεί να υπολογιστεί το πάχος των επιμέρους στρώσεων, για δεδομένη σύνθεση κυκλοφορίας.

Το FAARFIELD ανήκει στην κατηγορία των μηχανικών-εμπειρικών διαδικασιών σχεδιασμού, που σημαίνει ότι συνδυάζει την θεωρία ελαστικών στρώσεων με εμπειρικά μοντέλα αστοχίας. Παρ' ότι το FAARFIELD είναι πιο ορθολογικό από τις προηγούμενες διαδικασίες και λειτουργεί βοηθητικά στον σχεδιασμό των οδοστρωμάτων, είναι απαραίτητη η γνώση της αναλυτικής μεθόδου της FAA και των νόμων κόπωσης και αστοχίας για την χρήση του. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης από το FAARFIELD θα πρέπει να συμμορφώνονται με τις λεπτομερείς απαιτήσεις και συστάσεις της συμβουλευτικής εγκυκλίου (FAA, 2021).

Στην Εικόνα 3.9 απεικονίζεται η επιφάνεια λειτουργίας του προγράμματος FAARFIELD.



Εικόνα 3.9: Επιφάνεια λειτουργίας του προγράμματος FAARFIELD

Μερικές από τις σημαντικές ιδιότητες και χαρακτηριστικά του προγράμματος είναι οι εξής:

1. Στατική ανάλυση: Το FAARFIELD χρησιμοποιεί μια επαναληπτική διαδικασία για την αξιολόγηση της δομικής επάρκειας του οδοστρώματος για διάφορα σενάρια σύνθεσης κυκλοφορίας.
2. Μοντελοποίηση φορτίου αεροσκαφών: λαμβάνει υπόψη το βάρος και το μέγεθος διαφορετικών τύπων αεροσκαφών, καθώς και τις ετήσιες διελεύσεις.
3. Σχεδιασμός οδοστρωμάτων: παρέχει την δυνατότητα σχεδιασμού, σύμφωνα με τα πρότυπα και της οδηγίες της μεθόδου της FAA.
4. Δυνατότητες προσαρμογής: Το FAARFIELD επιτρέπει στους χρήστες να προσαρμόζουν τις παραμέτρους εισόδου για να ανταποκρίνονται σε συγκεκριμένες απαιτήσεις του εκάστοτε έργου.
5. Εξαγόμενα αρχεία: Το πρόγραμμα παράγει ολοκληρωμένα αποτελέσματα που περιλαμβάνουν το πάχος του οδοστρώματος, δείκτες φθοράς του οδοστρώματος, κρίσιμα εντατικά μεγέθη καθώς και την προβλεπόμενη διάρκεια ζωής.

6. Φιλικό προς τον χρήστη: Το πρόγραμμα διαθέτει μια φιλική προς τον χρήστη επιφάνεια λειτουργίας που επιτρέπει στους μελετητές να εισάγουν δεδομένα, να εκτελούν αναλύσεις και να οπτικοποιούν τα αποτελέσματα με σαφή και συνοπτικό τρόπο.

Συνολικά, το σύστημα FAARFIELD είναι ένα ισχυρό εργαλείο που βοηθά στην ανάλυση των οδοστρωμάτων, παρέχοντας ακριβή και αξιόπιστο σχεδιασμό του οδοστρώματος, καθώς και ακριβή στοιχεία για την εντατική καταπόνησή του.

4. Διερεύνηση σχέσης επίδρασης αεροσκαφών σε διατομή εύκαμπτου οδοστρώματος και τέλη προσγείωσης

4.1 Εισαγωγή

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας διερευνήθηκε η σχέση της επίδρασης διαφόρων τύπων αεροσκαφών σε διατομή εύκαμπτου οδοστρώματος διαδρόμου προσγείωσης-απογείωσης αεροσκαφών αεροδρομίου του ελλαδικού χώρου, με τα τέλη προσγείωσης αεροσκαφών. Προς τούτο επιλέχθηκε διατομή οδοστρώματος, τα στοιχεία της οποίας ελήφθησαν από τη βάση δεδομένων του Εργαστηρίου Οδοστρωμάτων του ΕΜΠ.

Η διερεύνηση πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη την διατομή εύκαμπτου οδοστρώματος του συγκεκριμένου αερολιμένα, δεχόμενη την κίνηση αεροσκαφών, μέσω του προγράμματος FAARFIELD. Αρχικά υπολογίστηκε η φθορά που προκαλούν τα αεροσκάφη στο οδόστρωμα. Η ανάλυση επεκτάθηκε λαμβάνοντας υπόψη τα κρίσιμα εντατικά μεγέθη που αναπτύσσονται στο οδόστρωμα από τα φορτία των αεροσκαφών και διερευνήθηκε περαιτέρω η σχέση μεταξύ της φθοράς του οδοστρώματος με τα τέλη προσγείωσης των αεροσκαφών.

4.2 Στοιχεία της κυκλοφορίας

Για την εύρεση των στοιχείων της κυκλοφορίας χρησιμοποιήθηκαν τα περιβαλλοντικά δελτία του περιφερειακού αερολιμένα.

Στην Εικόνα 4.1 παρατίθενται οι τύποι και η κίνηση των αεροσκαφών, όπως παρουσιάζεται στο περιβαλλοντικό δελτίο του περιφερειακού αερολιμένα για το χρονολογικό έτος 2020, σύμφωνα με την ιστοσελίδα της Fraport Greece.

Τύποι αεροσκαφών εξυπηρέτησης πτήσεων	
Επικρατέστεροι τύποι α/φων εξυπηρέτησης πτήσεων εσωτερικού	
Τύπος Αεροσκάφους	Αρ. Πτήσεων
AT45	1.002
DH8D	694
A320	481
AT75	224
AT72	134
A32A	106
A319	53
C550	30
EC35	14
A321	12
Άλλος	144
Επικρατέστεροι τύποι α/φων εξυπηρέτησης πτήσεων εξωτερικού	
Τύπος Αεροσκάφους	Αρ. Πτήσεων
B73H	2.130
A320	833
B738	718
A32A	250
A321	212
A319	143
A32B	123
B73W	76
E195	66
A20N	56
Άλλος	493

Εικόνα 4.1: Τύποι και κίνηση αεροσκαφών περιφερειακού αερολιμένα

Από το περιβαλλοντικό δελτίο της Εικόνα 4.1 λήφθηκαν υπόψη τα βαρύτερα αεροσκάφη της κυκλοφορίας του περιφερειακού αερολιμένα, για την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε με το FAARFIELD και συντάχθηκε ο Πίνακας 4.1 με τα στοιχεία της κυκλοφορίας των αεροσκαφών, που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση.

Πίνακας 4.1: Στοιχεία αεροσκαφών που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση

Αεροσκάφη	MTOW (tn)	Σύστημα Τροχών	Πίεση Ελαστικών (Κρα)
Boeing 757-300	122,92	διπλού-δίδυμου τροχού	1344
Airbus A321-200 std	89,40	διπλού τροχού	1407
Boeing B737-800	79,24	διπλού τροχού	1462
Airbus A320-200 std	73,90	διπλού τροχού	1220
Airbus A320-neo	70,40	διπλού τροχού	1193
Boeing B737-700	70,31	διπλού τροχού	1379
Airbus A319-100 std	64,40	διπλού τροχού	1358
Embraer 195 std	48,95	διπλού τροχού	1062
Dash 8-Q400	29,35	διπλού τροχού	1565

Κατά την ανάλυση θεωρήθηκε ότι τα αεροσκάφη εκτελούν τον ίδιο αριθμό διελεύσεων (1200 ετήσιες διελεύσεις), ώστε το αποτέλεσμα της φθοράς που προκαλούν να είναι συγκρίσιμο. Επομένως, τα δεδομένα της Εικόνα 4.1 που αφορούν στον αριθμό πτήσεων δεν λήφθηκαν υπόψη.

Παρακάτω παρατίθενται εικόνες των βαρύτερων αεροσκαφών από την σύνθεση της κυκλοφορίας του περιφερειακού αερολιμένα, που ελήφθησαν υπόψη στην ανάλυση. Στην Εικόνα 4.2 απεικονίζεται το βαρύτερο αεροσκάφος της κυκλοφορίας. Το 757-300 έχει μήκος 54,5 μέτρα και άνοιγμα φτερών 38 μέτρα. Είναι το μοναδικό αεροσκάφος της κυκλοφορίας με σύστημα διπλού-δίδυμου τροχού, με πίεση ελαστικών 1344 ΚΡα.



Εικόνα 4.2 Αεροσκάφος Boeing 757-300

Στην Εικόνα 4.3 απεικονίζεται ένα από τα μεγαλύτερα επιβατικά αεροσκάφη που δέχεται ο αερολιμένας, το Airbus 321-200 std, το οποίο έχει μήκος περίπου 45 μέτρων, άνοιγμα φτερών 34 μέτρων, μέγιστο βάρος απογείωσης 89.000 κιλά και διάταξη διπλών τροχών.



Εικόνα 4.3 Αεροσκάφος Airbus A321-200std

Στην Εικόνα 4.4 απεικονίζεται το αεροσκάφος Boeing 737-800, το οποίο έχει μήκος 39,47 μέτρα και άνοιγμα φτερών 35,79 μέτρα και διάταξη διπλών τροχών. Συνήθως χρησιμοποιείται για πτήσεις μεσαίων και μεγάλων αποστάσεων, όπως υπερατλαντικές πτήσεις μεταξύ Βόρειας Αμερικής και Ευρώπης.



Εικόνα 4.4 Αεροσκάφος Boeing 737-800

Στην Εικόνα 4.5 απεικονίζεται το αεροσκάφος Airbus A320-200std, το οποίο έχει μήκος 37,57 μέτρα, άνοιγμα φτερών 34,10 μέτρα και διάταξη διπλών τροχών. Χρησιμοποιείται συχνά για πτήσεις μικρών έως μεσαίων αποστάσεων εντός Ευρώπης.



Εικόνα 4.5 Αεροσκάφος Airbus A320-200std

Στην Εικόνα 4.6 απεικονίζεται το αεροσκάφος Airbus A320neo, το οποίο έχει μήκος 37,57 μέτρα, άνοιγμα φτερών 35,8 μέτρα και διάταξη διπλών τροχών. Το αεροσκάφος A320neo έχει δεχθεί βελτιώσεις από τα αεροσκάφη της προηγούμενης γενιάς που του επιτρέπουν να προσφέρει σημαντική μείωση στην κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές ρύπων, καθώς και αυξημένη αυτονομία και χωρητικότητα ωφέλιμου φορτίου.



Εικόνα 4.6: Αεροσκάφος Airbus A320neo

Στην Εικόνα 4.7 απεικονίζεται το αεροσκάφος Boeing 737-700, το οποίο έχει μήκος 33,63 μέτρα, πλάτος φτερών 34,31 και διάταξη διπλών τροχών.

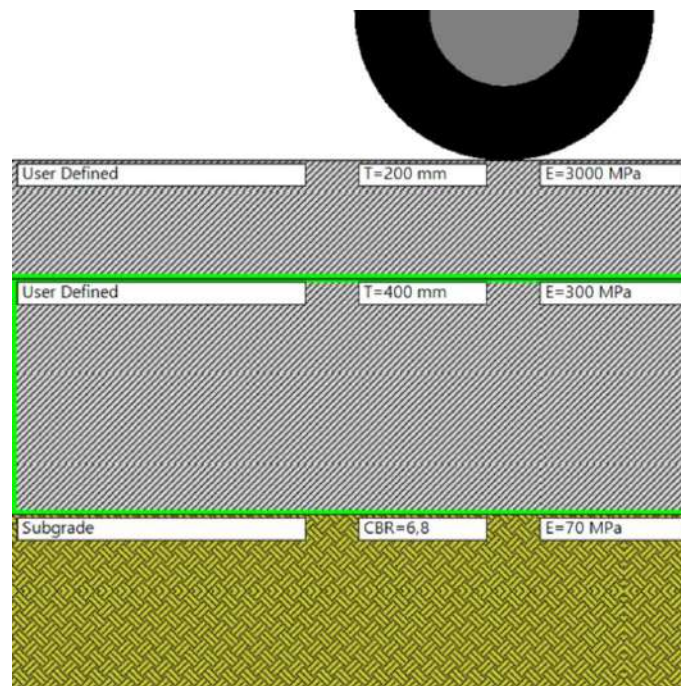


Εικόνα 4.7: Αεροσκάφος Boeing 737-700

4.3 Στοιχεία της διατομής του οδοστρώματος

Με την βοήθεια του προγράμματος FAARFIELD, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση της διατομής του εύκαμπτου οδοστρώματος του ελληνικού περιφερειακού αερολιμένα.

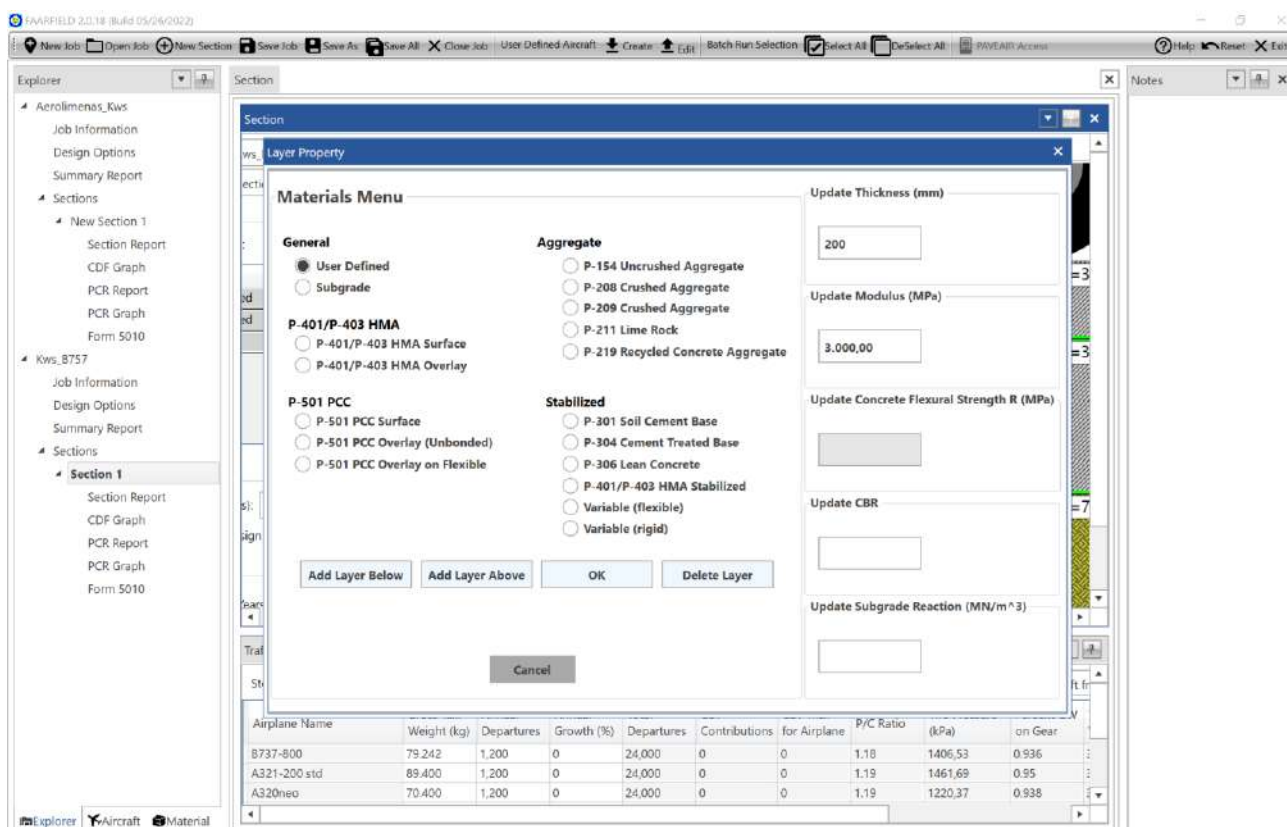
Στην Εικόνα 4.8 απεικονίζεται η διατομή του οδοστρώματος του περιφερειακού αερολιμένα, για την οποία πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές του προγράμματος και όλες οι αναλύσεις που ακολουθούν για τον υπολογισμό της φθοράς του οδοστρώματος. Οι ασφαλικές στρώσεις έχουν πάχος $h_1=200$ mm και μέτρο ελαστικότητας $E_1=3000$ MPa, το πάχος της στρώσης βάσης θεωρήθηκε ίσο με $h_2=400$ mm και το μέτρο ελαστικότητας $E_2=300$ MPa και το μέτρο ελαστικότητας της στρώσης έδρασης είναι $E_3=70$ MPa.



Εικόνα 4.8: Διατομή οδοστρώματος του περιφερειακού αερολιμένα

Όπως παρατηρείται και στην Εικόνα 4.9, το πρόγραμμα παρέχει την δυνατότητα για καθορισμό των επιμέρους στρώσεων του οδοστρώματος από τον χρήστη (user defined), επιλέγοντας το

πάχος και το μέτρο ελαστικότητας των ασφαλτικών στρώσεων και της στρώσης βάσης, καθώς και το μέτρο ελαστικότητας της στρώσης έδρασης. Με αυτή την επιλογή προσομοιάστηκε η διατομή οδοστρώματος του περιφερειακού αερολιμένα, λαμβάνοντας υπόψη τα πάχη και τα μέτρα ελαστικότητας των επιμέρους στρώσεων που ελήφθησαν από τη βάση δεδομένων του Εργαστηρίου Οδοστρωμάτων ΕΜΠ.



Εικόνα 4.9: Καθορισμός υλικών οδοστρώματος

4.4 Υπολογισμός τελών προσγείωσης

Τα τέλη προσγείωσης είναι τέλη που χρεώνουν τα αεροδρόμια στα αεροσκάφη για τη χρήση των διαδρόμων προσγείωσης και των τροχοδρόμων τους. Αυτά τα τέλη συνήθως υπολογίζονται με βάση το μέγιστο βάρος απογείωσης του αεροσκάφους, ενώ στην Ελλάδα είναι ο αποκλειστικός παράγοντας υπολογισμού τους.

Σκοπός των τελών προσγείωσης είναι να βοηθήσουν τα αεροδρόμια να καλύψουν το κόστος συντήρησης και λειτουργίας των εγκαταστάσεων τους, τις δαπάνες που προκύπτουν για τον έλεγχο της εναέριας κυκλοφορίας, την ασφάλεια, καθώς και άλλες υπηρεσίες που παρέχονται στα αεροσκάφη.

Το ποσό των τελών προσγείωσης που χρεώνονται μπορεί να ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με το αεροδρόμιο, με τα μικρότερα περιφερειακά αεροδρόμια να χρεώνουν συνήθως χαμηλότερα τέλη από τα μεγάλα διεθνή αεροδρόμια. Για παράδειγμα, σε ορισμένα μεγάλα αεροδρόμια των Ηνωμένων Πολιτειών, τα τέλη προσγείωσης για ένα μεγάλο εμπορικό αεροσκάφος μπορεί να κυμαίνονται από αρκετές χιλιάδες έως δεκάδες χιλιάδες δολάρια ανά προσγείωση.

Η περίπτωση που εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική αφορά έναν μικρό περιφερειακό ελληνικό αερολιμένα, η τιμολογιακή πολιτική του οποίου, παρατίθεται στον Πίνακα 4.2, όπως είχε δημοσιευθεί κατά το χρονολογικό έτος 2021.

Πίνακας 4.2: Τέλη προσγείωσης περιφερειακού αερολιμένα (2021)

Κατηγορία αεροσκάφους	Μονάδα χρέωσης	Τιμή (€)
Έως 1,2 τόνους	Σταθερό τέλος	25,00
Από 1,2 έως και 2 τόνους	Σταθερό τέλος	50,00
Από 2 έως και 5 τόνους	Σταθερό τέλος	100,00
Από 5 έως και 10 τόνους	Σταθερό τέλος	200,00
Άνω των 10 τόνων	Ανά τόνο (MTOW)	6,19

Θεωρώντας ως παράδειγμα το βαρύτερο αεροσκάφος της κυκλοφορίας, το Boeing 757-300, με μέγιστο βάρος απογείωσης τους 122,92 τόνους, τα τέλη προσγείωσης υπολογίζονται αθροίζοντας την σταθερή τιμή των 200 € με την σταθερή τιμή 6,19 € πολλαπλασιασμένη με το βάρος του αεροσκάφους άνω των 10 τόνων, δηλαδή 112,92 τόνους. Απλούστερα, κάθε τόνο άνω των δέκα κοστίζει 6,19 €. Επομένως η σχέση που προκύπτει είναι $200 + (6,19 \cdot 112,92) = 898,97$ € ανά προσγείωση. Αντιστοίχως, υπολογίζονται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο τα τέλη προσγείωσης για τα υπόλοιπα αεροσκάφη της σύνθεσης της κυκλοφορίας, καθώς το μέγιστο βάρος απογείωσης του κάθε αεροσκάφους ξεπερνά τους δέκα τόνους.

Στον Πίνακα 4.3 απεικονίζονται συγκεντρωτικά τα τέλη προσγείωσης όλων των αεροσκαφών ανά προσγείωση, όπως υπολογίσθηκαν σύμφωνα με τις χρεώσεις του περιφερειακού αερολιμένα.

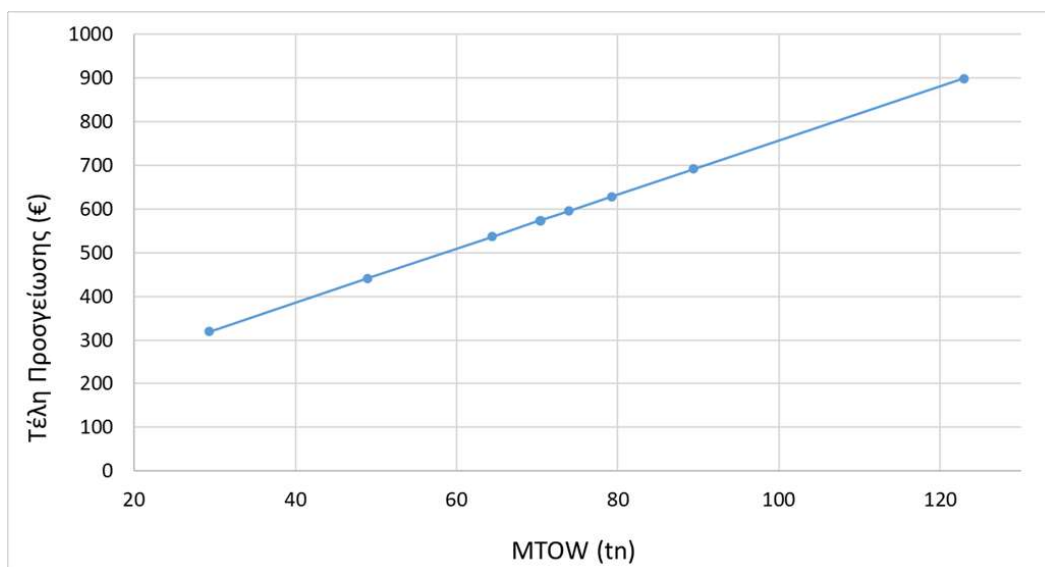
Πίνακας 4.3: Τέλη προσγείωσης ανά αεροσκάφος ανά προσγείωση

Αεροσκάφη	MTOW (tn)	Τέλη Προσγείωσης (€)
Boeing 757-300	122,92	898,97
Airbus A321-200 std	89,40	691,49
Boeing B737-800	79,24	628,61
Airbus A320-200 std	73,90	595,54
Airbus A320-neo	70,40	573,88
Boeing B737-700	70,31	573,30
Airbus A319-100 std	64,40	536,74
Embraer 195 std	48,95	441,10
Dash 8-Q400	29,35	319,76

Όπως προαναφέρθηκε και στα παραπάνω κεφάλαια, τα τέλη προσγείωσης των αεροσκαφών έχουν άμεση συσχέτιση με το μέγιστο βάρος απογείωσής τους (MTOW) και στην πλειοψηφία των περιπτώσεων είναι και ο μοναδικός παράγοντας για τον καθορισμό τους.

Για τον περιφερειακό αερολιμένα, βρέθηκαν οι τύποι αεροσκαφών που δέχεται και υπολογίστηκαν τα τέλη προσγείωσης για τον κάθε τύπο αεροσκάφους, σύμφωνα με τις τιμές χρέωσης του. Είναι εμφανές ότι τα τέλη προσγείωσης υπολογίζονται λαμβάνοντας υπόψη ως μοναδικό παράγοντα το μέγιστο βάρος απογείωσης του αεροσκάφους (MTOW), συμβαδίζοντας με τις οδηγίες της υπηρεσίας πολιτικής αεροπορίας (ΥΠΑ).

Στην Εικόνα 4.10 παρατίθεται το διάγραμμα, που προέκυψε από τη συσχέτιση του μέγιστου βάρους απογείωσης (MTOW) και των τελών προσγείωσης των αεροσκαφών

**Εικόνα 4.10: Διάγραμμα σχέσης MTOW - Τελών Προσγείωσης**

Από την σχέση διακρίνεται η άμεση εξάρτηση που έχουν τα τέλη προσγείωσης των αεροσκαφών από το μέγιστο βάρος απογείωσης τους, καθώς είναι εμφανής η γραμμική μεταβολή τους με την αύξηση του μεγέθους.

4.5 Υπολογισμός οριζόντιων και κατακόρυφων τάσεων και παραμορφώσεων

Από την ανάλυση του προγράμματος FAARFIELD προκύπτουν τα εντατικά μεγέθη των στρώσεων του οδοστρώματος, για όλα τα αεροσκάφη της κυκλοφορίας και για τα σημεία αξιολόγησης (evaluation points) που έχουν οριστεί από το πρόγραμμα. Από την ανάλυση για καθορισμένη διατομή και σύνθεση κυκλοφορίας προκύπτουν οι οριζόντιες και κατακόρυφες τάσεις και παραμορφώσεις στις κρίσιμες θέσεις αστοχίας στον πυθμένα των ασφαλικών στρώσεων και στην κορυφή της στρώσης έδρασης.

Στην Εικόνα 4.11 και στην Εικόνα 4.12 απεικονίζονται ενδεικτικά οι τιμές των τάσεων και των παραμορφώσεων του αεροσκάφους Airbus A321-200 std. Με τον ίδιο τρόπο βρέθηκαν οι τάσεις και οι παραμορφώσεις για όλα τα αεροσκάφη της σύνθεσης της κυκλοφορίας. Τα σχετικά στοιχεία παρατίθενται στο παράρτημα για όλα τα σημεία αξιολόγησης, ανά αεροσκάφος της σύνθεσης της κυκλοφορίας, για την ασφαλική στρώση και τη στρώση έδρασης. Οι τιμές που είναι υπογραμμισμένες με μπλε χρώμα συνιστούν τις παραμορφώσεις που χρησιμοποιήθηκαν στους νόμους κόπωσης και αστοχίας για τον υπολογισμό των σχετικών φθορών των ασφαλικών στρώσεων και της στρώσης έδρασης, βάσει των οποίων δημιουργήθηκαν οι σχέσεις με τα τέλη προσγείωσης των αεροσκαφών.

LeafAC.out - Σημειωματάριο

Αρχείο Επεξεργασία Μορφή Προβολή Βοήθεια

Aircraft No. 2 A321-200 std

Eval Point = 1 Layer No. = 1

X-Coord. = -131,160 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

	VERT STR	HOR Y STR	HOR X STR	XZ SHEAR	YZ SHEAR	XY SHEAR
Stress	-6,58303E+01	3,19440E+02	2,85926E+02	-3,19539E+01	0,00000E+00	0,00000E+00
Strain	-6,38244E-04	5,57111E-04	4,53129E-04	-1,98283E-04	0,00000E+00	0,00000E+00
Displt	9,77659E-02	0,00000E+00	1,51365E-03			

	PRIN 1	PRIN 2	PRIN 3	MAX SHEAR	OCT NORMAL	OCT SHEAR
Stress	3,19440E+02	2,88805E+02	-6,87095E+01	1,94075E+02	1,79845E+02	1,76199E+02
Strain	5,57111E-04	4,62062E-04	-6,47177E-04			

Eval Point = 2 Layer No. = 1

X-Coord. = -135,723 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

	VERT STR	HOR Y STR	HOR X STR	XZ SHEAR	YZ SHEAR	XY SHEAR
Stress	-5,88975E+01	2,92400E+02	2,26437E+02	5,36519E+01	0,00000E+00	0,00000E+00
Strain	-5,52708E-04	5,37243E-04	3,32582E-04	3,32925E-04	0,00000E+00	0,00000E+00
Displt	9,89166E-02	0,00000E+00	-3,62857E-04			

Εικόνα 4.11: Τιμές τάσεων και παραμορφώσεων ασφαλικών στρώσεων

LeafSG.out - Σημειωματάριο

Αρχείο Επεξεργασία Μορφή Προβολή Βοήθεια

Aircraft No. 2 A321-200 std

Eval Point = 1 Layer No. = 3
 X-Coord. = -131,160 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

	VERT STR	HOR Y STR	HOR X STR	XZ SHEAR	YZ SHEAR	XY SHEAR
Stress	-1,50080E+01	1,08831E+00	-7,09541E-01	-2,32341E+00	0,00000E+00	0,00000E+00
Strain	-1,49130E-03	6,49040E-04	4,09978E-04	-6,17889E-04	0,00000E+00	0,00000E+00
Displt	8,29264E-02	0,00000E+00	6,34175E-03			

	PRIN 1	PRIN 2	PRIN 3	MAX SHEAR	OCT NORMAL	OCT SHEAR
Stress	-1,53761E+01	1,08831E+00	-3,41478E-01	-7,51731E+00	-4,87642E+00	7,44730E+00
Strain	-1,54024E-03	6,49040E-04	4,58920E-04			

Eval Point = 2 Layer No. = 3
 X-Coord. = -135,723 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

	VERT STR	HOR Y STR	HOR X STR	XZ SHEAR	YZ SHEAR	XY SHEAR
Stress	-1,53068E+01	1,12829E+00	-9,09532E-01	-1,22368E+00	0,00000E+00	0,00000E+00
Strain	-1,51521E-03	6,70172E-04	3,99201E-04	-3,25427E-04	0,00000E+00	0,00000E+00
Displt	8,48848E-02	0,00000E+00	4,47549E-03			

Εικόνα 4.12: Τιμές τάσεων και παραμορφώσεων στρώσης έδρασης

Στον Πίνακα 4.4 απεικονίζονται οι τιμές της οριζόντιας παραμόρφωσης στον πυθμένα των ασφαλικών στρώσεων και της κατακόρυφης παραμόρφωσης στην κορυφή της στρώσης έδρασης. Οι τιμές παρατίθενται με τα αεροσκάφη κατανεμημένα κατά φθίνουσα σειρά σύμφωνα με το μέγιστο βάρος απογείωσης τους. Οι τιμές του Πίνακα 4.4 έχουν προκύψει για 1200 ετήσιες διελεύσεις ανά αεροσκάφος.

Πίνακας 4.4: Τιμές οριζόντιων και κατακόρυφων παραμορφώσεων ανά αεροσκάφος

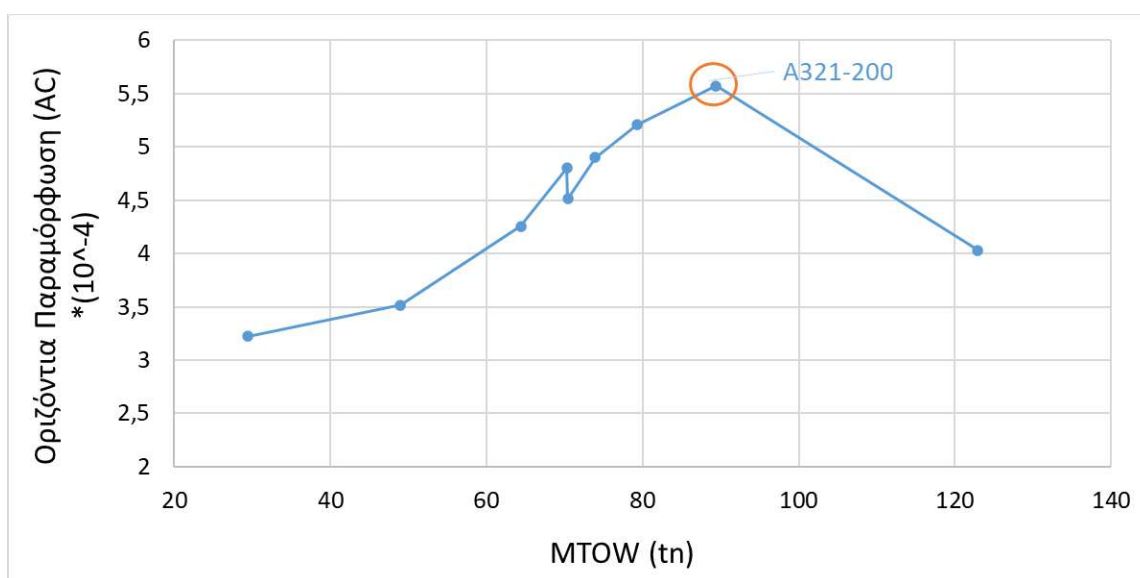
Αεροσκάφη	MTOW (tn)	max CDF (SG)	max CDF (HMA)	Οριζόντια Παραμόρφωση (AC) (10 ⁻⁴)	Κατακόρυφη Παραμόρφωση (SG) (10 ⁻³)
Boeing 757-300	122,92	0,29	0,07	4,03087	1,25143
Airbus A321-200 std	89,40	3,94	0,13	5,57111	1,51521
Boeing B737-800	79,24	1,19	0,09	5,20534	1,39411
Airbus A320-200 std	73,90	0,17	0,07	4,90196	1,261
Airbus A320-neo	70,40	0,04	0,05	4,51167	1,19688
Boeing B737-700	70,31	0,12	0,06	4,80035	1,24186
Airbus A319-100 std	64,40	0	0,04	4,25706	1,09836
Embraer 195 std	48,95	0	0,01	3,51623	0,868952
Dash 8-Q400	29,35	0	0,01	3,22317	0,693512

4.5.1 Σχέση παραμορφώσεων με MTOW

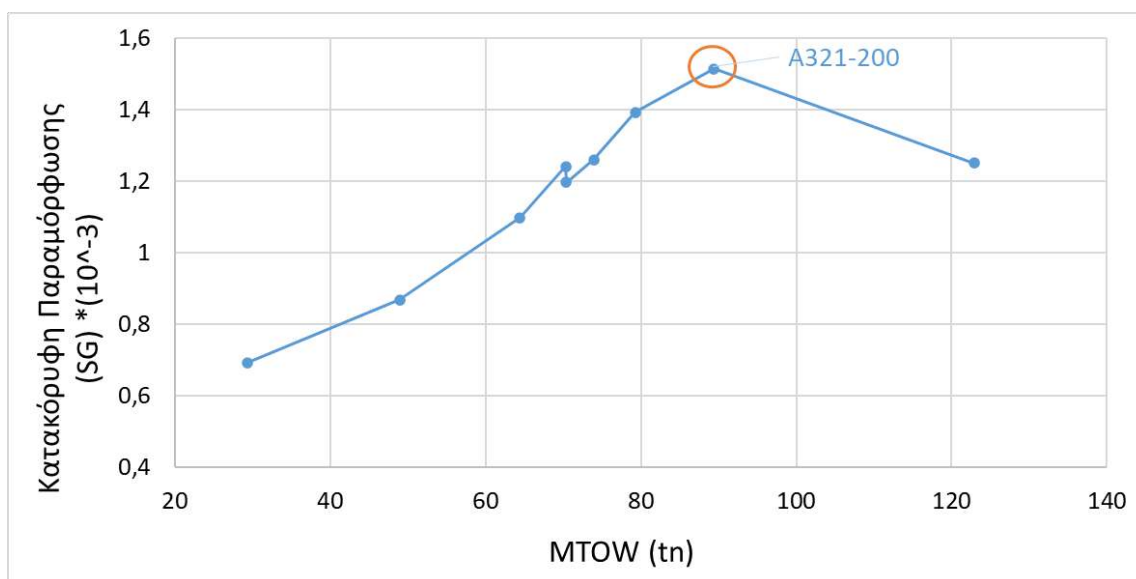
Μέσω της σχέσης και της αναπαράστασης των τιμών σε διαγράμματα παρατηρείται ότι σε ορισμένες περιπτώσεις οι προκαλούμενες οριζόντιες και κατακόρυφες παραμορφώσεις είναι μικρότερες από εκείνες ελαφρύτερων αεροσκαφών. Συγκεκριμένα, το αεροσκάφος Airbus A320-neo ενώ είναι ελαφρώς βαρύτερο από το αεροσκάφος Boeing 737-700 εμφανίζει σημαντικά μικρότερη φθορά στη στρώση έδρασης και προκαλεί μικρότερη παραμόρφωση τόσο στις ασφαλικές στρώσεις όσο και στην στρώση έδρασης. Οι τιμές για το MTOW και τις παραμορφώσεις των δύο αεροσκαφών παρατηρούνται στον Πίνακα 4.4. Παρά την μικρή διαφορά στις τιμές των παραμορφώσεων το γεγονός αυτό δεν πρέπει να παραληφθεί, καθώς υποδεικνύει ότι παρ' όλο που υπάρχει εξάρτηση, το μέγιστο βάρος απογείωσης δεν αρκεί για τον υπολογισμό της φθοράς και των παραμορφώσεων.

Επιπρόσθετα στην περίπτωση του Boeing 757-300, παρατηρείται ότι οι τιμές της φθοράς και των παραμορφώσεων είναι πολύ μικρότερες σε σχέση με το Airbus A321-200 std, που είναι το αμέσως επόμενο βαρύτερο αεροσκάφος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που επιδρούν στην φθορά και εν συνεχεία στην παραμόρφωση των οδοστρωμάτων όπως η συχνότητα φόρτισης, οι ταχύτητες των αεροσκαφών, το σύστημα και η διάταξη των τροχών, οι πιέσεις των ελαστικών, καθώς και η κατανομή του βάρους των αεροσκαφών.

Στην Εικόνα 4.13 και στην Εικόνα 4.14 παρατηρούνται οι τιμές ανά αεροσκάφος των οριζόντιων και κατακόρυφων παραμορφώσεων αντίστοιχα, με το Airbus A321-200 std και το Boeing 737-800 να προκαλούν τις μεγαλύτερες παραμορφώσεις και στις δύο περιπτώσεις. Το αεροσκάφος Boeing 757-300 ενώ συνιστά με μεγάλη διαφορά το βαρύτερο αεροσκάφος της κυκλοφορίας προκαλεί την τρίτη μικρότερη παραμόρφωση στις ασφαλικές στρώσεις και μόλις την τέταρτη μεγαλύτερη στην στρώση έδρασης.



Εικόνα 4.13: Διάγραμμα σχέσης MTOW - Οριζόντιας παραμόρφωσης στον πυθμένα των ασφαλικών στρώσεων



Εικόνα 4.14: Διάγραμμα σχέσης MTOW - Κατακόρυφης παραμόρφωσης στην επιφάνεια της στρώσης έδρασης

4.5.2 Σχέση παραμορφώσεων με τέλη προσγείωσης

Αναφορικά με την τιμολογιακή πολιτική των ελληνικών αεροδρομίων, για τον υπολογισμό των τελών προσγείωσης των αεροσκαφών λαμβάνεται υπόψη ως μοναδικός παράγοντας το μέγιστο βάρος απογείωσης των αεροσκαφών (MTOW). Επομένως, προκύπτει ότι το αεροσκάφος που του αντιστοιχούν τα περισσότερα τέλη προσγείωσης είναι το Boeing B757-300, καθώς διαθέτει με διαφορά το μεγαλύτερο MTOW (122,92 τόνους), με σχεδόν διπλάσια τιμή από τα υπόλοιπα αεροσκάφη. Παρατηρείται λοιπόν ότι δεν λαμβάνεται υπόψη η φθορά και η παραμόρφωση που προκαλεί το εκάστοτε αεροσκάφος στις στρώσεις της διατομής του οδοστρώματος, παρά μόνο το βάρος του.

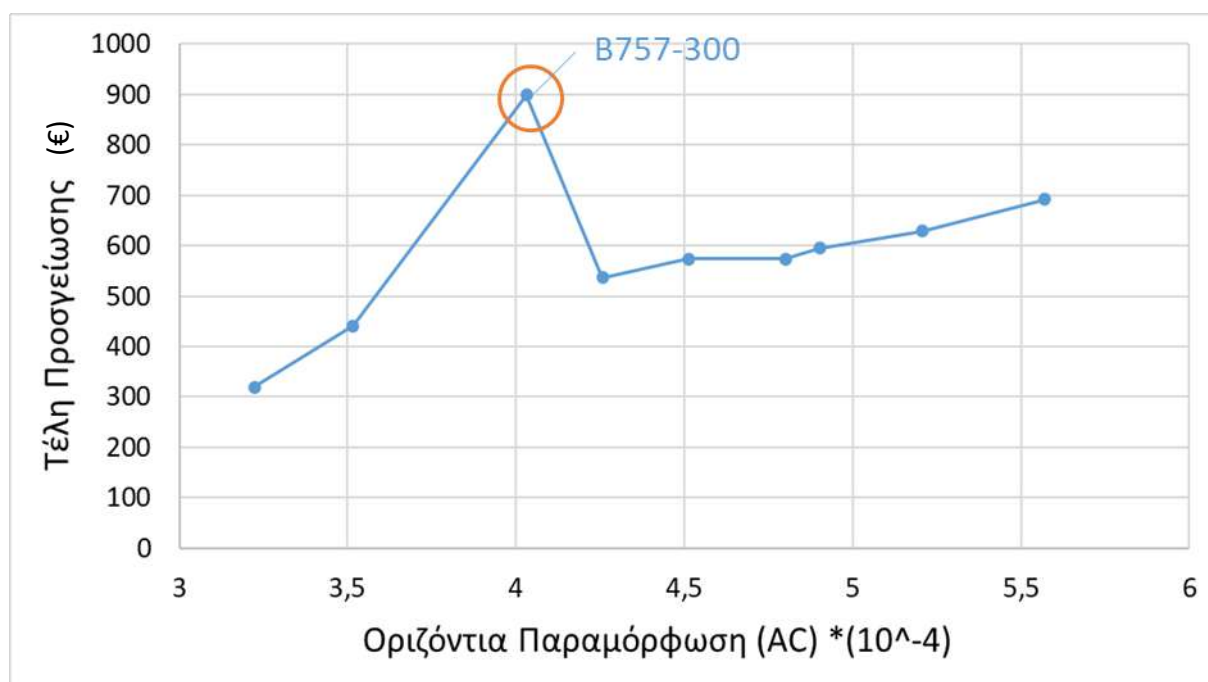
Στην Εικόνα 4.15 απεικονίζεται η δυσανάλογη τιμή των τελών προσγείωσης που αντιστοιχούν στο αεροσκάφος Boeing 757-300 (897,97 €) σε σχέση με την οριζόντια παραμόρφωση που προκαλεί στις ασφαλτικές στρώσεις, καθώς σε αεροσκάφη με παρόμοιες τιμές παραμορφώσεων αντιστοιχεί σχεδόν το ένα δεύτερο των τελών. Το συγκεκριμένο γεγονός ενδεχομένως να αποτελεί ένδειξη έλλειψης επάρκειας των παραγόντων για τον καθορισμό των τελών προσγείωσης των αεροσκαφών. Αποτελεί ένα ενδεικτικό παράδειγμα για την διατύπωση του προβλήματος που επικρατεί στην τιμολόγηση και εγείρει ερωτήματα για την μελλοντική προσέγγιση της τιμολογιακής πολιτικής των αερολιμένων.

Στον Πίνακα 4.5 παρατίθενται οι τιμές των τελών προσγείωσης των αεροσκαφών και των οριζόντιων παραμορφώσεων των ασφαλτικών στρώσεων, κατανεμημένες κατά φθίνουσα

σειρά των τελευταίων, που χρησιμοποιήθηκαν για την μόρφωση του διαγράμματος στην Εικόνα 4.15.

Πίνακας 4.5: Τιμές οριζόντιων παραμορφώσεων και τελών προσγείωσης αεροσκαφών

Αεροσκάφη	MTOW (tn)	max CDF (HMA)	Οριζόντια Παραμόρφωση (AC) (10^{-4})	Τέλη Προσγείωσης
Airbus A321-200 std	89,40	0,13	5,57111	691,49
Boeing B737-800	79,24	0,09	5,20534	628,61
Airbus A320-200 std	73,90	0,07	4,90196	595,54
Boeing B737-700	70,31	0,06	4,80035	573,30
Airbus A320-neo	70,40	0,05	4,51167	573,88
Airbus A319-100 std	64,40	0,04	4,25706	536,74
Boeing 757-300	122,92	0,07	4,03087	898,97
Embraer 195 std	48,95	0,01	3,51623	441,10
Dash 8-Q400	29,35	0,01	3,22317	319,76



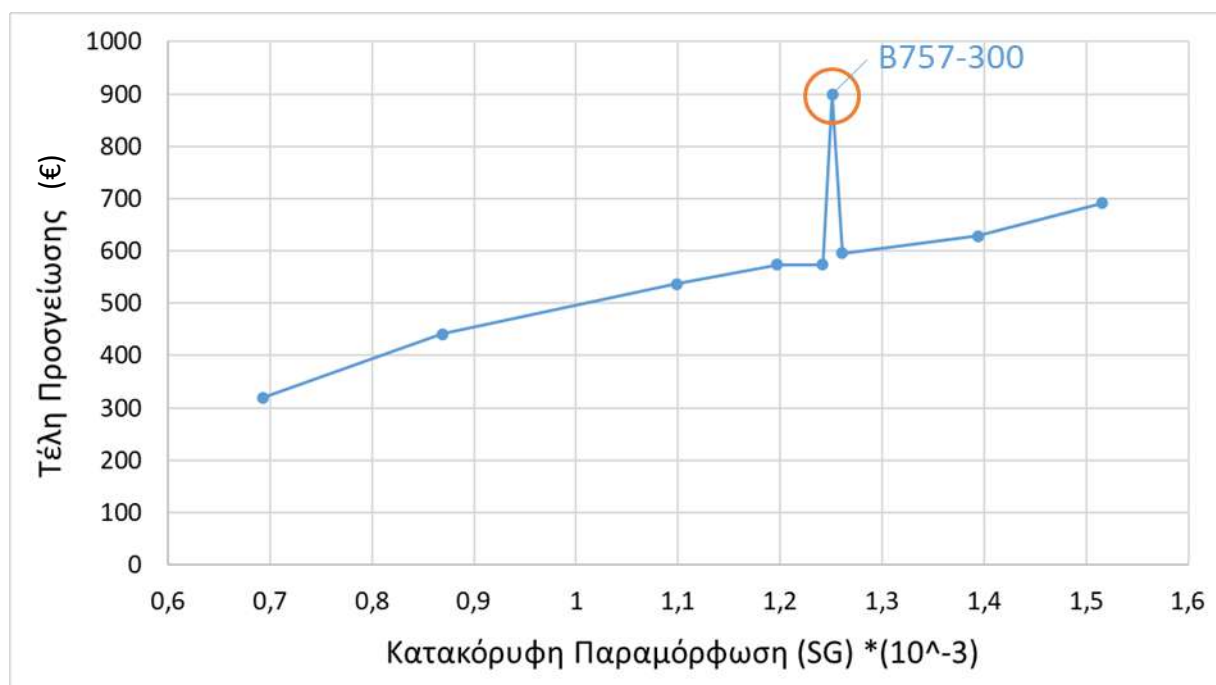
Εικόνα 4.15: Διάγραμμα σχέσης οριζόντιων παραμορφώσεων - τελών προσγείωσης

Στον Πίνακα 4.6 παρατίθενται οι τιμές των τελών προσγείωσης των αεροσκαφών και των κατακόρυφων παραμορφώσεων της στρώσης έδρασης, κατανεμημένες κατά φθίνουσα σειρά

των τελευταίων, που χρησιμοποιήθηκαν για την μόρφωση του διαγράμματος που φαίνεται στην Εικόνα 4.16.

Πίνακας 4.6: Τιμές κατακόρυφων παραμορφώσεων και τελών προσγείωσης αεροσκαφών

Αεροσκάφη	MTOW (tn)	max CDF (SG)	Κατακόρυφη Παραμόρφωση (SG) (10^{-3})	Τέλη Προσγείωσης
Airbus A321-200 std	89,40	3,94	1,51521	691,49
Boeing B737-800	79,24	1,19	1,39411	628,61
Airbus A320-200 std	73,90	0,17	1,261	595,54
Boeing 757-300	122,92	0,29	1,25143	898,97
Boeing B737-700	70,31	0,12	1,24186	573,30
Airbus A320-neo	70,40	0,04	1,19688	573,88
Airbus A319-100 std	64,40	0	1,09836	536,74
Embraer 195 std	48,95	0	0,868952	441,10
Dash 8-Q400	29,35	0	0,693512	319,76



Εικόνα 4.16: Διάγραμμα σχέσης κατακόρυφων παραμορφώσεων - τελών προσγείωσης

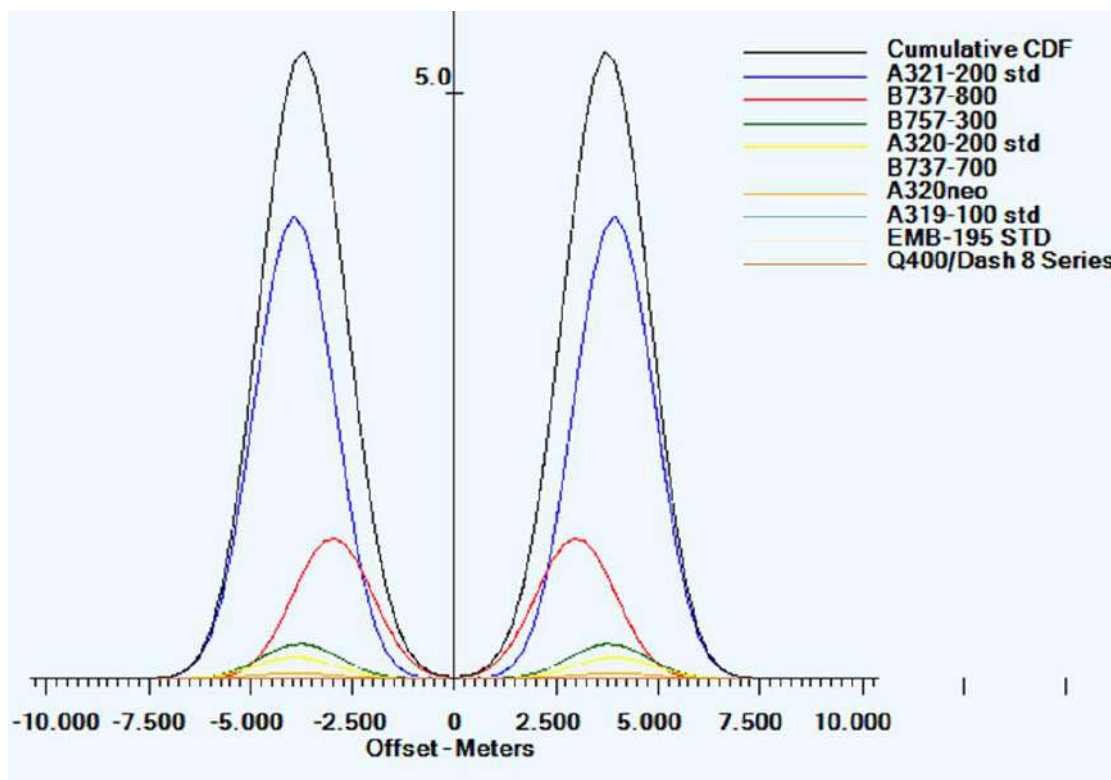
Ομοίως με το διάγραμμα στην Εικόνα 4.15, παρατηρείται και στο διάγραμμα που φαίνεται στην Εικόνα 4.16, ότι το αεροσκάφος Boeing 757-300 προκαλεί μόλις την τέταρτη μεγαλύτερη κατακόρυφη παραμόρφωση στην στρώση έδρασης. Ενώ οι τιμές των κατακόρυφων παραμορφώσεων των αεροσκαφών Boeing B737-700, Boeing B757-300 και Airbus A320-200 std παρουσιάζουν αμελητέες διαφορές, οι οποίες διακρίνονται εμφανώς στον Πίνακα 4.6, η διαφορά στην χρέωση των τελών προσγείωσης είναι σημαντική.

4.6 Υπολογισμός φθοράς

Για τον υπολογισμό του συντελεστή φθοράς (CDF) λαμβάνονται υπόψη τα χαρακτηριστικά του οδοστρώματος, ο τύπος και το βάρος των αεροσκαφών και άλλοι παράγοντες, όπως η θερμοκρασία και η υγρασία. Αρχικά, υπολογίζονται οι τάσεις και οι καταπονήσεις στο οδόστρωμα που προκαλούνται από την προσγείωση του αεροσκάφους και μέσω αυτών προσδιορίζεται ο συντελεστής φθοράς.

Το CDF είναι μια σημαντική παράμετρος, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της υπολειπόμενης διάρκειας ζωής ενός οδοστρώματος αεροδρομίου, καθώς παρέχει μια ένδειξη του μεγέθους της φθοράς που έχει συμβεί και του ρυθμού με τον οποίο το οδόστρωμα φθείρεται.

Στην Εικόνα 4.17 απεικονίζεται το γράφημα των τιμών του δείκτη CDF της στρώσης έδρασης ανά αεροσκάφος, αλλά και της συνολικής αθροιστικής φθοράς όπως προέκυψε από την ανάλυση του προγράμματος FAARFIELD, για τη σύνθεση της κυκλοφορίας του περιφερειακού αερολιμένα, θεωρώντας ότι το κάθε αεροσκάφος πραγματοποίησε 1200 ετήσιες διελεύσεις.

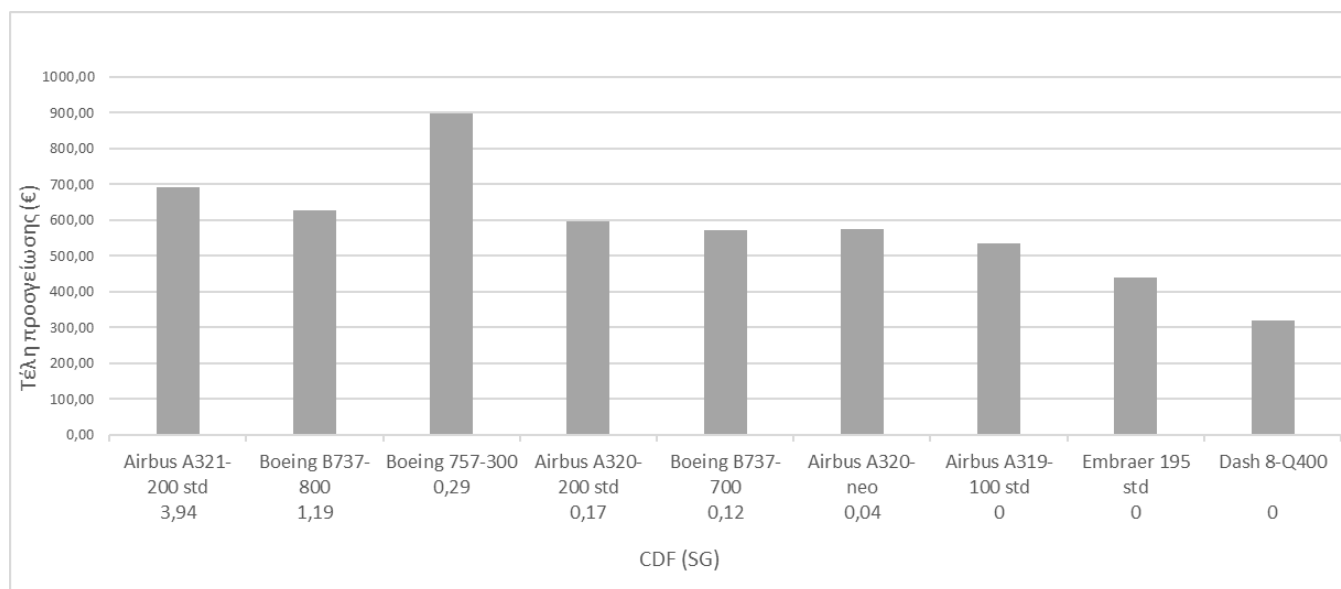


Εικόνα 4.17: Γράφημα τιμών CDF ανά αεροσκάφος

Για τη σαφέστερη απεικόνιση του υπόψη παραδείγματος, δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα των σχέσεων του δείκτη CDF για την ασφαλική στρώση και τη στρώση έδρασης με τα τέλη προσγείωσης των αεροσκαφών (Εικόνα 4.18 και Εικόνα 4.19). Στους πίνακες 4.7 και 4.8 παρατίθενται οι τιμές φθοράς της στρώσης έδρασης και των ασφαλικών στρώσεων αντίστοιχα, σε φθίνουσα σειρά. Μέσω των εν λόγω διαγραμμάτων, παρατηρήθηκε ότι τόσο στη φθορά της στρώσης έδρασης, όσο και των ασφαλικών στρώσεων, χρεώνονται δυσανάλογα τέλη προσγείωσης για το αεροσκάφος Boeing 757-300, σε σχέση με τη φθορά που προκαλεί στο οδόστρωμα. Πιο συγκεκριμένα, τα τέλη προσγείωσης που του αντιστοιχούν και στις δύο περιπτώσεις είναι τα υψηλότερα της σύνθεσης κυκλοφορίας, ενώ προκαλεί μόλις την τρίτη μεγαλύτερη φθορά στο οδόστρωμα. Συνεπώς, θα ήταν ωφέλιμο να διερευνηθούν περαιτέρω οι παράγοντες καθορισμού των τελών προσγείωσης, καθώς σύμφωνα με την υπάρχουσα τιμολογιακή πολιτική η φθορά που προκαλούν τα αεροσκάφη στο οδόστρωμα δεν λαμβάνεται υπόψη.

Πίνακας 4.7: Τιμές φθοράς στρώσης έδρασης και τελών προσγείωσης

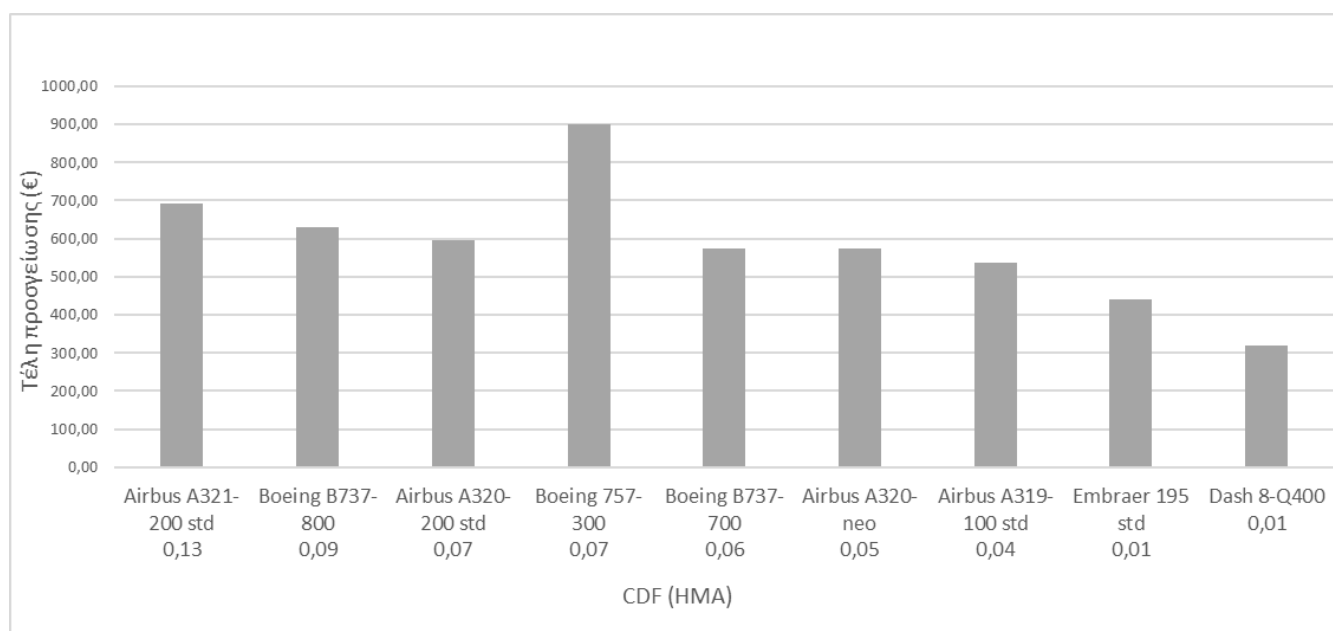
Αεροσκάφη	MTOW (tn)	max CDF (SG)	Τέλη Προσγείωσης (€)
Airbus A321-200 std	89,40	3,94	691,49
Boeing B737-800	79,24	1,19	628,61
Boeing 757-300	122,92	0,29	898,97
Airbus A320-200 std	73,90	0,17	595,54
Boeing B737-700	70,31	0,12	573,30
Airbus A320-neo	70,40	0,04	573,88
Airbus A319-100 std	64,40	0	536,74
Embraer 195 std	48,95	0	441,10
Dash 8-Q400	29,35	0	319,76



Εικόνα 4.18: Σχέση CDF (SG) - Τέλη Προσγείωσης

Πίνακας 4.8: Τιμές φθοράς ασφαλικής στρώσης και τελών προσγείωσης

Αεροσκάφη	MTOW (tn)	max CDF (HMA)	Τέλη Προσγείωσης (€)
Airbus A321-200 std	89,40	0,13	691,49
Boeing B737-800	79,24	0,09	628,61
Airbus A320-200 std	73,90	0,07	595,54
Boeing 757-300	122,92	0,07	898,97
Boeing B737-700	70,31	0,06	573,30
Airbus A320-neo	70,40	0,05	573,88
Airbus A319-100 std	64,40	0,04	536,74
Embraer 195 std	48,95	0,01	441,10
Dash 8-Q400	29,35	0,01	319,76

**Εικόνα 4.19: Σχέση CDF (HMA) - Τέλη Προσγείωσης**

4.7 Υπολογισμός σχετικής φθοράς

Από την ανάλυση του προγράμματος FAARFIELD υπολογίστηκαν οι τιμές του δείκτη CDF ανά αεροσκάφος. Με βάση αυτές τις τιμές και σύμφωνα με τους νόμους κόπωσης και αστοχίας (βλ. κεφάλαιο 3.2.4), υπολογίστηκαν οι επιτρεπόμενες καλύψεις έως την αστοχία και εν συνεχεία η σχετική φθορά των στρώσεων.

Η τιμή της σχετικής φθοράς έχει υπολογιστεί από τον τύπο $1/N_{\text{επιτρ.}}$, όπου ο όρος $N_{\text{επιτρ.}}$ εκφράζει τις επιτρεπόμενες καλύψεις έως την αστοχία. Έτσι προκύπτουν δύο τιμές σχετικής φθοράς, η υπολογιζόμενη από τους τύπους που εμπεριέχουν την οριζόντια παραμόρφωση στον πυθμένα των ασφαλικών στρώσεων και η υπολογιζόμενη από τους τύπους που αφορούν την κατακόρυφη παραμόρφωση στην κορυφή της στρώσης έδρασης.

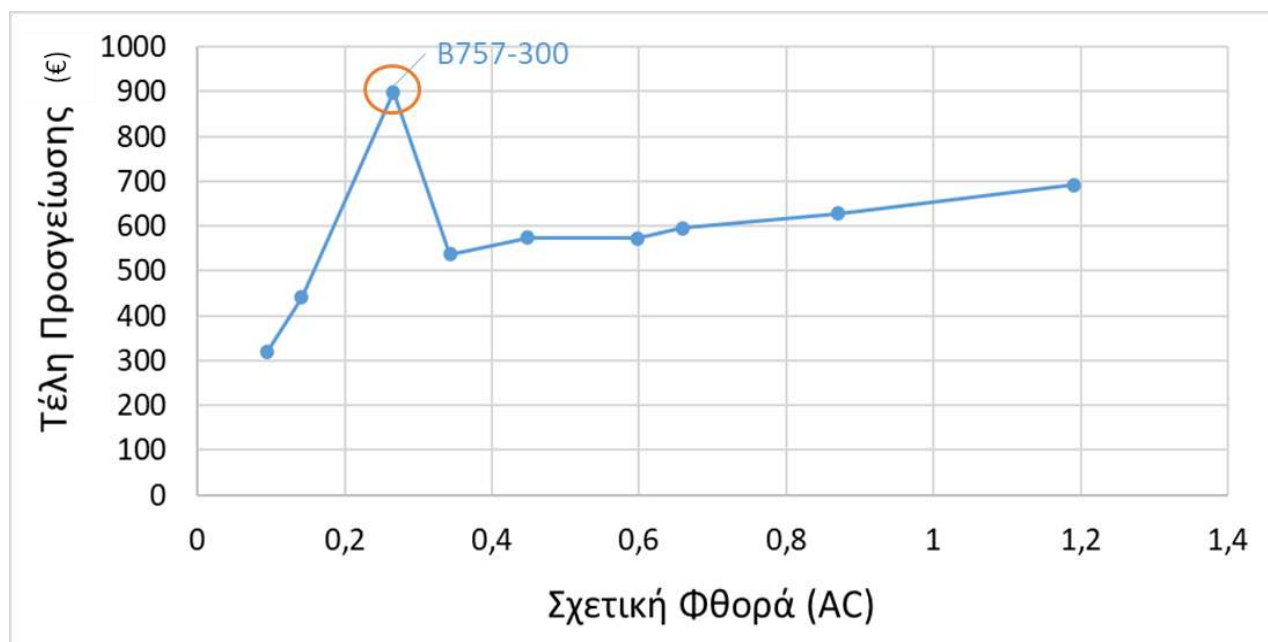
Στους Πίνακες 4.9 και 4.10 παρατίθενται οι τιμές των τελών προσγείωσης των αεροσκαφών και των σχετικών φθορών των ασφαλικών στρώσεων και της στρώσης έδρασης αντίστοιχα, κατανεμημένες κατά φθίνουσα σειρά των τελευταίων.

Όπως και στη συσχέτιση των παραμορφώσεων με τα τέλη προσγείωσης ομοίως τα διαγράμματα των σχετικών φθορών των ασφαλικών στρώσεων και της στρώσης έδρασης (Εικόνα 4.20 και Εικόνα 4.21) παρουσιάζουν μία ανομοιομορφία για το αεροσκάφος Boeing 757-300. Το γεγονός ότι το συγκεκριμένο αεροσκάφος είναι το μοναδικό της κυκλοφορίας με σύστημα διπλού - δίδυμου τροχού το καθιστά ξεχωριστό στο σύνολο των σχέσεων.

Παρατηρείται ότι και στην περίπτωση των σχετικών φθορών, δημιουργεί σημαντικά μικρότερη συγκριτικά με το βάρος του. Ειδικότερα η φθορά που προκαλεί στις ασφαλικές στρώσεις είναι μόλις η τρίτη μικρότερη και υποπολλαπλάσια εκείνης που προκαλεί το Airbus A321-200 std, ένα αρκετά ελαφρύτερο αεροσκάφος, το οποίο όμως διαθέτει σύστημα διπλών τροχών. Παρατηρείται ακόμη ότι τα τέλη προσγείωσης που του αντιστοιχούν δεν συνάδουν με την φθορά που προκαλεί τόσο στις ασφαλικές στρώσεις όσο και στη στρώση έδρασης.

Πίνακας 4.9: Τιμές σχετικής φθοράς ασφαλικών στρώσεων

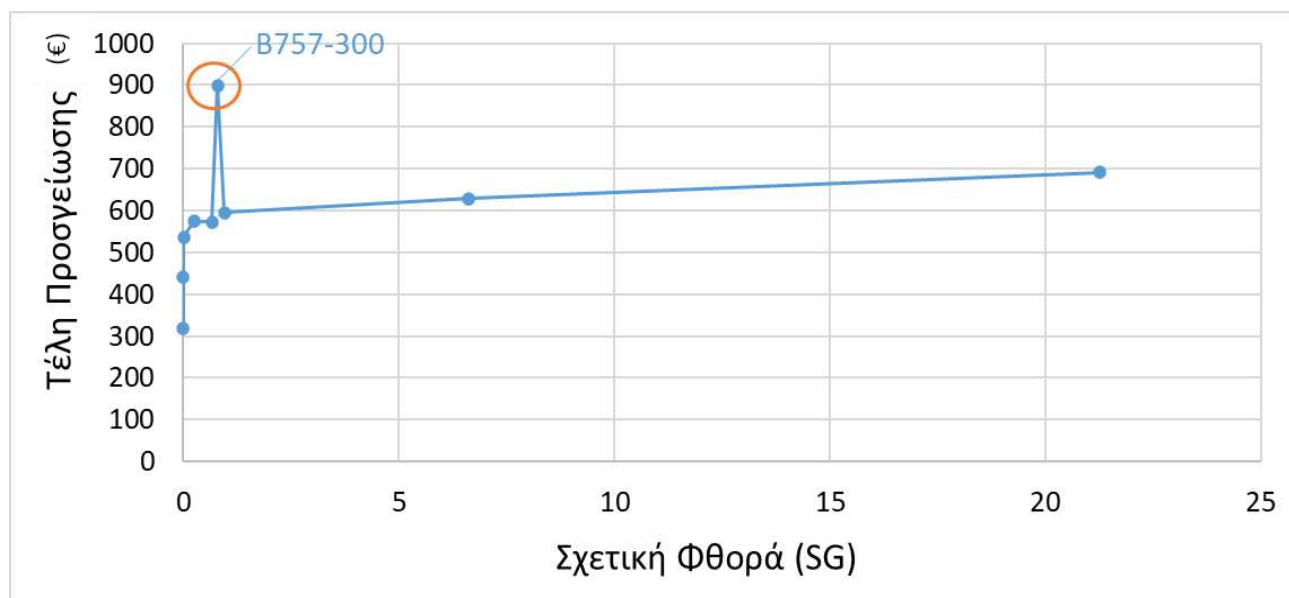
Αεροσκάφη	MTOW (tn)	max CDF (HMA)	Νεπιτρ. (AC)	Σχετική Φθορά (AC) (10^{-5})	Τέλη Προσγείωσης
Airbus A321-200 std	89,40	0,13	83.947	1,191227798	691,49
Boeing B737-800	79,24	0,09	114.960	0,86986778	628,61
Airbus A320-200 std	73,90	0,07	151.804	0,65874417	595,54
Boeing B737-700	70,31	0,06	167.262	0,597864428	573,30
Airbus A320-neo	70,40	0,05	222.895	0,448641737	573,88
Airbus A319-100 std	64,40	0,04	291.671	0,342852049	536,74
Boeing 757-300	122,92	0,07	375.548	0,266277546	898,97
Embraer 195 std	48,95	0,01	706.807	0,141481338	441,10
Dash 8-Q400	29,35	0,01	1.057.480	0,094564436	319,76



Εικόνα 4.20: Διάγραμμα σχέσης σχετικής φθοράς (AC) - τελών προσγείωσης

Πίνακας 4.10: Τιμές σχετικής φθοράς στρώσης έδρασης

Αεροσκάφη	MTOW (tn)	max CDF (SG)	Νεπιτρ. (SG)	Σχετική Φθορά (SG) (10 ⁻⁵)	Τέλη Προσγείωσης
Airbus A321-200 std	89,40	3,94	4.707	21,24495432	691,49
Boeing B737-800	79,24	1,19	15.107	6,619447938	628,61
Airbus A320-200 std	73,90	0,17	104.831	0,953916303	595,54
Boeing 757-300	122,92	0,29	125.724	0,795393083	898,97
Boeing B737-700	70,31	0,12	151.958	0,658076574	573,30
Airbus A320-neo	70,40	0,04	418.532	0,238930357	573,88
Airbus A319-100 std	64,40	0	11.813.392	0,008464969	536,74
Embraer 195 std	48,95	0	-	0	441,10
Dash 8-Q400	29,35	0	-	0	319,76



Εικόνα 4.21: Διάγραμμα σχέσης σχετικής φθοράς (SG) - τελών προσγείωσης

5. Δείκτης επίδρασης αεροσκαφών ACR και τέλη προσγείωσης

5.1 Δείκτης επίδρασης αεροσκάφους ACR

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας εξετάστηκε η σχέση του δείκτη επίδρασης αεροσκαφών ACR με τα τέλη προσγείωσης αεροσκαφών. Ο δείκτης ACR είναι ένας δείκτης που χρησιμοποιείται στο πλαίσιο συστημάτων κατάταξης της φέρουσας ικανότητας των οδοστρωμάτων αεροδρομίων. Πιο αναλυτικά, ο δείκτης ACR είναι ένας αριθμός που εκφράζει τη σχετική επίδραση ενός αεροσκάφους σε ένα οδόστρωμα, για καθορισμένες τυπικές αντοχές της στρώσης έδρασης. Το ACR είναι μία πολύ σημαντική τιμή για την κατανόηση της επίδρασης του κάθε αεροσκάφους στην καταπόνηση του οδοστρώματος και στην προκαλούμενη φθορά του.

Η μέθοδος ACR/PCR χρησιμοποιείται ώστε να διευκρινιστεί αν είναι ασφαλές να δεχθεί το οδόστρωμα τα αεροσκάφη της κυκλοφορίας, με σκοπό να εξασφαλίζεται η δομική του επάρκεια. Ο δείκτης PCR είναι ένας δείκτης έκφρασης της φέρουσας ικανότητας ενός οδοστρώματος. Η τιμή του PCR συγκρίνεται με εκείνη του ACR των αεροσκαφών στη σύνθεση της κυκλοφορίας. Ένα ACR μικρότερο από το PCR ($ACR < PCR$) υποδεικνύει ότι το οδόστρωμα είναι επαρκές για την υποστήριξη της κυκλοφορίας. Αντίθετα, ένα ACR μεγαλύτερο από το PCR ($ACR > PCR$) υποδηλώνει ότι το οδόστρωμα δεν μπορεί να δεχθεί το υπόψη αεροσκάφος χωρίς περιορισμούς.

Ο δείκτης ACR βασίζεται στο μέγιστο βάρος απογείωσης και την πίεση των ελαστικών του αεροσκάφους που θα χρησιμοποιήσει το οδόστρωμα. Για τον υπολογισμό του δείκτη ACR τα οδοστρώματα ταξινομούνται σε τέσσερις κατηγορίες, από το A έως το D, με βάση το μέτρο ελαστικότητας της στρώσης έδρασης (E). Συγκεκριμένα ισχύει:

1. Κατηγορία A: E μεγαλύτερο από 150 MPa (21,756 psi)
2. Κατηγορία B: E από 100 έως 150 MPa (από 14,504 έως 21,756 psi)
3. Κατηγορία C: E από 60 έως 100 MPa (από 8,702 έως 14,504 psi)
4. Κατηγορία D: E μικρότερο από 60 MPa (8,702 psi)

Η μέθοδος ACR/PCR είναι μία βελτίωση της ήδη υπάρχουσας μεθόδου ACN/PCN. Ο κύριος λόγος ανάγκης για αντικατάσταση της υπάρχουσας μεθόδου ήταν η μικρότερη ακρίβειά της, καθώς και η ανάγκη για εκσυγχρονισμό, ώστε να συμβαδίζει με τους κανόνες σχεδιασμού οδοστρωμάτων βάσει της θεωρίας της γραμμικής ελαστικής ανάλυσης (Linear Elastic Analysis-LEA).

Στην Εικόνα 5.1 απεικονίζονται όλες οι συνιστώσες του δείκτη PCR (Tarlie, 2022).



Εικόνα 5.1: Δείκτης PCR

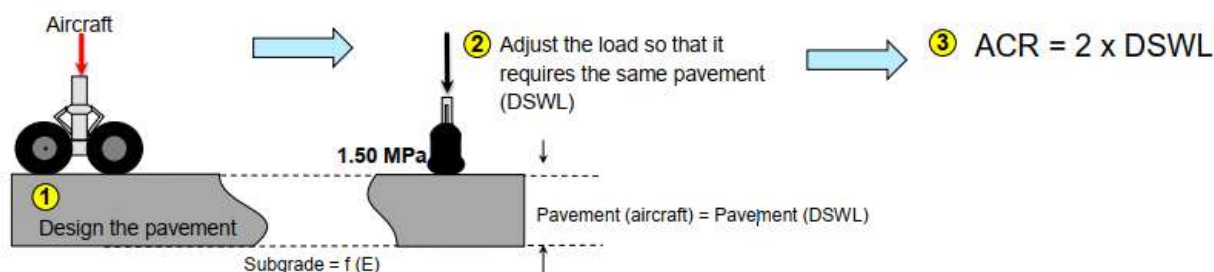
Το 1977, ο ICAO ίδρυσε μια ομάδα μελέτης για την ανάπτυξη μιας ενιαίας διεθνούς μεθόδου, με στόχο την αξιολόγηση της φέρουσας ικανότητας του οδοστρώματος. Η ομάδα μελέτης ανέπτυξε την μέθοδο ACN-PCN (Aircraft Classification Number - Pavement Classification Number), την οποία και υιοθέτησε ο ICAO. Χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο, είναι δυνατό να εκφραστεί η επίδραση ενός μεμονωμένου αεροσκάφους σε διαφορετικά οδοστρώματα με έναν μοναδικό αριθμό που ποικίλλει ανάλογα με το βάρος του αεροσκάφους και την διαμόρφωση του (π.χ. πίεση ελαστικών, διάταξη τροχών κ.α.), τον τύπο του οδοστρώματος και τα χαρακτηριστικά της στρώσης έδρασης. Αυτός ο αριθμός είναι ο δείκτης ACN και εκφράζει τη σχετική επίδραση ενός αεροσκάφους σε μια δεδομένη διατομή οδοστρώματος για μια καθορισμένη τυπική αντοχή της στρώσης έδρασης. Αντιθέτως, η φέρουσα ικανότητα ενός οδοστρώματος μπορεί να εκφραστεί με έναν μοναδικό αριθμό, χωρίς να προσδιορίζεται συγκεκριμένο αεροσκάφος ή λεπτομερείς πληροφορίες για τη δομή του οδοστρώματος. Αυτός ο αριθμός είναι ο δείκτης PCN (FAA, 2014).

Η μέθοδος ACN/PCN βασίζεται στη μέθοδο CBR, κάτι που πλέον τείνει να αντικατασταθεί, με την νέα διαδικασία να βασίζεται στην γραμμική ελαστική ανάλυση (LEA). Ο δείκτης ACR είναι παρόμοιος λογικής με τον δείκτη ACN, ωστόσο στην μέθοδο ACR-PCR υπάρχουν ορισμένες σημαντικές διαφορές:

- Διατηρεί 4 τυπικές κατηγορίες διαβάθμισης, αλλά ορίζονται από το συντελεστή E (όχι από το CBR ή το k).
- Το ACR εύκαμπτων οδοστρωμάτων λαμβάνει υπόψη όλους τους τροχούς στο κύριο σύστημα προσγείωσης.
- Η τυπική πίεση ελαστικών αυξήθηκε σε 1,5 MPa.

- Οι καλύψεις-διελεύσεις αυξήθηκαν σε 36.500 για ACR σε εύκαμπτο οδόστρωμα.
- Το παραγόμενο φορτίο ενός τροχού (DSWL) εκφράζεται σε 100' (όχι 1000') κιλά.

Ομοίως με τον δείκτη ACN, το ACR υπολογίζεται ως το διπλάσιο του φορτίου ενός μονού τροχού (Derived Single Wheel Load) με σταθερή πίεση ελαστικού που απαιτεί το ίδιο πάχος οδοστρώματος με το εξεταζόμενο αεροσκάφος.



Εικόνα 5.2: Σχέση ACR με DSWL

Η κύρια αλλαγή του ACR σε σχέση με το ACN είναι ότι ο υπολογισμός βασίζεται σε μία αναλυτική διαδικασία (έναντι CBR ή Westergaard). Ακόμη, το DSWL υπολογίζεται για πίεση ελαστικού $1,50 \text{ MPa}$ (έναντι $1,25 \text{ MPa}$), ενώ το ACR εκφράζεται σε εκατοντάδες κιλά, έναντι χιλιάδων του ACN.

Ο δείκτης ACR χρησιμοποιείται στην αξιολόγηση των οδοστρωμάτων αεροδρομίων για να διασφαλιστεί ότι η διατομή ενός οδοστρώματος είναι δομικά επαρκής, ώστε να φέρει τα φορτία της κίνησης της κυκλοφορίας των αεροσκαφών χωρίς να αστοχήσει για την περίοδο σχεδιασμού. Το ACR λαμβάνει υπόψη το μέγιστο βάρος απογείωσης και την πίεση των ελαστικών του αεροσκάφους που θα χρησιμοποιήσει το οδόστρωμα.

5.2 Σχέση παραμορφώσεων με ACR

Στην περίπτωση του περιφερειακού αερολιμένα με στρώση έδρασης κατηγορίας C, οι τιμές ACR παρατίθενται στην Εικόνα 5.3.

No.	Aircraft Name	Gross Weight (kg)	Percent Gross Weight on Main Gear	Tire Pressure (MPa)	ACR Thick (mm) (C)	ACR/F/C
1	B737-800	79.242	93,60	1.406,53	640	448,9
2	A321-200 std	89.400	95,00	1.461,69	681	517,9
3	A320neo	70.400	93,80	1.220,37	589	371,7
4	A319-100 std	64.400	92,60	1.192,79	559	326,4
5	A320-200 std	73.900	93,80	1.378,95	607	400
6	B737-700	70.307	91,80	1.358,27	592	376,8
7	EMB-195 STD	48.950	95,00	1.061,79	503	245,8
8	Q400/Dash 8 Series 400	29.347	93	1.565,11	427	170,7
9	B757-300	122.920	92,60	1.344,48	594	380,1

Εικόνα 5.3: Τιμές ACR ανά αεροσκάφος

Στην Εικόνα 5.4 παρατηρείται ότι για όλα τα αεροσκάφη, εκτός από το Boeing 757-300, η τιμή του ACR αυξάνεται όσο αυξάνεται και η τιμή της οριζόντιας παραμόρφωσης στον πυθμένα των ασφαλικών στρώσεων. Δεδομένου ότι το ACR είναι ένας δείκτης που εκφράζει την επίδραση του εκάστοτε αεροσκάφους στο οδόστρωμα, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του ACR ενός αεροσκάφους τόσο περισσότερο καταπονείται το οδόστρωμα λόγω του φορτίου που φέρει. Επομένως, σε μία ιδανική περίπτωση η μεγαλύτερη τιμή του δείκτη ACR θα αντιστοιχούσε και στην μεγαλύτερη προκαλούμενη παραμόρφωση.

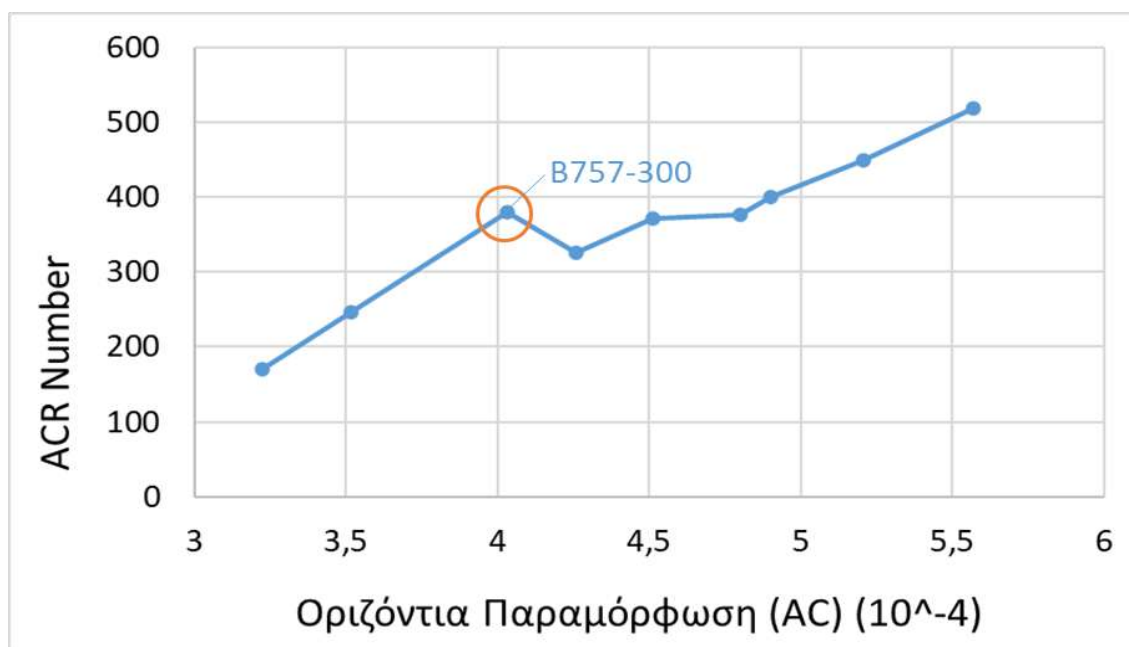
Στην περίπτωση όμως του αεροσκάφους Boeing 757-300 η τιμή του ACR (380,1), η οποία είναι η τέταρτη κατά σειρά μεγαλύτερη τιμή, δεν αντιστοιχεί και στην τέταρτη μεγαλύτερη παραμόρφωση, με το αεροσκάφος να προκαλεί μόλις την τρίτη μικρότερη. Αξίζει σε αυτό το σημείο να σημειωθεί ότι το Boeing 757-300 είναι το μοναδικό αεροσκάφος της κυκλοφορίας με σύστημα διπλού-δίδυμου τροχού, με τα υπόλοιπα αεροσκάφη να είναι εξοπλισμένα με σύστημα διπλού τροχού.

Επομένως, σε αυτό ενδεχομένως να οφείλονται οι μικρές τιμές των παραμορφώσεων που προκαλεί συγκριτικά με το βάρος του, αλλά και η τιμή του ACR. Συνεπώς, στον υπολογισμό του δείκτη ACR η διάταξη των τροχών του αεροσκάφους, πιθανώς να λαμβάνεται με μικρότερη βαρύτητα από ότι αντιστοιχεί στην πραγματικότητα.

Στον Πίνακα 5.1 παρατίθενται οι τιμές του ACR και των οριζόντιων παραμορφώσεων των ασφαλικών στρώσεων ανά αεροσκάφος, κατανεμημένες κατά φθίνουσα σειρά των τελευταίων.

Πίνακας 5.1: Τιμές ACR και οριζόντιων παραμορφώσεων ανά αεροσκάφος

Αεροσκάφη	MTOW (tn)	ACR Number	max CDF (HMA)	Οριζόντια Παραμόρφωση (AC) (10^{-4})
Airbus A321-200 std	89,40	517,90	0,13	5,57111
Boeing B737-800	79,24	448,90	0,09	5,20534
Airbus A320-200 std	73,90	400,00	0,07	4,90196
Boeing B737-700	70,31	376,80	0,06	4,80035
Airbus A320-neo	70,40	371,70	0,05	4,51167
Airbus A319-100 std	64,40	326,40	0,04	4,25706
Boeing 757-300	122,92	380,1	0,07	4,03087
Embraer 195 std	48,95	245,80	0,01	3,51623
Dash 8-Q400	29,35	170,70	0,01	3,22317



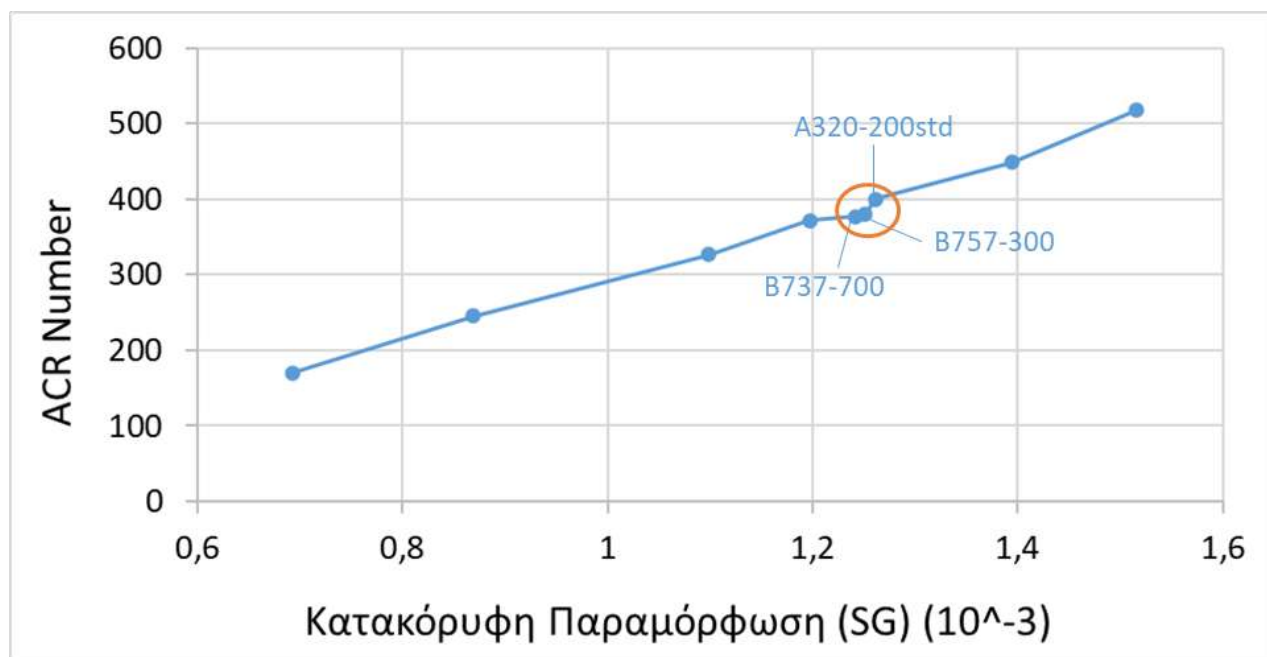
Εικόνα 5.4: Διάγραμμα σχέσης οριζόντιας παραμόρφωσης των ασφαλικών στρώσεων - ACR

Στον Πίνακα 5.2, παρατίθενται οι τιμές του ACR και των κατακόρυφων παραμορφώσεων της στρώσης έδρασης ανά αεροσκάφος, κατανεμημένες κατά φθίνουσα σειρά των τελευταίων.

Πίνακας 5.2: Τιμές ACR και κατακόρυφων παραμορφώσεων ανά αεροσκάφος

Αεροσκάφη	MTOW (tn)	ACR Number	max CDF (SG)	Κατακόρυφη Παραμόρφωση (SG) (10^{-3})
Airbus A321-200 std	89,40	517,90	3,94	1,51521
Boeing B737-800	79,24	448,90	1,19	1,39411
Airbus A320-200 std	73,90	400,00	0,17	1,261
Boeing 757-300	122,92	380,1	0,29	1,25143
Boeing B737-700	70,31	376,80	0,12	1,24186
Airbus A320-neo	70,40	371,70	0,04	1,19688
Airbus A319-100 std	64,40	326,40	0	1,09836
Embraer 195 std	48,95	245,80	0	0,868952
Dash 8-Q400	29,35	170,70	0	0,693512

Στην Εικόνα 5.5 παρατηρείται ότι τα αεροσκάφη Boeing B737-700, Boeing B757-300 και Airbus A320-200 std παρουσιάζουν πολύ κοντινές τιμές κατακόρυφων παραμορφώσεων της στρώσης έδρασης και του ACR. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στο γεγονός ότι από την ανάλυση του προγράμματος FAARFIELD έχουν προκύψει κοντινές τιμές ACR, ο οποίος έχει αναπτυχθεί με βάση τη φθορά στη στρώση έδρασης, για αυτό και παρατηρείται μεγάλη ακρίβεια του δείκτη για τις τιμές παραμόρφωσης στην στρώση έδρασης. Σε αντίθεση με το διάγραμμα της Εικόνας 5.4, που παρουσιάζεται μια ανομοιομορφία, στο διάγραμμα της Εικόνας 5.5 η σχέση των τιμών του ACR και των κατακόρυφων τάσεων παρουσιάζει μια γραμμική συσχέτιση, γεγονός που υποδεικνύει την αξιοπιστία του δείκτη.



Εικόνα 5.5: Διάγραμμα σχέσης κατακόρυφης παραμόρφωσης στρώσης έδρασης– ACR

5.3 Σχέση σχετικής φθοράς με ACR

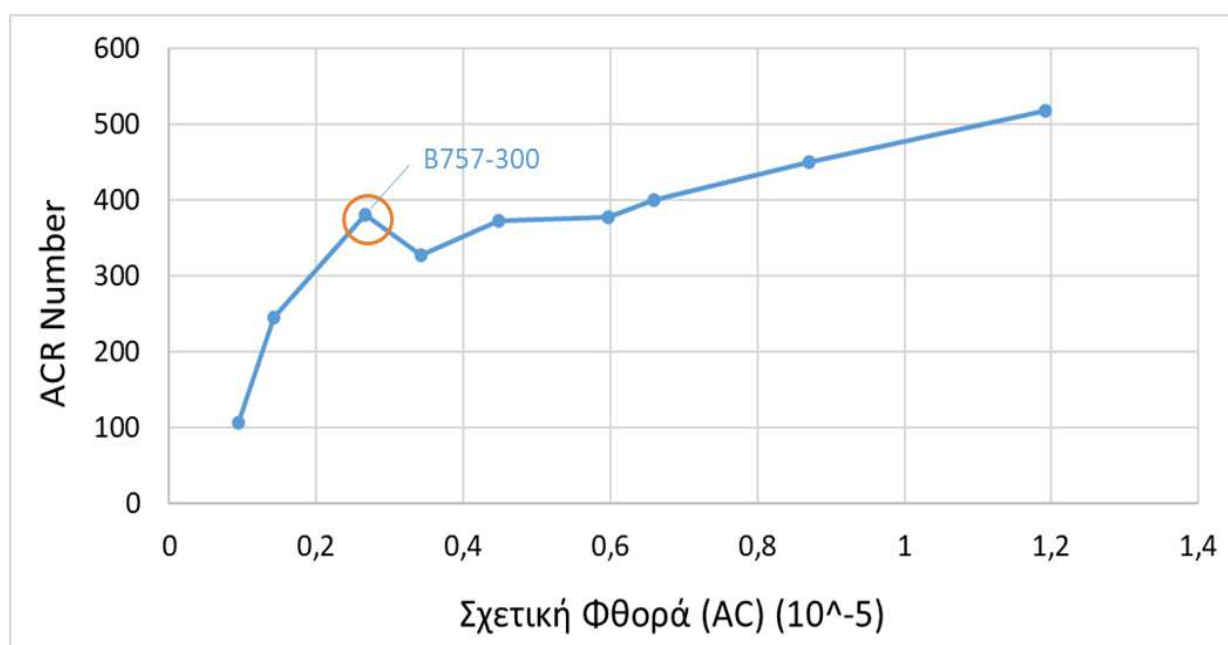
Ομοίως με τις σχέσεις του ACR με τις παραμορφώσεις, οι σχετικές φθορές παρουσιάζουν πανομοιότυπα διαγράμματα συσχέτισης με τον δείκτη. Παρατηρείται παρόμοια, ότι για το αεροσκάφος Boeing 757-300 η σχετική φθορά που προκαλεί στις ασφαλικές στρώσεις δεν είναι ανάλογη της τιμής του ACR, καθώς η τιμή του ACR είναι η τέταρτη μεγαλύτερη της κυκλοφορίας, ενώ η σχετική φθορά μόλις η έβδομη μεγαλύτερη.

Αυτό το γεγονός οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο δείκτης ACR δεν είναι επαρκής για την εκτίμηση της επίδρασης ενός αεροσκάφους στο οδόστρωμα, καθώς η φθορά που προκαλεί στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι σημαντικά μικρότερη από αυτή που αναμενόταν συγκριτικά από τον δείκτη.

Στον Πίνακα 5.3 παρατίθενται οι τιμές του ACR και της σχετικής φθοράς των ασφαλικών στρώσεων ανά αεροσκάφος, κατανεμημένες κατά φθίνουσα σειρά των τελευταίων.

Πίνακας 5.3: Τιμές ACR και σχετικής φθοράς ασφαλικών στρώσεων

Αεροσκάφη	MTOW (tn)	ACR Number	max CDF (HMA)	Νεπιτρ. (AC)	Σχετική Φθορά (AC) (10^{-5})
Airbus A321-200 std	89,40	517,90	0,13	83.947	1,191227798
Boeing B737-800	79,24	448,90	0,09	114.960	0,86986778
Airbus A320-200 std	73,90	400,00	0,07	151.804	0,65874417
Boeing B737-700	70,31	376,80	0,06	167.262	0,597864428
Airbus A320-neo	70,40	371,70	0,05	222.895	0,448641737
Airbus A319-100 std	64,40	326,40	0,04	291.671	0,342852049
Boeing 757-300	122,92	380,1	0,07	375.548	0,266277546
Embraer 195 std	48,95	245,58	0,01	706.807	0,141481338
Dash 8-Q400	29,35	106,66	0,01	1.057.480	0,094564436

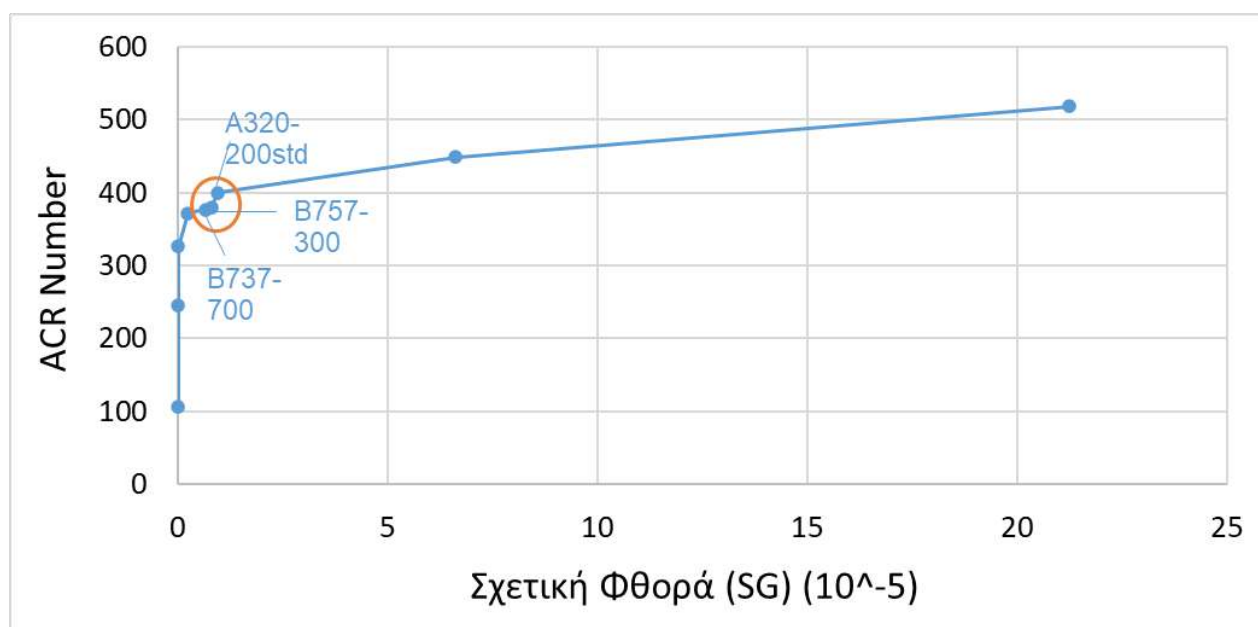


Εικόνα 5.6: Διάγραμμα σχέσης σχετικής φθοράς ασφαλικών στρώσεων - ACR

Στον Πίνακα 5.4 παρατίθενται οι τιμές του ACR και της σχετικής φθοράς της στρώσης έδρασης ανά αεροσκάφος, κατανεμημένες κατά φθίνουσα σειρά των τελευταίων.

Πίνακας 5.4: Τιμές ACR και σχετικής φθοράς στρώσης έδρασης

Αεροσκάφη	MTOW (tn)	ACR Number	max CDF (SG)	Νεπιτρ. (SG)	Σχετική Φθορά (SG) (10^{-5})
Airbus A321-200 std	89,40	517,90	3,94	4.707	21,24495432
Boeing B737-800	79,24	448,90	1,19	15.107	6,619447938
Airbus A320-200 std	73,90	400,00	0,17	104.831	0,953916303
Boeing 757-300	122,92	380,1	0,29	125.724	0,795393083
Boeing B737-700	70,31	376,80	0,12	151.958	0,658076574
Airbus A320-neo	70,40	371,70	0,04	418.532	0,238930357
Airbus A319-100 std	64,40	326,40	0	11.813.392	0,008464969
Embraer 195 std	48,95	245,58	0	-	0
Dash 8-Q400	29,35	106,66	0	-	0



Εικόνα 5.7: Διάγραμμα σχέσης σχετικής φθοράς στρώσης έδρασης - ACR

5.4 Σχέση ACR με τέλη προσγείωσης

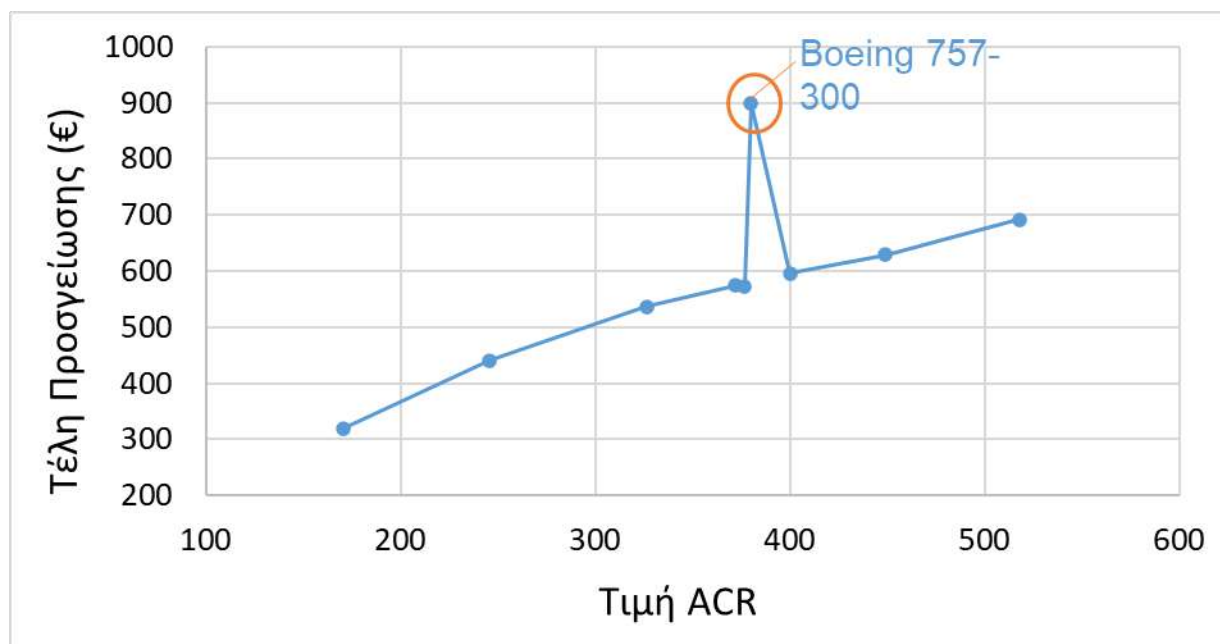
Η τιμή του δείκτη ACR εξαρτάται από το μέγιστο βάρος απογείωσης όπως και ο υπολογισμός των τελών προσγείωσης των αεροσκαφών. Αυτό υποδεικνύει την ενδεχόμενη συσχέτιση τους, όπως άλλωστε και οι μεγαλύτερες τιμές του δείκτη συνήθως υποδεικνύουν μεγαλύτερα και βαρύτερα αεροσκάφη που ενδέχεται να απαιτούν περισσότερους πόρους και υποδομές για να φιλοξενηθούν κατά την προσγείωση και την απογείωση. Ως εκ τούτου, τα αεροδρόμια ενδέχεται να χρεώνουν υψηλότερα τέλη προσγείωσης για αυτά τα μεγαλύτερα αεροσκάφη για να καλύψουν το κόστος συντήρησης και βελτίωσης των εγκαταστάσεων του αεροδρομίου.

Ενώ, ενδεχομένως να υπάρχει κάποια συσχέτιση μεταξύ του ACR και των τελών προσγείωσης, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη διάφοροι παράγοντες κατά την ανάλυση της σχέσης μεταξύ αυτών των δύο μεταβλητών. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα παρατηρείται ότι η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την αντιστοίχιση των τελών προσγείωσης των αεροσκαφών δεν είναι η ιδανική λύση, καθώς ο δείκτης επίδρασης αεροσκαφών είναι μόλις ο τέταρτος μεγαλύτερος για το αεροσκάφος με τα περισσότερα τέλη, γεγονός που παρατηρείται εμφανώς και στο διάγραμμα της Εικόνας 5.8, με την “ασυνέχεια” που υπάρχει για το Boeing 757-300.

Στον Πίνακα 5.5, παρατίθενται τα τέλη προσγείωσης των αεροσκαφών και οι τιμές του δείκτη ACR, κατανομημένες κατά φθίνουσα σειρά των τελευταίων.

Πίνακας 5.5: Τιμές δείκτη ACR

Αεροσκάφη	MTOW (tn)	ACR Number	max CDF (HMA)	Τέλη Προσγείωσης
Airbus A321-200 std	89,40	517,90	0,13	691,49
Boeing B737-800	79,24	448,90	0,09	628,61
Airbus A320-200 std	73,90	400,00	0,07	595,54
Boeing 757-300	122,92	380,1	0,07	898,97
Boeing B737-700	70,31	376,80	0,06	573,30
Airbus A320-neo	70,40	371,70	0,05	573,88
Airbus A319-100 std	64,40	326,40	0,04	536,74
Embraer 195 std	48,95	245,80	0,01	441,10
Dash 8-Q400	29,35	170,70	0,01	319,76



Εικόνα 5.8: Διάγραμμα σχέσης ACR - τελών προσγείωσης

Σύμφωνα με τα παραπάνω διαγράμματα, παρατηρήθηκε ότι αεροσκάφη με μικρές τιμές ACR και κατ' επέκταση μικρή επίδραση μπορούν να χρεώνονται μεγαλύτερα τέλη προσγείωσης. Οπότε, κρίνεται σκόπιμο να λαμβάνεται υπόψη η πραγματική φθορά που προκαλούν τα αεροσκάφη στο οδόστρωμα.

6. Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνήθηκε η σχέση των τελών προσγείωσης με τη φθορά που προκαλούν τα αεροσκάφη στο οδόστρωμα, για διατομή εύκαμπτου οδοστρώματος ελληνικού περιφερειακού αερολιμένα, με δοσμένη σύνθεση κυκλοφορίας αποτελούμενη από τα αεροσκάφη Boeing 757-300, Airbus A321-200 std, Boeing B737-800, Airbus A320-200 std, Airbus A320-neo, Boeing B737-700, Airbus A319-100 std, Embraer 195 std, Dash 8-Q400.

Από την έρευνα, την ανάλυση και την δημιουργία των σχέσεων μεταξύ των μεγεθών προέκυψαν ορισμένα συμπεράσματα σχετικά με τα τέλη προσγείωσης και τους παράγοντες που τα επηρεάζουν.

Αρχικά, παρατηρήθηκε άμεση εξάρτηση των τελών προσγείωσης των αεροσκαφών από το μέγιστο βάρος απογείωσής τους (MTOW). Στην Ελλάδα το MTOW αποτελεί τον μοναδικό παράγοντα για την εκτίμηση των τελών προσγείωσης των αεροσκαφών, γεγονός που καθιστά την σχέση των δύο μεγεθών γραμμική. Ακόμη, παρατηρήθηκε αναλογική σχέση μεταξύ της φθοράς του οδοστρώματος και των τελών προσγείωσης των αεροσκαφών. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων η φθορά των οδοστρωμάτων εξαρτάται κατά μεγάλο βαθμό από το βάρος των αεροσκαφών που δέχεται. Ωστόσο, δεν αποτελεί τον μοναδικό παράγοντα για τον υπολογισμό της φθοράς, καθώς πρέπει να ληφθούν υπόψη και άλλοι παράγοντες όπως το σύστημα τροχών, η θέση των τροχών και η πίεση των ελαστικών.

Επιπρόσθετα, παρατηρήθηκε ότι δύναται αεροσκάφος με μικρότερο βάρος να προκαλέσει μεγαλύτερη φθορά από ότι ένα βαρύτερο αεροσκάφος. Συγκεκριμένα, το αεροσκάφος Boeing 757-300, το οποίο συνιστά το βαρύτερο αεροσκάφος της κυκλοφορίας και το μοναδικό με διπλό-δίδυμο σύστημα τροχών, προκαλεί μικρότερες οριζόντιες παραμορφώσεις στον πυθμένα των ασφαλικών στρώσεων και κατακόρυφες παραμορφώσεις στην κορυφή της στρώσης έδρασης από αεροσκάφη με φορτίο περίπου 40% μικρότερο από το δικό του. Το αντίστοιχο εύρημα παρατηρείται τόσο στα διαγράμματα των σχετικών φθορών στις ασφαλικές στρώσεις και στη στρώση έδρασης όσο και στις τιμές του δείκτη επίδρασης των αεροσκαφών ACR.

Παρατηρήθηκε επίσης, ότι ο δείκτης ACR δεν είναι επαρκής από μόνος του για την εκτίμηση της φθοράς και της επίδρασης ενός αεροσκάφους στο οδόστρωμα. Το αεροσκάφος Boeing 757-300 το οποίο αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη τιμή του δείκτη ACR προκαλεί μικρότερη οριζόντια παραμόρφωση και σχετική φθορά στον πυθμένα των ασφαλικών στρώσεων, από το αεροσκάφος Airbus A319-100std, το οποίο έχει μικρότερο δείκτη ACR.

Επομένως, κρίνεται απαραίτητη η επανεξέταση των παραγόντων καθορισμού των τελών προσγείωσης, καθώς μοναδικός παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη μέχρι σήμερα είναι το μέγιστο βάρος απογείωσης των αεροσκαφών. Σύμφωνα με αυτό, αεροσκάφη που προκαλούν μεγάλη φθορά στο οδόστρωμα έχουν πολύ χαμηλότερες χρεώσεις, εφόσον είναι ελαφρύτερα από βαρύτερα αεροσκάφη που προκαλούν μικρή φθορά στο οδόστρωμα. Χαρακτηριστικότερο παράδειγμα αυτού είναι το αεροσκάφος Boeing 757-300, το οποίο ως βαρύτερο αεροσκάφος της κυκλοφορίας έχει και την μεγαλύτερη χρέωση τελών προσγείωσης, ενώ προκαλεί πολύ

χαμηλότερη φθορά στο οδόστρωμα από το αμέσως επόμενο βαρύτερο αεροσκάφος της κυκλοφορίας. Στην περίπτωση αυτή ο παράγοντας που μειώνει σημαντικά την φθορά που προκαλείται είναι το διαφορετικό σύστημα τροχών, κατανέμοντας τα φορτία σε μεγαλύτερη επιφάνεια στο οδόστρωμα.

Κλείνοντας, παρατίθενται ορισμένες προτάσεις για μελλοντική ερεύνα. Πιο συγκεκριμένα, κρίνεται αναγκαίο να διερευνηθούν τα στοιχεία, με βάση τα οποία υπολογίζονται τα τέλη προσγείωσης. Παρατηρήθηκε ότι ο δείκτης ACR θα μπορούσε να ληφθεί υπόψη ως παράγοντας για τον καθορισμό των τελών προσγείωσης, καθώς όπως φάνηκε μέσω των διαγραμμάτων εκφράζει ικανοποιητικά την επίδραση των αεροσκαφών στο οδόστρωμα κυρίως ως προς τη φθορά της στρώσης έδρασης.

Επιπρόσθετα, κρίνεται επιτακτική ανάγκη για την περαιτέρω διερεύνηση των παραγόντων καθορισμού των τελών προσγείωσης, καθώς όπως εξηγήθηκε το μέγιστο βάρος απογείωσης τον αεροσκαφών δεν είναι επαρκής παράγοντας για τον καθορισμό των τελών προσγείωσης των αεροσκαφών. Ένας παράγοντας που ενδεχομένως να πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι το σύστημα τροχών των αεροσκαφών, καθώς όπως παρατηρήθηκε σε ποικίλες περιπτώσεις οι χρεώσεις στα αντίστοιχα αεροσκάφη είναι δυσανάλογες με τη φθορά που προκαλούν.

Ως επιστέγασμα των προαναφερθέντων προτάσεων κρίνεται απαραίτητη η επανεξέταση και η επαναδιαμόρφωση της τιμολογιακής πολιτικής των αερολιμένων τόσο στον Ελλαδικό όσο και στον διεθνή χώρο, με στόχο την ορθότερη και πιο δίκαιη αντιμετώπιση των χρεώσεων.

7. Βιβλιογραφία

- Ali, S., 2021. Enhancing the impact performance of runway pavements with improved composition. *Engineering failure analysis*, December, Volume 130, pp. 122-148.
- Bel, G. & Fageda, X., 2009. Privatization, regulation and airport pricing: an empirical analysis for Europe. *Springer Science+Business Media*, 10 November, pp. 143-161.
- Bilotkach, V. & Clougherty, J. A., 2012. Airline alliances and antitrust policy: The role of efficiencies. *Journal of air transport management*, July, Volume 42, pp. 73-94.
- Brooks, P., 1985. Transport aircraft development-mainspring of airline growth. *Journal of the Royal Society of Arts*, 16 January, Volume 133, pp. 341-362.
- Chang, S.-W., 2013. Crosswind-based optimization of multiple runway orientations. *Journal of advanced transportation*, 15 August, Volume 49, pp. 1-9.
- Choo, Y. Y., 2014. Factors affecting aeronautical charges at major US airports. *Elsevier*, 22 February, Volume 62, pp. 54-62.
- Dender, K. V., 2007. Determinants of fares and operating revenues at US airports. *Journal of Urban Economics*, September, Volume 62, pp. 317-336.
- Douglas, D. G., 2004. The Wright Brothers and the Invention of the Aerial Age. *Technology and Culture*, 45(2), pp. 363-367 (5 pages).
- FAA, 2014. *Adisory Circular 150/5335-5C*, Washington, DC: U.S. Department of Transportation.
- FAA, 2021. *Advisory Circular 150/5320-6G*, Washington, DC: U.S. Department of Transportation.
- Fabre, C. & Vaurs, G., 2019. *Paradox: Why the Heaviest Commercial Airplane Remains the Most Pavement Friendly Aircraft at Large Hub Airports*. Chicago, Transportation & Development Institute of ASCE.
- HoSang, V., 1975. *Field survey and analysis of aircraft distribution on airport pavements*, Washington, D.C.: Federal Aviation Administration .
- ICAO, 2012. *ICAO's Policies on Charges for Airports and Air Navigation Services*, Montreal: International Civil Aviation Organization.
- Jain, S., Dr. Joshi, Y. P. & Goliya, S. S., 2013. Design of Rigid and Flexible Pavements by Various Methods & Their Cost Analysis of Each Method. *International Journal of Engineering Research and Applications*, Semptember, Volume 3, pp. 119-123.
- Kashi, E. & Shafabakhsh, G. A., 2015. Effect of Aircraft Wheel Load and Configuration on Runway Damages. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, January, Volume 59, pp. 85-94.
- Kawa, I., 2012. *Pass-to-coverage computation for arbitrary gear configuration in the FAARFIELD program*, Washington, DC: Federal Aviation Administration.

Kesharwani, T., 2001. Economic Issues. *Pricing and charging in civil aviation*. New Delhi: Asian Institute of Transport Development, pp. 1-79.

Littlechild, S. C. & Thompson, G. F., 1977. Aircraft Landing Fees: A Game Theory Approach. *The Bell Journal of Economics*, September, 8(1), pp. 186-204.

Mohod, M. V. & Kadam, K., 2016. A Comparative Study on Rigid and Flexible Pavement: A Review. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, May, Volume 13, pp. 84-88.

Morrison, S. A., 1982. The Structure of Landing Fees at Uncongested Airports: An Application of Ramsey Pricing. *Journal of Transport Economics and Policy*, May, Volume 16, pp. 151-159.

Shafabakhsh, G. A., 2014. Evaluation of aircraft wheel load on pavement damages by layered elastic method. *International Journal of Damage Mechanics*, 8 December, Volume 24, pp. 85-94.

Shen, S. & Carpenter, S. H., 2007. Development of an Asphalt Fatigue Model Based on Energy Principles. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, Volume 76, pp. 525-574.

Tarlie, S., 2022. *New method to report pavement strength (ACR-PCR)*, EASA Aerodromes Standard & Implementation Section.

Λοϊζος, Α. & Πλατή, Χ., 2021. *Σημειώσεις για το μάθημα Σχεδιασμός Οδοστρωμάτων Οδών και Αεροδρομίων*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

ΥΠΑ, 2013. *Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: www.ypa.gr/air-transport/charges [Πρόσβαση 2023].

Παράρτημα Α: Τάσεις και παραμορφώσεις στην ασφαλική στρώση

Layer No. Thickness Elasticity Poisson's Interface
Modulus Ratio Condition

1	7,87	435.113,0	0,350	1,000000
2	15,75	43.511,3	0,350	1,000000
3	0,00	10.152,6	0,350	1,000000

Aircraft No. 1 B737-800

Aircraft design load : Not Applicable

Fraction of load on main gear: 100.0

Gear load : 82.982,5

Number of tires : 2

Tire Radius Cont.Area Cont.Press Tire Load X-Coord Y-Coord
No. (in) (sq.in) (psi) (pounds) (in) (in.)

1	8,05	203,39	204,00	41.491,25	-95,50	0,00
2	8,05	203,39	204,00	41.491,25	-129,50	0,00

Aircraft No. 2 A321-200 std

Aircraft design load : Not Applicable

Fraction of load on main gear: 100.0

Gear load : 93.622,5

Number of tires : 2

Tire Radius Cont.Area Cont.Press Tire Load X-Coord Y-Coord
No. (in) (sq.in) (psi) (pounds) (in) (in.)

1	8,38	220,81	212,00	46.811,25	-131,16	0,00
2	8,38	220,81	212,00	46.811,25	-167,66	0,00

Aircraft No. 3 A320neo

Aircraft design load : Not Applicable

Fraction of load on main gear: 100.0

Gear load : 73.720,0

Number of tires : 2

Tire Radius Cont.Area Cont.Press Tire Load X-Coord Y-Coord
No. (in) (sq.in) (psi) (pounds) (in) (in.)

1	8,14	208,25	177,00	36.860,00	-131,16	0,00
2	8,14	208,25	177,00	36.860,00	-167,65	0,00

Aircraft No. 4 A319-100 std

Aircraft design load : Not Applicable

Fraction of load on main gear: 100.0

Gear load : 67.439,4

Number of tires : 2

Tire No.	Radius (in)	Cont.Area (sq.in)	Cont.Press (psi)	Tire Load (pounds)	Tire Load (in)	X-Coord (in.)	Y-Coord
----------	-------------	-------------------	------------------	--------------------	----------------	---------------	---------

1	7,88	194,91	173,00	33.719,70	-131,16	0,00	
2	7,88	194,91	173,00	33.719,70	-167,66	0,00	

Aircraft No. 5 A320-200 std

Aircraft design load : Not Applicable

Fraction of load on main gear: 100.0

Gear load : 77.389,4

Number of tires : 2

Tire No.	Radius (in)	Cont.Area (sq.in)	Cont.Press (psi)	Tire Load (pounds)	Tire Load (in)	X-Coord (in.)	Y-Coord
----------	-------------	-------------------	------------------	--------------------	----------------	---------------	---------

1	7,85	193,47	200,00	38.694,69	-131,16	0,00	
2	7,85	193,47	200,00	38.694,69	-167,65	0,00	

Aircraft No. 6 B737-700

Aircraft design load : Not Applicable

Fraction of load on main gear: 100.0

Gear load : 73.625,0

Number of tires : 2

Tire No.	Radius (in)	Cont.Area (sq.in)	Cont.Press (psi)	Tire Load (pounds)	Tire Load (in)	X-Coord (in.)	Y-Coord
----------	-------------	-------------------	------------------	--------------------	----------------	---------------	---------

1	7,71	186,87	197,00	36.812,50	-95,50	0,00	
2	7,71	186,87	197,00	36.812,50	-129,50	0,00	

Aircraft No. 7 EMB-195 STD

Aircraft design load : Not Applicable

Fraction of load on main gear: 100.0

Gear load : 51.260,1

Number of tires : 2

Tire No.	Radius (in)	Cont.Area (sq.in)	Cont.Press (psi)	Tire Load (pounds)	Tire Load (in)	X-Coord (in.)	Y-Coord
----------	-------------	-------------------	------------------	--------------------	----------------	---------------	---------

1	7,28	166,43	154,00	25.630,05	-100,00	0,00	
2	7,28	166,43	154,00	25.630,05	-134,00	0,00	

Aircraft No. 8 Q400/Dash 8 Series 400

Aircraft design load : Not Applicable

Fraction of load on main gear: 100.0

Gear load : 30.732,5

Number of tires : 2

Tire No.	Radius (in)	Cont.Area (sq.in)	Cont.Press (psi)	Tire Load (pounds)	Tire Load (in)	X-Coord (in.)	Y-Coord
----------	-------------	-------------------	------------------	--------------------	----------------	---------------	---------

1 4,64 67,69 227,00 15.366,25 -182,77 0,00
2 4,64 67,69 227,00 15.366,25 -163,23 0,00

Aircraft No. 9 B757-300

Aircraft design load : Not Applicable

Fraction of load on main gear: 100.0

Gear load : 128.725,0

Number of tires : 4

Tire No.	Radius (in)	Cont.Area (sq.in)	Cont.Press (psi)	Tire Load (pounds)	X-Coord (in)	Y-Coord (in)
----------	-------------	-------------------	------------------	--------------------	--------------	--------------

1	7,25	165,03	195,00	32.181,25	-127,00	-22,50
2	7,25	165,03	195,00	32.181,25	-161,00	22,50
3	7,25	165,03	195,00	32.181,25	-161,00	-22,50
4	7,25	165,03	195,00	32.181,25	-127,00	22,50

Aircraft No. 1 B737-800

Eval Point = 1 Layer No. = 1

X-Coord. = -95,500 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR	HOR Y STR	HOR X STR	XZ SHEAR	YZ SHEAR	XY SHEAR
Stress -6,05084E+01	2,97596E+02	2,63664E+02	-2,28552E+01	0,00000E+00	0,00000E+00
Strain -5,90535E-04	5,20534E-04	4,15256E-04	-1,41823E-04	0,00000E+00	0,00000E+00
Displ 8,83755E-02	0,00000E+00	1,48788E-03			

PRIN 1	PRIN 2	PRIN 3	MAX SHEAR	OCT NORMAL	OCT SHEAR
Stress 2,97596E+02	2,65267E+02	-6,21119E+01	1,79854E+02	1,66917E+02	1,62485E+02
Strain 5,20534E-04	4,20231E-04	-5,95509E-04			

Eval Point = 2 Layer No. = 1

X-Coord. = -99,750 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR	HOR Y STR	HOR X STR	XZ SHEAR	YZ SHEAR	XY SHEAR
Stress -5,47848E+01	2,74985E+02	2,12161E+02	2,96250E+01	0,00000E+00	0,00000E+00
Strain -5,17764E-04	5,05393E-04	3,10474E-04	1,83831E-04	0,00000E+00	0,00000E+00
Displ 8,95224E-02	0,00000E+00	-1,21539E-04			

PRIN 1	PRIN 2	PRIN 3	MAX SHEAR	OCT NORMAL	OCT SHEAR
Stress 2,74985E+02	2,15410E+02	-5,80330E+01	1,66509E+02	1,44120E+02	1,44998E+02
Strain 5,05393E-04	3,20552E-04	-5,27842E-04			

Eval Point = 3 Layer No. = 1

X-Coord. = -104,000 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR	HOR Y STR	HOR X STR	XZ SHEAR	YZ SHEAR	XY SHEAR
Stress -3,91423E+01	2,05928E+02	8,18213E+01	5,14571E+01	0,00000E+00	0,00000E+00
Strain -3,21421E-04	4,38944E-04	5,38857E-05	3,19306E-04	0,00000E+00	0,00000E+00
Displ 8,86242E-02	0,00000E+00	-9,20546E-04			

PRIN 1	PRIN 2	PRIN 3	MAX SHEAR	OCT NORMAL	OCT SHEAR
--------	--------	--------	-----------	------------	-----------

Stress 2,05928E+02 1,00749E+02 -5,80701E+01 1,31999E+02 8,28689E+01 1,08516E+02
Strain 4,38944E-04 1,12612E-04 -3,80147E-04

Eval Point = 4 Layer No. = 1
X-Coord. = -112,500 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -2,20811E+01 1,25376E+02 -4,10785E+01 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
Strain -1,18556E-04 3,38951E-04 -1,77498E-04 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
Displ 8,68471E-02 0,00000E+00 0,00000E+00

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress 1,25376E+02 -4,10785E+01 -2,20811E+01 7,37286E+01 2,07388E+01 7,43951E+01
Strain 3,38951E-04 -1,77498E-04 -1,18556E-04

Aircraft No. 2 A321-200 std
Eval Point = 1 Layer No. = 1
X-Coord. = -131,160 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -6,58303E+01 3,19440E+02 2,85926E+02 -2,25592E+01 0,00000E+00 0,00000E+00
Strain -6,38244E-04 5,57111E-04 4,53129E-04 -1,39986E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
Displ 9,77659E-02 0,00000E+00 1,51365E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress 3,19440E+02 2,87367E+02 -6,72712E+01 1,93355E+02 1,79845E+02 1,75227E+02
Strain 5,57111E-04 4,57600E-04 -6,42714E-04

Eval Point = 2 Layer No. = 1
X-Coord. = -135,723 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -5,88975E+01 2,92400E+02 2,26437E+02 3,73954E+01 0,00000E+00 0,00000E+00
Strain -5,52708E-04 5,37243E-04 3,32583E-04 2,32049E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
Displ 9,89166E-02 0,00000E+00 -3,62856E-04

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress 2,92400E+02 2,31257E+02 -6,37171E+01 1,78059E+02 1,53313E+02 1,55480E+02
Strain 5,37243E-04 3,47536E-04 -5,67662E-04

Eval Point = 3 Layer No. = 1
X-Coord. = -140,285 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -4,02993E+01 2,11142E+02 7,56739E+01 6,03970E+01 0,00000E+00 0,00000E+00
Strain -3,23330E-04 4,56804E-04 3,64935E-05 3,74780E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
Displ 9,75776E-02 0,00000E+00 -1,23158E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress 2,11142E+02 1,01414E+02 -6,60399E+01 1,38591E+02 8,21723E+01 1,13974E+02

Strain 4,56804E-04 1,16357E-04 -4,03194E-04

Eval Point = 4 Layer No. = 1

X-Coord. = -149,410 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -2,12659E+01 1,22139E+02 -5,36158E+01 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
Strain -1,03994E-04 3,40940E-04 -2,04364E-04 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
Displ 9,52758E-02 0,00000E+00 0,00000E+00

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress 1,22139E+02 -5,36158E+01 -2,12659E+01 7,17024E+01 1,57524E+01 7,63771E+01
Strain 3,40940E-04 -2,04364E-04 -1,03994E-04

Aircraft No. 3 A320neo

Eval Point = 1 Layer No. = 1

X-Coord. = -131,156 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -5,30132E+01 2,59247E+02 2,32837E+02 -1,78084E+01 0,00000E+00 0,00000E+00
Strain -5,17664E-04 4,51167E-04 3,69225E-04 -1,10506E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
Displ 7,71814E-02 0,00000E+00 1,19383E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress 2,59247E+02 2,33942E+02 -5,41184E+01 1,56683E+02 1,46357E+02 1,42133E+02
Strain 4,51167E-04 3,72654E-04 -5,21093E-04

Eval Point = 2 Layer No. = 1

X-Coord. = -135,719 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -4,71062E+01 2,35634E+02 1,82068E+02 3,15639E+01 0,00000E+00 0,00000E+00
Strain -4,44257E-04 4,32984E-04 2,66789E-04 1,95863E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
Displ 7,80399E-02 0,00000E+00 -3,28797E-04

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress 2,35634E+02 1,86336E+02 -5,13740E+01 1,43504E+02 1,23532E+02 1,25304E+02
Strain 4,32984E-04 2,80031E-04 -4,57498E-04

Eval Point = 3 Layer No. = 1

X-Coord. = -140,281 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -3,17275E+01 1,67399E+02 5,74572E+01 4,89364E+01 0,00000E+00 0,00000E+00
Strain -2,53789E-04 3,64028E-04 2,29187E-05 3,03664E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
Displ 7,69011E-02 0,00000E+00 -1,00611E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress 1,67399E+02 7,90710E+01 -5,33412E+01 1,10370E+02 6,43762E+01 9,07138E+01
Strain 3,64028E-04 8,99785E-05 -3,20849E-04

Eval Point = 4 Layer No. = 1

X-Coord. = -149,406 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -1,66617E+01 9,62060E+01 -4,32066E+01 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -8,09249E-05 2,69263E-04 -1,63284E-04 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displ 7,50484E-02 0,00000E+00 0,00000E+00

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress 9,62060E+01 -4,32066E+01 -1,66617E+01 5,64338E+01 1,21126E+01 6,04424E+01
 Strain 2,69263E-04 -1,63284E-04 -8,09249E-05

Aircraft No. 4 A319-100 std

Eval Point = 1 Layer No. = 1

X-Coord. = -131,160 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -4,97114E+01 2,45187E+02 2,21017E+02 -1,62313E+01 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -4,89259E-04 4,25706E-04 3,50714E-04 -1,00720E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displ 7,08015E-02 0,00000E+00 1,09049E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress 2,45187E+02 2,21987E+02 -5,06811E+01 1,47934E+02 1,38831E+02 1,34339E+02
 Strain 4,25706E-04 3,53723E-04 -4,92267E-04

Eval Point = 2 Layer No. = 1

X-Coord. = -135,722 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -4,37971E+01 2,20919E+02 1,70089E+02 3,11710E+01 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -4,15179E-04 4,06139E-04 2,48432E-04 1,93425E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displ 7,15313E-02 0,00000E+00 -3,47849E-04

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress 2,20919E+02 1,74539E+02 -4,82473E+01 1,34583E+02 1,15737E+02 1,17490E+02
 Strain 4,06139E-04 2,62240E-04 -4,28986E-04

Eval Point = 3 Layer No. = 1

X-Coord. = -140,285 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -2,89757E+01 1,54059E+02 5,01333E+01 4,61094E+01 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -2,30843E-04 3,37047E-04 1,46038E-05 2,86122E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displ 7,04015E-02 0,00000E+00 -9,57233E-04

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress 1,54059E+02 7,13294E+01 -5,01718E+01 1,02115E+02 5,84054E+01 8,38761E+01
 Strain 3,37047E-04 8,03676E-05 -2,96607E-04

Eval Point = 4 Layer No. = 1
X-Coord. = -149,410 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -1,51449E+01 8,79572E+01 -4,05119E+01 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
Strain -7,29712E-05 2,46917E-04 -1,51676E-04 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
Displ 6,86678E-02 0,00000E+00 0,00000E+00

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress 8,79572E+01 -4,05119E+01 -1,51449E+01 5,15510E+01 1,07668E+01 5,55556E+01
Strain 2,46917E-04 -1,51676E-04 -7,29712E-05

Aircraft No. 5 A320-200 std
Eval Point = 1 Layer No. = 1
X-Coord. = -131,156 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -5,72020E+01 2,82399E+02 2,54655E+02 -1,86857E+01 0,00000E+00 0,00000E+00
Strain -5,63465E-04 4,90196E-04 4,04116E-04 -1,15950E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
Displ 8,12745E-02 0,00000E+00 1,25341E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress 2,82399E+02 2,55771E+02 -5,83176E+01 1,70358E+02 1,59951E+02 1,54721E+02
Strain 4,90196E-04 4,07578E-04 -5,66927E-04

Eval Point = 2 Layer No. = 1
X-Coord. = -135,719 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -5,03621E+01 2,54260E+02 1,95724E+02 3,60126E+01 0,00000E+00 0,00000E+00
Strain -4,77707E-04 4,67425E-04 2,85811E-04 2,23468E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
Displ 8,21081E-02 0,00000E+00 -4,03349E-04

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress 2,54260E+02 2,00886E+02 -5,55239E+01 1,54892E+02 1,33207E+02 1,35220E+02
Strain 4,67425E-04 3,01827E-04 -4,93722E-04

Eval Point = 3 Layer No. = 1
X-Coord. = -140,281 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -3,32631E+01 1,76993E+02 5,73391E+01 5,30710E+01 0,00000E+00 0,00000E+00
Strain -2,64942E-04 3,87409E-04 1,61648E-05 3,29321E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
Displ 8,08023E-02 0,00000E+00 -1,10231E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress 1,76993E+02 8,18143E+01 -5,77383E+01 1,17366E+02 6,70232E+01 9,63979E+01
Strain 3,87409E-04 9,21024E-05 -3,40879E-04

Eval Point = 4 Layer No. = 1

X-Coord. = -149,406 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -1,73775E+01 1,00980E+02 -4,65896E+01 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -8,36888E-05 2,83532E-04 -1,74324E-04 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displ 7,88084E-02 0,00000E+00 0,00000E+00

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress 1,00980E+02 -4,65896E+01 -1,73775E+01 5,91787E+01 1,23376E+01 6,38040E+01
 Strain 2,83532E-04 -1,74324E-04 -8,36888E-05

Aircraft No. 6 B737-700

Eval Point = 1 Layer No. = 1

X-Coord. = -95,500 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -5,53786E+01 2,75290E+02 2,45152E+02 -2,02641E+01 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -5,45911E-04 4,80035E-04 3,86526E-04 -1,25745E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displ 7,86817E-02 0,00000E+00 1,32039E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress 2,75290E+02 2,46512E+02 -5,67388E+01 1,66014E+02 1,55021E+02 1,50197E+02
 Strain 4,80035E-04 3,90746E-04 -5,50132E-04

Eval Point = 2 Layer No. = 1

X-Coord. = -99,750 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -4,96671E+01 2,51907E+02 1,93848E+02 2,93507E+01 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -4,72707E-04 4,62968E-04 2,82832E-04 1,82130E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displ 7,96339E-02 0,00000E+00 -1,68716E-04

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress 2,51907E+02 1,97335E+02 -5,31548E+01 1,52531E+02 1,32029E+02 1,32826E+02
 Strain 4,62968E-04 2,93653E-04 -4,83528E-04

Eval Point = 3 Layer No. = 1

X-Coord. = -104,000 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -3,47424E+01 1,84558E+02 6,96396E+01 4,78010E+01 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -2,84321E-04 3,96091E-04 3,95391E-05 2,96619E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displ 7,87218E-02 0,00000E+00 -8,70323E-04

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress 1,84558E+02 8,82217E+01 -5,33245E+01 1,18941E+02 7,31518E+01 9,76981E+01
 Strain 3,96091E-04 9,71929E-05 -3,41974E-04

Eval Point = 4 Layer No. = 1

X-Coord. = -112,500 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -1,94506E+01 1,11241E+02 -3,81227E+01 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -1,03518E-04 3,01972E-04 -1,61451E-04 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displt 7,70855E-02 0,00000E+00 0,00000E+00

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress 1,11241E+02 -3,81227E+01 -1,94506E+01 6,53459E+01 1,78893E+01 6,64485E+01
 Strain 3,01972E-04 -1,61451E-04 -1,03518E-04

Aircraft No. 7 EMB-195 STD
 Eval Point = 1 Layer No. = 1
 X-Coord. = -100,000 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -4,01576E+01 2,02441E+02 1,81429E+02 -1,40966E+01 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -4,01073E-04 3,51623E-04 2,86432E-04 -8,74732E-05 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displt 5,50266E-02 0,00000E+00 9,19548E-04

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress 2,02441E+02 1,82322E+02 -4,10508E+01 1,21746E+02 1,14571E+02 1,10347E+02
 Strain 3,51623E-04 2,89203E-04 -4,03844E-04

Eval Point = 2 Layer No. = 1
 X-Coord. = -104,250 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -3,55318E+01 1,82679E+02 1,39875E+02 2,33818E+01 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -3,41120E-04 3,35911E-04 2,03105E-04 1,45091E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displt 5,56259E-02 0,00000E+00 -1,74301E-04

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress 1,82679E+02 1,42938E+02 -3,85951E+01 1,10637E+02 9,56742E+01 9,63190E+01
 Strain 3,35911E-04 2,12609E-04 -3,50624E-04

Eval Point = 3 Layer No. = 1
 X-Coord. = -108,500 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -2,41737E+01 1,30014E+02 4,55855E+01 3,51222E+01 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -1,96808E-04 2,81583E-04 1,96299E-05 2,17944E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displt 5,48858E-02 0,00000E+00 -6,52882E-04

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress 1,30014E+02 6,02050E+01 -3,87932E+01 8,44038E+01 5,04754E+01 6,92580E+01
 Strain 2,81583E-04 6,49889E-05 -2,42167E-04

Eval Point = 4 Layer No. = 1
 X-Coord. = -117,000 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -1,34220E+01 7,74549E+01 -2,79632E+01 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -7,06576E-05 2,11301E-04 -1,15774E-04 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displ 5,36966E-02 0,00000E+00 0,00000E+00

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress 7,74549E+01 -2,79632E+01 -1,34220E+01 4,54385E+01 1,20232E+01 4,66465E+01
 Strain 2,11301E-04 -1,15774E-04 -7,06576E-05

Aircraft No. 8 Q400/Dash 8 Series 400
 Eval Point = 1 Layer No. = 1
 X-Coord. = -163,230 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -3,30340E+01 1,82349E+02 1,53332E+02 -1,96692E+01 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -3,45938E-04 3,22317E-04 2,32288E-04 -1,22053E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displ 3,77779E-02 0,00000E+00 1,00235E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress 1,82349E+02 1,55385E+02 -3,50873E+01 1,08718E+02 1,00882E+02 9,67730E+01
 Strain 3,22317E-04 2,38659E-04 -3,52309E-04

Eval Point = 2 Layer No. = 1
 X-Coord. = -168,115 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -2,71119E+01 1,51664E+02 8,54659E+01 1,27940E+01 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -2,53055E-04 3,01624E-04 9,62337E-05 7,93902E-05 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displ 3,83876E-02 0,00000E+00 1,16564E-04

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress 1,51664E+02 8,69016E+01 -2,85476E+01 9,01060E+01 7,00061E+01 7,45349E+01
 Strain 3,01624E-04 1,00688E-04 -2,57509E-04

Eval Point = 3 Layer No. = 1
 X-Coord. = -170,557 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -2,28762E+01 1,29067E+02 4,36582E+01 9,92885E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -1,91513E-04 2,79911E-04 1,49192E-05 6,16113E-05 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displ 3,82824E-02 0,00000E+00 -1,07201E-05

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress 1,29067E+02 4,51082E+01 -2,43263E+01 7,66965E+01 4,99495E+01 6,27159E+01
 Strain 2,79911E-04 1,94182E-05 -1,96012E-04

Eval Point = 4 Layer No. = 1
 X-Coord. = -173,000 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR

Stress -2,12822E+01 1,20430E+02 2,85887E+01 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
Strain -1,68781E-04 2,70902E-04 -1,40494E-05 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
Displ 3,82223E-02 0,00000E+00 0,00000E+00

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress 1,20430E+02 2,85887E+01 -2,12822E+01 7,08561E+01 4,25789E+01 5,86935E+01
Strain 2,70902E-04 -1,40494E-05 -1,68781E-04

Aircraft No. 9 B757-300
Eval Point = 1 Layer No. = 1
X-Coord. = -127,000 Y-Coord. = -22,500 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -5,12857E+01 2,37416E+02 2,28508E+02 -2,11961E+01 1,46348E+01 4,29148E+00
Strain -4,92651E-04 4,03087E-04 3,75447E-04 -1,31528E-04 9,08133E-05 2,66298E-05
Displ 1,04548E-01 -1,09248E-03 1,42705E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress 2,39280E+02 2,29005E+02 -5,36468E+01 1,46463E+02 1,38213E+02 1,35730E+02
Strain 4,08869E-04 3,76991E-04 -4,99977E-04

Eval Point = 2 Layer No. = 1
X-Coord. = -130,400 Y-Coord. = -21,063 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -4,69025E+01 2,14636E+02 1,91440E+02 1,82997E+01 -2,87692E+00 7,73862E+00
Strain -4,34437E-04 3,77025E-04 3,05054E-04 1,13555E-04 -1,78521E-05 4,80203E-05
Displ 1,06441E-01 -5,78938E-04 2,55987E-04

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress 2,17007E+02 1,90511E+02 -4,83449E+01 1,32676E+02 1,19724E+02 1,19334E+02
Strain 3,84380E-04 3,02174E-04 -4,38912E-04

Eval Point = 3 Layer No. = 1
X-Coord. = -133,800 Y-Coord. = -19,625 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -3,49309E+01 1,51864E+02 9,78878E+01 3,80223E+01 -1,29791E+01 1,81461E+01
Strain -2,81177E-04 2,98380E-04 1,30911E-04 2,35939E-04 -8,05391E-05 1,12602E-04
Displ 1,06798E-01 -2,24531E-04 -4,43221E-04

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress 1,57408E+02 1,03961E+02 -4,65476E+01 1,01978E+02 7,16069E+01 8,63501E+01
Strain 3,15580E-04 1,49754E-04 -3,17220E-04

Eval Point = 4 Layer No. = 1
X-Coord. = -137,200 Y-Coord. = -18,188 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -2,34773E+01 9,07340E+01 1,70534E+01 3,02882E+01 -1,28458E+01 2,12922E+01

Strain -1,40660E-04 2,13697E-04 -1,49075E-05 1,87947E-04 -7,97120E-05 1,32124E-04
Displ 1,06570E-01 -7,90834E-05 -5,20496E-04

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress 9,66377E+01 -4,31187E+01 3,07911E+01 3,29233E+01 2,81033E+01 5,70869E+01
Strain 2,32014E-04 -2,01600E-04 2,77156E-05

Eval Point = 5 Layer No. = 1
X-Coord. = -140,600 Y-Coord. = -16,750 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -1,73453E+01 5,71458E+01 -1,61648E+01 1,40390E+01 -1,09680E+01 1,30583E+01
Strain -7,28284E-05 1,58291E-04 -6,91659E-05 8,71159E-05 -6,80596E-05 8,10303E-05
Displ 1,06459E-01 -3,27254E-06 -2,77296E-04

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress 6,03525E+01 -3,39651E+01 -2,75164E+00 3,15521E+01 7,87857E+00 3,92318E+01
Strain 1,68240E-04 -1,24394E-04 -2,75497E-05

Eval Point = 6 Layer No. = 1
X-Coord. = -144,000 Y-Coord. = -15,313 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -1,50822E+01 4,08841E+01 -2,12791E+01 -2,45174E-15 -1,22756E+01 -3,37114E-15
Strain -5,04328E-05 1,23211E-04 -6,96596E-05 -1,52137E-20 -7,61737E-05 -2,09189E-20
Displ 1,06559E-01 1,26647E-04 6,08549E-20

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress 4,34583E+01 -2,12791E+01 -1,76563E+01 3,05573E+01 1,50760E+00 2,97004E+01
Strain 1,31197E-04 -6,96596E-05 -5,84194E-05

Eval Point = 7 Layer No. = 1
X-Coord. = -144,000 Y-Coord. = -7,656 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -1,02630E+01 -1,51357E+01 -2,06637E+00 0,00000E+00 -1,50454E+01 -1,83880E-15
Strain -9,74980E-06 -2,48681E-05 1,56814E-05 0,00000E+00 -9,33609E-05 -1,14103E-20
Displ 1,06550E-01 4,63146E-04 0,00000E+00

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress -2,79407E+01 2,54202E+00 -2,06637E+00 -1,29372E+01 -9,15503E+00 1,34161E+01
Strain -6,45975E-05 2,99796E-05 1,56814E-05

Eval Point = 8 Layer No. = 1
X-Coord. = -144,000 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 7,874016

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -8,24466E+00 -3,54414E+01 4,17103E+00 0,00000E+00 0,00000E+00 -1,22587E-15
Strain 6,20521E-06 -7,81765E-05 4,47267E-05 0,00000E+00 0,00000E+00 -7,60687E-21
Displ 1,06249E-01 0,00000E+00 0,00000E+00

	PRIN 1	PRIN 2	PRIN 3	MAX SHEAR	OCT NORMAL	OCT SHEAR
Stress	-3,54414E+01	-8,24466E+00	4,17103E+00	-1,98062E+01	-1,31717E+01	1,65427E+01
Strain	-7,81765E-05	6,20521E-06	4,47267E-05			

Παράρτημα Β: Τάσεις και παραμορφώσεις στη στρώση έδρασης

Layer No. Thickness Elasticity Poisson's Interface
Modulus Ratio Condition

1	7,87	435.113,0	0,350	1,000000
2	15,75	43.511,3	0,350	1,000000
3	0,00	10.152,6	0,350	1,000000

Aircraft No. 1 B737-800

Aircraft design load : Not Applicable

Fraction of load on main gear: 100.0

Gear load : 82.982,5

Number of tires : 2

Tire No.	Radius (in)	Cont.Area (sq.in)	Cont.Press (psi)	Tire Load (pounds)	X-Coord (in)	Y-Coord (in.)
----------	-------------	-------------------	------------------	--------------------	--------------	---------------

1	8,05	203,39	204,00	41.491,25	-95,50	0,00
2	8,05	203,39	204,00	41.491,25	-129,50	0,00

Aircraft No. 2 A321-200 std

Aircraft design load : Not Applicable

Fraction of load on main gear: 100.0

Gear load : 93.622,5

Number of tires : 2

Tire No.	Radius (in)	Cont.Area (sq.in)	Cont.Press (psi)	Tire Load (pounds)	X-Coord (in)	Y-Coord (in.)
----------	-------------	-------------------	------------------	--------------------	--------------	---------------

1	8,38	220,81	212,00	46.811,25	-131,16	0,00
2	8,38	220,81	212,00	46.811,25	-167,66	0,00

Aircraft No. 3 A320neo

Aircraft design load : Not Applicable

Fraction of load on main gear: 100.0

Gear load : 73.720,0

Number of tires : 2

Tire No.	Radius (in)	Cont.Area (sq.in)	Cont.Press (psi)	Tire Load (pounds)	X-Coord (in)	Y-Coord (in.)
----------	-------------	-------------------	------------------	--------------------	--------------	---------------

1	8,14	208,25	177,00	36.860,00	-131,16	0,00
2	8,14	208,25	177,00	36.860,00	-167,65	0,00

Aircraft No. 4 A319-100 std

Aircraft design load : Not Applicable

Fraction of load on main gear: 100.0

Gear load : 67.439,4

Number of tires : 2

Tire No.	Radius (in)	Cont.Area (sq.in)	Cont.Press (psi)	Tire Load (pounds)	X-Coord (in)	Y-Coord
----------	-------------	-------------------	------------------	--------------------	--------------	---------

1	7,88	194,91	173,00	33.719,70	-131,16	0,00
2	7,88	194,91	173,00	33.719,70	-167,66	0,00

Aircraft No. 5 A320-200 std

Aircraft design load : Not Applicable

Fraction of load on main gear: 100.0

Gear load : 77.389,4

Number of tires : 2

Tire No.	Radius (in)	Cont.Area (sq.in)	Cont.Press (psi)	Tire Load (pounds)	X-Coord (in)	Y-Coord
----------	-------------	-------------------	------------------	--------------------	--------------	---------

1	7,85	193,47	200,00	38.694,69	-131,16	0,00
2	7,85	193,47	200,00	38.694,69	-167,65	0,00

Aircraft No. 6 B737-700

Aircraft design load : Not Applicable

Fraction of load on main gear: 100.0

Gear load : 73.625,0

Number of tires : 2

Tire No.	Radius (in)	Cont.Area (sq.in)	Cont.Press (psi)	Tire Load (pounds)	X-Coord (in)	Y-Coord
----------	-------------	-------------------	------------------	--------------------	--------------	---------

1	7,71	186,87	197,00	36.812,50	-95,50	0,00
2	7,71	186,87	197,00	36.812,50	-129,50	0,00

Aircraft No. 7 EMB-195 STD

Aircraft design load : Not Applicable

Fraction of load on main gear: 100.0

Gear load : 51.260,1

Number of tires : 2

Tire No.	Radius (in)	Cont.Area (sq.in)	Cont.Press (psi)	Tire Load (pounds)	X-Coord (in)	Y-Coord
----------	-------------	-------------------	------------------	--------------------	--------------	---------

1	7,28	166,43	154,00	25.630,05	-100,00	0,00
2	7,28	166,43	154,00	25.630,05	-134,00	0,00

Aircraft No. 8 Q400/Dash 8 Series 400

Aircraft design load : Not Applicable

Fraction of load on main gear: 100.0

Gear load : 30.732,5

Number of tires : 2

Tire No.	Radius (in)	Cont.Area (sq.in)	Cont.Press (psi)	Tire Load (pounds)	X-Coord (in)	Y-Coord
----------	-------------	-------------------	------------------	--------------------	--------------	---------

1 4,64 67,69 227,00 15.366,25 -182,77 0,00
2 4,64 67,69 227,00 15.366,25 -163,23 0,00

Aircraft No. 9 B757-300

Aircraft design load : Not Applicable

Fraction of load on main gear: 100.0

Gear load : 128.725,0

Number of tires : 4

Tire No.	Radius (in)	Cont.Area (sq.in)	Cont.Press (psi)	Tire Load (pounds)	X-Coord (in)	Y-Coord (in)
----------	-------------	-------------------	------------------	--------------------	--------------	--------------

1	7,25	165,03	195,00	32.181,25	-127,00	-22,50
2	7,25	165,03	195,00	32.181,25	-161,00	22,50
3	7,25	165,03	195,00	32.181,25	-161,00	-22,50
4	7,25	165,03	195,00	32.181,25	-127,00	22,50

Aircraft No. 1 B737-800

Eval Point = 1 Layer No. = 3

X-Coord. = -95,500 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

	VERT STR	HOR Y STR	HOR X STR	XZ SHEAR	YZ SHEAR	XY SHEAR
Stress	-1,37012E+01	1,01503E+00	-6,24406E-01	-2,21753E+00	0,00000E+00	0,00000E+00
Strain	-1,36299E-03	5,93837E-04	3,75840E-04	-5,89732E-04	0,00000E+00	0,00000E+00
Displ	7,48061E-02	0,00000E+00	5,76158E-03			

	PRIN 1	PRIN 2	PRIN 3	MAX SHEAR	OCT NORMAL	OCT SHEAR
Stress	-1,40671E+01	1,01503E+00	-2,58597E-01	-6,90423E+00	-4,43687E+00	6,82939E+00
Strain	-1,41163E-03	5,93837E-04	4,24482E-04			

Eval Point = 2 Layer No. = 3

X-Coord. = -99,750 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

	VERT STR	HOR Y STR	HOR X STR	XZ SHEAR	YZ SHEAR	XY SHEAR
Stress	-1,40466E+01	1,05728E+00	-7,50820E-01	-1,29284E+00	0,00000E+00	0,00000E+00
Strain	-1,39411E-03	6,14262E-04	3,73839E-04	-3,43818E-04	0,00000E+00	0,00000E+00
Displ	7,65478E-02	0,00000E+00	4,15410E-03			

	PRIN 1	PRIN 2	PRIN 3	MAX SHEAR	OCT NORMAL	OCT SHEAR
Stress	-1,41712E+01	1,05728E+00	-6,26276E-01	-6,77245E+00	-4,58006E+00	6,81668E+00
Strain	-1,41067E-03	6,14262E-04	3,90400E-04			

Eval Point = 3 Layer No. = 3

X-Coord. = -104,000 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

	VERT STR	HOR Y STR	HOR X STR	XZ SHEAR	YZ SHEAR	XY SHEAR
Stress	-1,39704E+01	1,07072E+00	-1,04757E+00	-5,92710E-01	0,00000E+00	0,00000E+00
Strain	-1,37683E-03	6,23188E-04	3,41517E-04	-1,57626E-04	0,00000E+00	0,00000E+00
Displ	7,75817E-02	0,00000E+00	2,62758E-03			

	PRIN 1	PRIN 2	PRIN 3	MAX SHEAR	OCT NORMAL	OCT SHEAR
--	--------	--------	--------	-----------	------------	-----------

Stress -1,39975E+01 1,07072E+00 -1,02045E+00 -6,48852E+00 -4,64907E+00 6,66523E+00
Strain -1,38044E-03 6,23188E-04 3,45125E-04

Eval Point = 4 Layer No. = 3
X-Coord. = -112,500 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -1,36430E+01 1,06728E+00 -1,45307E+00 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
Strain -1,33049E-03 6,25544E-04 2,90411E-04 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
Displ 7,82290E-02 0,00000E+00 0,00000E+00

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress -1,36430E+01 -1,45307E+00 1,06728E+00 -7,35516E+00 -4,67627E+00 6,42340E+00
Strain -1,33049E-03 2,90411E-04 6,25544E-04

Aircraft No. 2 A321-200 std
Eval Point = 1 Layer No. = 3
X-Coord. = -131,160 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -1,50080E+01 1,08831E+00 -7,09541E-01 -2,32341E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
Strain -1,49130E-03 6,49040E-04 4,09978E-04 -6,17889E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
Displ 8,29264E-02 0,00000E+00 6,34175E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress -1,53761E+01 1,08831E+00 -3,41478E-01 -7,51731E+00 -4,87642E+00 7,44730E+00
Strain -1,54024E-03 6,49040E-04 4,58920E-04

Eval Point = 2 Layer No. = 3
X-Coord. = -135,723 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -1,53068E+01 1,12829E+00 -9,09532E-01 -1,22368E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
Strain -1,51521E-03 6,70172E-04 3,99201E-04 -3,25427E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
Displ 8,48848E-02 0,00000E+00 4,47549E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress -1,54101E+01 1,12829E+00 -8,06267E-01 -7,30190E+00 -5,02935E+00 7,38264E+00
Strain -1,52894E-03 6,70172E-04 4,12932E-04

Eval Point = 3 Layer No. = 3
X-Coord. = -140,285 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -1,50699E+01 1,13288E+00 -1,33113E+00 -4,42730E-01 0,00000E+00 0,00000E+00
Strain -1,47750E-03 6,76989E-04 3,49350E-04 -1,17740E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
Displ 8,59639E-02 0,00000E+00 2,75947E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress -1,50841E+01 -1,31687E+00 1,13288E+00 -8,10850E+00 -5,08937E+00 7,13777E+00

Strain -1,47939E-03 3,51245E-04 6,76989E-04

Eval Point = 4 Layer No. = 3

X-Coord. = -149,410 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -1,45143E+01 1,11632E+00 -1,89117E+00 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
Strain -1,40290E-03 6,75512E-04 2,75605E-04 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
Displ 8,65572E-02 0,00000E+00 0,00000E+00

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress -1,45143E+01 -1,89117E+00 1,11632E+00 -7,81530E+00 -5,09638E+00 6,77170E+00
Strain -1,40290E-03 2,75605E-04 6,75512E-04

Aircraft No. 3 A320neo

Eval Point = 1 Layer No. = 3

X-Coord. = -131,156 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -1,18549E+01 8,68220E-01 -5,50562E-01 -1,83168E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
Strain -1,17861E-03 5,13179E-04 3,24523E-04 -4,87117E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
Displ 6,53505E-02 0,00000E+00 4,99936E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress -1,21442E+01 8,68220E-01 -2,61178E-01 -5,94153E+00 -3,84573E+00 5,88602E+00
Strain -1,21709E-03 5,13179E-04 3,63002E-04

Eval Point = 2 Layer No. = 3

X-Coord. = -135,719 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -1,20856E+01 8,99496E-01 -7,11345E-01 -9,56572E-01 0,00000E+00 0,00000E+00
Strain -1,19688E-03 5,29757E-04 3,15563E-04 -2,54392E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
Displ 6,68912E-02 0,00000E+00 3,52286E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress -1,21655E+01 8,99496E-01 -6,31459E-01 -5,76702E+00 -3,96582E+00 5,83164E+00
Strain -1,20750E-03 5,29757E-04 3,26185E-04

Eval Point = 3 Layer No. = 3

X-Coord. = -140,281 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -1,18883E+01 9,02088E-01 -1,04995E+00 -3,38393E-01 0,00000E+00 0,00000E+00
Strain -1,16586E-03 5,34885E-04 2,75322E-04 -8,99926E-05 0,00000E+00 0,00000E+00
Displ 6,77348E-02 0,00000E+00 2,16823E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress -1,18989E+01 -1,03939E+00 9,02088E-01 -6,40049E+00 -4,01207E+00 5,63288E+00
Strain -1,16727E-03 2,76725E-04 5,34885E-04

Eval Point = 4 Layer No. = 3

X-Coord. = -149,406 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -1,14378E+01 8,87588E-01 -1,49843E+00 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -1,10553E-03 5,33385E-04 2,16115E-04 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displt 6,81932E-02 0,00000E+00 0,00000E+00

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress -1,14378E+01 -1,49843E+00 8,87588E-01 -6,16269E+00 -4,01621E+00 5,33749E+00
 Strain -1,10553E-03 2,16115E-04 5,33385E-04

Aircraft No. 4 A319-100 std

Eval Point = 1 Layer No. = 3

X-Coord. = -131,160 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -1,08806E+01 8,05248E-01 -4,95567E-01 -1,67538E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -1,08238E-03 4,71495E-04 2,98525E-04 -4,45551E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displt 5,98313E-02 0,00000E+00 4,57580E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress -1,11442E+01 8,05248E-01 -2,31976E-01 -5,45612E+00 -3,52365E+00 5,40517E+00
 Strain -1,11743E-03 4,71495E-04 3,33575E-04

Eval Point = 2 Layer No. = 3

X-Coord. = -135,722 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -1,10858E+01 8,33538E-01 -6,46533E-01 -8,65998E-01 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -1,09836E-03 4,86560E-04 2,89755E-04 -2,30304E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displt 6,12375E-02 0,00000E+00 3,21856E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress -1,11572E+01 8,33538E-01 -5,75181E-01 -5,29101E+00 -3,63295E+00 5,35144E+00
 Strain -1,10785E-03 4,86560E-04 2,99242E-04

Eval Point = 3 Layer No. = 3

X-Coord. = -140,285 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -1,08937E+01 8,34798E-01 -9,63264E-01 -2,97935E-01 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -1,06857E-03 4,90980E-04 2,51892E-04 -7,92331E-05 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displt 6,20016E-02 0,00000E+00 1,97678E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress -1,09027E+01 -9,54333E-01 8,34798E-01 -5,86873E+00 -3,67407E+00 5,16331E+00
 Strain -1,06975E-03 2,53079E-04 4,90980E-04

Eval Point = 4 Layer No. = 3

X-Coord. = -149,410 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -1,04680E+01 8,19996E-01 -1,38112E+00 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -1,01171E-03 4,89250E-04 1,96567E-04 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displ't 6,24111E-02 0,00000E+00 0,00000E+00

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress -1,04680E+01 -1,38112E+00 8,19996E-01 -5,64398E+00 -3,67636E+00 4,88573E+00
 Strain -1,01171E-03 1,96567E-04 4,89250E-04

Aircraft No. 5 A320-200 std

Eval Point = 1 Layer No. = 3

X-Coord. = -131,156 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -1,24909E+01 9,25475E-01 -5,67699E-01 -1,92400E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -1,24265E-03 5,41337E-04 3,42789E-04 -5,11670E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displ't 6,86668E-02 0,00000E+00 5,25320E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress -1,27937E+01 9,25475E-01 -2,64920E-01 -6,26440E+00 -4,04439E+00 6,20577E+00
 Strain -1,28291E-03 5,41337E-04 3,83049E-04

Eval Point = 2 Layer No. = 3

X-Coord. = -135,719 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -1,27265E+01 9,57963E-01 -7,41048E-01 -9,93964E-01 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -1,26100E-03 5,58635E-04 3,32717E-04 -2,64335E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displ't 7,02812E-02 0,00000E+00 3,69469E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress -1,28084E+01 9,57963E-01 -6,59178E-01 -6,07462E+00 -4,16988E+00 6,14394E+00
 Strain -1,27189E-03 5,58635E-04 3,43603E-04

Eval Point = 3 Layer No. = 3

X-Coord. = -140,281 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -1,25053E+01 9,59322E-01 -1,10512E+00 -3,41392E-01 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -1,22670E-03 5,63692E-04 2,89183E-04 -9,07900E-05 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displ't 7,11580E-02 0,00000E+00 2,26891E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress -1,25155E+01 -1,09491E+00 9,59322E-01 -6,73741E+00 -4,21703E+00 5,92753E+00
 Strain -1,22806E-03 2,90541E-04 5,63692E-04

Eval Point = 4 Layer No. = 3

X-Coord. = -149,406 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -1,20155E+01 9,42188E-01 -1,58542E+00 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -1,16131E-03 5,61677E-04 2,25579E-04 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displ't 7,16275E-02 0,00000E+00 0,00000E+00

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress -1,20155E+01 -1,58542E+00 9,42188E-01 -6,47883E+00 -4,21957E+00 5,60828E+00
 Strain -1,16131E-03 2,25579E-04 5,61677E-04

Aircraft No. 6 B737-700

Eval Point = 1 Layer No. = 3

X-Coord. = -95,500 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -1,22053E+01 9,15859E-01 -5,43575E-01 -1,96926E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -1,21501E-03 5,29710E-04 3,35649E-04 -5,23707E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displ't 6,64392E-02 0,00000E+00 5,11825E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress -1,25288E+01 9,15859E-01 -2,20011E-01 -6,15441E+00 -3,94433E+00 6,08785E+00
 Strain -1,25804E-03 5,29710E-04 3,78673E-04

Eval Point = 2 Layer No. = 3

X-Coord. = -99,750 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -1,25056E+01 9,53163E-01 -6,60220E-01 -1,13768E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -1,24186E-03 5,47760E-04 3,33228E-04 -3,02554E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displ't 6,79824E-02 0,00000E+00 3,68375E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress -1,26139E+01 9,53163E-01 -5,51944E-01 -6,03098E+00 -4,07090E+00 6,07199E+00
 Strain -1,25626E-03 5,47760E-04 3,47626E-04

Eval Point = 3 Layer No. = 3

X-Coord. = -104,000 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -1,24246E+01 9,63956E-01 -9,32029E-01 -5,12549E-01 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -1,22488E-03 5,55399E-04 3,03289E-04 -1,36308E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displ't 6,88922E-02 0,00000E+00 2,32541E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress -1,24474E+01 9,63956E-01 -9,09215E-01 -5,76909E+00 -4,13088E+00 5,93017E+00
 Strain -1,22791E-03 5,55399E-04 3,06323E-04

Eval Point = 4 Layer No. = 3

X-Coord. = -112,500 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -1,21175E+01 9,59219E-01 -1,30177E+00 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -1,18172E-03 5,57092E-04 2,56448E-04 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displ 6,94559E-02 0,00000E+00 0,00000E+00

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress -1,21175E+01 -1,30177E+00 9,59219E-01 -6,53835E+00 -4,15334E+00 5,70664E+00
 Strain -1,18172E-03 2,56448E-04 5,57092E-04

Aircraft No. 7 EMB-195 STD
 Eval Point = 1 Layer No. = 3
 X-Coord. = -100,000 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -8,54059E+00 6,51049E-01 -3,69248E-01 -1,37260E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -8,50934E-04 3,71282E-04 2,35613E-04 -3,65029E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displ 4,63167E-02 0,00000E+00 3,56896E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress -8,76500E+00 6,51049E-01 -1,44847E-01 -4,31007E+00 -2,75293E+00 4,26357E+00
 Strain -8,80773E-04 3,71282E-04 2,65452E-04

Eval Point = 2 Layer No. = 3
 X-Coord. = -104,250 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -8,74431E+00 6,76840E-01 -4,54433E-01 -7,83750E-01 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -8,68952E-04 3,83782E-04 2,33356E-04 -2,08431E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displ 4,73892E-02 0,00000E+00 2,56296E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress -8,81776E+00 6,76840E-01 -3,80986E-01 -4,21839E+00 -2,84063E+00 4,24847E+00
 Strain -8,78718E-04 3,83782E-04 2,43123E-04

Eval Point = 3 Layer No. = 3
 X-Coord. = -108,500 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -8,67600E+00 6,83316E-01 -6,51199E-01 -3,45087E-01 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -8,55664E-04 3,88848E-04 2,11397E-04 -9,17726E-05 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displ 4,80160E-02 0,00000E+00 1,61379E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress -8,69081E+00 6,83316E-01 -6,36387E-01 -4,02721E+00 -2,88129E+00 4,14313E+00
 Strain -8,57633E-04 3,88848E-04 2,13367E-04

Eval Point = 4 Layer No. = 3
 X-Coord. = -117,000 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -8,44754E+00 6,78496E-01 -9,17330E-01 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -8,23820E-04 3,89672E-04 1,77475E-04 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displt 4,83992E-02 0,00000E+00 0,00000E+00

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress -8,44754E+00 -9,17330E-01 6,78496E-01 -4,56302E+00 -2,89546E+00 3,97960E+00
 Strain -8,23820E-04 1,77475E-04 3,89672E-04

Aircraft No. 8 Q400/Dash 8 Series 400
 Eval Point = 1 Layer No. = 3
 X-Coord. = -163,230 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -6,42018E+00 5,50683E-01 -1,88217E-02 -1,13727E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -6,50701E-04 2,76217E-04 2,00490E-04 -3,02446E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displt 3,09945E-02 0,00000E+00 2,13865E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress -6,61623E+00 5,50683E-01 1,77222E-01 -3,39672E+00 -1,96277E+00 3,29402E+00
 Strain -6,76769E-04 2,76217E-04 2,26558E-04

Eval Point = 2 Layer No. = 3
 X-Coord. = -168,115 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -6,80923E+00 5,89870E-01 7,22722E-02 -5,68257E-01 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -6,93512E-04 2,90349E-04 2,21523E-04 -1,51123E-04 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displt 3,18271E-02 0,00000E+00 1,09973E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress -6,85584E+00 5,89870E-01 1,18882E-01 -3,48736E+00 -2,04903E+00 3,40436E+00
 Strain -6,99710E-04 2,90349E-04 2,27721E-04

Eval Point = 3 Layer No. = 3
 X-Coord. = -170,557 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
 Stress -6,89670E+00 5,99349E-01 8,63470E-02 -2,82301E-01 0,00000E+00 0,00000E+00
 Strain -7,02940E-04 2,93813E-04 2,25598E-04 -7,50754E-05 0,00000E+00 0,00000E+00
 Displt 3,20355E-02 0,00000E+00 5,53011E-04

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
 Stress -6,90809E+00 5,99349E-01 9,77409E-02 -3,50292E+00 -2,07033E+00 3,42694E+00
 Strain -7,04455E-04 2,93813E-04 2,27114E-04

Eval Point = 4 Layer No. = 3
 X-Coord. = -173,000 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR

Stress -6,92460E+00 6,02462E-01 8,99750E-02 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
Strain -7,05920E-04 2,94956E-04 2,26810E-04 0,00000E+00 0,00000E+00 0,00000E+00
Displ 3,21048E-02 0,00000E+00 0,00000E+00

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress -6,92460E+00 6,02462E-01 8,99750E-02 -3,50729E+00 -2,07739E+00 3,43388E+00
Strain -7,05920E-04 2,94956E-04 2,26810E-04

Aircraft No. 9 B757-300
Eval Point = 1 Layer No. = 3
X-Coord. = -127,000 Y-Coord. = -22,500 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -1,28531E+01 -7,62360E-01 -7,15196E-01 -2,24014E+00 1,91329E+00 4,16660E-01
Strain -1,21505E-03 3,92659E-04 3,98931E-04 -5,95744E-04 5,08821E-04 1,10807E-04
Displ 9,31883E-02 -6,51542E-03 6,44180E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress -1,35527E+01 -4,92807E-01 -2,85146E-01 -6,63376E+00 -4,77687E+00 6,20600E+00
Strain -1,30807E-03 4,28502E-04 4,56115E-04

Eval Point = 2 Layer No. = 3
X-Coord. = -130,400 Y-Coord. = -21,063 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -1,32626E+01 -8,24831E-01 -7,67293E-01 -1,56514E+00 1,63770E+00 3,17671E-01
Strain -1,25143E-03 4,02420E-04 4,10071E-04 -4,16235E-04 4,35532E-04 8,44817E-05
Displ 9,54573E-02 -6,10739E-03 5,12928E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress -1,36713E+01 -7,06890E-01 -4,76544E-01 -6,59737E+00 -4,95157E+00 6,16648E+00
Strain -1,30578E-03 4,18103E-04 4,48732E-04

Eval Point = 3 Layer No. = 3
X-Coord. = -133,800 Y-Coord. = -19,625 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -1,33642E+01 -9,24370E-01 -9,27494E-01 -9,83949E-01 1,36935E+00 2,43027E-01
Strain -1,25249E-03 4,01643E-04 4,01228E-04 -2,61672E-04 3,64165E-04 6,46308E-05
Displ 9,71961E-02 -5,65458E-03 3,79923E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress -1,35929E+01 -9,51179E-01 -6,72065E-01 -6,46040E+00 -5,07203E+00 6,02621E+00
Strain -1,28289E-03 3,98078E-04 4,35192E-04

Eval Point = 4 Layer No. = 3
X-Coord. = -137,200 Y-Coord. = -18,188 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -1,32862E+01 -1,04691E+00 -1,11596E+00 -5,51506E-01 1,12776E+00 1,73024E-01

Strain -1,23408E-03 3,93380E-04 3,84199E-04 -1,46668E-04 2,99918E-04 4,60142E-05
Displ 9,84662E-02 -5,17674E-03 2,50340E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress -1,34152E+01 -1,15914E+00 -8,74728E-01 -6,27024E+00 -5,14969E+00 5,84575E+00
Strain -1,25124E-03 3,78457E-04 4,16275E-04

Eval Point = 5 Layer No. = 3
X-Coord. = -140,600 Y-Coord. = -16,750 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -1,31619E+01 -1,17980E+00 -1,25055E+00 -2,48035E-01 9,07522E-01 9,20991E-02
Strain -1,21262E-03 3,80646E-04 3,71239E-04 -6,59625E-05 2,41347E-04 2,44929E-05
Displ 9,93422E-02 -4,68050E-03 1,24728E-03

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress -1,32357E+01 -1,27743E+00 -1,07918E+00 -6,07824E+00 -5,19742E+00 5,68447E+00
Strain -1,22243E-03 3,67664E-04 3,94026E-04

Eval Point = 6 Layer No. = 3
X-Coord. = -144,000 Y-Coord. = -15,313 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -1,30717E+01 -1,31796E+00 -1,28098E+00 -1,53234E-16 6,90822E-01 -4,30970E-17
Strain -1,19792E-03 3,64977E-04 3,69893E-04 -4,07511E-20 1,83718E-04 -1,14612E-20
Displ 9,98722E-02 -4,16533E-03 0,00000E+00

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress -1,31122E+01 -1,28098E+00 -1,27749E+00 -5,91733E+00 -5,22354E+00 5,57809E+00
Strain -1,20330E-03 3,69893E-04 3,70357E-04

Eval Point = 7 Layer No. = 3
X-Coord. = -144,000 Y-Coord. = -7,656 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -1,25153E+01 -2,10175E+00 -1,11549E+00 0,00000E+00 -1,43347E-02 -1,91542E-17
Strain -1,12181E-03 2,62891E-04 3,94033E-04 0,00000E+00 -3,81219E-06 -5,09388E-21
Displ 1,00995E-01 -1,76149E-03 0,00000E+00

PRIN 1 PRIN 2 PRIN 3 MAX SHEAR OCT NORMAL OCT SHEAR
Stress -1,25153E+01 -2,10173E+00 -1,11549E+00 -5,69992E+00 -5,24419E+00 5,15722E+00
Strain -1,12181E-03 2,62894E-04 3,94033E-04

Eval Point = 8 Layer No. = 3
X-Coord. = -144,000 Y-Coord. = 0,000 Z-Depth = 23,624410

VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -1,21875E+01 -2,46644E+00 -1,03306E+00 0,00000E+00 0,00000E+00 5,74626E-17
Strain -1,07979E-03 2,12828E-04 4,03426E-04 0,00000E+00 0,00000E+00 1,52816E-20
Displ 1,01207E-01 0,00000E+00 0,00000E+00

PRIN 1	PRIN 2	PRIN 3	MAX SHEAR	OCT NORMAL	OCT SHEAR
Stress -1,21875E+01	-2,46644E+00	-1,03306E+00	-5,57724E+00	-5,22901E+00	4,95509E+00
Strain -1,07979E-03	2,12828E-04	4,03426E-04			

VERT STR	HOR Y STR	HOR X STR	XZ SHEAR	YZ SHEAR	XY SHEAR
Stress -1,21875E+01	-2,46644E+00	-1,03306E+00	0,00000E+00	0,00000E+00	5,74626E-17
Strain -1,07979E-03	2,12828E-04	4,03426E-04	0,00000E+00	0,00000E+00	1,52816E-20
Displt 1,01207E-01	0,00000E+00	0,00000E+00			