

# Παγοποίηση

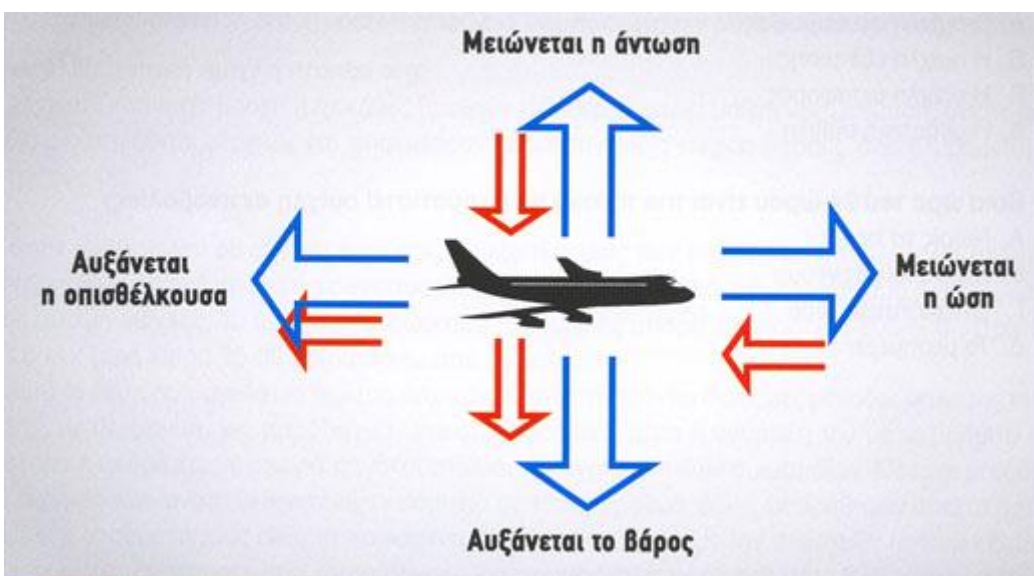
Ένα από τα πλέον επικίνδυνα φαινόμενα για την αεροπλοΐα είναι η παγοποίηση (icing), ο σχηματισμός δηλαδή ή η εναπόθεση πάγου σε εσωτερικά και εξωτερικά μέρη του αεροσκάφους.

## Είδη παγοποίησης

Υπάρχουν δύο κατηγορίες παγοποίησης που είναι ουσιώδους σημασίας για την αεροπλοΐα α) η εξωτερική παγοποίηση ή παγοποίηση δομής (structural icing) και β) η εσωτερική παγοποίηση (induction icing).

## Εξωτερική παγοποίηση ή παγοποίηση δομής

Η εξωτερική παγοποίηση ή παγοποίηση δομής αφορά στη συσσώρευση πάγου στις εξωτερικές επιφάνειες του αεροσκάφους. Περιλαμβάνει την παγοποίηση στις επιφάνειες ελέγχου που βρίσκονται στα φτερά και την ουρά του αεροσκάφους, καθώς και την παγοποίηση στις έλικες, τις κεραίες, την κεφαλή στατικής πίεσης και το σωλήνα pitot. Η πιο σημαντική επίπτωση της παγοποίησης δομής είναι η απώλεια της αεροδυναμικής ικανότητας του αεροσκάφους.



Αποτελέσματα της παγοποίησης δομής

Η βασική αιτία της παγοποίησης δομής είναι η ψύξη των σταγονιδίων νερού πάνω στην επιφάνεια του αεροσκάφους όταν αυτό περνάει μέσα από ένα νέφος. Για να συμβεί αυτό θα πρέπει η επιφάνεια του αεροσκάφους να είναι ψυχρή (κάτω από 0oC) και το νέφος να περιέχει υπερτηγμένα σταγονίδια νερού. Κάτω από τις συνθήκες αυτές τα σταγονίδια στερεοποιούνται μόλις έρθουν σε επαφή με το αεροσκάφος. Ο πάγος σχηματίζεται ταχύτερα σε πυκνά παρά σε αραιά νέφη, επίσης οι μεγάλες σταγόνες νερού συσσωρεύονται πιο εύκολα. Ο ρυθμός σχηματισμού του πάγου αυξάνει όσο αυξάνει η ταχύτητα του αεροσκάφους και μέχρι τους 400 knots, από την ταχύτητα αυτή και πάνω ο ρυθμός ελαττώνεται λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας εξαιτίας της τριβής.

## Μορφές πάγου

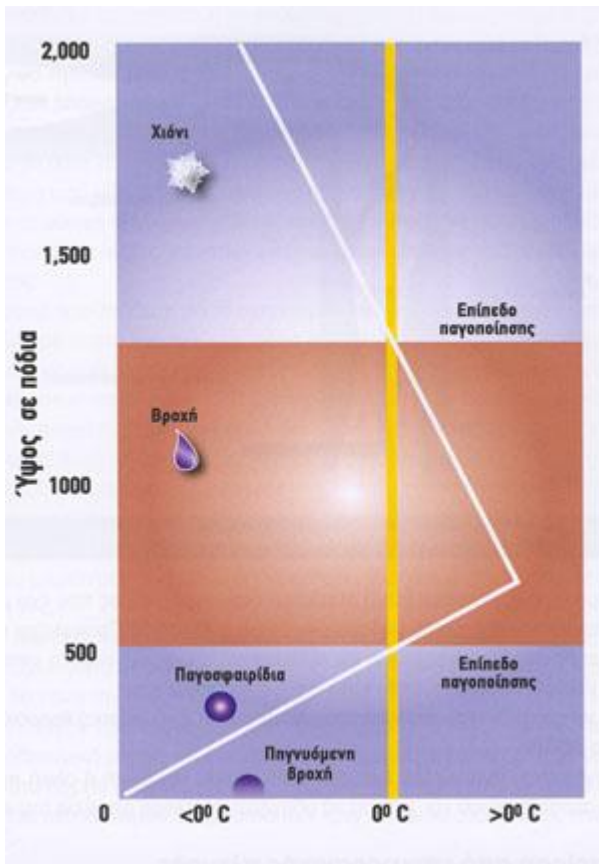
Όταν οι σταγόνες είναι μεγάλες και η θερμοκρασία λίγο κάτω από το μηδέν, τότε αυτές διασκορπίζονται πάνω στην επιφάνεια του αεροσκάφους και στερεοποιούνται αργά σχηματίζοντας **καθαρό πάγο ή υαλόπαγο (clear ice or glaze)**. Ο καθαρός πάγος είναι λείος και συνήθως διαφανής. Είναι η πιο επικίνδυνη μορφή πάγου, γιατί είναι βαρύς και σκληρός, προσκολλάται σταθερά στην επιφάνεια του αεροσκάφους και εκτός από το βάρος που προσθέτει, διαταράσσει σοβαρά το σχήμα της αεροτομής. Μεγάλες σταγόνες συναντά το αεροσκάφος όταν περνάει μέσα από σωρειτόμορφα νέφη (Cu, Cb). Αν οι σταγόνες είναι μικρές και στερεοποιηθούν αμέσως μόλις προσκρούσουν στο αεροσκάφος, παγιδεύουν ανάμεσά τους αέρα και σχηματίζουν **ομιχλοκρύσταλλο (rime ice)**. Ο ομιχλοκρύσταλλος είναι τραχύς, πορώδης, αδιαφανής, λευκός πάγος. Ευνοϊκές συνθήκες για τη δημιουργία του είναι η θερμοκρασία να βρίσκεται αρκετά κάτω από το μηδέν, συνήθως -10° έως -20°C, και οι σταγόνες να είναι μικρές. Αναπτύσσεται όταν το αεροσκάφος περνάει μέσα από στρωματόμορφα νέφη, όπως Ns, As και St. Ο ομιχλοκρύσταλλος έχει επίσης σοβαρή επίδραση στην αεροδυναμική του αεροσκάφους, αλλά γενικά είναι ελαφρύτερος και απομακρύνεται πιο εύκολα. Ο **μικτός πάγος (mixed ice)** είναι συνδυασμός των δύο άλλων μορφών. Σχηματίζεται όταν εισχωρεί χιόνι ή παγοκρυστάλλια σε καθαρό πάγο, δημιουργώντας έτσι μια πολύ τραχιά συσσώρευση.

## Πάχνη (hoar frost)

Η πάχνη σχηματίζεται όταν κορεσμένος αέρας ψυχθεί σε θερμοκρασία ίση με το σημείο δρόσου και το σημείο δρόσου είναι κάτω από το μηδέν. Στην περίπτωση αυτή οι υδρατμοί μετατρέπονται κατευθείαν σε πάγο. Σε αεροσκάφος η πάχνη σχηματίζεται με τον ίδιο τρόπο που σχηματίζεται και στα άλλα αντικείμενα. Συνήθως τις νύχτες με καθαρό ουρανό, η απώλεια θερμότητας λόγω ακτινοβολίας, χαμηλώνει τη θερμοκρασία της επιφάνειας ενός σταθμευμένου α/φους κάτω από το σημείο δρόσου, που είναι κάτω από το μηδέν. Ο βασικός κίνδυνος στην πάχνη είναι η τραχύτητα που προσδίνει στην επιφάνεια του α/φους. Αν και αυτό δε φαίνεται τόσο επικίνδυνο αν το συγκρίνει κανείς με τον όγκο που μπορεί να προσθέσει ο καθαρός πάγος, εν τούτοις επιβραδύνει τη ροή του αέρα πάνω στις πτέρυγες και μειώνει την άντωση. Ένα σκληρό στρώμα πάχνης μπορεί να αυξήσει την ταχύτητα απώλειας στήριξης κατά 5 έως 10%. Η πάχνη επίσης μπορεί να εμποδίσει το α/φος να απογειωθεί στην κανονική του ταχύτητα απογείωσης.

# Πηγνυόμενη βροχή και παγοποίηση

Τους ψυχρούς μήνες του έτους είναι συνηθισμένο να υπάρχει ένα ψυχρό στρώμα αέρα κοντά στο έδαφος με θερμοκρασίες κάτω από το μηδέν και πάνω από αυτό να υπάρχει ένα θερμότερο στρώμα. Υετός που σχηματίζεται ως χιόνι σε ψυχρά νέφη ψηλά στην τροπόσφαιρα, λιώνει κατά το πέρασμά του από το θερμό στρώμα και στη συνέχεια ξαναπαγώνει και σχηματίζει παγοσφαιρίδια καθώς πέφτει μέσα από το ψυχρό στρώμα κοντά στο έδαφος και μετατρέπεται σε πηγνυόμενη βροχή (freezing rain) ή πηγνυόμενες ψεκάδες (freezing drizzle). Αν η επιφάνεια του αεροσκάφους έχει θερμοκρασία κάτω από μηδέν, συγκεντρώνει μεγάλη ποσότητα πάγου κάτω από τις συνθήκες αυτές. Η κατάσταση αυτή είναι συχνή σε θερμά μέτωπα ή σε συσφίξεις μετώπων.



Σχηματισμός πηγνυόμενης βροχής.

## Εσωτερική παγοποίηση

Η εσωτερική παγοποίηση επηρεάζει τη λειτουργία του κινητήρα. Περιλαμβάνει την παγοποίηση στον αναμικτήρα και στους εισαγωγείς αέρα. Η κύρια επίδραση της εσωτερικής παγοποίησης είναι η απώλεια ισχύος εξαιτίας της παρεμπόδισης του αέρα να μπει στον κινητήρα. Στους εισαγωγείς αέρα σχηματίζεται πάχος κάτω από τις ίδιες συνθήκες που ευνοείται και η παγοποίηση δομής. Παγοποίηση αναμικτήρα (carburetor icing) συμβαίνει όταν υγρός αέρας που έχει μπει στον αναμικτήρα ψυχθεί σε θερμοκρασία σημείου δρόσου μικρότερη από μηδέν. Η ψύξη αυτή προκαλείται από την αδιαβατική εκτόνωση του αέρα στον αναμικτήρα και την εξάτμιση του καυσίμου. Η ψύξη μπορεί να είναι τόσο δραματική που να μειώσει τη θερμοκρασία κατά 20°C ή

περισσότερο. Μπορεί δηλαδή να υπάρξει παγοποίηση αναμικτήρα ενώ η εξωτερική θερμοκρασία είναι αρκετά πάνω από το μηδέν. Η δημιουργία πάγου στον αναμικτήρα έχει σαν αποτέλεσμα τη μερική ή ολική παρεμπόδιση της ροής του μίγματος αέρα/καυσίμου και μπορεί να οδηγήσει σε πλήρη απώλεια του κινητήρα.

---

Revision #2

Created 1 September 2024 11:31:51 by 1500691

Updated 27 January 2025 20:09:43 by 1500691