

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΕΘΝΩΝ ΕΞΕΛΙΞΕΩΝ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙ ΤΗ ΔΟΜΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΩΝ

Χαρωνίτης Γεώργιος¹

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός – Συγκοινωνιολόγος

Φίκιρης Ιωάννης²

Πολιτικός Μηχανικός, Msc

Λέξεις Κλειδιά: Οδοστρώματα Αεροδρομίων, Δομική Κατάταξη, ACN-PCN, Σχεδιασμός – Διαστασιολόγηση Οδοστρωμάτων

Η συνεχώς αυξανόμενη απαίτηση για βελτιστοποίηση της αξιοποίησης των πόρων και κονδυλίων που διατίθενται για την κατασκευή, τη συντήρηση και τη διαχείριση των υποδομών, έχει διεθνώς αποτελέσει κίνητρο σημαντικών εξελίξεων και στα θέματα σχεδιασμού και δομικής κατάταξης των οδοστρωμάτων αεροδρομίων. Στο πλαίσιο αυτό, η εισαγωγή νέων υλικών με βελτιωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά, και εναλλακτικών τεχνολογιών αποκατάστασης της φέρουσας ικανότητας υφισταμένων οδοστρωμάτων, συνδυάζεται με την εξέλιξη των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη και διαστασιολόγηση τους.

Η δομική κατάταξη απαιτείται από τον ICAO για όλα τα οδοστρώματα των αεροδρομίων, πέραν αυτού όμως αποτελεί και δεδομένο που στα σύγχρονα συστήματα διαχείρισης μπορεί να συμβάλλει στον έλεγχο, στην πρόληψη εκτεταμένων αστοχιών, και στον προγραμματισμό της συντήρησής τους. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της φθοράς που προκαλείται στο οδόστρωμα από τα διαφορετικά αεροσκάφη, και του αναλογούντος κόστους αυτής.

Διεθνώς, η ισχύουσα σχετική μέθοδος ACN-PCN του ICAO βρίσκεται ήδη σε διαδικασία αναθεώρησης δεδομένου ότι παρουσιάζει προβλήματα και επιδέχεται αρκετές βελτιώσεις, ιδιαίτερα για τις περιπτώσεις οδοστρωμάτων που έχουν σχεδιαστεί με σύγχρονα, εξελιγμένα υπολογιστικά προσομοιώματα και έχουν κατασκευαστεί ή αποκατασταθεί με νέα υλικά και τεχνολογίες.

Οι παραπάνω διεθνείς εξελίξεις είναι σημαντικές και για την Ελλάδα, και είναι αναγκαίο να λαμβάνονται υπόψη και να αξιοποιούνται τόσο στις περιπτώσεις αναβάθμισης υφιστάμενων υποδομών-οδοστρωμάτων (π.χ. περιφερειακά αεροδρόμια) όσο και στην κατασκευή νέων (π.χ. αεροδρόμιο Ηρακλείου).

Στοιχεία Επικοινωνίας:

¹ Ιαξάρτου 13, 157 72 Ζωγράφου

Τηλ: 6975795054, E-mail: gcharo@teemail.gr

² ΕΔΑΦΟΣ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ

Υπερείδου 9, 10 558 Αθήνα

Τηλ: 6932206538, E-mail: ifikiris@edafos.gr



Ελληνική
Αεροπορική
Ένωση

ΟΙ ΑΕΡΟΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΤΟΥ ΣΗΜΕΡΑ ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΥΡΙΟ

5^ο ΣΥΝΕΔΡΙΟ Ε.Α.Ε., 14-15 ΜΑΪΟΥ 2018

**ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΕΘΝΩΝ ΕΞΕΛΙΞΕΩΝ ΣΤΟ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙ ΣΤΗ ΔΟΜΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ
ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΩΝ**

Γιώργος Χαρωνίτης
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός

Γιάννης Φίκιρης
Πολιτικός Μηχανικός MSc
 ΕΔΑΦΟΣ Συμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε.

ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΑ vs ΟΔΟΙ

- Συχνότητα Επανάληψης Φόρτισης
- Τύποι και Φορτία Αεροσκαφών
- Κατανομή Βάρους Αεροσκαφών
- Συστήματα Τροχών
- Πιέσεις Ελαστικών
- Περιορισμοί Συντήρησης / Αποκατάστασης
- Συνέπειες Ενδεχόμενης Αστοχίας Οδοστρωμάτων



Τα προβλήματα είναι πιο σύνθετα και οι απαιτήσεις υψηλότερες στα Οδοστρώματα των Αεροδρομίων

Οι Εξελίξεις στα Οδοστρώματα Αεροδρομίων Γενικά Έπονται των Οδών...

- Περιορισμοί Διακύβευσης (Ρίσκου) που αναλαμβάνεται.
- Δυσχέρεια Πιλοτικών – Δοκιμαστικών Εφαρμογών.
- Υψηλό Κόστος (Έργων & Καθυστερήσεων – Αναστολή Λειτουργίας)
- (Υπερ)Διαστασιολόγηση/Συντηρητικός Σχεδιασμός και Διαχείριση.

Συνέπειες - Επιπτώσεις:

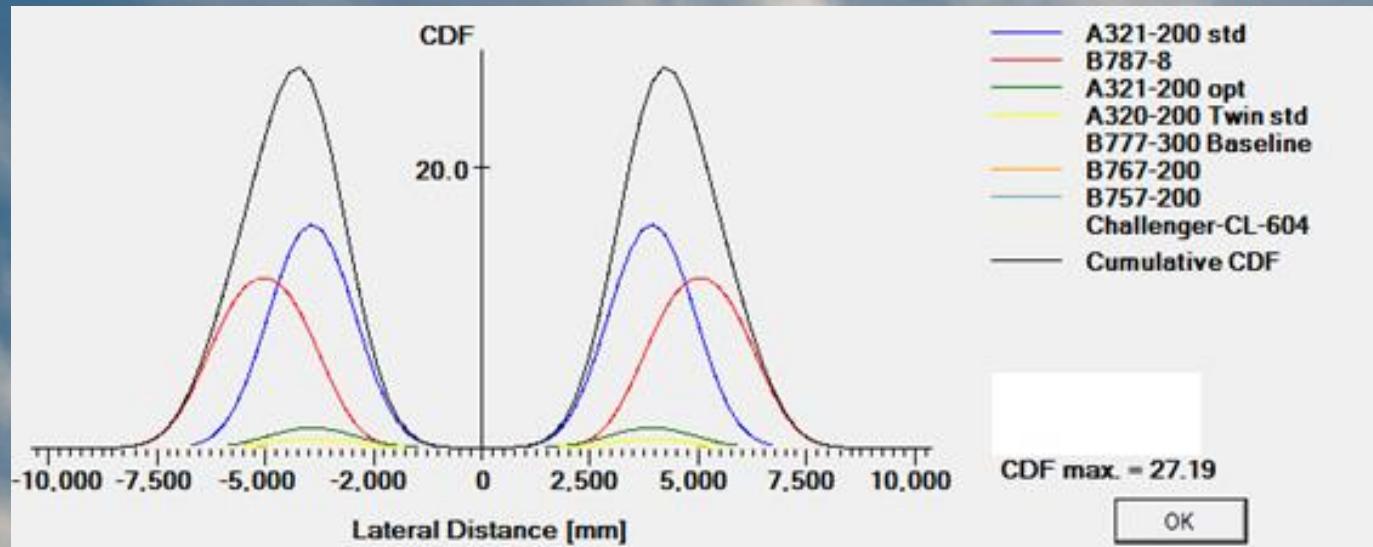
- Αύξηση Κόστους – Αδυναμία Βελτιστοποίησης Επενδύσεων
- Υποβάθμιση Ποιότητας σε Σχέση με τις Σύγχρονες Απαιτήσεις.
- Δυσχέρειες στην Επίτευξη Στόχων (Φέρουσα Ικανότητα, Λειτουργική Κατάσταση)
- Διατήρηση Προβλημάτων που Επιλύονται με χρήση Νέων Υλικών & Τεχνολογιών

Χαρακτηριστικά Παραδείγματα:

- Εφαρμογή Εξελιγμένων Υπολογιστικών Προσομοιωμάτων στην Ανάλυση, το Σχεδιασμό και τον Έλεγχο των Οδοστρωμάτων.
- Κλασσική Θεώρηση: Συντελεστές Ισοδυναμίας Φορτίων (Pass to Coverage)

Διάγραμμα σχεδιασμού	Λόγος διελεύσεων προς ισοδύναμες διελεύσεις	Διάγραμμα σχεδιασμού	Λόγος διελεύσεων προς ισοδύναμες διελεύσεις
Μονού τροχού	5.18	B-757	3.88
Διπλού τροχού	3.48	B-767	3.90
Διπλ τροχ. -διπλ. άξονα	3.68	C-130	4.15
A-300 model B2	3.50	DC10-10	3.64
A-300 model B4	3.45	DC10-30	3.38
B-747	3.70	L-1011	3.62

⇒ Αναλυτικός Υπολογισμός Αθροιστικής Φθοράς Cumulative Damage Factor (CDF)



Χαρακτηριστικά Παραδείγματα (συνέχεια):

- Εισαγωγή-Χρήση νέων Υλικών (π.χ. ανακυκλωμένων υλικών, ασφαλτομιγμάτων υψηλής δυσκαμψίας. κλπ).
- Προσδιορισμός Δείκτη Κατάταξης PCN με βάση τις Σύγχρονες Απαιτήσεις.

Τα Παραπάνω Ενδιαφέρουν και την Ελλάδα

- Παράδειγμα: Χρήση Φρεζαρισμένου Παλαιού Ασφαλτοτάπητα
 - Σε νέα Ασφαλτομίγματα (ποσοστό)
 - Στη Βάση των Νέων / Ανακατασκευαζόμενων Οδοστρωμάτων
- Ήδη αξιοποιούνται διεθνώς. Στην Ελλάδα? Στη Νησιωτική Ελλάδα? (αναμένονται περισσότερα οφέλη)
- **Στην Πρόσφατη & Τρέχουσα Χρονική Περίοδο Υπάρχουν Έργα – Προκλήσεις – Ανάγκες.**

Διερεύνηση για την Αξιοποίηση στην Ελλάδα

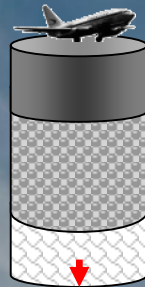
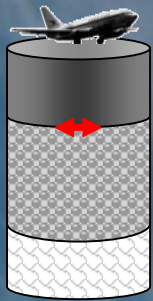
- Ασφαλτικά Μίγματα Υψηλής Δυσκαμψίας π.χ. EME, GB4
 - Διεθνώς διατίθενται αρκετά χρόνια.
 - Μέχρι σήμερα δεν υπάρχει πρακτική δυνατότητα παραγωγής και διάστρωσης EME στην Ελλάδα.
 - Το GB4 χρησιμοποιήθηκε πρόσφατα για την ανακαίνιση των Αεροδρομίων Μυκόνου και Κώ (πρώτη εφαρμογή?)
 - Ως Ασφαλτική Στρώση των Νέων / Ανακατασκευαζόμενων Οδοστρωμάτων.
- Εξελιγμένα Υπολογιστικά Προσομοιώματα σε μελέτες
 - Απαραίτητα για τις περιπτώσεις νέων, μη συμβατικών υλικών
 - Δίδουν τη δυνατότητα προσαρμογής των παραμέτρων υπολογισμού και των μηχανικών χαρακτηριστικών
 - Χρησιμοποιήθηκαν στην περίπτωση των περιφερειακών Αεροδρομίων

Αρχές Αναλυτικού Υπολογισμού Οδοστρώματος με Ασφαλτικές Στρώσεις Υψηλής Δυσκαμψίας

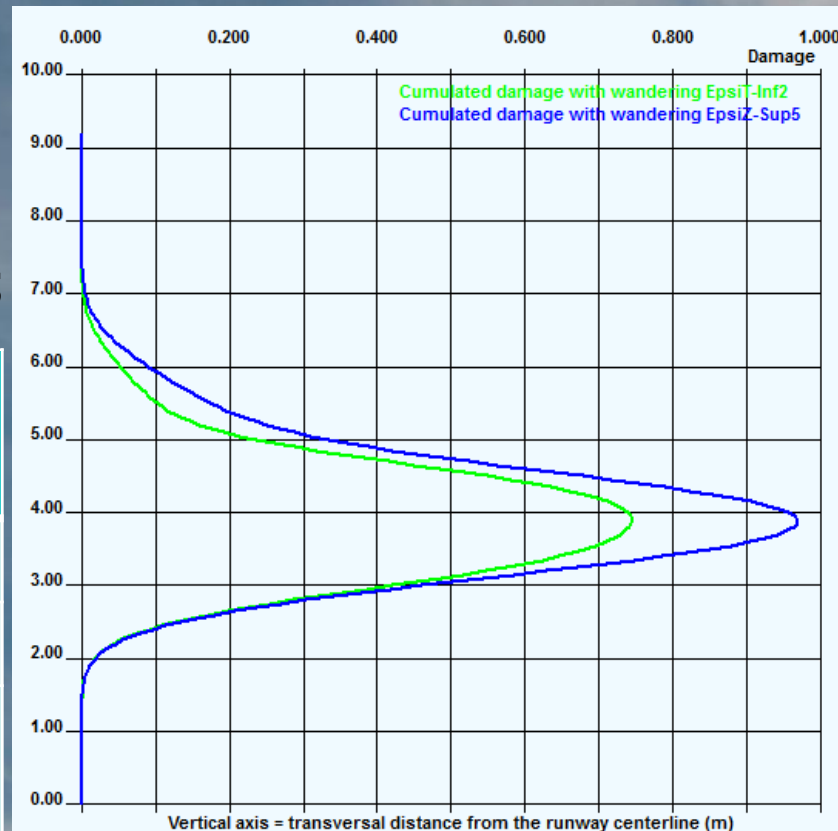
Θερμοκρασία μελέτης οδοστρώματος
Ταχύτητα αεροσκαφών και εγκάρσια μετατόπιση

Παράμετρος	Τιμή
ϵ_6	$100 \cdot 10^{-6}$
SN	0.3
$E_{10^\circ C, 10Hz}$	14300MPa
$E_{23^\circ C, 10Hz}$	6450MPa
$E_{23^\circ C, 3Hz}$	4800MPa

Αντοχή σε κόπωση
ασφαλτικής στρώσης



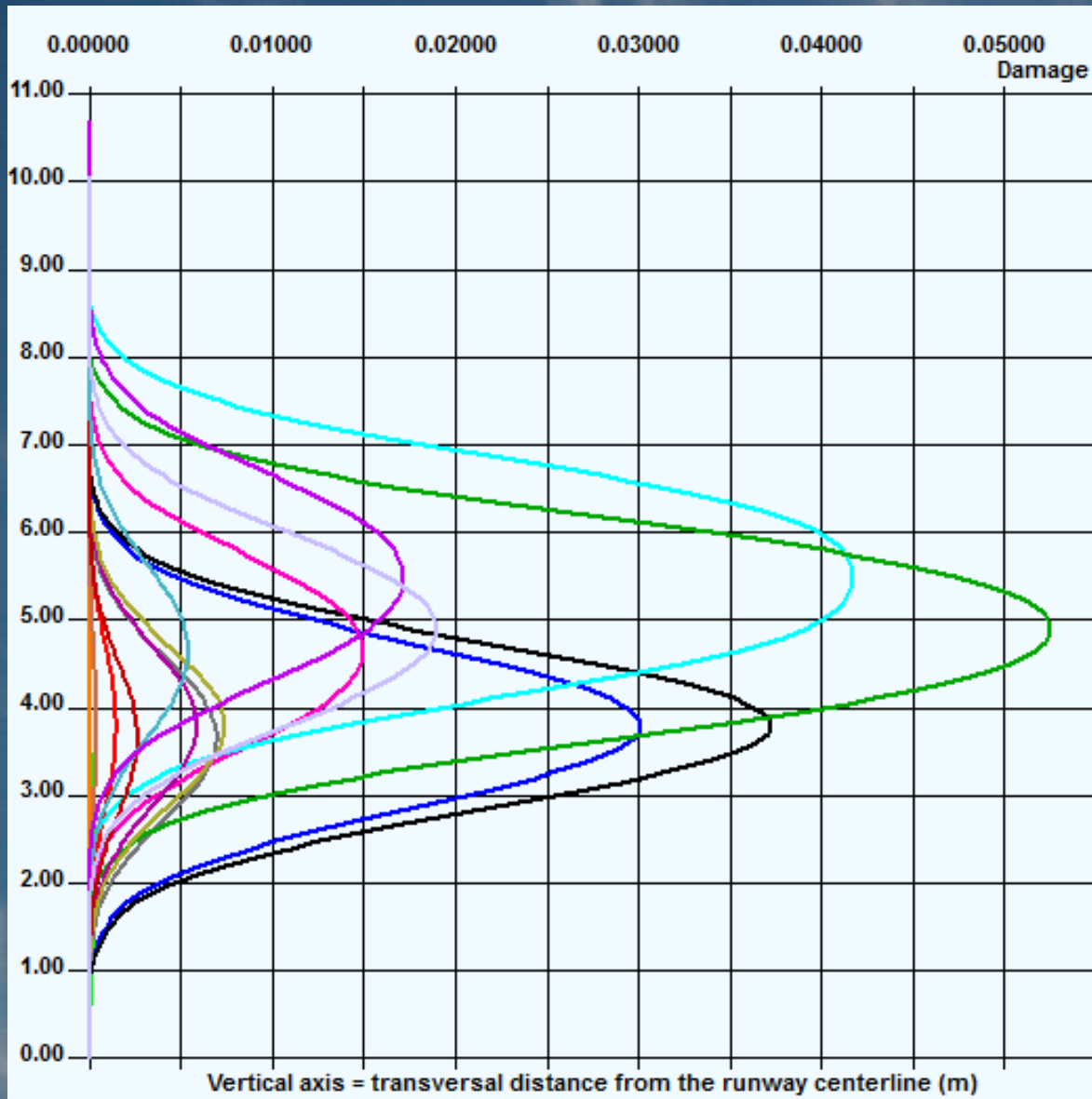
Αστοχία λόγω
παραμένουσας
παραμόρφωσης



- 1-ATR ATR 72 101/102 - EpsilonT Inf2...
- 2-AIRBUS A 320 200 BOG - EpsilonT Inf2...
- 3-AIRBUS A 321 100 - EpsilonT Inf2...
- 4-AIRBUS A 321 200/NEO - EpsilonT Inf2...
- 5-BOEING B 757 200 - EpsilonT Inf2...
- 6-BOEING B 767 200 - EpsilonT Inf2...
- 7-BOEING B 777 300 - EpsilonT Inf2...
- 8-BOEING B 787 8 - EpsilonT Inf2...
- 1-ATR ATR 72 101/102 - EpsilonZ Sup5...
- 2-AIRBUS A 320 200 BOG - EpsilonZ Sup5...
- 3-AIRBUS A 321 100 - EpsilonZ Sup5...
- 4-AIRBUS A 321 200/NEO - EpsilonZ Sup5...
- 5-BOEING B 757 200 - EpsilonZ Sup5...
- 6-BOEING B 767 200 - EpsilonZ Sup5...
- 7-BOEING B 777 300 - EpsilonZ Sup5...
- 8-BOEING B 787 8 - EpsilonZ Sup5...

- Individual damages
- Cumulated damages
- With wandering
- Without wandering
- Automatic sequencing

Περιοχή	Ταχύτητα Μελέτης (km/h)	Τυπική απόκλιση Εγκάρσια Μετατόπιση Sbal (m)
Υψηλών ταχυτήτων	100	0.75
Μεσαίων ταχυτήτων	30	0.5
Δάπεδα στάθμευσης / χαμηλών ταχυτήτων	10	0



- 1-ATR ATR 72 101/102 - EpsilonT Inf2...
- 2-AIRBUS A 320 200 BOG - EpsilonT Inf2...
- 3-AIRBUS A 321 100 - EpsilonT Inf2...
- 4-AIRBUS A 321 200/NEO - EpsilonT Inf2...
- 5-BOEING B 757 200 - EpsilonT Inf2...
- 6-BOEING B 767 200 - EpsilonT Inf2...
- 7-BOEING B 777 300 - EpsilonT Inf2...
- 8-BOEING B 787 8 - EpsilonT Inf2...
- 1-ATR ATR 72 101/102 - EpsilonZ Sup5...
- 2-AIRBUS A 320 200 BOG - EpsilonZ Sup5...
- 3-AIRBUS A 321 100 - EpsilonZ Sup5...
- 4-AIRBUS A 321 200/NEO - EpsilonZ Sup5...
- 5-BOEING B 757 200 - EpsilonZ Sup5...
- 6-BOEING B 767 200 - EpsilonZ Sup5...
- 7-BOEING B 777 300 - EpsilonZ Sup5...
- 8-BOEING B 787 8 - EpsilonZ Sup5...

- Individual damages Cumulated damages
- With wandering Without wandering
- Automatic sequencing

Zoom ?

Next computation

Computation details

Maximum damages

Save

See the aircraft

➤ Έλεγχος Κόπωσης & Μέτρου Δυσκαμψίας στη Μελέτη Σύνθεσης Ασφαλτομίγματος.

Διεθνείς Εξελίξεις

Δομική Κατάταξη - Μέθοδος ACN/PCN του ICAO

- Το **ACN (Aircraft Classification Number)** είναι ένας αριθμός ο οποίος εκφράζει τη σχετική επίδραση ενός αεροσκάφους σε ένα οδόστρωμα για μια καθορισμένη αντοχή του εδάφους έδρασης.
- Το **PCN (Pavement Classification Number)** ενός οδοστρώματος είναι ίσο με το ACN του δυσμενέστερου από πλευράς φορτίου αεροσκάφους που μπορεί να εξυπηρετηθεί από το οδόστρωμα για απεριόριστο αριθμό διελεύσεων.

Δομική Κατάταξη Οδοστρωμάτων - PCN

PCN 54 R/B/X/U

Τύπος Οδοστρώματος

F - Εύκαμπτο
R - Δύσκαμπτο

Μέθοδος Προσδιορισμού

U - Εμπειρικά
T - Υπολογιστικά

Φέρουσα Ικανότητα Έδρασης

Κατηγορία	Εύκαμπτο CBR	Δύσκαμπτο k value
A-Υψηλή	15	550
B-Μέτρια	10	300
C-Χαμηλή	6	150
D-Π. Χαμηλή	3	75

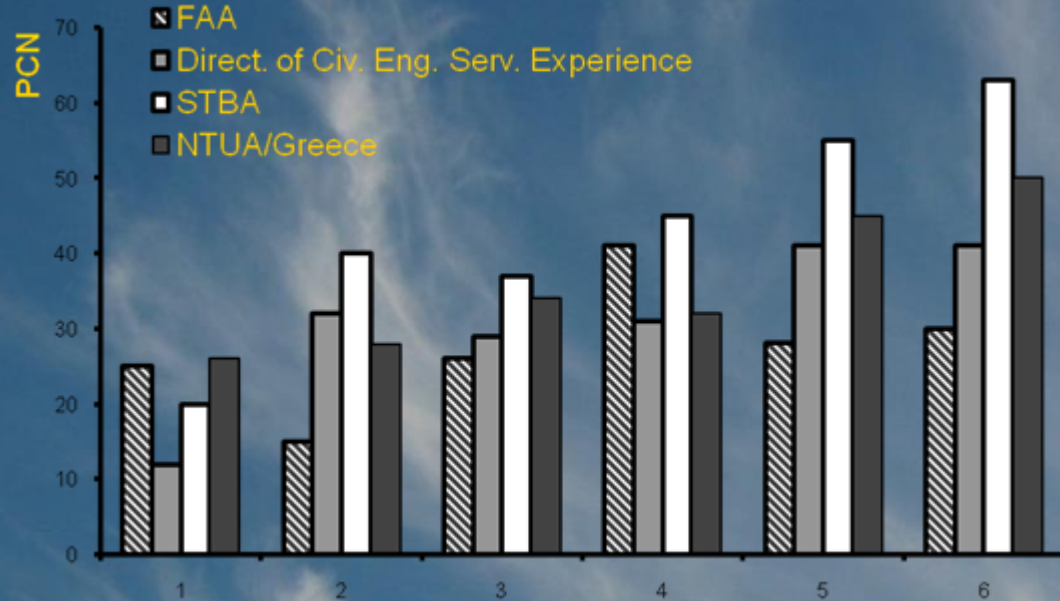
Μέγιστη Πίεση Ελαστικών

W Χωρίς Όριο
X <1.75 MPa
Y <1.25 MPa
Z <0.50 MPa

- Δεν προτείνεται συγκεκριμένη μέθοδος ή διαδικασία προσδιορισμού του PCN.
- Οι αρχές του κάθε αεροδρομίου πρέπει να επιλέγουν την κατά την κρίση τους καταλληλότερη μέθοδο προσδιορισμού.

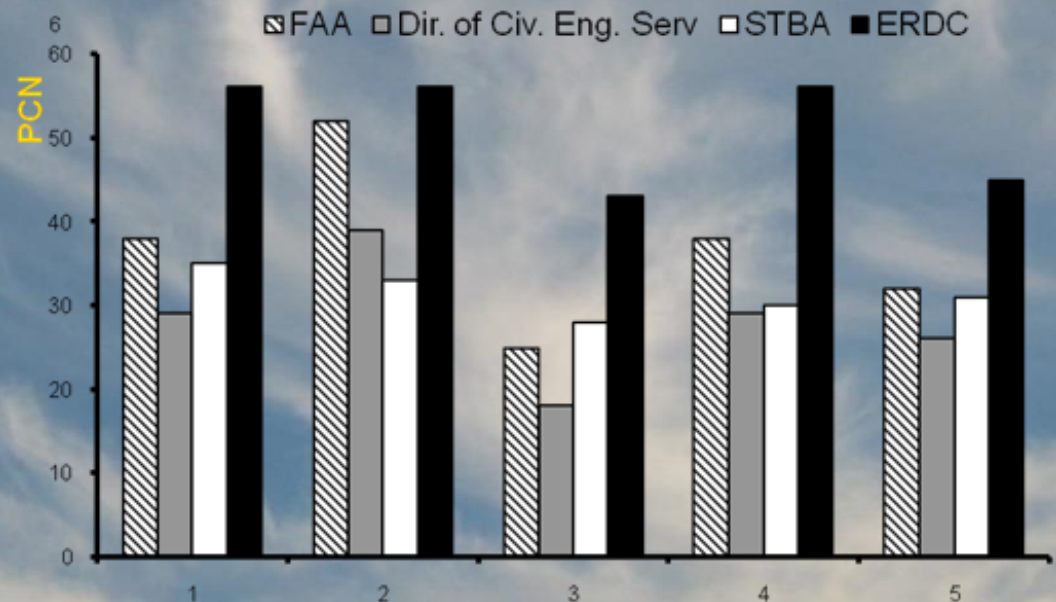
Χρήση Μεθόδου ACN – PCN

Εντοπισμός Προβλημάτων και Ατελειών (Έρευνα 1998-2008)

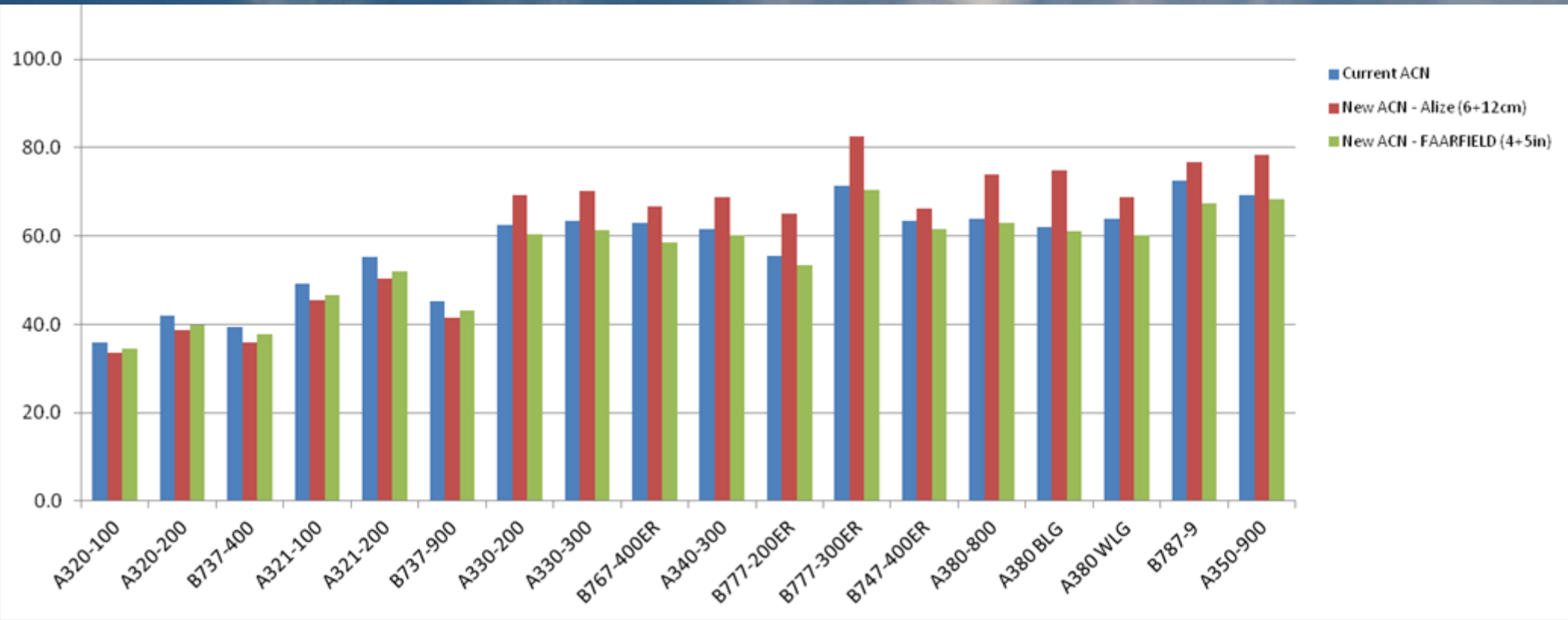


- Μειωμένη Αξιοπιστία Δείκτη ACN
- Αδυναμία εκτίμησης κρίσιμων μεγεθών φθοράς υλικών οδοστρωμάτων (π.χ. κόπωση ασφαλικών στρώσεων)

- Δεν καλύπτει επαρκώς όλους τους τύπους οδοστρωμάτων (π.χ. ημιάκαμπα)
- Το PCN δε σχετίζεται αξιόπιστα και αμφιμονοσήμαντα με τη Φέρουσα Ικανότητα του Οδοστρώματος

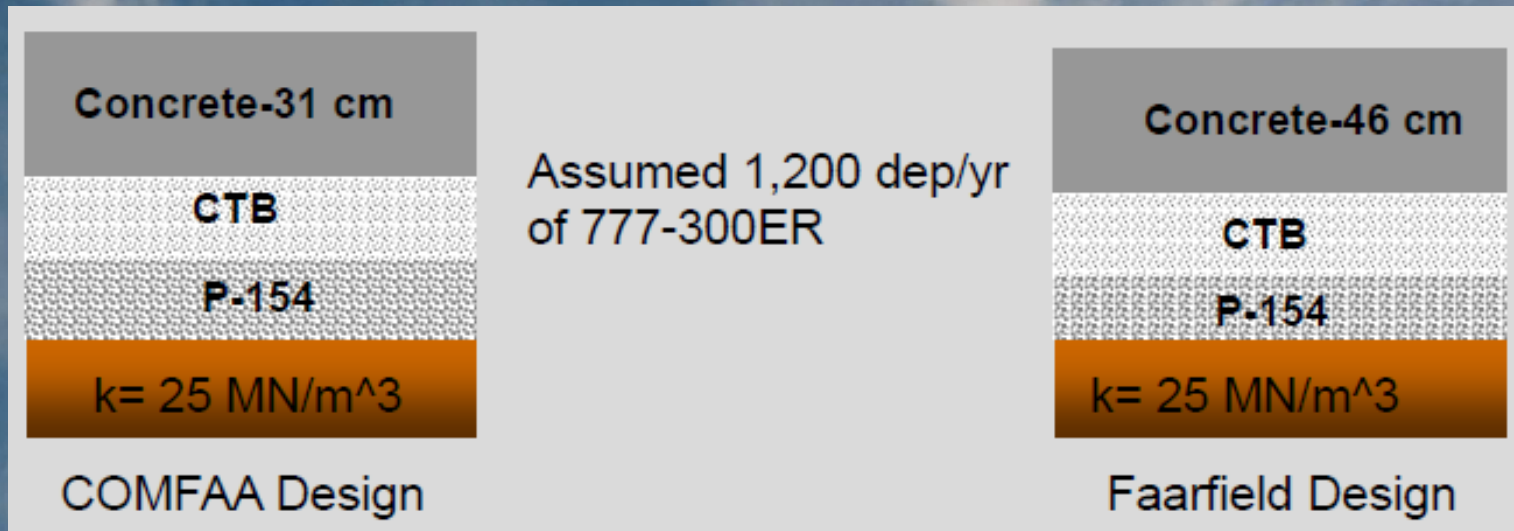


Διερεύνηση ACN με Εξελεγμένα Λογισμικά – Προσομοιώματα Υπολογισμού (πηγή: M. Roginski – Boeing, 2010 -...)



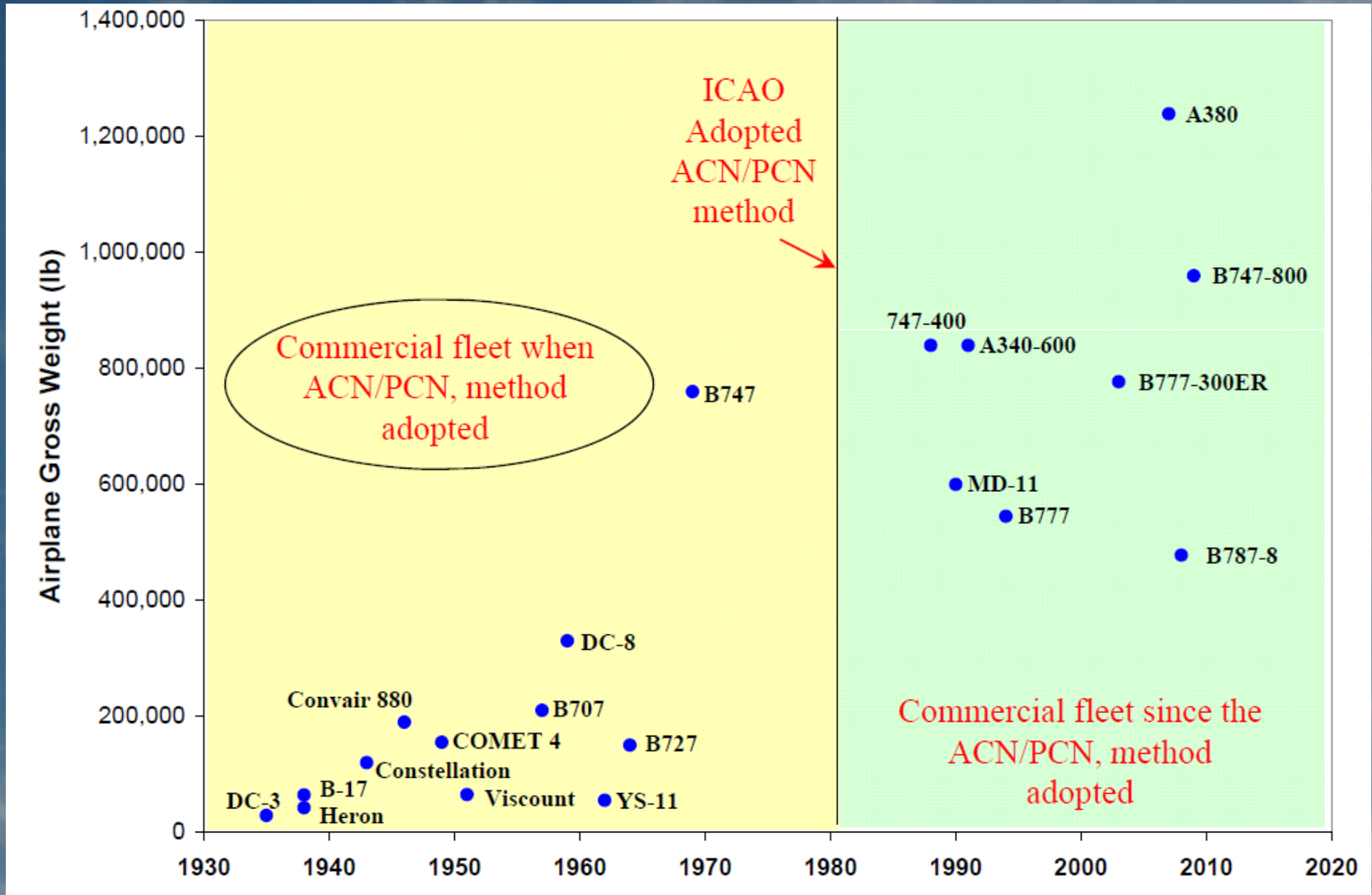
Η Επιλογή της Αποκλειστικής Χρήσης Αναλυτικών Προσομοιωμάτων (ALIZE, FAARFIEDL, APSDS, PCASE, κλπ) ανέδειξε τις αδυναμίες του ACN, ιδιαίτερα για τα σύγχρονα αεροσκάφη

Ασυμβατότητα PCN με Εξελεγμένα Λογισμικά – Προσομοιώματα Υπολογισμού (πηγή: M. Roginski – Boeing, 2010 -...)



Διαστασιολόγηση – Υπολογισμός Οδοστρωμάτων με σύγχρονα λογισμικά (π.χ. Faarfield, Alize) είναι πιθανό να είναι ασύμβατος με τις κλασσικές μεθόδους προσδιορισμού του PCN (π.χ. COMFAA) λόγω διαφορετικών προσομοιωμάτων αστοχίας

Η Μέθοδος ACN – PCN πλησιάζει τα 40 έτη.....



(πηγή: M. Roginski – Boeing, Company)

Αποτέλεσμα...

«Η Επιτροπή Οδοστρωμάτων του ICAO συμφωνεί ότι η ανάπτυξη (νέας) διαδικασίας προσδιορισμού του ACN συμβατή με τις σύγχρονες μεθόδους σχεδιασμού οδοστρωμάτων θα πρέπει να ξεκινήσει το συντομότερο δεδομένου ότι απαιτεί αρκετό χρόνο...» (2012... 2015...).

ΣΤΟΧΟΙ:

- ✓ Να συσχετισθεί ο νέος τρόπος υπολογισμού του ACN με τη σύγχρονη πρακτική σχεδιασμού και ανάλυσης οδοστρωμάτων (Αναλυτικές μέθοδοι και προσομοιώματα υπολογισμού).
- ✓ Στην εξελιγμένη μορφή που θα προκύψει να διατηρηθεί η απλή δομή και οι αρχές της μεθόδου ACN/PCN (δείκτες, κατηγοριοποίηση, κωδικοποίηση κλπ).
- ✓ Να αναπτυχθεί μία νέα, συγκεκριμένη διαδικασία (βασισμένη αναλυτικά υπολογιστικά προσομοιώματα) για τον προσδιορισμό και τη δημοσίευση του PCN των οδοστρωμάτων.



Αναμενόμενα Οφέλη νέας Μεθόδου ACN-PCN

- Το κύριο όφελος για τα Αεροδρόμια θα είναι η μείωση του κόστους και η αναβαθμισμένη Διαχείριση των Υποδομών με βελτιστοποίηση της χρήσης των Οδοστρωμάτων και την ορθολογική διαχείριση των φορτίων που εξυπηρετούν τόσο ως προς το βάρος όσο και ως προς τον όγκο και τη συχνότητα.
- Η υιοθέτηση σύγχρονων υπολογιστικών προσομοιωμάτων θα ελαχιστοποιήσει την υπερεκτιμημένη-υπερσυντηρητική εκτίμηση της επίδρασης των αεροσκαφών με σύνθετα φορτία, η οποία σήμερα προκύπτει από τη χρήση της εμπειρικής μεθόδου CBR. Θα αντικατασταθεί από μία ακριβέστερη εκτίμηση της φθοράς στο οδόστρωμα και θα ενσωματωθεί στον υπολογισμό του ACN.
- Θα ελαχιστοποιηθεί η ασυμβατότητα μεταξύ του σχεδιασμού των οδοστρωμάτων και της δημοσίευσης της φέρουσας ικανότητάς τους.



Ως Τότε? Πώς Προσδιορίζουμε PCN?

Χρήση Εναλλακτικών Προσεγγίσεων με χρήση Αναλυτικών Προσομοιωμάτων & Έμμεσος προσδιορισμός. Τα τυπικά βήματα της διαδικασίας έχουν ως ακολούθως:

- Αναλυτικός υπολογισμός της (εναπομένουσας) διάρκειας ζωής του οδοστρώματος και του συντελεστή αθροιστικής φθοράς για το σύνολο της προβλεπόμενης κυκλοφορίας.
- Επιλογή του κρίσιμου αεροσκάφους που εξυπηρετείται. Είτε αυτό που έχει το μεγαλύτερο ACN στο μέγιστο φορτίο απογείωσης (Maximum Operational Take-Off Weight - MOTW) ή εναλλακτικά αυτό που προκαλεί τη μέγιστη φθορά σε ένα μόνο πέρασμα (προτείνεται το πρώτο).
- Υπολογισμός του αριθμού διελεύσεων του κρίσιμου αεροσκάφους που καταλήγουν σε συντελεστή αθροιστικής φθοράς τουλάχιστον 0.51 ή σε ίσο με τη συνολική φθορά σχεδιασμού (προτείνεται το δεύτερο, όπου είναι διαθέσιμο)
- Αύξηση του βάρους του κρίσιμου αεροσκάφους μέχρι ο συντελεστής αθροιστικής φθοράς (για τις ίδιες διελεύσεις) να ισούται με το 1.0 (=αστοχία οδοστρώματος)
- Υπολογισμός του αντίστοιχου ACN (κατά ICAO) για το κρίσιμο αεροσκάφος με προσαυξημένο φορτίο και θεώρηση της τιμής αυτής για την κατάταξη PCN του οδοστρώματος.

(Η παραπάνω διαδικασία έχει προταθεί (G. Hayhoe), είναι αποδεκτή και είναι εφικτό να πραγματοποιηθεί με όλα σχεδόν τα σύγχρονα αναλυτικά εργαλεία, π.χ. Faarfield, Alize, κλπ. Υπάρχουν και άλλες ανάλογες)

Συνοψίζοντας...

- Με βάση τα ισχύοντα το PCN δεν συνδέεται αμφιμονοσήμαντα με την τρέχουσα δομική κατάσταση και την εναπομένουσα διάρκεια ζωής των οδοστρωμάτων, συνεπώς δεν μπορεί και δεν προβλέπεται να χρησιμοποιείται για την εκτίμηση τους.
- Ειδικά στην περίπτωση χρήσης κλασσικών μεθόδων (π.χ. COMFAA) ο δείκτης PCN ενδέχεται να μην αντικατοπτρίζει την πραγματική κατάσταση και φέρουσα ικανότητα οδοστρωμάτων που έχουν υπολογιστεί με εξελεγμένες αναλυτικές μεθόδους, ή κατασκευαστεί με σύγχρονα υλικά και τεχνολογίες (π.χ. με ασφαλτομίγματα υψηλής αντοχής και δυσκαμψίας).
- Είναι σημαντικό να διευρυνθεί και να επιταχυνθεί η αξιοποίηση των σύγχρονων μεθόδων, υπολογιστικών εργαλείων και νέων υλικών - τεχνολογιών στη μελέτη και την κατασκευή των οδοστρωμάτων αεροδρομίων καθόσον παρουσιάζουν συγκριτικά πλεονεκτήματα και για τη χώρα μας.



Σας
Ευχαριστώ!