
Μελέτη παραγόντων που επηρεάζουν
την άνεση των επιβατών στα
αεροσκάφη.



Αφροδίτη Βασιλειάδη

Επιβλέπων καθηγητής:
Παρασκευάς Παπανίκος

Μελέτη παραγόντων που επηρεάζουν την άνεση των επιβατών στα αεροσκάφη.

Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Τμήμα Μηχανικών Σχεδίασης Προϊόντων και
Συστημάτων

Σύρος, 2017



Αφροδίτη Βασιλειάδη

Επιβλέπων καθηγητής:
Παρασκευάς Παπανίκος

Βασίλειος Μουλιανίτης
Νικόλαος Ζαχαρόπουλος

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ τον καθηγητή μου, κύριο Παρασκευά Παπανίκο, ο οποίος με την υπομονή του και την καθοδήγησή του μου έδειξε ότι ποτέ δεν είναι αργά για να ολοκληρώσεις τα όνειρά σου.

Ευχαριστώ τη Νάνα, που ήταν πάντα εκεί όταν ήμουν έτοιμη να τα παρατήσω και χωρίς την οποία αυτή η διπλωματική δε θα είχε ολοκληρωθεί ποτέ.

Ευχαριστώ την οικογένειά μου για την ανιδιοτελή αγάπη τους και στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια.

Ευχαριστώ τους φίλους μου που πάντα και στα πάντα είναι δίπλα μου και με αντέχουν.

Τέλος, ευχαριστώ ιδιαίτερα το φασολάκι μου και τον μπαμπά του, και μόνο για το ότι υπάρχουν και μπορώ πάντα να βασίζομαι σε αυτούς.

Δηλώνω υπεύθυνα ότι η διπλωματική εργασία είναι εξ' ολοκλήρου δικό μου έργο και κανένα μέρος της δεν είναι αντιγραμμένο από έντυπες ή ηλεκτρονικές πηγές, μετάφραση από ξενόγλωσσες πηγές και αναπαραγωγή από εργασίες άλλων ερευνητών ή φοιτητών. Όπου έχω βασιστεί σε ιδέες ή κείμενα άλλων, έχω προσπαθήσει, όσο είναι δυνατόν, να το προσδιορίσω σαφώς μέσα από την χρήση αναφορών, ακολουθώντας την ακαδημαϊκή δεοντολογία.

Πίνακας περιεχομένων

Εισαγωγή	16
1. Παράγοντες που επηρεάζουν την εργονομία της θέσης.....	18
Εισαγωγή	18
1.1. Ο χώρος για τα κάτω άκρα	20
1.2. Το ύψος και το βάθος της έδρας του καθίσματος	25
1.3. Το ύψος και η ανάκλιση της πλάτης του καθίσματος ..	30
1.4. Το πλάτος του καθίσματος	34
1.5. Το προσκέφαλο	37
1.6. Το υποβραχιόνιο	39
1.7. Το εσωτερικό υλικό και το σχήμα του καθίσματος.....	43
1.8. Η επένδυση του καθίσματος και το χρώμα της.....	45
1.9. Το ατομικό τραπεζάκι	48
1.10. Η τσέπη του καθίσματος	51
2. Ήχοι και δονήσεις.....	52
2.1. Ήχοι.....	52
Εισαγωγή	52
2.1.1. Ήχος από αέρα [ομαλή ροή(άτρακτος, τμήμα φτερών) ζώνη διάτμησης στρόβιλοι (άτρακτος, φτερά, ρόδες, ουρά αεροσκάφους)]	55
2.1.2. Ήχος κινητήρων	58
2.1.3. Αεροδυναμικός θόρυβος.....	61
2.1.4. Εσωτερικές πηγές θορύβου (a/c, σύστημα εξαερισμού, σύστημα διατήρησης πίεσης καμπίνας, υδραυλικό σύστημα)	62
2.1.5. Λοιποί παράγοντες (ταχύτητα, υψόμετρο, εσωτερική διαρρύθμιση, θέση μεμονωμένου καθίσματος, ψυχολογικοί παράγοντες, γενετικοί παράγοντες)	63
2.1.6. Προσπάθειες βελτίωσης που έχουν πραγματοποιηθεί 64	
2.2. Δονήσεις.....	68
Εισαγωγή	68
2.2.1. Ομαλή ροή αέρα	69

2.2.2.	Ανοδικά και καθοδικά ρεύματα	69
2.2.3.	Στρόβιλοι	71
2.2.4.	Δονήσεις κινητήρα και μηχανικών μερών	74
2.2.5.	Παλλόμενα κρουστικά κύματα.....	77
2.2.6.	Αεροελαστικές ταλαντώσεις	77
2.2.7.	Το φαινόμενο LCO.....	80
2.3.	Συνδυασμός ήχου και δονήσεων	81
3.	Αντικείμενα και Φωτισμός.....	90
	Εισαγωγή	90
3.1.	Αντικείμενα	93
3.1.1.	Χρώμα.....	93
3.1.2.	Υφή και ανακλαστικότητα υλικού	96
3.1.3.	Λαμπρότητα	98
3.2.	Φωτισμός.....	101
3.2.1.	Θερμοκρασία χρώματος.....	101
3.2.2.	Χρώμα	110
3.2.3.	Φωτεινή ροή και ένταση	113
3.2.4.	Αντίθεση και κατανομή φωτεινής ροής	116
3.3.	Ατομικοί παράγοντες φύλο ηλικία υγεία	119
3.4.	Προσπάθειες βελτίωσης του φωτισμού	126
4.	Λοιπές περιβαλλοντικές συνθήκες	129
	Εισαγωγή	129
4.1.	Environmental Control System	130
4.1.1.	Παροχή αέρα	130
4.1.2.	Μονάδα Ψύξης αέρα	131
4.1.3.	Είσοδος και έξοδος αέρα από το σύστημα ψύξης... ..	134
4.1.4.	Ρύθμιση Πίεσης	136
4.1.5.	Προβληματισμοί σχετικοί με την υγεία.....	138
4.2.	Θερμοκρασία.....	140
4.2.1.	Παράγοντες επιρροής θερμικής άνεσης επιβατών ..	140

4.2.2. Μέθοδοι ελέγχου θερμικής άνεσης.....	142
4.3. Υγρασία	144
4.3.1. Η ισχύουσα κατάσταση στις καμπίνες	144
4.3.2. Δυσμενείς επιπτώσεις χαμηλής υγρασίας	145
4.3.3. Προσπάθειες βελτίωσης.....	145
4.4. Πίεση.....	147
4.4.1. Χάσμα μεταξύ ιδανικών συνθηκών ανθρώπων και αεροπλάνων	147
4.4.2. Η δημιουργία των πρώτων υπό πίεση αεροσκαφών	150
4.4.3. Διαδικασίες λειτουργίας κινητήρα	155
4.4.4. Η ατμοσφαιρική πίεση στο εσωτερικό της καμπίνας	156
4.4.5. Δυσλειτουργίες συστήματος πίεσης καμπίνας	158
4.4.6. Προσπάθειες βελτίωσης.....	161
4.5. Λοιπές κλιματικές συνθήκες	162
4.5.1. Όζον	162
4.5.2. Μονοξείδιο του άνθρακα	164
4.5.3. Διοξείδιο του άνθρακα.....	165
Συμπεράσματα.....	166
References	167

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1. 1: Σχηματική απεικόνιση του υπολογισμού του διαθέσιμου χώρου για τα κάτω άκρα, βάση του seat pitch και του πάχους του καθίσματος.....	21
Εικόνα 1. 2: Καθίσματα παλαιότερου τύπου με μεγαλύτερο πάχος.	22
Εικόνα 1. 3: Λεπτότερα καθίσματα νέου τύπου.	23
Εικόνα 1. 4: Η απόσταση μεταξύ του πίσω μέρους των γλουτών και του εξωτερικού μέρους του γονάτου.....	24
Εικόνα 1. 5: Η απόσταση μεταξύ της πίσω μεριάς του γονάτου ενός καθιστού ατόμου και του πατώματος.	26
Εικόνα 1. 6: Η απόσταση μεταξύ του πίσω μέρους των γλουτών και του πίσω μέρους του γονάτου ενός καθήμενου ατόμου.....	28
Εικόνα 1. 7: Καθίσματα τύπου όρθιων-καθιστών.	29
Εικόνα 1. 8: Το ύψος των ώμων ενός καθήμενου ατόμου από την έδρα του καθίσματος.....	31
Εικόνα 1. 9: Το ύψος ενός καθήμενου ατόμου από την έδρα του καθίσματος.....	32
Εικόνα 1. 10: Στάσεις σώματος που παρατηρήθηκαν σε άτομα που έβλεπαν τηλεόραση (Rosmalen et al., 2010).	33
Εικόνα 1. 11: Ιδανική κατανομή πιέσεων σε αυτοκίνητα σύμφωνα με τον Zenk (2008) και τον Mergl (2006). Εάν υποθέσουμε ότι η στάση του σώματος στις αεροπορικές θέσεις είναι παρόμοια σε κάποιες περιπτώσεις, τότε αυτή είναι η ιδανική κατανομή πιέσεων και σε αυτή την περίπτωση.	34
Εικόνα 1. 12: Το πλάτος των γοφών σε καθήμενο άτομο και το πλάτος των ώμων.	35
Εικόνα 1. 13: Πρόβλημα έλλειψης χώρου ανάλογα με το μέγεθος του επιβάτη.	36
Εικόνα 1. 14: Υπολογισμός της απόστασης μεταξύ της κορυφής του κεφαλιού και της ευθείας των ώμων, βάση του ύψους ενός καθήμενου και του ύψους των ώμων του ίδιου ατόμου.....	37
Εικόνα 1. 15: Παράδειγμα ενισχυμένου πλαϊνού που διευκολύνει τη στήριξη του κεφαλιού.....	39

Εικόνα 1. 16: Παράδειγμα πρόσθετου πλαϊνού που διευκολύνει τη στήριξη του κεφαλιού.....	39
Εικόνα 1. 17: Το ύψος του αγκώνα ενός καθιστού ατόμου από την έδρα του καθίσματος.....	40
Εικόνα 1. 18: Διαφορά στη στάση του σώματος όταν τα υποβραχίονια είναι σε σωστό ύψος και όταν είναι ψηλότερα από το ενδεδειγμένο.....	41
Εικόνα 1. 19: Η απόσταση από αγκώνα σε αγκώνα ενός καθήμενου ατόμου.	42
Εικόνα 1. 20: Η απόσταση μεταξύ του αγκώνα και της άκρης των δαχτύλων.	43
Εικόνα 1. 21: Το σχήμα του καθίσματος στην έρευνα του Kroemer κ.ά..	45
Εικόνα 1. 22: Αρχικά τα καθίσματα είχαν γήινους χρωματισμούς.47	
Εικόνα 1. 23: Στη συνέχεια χρησιμοποιούνταν πιο έντονα χρώματα για τη βελτίωση της διάθεσης των επιβατών.	47
Εικόνα 1. 24: Πλέον επιλέγονται συνήθως αποχρώσεις του μπλε για πιο επαγγελματικό αποτέλεσμα.	48
Εικόνα 1. 25: Ακόμα ορισμένες εταιρείες επιλέγουν απαλά χρώματα για τα καθίσματά τους.	48
Εικόνα 1. 26: Ύπαρξη υποδοχής για κινητό τηλέφωνο ή και tablet στο ατομικό τραπέζι.	50
Εικόνα 1. 27: Νέα σχεδίαση με προσωπικό ντουλάπι αντί της τσέπης του καθίσματος.....	52
Εικόνα 2. 1: Οπτικοποίηση πηγών θορύβου για 1000Hz και 2000Hz σε αεροσκάφος σε κατάσταση προετοιμασίας προσγείωσης, με κατεβασμένο το σύστημα προσγείωσης και τα πτερύγια καμπυλότητας, σε υψόμετρο 60 μέτρα και ταχύτητα πτήσης 60 m/s.	53
Εικόνα 2. 2: Σύγκριση πηγών θορύβου το 1960 και το 1990 σε αεριωθούμενα αεροσκάφη (πηγή: Rolls-Royce 2005).	55
Εικόνα 2. 3: Σύστημα προσγείωσης ενός Boeing 777.	56
Εικόνα 2. 4: Ρεύματα αέρα με διαφορετικές ταχύτητες δημιουργούν τριβή μεταξύ τους.	58

Εικόνα 2. 5: Τις ανέφελες νύχτες με άπνοια δημιουργείται θερμοκρασιακή αναστροφή κοντά στο έδαφος.....	58
Εικόνα 2. 6: Θερμοκρασιακή αναστροφή και ο διατμητικός άνεμος που δημιουργείται.....	58
Εικόνα 2. 7: Όψη κινητήρα ενός Boeing 777 εσωτερικά από το περίβλημά του.....	60
Εικόνα 2. 8: Η βοηθητική μονάδα ισχύος ενός Boeing 787 στο πίσω μέρος του αεροσκάφους.....	62
Εικόνα 2. 9: Πριονωτά μοτίβα στο ακροφύσιο ενός κινητήρα, που ονομάζονται chevrons.....	66
Εικόνα 2. 10: Ανάμειξη αέρα διαφορετικών ιδιοτήτων και η ζώνη διάτμησης μεταξύ τους.....	67
Εικόνα 2. 11: Διαφορετικές εντάσεις δονήσεων και οι επιπτώσεις τους κατά τη διάρκεια της πτήσης.....	69
Εικόνα 2. 12: Η επίδραση των ανοδικών και καθοδικών ρευμάτων στην τελική προσέγγιση του αεροσκάφους.....	70
Εικόνα 2. 13: Νέφη καλοκαιρίας ή αλλιώς σωρείτες.....	71
Εικόνα 2. 14: Στρόβιλοι δημιουργούμενοι από εμπόδια στη ροή του αέρα.....	72
Εικόνα 2. 15: Στρόβιλοι δημιουργούμενοι από κύματα υπήνεμης πλευράς.....	73
Εικόνα 2. 16: Δίνες ακροπτερυγίου, δημιουργούμενες από την κυκλική κίνηση του αέρα γύρω από το ακροπτερύγιο.....	74
Εικόνα 2. 17: Οι δίνες ακροπτερυγίου παρασύρονται από τον άνεμο.....	74
Εικόνα 2. 18: Παραμορφωμένη λεπίδα που αυξάνει τις δονήσεις στο αεροσκάφος.....	75
Εικόνα 2. 19: Πρόσκρουση σμήνους πτηνών στους κινητήρες αλλά και σε ολόκληρο το αεροσκάφος.....	76
Εικόνα 2. 20: Πτερυγισμός σε κατάσταση απώλειας στήριξης, κατά τον οποίο υπάρχει αποκόλληση της ροής του αέρα.....	79
Εικόνα 2. 21: Με δύο ανεξάρτητες διαστάσεις, τη διέγερση και την ευχαρίστηση, μπορούν να οπτικοποιηθούν οι αντιδράσεις των ατόμων στα ερεθίσματα του περιβάλλοντός τους, σύμφωνα με τον Russell (1980).	82

Εικόνα 2. 22: Ο μέσος βαθμός διέγερσης και ευχαρίστησης για τους 18 συνδυασμούς ήχου και δόνησης. Οι διαφορετικοί ήχοι αναπαρίστανται με διαφορετικά σύμβολα, ενώ οι αριθμοί υποδηλώνουν τον τύπο της δόνησης, 1: χωρίς δόνηση, 2: 16Hz δόνηση, 3: 95Hz δόνηση. 86

Εικόνα 2. 23: Αξιολογήσεις προτιμήσεων για τους 18 συνδυασμούς ήχων και δονήσεων. Οι συνδυασμοί χωρίζονται σε δυσάρεστοι, ουδέτεροι και ευχάριστοι στην κλίμακα ευχαρίστησης και χαμηλής και υψηλής ενεργοποίησης στην κλίμακα ενεργοποίησης. Οι γραμμές συνδέουν συνδυασμούς με ίδιου τύπου δόνηση, μηδενική, 16Hz ή 95Hz. Η κλίμακα προτίμησης κυμαίνεται από 10 έως 90. 88

Εικόνα 3. 1: Το χρώμα των αντικειμένων αλλά και το υλικό τους έχει σημαντική επίδραση στην αίσθηση των επιβατών για το περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται, αλλά και το βαθμό άνεσης που αισθάνονται. 91

Εικόνα 3. 2: Πιο ομοιόμορφοι χρωματισμοί και συντηρητικές επιλογές δημιουργούν στους επιβάτες τελείως διαφορετική αίσθηση από ότι περιβάλλοντα με περισσότερους και πιο ιδιαίτερους χρωματισμούς. 91

Εικόνα 3. 3: Με τη χρήση έγχρωμου φωτισμού, ολόκληρο το περιβάλλον της καμπίνας διαμορφώνεται κατάλληλα, ώστε να παρέχει την επιθυμητή άνεση στους επιβάτες, καλύπτοντας τις απαιτήσεις τους την εκάστοτε χρονική στιγμή. 92

Εικόνα 3. 4: Από τα ουδέτερα χρώματα, το λευκό, το μαύρο, το γκρι και το καφέ επηρεάζουν το καθένα διαφορετικά τους επιβάτες, όταν επιλεγθεί για αντικείμενα της καμπίνας. 94

Εικόνα 3. 5: Από τα θερμά χρώματα, το κόκκινο, το κίτρινο, το πορτοκαλί και το ροζ επηρεάζουν και αυτά το καθένα διαφορετικά τους επιβάτες, όταν επιλεγθεί για αντικείμενα της καμπίνας. 95

Εικόνα 3. 6: Από τα ψυχρά χρώματα, το πράσινο, το μπλε και το μοβ επηρεάζουν και αυτά το καθένα διαφορετικά τους επιβάτες, όταν επιλεγθεί για αντικείμενα της καμπίνας. 96

Εικόνα 3. 7: Κατοπτρική αντανάκλαση παράλληλων δεσμών φωτισμού που πέφτουν σε μία επίπεδη επιφάνεια (παράλληλο μονοπάτι ακτινών), σε μία κοίλη επιφάνεια (συγκλίνουσες ακτίνες) και σε μία κυρτή επιφάνεια (διάχυτες ακτίνες). 98

Εικόνα 3. 8: Διαφορετικές τιμές λαμπρότητας για επιφάνειες με ίδιο βαθμό ανάκλασης, λόγω διαφορών στο φως που προσπίπτουν σε αυτές.....	100
Εικόνα 3. 9: Θερμά και ψυχρά χρώματα.....	102
Εικόνα 3. 10: Θερμοκρασίες χρωμάτων στην κλίμακα Kelvin.	102
Εικόνα 3. 11: Διαφορετικές θερμοκρασίες στο χρώμα φωτισμού δημιουργούν τελείως διαφορετική αίσθηση στα άτομα.	103
Εικόνα 3. 12: Ανάλογα με τις απαιτήσεις στον εκάστοτε χώρο κάθε δεδομένη χρονική στιγμή, η κατάλληλης θερμοκρασίας χρώματος φωτισμού διαφέρει.	104
Εικόνα 3. 13: Σύνοψη της σειράς των σεναρίων φωτισμού σε όλες τις έξι πειραματικές συνεδρίες (Y = κίτρινο, B = μπλε).....	106
Εικόνα 3. 14: Ο έγχρωμος φωτισμός προσδίδει σε όλο το περιβάλλον τις ιδιότητες του χρώματος που έχει επιλεγθεί και καλύπτει τις εκάστοτε ανάγκες των ατόμων.....	111
Εικόνα 3. 15: Ανάλογα με τον τύπο της αχρωματοψίας ενός ατόμου, τα χρώματα που αδυνατεί να αντιληφθεί και συγχέει μεταξύ τους διαφέρουν.....	121
Εικόνα 3. 16: Σύγχυση χρωμάτων ανάλογα με τον τύπο αχρωματοψίας και πως επηρεάζεται η όραση ενός ατόμου.....	122
Εικόνα 3. 17: Ποσοστό ατόμων που πάσχουν από διαφορετικούς τύπους αχρωματοψίας.....	122
Εικόνα 3. 18: Ο αστιγματισμός, η μυωπία και η υπερμετρωπία επηρεάζουν με διαφορετικό τρόπο την όραση των ατόμων και έτσι οι ανάγκες των ατόμων που πάσχουν διαφέρουν.....	124
Εικόνα 3. 19: Φωτισμός "Mood Light" σε καμπίνα αεροσκάφους.....	127
Εικόνα 3. 20: Τεχνητό ξημέρωμα με κατάλληλο φωτισμό, για πιο ομαλή μετάβαση στη νέα ζώνη ώρας του προορισμού.....	128
Εικόνα 3. 21: Απεικόνιση έναστρου ουρανού στην οροφή καμπίνας αεροσκάφους.....	129
Εικόνα 4. 1: Απομάστευση αέρα από κινητήρα, σε προηγούμενο στάδιο από την έγχυση καυσίμου.....	131

Εικόνα 4. 2: Βασική λειτουργία συστήματος ψύξης αέρα της καμπίνας του αεροσκάφους.	132
Εικόνα 4. 3: Αγωγοί εισόδου αέρα κρούσης και εξόδου αυτού..	135
Εικόνα 4. 4: Ατομικοί αεραγωγοί στην καμπίνα του αεροσκάφους, τοποθετημένοι πάνω από τα καθίσματα των επιβατών.	136
Εικόνα 4. 5: Βαλβίδα εκροής αερίων και απελευθέρωσης πίεσης.	137
Εικόνα 4. 6: Fume event στην καμπίνα του αεροσκάφους.....	139
Εικόνα 4. 7: Διαφορές στα ποσοστά υγρασίας σε όλες τις κατηγορίες θέσεων της καμπίνας, χωρίς και με τη χρήση ενεργών υγραντήρων στην πρώτη θέση.....	146
Εικόνα 4. 8: Ο αέρας έχει μάζα.....	148
Εικόνα 4. 9: Διαμόρφωση ατμοσφαιρικής πίεσης ανάλογα με το υψόμετρο.	149
Εικόνα 4. 10: Πρόσληψη οξυγόνου από δεξαμενή πεπιεσμένου οξυγόνου, με τη χρήση σωλήνα.	150
Εικόνα 4. 11: Χρήση μάσκας προσώπου, για την πιο αξιόπιστη λήψη οξυγόνου, από δεξαμενή πεπιεσμένου οξυγόνου.....	151
Εικόνα 4. 12: Ύπαρξη τρύπας στο πίσω μέρος του αεροσκάφους.	152
Εικόνα 4. 13: Η βαλβίδα εκροής αερίων και απελευθέρωσης πίεσης του αεροσκάφους.	153
Εικόνα 4. 14: Εμβολοφόρο αεροσκάφος - Boeing Stratocruiser.	153
Εικόνα 4. 15: Από τα πρώτα αεριωθούμενα αεροσκάφη – Boeing 707.....	154
Εικόνα 4. 16: Σύγχρονο αεροσκάφος – MD-88.....	154
Εικόνα 4. 17: Το πιο πρόσφατο μοντέλο της εταιρείας Boeing – Boeing 787.	155
Εικόνα 4. 18: Στάδια λειτουργίας κινητήρα αεροσκάφους.....	155
Εικόνα 4. 19: Πραγματικό και εικονικό υψόμετρο καμπίνας κατά τη διάρκεια της πτήσης.....	157
Εικόνα 4. 20: Σύστημα ελέγχου πίεσης των Boeing 757 & 767.....	159
Εικόνα 4. 21: Μηχανισμός παραγωγής οξυγόνου και ατομικές μάσκες.....	160

Εικόνα 4. 22: Υλικά που χρησιμοποιούνται για το σκελετό του Boeing 787..... 161

Εικόνα 4. 23: Διαφοροποίηση του υψομέτρου στο οποίο βρίσκεται η τροπόσφαιρα, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και σχηματισμός αεροχειμάρρων..... 163

Πίνακας πινάκων

Πίνακας 1. 1: Μεγέθη θέσεων σε διαφορετικές αεροπορικές εταιρείες (Rutherford,1998). 30

Πίνακας 2. 1: Περιγραφή των ψυχοακουστικών μετρήσεων, της αντιληπτικής και συναισθηματικής αξιολόγησης, των έξι ήχων. 84

Πίνακας 3. 1: Παράγοντες αντανάκλασης κοινών μετάλλων, βαμμένων επιφανειών και υλικών για κατασκευή κτηρίων. 97

Πίνακας 3. 2: Καταστάσεις φωτισμού με τις αντίστοιχες RGB τιμές που έχουν επιλεγεί, τα μετρημένα μέσα κεντροειδή μήκη κύματος, τις χρωματικές συντεταγμένες και την ένταση του φωτισμού..... 105

Πίνακας 3. 3: Περιγραφική στατιστική και ανάλυση της διακύμανσης με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις, για τις επιπτώσεις του χρώματος φωτισμού στην αντίληψη και στην αξιολόγηση του φωτισμού. 107

Πίνακας 3. 4: Περιγραφική στατιστική και ανάλυση της διακύμανσης με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις, για τις επιπτώσεις του χρώματος φωτισμού στην αντίληψη και στην αξιολόγηση των περιβαλλοντικών συνθηκών. 108

Πίνακας 3. 5: Περιγραφική στατιστική και ανάλυση της διακύμανσης με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις, για τις επιπτώσεις του χρώματος φωτισμού στην ψυχολογική και πνευματική ευεξία..... 110

Πίνακας 3. 6: Τυπικές τιμές φωτεινότητας επιφανειών σε lux, για καθημερινές εργασίες και ευρείας χρήσης χώρους..... 116

Πίνακας 3. 7: Προδιαγραφές φωτισμού σε lx, για διαφορετικούς χώρους και διαφορετικές δραστηριότητες, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του CIE..... 118

Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν το βαθμό άνεσης των επιβατών των αεροσκαφών. Γενικά, ως άνεση θεωρείται μία κατάσταση σωματικής και διανοητικής ευεξίας, εύκολη, ικανοποιητική, απολαυστική, ευχάριστη, ενθαρρυντική, ανακουφιστική, καθησυχαστική, χαρούμενη, εύθυμη, με έλλειψη ανησυχίας και δυσκολίας. Η λέξη άνεση υποδηλώνει δηλαδή μία θετική συνθήκη ή τουλάχιστον την απουσία αρνητικής. Στην άνεση των επιβατών όμως, πέραν των ιδιοτήτων των αντικειμένων και του περιβάλλοντος της καμπίνας, υποκειμενικά στοιχεία συνδράμουν επίσης ουσιαστικά. Η πολυπλοκότητα του όρου αντικατοπτρίζεται στις πολυάριθμες εφαρμογές του και τους τόσους παράγοντες που μπορούν να την επηρεάσουν.

Πιο συγκεκριμένα, οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την άνεση των επιβατών ενός αεροσκάφους είναι η εργονομία της θέσης, οι ήχοι και οι δονήσεις στην καμπίνα, ο φωτισμός και το χρώμα των αντικειμένων, αλλά και άλλες περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως η θερμοκρασία στο εσωτερικό της καμπίνας και τα ποσοστά υγρασίας. Ο σχεδιασμός ενός εργονομικού και άνετου καθίσματος είναι αρκετά σύνθετη υπόθεση, καθώς όχι μόνο εξαρτάται από πολλούς επιμέρους παράγοντες, αλλά πρέπει να ικανοποιεί και τις ανάγκες και απαιτήσεις ατόμων με μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ τους, τόσο στο ύψος όσο και στο βάρος, μιας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από ένα μικρό παιδί μέχρι τον ψηλότερο και βαρύτερο άντρα.

Οι ήχοι και οι δονήσεις που γίνονται αισθητοί στην καμπίνα του αεροσκάφους μπορούν να δημιουργηθούν λόγω της ομαλής κίνησης του αέρα, της φυσιολογικής λειτουργίας του κινητήρα και των υπόλοιπων μηχανικών μερών του αεροσκάφους, αλλά και ανωμαλιών στα παραπάνω. Αποτελούν στοιχειώδη παράγοντα της επιρροής της άνεσης, καθώς τόσο οι ήχοι όσο και οι δονήσεις, δημιουργούν ένα δυσάρεστο περιβάλλον και μπορούν να επιδράσουν αρνητικά όχι μόνο στην ψυχολογία των επιβατών αλλά ακόμα και στην υγεία τους. Υψηλής έντασης θόρυβοι μπορούν να δημιουργήσουν μόνιμα προβλήματα ιδίως στην ακοή, ενώ οι δονήσεις ανάλογα με τη συχνότητά τους γίνονται αισθητές με διαφορετικό τρόπο. Καθώς μεταφέρονται στο ανθρώπινο σώμα από το σκελετό του αεροσκάφους, μπορούν να προκαλέσουν έντονο αίσθημα κόπωσης αλλά και ανησυχίας στους επιβάτες. Τέλος, ο συνδυασμός των ήχων μαζί με τις δονήσεις που γίνονται αντιληπτές

δημιουργούν σαν σύνολο ένα περιβάλλον που έχει ακόμα πιο έντονη επίδραση στην αίσθηση άνεσης των επιβατών.

Ο φωτισμός και το χρώμα των αντικειμένων αποτελούν σπουδαίες σημασίας στοιχεία για την άνεση, καθώς επηρεάζουν ποικιλοτρόπως τους επιβάτες. Μπορούν να διαμορφώσουν με διαφορετικό τρόπο την αίσθηση των επιβατών για το μέγεθος του χώρου, τη θερμοκρασία του, το κατά πόσο είναι καθαρός, αλλά και την ποιότητα του αέρα. Επίσης, έχουν σημαντικό αντίκτυπο στο κατά πόσο ένας επιβάτης αισθάνεται ένταση ή ηρεμία, πνευματική διέγερση ή χαλάρωση κ.ά.. Ακόμα, η επιλογή των υλικών των αντικειμένων συνδράμει ουσιαστικά στο βαθμό άνεσης των ατόμων, καθώς υλικά με μεγάλο βαθμό ανακλαστικότητας για παράδειγμα θα μπορούσαν να προκαλούν θάμβωση της όρασης των επιβατών και έτσι να δυσχεραίνουν πολύ την κατάστασή τους.

Τέλος, οι περιβαλλοντικές συνθήκες που καθορίζουν την ποιότητα του αέρα της καμπίνας, όπως η θερμοκρασία, τα ποσοστά υγρασίας, η ατμοσφαιρική πίεση αλλά και άλλες, αποτελούν ιδιαίτερα σημαντικούς παράγοντες επιρροής όχι μόνο της άνεσης, αλλά και της υγείας των επιβατών. Οι υπάρχουσες έρευνες στον τομέα αυτόν είναι περιορισμένες, αλλά είναι εμφανής η σοβαρότητα με την οποία επενεργούν στην αίσθηση άνεσης των επιβατών. Με τη συνεχή και ραγδαία αύξηση του αριθμού των επιβατών των αεροσκαφών αναγκαία κρίνεται η βελτίωση της υπάρχουσας κατάστασης, καθώς οι επιβάτες εκτίθενται σε ένα περιβάλλον χαμηλής σχετικής υγρασίας, αυξημένης κοσμικής ακτινοβολίας, μειωμένης ατμοσφαιρικής πίεσης, αλλά και μολυσμένο με διάφορους ρύπους όπως το όζον, με δυσμενή αποτελέσματα.

1. Παράγοντες που επηρεάζουν την εργονομία της θέσης

Εισαγωγή

Η άνεση ενός καθίσματος αεροσκάφους επηρεάζεται ποικιλοτρόπως από πολλαπλά επιμέρους χαρακτηριστικά του καθίσματος αυτού. Υψίστης σημασίας παράγοντας είναι ο ωφέλιμος χώρος που έχει κάθε επιβάτης για τα κάτω άκρα του. Καθώς ο χρόνος που περνάει στο αεροσκάφος είναι συνήθως πολύς και ο χώρος που διαθέτει περιορισμένος, η δυνατότητα του επιβάτη να μπορεί να αλλάξει στάση στα πόδια του επηρεάζει σαφώς την άνεση που νιώθει κατά τη διάρκεια της πτήσης. Επιπρόσθετα, πολύ σημαντική αιτία που μεταβάλλει το διαθέσιμο χώρο είναι εκτός από την απόσταση μεταξύ δύο καθισμάτων της ίδιας κάθετης σειράς και το πάχος του καθίσματος. Αεροπορικές θέσεις τοποθετημένες σε μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ τους μπορεί να προσφέρουν περιορισμένη άνεση στον επιβάτη λόγω μεγάλου πάχους του καθίσματος ενώ αντίθετα, ένα κάθισμα τοποθετημένο σε μικρότερη απόσταση από το μπροστινό του μπορεί να αξιολογηθεί ως πιο άνετο σε περίπτωση που το πάχος του είναι μικρότερο. Καθοριστικό ρόλο στο βαθμό που ένας επιβάτης αντιλαμβάνεται μία αεροπορική θέση ως βολική διαδραματίζει τόσο η κλίση του καθίσματος όσο και η δυνατότητα τροποποίησής της. Η κλίση αυτή επηρεάζει την κατανομή της πίεσης που ασκείται στο ανθρώπινο σώμα και κατ' επέκταση την καταπόνηση που δέχεται ο επιβάτης.

Ένα από τα σπουδαιότερα χαρακτηριστικά ενός καθίσματος είναι το πλάτος του. Ο χώρος που διαθέτει κάθε επιβάτης θα πρέπει σαφώς να επαρκεί ώστε να μπορεί να καθίσει, αλλά εκτός αυτού, για να νιώθει άνεση και ένας ελάχιστος επιπλέον χώρος είναι απαραίτητος για να μπορεί να αλλάξει στάσεις σώματος και να στρέφεται. Επικουρικά, το ύψος της πλάτης του καθίσματος είναι πολύ σημαντικό, καθώς αφενός πρέπει να επαρκεί για τη στήριξη της κεφαλής ενός πολύ ψηλού ανθρώπου και αφετέρου να μην υπερβαίνει το απολύτως αναγκαίο ύψος, αφού ένα πολύ ψηλό κάθισμα περιορίζει την ορατότητα κοντότερων επιβατών των καθισμάτων που ακολουθούν. Θεμελιώδης παράγοντας για την άνεση αποτελεί το προσκέφαλο της αεροπορικής θέσης. Στοιχεία του προσκέφαλου, όπως το μέγεθος, το σχήμα του αλλά και η δυνατότητα του να κινείται και να προσαρμόζεται ανάλογα με τις ανάγκες κάθε χρήστη το καθιστούν βολικό ή μη. Άλλο στοιχείο που επηρεάζει ουσιαστικά την αεροπορική θέση είναι το υποβραχιόνιό της. Από τη μία πρέπει να είναι επαρκούς μεγέθους ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί

ταυτοχρόνως και από τους δύο επιβάτες διπλανών θέσεων, από την άλλη όμως δεν θα πρέπει να καταλαμβάνει υπερβολικά πολύ χώρο καθώς έτσι θα περιορίζει τον διαθέσιμο χώρο του καθήμενου. Το υποβραχιόνιο επίσης, μπορεί να διευκολύνει τους επιβάτες εάν τους δίνετε η δυνατότητα να το κινούν κατά βούληση.

Τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν έως τώρα, δεν μπορούν από μόνα τους να καταστήσουν μία αεροπορική θέση άνετη ή μη. Η τρισδιάστατη μορφολογία και οι καμπύλες της θέσης αποτελούν επίσης αναπόσπαστο στοιχείο αυτής και μπορούν να δημιουργήσουν ένα σχήμα καθίσματος που τελικά να παρέχει τις κατάλληλες συνθήκες για την άνεση του επιβάτη. Όλοι οι παραπάνω παράγοντες, επηρεάζονται καταλυτικά και από τη σκληρότητα του καθίσματος. Η επιλογή του υλικού που απαρτίζει το εσωτερικό του καθίσματος, επιβάλλεται να γίνει με γνώμονα την ελαστικότητα, τη στήριξη που προσφέρει και την ενδοτικότητα του, ώστε να παρέχει την απαραίτητη άνεση στον επιβάτη. Δεν θα πρέπει όμως να παραβλέψουμε και το γεγονός ότι πρόκειται για ένα κάθισμα που προορίζεται για χρήση σε αεροσκάφη συνεπώς θα πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη το ειδικό βάρος του υλικού και να προτιμηθεί τελικά υλικό συνεκτιμώντας και τον παράγοντα αυτό για να περιοριστεί κατά το δυνατό το συνολικό βάρος. Εκτός από το εσωτερικό υλικό του καθίσματος, και το εξωτερικό υλικό της επένδυσής του αλλά και το χρώμα αυτού συνδράμουν στο να θεωρηθεί μία αεροπορική θέση βολική από έναν επιβάτη. Η χρωματική επιλογή επηρεάζει την αντίληψη που έχει ο καθήμενος για τη θέση αυτή, καθώς ορισμένα χρώματα μπορεί να θεωρηθεί ότι καθιστούν τη θέση πιο ευχάριστη από μία ίδιων προδιαγραφών κατά τα λοιπά στοιχεία της. Η ύφανση της ταπετσαρίας που επενδύει το κάθισμα επιδρά τόσο στο αίσθημα καθαρότητας που νιώθει ο επιβάτης και επακολουθώντας στην άνεσή του, όσο και στην πιθανότητα εκδήλωσης αλλεργικών συμπτωμάτων.

Στο κομμάτι του καθίσματος περιλαμβάνεται επίσης το ατομικό τραπεζάκι, το οποίο με σωστό και έξυπνο σχεδιασμό, μπορεί και αυτό με τον τρόπο του να συνδράμει στη δημιουργία ενός βολικού καθίσματος. Τέλος, η ύπαρξη, το μέγεθος καθώς και η τοποθεσία της τσέπης του καθίσματος, μπορεί να επιφέρουν επιπρόσθετη άνεση στον επιβάτη του αεροσκάφους. Η τσέπη του καθίσματος προσφέρει επιπλέον χρήσιμο αποθηκευτικό χώρο στον επιβάτη, ωστόσο, πρέπει να γίνεται σωστή τοποθέτησή της ώστε να μην περιορίζει τον ωφέλιμο χώρο του.

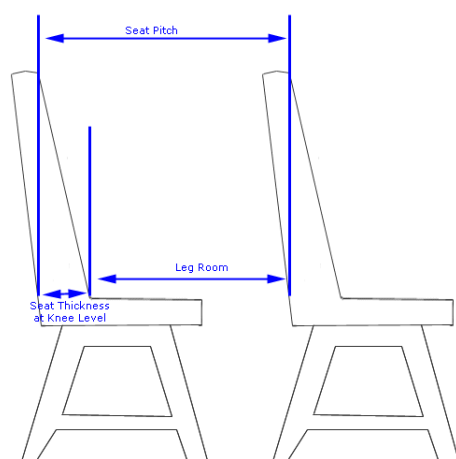
Η δημιουργία όμως ενός άνετου καθίσματος είναι μία ιδιαίτερα μεγάλη πρόκληση από πολλές απόψεις. Αρχικά, ο σχεδιασμός αυτός καθαυτός είναι δύσκολος καθώς άνθρωποι διαφόρων μορφολογικών

χαρακτηριστικών πρόκειται να χρησιμοποιήσουν το κάθισμα αυτό. Τα καθίσματα των αεροσκαφών χρησιμοποιούνται τόσο από άντρες, όσο και από γυναίκες και παιδιά, οι οποίοι διαφέρουν μεταξύ τους πάρα πολύ στο ύψος, στο βάρος και στη λοιπή σωματική διάπλαση. Ο απαιτούμενος χώρος για να νιώσει ένας άνδρας άνεση ενώ είναι καθήμενος είναι σαφώς μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο χώρο που χρειάζεται μία γυναίκα, καθώς το μέσο ύψος των ανδρών είναι μεγαλύτερο από αυτό των γυναικών. Η άνεση των επιβατών, πέρα από προσδοκία των ιδίων, είναι στόχος και των αεροπορικών εταιρειών. Σκοπός των εταιρειών αυτών είναι η ευχαρίστηση των επιβατών, ώστε να διαφημίσουν θετικά την εταιρεία τους και να επιλεγθούν στο μέλλον, τόσο από τους ίδιους, όσο και από άτομα του περίγυρού τους. Παρ' όλα αυτά, προκειμένου να μεγιστοποιήσουν τον αριθμό των εισιτηρίων σε κάθε πτήση και συνεπώς των χρημάτων που επιφέρουν αυτές, τείνουν να περιορίσουν το χώρο που καταλαμβάνει κάθε θέση και επακολούθως το διαθέσιμο χώρο κάθε επιβάτη.^{[1][2]}

1.1. Ο χώρος για τα κάτω άκρα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο χώρος που διαθέτει κάθε επιβάτης για τα κάτω άκρα του επηρεάζει δραματικά την άνεση την οποία νιώθει κατά την διάρκεια της πτήσης. Είναι γεγονός ότι οι ίδιες οι αεροπορικές εταιρίες επιθυμούν να καθιστούν όσο το δυνατόν μικρότερο το χώρο αυτό για εξοικονόμηση χώρου και αύξηση των διαθέσιμων καθισμάτων. Επιπρόσθετα, όσον αφορά την άνεση των επιβατών, υπάρχει ένα σημείο καμπής κατά το οποίο αντί να αυξάνεται η άνεσή τους παρέχοντάς τους περισσότερο διαθέσιμο χώρο, τείνει να μειώνεται. Για τους λόγους αυτούς ένας σωστός και έξυπνος σχεδιασμός προϋποθέτει να προσφέρεται ο ελάχιστος απαραίτητος χώρος για την κάλυψη όλων των επιβατών, ακόμη όμως και των υψηλότερων, δίχως να περιορίζεται η άνεση τους. Στον περιορισμένο χώρο που διαθέτει κάθε επιβάτης, χρειάζεται πολλές φορές να περνάει αρκετό χρόνο και έτσι να επιδίδεται σε αρκετές, διαφορετικές δραστηριότητες. Ιδιαίτερα σε μεγαλύτερες πτήσεις, οι επιβάτες επιθυμούν να κοιμηθούν, δραστηριότητα η οποία απαιτεί ειδικές συνθήκες άνεσης. Όταν αυτές δεν καλύπτονται, τα άτομα αναγκάζονται να αλλάζουν συχνά στάση σώματος, έως ότου βρουν μία βολική για τη συγκεκριμένη δραστηριότητα. Συνεπώς, ο χώρος που διαθέτουν για τα κάτω άκρα τους πρέπει να επαρκεί για να μπορούν να στρέφονται και να κινούνται χωρίς δυσκολία.

Γεγονός το οποίο δεν θα πρέπει να παραληφθεί είναι ότι οι αεροπορικές θέσεις χρησιμοποιούνται τόσο από άντρες όσο και από γυναίκες και παιδιά. Για αυτό ακριβώς το λόγο, θα πρέπει να τονιστούν οι σημαντικές ανθρωπομετρικές διαφορές τους. Οι άντρες καταλαμβάνουν περισσότερο χώρο μίας θέσης συνήθως, καθώς πρόκειται κατά μέσο όρο για ψηλότερα άτομα με μεγαλύτερο σωματικό βάρος. Τα παιδιά από την άλλη, παρόλο που είναι πιο μικρόσωμα, με μικρότερο ύψος και λιγότερο βάρος, κάθονται και αυτά στα ίδια καθίσματα λόγω του ότι δεν υπάρχουν ειδικά σχεδιασμένες θέσεις για αυτά. Επακόλουθο αυτού είναι ότι αισθάνονται περιορισμένη άνεση, καθώς τα δικά τους ανθρωπομετρικά στοιχεία δεν αποτελούν βασικά κριτήρια κατά το σχεδιασμό. Εκτός από τις διαφορές που προκύπτουν λόγω του φύλου, αξιοσημείωτες είναι και οι διαφορές που σημειώνονται ανάμεσα στις ξεχωριστές φυλές του κόσμου στα μεγέθη αυτά. Απίστευτες είναι οι αποκλίσεις που καταγράφονται στο μέσο ύψος των ανδρών για παράδειγμα, μεταξύ των Νορβηγών που καταλαμβάνουν την πρώτη θέση σε κατάταξη ύψους και των Ινδονήσιων που βρίσκονται στην τελευταία θέση. Η μεταξύ τους διαφορά είναι ολόκληρα 26,8 εκατοστά, αφού το μέσο ύψος των ανδρών στη Νορβηγία είναι 184,8 εκατοστά, σε αντιδιαστολή με αυτό των Ινδονήσιων που είναι μόλις 158 εκατοστά. Πιο συγκεκριμένα, όταν γίνεται αναφορά στο διαθέσιμο χώρο για τα κάτω άκρα εννοείται ο χώρος που καθορίζεται από δύο παραμέτρους, την απόσταση μεταξύ δύο όμοιων σημείων μεταξύ καθισμάτων της ίδιας κάθετης σειράς (η οποία αναφέρεται στην αγγλική βιβλιογραφία ως “seat pitch”) και το πάχος του καθίσματος (Εικόνα 1. 1). [3]

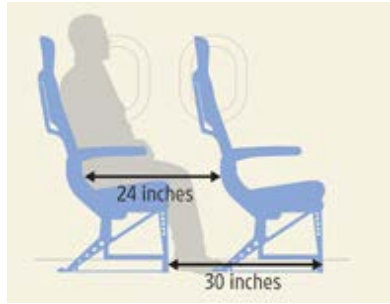


Εικόνα 1. 1: Σχηματική απεικόνιση του υπολογισμού του διαθέσιμου χώρου για τα κάτω άκρα, βάση του seat pitch και του πάχους του καθίσματος.

Όπως είναι κατανοητό λοιπόν, η παροχή ενός βολικού καθίσματος δεν εξαρτάται εξ' ολοκλήρου από την απόσταση μεταξύ δύο καθισμάτων, αλλά επηρεάζεται σημαντικά και από το πάχος του καθίσματος. Σαφώς, μεγαλώνοντας την απόσταση μεταξύ των αεροπορικών θέσεων για καθίσματα ίδιου πάχους αυξάνεται ο διαθέσιμος χώρος. Υπάρχουν όμως πολλές περιπτώσεις στις οποίες καθίσματα τοποθετημένα σε μικρότερη απόσταση μεταξύ τους παρέχουν τελικά μεγαλύτερη άνεση στους επιβάτες από άλλα τοποθετημένα σε μεγαλύτερη απόσταση, λόγω ενός λεπτότερου καθίσματος και ειδικότερα στο ύψος του γονάτου. Οι αεροπορικές εταιρείες κατανοώντας το γεγονός αυτό και εκμεταλλευόμενες το τόσο προς όφελός τους, όσο και προς όφελος των επιβατών, χρησιμοποιούν σταδιακά λεπτότερα καθίσματα. Με αυτό τον τρόπο, τους δίνεται η δυνατότητα να αξιοποιούν τον χώρο που εξοικονομούν, τοποθετώντας τα καθίσματα σε μικρότερη απόσταση μεταξύ τους αλλά και προσφέροντας μεγαλύτερο διαθέσιμο χώρο στους επιβάτες για τα κάτω άκρα τους. Χαρακτηριστικά, μία αεροπορική εταιρεία (Lufthansa) που τοποθετούσε παλαιότερα τις θέσεις της σε απόσταση 81,3 εκατοστών, χρησιμοποιώντας καθίσματα πάχους 23,1 εκατοστών, προσέφερε διαθέσιμο χώρο μόλις 58,2 εκατοστών. Με χρήση όμως νέων λεπτότερων καθισμάτων πάχους 15,2 εκατοστών, όχι μόνο έχει καταφέρει να μειώσει την απόσταση μεταξύ διαδοχικών καθισμάτων κατά 5,1 εκατοστά και να την κάνει δηλαδή 76,2 εκατοστά, αλλά έχει πετύχει ταυτόχρονα να αυξήσει το διαθέσιμο χώρο του καθήμενου σε 61 εκατοστά, δίνοντάς του επιπρόσθετα 2,8 εκατοστά (Εικόνα 1. 2 & Εικόνα 1. 3). [4]

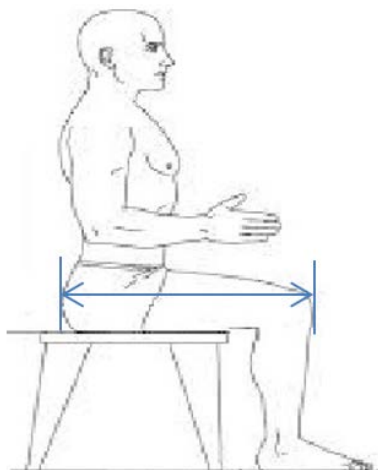


Εικόνα 1. 2: Καθίσματα παλαιότερου τύπου με μεγαλύτερο πάχος.



Εικόνα 1. 3: Λεπτότερα καθίσματα νέου τύπου.

Παρόλα αυτά, ακόμα και έτσι ο διαθέσιμος χώρος που προσφέρεται δεν είναι επαρκής σε πολλές περιπτώσεις. Άνθρωποι με μεγαλύτερα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά, συχνά, δεν μπορούν να χωρέσουν στις αεροπορικές θέσεις με άνεση. Πολύ σημαντικό ρόλο στην περίπτωση αυτή και στο κατά πόσο ο διαθέσιμος χώρος για τα κάτω άκρα ενός καθήμενου επαρκεί ή όχι, διαδραματίζει η απόσταση μεταξύ του πίσω μέρους των γλουτών και του εξωτερικού μέρους του γονάτου (Εικόνα 1. 4). Πιο συγκεκριμένα, όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, οι Νορβηγοί αποτελούν την εθνικότητα με το μεγαλύτερο μέσο ύψος ανδρών. Έτσι, στην περίπτωση τους, η απόσταση αυτή σύμφωνα με βάσεις ανθρωπομετρικών δεδομένων είναι κατά μέσο όρο 65,1 εκατοστά. Για τη διερεύνηση όμως του βαθμού άνεσης ο μέσος όρος δεν αρκεί, καθώς σε αυξημένο αριθμό ατόμων η απόσταση αυτή είναι ακόμα μεγαλύτερη. Συνυπολογίζοντας την επιθυμία για κάλυψη αναγκών τουλάχιστον του 95% των Νορβηγών λοιπόν, αυτή η απόσταση διαμορφώνεται στα 70,5 εκατοστά. Να σημειωθεί βεβαίως, ότι αυτό το μέγεθος αποτελεί τον απόλυτα αναγκαίο διαθέσιμο χώρο για τα κάτω άκρα, ώστε να μπορεί να χωρέσει το 95% των Νορβηγών, χωρίς όμως επιπλέον χώρο για να μπορεί να καθίσει με άνεση και να κινηθεί ή να αλλάξει στάση σώματος κατά τη διάρκεια της πτήσης ο άνδρας αυτός.



Εικόνα 1. 4: Η απόσταση μεταξύ του πίσω μέρους των γλουτών και του εξωτερικού μέρους του γονάτου.

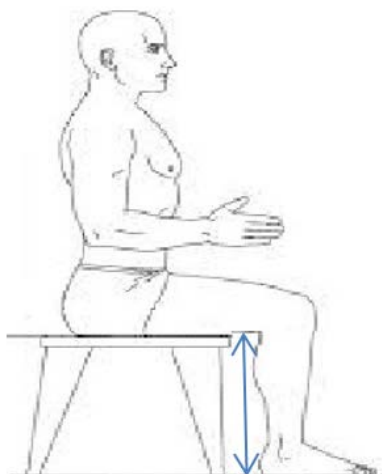
Υπολογίζοντας λοιπόν και το πάχος του καθίσματος, η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών καθισμάτων της ίδιας κάθετης σειράς θα πρέπει να είναι, για αεροπορικές θέσεις που χρησιμοποιούν καθίσματα νέου λεπτότερου τύπου, περίπου 91 εκατοστά. Το διάστημα αυτό είναι απαραίτητο για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το 95% των Νορβηγών, προσφέροντάς τους εκτός από τη δυνατότητα να χωρέσουν και ένα εύλογο μικρό περιθώριο για να μπορούν να έχουν κάποια άνεση και τη δυνατότητα να κινηθούν. Αναλογίζοντας επιπροσθέτως το γεγονός ότι πολλές αεροπορικές εταιρείες έχουν καθίσματα μεγαλύτερου πάχους, το παραπάνω διάστημα είναι απαραίτητο να είναι σαφώς πολύ μεγαλύτερο στην περίπτωση αυτή και να φτάσει ακόμα και το ένα μέτρο. Δυστυχώς, αυτή τη στιγμή, η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών καθισμάτων περιορίζεται συνήθως στα 76 με 81 εκατοστά. Ακόμα χειρότερα, σε κάποιες εταιρείες χαμηλού κόστους το διάστημα αυτό περιορίζεται μόλις στα 71 εκατοστά, ενώ μόνο σε ελάχιστες περιπτώσεις ξεπερνάει τα 91 εκατοστά. Επακόλουθο όλων των παραπάνω είναι το συμπέρασμα ότι ο διαθέσιμος χώρος που προσφέρεται για τα κάτω άκρα αυτή τη στιγμή δεν επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών μεγάλου αριθμού ανδρών της Νορβηγίας.

Γενικότερα, η απόσταση μεταξύ του πίσω μέρους των γλουτών και του εξωτερικού τμήματος του γονάτου σε παγκόσμια κλίμακα, είναι στους άνδρες 66,9 εκατοστά για να συμπεριληφθεί το 95%. Εξετάζοντας λοιπόν την απόσταση αυτή, μπορούμε εύλογα να συμπεράνουμε ότι είναι αξιοσημείωτος ο αριθμός των ανδρών που δε χωρούν καν στις αεροπορικές θέσεις. Είναι όμως σαφώς πολύ μεγαλύτερος ακόμα ο

αριθμός των ανδρών που ενώ χωρούν δε διαθέτουν τον απαραίτητο χώρο, ώστε να μπορούν να κινηθούν και να νιώσουν το κάθισμα βολικό. Οι αντίστοιχες αποστάσεις στις γυναίκες διαμορφώνονται στα 66,3 εκατοστά για το 95% των γυναικών στη Νορβηγία, χαρακτηριστικό που κάνει πολλές από αυτές με τη σειρά τους να δυσκολεύονται να καθίσουν στις υπάρχουσες αεροπορικές θέσεις, πόσο μάλλον με άνεση. Σε παγκόσμια κλίμακα αντίθετα, η απόσταση αυτή περιορίζεται στα 55,9 εκατοστά για το 95% των γυναικών και ως επακόλουθο αυτού οι γυναίκες μπορούν συνήθως να καθίσουν με μεγαλύτερη άνεση στις αεροπορικές θέσεις, έχοντας μεγαλύτερο περιθώριο για κινήσεις και αλλαγή στάσεων του σώματός τους. [5]

1.2. Το ύψος και το βάθος της έδρας του καθίσματος

Ένα άλλο χαρακτηριστικό του καθίσματος που επιδρά ουσιαστικά στο βαθμό άνεσης που νιώθει ο επιβάτης είναι το ύψος της έδρας του καθίσματος από το δάπεδο. Το ύψος αυτό είναι πολύ σημαντικό να είναι το κατάλληλο, καθώς σε αντίθετη περίπτωση μπορεί να επηρεαστεί εκτός της άνεσης και η υγεία του καθήμενου. Για τον προσδιορισμό όμως του κατάλληλου ύψους είναι αναγκαίο να αναφερθεί το ανθρωπομετρικό χαρακτηριστικό, βάση του οποίου καθορίζεται. Το στοιχείο αυτό είναι η απόσταση μεταξύ της πίσω μεριάς του γονάτου ενός καθιστού ατόμου και του πατώματος (Εικόνα 1. 5). Το ύψος του καθίσματος λοιπόν, ιδανικά πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το 88% αυτής της απόστασης και μικρότερο από 95% για σωστή στάση του σώματος. Με αυτό τον τρόπο, ο μηρός βρίσκεται σε παράλληλη θέση με την έδρα του καθίσματος, γεγονός που αποτελεί στόχο για τη μεγιστοποίηση της άνεσης του επιβάτη.



Εικόνα 1. 5: Η απόσταση μεταξύ της πίσω μεριάς του γονάτου ενός καθιστού ατόμου και του πατώματος.

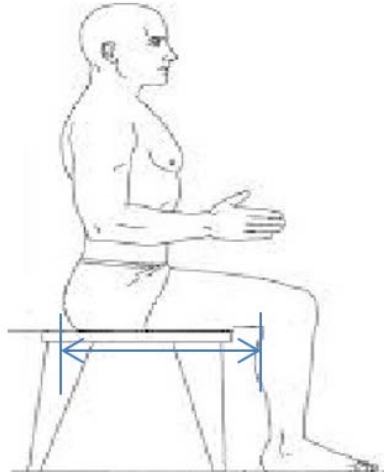
Σε περίπτωση που το ύψος της αεροπορικής θέσης είναι μεγαλύτερο από το ενδεδειγμένο, τότε η κάτω πλευρά των μηρών δέχεται επιπρόσθετες πιέσεις, με αποτέλεσμα τη μείωση της κυκλοφορίας του αίματος στα κάτω άκρα. Επακόλουθο αυτής της κατάστασης ύστερα από ορισμένο χρονικό διάστημα μπορεί να είναι το μούδιασμα των κάτω άκρων, η δημιουργία οιδήματος σε αυτά και φυσικά το αίσθημα δυσχέρειας. Στην αντίθετη περίπτωση, που το κάθισμα είναι κοντύτερο δηλαδή από το πρέπον, τα πόδια τείνουν να εκτείνονται πολύ μπροστά από το κάθισμα, με αποτέλεσμα να μετατοπίζουν το κέντρο βάρους και να αναγκάζουν τον κορμό του σώματος να κλείνει προς τα εμπρός και να απομακρύνεται από την επιφάνεια στήριξης της πλάτης. Επιπρόσθετα, ο καθήμενος αντιμετωπίζει έντονη δυσκολία στην προσπάθειά του τόσο να κάτσει όσο και να σηκωθεί, ενώ ο χώρος που απαιτείται για τα κάτω άκρα του αυξάνεται.

Σε περίπτωση όμως, που το βέλτιστο ύψος δεν είναι δυνατό να προσφερθεί σε όλους τους επιβάτες, όταν κάποιος συμβιβασμός είναι αναγκαίος για την επιλογή ενός μη τροποποιούμενου καθίσματος, κοινό για όλους, τότε είναι προτιμότερη πάντα η επιλογή χαμηλότερου καθίσματος. Για το λόγο αυτό και διότι η απόσταση μεταξύ της πίσω μεριάς του γονάτου και του πατώματος είναι μικρότερη στις γυναίκες κατά μέσο όρο, αξιοποιούνται τα στοιχεία που υπάρχουν για την απόσταση αυτή του 5% των γυναικών που έχουν τη μικρότερη, ώστε να προσδιοριστεί το κατώτερο όριο. Σε παγκόσμιο επίπεδο, αυτή είναι σύμφωνα με πίνακες ανθρωπομετρικών δεδομένων, 31,7 εκατοστά. Στο παραπάνω μέγεθος θα πρέπει να επισημανθεί όμως, ότι δεν

περιλαμβάνονται παπούτσια, που σίγουρα προσθέτουν κάποιους ακόμα πόντους. [6]

Είναι άξιο να σημειωθεί βεβαίως, ότι ένα χαμηλότερο κάθισμα, που καλύπτει τις ανάγκες των κοντύτερων γυναικών είναι βεβαίως προτιμότερο, αλλά όχι βέλτιστο για μεγάλη μερίδα του πληθυσμού. Όλα αυτά τα άτομα, για τα οποία η αεροπορική θέση είναι κοντύτερη από το ιδανικό, δε θα νιώθουν όπως προαναφέρθηκε άνεση και για αυτό το λόγο η ύπαρξη τροποποιούμενου ύψους καθίσματος θα ήταν ωφέλιμη. Επιπροσθέτως, επιθυμητό θα ήταν η πάνω μπροστινή γωνία του καθίσματος να είναι στρογγυλοποιημένη έτσι ώστε ακόμα και όταν η θέση χρησιμοποιείται από άτομα χαμηλότερου ύψους να περιορίζονται οι πιέσεις που ασκούνται στους μηρούς του. Η βάση των καθισμάτων αυτή τη στιγμή βρίσκεται στις περισσότερες αεροπορικές εταιρείες σε ύψος 42 εκατοστών, γεγονός που σημαίνει ότι για αξιοσημείωτη μερίδα του πληθυσμού, τα καθίσματα είναι ψηλότερα από το ενδεδειγμένο. Έτσι τίθεται σε κίνδυνο η υγεία των κοντύτερων επιβατών, ενώ ταυτόχρονα οι ψηλότεροι επιβάτες δυσχεραίνονται.

Αντίστοιχης σημαντικότητας στοιχείο του καθίσματος που επηρεάζει την άνεση του επιβάτη είναι το βάθος του. Όπως και στην περίπτωση του ύψους, μία αεροπορική θέση με μη κατάλληλο βάθος, μπορεί να προκαλέσει εκτός από δυσχέρεια στον επιβάτη και προβλήματα στην υγεία του, ειδικότερα σε μεγάλης διάρκειας πτήσεις. Για τον καθορισμό του σωστού βάθους όμως, είναι απαραίτητη η αναφορά του ανθρωπομετρικού στοιχείου, βάση του οποίου υπολογίζεται. Το στοιχείο αυτό ορίζεται ως η απόσταση μεταξύ του πίσω μέρους των γλουτών και του πίσω μέρους του γονάτου ενός καθήμενου ατόμου (Εικόνα 1. 6). Το βάθος ενός ιδανικού καθίσματος πρέπει να είναι μεταξύ 80% και 95% της απόστασης αυτής. Σε περίπτωση που το βάθος του καθίσματος είναι μεγαλύτερο από το ενδεικνυόμενο, τότε η μπροστινή πλευρά της θέσης ασκεί υπέρμετρη πίεση στις κλειδώσεις των κάτω άκρων, περιορίζοντας έτσι την κυκλοφορία του αίματος από και προς τα άκρα αυτά. Ιδιαίτερα σε πτήσεις μεγάλης διάρκειας το φαινόμενο αυτό μπορεί να γίνει τόσο επικίνδυνο ώστε να προκαλέσει θρομβοφλεβίτιδα, δηλαδή επιφανειακή φλεγμονή των φλεβών. Συμπληρωματικά, σε μία τέτοια περίπτωση, το άτομο τείνει να μεταφέρει το σώμα του πιο έξω στη θέση για να αποφύγει την προαναφερόμενη πίεση. Επακόλουθο αυτού είναι να μεγαλώνει η απόσταση του σώματός του από τη στήριξη της πλάτης και να αισθάνεται πόνους σε διάφορα σημεία της σπονδυλικής στήλης.



Εικόνα 1. 6: Η απόσταση μεταξύ του πίσω μέρους των γλουτών και του πίσω μέρους του γονάτου ενός καθήμενου ατόμου.

Σε αντιδιαστολή, όταν το κάθισμα έχει μικρότερο βάθος από το αρμόζων, δεν επαρκεί για την συνολική στήριξη των μυών των μηρών από αυτό και προκαλείται κλίση του σώματος προς τα εμπρός. Αν κριθεί απαραίτητη η ύπαρξη οικουμενικού μη τροποποιούμενου καθίσματος με συγκεκριμένο βάθος, αυτό είναι προτιμότερο να είναι μικρότερο αντί μεγαλύτερο του βέλτιστου, καθώς έτσι, όπως ήδη αναφέρθηκε, προκαλούνται λιγότερα προβλήματα και πιο ακίνδυνα. Στις Νορβηγίδες, τις γυναίκες με τη μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ του πίσω μέρους των γλουτών και του πίσω μέρους του γονάτου, η απόσταση αυτή για το κοντότερο 5% είναι 45,1 εκατοστά. Για τις Αμερικανίδες όμως, ίδια απόσταση είναι 7,2 εκατοστά μικρότερη, δηλαδή μόλις 37,9 εκατοστά. Φαίνεται λοιπόν ότι η εθνικότητα διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στο μέγεθος των ανθρωπομετρικών χαρακτηριστικών και κατ' επέκταση στην άνεση που νιώθουν οι επιβάτες μίας συγκεκριμένης θέσης.

Για ορισμένο τύπο καθισμάτων, καθίσματα όρθιων-καθιστών, βάθος και μόνο 30 εκατοστών μπορεί να επαρκεί, καθώς προσφέρει την απαραίτητη στήριξη του βασικότερου μέρους των μηρών (Εικόνα 1. 7). Παρ' όλα αυτά, τέτοιου είδους θέσεις, συχνά δεν προσφέρουν μεγάλο βαθμό άνεσης και σε ψηλότερα ειδικά άτομα το βάθος φαίνεται πολύ μικρότερο από το επιθυμητό. Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε το βάθος των αεροπορικών θέσεων διαφόρων εταιρειών (Πίνακας 1. 1). Όπως φαίνεται το βάθος αυτό κυμαίνεται μεταξύ 43 και 44.25 εκατοστών, δηλαδή πολύ μεγαλύτερο από το πρέπον για το 5% των Αμερικανίδων. Ακόμα και για το 50% των Αμερικανίδων το βάθος αυτό είναι μεγαλύτερο από το ιδανικό, καθώς η μέση απόσταση μεταξύ του πίσω μέρους των γλουτών και του πίσω μέρους του γονάτου στο σύνολο των

Αμερικανίδων είναι 41,7 εκατοστά. Όπως είναι κατανοητό λοιπόν, πολύ μεγάλη μερίδα των ατόμων που χρησιμοποιούν τις θέσεις αυτές δε νιώθουν την επιθυμητή άνεση, ενώ κινδυνεύουν να εμφανίσουν και ιατρικά προβλήματα. [7]



Εικόνα 1. 7: Καθίσματα τύπου όρθιων-καθιστών.

	Cat hy Paci fic	Virgi n Atlan tic	North west	Britis h Airw ays	Qant as	Singap ore Airline s	Air Cana da	Ans ett
Τύπος αεροσκά φους	747- 400	Airbu s A340 -300	747- 400	747- 400	747	Megat op 747- 400	Airbu s A340	747- 300
Πλάτος καθίσμα τος (cm)	43.5	44	43	43	43.8	44.25	44	43.4 (45) α
Βάθος καθίσμα τος (cm)	48.2	50	45	45	β	42.5	β	45.7 (40- 48) α

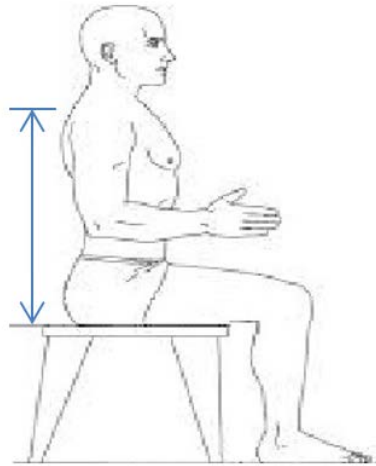
Κλίση καθίσματος από όρθια θέση (cm)	20.3	12.7	12	15.2	19.1	15.5	15	15.2
Κενό μεταξύ θέσεων (cm)	21.5	39	30	β	β	42.5	β	β

Πίνακας 1. 1: Μεγέθη θέσεων σε διαφορετικές αεροπορικές εταιρείες (Rutherford, 1998).

Υποσημείωση: ^α: Οι τιμές στις παρενθέσεις είναι μετρήσεις που έχουν γίνει εκ των υστέρων, στον ίδιο τύπο αεροσκαφών. Το βάθος των καθισμάτων στην Ansett Airlines ποικίλει από 40 εκατοστά στις δύο γωνίες στα 48 εκατοστά στα κεντρικά καθίσματα. ^β: Τα μεγέθη αυτά δεν ήταν διαθέσιμα. ^[8]

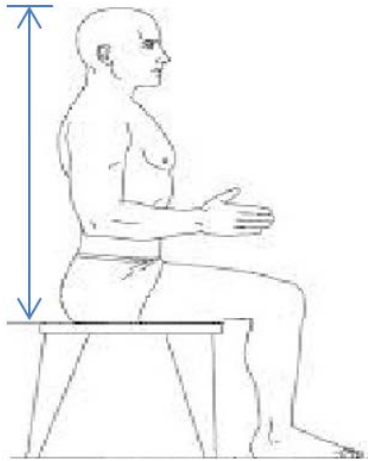
1.3. Το ύψος και η ανάκληση της πλάτης του καθίσματος

Σπουδαίας σημασίας χαρακτηριστικά του καθίσματος για τον καθορισμό του ως βολικό ή μη, είναι επίσης το ύψος και ο κλίση της πλάτης του. Το ύψος της πλάτης είναι θεμελιώδες στοιχείο, καθώς πρέπει να επαρκεί για τη σωστή στήριξη του κορμού του καθήμενου. Όσο ψηλότερη είναι η πλάτη, τόσο πιο αποτελεσματική θα είναι η στήριξη του κορμού, γεγονός που είναι πάντα επιθυμητό. Όμως, σε κάποιες περιπτώσεις, άλλες απαιτήσεις όπως η κίνηση των ώμων μπορεί να είναι πιο επιδιώξιμες. Έτσι, υπάρχουν τρεις κατηγορίες καθισμάτων αν ταξινομηθούν με βάση το ύψος της πλάτης τους. Θέσεις με χαμηλό ύψος πλάτης, με μέτριο και με υψηλό. Τα καθίσματα με τη χαμηλή πλάτη, προσφέρουν στήριξη της οσφυϊκής και της κάτω θωρακικής περιοχής μόνο και σταματάνε κάτω από το ύψος της ωμοπλάτης, προσφέροντας έτσι ελευθερία κινήσεων στους ώμους και στα χέρια. Για να στηριχθεί η μέση και να μείνει ελεύθερη η περιοχή των ώμων, το ύψος της πλάτης από την έδρα του καθίσματος πρέπει να είναι περίπου 40 εκατοστά. Στης μεσαίας κατηγορίας καθισμάτων, στηρίζεται επίσης το πάνω μέρος της πλάτης και οι ώμοι. Για στήριξη μέχρι το μεσοθωρακικό επίπεδο πρέπει να είναι περίπου 50 εκατοστά, ενώ για ολική στήριξη των ώμων 66 εκατοστά. Το μέγεθος αυτό προκύπτει, βάση του ύψους των ώμων ενός καθήμενου ατόμου από την έδρα του καθίσματος (Εικόνα 1. 8).



Εικόνα 1. 8: Το ύψος των ώμων ενός καθήμενου ατόμου από την έδρα του καθίσματος.

Για το 95% των ανδρών λοιπόν σε παγκόσμια κλίμακα, το παραπάνω ύψος δεν είναι μεγαλύτερο των 66 εκατοστών, άρα οι ώμοι τους ακουμπούν καλά σε μία θέση με πλάτη ύψους 66 εκατοστών. Τα καθίσματα με υψηλή πλάτη από την άλλη, στηρίζουν επιπρόσθετα το λαιμό και το κεφάλι και η πλάτη τους πρέπει να έχει ύψος ενός μέτρου. Το παραπάνω μέγεθος υπολογίζεται βάση του ύψους ενός καθήμενου ατόμου από την έδρα του καθίσματος (Εικόνα 1. 9). Για το 95% των ανδρών σε παγκόσμια κλίμακα, το ύψος αυτό είναι το πολύ ένα μέτρο. Όπως είναι λοιπόν φανερό, ανάλογα με τη δραστηριότητα την οποία εκτελεί κάθε στιγμή ο επιβάτης, αλλάζουν οι ανάγκες του σε σχέση με το βαθμό στήριξης της πλάτης του και κατ' επέκταση του ενδεδειγμένου ύψους της πλάτης της θέσης του. Ένα άτομο που χρησιμοποιεί το φορητό υπολογιστή του χρειάζεται μεγαλύτερη κίνηση των ώμων, ενώ ένα άτομο που κοιμάται καλύτερη στήριξη της κεφαλής. Καθώς αυτή τη στιγμή οι αεροπορικές θέσεις έχουν πλάτη συγκεκριμένου ύψους, είναι ξεκάθαρο ότι σε πολλές περιπτώσεις δεν παρέχουν τις βέλτιστες συνθήκες στήριξης της πλάτης των επιβατών και συνεπακόλουθα περιορίζουν την άνεσή τους. Για παράδειγμα, τα καθίσματα της British Airways έχουν στις πτήσεις τόσο του εσωτερικού όσο και στις ενδοηπειρωτικές ύψος 77 εκατοστά, ανήκουν δηλαδή στη μεσαία κατηγορία. Σε μεγάλη μερίδα των επιβατών, οι οποίοι σε μικρής διάρκειας πτήσεις συνήθως εκτελούν πιο ενεργητικές δραστηριότητες που προϋποθέτουν την κίνηση των ώμων, το προαναφερόμενο ύψος δημιουργεί πρόβλημα και τους περιορίζει.

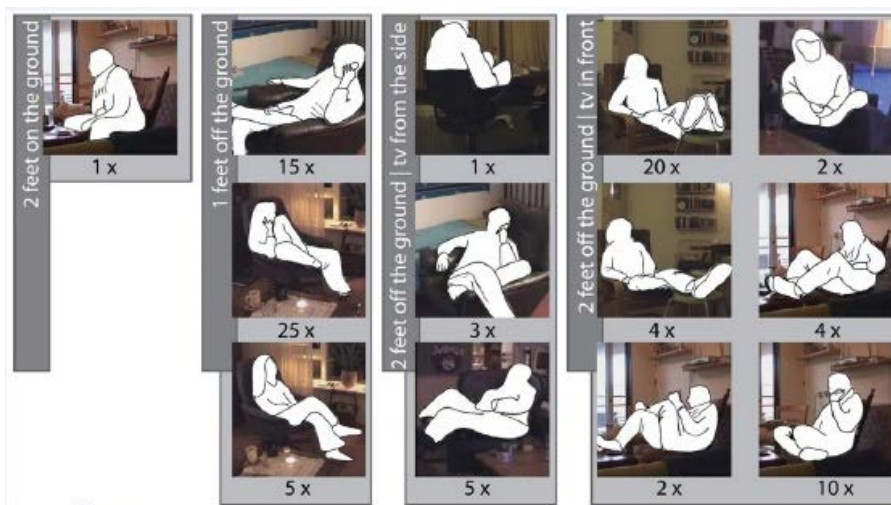


Εικόνα 1. 9: Το ύψος ενός καθήμενου ατόμου από την έδρα του καθίσματος.

Η ίδια εταιρεία, στις οικονομικές θέσεις διηπειρωτικών πτήσεων έχει πλάτη ύψους 61 εκατοστών, η οποία στην πλειοψηφία των επιβατών αρκεί για τη στήριξη μέχρι το μεσοθωρακικό επίπεδο, αλλά όχι για την ολική στήριξη των ώμων. Έτσι οι επιβάτες έχουν περισσότερη ευελιξία κινήσεων, όταν αυτή κρίνεται επιθυμητή. Ταυτόχρονα όμως, η πλάτη του καθίσματος επεκτείνεται κατά 12,7 εκατοστά, όταν ο επιβάτης αυξάνει την κλίση του, φτάνοντας συνολικά τα 73,7 εκατοστά όταν βρίσκεται υπό τη μέγιστη δυνατή κλίση. Αυτό εξυπηρετεί σαφώς στην περίπτωση στην οποία ο επιβάτης επιθυμεί να κοιμηθεί, δίνοντάς του περισσότερη στήριξη. Με αυτό τον τρόπο, δίνεται η δυνατότητα στον καθήμενο να επιλέξει από ένα εύρος ύψους το καταλληλότερο για κάθε δραστηριότητα που εκτελεί, αλλάζοντας βέβαια και την κλίση της πλάτης ταυτόχρονα, κρατώντας πιο όρθια στάση στις πιο ενεργητικές δραστηριότητες. Βεβαίως αξίζει να σημειωθεί ότι το μέγιστο ύψος και σε αυτή την περίπτωση σαφώς δεν επαρκεί για τη στήριξη συνολική στήριξη της κεφαλής στην πλειονότητα των επιβατών.

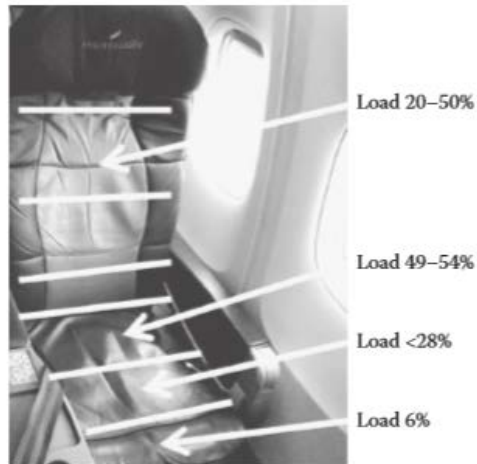
Η κλίση της πλάτης του καθίσματος διαδραματίζει πρωταρχικό ρόλο στο βαθμό άνεσης που αισθάνονται οι επιβάτες. Από την κλίση αυτή καθορίζεται η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ των μηρών και του κορμού του καθήμενου και συνεπώς η κατανομή της πίεσης που δέχεται. Η μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση εξαρτάται τόσο από τη διάρκεια της πτήσης, όσο και από την ποικιλία των στάσεων του σώματος κατά τη διάρκεια αυτής. Καθώς όπως προαναφέρθηκε οι επιβάτες εκτελούν πολλές δραστηριότητες που απαιτούν εντελώς διαφορετική στάση σώματος η μία από την άλλη, το βέλτιστο κάθισμα θα πρέπει να στηρίζει το σώμα του καθήμενου σε κάθε στάση που αυτός επιλέγει με τέτοιο τρόπο, ώστε να μην ασκούνται στο σώμα του πιέσεις μεγαλύτερες από

τις επιτρεπόμενες. Είναι αποδεδειγμένο, ότι ένα κάθισμα με πλάτη υπό κλίση είναι πιο βολικό, ενώ και στήριξη κάτω από το μπροστινό μέρος των ποδιών βοηθά στον καλύτερο επιμερισμό των φορτίων και αυξάνει την άνεση του επιβάτη σε μεγάλης διάρκειας πτήσεις. Σύμφωνα με έρευνες, μη ακουμπώντας τα πόδια στο έδαφος, ο καθήμενος αποκτά μία πιο άνετη στάση, ενώ δίνοντας του αυτή τη δυνατότητα καλύπτεται και η φυσική τάση των ατόμων να μην έχουν τα πόδια τους στο έδαφος (Εικόνα 1. 10).



Εικόνα 1. 10: Στάσεις σώματος που παρατηρήθηκαν σε άτομα που έβλεπαν τηλεόραση (Rosmalen et al., 2010).

Βασιζόμενοι σε μελέτες, η κλίση της πλάτης πρέπει να είναι τέτοια, ώστε αυτή να δέχεται ιδανικά σε οποιαδήποτε στάση και αν έχει επιλέξει ο επιβάτης, μεταξύ 20 και 50% του συνολικού φορτίου (Εικόνα 1. 11). Όσο αυξάνεται η κλίση της πλάτης, τόσο μεγαλύτερο ποσοστό του βάρους του κορμού υποστηρίζεται. Ως επακόλουθο αυτού, μειώνεται η συμπιεστική δύναμη που ασκείται από τον κορμό στη λεκάνη και μαζί η πίεση που δέχονται οι δίσκοι της σπονδυλικής στήλης. Όμως, όσο αυξάνεται η κλίση αυξάνεται ταυτόχρονα και η οριζόντια συνιστώσα της συμπιεστικής δύναμης. Λόγω αυτής, οι γλουτοί ωθούνται προς τα εμπρός, με τάση να βγουν από το κάθισμα. Η συνιστώσα αυτή μπορεί να εξουδετερωθεί είτε με κατάλληλη κλίση της έδρας του καθίσματος, είτε με χρήση υψηλής τριβής υφάσματος για ταπετσαρία της θέσης, είτε με μυϊκή προσπάθεια του καθήμενου. [9]

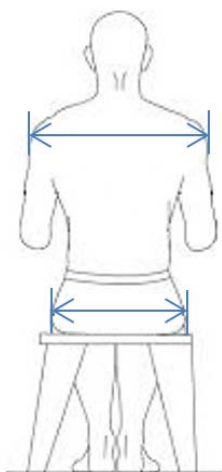


Εικόνα 1. 11: Ιδανική κατανομή πιέσεων σε αυτοκίνητα σύμφωνα με τον Zenk (2008) και τον Mergl (2006). Εάν υποθέσουμε ότι η στάση του σώματος στις αεροπορικές θέσεις είναι παρόμοια σε κάποιες περιπτώσεις, τότε αυτή είναι η ιδανική κατανομή πιέσεων και σε αυτή την περίπτωση.

Συνεκτιμώντας τα παραπάνω αλλά και τις συγκεκριμένες απαιτήσεις κάθε δραστηριότητας, προκύπτει η κατάλληλη κλίση της πλάτης του καθίσματος. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια ενεργητικών δραστηριοτήτων, όπως η χρήση φορητού υπολογιστή ή η κατανάλωση φαγητού, μία πιο όρθια στάση είναι απαραίτητη και συνεπώς η πρέπουσα κλίση είναι μεταξύ 110° και 120° για ιδανική κατανομή φορτίων στο σώμα. Ταυτόχρονα, για τη μέγιστη άνεση του καθήμενου, κλίση 10° με 15° της έδρας της θέσης είναι αναγκαία για διατήρηση καλής επαφής του σώματός του με την πλάτη του καθίσματος αλλά και για την εξουδετέρωση της δύναμης που ωθεί τους γλουτούς να γλιστρούν προς τα έξω. Σε περίπτωση που ο επιβάτης θέλει να κοιμηθεί όμως, η επιθυμητή κλίση μεταξύ κορμού και μηρών είναι 180° χωρίς να είναι απαραίτητη η κλίση της έδρας του καθίσματος. Είναι σημαντικό να τονιστεί βέβαια ότι για να του προσφερθεί τόσο μεγάλη ανάκληση, αυξάνεται δραματικά ο απαιτούμενος χώρος για κάθε θέση. Επιπρόσθετα, για κλίσεις άνω των 120° , κρίνεται απαραίτητο το κάθισμα να έχει υψηλή πλάτη, αφού διαφορετικά το πάνω μέρος του σώματος είναι πολύ ασταθές. Σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν, για την κάλυψη όλων των αναγκών που προκύπτουν από το σύνολο των δραστηριοτήτων που μπορεί να εκτελεί ο επιβάτης, το βέλτιστο εύρος κλίσης της πλάτης είναι 110° με 180° .^[10]

1.4. Το πλάτος του καθίσματος

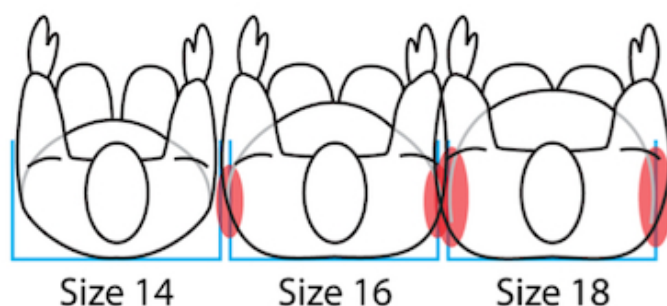
Υψίστης σημασίας χαρακτηριστικό της αεροπορικής θέσης είναι το πλάτος της, το οποίο επιδρά δραματικά στο βαθμό άνεσης του καθήμενου. Βάση αυτού καθορίζεται επίσης το αν ένα άτομο χωράει σε μία θέση ή όχι. Για τον προσδιορισμό του προσδόκιμου πλάτους, επιβάλλεται η αναφορά στα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά που το επηρεάζουν. Αυτά είναι το πλάτος των γοφών σε καθήμενο άτομο και το πλάτος των ώμων (Εικόνα 1. 12). Το πλάτος των γοφών είναι ένα από τα χαρακτηριστικά με τις μεγαλύτερες αποκλίσεις μεταξύ ατόμων διαφορετικών εθνικοτήτων, ενώ σε πολλές περιπτώσεις, ο μέσος όρος του μεγέθους αυτού των γυναικών είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο των αντρών της ίδιας εθνικότητας. Σε παγκόσμια κλίμακα, οι άντρες έχουν μεγαλύτερο πλάτος γοφών που στο 95% τους φτάνει τα 43,9 εκατοστά, ενώ στις γυναίκες είναι 34,9 εκατοστά. Στην κεντρική Ευρώπη όμως, το ίδιο μέγεθος στις γυναίκες είναι κατά 10,5 ολόκληρα εκατοστά μεγαλύτερο και φτάνει τα 45,4 εκατοστά, ξεπερνώντας το πλάτος των αντρών που είναι 40,4 εκατοστά στην ίδια περιοχή. Έτσι λοιπόν, αφού και οι γυναίκες της κεντρικής Ευρώπης θα πρέπει να χωρούν στο κάθισμα, είναι φανερό ότι τα δικό τους πλάτος γοφών θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν, συνυπολογίζοντας χώρο για την ενδυμασία τους καθώς και ένα εύλογο περιθώριο για να κινούνται και να περιστρέφονται με κάποια άνεση.



Εικόνα 1. 12: Το πλάτος των γοφών σε καθήμενο άτομο και το πλάτος των ώμων.

Στο άνοιγμα των ώμων, οι άντρες έχουν το μεγαλύτερο πλάτος τόσο σε παγκόσμια κλίμακα, όσο και στην κεντρική Ευρώπη. Σε παγκόσμια κλίμακα, το 95% των αντρών έχει άνοιγμα 49,9 εκατοστά, ενώ των γυναικών 40,9 εκατοστά. Στην κεντρική Ευρώπη αντίστοιχα στο 95% των αντρών είναι 49,5 εκατοστά, δηλαδή μέγεθος πολύ παρόμοιο με το

παγκόσμιο, ενώ στις γυναίκες αντίθετα διαφοροποιείται κατά 5,5 εκατοστά, φτάνοντας τα 46,4 εκατοστά. Δυστυχώς το πλάτος των αεροπορικών θέσεων αυτή τη στιγμή κυμαίνεται μεταξύ 42 και 48 εκατοστών, ενώ η απόλυτη πλειοψηφία τους έχει πλάτος από 43 έως 45,7 εκατοστά. Όπως είναι πασιφανές λοιπόν, για μεγάλη μερίδα του πληθυσμού, εκτός από το πολύ σημαντικό πρόβλημα της έλλειψης άνεσης, τίθεται και ένα ακόμα σπουδαιότερο θέμα αφού δεν χωρούν καν στο κάθισμα. Εκτός αυτού, ακόμα και οι επιβάτες των γειτονικών τους καθισμάτων συναντούν προβλήματα, αφού ο προσωπικός τους χώρος περιορίζεται και τμήμα του καταλαμβάνεται από τα άτομα που χρειάζονται περισσότερο χώρο από αυτόν που έχουν διαθέσιμο. Αυτή τη στιγμή το πρόβλημα αυτό δεν αντιμετωπίζεται με ικανοποιητικό τρόπο, καθώς τα υπέρβαρα άτομα το μόνο που μπορούν να κάνουν είναι να κλείσουν και δεύτερη θέση, αυξάνοντας έως και στο διπλάσιο πολλές φορές το κόστος του ταξιδιού τους, χρησιμοποιώντας συνήθως μικρό τμήμα της δεύτερης θέσης (Εικόνα 1. 13). ^[11]



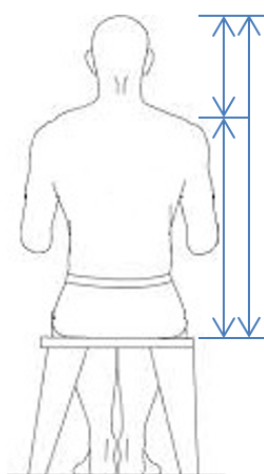
Εικόνα 1. 13: Πρόβλημα έλλειψης χώρου ανάλογα με το μέγεθος του επιβάτη.

Στο σημείο αυτό βέβαια, είναι ζωτικής σημασίας να τονιστεί το γεγονός ότι οι σύγχρονοι άνθρωποι τείνουν να αυξάνουν συνεχώς το βάρος τους. Χαρακτηριστικά, στο Ηνωμένο Βασίλειο, το 26% του πληθυσμού είναι παχύσαρκο, ενώ μέχρι το 2030 το ποσοστό αυτό αναμένεται να αυξηθεί δραματικά και να φτάσει το 42%, δηλαδή περίπου τα 27 εκατομμύρια άτομα. Καίριο επίσης είναι να συνυπολογιστεί το ότι ο αριθμός των ατόμων που χρησιμοποιούν αεροπλάνο για τις μεταφορές τους συνεχώς αυξάνεται και από 2,8 δισεκατομμύρια επιβάτες το 2011 προβλέπεται να φτάσει τα 3,6 δισεκατομμύρια το 2016, με 831 εκατομμύρια νέους επιβάτες στο διάστημα αυτό και ανοδικές τάσεις για το μέλλον. Τα παραπάνω στοιχεία είναι υψίστης σημασίας, καθώς δείχνουν ότι το πρόβλημα που αντιμετωπίζει αυτή τη στιγμή μία μερίδα του

πληθυσμού, σύντομα θα είναι πολύ εντονότερο και θα παρουσιάζεται σε πολύ μεγαλύτερο αριθμό επιβατών. [12][13]

1.5. Το προσκέφαλο

Η ύπαρξη ενός σωστού εργονομικά προσκέφαλου μπορεί να ενισχύσει δραματικά το αίσθημα άνεσης του επιβάτη. Για τον ορισμό του όμως, είναι αναγκαίο να αναφερθεί το ανθρωπομετρικό χαρακτηριστικό που το επηρεάζει, το οποίο είναι η απόσταση μεταξύ της κορυφής του κεφαλιού και της ευθείας των ώμων. Για τον προσδιορισμό της απόστασης αυτής, χρησιμοποιείται το ύψος ενός καθήμενου καθώς και το ύψος των ώμων του ίδιου ατόμου. Η προαναφερθείσα απόσταση λοιπόν προκύπτει από τη διαφορά των δύο αυτών μεγεθών (Εικόνα 1. 14). Για το 95% των ανδρών σε παγκόσμια κλίμακα το ύψος τους σε καθιστή θέση είναι 100,1 εκατοστά, ενώ το ύψος των ώμων τους είναι 66,7 εκατοστά. Η απόσταση λοιπόν μεταξύ της κορυφής του κεφαλιού και της ευθείας των ώμων για το 95% των ανδρών είναι 33,4 εκατοστά. Τα ανώτερα 4 εκατοστά της κεφαλής όμως μπορούν να μείνουν χωρίς στήριγμα, καθώς το σημείο στήριξης είναι χαμηλότερα. Έτσι, συνυπολογίζοντας τα παραπάνω, το ιδανικό ύψος για το προσκέφαλο είναι 29,4 εκατοστά. Για το 5% των κοντότερων γυναικών το ύψος τους σε καθιστή θέση είναι 73,4 εκατοστά, ενώ το ύψος των ώμων τους στην ίδια θέση είναι 44,3 εκατοστά. Η απόσταση μεταξύ της κορυφής του κεφαλιού τους και της ευθείας των ώμων τους είναι 29,1 εκατοστά, που σημαίνει ότι ολόκληρο το προσκέφαλο θα χρησιμοποιείται από τις γυναίκες.



Εικόνα 1. 14: Υπολογισμός της απόστασης μεταξύ της κορυφής του κεφαλιού και της ευθείας των ώμων, βάση του ύψους ενός καθήμενου και του ύψους των ώμων του ίδιου ατόμου.

Βασικό στοιχείο του προσκέφαλου όμως είναι και το πλάτος του. Για τον υπολογισμό του αξίζει να σημειωθεί ότι η πλάγια κλίση του κεφαλιού έως 30° μπορεί να θεωρηθεί άνετη. Στο ύψος του λαιμού λοιπόν, το ενδεδειγμένο πλάτος είναι 24 εκατοστά. Αυτό προκύπτει από το πλάτος του λαιμού που είναι 16 εκατοστά, προσθέτοντας 4 εκατοστά από τα αριστερά και 4 εκατοστά από τα δεξιά που είναι η απόσταση που μπορεί να κινηθεί ο λαιμός, εντός του ορίου άνεσης. Στο πίσω μέρος του κεφαλιού, η επιφάνεια επαφής του κεφαλιού με το προσκέφαλο είναι 8 εκατοστά. Στο σημείο αυτό, το κεφάλι μπορεί να κινηθεί με άνεση 6 εκατοστά προς τα αριστερά ή τα δεξιά. Το ενδεδειγμένο πλάτος λοιπόν για το σημείο αυτό είναι 20 εκατοστά. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι ένα προσκέφαλο πλάτους 24 εκατοστών μπορεί συνεπώς να καλύψει τις ανάγκες τόσο του λαιμού, όσο και ολόκληρου του κεφαλιού.

Εκτός από το μέγεθος του προσκέφαλου όμως, ζωτικής σημασίας είναι και η δυνατότητα κίνησής του. Είναι απαραίτητο, το να μπορεί να τροποποιηθεί η θέση του και να προσαρμόζεται στις ανάγκες του εκάστοτε επιβάτη, κάθε δεδομένη στιγμή. Μετακίνησή του στον κάθετο άξονα είναι αναγκαία, καθώς κοντύτερα άτομα χρειάζονται το προσκέφαλο σε χαμηλότερο ύψος από την έδρα του καθίσματος, ενώ ψηλότερα σε υψηλότερη. Το προσκέφαλο πρέπει επίσης να στηρίζει επαρκώς τον αυχένα και το κεφάλι του καθήμενου, καθώς αυτός αυξάνει την κλίση της πλάτης της θέσης. Έτσι λοιπόν, πρέπει να κινείται μαζί με τον καθήμενο όταν αυτός αλλάζει θέση και ως προς το ύψος του αλλά και ως προς την κλίση του, χωρίς να απαιτείται χειροκίνητη ρύθμισή του, για να παρέχει συνεχώς τις βέλτιστες συνθήκες άνεσης. Επιπρόσθετα, το προσκέφαλο είναι σκόπιμο να κινείται και στον οριζόντιο άξονα, ώστε πάλι να συγκρατείται ο αυχένας και το κεφάλι σε κάθε πιθανή στάση σώματος του καθήμενου. Η δυνατότητα στροφής προς τα δεξιά ή τα αριστερά εξασφαλίζει την πρέπουσα υποστήριξη του αυχένα και κατά τη διάρκεια του ύπνου, ενώ με ενισχυμένα και ρυθμιζόμενα πρόσθετα πλαϊνά μπορεί να αυξηθεί δραματικά ο βαθμός άνεσης του καθήμενου (Εικόνα 1. 15 & Εικόνα 1. 16). Οι παρούσες αεροπορικές θέσεις διαθέτουν προσκέφαλα που διαφέρουν αισθητά μεταξύ τους. Παρ' όλα αυτά, δεν έχουν τα απαραίτητα χαρακτηριστικά ούτε κινούνται με τον ενδεδειγμένο τρόπο, ώστε να παρέχουν στους επιβάτες την άνεση που προσδοκούν.

[14][15]



Εικόνα 1. 15: Παράδειγμα ενισχυμένου πλαϊνού που διευκολύνει τη στήριξη του κεφαλιού.

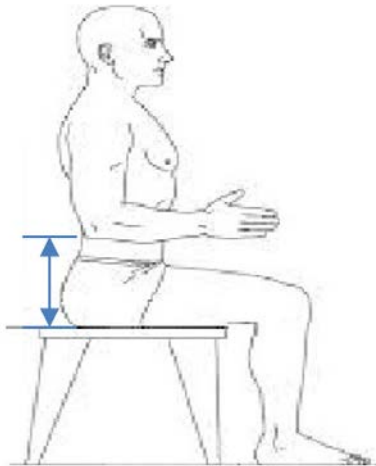


Εικόνα 1. 16: Παράδειγμα πρόσθετου πλαϊνού που διευκολύνει τη στήριξη του κεφαλιού.

1.6. Το υποβραχιόνιο

Ένα άλλο σπουδαίο στοιχείο της αεροπορικής θέσης που συνδράμει και αυτό με τη σειρά του στην προσφερόμενη άνεση των επιβατών είναι το υποβραχιόνιο. Εκτός από τη βελτίωση της άνεσης όμως και την ευχαρίστηση του καθήμενου, το ιδανικό υποβραχιόνιο μειώνει τα φορτία που δέχεται ο αυχένας, οι ώμοι και τα μπράτσα, καθώς προσφέρει στήριξη των χεριών και κατ' επέκταση περιορίζει πιθανούς πόνους στις περιοχές αυτές και μυοσκελετικά προβλήματα. Επίσης, μειώνει τα φορτία που δέχεται η σπονδυλική στήλη, αφού σταθεροποιεί καλύτερα το χρήστη και τον προτρέπει να κρατά μία πιο σωστή στάση σώματος. Ακόμα διευκολύνει τον επιβάτη όταν σηκώνεται, προσφέροντας στήριγμα και συνεπώς μειώνει τα φορτία που δέχονται τα γόνατα και οι γοφοί. Το υποβραχιόνιο όμως, πρέπει να βρίσκεται στο σωστό ύψος για να αποφευχθεί ένταση και πόνος στους ώμους και στον αυχένα. Για τον

καθορισμό του κατάλληλου ύψους είναι απαραίτητη η υπόδειξη του ανθρωπομετρικού στοιχείου από το οποίο εξαρτάται. Το στοιχείο αυτό είναι το ύψος του αγκώνα ενός καθιστού ατόμου από την έδρα του καθίσματος (Εικόνα 1. 17).



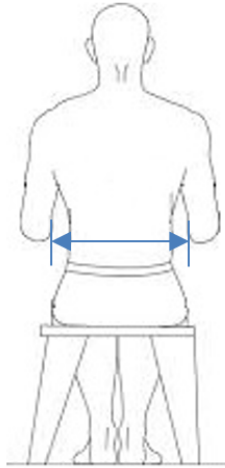
Εικόνα 1. 17: Το ύψος του αγκώνα ενός καθιστού ατόμου από την έδρα του καθίσματος.

Το ιδανικό ύψος του υποβραχιονίου ισούται με την απόσταση αυτή. Στην περίπτωση που το υποβραχιόνιο είναι χαμηλότερο από το πρέπει, ο καθήμενος τείνει να κυρτώσει την πλάτη του ή να στρέψει τον κορμό του προς μία από τις δύο πλευρές. Αποτέλεσμα αυτού είναι λοιπόν η μη σωστή στάση σώματος που καταπονεί τον αυχένα, τους ώμους και την πλάτη καθώς και ο μειωμένος βαθμός άνεσης. Στην αντίθετη περίπτωση, που το υποβραχιόνιο είναι σε μεγαλύτερη απόσταση από την έδρα του καθίσματος από την ενδεδειγμένη, ο επιβάτης αναγκάζεται να κρατά τους ώμους του σε επίπεδο υψηλότερο από το φυσιολογικό (Εικόνα 1. 18). Το γεγονός αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη μυϊκή ένταση και κόπωση στον αυχένα και στους ώμους. Για το 5% των γυναικών η απόσταση αυτή είναι 17,5 εκατοστά, ενώ για το 95% των ανδρών είναι 27,4 εκατοστά. Όπως είναι εμφανές, τα υπάρχοντα υποβραχιόνια που έχουν σταθερό ύψος και δε δίνουν τη δυνατότητα στους επιβάτες να το τροποποιούν, δημιουργούν δυσχέρεια και πιθανούς πόνους στην πλειοψηφία των επιβατών.



Εικόνα 1. 18: Διαφορά στη στάση του σώματος όταν τα υποβραχιόνια είναι σε σωστό ύψος και όταν είναι ψηλότερα από το ενδεδειγμένο.

Εκτός από το ύψος όμως, ουσιαστικό ρόλο διαδραματίζει και η απόσταση μεταξύ των υποβραχιονίων. Αφενός, η απόσταση αυτή πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να χωράει με άνεση ο επιβάτης και αφετέρου όχι πολύ μεγάλη, καθώς σε τέτοια περίπτωση, οι μύες του επιβάτη επιβαρύνονται και νιώθει δυσχέρεια. Για τον προσδιορισμό της επιθυμητής απόστασης μεταξύ των δύο υποβραχιονίων, είναι σκόπιμη η αναφορά του ανθρωπομετρικού χαρακτηριστικού που την καθορίζει. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι η απόσταση από αγκώνα σε αγκώνα ενός καθήμενου ατόμου (Εικόνα 1. 19). Στην περίπτωση που τα υποβραχιόνια βρίσκονται σε μικρότερη απόσταση μεταξύ τους από την απόσταση μεταξύ των αγκώνων, τότε υπάρχουν δύο περιπτώσεις. Αν η διαφορά αυτή είναι σχετικά μικρή, ο καθήμενος νιώθει περιορισμένη άνεση και θα δυσκολεύεται να κινηθεί και να στραφεί. Σε περίπτωση όμως που η απόσταση μεταξύ των υποβραχιονίων είναι πολύ μικρότερη, τότε μπορεί να έχει ακόμα και μειωθεί το πλάτος του καθίσματος σε σημείο που να μη χωράει ο επιβάτης στην αεροπορική θέση, όπως προαναφέρθηκε στο πλάτος του καθίσματος. Από την άλλη πλευρά, εάν η απόσταση μεταξύ των υποβραχιονίων είναι μεγαλύτερη από την ενδεικνυόμενη, ο καθήμενος στρέφει τους αγκώνες προς τα έξω για να φτάσει τα υποβραχιόνια και κάμπει το σώμα του προς τα μπροστά για να στηριχθεί. Αποτέλεσμα αυτού είναι η αύξηση της απόστασης του βραχίονα από το σώμα και μπορεί να προκαλέσει κόπωση των μυών στους ώμους και στον αυχένα, εκτός από δυσχέρεια.

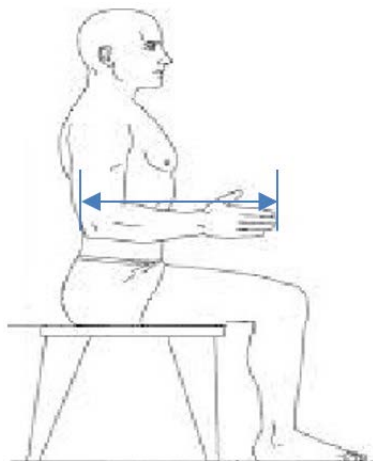


Εικόνα 1. 19: Η απόσταση από αγκώνα σε αγκώνα ενός καθήμενου ατόμου.

Όμως, η πρέπουσα απόσταση αλλάζει όχι μόνο από άτομο σε άτομο αλλά και ανάλογα τη δραστηριότητα που εκτελεί ο επιβάτης κάθε δεδομένη στιγμή. Έτσι, υπάρχουν δραστηριότητες στις οποίες η διάθεση περισσότερου ελεύθερου χώρου είναι σημαντικότερη, όπως για παράδειγμα κατά τη διάρκεια του ύπνου. Κατά τη διάρκεια αυτών, η χρήση του μέγιστου διαθέσιμου χώρου βάσει του πλάτους του καθίσματος είναι προτιμότερη και επιδιώκεται, χωρίς περιορισμό από τα υποβραχιόνια. Για το 5% των γυναικών η απόσταση μεταξύ των αγκώνων είναι 35,7 εκατοστά, ενώ για το 95% των ανδρών είναι 51,7 εκατοστά. Όπως είναι ξεκάθαρο λοιπόν οι υπάρχουσες αεροπορικές θέσεις που διαθέτουν υποβραχιόνια σε σταθερή απόσταση μεταξύ τους δεν εξυπηρετούν μεγάλο τμήμα των επιβατών.

Πολύ βασικό στοιχείο του υποβραχιονίου είναι και το μήκος του. Από τη μία, όσο μακρύτερο είναι το υποβραχιόνιο, τόσο καλύτερη στήριξη προσφέρει του βραχίονα, αλλά από την άλλη μπορεί να δυσκολέψει τη διέλευση των επιβατών από το ένα κάθισμα στο άλλο. Το ανθρωπομετρικό χαρακτηριστικό που σχετίζεται με τον ορισμό του κατάλληλου μήκους για το υποβραχιόνιο είναι η απόσταση μεταξύ του αγκώνα και της άκρης των δαχτύλων (Εικόνα 1. 20). Για το 95% των ανδρών σε παγκόσμιο επίπεδο η απόσταση αυτή είναι 54,2 εκατοστά. Σε σύγκριση με το βάθος του καθίσματος όμως, όπως προαναφέρθηκε στην αντίστοιχη ενότητα, το μέγεθος αυτό είναι σαφώς πολύ μεγαλύτερο, γεγονός που σημαίνει ότι υποβραχιόνιο αυτού του μεγέθους μπορεί να δυσκολεύει σημαντικά το πέρασμα των επιβατών από το ένα κάθισμα στο άλλο. Τα υπάρχοντα υποβραχιόνια είναι στην πλειοψηφία τους μικρότερα από 40 εκατοστά στο μήκος τους. Έτσι μπορεί να μη δυσχεραίνουν

επιπρόσθετα τους επιβάτες στην προσπάθειά τους να φτάσουν στο κάθισμά τους, αλλά παρέχουν μειωμένη στήριξη του βραχίονα στο μεγαλύτερο μέρος των επιβατών, αφού μόλις για το 5% των γυναικών σε παγκόσμια κλίμακα η απόσταση μεταξύ αγκώνα και άκρης των δακτύλων είναι 39,2 εκατοστά.



Εικόνα 1. 20: Η απόσταση μεταξύ του αγκώνα και της άκρης των δακτύλων.

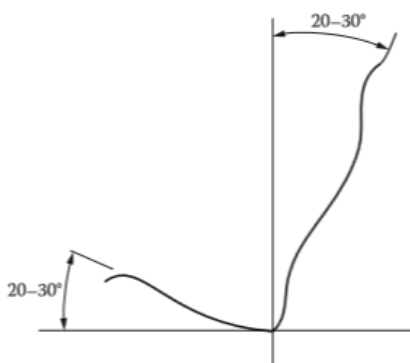
Ακόμα, το υποβραχιόνιο πρέπει να έχει το κατάλληλο πλάτος, έτσι ώστε να παρέχει την απαραίτητη στήριξη σε όλους τους επιβάτες, χωρίς όμως να καταναλώνει επιπλέοντα χώρο που θα μπορούσε να αξιοποιηθεί περισσότερο προς όφελος του επιβάτη διαφορετικά. Για δύο γειτονικές θέσεις είναι αναγκαία ακόμα η ύπαρξη υποβραχιονίου και για τους δύο επιβάτες, ώστε να παρέχεται η μέγιστη άνεση και στους δύο, χωρίς περιορισμούς, αντιμαχίες και υποχωρήσεις. Τέλος, εκτός από τη δυνατότητα τροποποίησης του υποβραχιονίου, εντελώς απαραίτητη κρίνεται και η δυνατότητα κίνησής του, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει εντελώς ενιαίος ο χώρος γειτονικών καθισμάτων. Αυτό προϋποθέτει όχι μόνο απλή περιστροφή, καθώς έτσι ένα μικρό τμήμα του παραμένει και δυσχεραίνει τους επιβάτες. Αφενός, η δυνατότητα αυτή εξυπηρετεί άτομα που ταξιδεύουν με παρέα και ενδέχεται να θέλουν να κάθονται πιο κοντά ο ένας στον άλλο, χωρίς το υποβραχιόνιο να τους χωρίζει. Αφετέρου, προσφέρει επιπρόσθετη άνεση και σε μεμονωμένα άτομα που θέλουν να εκμεταλλευτούν το χώρο τις διπλανής τους θέσης, σε περίπτωση που αυτή είναι κενή. ^[16]

1.7. Το εσωτερικό υλικό και το σχήμα του καθίσματος

Η επιλογή του υλικού του καθίσματος είναι εξέχουσας σημασίας, τόσο για την άνεση του επιβάτη όσο και για τη μεγιστοποίηση του κέρδους των αεροπορικών εταιριών. Καθίσματα μικρότερου βάρους έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση του συνολικού φορτίου του αεροσκάφους και συνεπώς τον περιορισμό της κατανάλωσης καυσίμων. Επιπρόσθετα οι διεθνείς κανόνες σχετικά με τις προδιαγραφές ενός αεροπορικού καθίσματος, επιβάλλουν την επιλογή ενός υλικού το οποίο χαρακτηρίζεται από υψηλή αντοχή στη θερμότητα. Κάτι τέτοιο κρίνεται αναγκαίο για τις σπάνιες περιπτώσεις εκδήλωσης πυρκαγιάς σε αεροσκάφος, κατά τις οποίες επιθυμείτε αποφυγή επέκτασής της. Λαμβάνοντας υπόψη την σπουδαιότητα των παραπάνω παραγόντων, υψίστης σημασίας κρίνεται όμως και η παροχή ενός άνετου καθίσματος στον επιβάτη. Αυτό προϋποθέτει την επιλογή ενός υλικού τέτοιου ώστε να προσφέρεται η απαραίτητα στήριξη του σώματός του χωρίς ωστόσο να είναι υπερβολικά σκληρό. Επιτακτική κρίνεται η ανάγκη να διαφοροποιείται η σκληρότητα του υλικού ανάλογα με το σημείο του καθίσματος. Για παράδειγμα, μεγαλύτερη άνεση στον επιβάτη προσφέρει η επιλογή υλικού μαλακότερης σύστασης στο σημείο του αυχένα και σκληρότερης για την στήριξη του οπίσθιου μέρους της κεφαλής. Ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο υλικό για το εσωτερικό του καθίσματος, είναι η πολουρεθάνη. Πρόκειται για μία ένωση δύο στοιχείων, της πολυόλης και του ισοκυανικού και ανήκει στη ευρύτερη οικογένεια των πλαστικών. Διάφορες εταιρίες που κατασκευάζουν αεροπορικά καθίσματα, επεξεργάζονται την ένωση αυτή ώστε να προσδώσουν στο τελικό υλικό επιπρόσθετη αντοχή στη θερμότητα. Ακόμη με την τροποποίηση της επιτυγχάνεται καλύτερη απορρόφηση κραδασμών. Σε περιπτώσεις που η πολουρεθάνη δεν διαμορφώνεται ειδικά για μεγαλύτερη αντοχή σε θερμότητα, χρησιμοποιείται επιπρόσθετα ένα στρώμα υλικού για το σκοπό αυτό. Το υλικό αυτό αποτελείται από αρωματικά πολυαμίδια, με πιο γνωστό εκπρόσωπο της κατηγορίας αυτής το Κεντρίλ το οποίο μπορεί να παραχθεί μέσω ινοποίησης ενός υγροκρυσταλλικού διαλύματος.

Για να αποδοθεί το κατάλληλο σχήμα στο υλικό, είτε χρησιμοποιούνται καλούπια και με τον τρόπο αυτό αποδίδεται οποιοδήποτε σχήμα είναι το επιθυμητό, είτε μπορεί να κοπεί από μεγαλύτερους όγκους πολουρεθάνης αποκτώντας και πάλι το επιθυμητό σχήμα. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί η σπουδαιότητα του σχήματος του καθίσματος. Ακόμα και αν ένα κάθισμα καλύπτει όλες τις προϋποθέσεις που έχουν αναφερθεί ως τώρα για να θεωρηθεί άνετο, αν το σχήμα του δεν είναι το ενδεδειγμένο τελικά μπορεί να δυσχεραίνει τον επιβάτη κατά τη διάρκεια της πτήσης. Το σχήμα αυτό πρέπει να διαθέτει τις κατάλληλες καμπύλες για τη σωστή στήριξη της

σπονδυλικής στήλης. Από έρευνες έχει προκύψει ότι κάθισμα πρέπει να διαθέτει μία καμπύλη στο ύψος της μέσης και μία καμπύλη στο ύψος των ωμοπλάτων οι οποίες θα προσομοιάζουν τις φυσιολογικές καμπυλώσεις της σπονδυλικής στήλης. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η καταπόνηση των μυών του κορμού. Επίσης, επιπλέον στήριξη στο πίσω μέρος των γονάτων, μπορεί να προσφέρει μεγαλύτερη άνεση στον καθήμενο. Μία πλάγια όψη ενός κατάλληλου καθίσματος θα μπορούσε να είναι η παρακάτω, η οποία διαθέτει τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά (Εικόνα 1. 21).



Εικόνα 1. 21: Το σχήμα του καθίσματος στην έρευνα του Kroemer κ.ά..

Δυστυχώς, λόγω του ότι άτομα με πολύ διαφορετικά ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά χρησιμοποιούν τα καθίσματα αυτά, ο σχεδιασμός του κατάλληλου σχήματος δεν είναι τόσο απλός, καθώς το ύψος και η κλίση των καμπύλων διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με τη διάπλαση του επιβάτη. Έτσι η δυνατότητα εξατομίκευσης του καθίσματος κρίνεται απαραίτητη, τουλάχιστον στο ύψος της μέσης. Εκτός από τις δυσδιάστατες καμπυλώσεις του καθίσματος, ορισμένοι επιβάτες επιθυμούν κυρτώσεις του καθίσματος και στην τρίτη διάσταση, οι οποίες θα στηρίζουν και θα αγκαλιάζουν τον κορμό τους από τα πλάγια. Η προτίμηση αυτή δεν είναι καθολική, καθώς επηρεάζεται από τις πολιτισμικές συνήθειες του κάθε ατόμου. ^{[17][18]}

1.8. Η επένδυση του καθίσματος και το χρώμα της

Το υλικό της επένδυσης του καθίσματος αποτελεί ουσιαστικό χαρακτηριστικό του, καθώς αυτό καθορίζει πολλούς παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά την άνεση του επιβάτη. Η επένδυση της θέσης σαφώς επηρεάζει αισθητικά την αρχική αντίληψη του επιβάτη και τον

προδιαθέτει είτε θετικά είτε αρνητικά για το κατά πόσο το κάθισμα είναι άνετο ή και καθαρό. Μία αρχικά αρνητική εντύπωση μπορεί σε μικρής διάρκειας πτήσεις να μην προλάβει να αλλάξει, ενώ παρατηρείται σε μεγαλύτερης διάρκειας πτήσεις η αίσθηση αυτή να αλλάζει εάν το κάθισμα καλύπτει τις ανάγκες του επιβάτη. Αντίθετα, μία θετική πρώτη εντύπωση μπορεί εύκολα να αλλάξει εάν το κάθισμα δεν προσφέρει τον επιθυμητό βαθμό άνεσης. Είναι πολλά τα στοιχεία του υλικού που μπορούν να το καθορίσουν ως κατάλληλο ή μη, τόσο για τους επιβάτες όσο και για τις εταιρείες. Αρχικά, επιλέγονται συνήθως ανθεκτικά υλικά, με μεγάλη διάρκεια ζωής, καθώς οι θέσεις χρησιμοποιούνται από πολλά άτομα καθημερινά. Επίσης, προτιμάται να καθαρίζονται εύκολα και να είναι όσο το δυνατόν λιγότερο απορροφητικά, έτσι ώστε σε περιπτώσεις ατυχημάτων με τροφή ή ποτό να μη μένουν μόνιμοι λεκέδες, γεγονός που θα δυσχέραινε σημαντικά τους επόμενους επιβάτες. Επιπρόσθετα, η δυνατότητα του να πλένεται κρίνεται σκόπιμη, για να αυξάνεται κατά το μέγιστο δυνατό η διάρκεια ζωής του.

Ακόμα, επιθυμητό είναι το υλικό να αναπνέει, αφού έτσι διασφαλίζεται υψηλότερο επίπεδο άνεσης. Επιπλέον, υψίστης σημασίας θεωρείται το να είναι κατά το δυνατόν ελαφρύτερο, καθώς όσο μικρότερο είναι το συνολικό βάρος τόσο λιγότερα καύσιμα απαιτούνται και αυξάνονται τα κέρδη της εταιρίας ενώ ταυτόχρονα συντομεύεται η διάρκεια της πτήσης. Πέραν των παραπάνω, υλικά που έχουν τη δυνατότητα να απορροφούν την εφίδρωση των επιβατών, να την αποθηκεύουν και να την επιστρέφουν στο περιβάλλον, βοηθώντας έτσι στη ρύθμιση της υγρασίας της καμπίνας, θεωρούνται καταλληλότερα προσφέροντας μεγαλύτερη άνεση. Ασφαλώς, και στην περίπτωση αυτή απαραίτητο θεωρείται το υλικό να ικανοποιεί τις διεθνείς προδιαγραφές σχετικά με την αντοχή του στην θερμότητα, καθώς σε περίπτωση πυρκαγιάς είναι ιδιαίτερα κρίσιμο να περιορίζεται ο καπνός στην καμπίνα και η φωτιά. Μεταξύ των άλλων η αίσθηση που αφήνει στους επιβάτες λαμβάνεται σοβαρά υπόψη, μιας και υλικά πιο μαλακά στην υφή, πιο βελούδινα και πιο μεταξένια, που δεν τείνουν να είναι πιο ευχάριστα και να επιλέγονται. Τέλος, ένα οικονομικότερο υλικό σαφώς προτιμάται, ενώ και το να είναι φιλικό προς το περιβάλλον το κάνει να υπερτερεί έναντι των υπολοίπων.

Το χρώμα του υλικού επένδυσης του καθίσματος επηρεάζει και αυτό με τη σειρά του αισθητικά την αίσθηση άνεσης που δημιουργείται στους επιβάτες. Αρχικά, τα καθίσματα ήταν συνήθως γήινων και απαλών χρωμάτων, όπως ανοιχτό καφέ και γκρι, με σκοπό να προσφέρουν ηρεμία στους επιβάτες (Εικόνα 1. 22). Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του

1970, άρχισαν να χρησιμοποιούνται ευρύτερα πιο φωτεινά χρώματα, όπως κόκκινο και πορτοκαλί, για ένα πιο ζεστό και εύθυμο αποτέλεσμα, που βελτιώνει τη διάθεση των επιβατών (Εικόνα 1. 23). Στη συνέχεια, αποχρώσεις του μπλε και του γκρι έγιναν πιο διαδεδομένες και συνηθέστερες, προσδίδοντας πιο επαγγελματικό χαρακτήρα και μία αίσθηση καθαρότητας (Εικόνα 1. 24). Ορισμένες αεροπορικές εταιρείες, όπως η Austrian Airlines και η Emirates, χρησιμοποιούν ακόμα απαλά χρώματα στα καθίσματά τους (Εικόνα 1. 25). [19]



Εικόνα 1. 22: Αρχικά τα καθίσματα είχαν γήινους χρωματισμούς.



Εικόνα 1. 23: Στη συνέχεια χρησιμοποιούνταν πιο έντονα χρώματα για τη βελτίωση της διάθεσης των επιβατών.



Εικόνα 1. 24: Πλέον επιλέγονται συνήθως αποχρώσεις του μπλε για πιο επαγγελματικό αποτέλεσμα.



Εικόνα 1. 25: Ακόμα ορισμένες εταιρείες επιλέγουν απαλά χρώματα για τα καθίσματά τους.

1.9. Το ατομικό τραπέζακι

Η ύπαρξη ενός σωστού ατομικού τραπεζιού επηρεάζει ουσιαστικά την άνεση των επιβατών. Τα ατομικά τραπέζακια χρησιμοποιούνται συνήθως από όλους τους επιβάτες, με τον ένα ή τον άλλο τρόπο. Αξιοποιούνται κατά κόρον κατά τη διάρκεια του γεύματος για τη στήριξη του δίσκου σερβιρίσματος, για την αποθήκευση φαγητού και ποτού στη συνέχεια, αλλά και κατά τη διάρκεια τελείως διαφορετικού τύπου δραστηριοτήτων, όπως η χρήση υπολογιστή ή το διάβασμα ενός βιβλίου. Είναι εμφανές λοιπόν ότι οι απαιτήσεις των επιβατών και οι ανάγκες τους διαφέρουν σημαντικά κατά τη διάρκεια της πτήσης, καθώς εκτελούν δραστηριότητες ιδιαίτερα ανόμοιες μεταξύ τους. Γενικού τύπου απαιτήσεις των αεροπορικών εταιρειών επίσης λαμβάνονται σοβαρά υπόψιν, που ορίζουν ότι το τραπέζακι αυτό θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν

ελαφρύτερο, ανθεκτικό στη φθορά αφού χρησιμοποιείται πολύ, άκαμπτο και σταθερό στην ανοιχτή του μορφή, αλλά να μετακινείται και να μαζεύει για να μην εμποδίζει όταν δε χρησιμοποιείται. Αξιοσημείωτο επίσης είναι το γεγονός ότι επιβάτες συχνά δυσκολεύονται να σηκωθούν από το κάθισμά τους ή να καθίσουν σε αυτό εάν ο επιβάτης του διπλανού καθίσματος έχει ανοιχτό το δικό του τραπεζάκι. Έτσι, είναι ακόμα αναγκαίο το ατομικό τραπεζάκι να επιτρέπει την πρόσβαση και να διατηρεί απαραίτητο κενό χώρο διαθέσιμο. Από την άλλη, επιβάλλεται το μέγεθός του να είναι τέτοιο ώστε να χωράει πάνω του τουλάχιστον ο δίσκος σερβιρίσματος ή ένας φορητός υπολογιστής, καθώς αυτά είναι τα δύο αντικείμενα που τοποθετούν συχνότερα οι επιβάτες πάνω του.

Όπως προαναφέρθηκε, μεγάλος αριθμός επιβατών χρησιμοποιεί το ατομικό τραπεζάκι για δραστηριότητες πέραν της κατανάλωσης φαγητού και ποτού. Κατά τη διάρκεια ενεργών δραστηριοτήτων άλλου τύπου λοιπόν, όπως η χρήση υπολογιστή ή η γραφή, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να καλύπτονται εργονομικές απαιτήσεις για να μην επιβαρύνεται ο επιβάτης και να έχει τη μέγιστη άνεση. Σπουδαίο ρόλο διαδραματίζει λοιπόν το ύψος του τραπεζιού αλλά και η απόσταση από τον καθήμενο, χαρακτηριστικά που θα πρέπει να τροποποιούνται για την καλύτερη κάλυψη των αναγκών μεγαλύτερου αριθμού επιβατών. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το ιδανικό ύψος της πάνω επιφάνειας του τραπεζιού ισούται με το άθροισμα του ύψους της έδρας του καθίσματος και του ύψους του αγκώνα από την έδρα του καθίσματος, αφαιρώντας 5 εκατοστά. Είναι εμφανές λοιπόν ότι το βέλτιστο ύψος διαφέρει ουσιαστικά από επιβάτη σε επιβάτη, ειδικά στην περίπτωση που και το ύψος της έδρας του καθίσματος είναι το ενδεδειγμένο για κάθε επιβάτη και όχι ένα σταθερό σαν οικουμενική λύση.

Ένας παράγοντας που συχνά δυσχεραίνει τους επιβάτες και περιορίζει ιδιαίτερα την άνεση τους είναι η μη επιθυμητή και μη προσδόκιμη μετακίνηση του τραπεζιού, όταν χρησιμοποιείται. Καθώς το ατομικό τραπεζάκι είναι συνήθως ενσωματωμένο στην πλάτη του μπροστινού καθίσματος, οποιαδήποτε στιγμή ο επιβάτης που κάθεται σε εκείνο το κάθισμα αποφασίσει να αυξήσει την κλίση της πλάτης του καθίσματός του, το τραπεζάκι θα μετακινηθεί πολύ. Έτσι, σε περίπτωση που κάτι τέτοιο συμβεί ενώ χρησιμοποιείται για τη στήριξη για παράδειγμα ενός υπολογιστή, ο υπολογιστής θα πιεστεί σε μεγάλο βαθμό απότομα, χωρίς ο χρήστης του να έχει τη δυνατότητα να τον μετακινήσει προηγουμένως. Και στη συνέχεια όμως η χρήση του δε θα είναι εύκολη, λόγω του ότι ο διαθέσιμος χώρος θα περιορίζεται πλέον από την πλάτη του μπροστινού καθίσματος.

Ένα στοιχείο που θα μπορούσε να διευκολύνει σε μεγάλο βαθμό τους επιβάτες είναι η ενσωμάτωση στην επιφάνεια του τραπεζιού, μίας ποτηροθήκης. Είναι πολύ σύνηθες επιβάτες να έχουν ανοιχτό ολόκληρο το ατομικό τους τραπέζακι μόνο και μόνο για την αποθήκευση νερού ή ποτού. Έτσι περιορίζεται κατά πολύ ο διαθέσιμος χώρος τους και κατ' επέκταση η άνεση τους, χωρίς να αξιοποιούν ουσιαστικά το τραπέζακι τους. Με την ύπαρξη ποτηροθήκης όμως, ελευθερώνεται χώρος για την αξιοποίηση του με διαφορετικό τρόπο. Η ποτηροθήκη όμως θα πρέπει να είναι σχεδιασμένη ως τμήμα του τραπεζιού και όχι ως αξεσουάρ που αναδιπλώνει, ώστε να μην σπάει εύκολα και να μη χρειάζεται συνεχώς επισκευή. Ένα άλλο χαρακτηριστικό που θα μπορούσε να αυξήσει σημαντικά το βαθμό άνεσης του καθήμενου είναι η ύπαρξη υποδοχής για κινητό τηλέφωνο ή και tablet στο ατομικό τραπέζακι, τόσο στην ανοιχτή όσο και στην κλειστή του μορφή (Εικόνα 1. 26). Κάτι τέτοιο μπορεί να διευκολύνει πολύ τους επιβάτες που χρησιμοποιούν τέτοιου είδους συσκευές, καθώς ελευθερώνει τα χέρια τους, χωρίς να καταλαμβάνει ουσιαστικά χώρο από το ατομικό τους τραπέζακι. Έτσι, στην περίπτωση που ο επιβάτης θέλει για παράδειγμα να γευματίσει, μπορεί να τοποθετήσει την ηλεκτρονική του συσκευή στην υποδοχή αυτή και με ελεύθερα πλέον χέρια να γευματίσει με άνεση, ενώ ταυτόχρονα χρησιμοποιεί και τη συσκευή του. Το ίδιο μπορεί να ισχύσει ακόμα και στην περίπτωση που το τραπέζακι είναι κλειστό, ώστε ο καθήμενος να μπορεί να χαλαρώσει στη θέση του, χωρίς να χρειάζεται να κρατάει συνεχώς τη συσκευή του. Ιδιαίτερη σημασία έχει βέβαια το να μπορεί ο χρήστης να περιστρέψει εντός φυσιολογικών ορίων τη συσκευή του, ώστε να έχει την κατάλληλη κλίση την εκάστοτε στιγμή, για να μη δυσχεραίνεται κατά τη χρήση της. [20]



Εικόνα 1. 26: Ύπαρξη υποδοχής για κινητό τηλέφωνο ή και tablet στο ατομικό τραπέζακι.

1.10. Η τσέπη του καθίσματος

Ιδιαίτερης σημασίας αξία έχει και η τσέπη της αεροπορικής θέσης, για την άνεση των επιβατών. Αφενός, μία μεγαλύτερης διάστασης τσέπη μπορεί να χωρέσει περισσότερα από τα προσωπικά αντικείμενα του επιβάτη που χρησιμοποιεί κατά τη διάρκεια της πτήσης και συνεπώς να τον διευκολύνει. Αφετέρου, με τη συνήθη τοποθέτηση της τσέπης στην πλάτη του μπροστινού καθίσματος στο ύψος των ποδιών, οι μεγάλοι μεγέθους τσέπες καταλαμβάνουν σημαντικό τμήμα από το διαθέσιμο χώρο για τα κάτω άκρα του καθήμενου και ειδικότερα όταν περιέχουν ογκώδη αντικείμενα. Έτσι, αναγκαστικά περιορίζεται η χρήση τους από μεγάλη μερίδα επιβατών, που ήδη δε χωρούν στις θέσεις, ενώ και τα άτομα που τις χρησιμοποιούν δυσχεραίνονται ουσιαστικά καθ' όλη τη διάρκεια της πτήσης, μιας και ο διαθέσιμος χώρος για τα κάτω άκρα τους είναι ιδιαίτερα περικομμένος.

Μία διαφορετική τοποθέτηση της τσέπης θα μπορούσε να διευκολύνει τους επιβάτες, εξοικονομώντας χώρο. Για παράδειγμα, σε μία νέα σχεδίαση που έχει γίνει, υπάρχει ένα προσωπικό ντουλάπι πίσω από το ατομικό τραπέζακι, που αντικαθιστά την τσέπη του καθίσματος και μεγιστοποιεί το διαθέσιμο χώρο του επιβάτη στο ύψος των γονάτων. Επιπρόσθετα, στην αρχική θέση της τσέπης, υπάρχει ένας ελαστικός ιμάντας που μπορεί να κρατήσει κάποια μαλακά αντικείμενα, όπως μαξιλάρια και κουβέρτες. Ειδική πρόνοια στον ιμάντα έχει γίνει και για την αποθήκευση μπουκαλιών. Με αυτό τον τρόπο ο ανεκμετάλλευτος χώρος που υπάρχει πίσω από το ατομικό τραπέζακι αξιοποιείται και ελευθερώνεται επιπλέον χώρος για τα κάτω άκρα του καθήμενου (Εικόνα 1. 27). [21]



Εικόνα 1. 27: Νέα σχεδίαση με προσωπικό ντουλάπι αντί της τσέπης του καθίσματος.

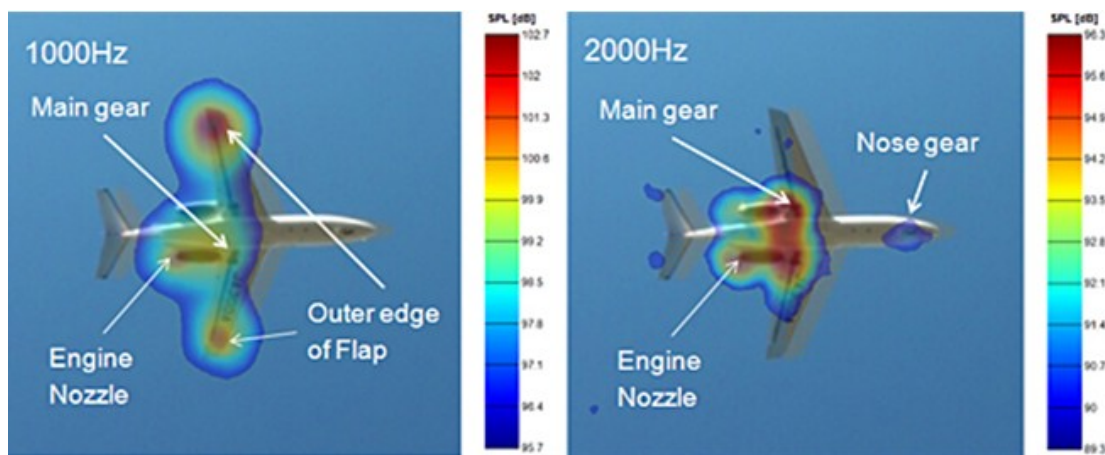
2. Ήχοι και δονήσεις

2.1. Ήχοι

Εισαγωγή

Ο ήχος των αεροσκαφών αποτελεί μία μορφή ηχορύπανσης που παράγεται από οποιοδήποτε αεροσκάφος και τα μέρη του κατά την διάρκεια διαφόρων φάσεων μία πτήσης. Ο ήχος αυτός μπορεί να δημιουργηθεί όταν το αεροσκάφος είναι σταθμευμένο στο έδαφος από επικουρικές συσκευές παροχής ηλεκτρικού ρεύματος, κατά την τροχοδρόμηση, κατά την ανύψωση λόγω της μεγάλης ισχύος του κινητήρα, κατά την διάρκεια του ταξιδιού μετά την απογείωση και κατά τη διάρκεια της προσγείωσης (Εικόνα 2. 1). Ένα κινούμενο αεροσκάφος, είτε με τους κινητήρες του είτε με τους έλικές του, προκαλεί συμπίεση και αρραίωση του αέρα, παράγοντας κίνηση των μορίων του αέρα. Η κίνηση αυτή, μεταδίδεται μέσω του αέρα σαν κύματα πίεσης. Εάν αυτά τα κύματα πίεσης είναι αρκετά ισχυρά και εντός ενός συγκεκριμένου φάσματος συχνοτήτων, που μπορούν να γίνουν αντιληπτές από το αυτί, δημιουργείται η αίσθηση ύπαρξης ήχου. Διαφορετικά είδη αεροσκαφών παράγουν διαφορετικής έντασης και συχνοτήτων ήχους. Τα αυξημένα επίπεδα έντασης ήχου έχουν σημαντικές επιπτώσεις τόσο για την άνεση των επιβατών του αεροσκάφους, όσο και για την υγεία τους. Υψηλά επίπεδα ηχορύπανσης μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα ακοής, υπέρταση, ισχαιμική καρδιοπάθεια, εκνευρισμό, διαταραχές στον ύπνο

αλλά και μειωμένη απόδοση. Η απώλεια της ακοής, έως κάποιο βαθμό, είναι φυσιολογική με την πάροδο των χρόνων για όλους τους ανθρώπους. Όμως, η συχνή έκθεση σε έντονη ηχορύπανση οδηγεί σε ιδιαίτερα αυξημένη απώλεια ακοής, ανεξάρτητα από την ηλικία του ατόμου και σε σύντομο χρονικό διάστημα. Ακόμα, η υψηλή στάθμη θορύβου μπορεί να αυξήσει τα ποσοστά εργατικών ατυχημάτων, το στρες καθώς και να προκαλέσει την εμφάνιση επιθετικότητας και άλλων αντικοινωνικών συμπεριφορών.



Εικόνα 2. 1: Οπτικοποίηση πηγών θορύβου για 1000Hz και 2000Hz σε αεροσκάφος σε κατάσταση προετοιμασίας προσγείωσης, με κατεβασμένο το σύστημα προσγείωσης και τα πτερύγια καμπυλότητας, σε υψόμετρο 60 μέτρα και ταχύτητα πτήσης 60 m/s.

Στα τέλη της δεκαετίας του 2000 πραγματοποιήθηκε από τον Bernhard Greiser μία μεγάλης κλίμακας στατιστική ανάλυση των επιπτώσεων του θορύβου των αεροσκαφών στην υγεία των ανθρώπων για το κεντρικό περιβαλλοντικό γραφείο της Γερμανίας. Τα δεδομένα της υγείας, τουλάχιστον ενός εκατομμυρίου κατοίκων που έμεναν γύρω από το αεροδρόμιο της Κολωνίας, αναλύθηκαν με σκοπό την ανάδειξη των επιπτώσεων του θορύβου που παράγεται από τα αεροσκάφη στην υγεία των ατόμων αυτών. Τα αποτελέσματα διορθώθηκαν, υπολογίζοντας τις επιρροές από άλλους θορύβους που υπάρχουν σε κατοικημένες περιοχές αλλά και κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες, με σκοπό την αποφυγή τυχών σφαλμάτων. Η γερμανική αυτή περιβαλλοντική έρευνα ανέδειξε σαφή αρνητική επίδραση του θορύβου των αεροσκαφών στην υγεία. Για παράδειγμα, μία ημερήσια μέση τιμή έντασης ήχου της τάξεως των 60 ντεσιμπέλ οδηγεί σε αύξηση της πιθανότητας εμφάνισης στεφανιαίας νόσου κατά 61% στους άντρες και 80% στις γυναίκες. Αντίστοιχα, μία νυχτερινή μέση τιμή της τάξεως των 55 ντεσιμπέλ αυξάνει τον κίνδυνο εμφάνισης εμφράγματος του μυοκαρδίου κατά 66% στους

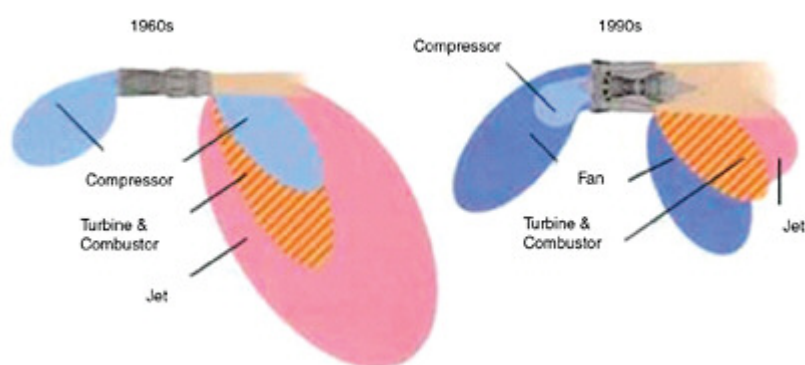
άντρες και 139% στις γυναίκες. Σημαντικές ωστόσο επιπτώσεις στην υγεία παρατηρούνται σε στατιστικές ακόμα και σε αρκετά χαμηλά μέσα επίπεδα ήχου, ξεκινώντας από τα 40 ντεσιμπέλ. Σύμφωνα με την FAA (Federal Aviation Administration) μία μέγιστη ημερήσια και νυχτερινή μέση τιμή επιπέδων ήχου 65 ντεσιμπέλ δεν μπορεί να συμβαδίσει με κατοικημένες περιοχές. Κοινότητες σε περιοχές που ξεπερνούν το όριο αυτό είναι κατάλληλες για την πραγματοποίηση προσπάθειας λήψης μέτρων περιορισμού των επιπέδων ήχου, όπως η ηχομόνωση. [22]

Ο ήχος που προέρχεται από τα αεροσκάφη, σαφώς δεν επηρεάζει μόνο τους ανθρώπους που βρίσκονται στο έδαφος γύρω από αυτό, αλλά και εκείνους που βρίσκονται μέσα στο αεροσκάφος, όπως για παράδειγμα το πλήρωμα και τους επιβάτες. Ενώ φαίνεται ότι η έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί πάνω σε αυτόν το τομέα είναι περιορισμένη, η ελάττωση ωστόσο των επιπέδων του ήχου αποτελεί έναν ευρέως διαδεδομένο στόχο στα καινούρια αεροσκάφη. Τα επίπεδα ήχου μέσα σε ένα Airbus A321, κατά την διάρκεια της πτήσης, είναι περίπου 78 ντεσιμπέλ. Κατά την διάρκεια της τροχοδρόμησης του αεροσκάφους, δηλαδή της κίνησής του εντός του αεροδρομίου με δική του ισχύ, ο κινητήρας του παράγει το λιγότερο δυνατό ήχο, με τα επίπεδά του στην καμπίνα να καταγράφονται στα 65 ντεσιμπέλ. Η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη κατά 20 ντεσιμπέλ από τα συνιστώμενα ως μέγιστα αποδεκτά επίπεδα ήχου για ένα γραφείο αλλά 20 ντεσιμπέλ μικρότερη από την τιμή των επαγγελματικών ορίων έκθεσης σε θόρυβο, που είναι τα 85 ντεσιμπέλ.

Με εικονική αναπαράσταση του ήχου που παράγεται από τα αεροσκάφη, στα 65 ντεσιμπέλ, αποδείχθηκε ότι ο θόρυβός τους επηρεάζει αρνητικά την μνήμη των ατόμων αλλά και την ικανότητά τους να ανακαλούν ακουστικές πληροφορίες. Σε μία μελέτη που έχει πραγματοποιηθεί, συγκρίθηκε η επίδραση του θορύβου των αεροσκαφών με την επίδραση του αλκοόλ, στη γνωστική απόδοση. Διαπιστώθηκε ότι η προσομοίωση του ήχου των αεροπλάνων, στα 65 ντεσιμπέλ, είχε την ίδια επίδραση στην ικανότητα των ατόμων να ανακαλέσουν ακουστικές πληροφορίες με την κατάσταση μέθης από αλκοόλ, με συγκέντρωση στο αίμα 0.10. Η συγκέντρωση αλκοόλ στο αίμα αυτής της τάξεως είναι διπλάσια του νόμιμου ορίου για τον χειρισμό οχημάτων σε πολλές αναπτυγμένες χώρες, όπως η Αυστραλία.

Κατά την διάρκεια μίας περιόδου 30 ετών, η ραγδαία πρόοδος στην αεροδυναμική των αεροσκαφών και στην τεχνολογία των υλικών, έχει οδηγήσει στη μείωση των επιπέδων του ήχου που παράγεται από ένα αεροσκάφος κατά 20 περίπου ντεσιμπέλ, η οποία αντιστοιχεί σε ελάττωση

της ενόχλησης και του εκνευρισμού που προκαλείται από το θόρυβο αυτό κατά 75% (Εικόνα 2. 2). Το νέο Airbus A380, το μεγαλύτερο εμπορικό αεροσκάφος που κατασκευάστηκε ποτέ, με μέσο όρο χωρητικότητας επιβατών 525, έχει επίπεδα ήχου κατά την απογείωση και την προσγείωση που προσεγγίζουν εκείνα των βαρέων οχημάτων οδικής κυκλοφορίας και είναι μικρότερα από αυτά ενός υπόγειου τρένου. Ο θόρυβος που προέρχεται από το A380 είναι περίπου ο μισός σε σύγκριση με τα παλαιότερα, μεγάλα, εμπορικά αεροσκάφη. Παρόλα τα εντυπωσιακά αυτά αποτελέσματα, ο θόρυβος που προέρχεται από τα αεροσκάφη αποτελεί σημαντικό πρόβλημα. [23][24]



Εικόνα 2. 2: Σύγκριση πηγών θορύβου το 1960 και το 1990 σε αεριωθούμενα αεροσκάφη (πηγή: Rolls-Royce 2005).

2.1.1. Ήχος από αέρα [ομαλή ροή(άτρακτος, τμήμα φτερών)→ζώνη διάτμησης→στρόβιλοι (άτρακτος, φτερά, ρόδες, ουρά αεροσκάφους)]

Τόσο η ομαλή κίνηση του αέρα όσο και ανωμαλίες σε αυτή, όπως για παράδειγμα η ύπαρξη στροβίλων, δημιουργούν ήχους αλλά και δονήσεις στο αεροσκάφος, οι οποίες ορισμένες φορές γίνονται αντιληπτές και αυτές ως θόρυβος. Ο θόρυβος που προέρχεται από την ομαλή ροή του αέρα γύρω από την άτρακτο του αεροσκάφους παράγεται κυρίως από το ρεύμα αέρα γύρω από επιφάνειές του που βοηθούν στην απογείωση αλλά και στον έλεγχο του, όπως τα πτερύγια, το σύστημα προσγείωσης και τα πτερύγια σχηματισμού σχισμής. Αυτό το είδος του θορύβου, είναι μεγαλύτερο όσο αυξάνεται η ταχύτητα του αεροσκάφους αλλά και σε χαμηλά ύψη, λόγω της πυκνότητας του αέρα. Τα στρατιωτικά αεροσκάφη για παράδειγμα, που πετούν σε χαμηλά ύψη με μεγάλες ταχύτητες, παράγουν ιδιαίτερα υψηλής έντασης θόρυβο.

Το σχήμα του ρύγχους και του παρμπρίζ ή της καλύπτρας του αεροσκάφους, επηρεάζουν σημαντικά τον ήχο που παράγεται. Το μεγαλύτερο μέρος όμως του θορύβου που παράγεται από ένα ελικοφόρο για παράδειγμα αεροσκάφος είναι αεροδυναμικός, αποτέλεσμα της ροής του αέρα γύρω από τις λεπίδες των ελίκων του. Στην περίπτωση ελικοπτέρου, ο κύριος και ο ουριαίος στροφέας του συμμετέχουν επίσης στην δημιουργία αεροδυναμικού θορύβου, χαμηλής συχνότητας, που καθορίζεται από την ταχύτητα του στροφέα. Συνήθως, ο ήχος παράγεται όταν η ροή του αέρα περνάει από ένα αντικείμενο του αεροσκάφους, όπως για παράδειγμα τα πτερύγια ή το σύστημα προσγείωσης (Εικόνα 2. 3). Γενικά, υπάρχουν δύο κύριοι τύποι θορύβου που παράγονται από ένα αεροσκάφος.

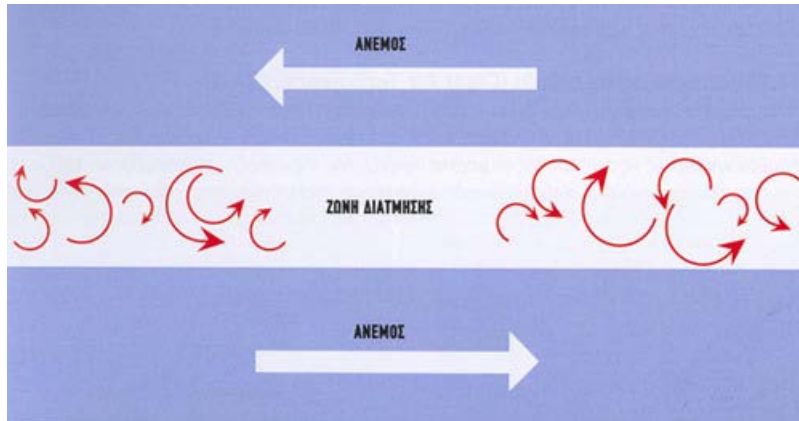


Εικόνα 2. 3: Σύστημα προσγείωσης ενός Boeing 777.

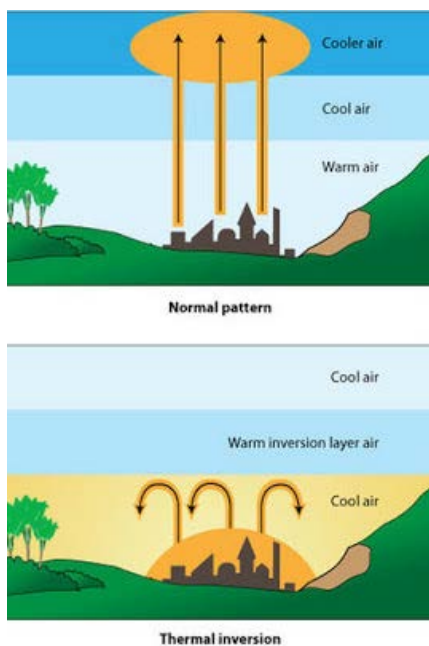
Αρχικά, είναι ο θόρυβος που δημιουργείται από το ακανόνιστο σχήμα του σώματος του αεροσκάφους, που στην Αγγλική ορολογία αναφέρεται ως Bluff body noise. Η ροή του αέρα διαχωρίζεται και δημιουργούνται εναλλασσόμενοι στρόβιλοι σε ορισμένες πλευρές του σώματος του αεροσκάφους, λόγω του σχήματός του. Έτσι δημιουργούνται περιοχές με χαμηλή πίεση, στους πυρήνες των στρόβιλων, οι οποίες γίνονται αντιληπτές ως ήχοι ή/και δονήσεις. Η ροή του αέρα που διαχωρίζεται από το σώμα του αεροσκάφους είναι αρκετά

ασταθής και περιδινείται σχηματίζοντας τους στροβίλους, που στη συνέχεια προκαλούν αναταράξεις. Ο άλλος τύπος θορύβου είναι ο θόρυβος του χείλους εκφυγής, που αναφέρεται στην Αγγλική ορολογία ως Edge noise. Όταν η τυρβώδης ροή του αέρα περνάει την πίσω άκρη των περυγίων ή το τέλος ενός άλλου τμήματος της δομής του αεροσκάφους ή ακόμη και τα κενά σε αυτή, οι διακυμάνσεις της πίεσης του αέρα δημιουργούν θόρυβο, καθώς ο ήχος διαδίδεται από την άκρη του αντικειμένου.

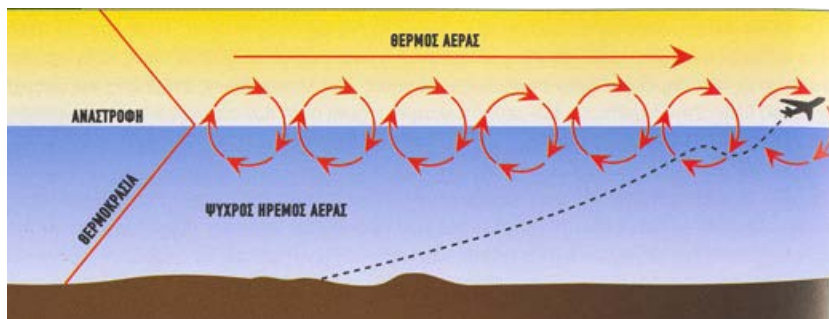
Πιο αναλυτικά, όταν δύο σώματα κινούνται το ένα προς το άλλο και είναι σε επαφή, δημιουργείται τριβή. Στα στερεά αντικείμενα τότε δεν ανταλλάσσεται ύλη μεταξύ τους. Στα ρευστά αντικείμενα όμως, δημιουργούνται στρόβιλοι κατά μήκος μίας λεπτής ζώνης ανάμειξης και σε αυτή την περίπτωση μεταφέρεται ύλη (Εικόνα 2. 4). Στην περίπτωση που τα ρευστά αντικείμενα είναι ρεύματα αέρα, η ζώνη της ανάμειξης και των στροβίλων ονομάζεται ζώνη διάτμησης. Τα ρεύματα του αέρα που έρχονται σε επαφή μεταξύ τους υπάρχει περίπτωση να έχουν διαφορετικές ταχύτητες ή/και διαφορετικές διευθύνσεις. Για το λόγο αυτό, ο διατμητικός άνεμος εμφανίζεται με τη μορφή απότομων μεταβολών στη διεύθυνση ή/και στην ένταση του ανέμου. Περιοχές εμφάνισης διατμητικού ανέμου είναι συνήθως οι μετωπικές ζώνες, οι θερμοκρασιακές αναστροφές σε χαμηλά ύψη, κοντά σε καταιγίδες και κοντά στον αεροχείμαρρο. Η θερμοκρασιακή αναστροφή είναι το φαινόμενο κατά το οποίο η θερμοκρασία του αέρα αυξάνεται με το ύψος τοπικά, αντί να μειώνεται όπως συμβαίνει κανονικά (Εικόνα 2. 5). Τα ρεύματα του αέρα πάνω από το επίπεδο της αναστροφής μπορεί να είναι σχετικά δυνατά, καθώς ο άνεμος απομονώνεται από την τριβή με το έδαφος. Σε αυτή την περίπτωση δημιουργείται μία ζώνη διατμητικού ανέμου, μέσα από την οποία όταν ένα αεροσκάφος περνάει, είτε αυξάνοντας υψόμετρο μετά την απογείωση, είτε κατεβαίνοντας για προσγείωση, μπορεί να του προκληθεί απότομη μείωση της ταχύτητάς του και συνεπακόλουθα απώλεια στήριξης (Εικόνα 2. 6). [25]



Εικόνα 2. 4: Ρεύματα αέρα με διαφορετικές ταχύτητες δημιουργούν τριβή μεταξύ τους.



Εικόνα 2. 5: Τις ανέφελες νύχτες με άπνοια δημιουργείται θερμοκρασιακή αναστροφή κοντά στο έδαφος.



Εικόνα 2. 6: Θερμοκρασιακή αναστροφή και ο διατμητικός άνεμος που δημιουργείται.

2.1.2. Ήχος κινητήρων

Ο θόρυβος που δημιουργείται από τους κινητήρες του αεροσκάφους αποτελεί μία από τις κυριότερες πηγές θορύβου τόσο στο εσωτερικό, όσο και στο εξωτερικό ενός αεροσκάφους. Παράγεται από τα κινούμενα μέρη των κινητήρων, καθώς επίσης και από τον αέρα που αποβάλλεται από αυτούς με μεγάλη ταχύτητα, αφού περάσει από το εσωτερικό τους (Εικόνα 2. 7). Το μεγαλύτερο τμήμα του θορύβου προέρχεται από την εξαγωγή των καυσαερίων και την ανάμειξη τους με τον γύρω αέρα. Ακόμα, ο θόρυβος από αυτούς μπορεί να προέρχεται από τους έλικες, τον συμπιεστή, την τουρμπίνα, τον καυστήρα ή και την εξάτμιση κάθε κινητήρα. Οι κινητήρες παράγουν διακριτούς τόνους, που στην περίπτωση των ελικοφόρων αεροσκαφών είναι αποτέλεσμα της περιστροφικής κίνησης των ελίκων κοντά στα μη περιστρεφόμενα αντικείμενα, αλλά και θόρυβο ευρείας ζώνης. Το φάσμα των συχνοτήτων περιλαμβάνει τη θεμελιώδη συχνότητα περιστροφής της φτερωτής, που είναι τυπικά περίπου 100Hz, και ανώτερες αρμονικές της. Ο θόρυβος ευρείας ζώνης προέρχεται κυρίως από τυχαίες διακυμάνσεις σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων και μπορεί να οφείλεται σε τυρβώδη ροή αέρα στα ρεύματα εισόδου στον κινητήρα και σε αεροδίνες πίσω από τους έλικες. Οι τουρμποκινητήρες είναι υπεύθυνοι για μεγάλο μέρος του θορύβου που υπάρχει σε ένα αεροσκάφος κατά τη διάρκεια της απογείωσης και της ανόδου του, όπως για παράδειγμα το θόρυβο που δημιουργείται όταν οι λεπίδες του ανεμιστήρα του φτάσουν υπερηχητικές ταχύτητες. Ωστόσο, με τις προόδους που έχουν σημειωθεί τα τελευταία χρόνια στις τεχνολογίες μείωσης του θορύβου, κατά τη διάρκεια της προσγείωσης είναι συνήθως η άτρακτος αυτή που παράγει περισσότερο θόρυβο. [26]



Εικόνα 2. 7: Όψη κινητήρα ενός Boeing 777 εσωτερικά από το περίβλημά του.

Όπως προαναφέρθηκε, ο θόρυβος εξαγωγής ταχυρεύματος αποτελεί τον μεγαλύτερο θόρυβο ενός κινητήρα, αν και στους στροβιλοανεμιστήρες υπάρχει σημαντικός θόρυβος και από τους ανεμιστήρες. Ο υψηλής ταχύτητας πίδακας αέρα που εξέρχεται από το πίσω μέρος του κινητήρα δημιουργεί ένα ασταθές στρώμα διάτμησης και τυλίγεται δημιουργώντας αεροδίνες. Αυτές στη συνέχεια γίνονται αναταράξεις. Ο θόρυβος αυτός του κινητήρα είναι ανάλογος της ταχύτητάς του λοιπόν και συνεπακόλουθα, ακόμα και μία μέτρια μείωση στην ταχύτητα εξαγωγής των καυσαερίων από αυτόν, θα μπορούσε να μειώσει σημαντικά τον παραγόμενο θόρυβο. Πρόκειται για έναν ευρυζωνικό θόρυβο, που οι συνιστώσες του κατανέμονται σε ευρεία περιοχή συχνοτήτων και εκτείνεται πολύ πέρα από το εύρος της ανθρώπινης ακοής, πάνω και από τα 100 kHz. Ο θόρυβος αυτός αποτελεί έναν από τους δυνατότερους θορύβους που έχουν παραχθεί ποτέ από την ανθρωπότητα. Όταν οι ταχύτητες εξαγωγής ταχυρεύματος ξεπερνούν τα 100 m/s, η ανάμιξη του πίδακα αέρα με τον περιβάλλοντα αέρα προκαλεί το μεγαλύτερο θόρυβο, όμως σε χαμηλότερες ταχύτητες και οι διεργασίες εντός του κινητήρα συμβάλουν στη δημιουργία έντονου θορύβου. Για παράδειγμα, η διαδικασία της καύσης και η αλληλεπίδραση της τυρβώδους ροής αέρα με τους ανεμιστήρες, τους συμπιεστές, και τα συστήματα της τουρμπίνας ενισχύουν τον παραγόμενο θόρυβο. Οι θόρυβοι που προκαλούνται από τους κινητήρες μεταφέρονται στο

εσωτερικό της καμπίνας κυρίως μέσω του αέρα, αλλά και μέσω της δομής του αεροσκάφους. [27]

2.1.3. Αεροδυναμικός θόρυβος

Καθώς σταδιακά επιτυγχάνεται μείωση του θορύβου που δημιουργείται από τους κινητήρες, ιδιαίτερα σημαντική πηγή θορύβου θεωρείται πλέον και ο αεροδυναμικός θόρυβος που δημιουργείται στο οριακό στρώμα της ατράκτου του αεροσκάφους και επιτακτική γίνεται η ανάγκη μείωσής του για την άνεση των επιβατών. Το οριακό στρώμα της ατράκτου δέχεται αναταράξεις στο μεγαλύτερο τμήμα του και οι δονήσεις που δημιουργούνται στο σκελετό του αεροσκάφους γίνονται αντιληπτές ως θόρυβος στο εσωτερικό της καμπίνας. Ο θόρυβος αυτός δημιουργείται από την αλληλεπίδραση του κύματος κρούσης με το οριακό στρώμα της ατράκτου και από την αποκόλληση της ροής του αέρα λόγω της δομής του αεροσκάφους και τη δημιουργία αεροδινών εξαιτίας αυτής. Αυξάνεται όσο αυξάνεται η ταχύτητα του αεροσκάφους, αλλά και όσο μειώνεται το υψόμετρο πτήσης, λόγω της μεγαλύτερης πυκνότητας του αέρα. Οι μεσαίες και υψηλότερες συχνότητες του αεροδυναμικού αυτού θορύβου που δημιουργείται στο εσωτερικό της καμπίνας είναι συνήθως σημαντικότερες. [28]

Πρόκειται για ιδιαίτερης σπουδαιότητας ζήτημα, όχι μόνο για την άνεση των επιβατών όμως, καθώς ο θόρυβος αυτός που πρόκειται στην ουσία για αναταράξεις, θα μπορούσε να επιβαρύνει όχι μόνο τους επιβάτες και τον εξοπλισμό του αεροσκάφους αλλά ακόμα και το εξωτερικό περίβλημα της ατράκτου. Πηγές αεροδυναμικού θορύβου σε ένα αεροσκάφος αποτελούν όπως προαναφέρθηκε και στοιχεία της δομής του που δημιουργούν ασυνέχειες και αποκόλληση της ροής του αέρα, όπως οι άκρες των πτερυγίων, ο φθορέας άντωσης, τα πτερύγια καμπυλότητας αλλά και ολόκληρο το σύστημα προσγείωσης. Το σύστημα αυτό, με τους τροχούς τα φρένα και τις υπόλοιπες δομές, έχει συνολικά αρκετά περίπλοκη γεωμετρία, με αποτέλεσμα να δημιουργεί ιδιαίτερα τυρβώδη κίνηση αέρα γύρω του και πολύ υψηλής έντασης θόρυβο κατά τη διάρκεια της προσγείωσης και της απογείωσης, στις φάσεις δηλαδή των πτήσεων κατά τις οποίες δεν γίνεται ανάκλησή του. [29][30]

2.1.4.Εσωτερικές πηγές θορύβου (a/c, σύστημα εξαερισμού, σύστημα διατήρησης πίεσης καμπίνας, υδραυλικό σύστημα)

Εκτός από τις πηγές θορύβου που προαναφέρθηκαν όμως, υπάρχουν και αρκετά άλλα συστήματα του αεροσκάφους που συμβάλουν στη φασαρία που αντιλαμβάνονται οι επιβάτες και συνεπακόλουθα, στην ενόχλησή τους από αυτή. Μία από τις σημαντικότερες πηγές έντονου θορύβου λοιπόν στο εσωτερικό της καμπίνας, αποτελεί η βοηθητική μονάδα ισχύος (APU) (Εικόνα 2. 8). Πρόκειται για μία γεννήτρια, που χρησιμοποιείται στα αεροσκάφη, για την ενεργοποίηση των μηχανών τους και για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, όση ώρα αυτά βρίσκονται στο έδαφος. Πρόκειται για ένα από τα σπουδαιότερα συστήματα ενός αεροσκάφους, καθώς παρέχει την απαραίτητη ενέργεια για την εκκίνηση των μηχανών του και για άλλες πολύ σημαντικές λειτουργίες του καθ' όλη τη διάρκεια που αυτό βρίσκεται παρκαρισμένο, όπως το φωτισμό της καμπίνας αλλά και τη λειτουργία του συστήματος κλιματισμού. Όταν πλέον στο αεροπλάνο ενεργοποιούνται οι κινητήρες του και ετοιμάζεται για απογείωση, τότε η βοηθητική μονάδα ισχύος απενεργοποιείται. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της όμως, η βοηθητική μονάδα ισχύος, δημιουργεί δυστυχώς έντονο θόρυβο στο εσωτερικό της καμπίνας. ^[31]



Εικόνα 2. 8: Η βοηθητική μονάδα ισχύος ενός Boeing 787 στο πίσω μέρος του αεροσκάφους.

Πέρα από τη βοηθητική μονάδα ισχύος, συστήματα όπως το σύστημα διατήρησης πίεσης της καμπίνας και το σύστημα κλιματισμού και εξαερισμού, συμβάλλουν στη φασαρία που υπάρχει στο εσωτερικό της καμπίνας ενός αεροσκάφους. Τα συστήματα αυτά, ναι μεν προκαλούν λιγότερο θόρυβο από τη βοηθητική μονάδα ισχύος, αλλά λόγω του ότι λειτουργούν κατά τη διάρκεια ολόκληρης της πτήσης, διαδραματίζουν και αυτά πολύ ουσιαστικό ρόλο στην αίσθηση των επιβατών. Καθώς η ροή του αέρα στο σύστημα κλιματισμού και εξαερισμού μπορεί να ρυθμιστεί, η ένταση του θορύβου που προκαλούν τα συστήματα αυτά αντίστοιχα μπορεί να μειωθεί ή να αυξηθεί, ανάλογα με τις ανάγκες στο εσωτερικό της καμπίνας για αέρα. Επιπρόσθετα, θόρυβος μεταφέρεται στην καμπίνα από τον αγωγό εισόδου αέρα κρούσης που τροφοδοτεί τα ψυγεία αέρα-αέρα. Πάλι, καθώς η ποσότητα του αέρα που μεταφέρεται στο εσωτερικό του αεροσκάφους μπορεί να ρυθμιστεί, η ένταση του θορύβου που δημιουργείται από τον αεραγωγό αυτό δεν είναι σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια της πτήσης. Επιπρόσθετα, όταν το αεροσκάφος ακουμπάει στο έδαφος τη στιγμή της προσγείωσης, ο πιλότος αναστρέφει την ώση του κινητήρα για να καταφέρει να επιβραδύνει πολύ σύντομα το αεροσκάφος. Πρόκειται για ακόμα μία διαδικασία που προκαλεί πολύ έντονη φασαρία στο εσωτερικό της καμπίνας και επηρεάζει ιδιαίτερα την αίσθηση των επιβατών στο εσωτερικό της. ^{[32][33]}

2.1.5.Λοιποί παράγοντες (ταχύτητα, υψόμετρο, εσωτερική διαρρύθμιση, θέση μεμονωμένου καθίσματος, ψυχολογικοί παράγοντες, γενετικοί παράγοντες)

Δεδομένου του γεγονότος ότι οι κινητήρες αποτελούν την κυριότερη πηγή φασαρίας στο εσωτερικό της καμπίνας του αεροσκάφους, η ένταση του θορύβου όπως γίνεται αντιληπτή από κάθε επιβάτη μπορεί να ποικίλλει αξιοσημείωτα, ανάλογα με τη θέση του στο εσωτερικό της καμπίνας. Η θέση του επιβάτη όμως διαμορφώνει διαφορετική αίσθηση στον καθένα και για την ένταση των θορύβων που παράγουν άλλα συστήματα του αεροσκάφους, όπως το σύστημα κλιματισμού και εξαερισμού. Ακόμα, η εσωτερική διαρρύθμιση της καμπίνας μπορεί να επηρεάσει τους αντιλαμβανόμενους θορύβους από τα άτομα και συνεπακόλουθα, τον βαθμό άνεσής τους. Επιπρόσθετα, μεμονωμένες διαφορές και προηγούμενες εμπειρίες του κάθε επιβάτη

μπορεί να έχουν ουσιαστική επίδραση στην επήρεια σε αυτόν, όλων των προαναφερόμενων θορύβων που ακούγονται στο εσωτερικό μίας καμπίνας αεροσκάφους. Για παράδειγμα, ένα άτομο που φοβάται τις πτήσεις μπορεί να είναι πιο νευρικό, ανήσυχο και σε εγρήγορση από ένα άτομο που τις απολαμβάνει, με αποτέλεσμα η εμπειρία που βιώνουν στην καμπίνα και ο τρόπος που επηρεάζονται από τους θορύβους να είναι εντελώς ανόμοιος. Παρόμοια επίδραση έχει και το κατά πόσο ένας επιβάτης έχει κάνει αρκετές πτήσεις στη ζωή του ή λίγες και αντίστοιχα το εάν είναι εξοικειωμένος με τους συγκεκριμένους θορύβους αλλά και τις αλλαγές που μπορεί να συμβούν στην έντασή τους κατά τη διάρκεια μίας πτήσης, ή μη. Τέλος, γενετικοί παράγοντες συμβάλουν στη δημιουργία μίας ξεχωριστής εμπειρίας σε κάθε επιβάτη, καθώς άτομα με πιο οξυμένη ακοή αντιλαμβάνονται πιο δυνατούς τους θορύβους και συνεπακόλουθα επηρεάζεται περισσότερο η άνεσή τους από αυτούς. [34]

2.1.6. Προσπάθειες βελτίωσης που έχουν πραγματοποιηθεί

Ένα από τα σημαντικότερα τεχνολογικά προγράμματα μείωσης του θορύβου των αεροσκαφών στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία της Boeing, της Rolls Royce και των Αμερικανικών αερογραμμών το 2000 και ονομάστηκε "Quiet Technology Demonstrator". Η δεύτερη φάση του προγράμματος πραγματοποιήθηκε το 2005, σε συνεργασία της NASA, της General Electric, της Goodrich και της ANA. Μετά από αυστηρές δοκιμές και μετρήσεις στο έδαφος, στην καμπίνα των επιβατών και στην άτρακτο, τα προγράμματα αυτά εισήγαγαν νέες, προηγμένες τεχνολογίες για τη μείωση του θορύβου των αεροσκαφών. Ορισμένες από αυτές είναι τα chevrons στο ακροφύσιο του κινητήρα, η πιο εκτεταμένη χρήση εσωτερικής επένδυσης και από καταλληλότερο υλικό, το επανασχεδιασμένο αντιπαγωγικό σύστημα των πτερυγίων και ο ομαλότερος σχεδιασμός του συστήματος προσγείωσης. Στη συνέχεια, ακολούθησαν τα προγράμματα ecoDemonstrator, που πραγματοποιήθηκαν σε συνεργασία των Αμερικανικών Αερογραμμών, της Ομοσπονδιακής Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας, της NASA και του TUI Group, το 2012, το 2014, το 2015 και το 2016. Στα προγράμματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν ειδικά διαμορφωμένα αεροσκάφη της εταιρείας Boeing, για την ανάπτυξη και τη δοκιμή τεχνολογιών, με σκοπό την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης καυσίμων, του θορύβου αλλά και του οικολογικού αποτυπώματος των αεροσκαφών, δηλαδή του ίχνους που αφήνουν τα αεροσκάφη στο περιβάλλον. [35][36]

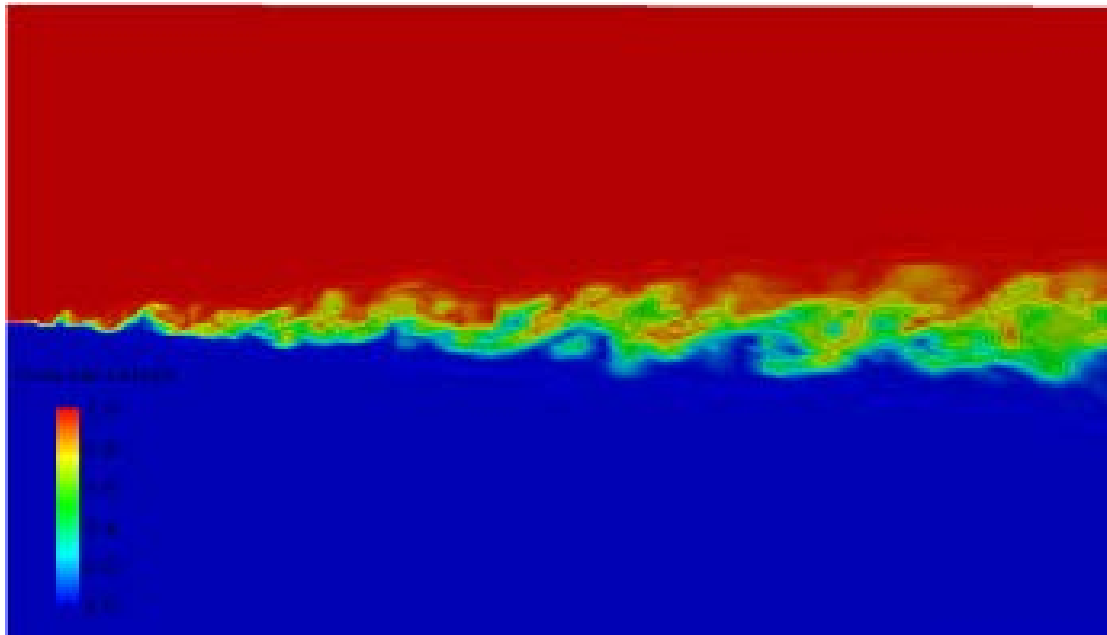
Φιλόδοξα προγράμματα για τη μείωση του θορύβου αλλά και των εκπομπών των αεροσκαφών πραγματοποιήθηκαν και στην Ευρώπη, με συνεργασίες από τον κλάδο της βιομηχανίας, μικρών και μεσαίων εταιρειών, ερευνητικών ιδρυμάτων και κυβερνητικών φορέων. Ορισμένα από τα πιο σημαντικά προγράμματα που πραγματοποιήθηκαν είναι το Silence®, το Silent Aircraft Initiative (SAX-40), το EnvironmentALLY (VITAL) Friendly Aero Engine και το EU Clean Sky Initiative. Το Silence® ήταν το μεγαλύτερο ερευνητικό πρόγραμμα που πραγματοποιήθηκε στην Ευρώπη για τη μείωση του θορύβου των αεροσκαφών και διήρκησε έξι χρόνια, ξεκινώντας το 2001. Το πρόγραμμα αυτό των 112.000.000€ συντονίστηκε από τη γαλλική εταιρεία Snecma και συνεργάστηκαν σε αυτό πενήντα έξι εταιρείες, συμπεριλαμβανομένων όλων των μεγάλων Ευρωπαϊκών κατασκευαστικών εταιρειών αεροπλάνων, μεγάλων ερευνητικών ιδρυμάτων και πανεπιστημίων. Στόχος του ήταν η μείωση του θορύβου που προέρχεται από τον κινητήρα αλλά και από το σύστημα προσγείωσης. Ορισμένες από τις τεχνολογίες που εφαρμόστηκαν στο πρόγραμμα αυτό είναι ο εξαιρετικά υψηλός λόγος παράκαμψης αέρα από το εσωτερικό του κινητήρα, τα ειδικά σχεδιασμένα ακροφύσια του κινητήρα για την καλύτερη ανάμειξη των καυσαερίων με τον αέρα που παρακάμπτει το εσωτερικό του κινητήρα, καθώς επίσης και τεχνολογίες για τη μείωση του θορύβου του ανεμιστήρα, όπως η παθητική επένδυσή του αλλά και τεχνολογίες ενεργού ελέγχου του. Για τη μείωση του θορύβου του συστήματος προσγείωσης ερευνήθηκαν νέοι σχεδιασμοί του και τελικά επιτεύχθηκε ο στόχος μονώνοντας τους τροχούς και ευθυγραμμίζοντάς τους με την διεύθυνση της ροής του αέρα. Το Silent Aircraft Initiative (SAX-40) ήταν ένα τριετές ερευνητικό πρόγραμμα που πραγματοποιήθηκε υπό τη διεύθυνση του πανεπιστημίου του Cambridge και του Ινστιτούτου Τεχνολογίας της Μασαχουσέτης, σε συνεργασία με εταιρείες από τον κλάδο της βιομηχανίας αλλά και κυβερνητικούς φορείς. Το πρόγραμμα των 2.300.000£ είχε εντυπωσιακά αποτελέσματα, αλλά παρέμεινε μόνο σε θεωρητικό σχεδιαστικό επίπεδο. ^{[37][38]}

Για τον περιορισμό του θορύβου του κινητήρα, σημαντικές βελτιώσεις έχουν γίνει στα σύγχρονα αεροσκάφη, όπως το Boeing 787, με τη χρήση των chevrons. Τα chevrons είναι τα προιονωτά μοτίβα που βρίσκονται στις άκρες των ακροφυσίων του κινητήρα (Εικόνα 2. 9). Όπως ο αέρας που προέρχεται από τον ανεμιστήρα του κινητήρα αναμειγνύεται με τον πιο κρύο και χαμηλότερης ταχύτητας αέρα του περιβάλλοντος, οι ακμές αυτές χρησιμεύουν για την εξομάλυνση της ανάμειξης, μειώνοντας την αναταραχή που δημιουργεί θόρυβο. Για την καλύτερη κατανόησή τους όμως, η αναφορά του τι συμβαίνει με τον αέρα σε έναν κινητήρα κρίνεται αναγκαία. Αρχικά υπάρχει ο ζεστός αέρας υψηλής ταχύτητας

που εξέρχεται από τον πυρήνα του κινητήρα. Επίσης, υπάρχει ένας άλλος χαμηλότερης ταχύτητας αέρας που εξέρχεται από τον ανεμιστήρα και που και αυτός όμως έχει μεγαλύτερη ταχύτητα από τον περιβάλλοντα αέρα και τέλος υπάρχει ακόμα ο περιβάλλοντας αέρας. Μεταξύ ρευμάτων αέρα με διαφορετικές ιδιότητες και κυρίως ταχύτητες δημιουργείται ένα στρώμα ανάμειξης, όπως έχει προαναφερθεί. Δυστυχώς, το στρώμα ανάμειξης αυτό αποτελεί στην ουσία τυρβώδη ροή αέρα και γίνεται αντιληπτή ως υψηλής έντασης θόρυβος (Εικόνα 2. 10). Η ένταση του θορύβου αυτού είναι τόσο υψηλή, λόγω του γεγονότος ότι η διαφορά μεταξύ των ταχυτήτων του αέρα είναι πάρα πολύ υψηλή. Όσο μικρότερη είναι η διαφορά μεταξύ των ταχυτήτων του αέρα, τόσο μικρότερη είναι η τυρβώδη ροή που δημιουργείται και συνεπακόλουθα ο θόρυβος που γίνεται αντιληπτός. [39][40]



Εικόνα 2. 9: Πριονωτά μοτίβα στο ακροφύσιο ενός κινητήρα, που ονομάζονται chevrons.



Εικόνα 2. 10: Ανάμειξη αέρα διαφορετικών ιδιοτήτων και η ζώνη διάτμησης μεταξύ τους.

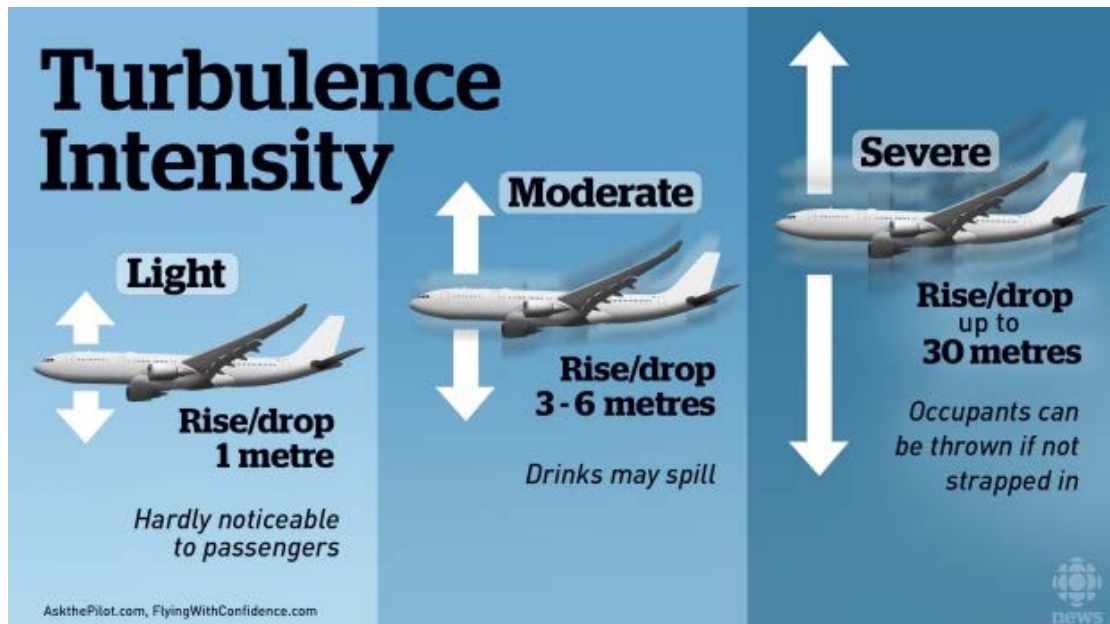
Αξιοποιώντας τη γνώση αυτή, σχεδιάστηκαν τα chevrons, τα οποία επιτρέπουν την πιο ομαλή ανάμειξη του αέρα. Αυτό συμβαίνει γιατί δημιουργούν κατά κάποιο τρόπο ένα ενδιάμεσο στρώμα αέρα μεταξύ του αέρα του ανεμιστήρα και του αέρα του περιβάλλοντος, μειώνοντας την τόσο μεγάλη διαφορά μεταξύ των ταχυτήτων τους. Πιο συγκεκριμένα, με την ύπαρξή τους, κάποια τμήματα του αέρα του ανεμιστήρα ενώνονται με τον αέρα του περιβάλλοντος νωρίτερα και κάποια αργότερα. Παλαιότερα, που η ροή του αέρα του ανεμιστήρα δεν ήταν τόσο μεγάλη, καθώς ο λόγος παράκαμψής του από το εσωτερικό του κινητήρα ήταν πολύ μικρότερος, η ανάμειξη γινόταν απευθείας μεταξύ του αέρα του πυρήνα του κινητήρα με τον περιβάλλοντα αέρα. Με την ιδιαίτερα υψηλή όμως αύξηση του λόγου παράκαμψης του αέρα από το εσωτερικό του κινητήρα, δημιουργήθηκε όχι μόνο η ανάγκη για ξεχωριστή ανάμειξη του αέρα από τον πυρήνα του αεροσκάφους με τον αέρα του ανεμιστήρα και του αέρα του ανεμιστήρα με τον περιβάλλοντα αέρα, αλλά επίσης και η ανάγκη για ομαλή και σταδιακή ανάμειξη αυτών για τη μείωση του θορύβου και στο σκοπό αυτό βοήθησαν τα chevrons. Τα chevrons λοιπόν δε βοηθούν στην αεροδυναμική του αεροσκάφους, το αντίθετο μάλιστα. Συνεισφέρουν όμως σημαντικά στη μείωση του θορύβου του κινητήρα τους και έμμεσα στην κατανάλωση καυσίμων, καθώς μειώνουν την ανάγκη για χρήση ειδικών ηχομονωτικών υλικών στην καμπίνα, μειώνοντας έτσι το βάρος του αεροσκάφους και συνεπακόλουθα την κατανάλωση. ^{[41][42][43]}

2.2. Δονήσεις

Εισαγωγή

Η ενέργεια των δονήσεων που μεταφέρεται μέσω της ατράκτου και των πτερυγίων του αεροσκάφους οδηγεί σε σημαντική φθορά διαφόρων ανταλλακτικών του σκελετού του, τα οποία συν τοις άλλοις έχουν και μεγάλο κόστος. Επίσης αποτελεί θεμελιώδη παράγοντα που επηρεάζει την άνεση, καθώς δημιουργεί ένα δυσάρεστο περιβάλλον τόσο για τους επιβάτες όσο και για το πλήρωμα του αεροπλάνου. Η ενέργεια αυτή, μεταφέρεται στο σώμα των επιβατών μέσω των καθισμάτων του αεροσκάφους που υφίσταται δονήσεις, των συστημάτων ελέγχου πτήσης του και του πατώματός του. Βραχυπρόθεσμα, οι μηχανικές αυτές δονήσεις που μεταδίδονται στο ανθρώπινο σώμα οδηγούν σε αυξημένη σωματική κόπωση, μειώνουν τόσο την άνεση του επιβάτη όσο και την αποδοτικότητά του αλλά και ορισμένες εκ αυτών ελαττώνουν ακόμα και τη λειτουργική ασφάλεια της πτήσης.

Δονήσεις διαφορετικών συχνοτήτων μπορούν να επηρεάσουν είτε ολόκληρο το σώμα των επιβατών και του πληρώματος, είτε ένα συγκεκριμένο όργανο αυτού. Η όραση μπορεί να υποβαθμιστεί λόγω των δονήσεων που υφίσταται το αεροσκάφος και είναι ιδιαίτερα δύσκολη η ανάγνωση κειμένου το οποίο φαίνεται να τρέμει λόγω αυτών. Ιδιαίτερα αρνητική επίδραση ασκεί στους επιβάτες και το αίσθημα ανησυχίας που τους διακατέχει, ειδικά όταν κάθονται κοντά στα πτερύγια και μπορούν να τα δουν να ταλαντώνονται λόγω των δονήσεων (Εικόνα 2. 11). Επιπρόσθετα, η συνεχής έκθεση σε επαναλαμβανόμενες δονήσεις που μεταφέρονται μέσω των καθισμάτων και στην περίπτωση των ελικοπτέρων, έχει αποδειχθεί ότι είναι επιζήμια για την σπονδυλική στήλη και τον αυχένα των επιβατών και οδηγεί σε μακροπρόθεσμα προβλήματα υγείας. Τεχνικές που μειώνουν τις δονήσεις και τον ήχο στην καμπίνα του αεροσκάφους και στοχεύουν στη βελτίωση των συνθηκών, της αποτελεσματικότητας και της ασφάλειας των επιβατών και του πληρώματος περιλαμβάνουν ενεργές τεχνικές που έχουν τη δυνατότητα να καταστείλουν δονήσεις χαμηλής συχνότητας. [25]



Εικόνα 2. 11: Διαφορετικές εντάσεις δονήσεων και οι επιπτώσεις τους κατά τη διάρκεια της πτήσης.

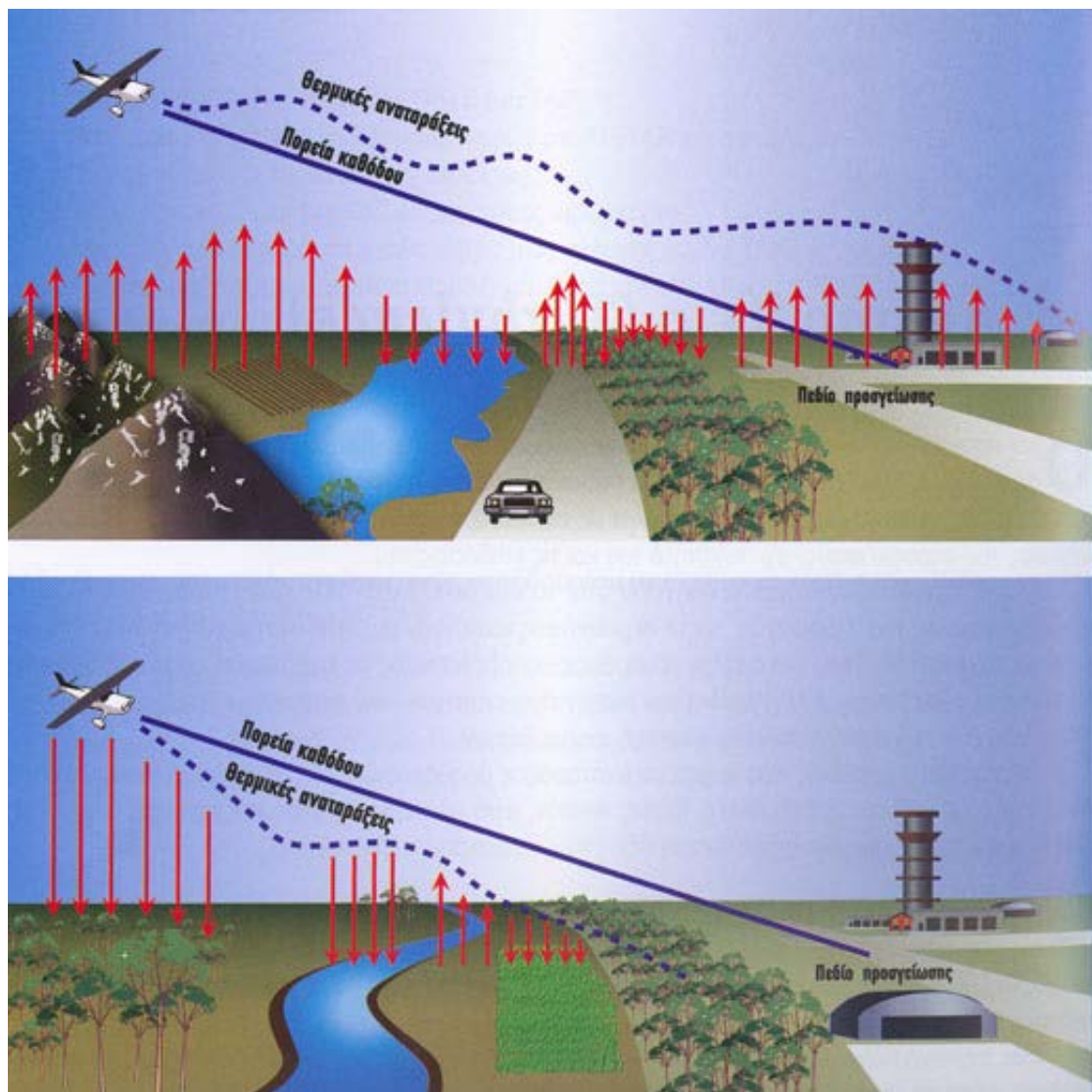
2.2.1. Ομαλή ροή αέρα

Κάθε αεροσκάφος έχει ένα μοναδικό σύνολο φυσιολογικών δονήσεων. Αυτές είναι αποτέλεσμα της κατανομής της μάζας του και της ακαμψίας του υλικού του σκελετού του που προκαλούν δονήσεις συγκεκριμένων συχνοτήτων. Όταν εξωτερικές δυνάμεις ασκούνται στο αεροσκάφος, όπως για παράδειγμα η φυσιολογική κίνηση του αέρα πάνω στην επιφάνεια του, προκαλούνται πολύ μικρής έντασης δονήσεις. Αυτές συνήθως γίνονται αντιληπτές ως θόρυβος του υποβάθρου. Πιο αισθητή, αλλά επίσης συχνή, είναι η αντίδραση του αεροπλάνου στον τυρβώδη αέρα, στον οποίο το μέγεθος της δόνησης μπορεί να είναι μεγαλύτερο και έτσι σαφώς ορατό και αντιληπτό. Η τυρβώδης ροή αέρα, όπως προαναφέρθηκε στην αντίστοιχη ενότητα του ήχου, είναι ένα συχνό φαινόμενο, αφού ρεύματα αέρα με διαφορετικές ταχύτητες, κατευθύνσεις, και θερμοκρασίες έρχονται σε επαφή μεταξύ τους αλλά και με το αεροσκάφος. Το πλήρωμα του αεροσκάφους είναι συνήθως σε θέση να αναγνωρίσει αυτές τις φυσιολογικές δονήσεις και συνεπώς να τις ξεχωρίσει από τυχόν μη φυσιολογικές με βάση την εμπειρία του. [44]

2.2.2. Ανοδικά και καθοδικά ρεύματα

Η γη δε θερμαίνεται ομοιόμορφα ολόκληρη, λόγω της ποικιλομορφίας των επιφανειών της. Τόσο οι αμμώδεις όσο και οι βραχώδεις περιοχές θερμαίνονται περισσότερο από ότι τα εδάφη που

καλύπτονται από βλάστηση, ενώ οι υδάτινες επιφάνειες θερμαίνονται λιγότερο σε σύγκριση με τις χερσαίες. Επακόλουθο αυτού είναι και ο αέρας που έρχεται σε επαφή με την κάθε περιοχή να θερμαίνεται διαφορετικά. Λόγω αυτής της ανομοιόμορφης θέρμανσης, μπορούν να δημιουργηθούν σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, ρεύματα που διαφέρουν αρκετά και προκαλούν δονήσεις στο αεροσκάφος (Εικόνα 2. 12). Η επίδρασή τους αυτή, πραγματοποιείται τόσο κατά το αρχικό τμήμα της πτήσης, αμέσως μετά την απογείωση, όσο και κατά την τελική προσέγγιση του αεροσκάφους για προσγείωση.



Εικόνα 2. 12: Η επίδραση των ανοδικών και καθοδικών ρευμάτων στην τελική προσέγγιση του αεροσκάφους.

Μία άλλη περίπτωση ανοδικών ρευμάτων αέρα που μπορούν να δημιουργήσουν αναταράξεις σε ένα αεροσκάφος είναι οι σωρείτες

(Εικόνα 2. 13). Ο θερμός αέρας καθώς κινείται προς τα πάνω ψύχεται. Όταν το ανοδικό ρεύμα του θερμού αέρα λοιπόν, φτάσει στο επίπεδο που η θερμοκρασία του γίνει ίδια με του περιβάλλοντός του, αρχίζουν οι συμπυκνώσεις και η δημιουργία νέφους κατακόρυφης ανάπτυξης. Οι σωρείτες λοιπόν, που μπορεί να βλέπουμε κάποια απογεύματα με ήλιο, ή νέφη καλοκαιρίας όπως είναι γνωστά, αποτελούν σημάδι ότι υπάρχουν στην περιοχή ανοδικά ρεύματα και συνεπώς αναταράξεις. Η κορυφή του νέφους είναι συνήθως το πάνω όριο του ανοδικού ρεύματος και πάνω από τα νέφη ο αέρας είναι εν γένη πιο σταθερός και άρα η πτήση πιο ομαλή. ^[45]

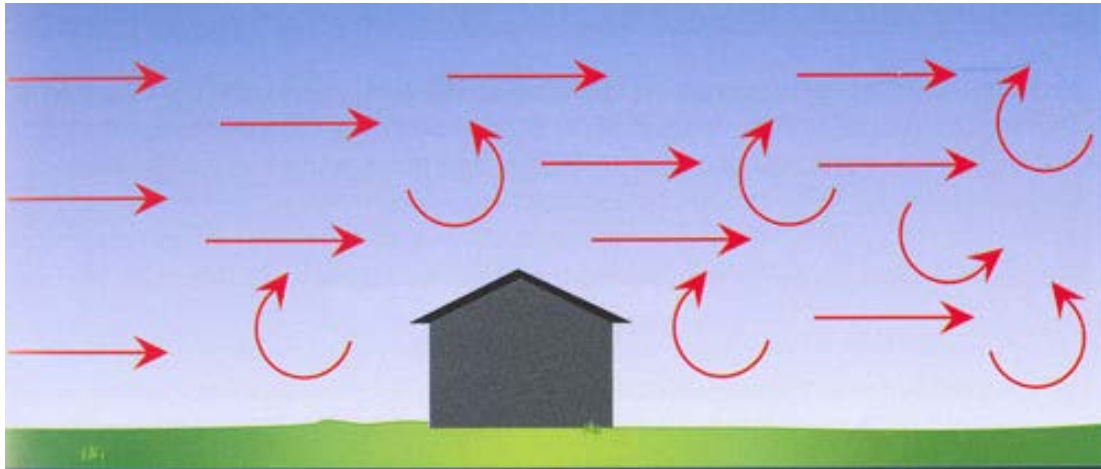


Εικόνα 2. 13: Νέφη καλοκαιρίας ή αλλιώς σωρείτες.

2.2.3. Στρόβιλοι

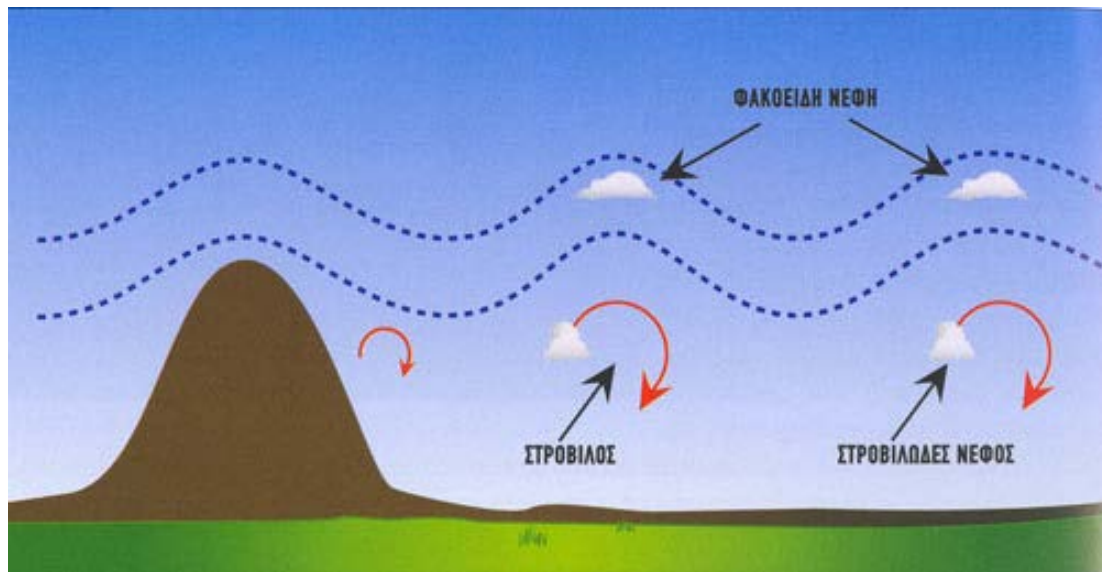
Υψίστης σημασίας παράγοντας στη δημιουργία δονήσεων στο αεροσκάφος αποτελούν οι στρόβιλοι. Στρόβιλοι σχηματίζονται από πολλούς παράγοντες που ποικίλουν αρκετά μεταξύ τους. Παρεμβολές στην ομαλή κίνηση του αέρα, φυσικά εμπόδια αλλά και δίνες που σχηματίζονται από τα ίδια τα πτερύγια είναι μερικοί από τους παράγοντες που μπορεί να προκαλέσουν τη δημιουργία στροβίλων. Εμπόδια στη ροή του αέρα, όπως υψώματα, κτίρια και δέντρα διαταράσσουν την ομαλή ροή του αέρα και δημιουργούν στροβίλους (Εικόνα 2. 14). Ένα αεροπλάνο που πετάει εντός της περιοχής των στροβίλων, δέχεται αναταράξεις. Οι αναταράξεις αυτές ονομάζονται μηχανικές, διότι προκαλούνται από μηχανικές διακοπές στη ροή του αέρα. Η ένταση των μηχανικών αναταράξεων, εξαρτάται από την ταχύτητα του αέρα και την

τραχύτητα των εμποδίων. Όσο μεγαλώνει η ταχύτητα του αέρα και η τραχύτητα της επιφάνειας, τόσο αυξάνονται και οι αναταράξεις.



Εικόνα 2. 14: Στρόβιλοι δημιουργούμενοι από εμπόδια στη ροή του αέρα.

Όταν ευσταθής άνεμος πνέει κάθετα σε ένα μεγάλο εμπόδιο, δημιουργούνται στην υπήνεμη πλευρά του εμποδίου κύματα ανάλογα με αυτά που δημιουργούνται στην επιφάνεια του νερού όταν αυτή διαταραχθεί. Τα κύματα αυτά ονομάζονται κύματα υπήνεμης πλευράς (lee waves) ή κύματα όρους (mountain waves) και μπορεί να εκτείνονται μέχρι 160 χιλιόμετρα μακριά από το εμπόδιο. Κάτω από κάθε κορυφή κύματος, η κυκλοφορία του αέρα είναι στροβιλώδης (Εικόνα 2. 15). Οι στρόβιλοι σχηματίζονται λίγο πιο κάτω από το ύψος της κορυφής του εμποδίου και οι αναταράξεις εντός και κάτω από αυτούς μπορεί να είναι πολύ ισχυρές. Ισχυρές αναταράξεις δημιουργούνται ακόμα από τα ανοδικά και καθοδικά ρεύματα μέσα στα κύματα υπήνεμης πλευράς.



Εικόνα 2. 15: Στρόβιλοι δημιουργούμενοι από κύματα υπήνεμης πλευράς.

Σύμφωνα με τη θεωρία πτήσεως, τα πτερύγια του αεροσκάφους παράγουν άντωση από τη διαφορά πιέσεων στην πάνω και την κάτω επιφάνειά τους. Η διαφορά της πίεσης αυτής δημιουργεί μια κυκλική κίνηση του αέρα γύρω από το ακροπτερύγιο δηλαδή δίνες ακροπτερύγιου (Εικόνα 2. 16). Όταν το σύστημα προσγείωσης σηκώνει όλο το βάρος του αεροπλάνου, δεν εμφανίζονται οι δίνες αυτές. Από τη στιγμή όμως που το αεροσκάφος απογειώνεται, αρχίζουν και οι δίνες ακροπτερύγιου, οι οποίες συνεχίζουν να υπάρχουν σε όλη την πτήση και έως ότου το αεροσκάφος να προσγειωθεί και να στηριχτεί πάλι στους τροχούς του. Οι αεροδίνες διασκορπίζονται κάτω και έξω από το ίχνος πτήσης και παρασύρονται από τον άνεμο (Εικόνα 2. 17). Η ένταση των αεροδινών εξαρτάται από το μέγεθος του αεροσκάφους, το βάρος του, το σχήμα των πτερυγίων και την ταχύτητα. Γενικά το πρόβλημα είναι εντονότερο όταν ένα ελαφρύ αεροσκάφος ακολουθεί την προσγείωση ή την απογείωση ενός μεγάλου. ^[46]



Εικόνα 2. 16: Δίνες ακροπτερυγίου, δημιουργούμενες από την κυκλική κίνηση του αέρα γύρω από το ακροπτερύγιο.

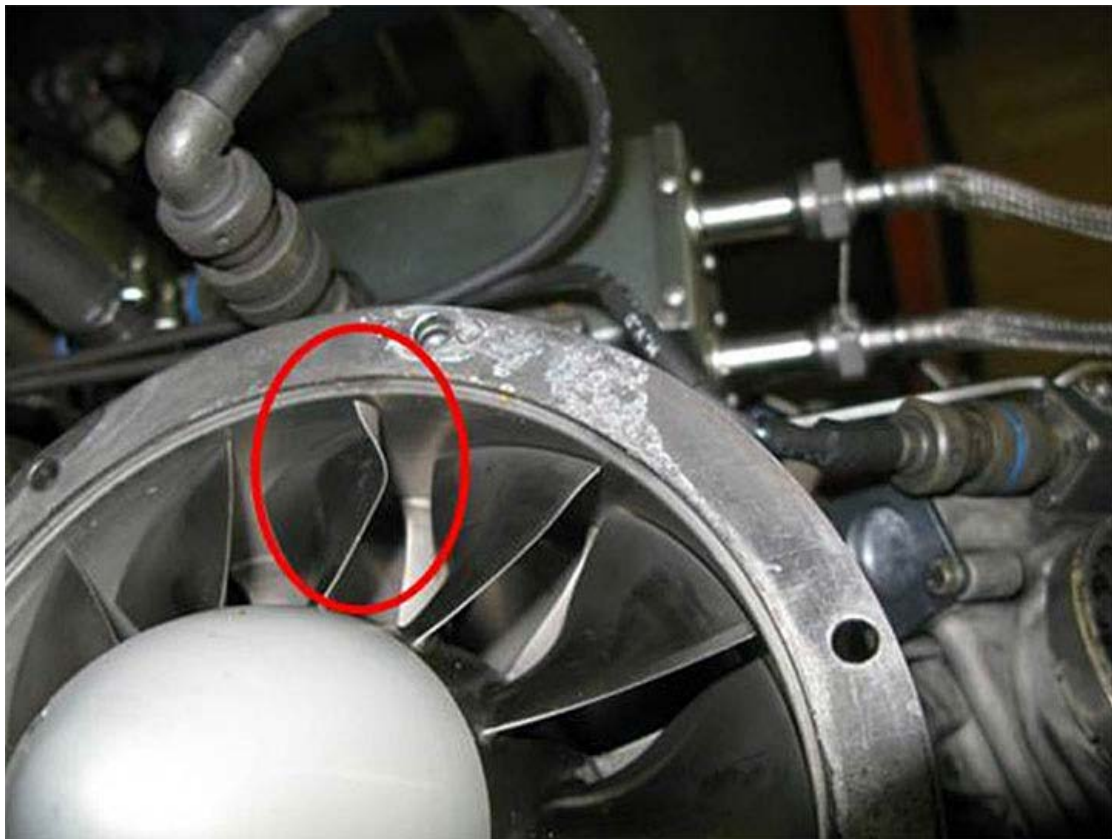


Εικόνα 2. 17: Οι δίνες ακροπτερυγίου παρασύρονται από τον άνεμο.

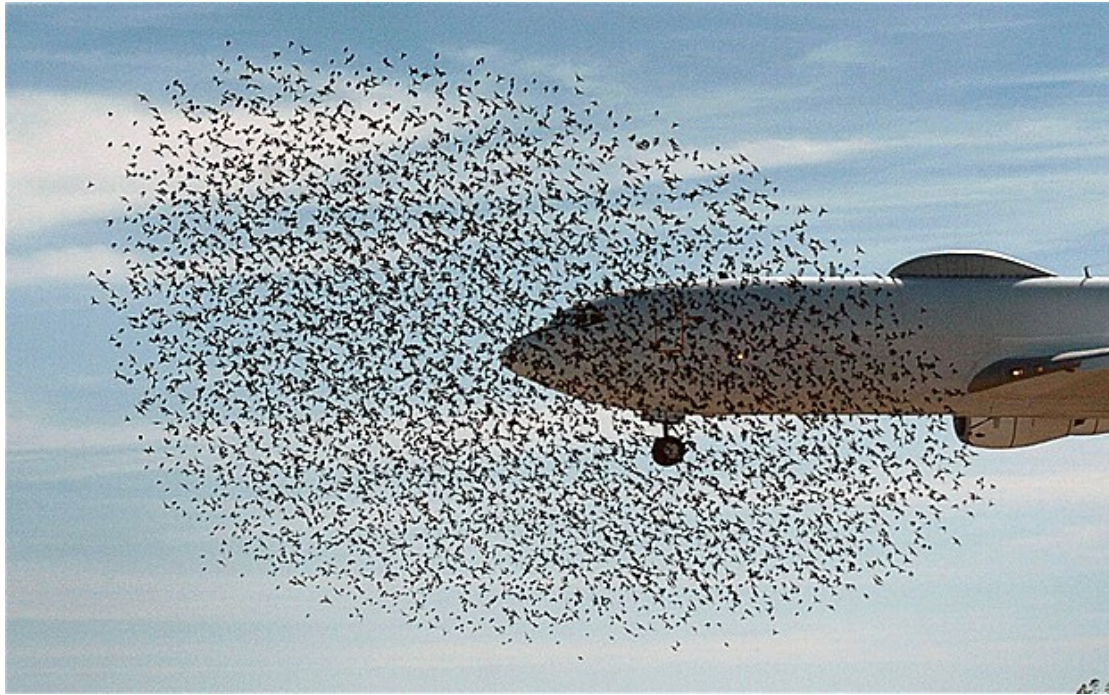
2.2.4. Δονήσεις κινητήρα και μηχανικών μερών

Μια ακόμα πηγή δονήσεων στο αεροσκάφος αποτελεί ο κινητήρας και τα λοιπά μηχανικά μέρη του, τα οποία λόγω των δονήσεων που μπορούν να προκαλέσουν, επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την άνεση των επιβατών. Οι δονήσεις που παράγονται από τον κινητήρα μπορεί να οφείλονται σε ανισορροπία του στροφείου του, σε απώλεια λεπίδων του τροχού του συμπιεστή, σε πρόσκρουση πτηνών πάνω σε αυτόν και σε

πάγο που μπορεί να δημιουργηθεί υπό τις κατάλληλες συνθήκες στο στροφείο του ανεμιστήρα και τις λεπίδες του (Εικόνα 2. 18 και Εικόνα 2. 19). Η λειτουργία του κινητήρα σε συγκεκριμένες ταχύτητες περιστροφής του άξονά του, μπορεί να οδηγήσει σε ιδιαίτερα αυξημένες δονήσεις σε ολόκληρο το αεροσκάφος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ανισορροπία του άξονα έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία δονήσεων από τον κινητήρα, οι οποίες μεταδίδονται έπειτα σε ολόκληρη την άτρακτο. [47]



Εικόνα 2. 18: Παραμορφωμένη λεπίδα που αυξάνει τις δονήσεις στο αεροσκάφος.



Εικόνα 2. 19: Πρόσκρουση σμήνους πτηνών στους κινητήρες αλλά και σε ολόκληρο το αεροσκάφος.

Δυσλειτουργία σε κάποιο από τα λοιπά μηχανικά μέσα μπορεί επίσης να δημιουργήσει ανώμαλες δονήσεις. Μερικές από τις πιθανές πηγές δονήσεων αποτελούν οι βλάβες του δυναμό, ρωγμές στους ελαστικούς σωλήνες ή καταστροφή αυτών, προβλήματα του κιβωτίου των ταχυτήτων και οι αδύναμοι κύλινδροι. Επίσης, ο διάφορος εξοπλισμός του αεροσκάφους, όπως η περιστρεφόμενη αντλία που εντοπίζεται στο υδραυλικό σύστημα του, τα καύσιμα και τα ηλεκτρονικά συστήματα ψύξης και κλιματισμού μπορεί να σχετίζονται με την δημιουργία φυσιολογικών δονήσεων. Ο δονήσεις αυτές είναι συνήθως δονήσεις υψηλών συχνοτήτων και αποτελούν τη βασική προέλευση του ήχου που είναι συνεχώς αισθητός σαν ήχος υποβάθρου σε ένα αεροσκάφος. Σε περίπτωση που το επίπεδο δονήσεων υπερβεί ένα προκαθορισμένο όριο, το ECAM (Electronic Centralized Aircraft Monitor), το οποίο αποτελεί ένα κεντρικό ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου κατάστασης, θα επισημάνει άμεσα τον κινητήρα που φέρει βλάβη. Συνήθως όταν το επίπεδο των δονήσεων είναι τέτοιο, υπάρχει διαταραχή της ακεραιότητας ενός κινητήρα. Καθώς υπάρχουν πολυάριθμες πιθανές πηγές μη φυσιολογικών δονήσεων από τον κινητήρα και τα λοιπά μηχανικά μέρη του αεροσκάφους, η αντιμετώπισή τους είναι συχνά προβληματική και μετατρέπεται σε μία ιδιαίτερα ακριβή δοκιμασία εύρεσης της πηγής που βασίζεται στις εκτιμήσεις των μηχανικών. [48]

2.2.5. Παλλόμενα κρουστικά κύματα

Τα παλλόμενα κρουστικά κύματα είναι μία αεροδυναμική διέγερση που δημιουργείται από διακυμάνσεις της πίεσης του αέρα και αναφέρεται στην αγγλική βιβλιογραφία ως buffet. Σε διηχητικές συνθήκες ροής, η αλληλεπίδραση του κύματος κρούσης με το τυρβώδες οριακό στρώμα και οι αποκολλήσεις της ροής δημιουργούν αστάθειες στη ροή, buffet, και έπειτα λόγω αυτών δονήσεις στη κατασκευή, buffeting. Γενικά το buffeting δηλαδή, είναι η απόκριση της κατασκευής σε αυτή την αεροδυναμική διέγερση που προκαλείται από φαινόμενα συνεκτικότητας τα οποία λαμβάνουν χώρα σε διάφορα σημεία της επιφάνειας του αεροσκάφους που βρίσκεται εκτεθειμένο σε κάποια ροή. Οι συνέπειες για την αεροδυναμική συμπεριφορά της κατασκευής μπορεί να είναι πολύ σημαντικές. Η εμφάνιση του φαινομένου γίνεται σε υψηλές τιμές του συντελεστή άντωσης, όταν η γωνία πρόσπτωσης για παράδειγμα, έχει μεγάλη τιμή.

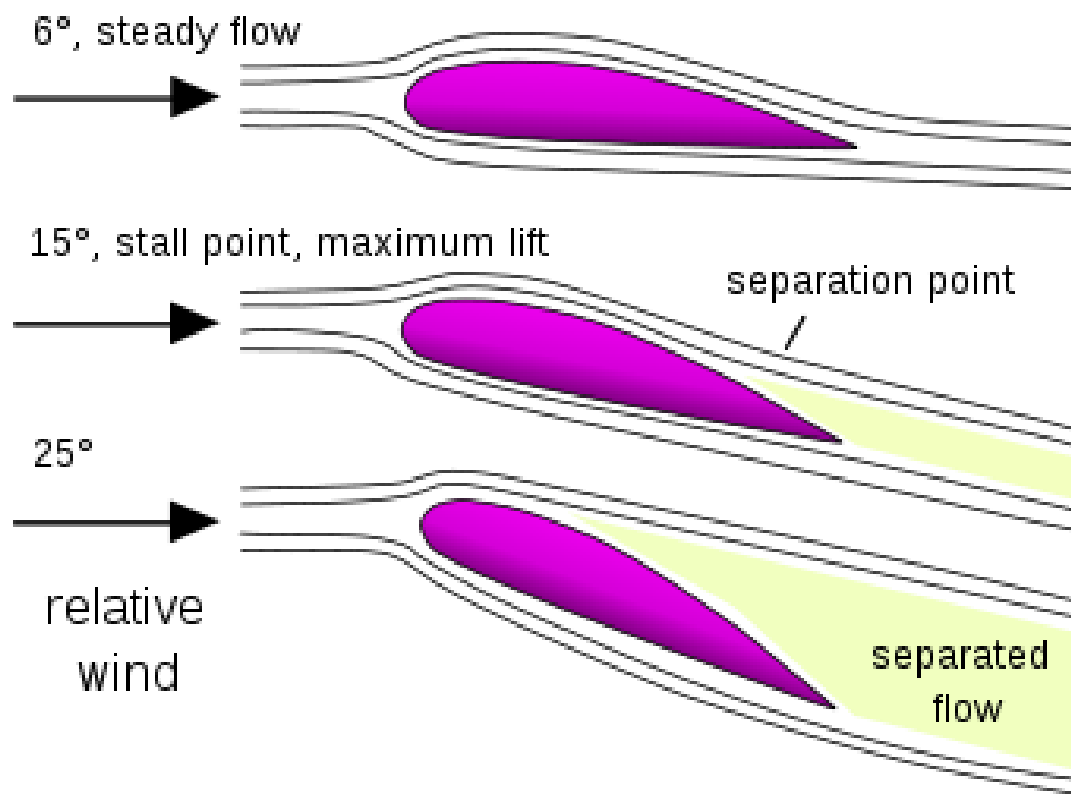
Όταν η ταχύτητα ενός αεροσκάφους αρχίσει να μειώνεται πρέπει να αυξηθεί η γωνία πρόσπτωσης για να αντισταθμιστεί η απώλεια άντωσης. Ωστόσο, εάν η γωνία πρόσπτωσης συνεχίσει να αυξάνεται ανεξέλεγκτα, τότε, πριν τα πτερύγια φτάσουν στην πλήρη αποκόλληση του οριακού στρώματος και συνεπώς στην απώλεια στήριξης, το αεροπλάνο υφίσταται μια κατάσταση δονήσεων που είναι έντονα αντιληπτοί από το χειριστή. Αυτό συμβαίνει επειδή το σημείο μετάπτωσης, από κάποια τιμή της γωνίας πρόσπτωσης και μετά, γίνεται ασταθές, κινούμενο εμπρός-πίσω και η άντωση αλλάζει θέση και τιμή συνεχώς. Αυτό ακριβώς το φαινόμενο των δονήσεων ονομάζεται buffeting και προκαλείται όταν μία μάζα τυρβώδη αέρα φεύγει από τα πτερύγια και διέρχεται πάνω από το ουραίο τμήμα του αεροπλάνου. Το φαινόμενο αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειώνονται οι επιδόσεις ενός αεροσκάφους. Για παράδειγμα, καθώς αυξάνεται η ταχύτητα τα πτερύγια επηρεάζονται από την αστάθεια του κύματος, της οποίας η εμφάνιση θέτει λοιπόν ένα άνω όριο σε αυτή. Το παραπάνω όριο είναι συνάρτηση του ύψους της πτήσεως και ονομάζεται όριο του buffeting (buffeting boundary). Επιπλέον, το buffeting μπορεί να συντελέσει στη κόπωση του σκελετού του αεροσκάφους, να επηρεάσει την ευελιξία του, αλλά και να μειώσει την άνεση των επιβατών φυσικά. ^[49]

2.2.6. Αεροελαστικές ταλαντώσεις

Οι αεροελαστικές ταλαντώσεις που αναφέρονται στην αγγλική βιβλιογραφία ως flutter, μπορούν να προκαλέσουν ανώμαλες δονήσεις.

Αποτελούν τον πιο σπάνιο αλλά και πιο επικίνδυνο τύπο δονήσεων στα σύγχρονα αεροσκάφη. Το φαινόμενο των αεροελαστικών ταλαντώσεων που ονομάζεται αλλιώς και πτερυγισμός, αποτελεί μια ξεχωριστή μορφή αεροδυναμικής αστάθειας και είναι αποτέλεσμα αυτοδιεγερόμενης ταλάντωσης. Κατά τον πτερυγισμό, τα πτερύγια ταλαντώνονται και το πλάτος ταλάντωσης συνεχώς αυξάνεται, ώσπου αυτά καταρρέυσουν. Συνεπώς, καθώς οι αεροελαστικές ταλαντώσεις μπορούν να προκαλέσουν βλάβη στα πτερύγια του αεροσκάφους, θεωρούνται ιδιαίτερα επικίνδυνες. Εάν τα πτερύγια δεν είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να καταπολεμούν το φαινόμενο του πτερυγισμού, υπάρχει περίπτωση να υποστούν βλάβη και να καταρρέυσουν, θέτοντας σε τεράστιο κίνδυνο τους επιβάτες του αεροσκάφους. Η πρώτη καταγεγραμμένη περίπτωση δημιουργίας αυτού του φαινομένου σε αεροπλάνο τοποθετείται στο 1916 και είχε καταστροφικές συνέπειες. Έκτοτε, γνωρίζοντας τη σοβαρότητα του φαινομένου, οι σχεδιαστές εστιάζουν ιδιαίτερα στην ανεύρεση μέσων για την αποφυγή του. ^[50]

Το φαινόμενο των αεροελαστικών ταλαντώσεων χωρίζεται σε δύο είδη. Το πρώτο είδος ονομάζεται κλασσικός πτερυγισμός (Classical Flutter) και δημιουργείται σε μικρές γωνίες πρόσπτωσης, κατά τις οποίες η ταλάντωση είναι αποτέλεσμα της ταυτόχρονης κίνησης με δύο βαθμούς ελευθερίας τουλάχιστον. Το δεύτερο είδος, που φέρει την ονομασία πτερυγισμός σε κατάσταση απώλειας στήριξης (Stall Flutter), είναι δόνηση που εμφανίζεται λόγω αεροδυναμικής υστέρησης, στις μεγάλες γωνίες πρόσπτωσης, όπου συμβαίνει μερική ή ολική αποκόλληση της ροής (Εικόνα 2. 20). Στον κλασσικό πτερυγισμό, η ροή δεν αποκολλάται καθόλου από το στερεό όριο της αεροτομής ενώ η ενεργειακή σύζευξη μεταξύ του ρεύματος ροής και της αεροτομής οφείλεται κυρίως στην διαφορά φάσης μεταξύ της παραμόρφωσης που προκαλείται και της μεταβολής των αεροδυναμικών φορτίων. Αντίθετα με τον πτερυγισμό σε κατάσταση απώλειας στήριξης, ο οποίος είναι αποτέλεσμα της μη-γραμμικής μεταβολής των αεροδυναμικών φορτίων εξαιτίας της παραμόρφωσης και κίνησης των πτερυγίων, ο κλασσικός πτερυγισμός θεωρείται ένα γραμμικό φαινόμενο.



Εικόνα 2. 20: Πτερυγισμός σε κατάσταση απώλειας στήριξης, κατά τον οποίο υπάρχει αποκόλληση της ροής του αέρα.

Ο πτερυγισμός θεωρείται ευσταθές φαινόμενο όταν η ταλάντωση σταματά τελείως μέσα σε ένα λογικό χρονικό διάστημα, χωρίς την επίδραση εξωτερικής δράσης. Σε αντίθετη περίπτωση, όπου η ταλάντωση ενισχύεται συνεχώς, τα πτερύγια οδηγούνται σε κατάρρευση και το φαινόμενο χαρακτηρίζεται ως ασταθές. Κρίσιμη ονομάζεται η οριακή κατάσταση, κατά τη διάρκεια της οποίας τα πτερύγια ταλαντώνονται με σταθερό πλάτος. Τόσο τα δομικά χαρακτηριστικά των πτερυγίων όσο και τα χαρακτηριστικά της ροής, καθορίζουν αν το φαινόμενο θα εμφανιστεί ως ασταθές, ευσταθές ή σε κρίσιμη κατάσταση σε μία δεδομένη περίπτωση.

Η αεροελαστική ταλάντωση διαφέρει από τα παλλόμενα κρουστικά κύματα καθώς αυτή μπορεί να δημιουργηθεί ακόμα και σε ομαλή κίνηση αέρα. Οι δονήσεις της προέρχονται από το αεροσκάφος αυτό καθαυτό και όχι από το περιβάλλον. Παρόλο που το φαινόμενο του πτερυγισμού μπορεί να έχει ανεπανόρθωτες συνέπειες για το αεροσκάφος και συνεπώς για τους επιβάτες, οι προφυλάξεις που λαμβάνονται στις μέρες μας για την αποφυγή του το καθιστούν ευτυχώς πολύ σπάνιο φαινόμενο. Ύστερα από σωστό σχεδιασμό, εκτενείς αναλύσεις και επανειλημμένες δοκιμές σε όλα τα επιβατηγά αεροσκάφη, εξαλείφεται η πιθανότητα εμφάνισης αεροελαστικών ταλαντώσεων σε συνθήκες αεροελαστικής

σταθερότητας. Η σταθερότητα αυτή αναφέρεται όχι μόνο στις φυσιολογικές συνθήκες πτήσης αλλά και σε ταχύτερες πολύ μεγαλύτερες από τις επιτρεπόμενες, σε περιπτώσεις βλαβών, δυσλειτουργιών και αντίξων συνθήκων. Ωστόσο, όταν ένα αεροσκάφος λειτουργεί σε συνθήκες που δεν πληρούν αυτά τα κριτήρια, είναι ακόμη πιθανόν να εμφανιστούν αεροελαστικές ταλαντώσεις. Τα αεροσκάφη υπόκεινται όμως και σε πληθώρα ειδικών δοκιμασιών πριν χρησιμοποιηθούν σε πτήση, για να εξασφαλιστεί η μέγιστη δύναμη των πτερυγίων. [51]

2.2.7. Το φαινόμενο LCO

Ένα πολύ συχνό φαινόμενο αεροελαστικής απόκρισης που συνδέεται άμεσα με τον πτερυγισμό αποτελεί το φαινόμενο LCO (Limit Cycle Oscillations), το οποίο εμφανίζεται σε συνθήκες διηχητικής ροής. Εμφανίζεται σε περιπτώσεις όπου το σύστημα που μελετάται εισέρχεται σε μια κατάσταση μόνιμης περιοδικής ταλάντωσης, κατά την οποία η ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ ρευστού και στερεού σταθεροποιείται. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη μη γραμμική συμπεριφορά του αεροελαστικού συστήματος. Η ταλάντωση χαρακτηρίζεται από τελικό πλάτος το οποίο είναι σε όλες τις περιπτώσεις μεγαλύτερο από το πλάτος του κρίσιμου πτερυγισμού και ο χρόνος που είναι απαραίτητος έως ότου δημιουργηθεί αυτή η μόνιμη κατάσταση είναι πολλαπλάσιος της ταλαντωτικής περιόδου. Τα πτερύγια καταπονούνται κατά το φαινόμενο αυτό, παρόλο που το πλάτος της ταλάντωσης παρουσιάζει ένα ανώτερο όριο, εξαιτίας της διαρκώς μεταβαλλόμενης φόρτισης.

Ο σχεδιασμός των πτερυγίων γίνεται έτσι ώστε τα δομικά τους στοιχεία να είναι ανθεκτικά για συγκεκριμένο αριθμό κύκλων φόρτισης. Συνεπώς, το φαινόμενο LCO οδηγεί σε ταχύτερη φθορά τους και μηχανική βλάβη των υλικών τους έχοντας ως αποτέλεσμα ελαττωμένη διάρκεια ζωής των πτερυγίων. Επίσης, είναι δυνατό ένα πτερύγιο να καταρρεύσει χωρίς ακόμα να εισέλθει στη φάση της μόνιμης ταλαντωτικής συμπεριφοράς. Πιθανές ασυνέχειες τόσο στα δομικά χαρακτηριστικά των πτερυγίων όσο και στο πεδίο ροής, ύπαρξη δηλαδή κυμάτων κρούσης, αποτελούν μερικά από τα αίτια εμφάνισης του φαινομένου. Ένα ακόμη αίτιο, αποτελεί το φαινόμενο του ασταθούς πτερυγισμού, καθώς η συνεχής ενίσχυση των αυτοδιεγερόμενων ταλαντώσεων θα μπορούσε σε ορισμένες περιπτώσεις και υπό προϋποθέσεις, να σταματήσει διατηρώντας μια μόνιμη περιοδική δομική ταλάντωση. Συνοψίζοντας όσα αναφέρθηκαν και προηγουμένως, η αεροελαστική απόκριση ενός πτερυγίου μπορεί να είναι ευσταθής, κρίσιμα ευσταθής, ασταθής ή να

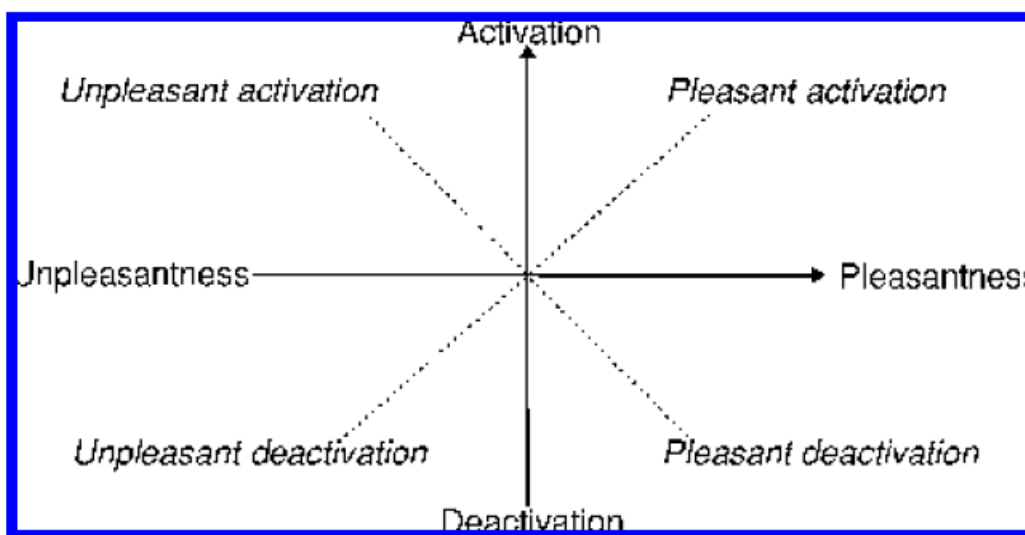
καταλήξει σε φαινόμενο LCO. Παραδοσιακά, το φαινόμενο LCO θεωρούνταν και αντιμετωπίστηκε ως ανεπιθύμητο στις αεροδιαστημικές εφαρμογές. Παρόλα αυτά, σε ορισμένες ιδιαίτερες περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μη γραμμικότητα τέτοιων αεροελαστικών συστημάτων και να αξιοποιηθεί οδηγώντας σε πολυάριθμα οφέλη. Παραδείγματος χάρη, μια ερευνητική ομάδα κατάφερε με τη χρήση συνδυασμού στρεπτικών και γραμμικών ταλαντώσεων, να δημιουργήσει την αναγκαία πρόωση για την κίνηση ενός μη αεροδυναμικού σώματος μέσα σε ένα ακίνητο πεδίο ρευστού. ^{[51][52]}

2.3. Συνδυασμός ήχου και δονήσεων

Οι έρευνες που έχουν γίνει για την επίδραση των ήχων και των δονήσεων ενός αεροσκάφους στην άνεση των επιβατών του ασχολούνταν στην πλειοψηφία τους με τον ήχο ή τις δονήσεις ξεχωριστά. Παρ' όλα αυτά, ο συνδυασμός τους επηρεάζει διαφορετικά την αντίληψη των επιβατών για τον βαθμό της άνεσής τους και της ποιότητας της πτήσης. Έτσι, είναι σπουδαίας σημασίας ο συνυπολογισμός της επίδρασης που έχει η ταυτόχρονη ύπαρξη ήχων και δονήσεων σε ένα αεροσκάφος, ως σύνολο, στην αίσθηση των επιβατών του. Έρευνες που έγιναν για τον αντίκτυπο που έχουν μεμονωμένα οι ήχοι ενός αεροσκάφους στην άνεση των επιβατών, έδειξαν ότι η δυσχέρεια των επιβατών ήταν συνδεδεμένη με την αύξηση της συχνότητας του τόνου. Επίσης φάνηκε ότι για δυνατούς ήχους οι διακυμάνσεις επιδεινώνουν την ενόχληση των επιβατών, ενώ σε χαμηλής έντασης ήχους τη μείωναν.

Τόσο οι ήχοι όσο και οι δονήσεις όμως, ενημερώνουν και τους επιβάτες σχετικά με την τρέχουσα κατάσταση κάποιων πραγμάτων κατά τη διάρκεια της πτήσης. Έτσι, εκτός από τις επιπτώσεις που έχουν στο βαθμό της άνεσης των επιβατών, μία σταθερή ροή πληροφοριών, χωρίς έντονες αλλαγές στους ήχους ή στις δονήσεις που αντιλαμβάνονται, δίνει την αίσθηση στους επιβάτες ότι το αεροπλάνο λειτουργεί κανονικά και όλα είναι ομαλά. Αντιθέτως, απότομες αλλαγές, είτε στους ήχους στο εσωτερικό της καμπίνας του αεροσκάφους είτε στις δονήσεις που αισθάνονται οι επιβάτες, λόγω για παράδειγμα αναταράξεων, θα μπορούσαν να δώσουν την αίσθηση στους επιβάτες ότι κάτι δεν εξελίσσεται ομαλά και επακολούθως να τους δημιουργήσει έντονη ανησυχία. Η ύπαρξη λοιπόν στο εσωτερικό της καμπίνας του αεροσκάφους ενός συνδυασμού ήχων και δονήσεων που να δημιουργεί θετικές συναισθηματικές αντιδράσεις στους επιβάτες ή έστω και ουδέτερες, είναι σπουδαία για την άνεση που αισθάνονται οι επιβάτες και

το αίσθημά τους περί ασφάλειας. Σε έρευνα για τη συναισθηματική αντίληψη ενός περιβάλλοντος προτάθηκε να οριστούν δύο διαστάσεις, οι οποίες μπορούν να χαρακτηρίσουν ένα περιβάλλον. Σύμφωνα με αυτή, οι συναισθηματικές αντιδράσεις σε ερεθίσματα του περιβάλλοντος μπορούν να οριστούν από ένα συνδυασμό δηλαδή, δύο ορθογώνιων διαστάσεων, της διέγερσης και της ευχαρίστησης (Εικόνα 2. 21).



Εικόνα 2. 21: Με δύο ανεξάρτητες διαστάσεις, τη διέγερση και την ευχαρίστηση, μπορούν να οπτικοποιηθούν οι αντιδράσεις των ατόμων στα ερεθίσματα του περιβάλλοντός τους, σύμφωνα με τον Russell (1980).

Η αίσθηση των επιβατών για το περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται αλλά και οι αντιδράσεις τους στα ερεθίσματα αυτού μπορούν να οπτικοποιηθούν σε μία κυκλική δομή, στην οποία η πλειοψηφία των εμπειριών τους λοιπόν διατάσσονται γύρω από την περιφέρεια του κύκλου και χαρακτηρίζονται από τη θέση τους σε σχέση με το πόσο δραστήριο ή αδρανές είναι το άτομο και αντίστοιχα πόσο δυσαρεστημένο ή ευχαριστημένο είναι (Εικόνα 2. 21). Για παράδειγμα, ερεθίσματα που οδηγούν τους επιβάτες σε μία κατάσταση πλήξης, έχουν χαμηλά επίπεδα ενεργοποίησης και χαμηλά επίπεδα ευχαρίστησης, οπότε θα τοποθετούνταν στο κάτω αριστερό τεταρτημόριο του γραφήματος. Τα θλιβερά ερεθίσματα έχουν χαμηλά επίπεδα ευχαρίστησης αλλά υψηλά επίπεδα ενεργοποίησης, οπότε βρίσκονται στο επάνω αριστερά τεταρτημόριο του γραφήματος, ενώ τα συναρπαστικά ερεθίσματα έχουν υψηλά επίπεδα ενεργοποίησης αλλά και υψηλά επίπεδα ευχαρίστησης και τοποθετούνται λοιπόν στο επάνω δεξιό τεταρτημόριο. Τέλος, χαλαρωτικά ερεθίσματα έχουν υψηλά επίπεδα ευχαρίστησης αλλά χαμηλά επίπεδα ενεργοποίησης και έτσι βρίσκονται στο κάτω δεξιό τεταρτημόριο του

γραφήματος. Η ενόχληση, όπως και κάθε άλλη συναισθηματική κατάσταση, μπορεί και αυτή να οπτικοποιηθεί με το γράφημα αυτό, ως συνδυασμός κάποιου βαθμού ενεργοποίησης και ευχαρίστησης. Πιο συγκεκριμένα, η συναισθηματική αυτή κατάσταση, θεωρείται ότι έχει χαμηλό βαθμό ευχαρίστησης και μέτριο βαθμό ενεργοποίησης και ως εκ τούτου τοποθετείται στο επάνω αριστερά τεταρτημόριο του γραφήματος.

Εκτός όμως από τη χαρτογράφηση των συναισθηματικών αντιδράσεων σε διάφορους συνδυασμούς ήχων και δονήσεων, είναι ιδιαίτερα σημαντικό για το σχεδιασμό ενός βέλτιστου συνδυασμού αυτών, να γνωρίζουμε και τις προτιμήσεις των επιβατών ανάμεσα σε διάφορες συναισθηματικές καταστάσεις. Σύμφωνα με την παραπάνω θεωρία, οι δύο ανεξάρτητες διαστάσεις, της ενεργοποίησης και της ευχαρίστησης, αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους με τέτοιο τρόπο, ώστε σε καταστάσεις με υψηλό βαθμό ευχαρίστησης προτιμάται και υψηλός βαθμός ενεργοποίησης, ενώ αντιθέτως για ερεθίσματα με χαμηλό βαθμό ευχαρίστησης προτιμάται και χαμηλός βαθμός ενεργοποίησης. Δηλαδή, σε καταστάσεις με μεγάλη ευχαρίστηση οι άνθρωποι τείνουν να προτιμούν να νιώθουν πιο δραστήριοι, δεχόμενοι συναρπαστικά ερεθίσματα, από ότι πιο χαλαροί, ενώ σε περιπτώσεις με μικρή ευχαρίστηση, δηλαδή πιο δυσάρεστες, προτιμούν να αισθάνονται πιο αδρανείς, δεχόμενοι πληκτικά ερεθίσματα, παρά δραστήριοι δεχόμενοι θλιβερά ερεθίσματα. [44][45]

Σε πείραμα που διεξήχθη από τους Västfjäll, Kleiner και Gärling εξετάστηκαν οι συναισθηματικές αντιδράσεις είκοσι ατόμων σε δεκαοχτώ ξεχωριστούς συνδυασμούς ήχων και δονήσεων. Αναμενόταν να φανεί ο διαφορετικός τρόπος που επηρεάζει ο κάθε συνδυασμός τα επίπεδα ενεργοποίησης και ευχαρίστησης. Έξι καταγεγραμμένοι ήχοι από διαφορετικά σημεία του εσωτερικού του αεροσκάφους χρησιμοποιήθηκαν, οι οποίοι επιλέχθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να ποικίλουν στο δυσδιάστατο αντιληπτικό χώρο των συναισθηματικών αντιδράσεων της Εικόνας 2. 21 (Πίνακας 2. 1). Επίσης, επιλέχθηκαν δονήσεις δύο συχνοτήτων, 16Hz και 95Hz, βάση του γεγονότος ότι σύμφωνα με προηγούμενες μελέτες, αυτές οι δύο συχνότητες κυριαρχούν στο φάσμα των δονήσεων ενός αεροσκάφους.

	Ψυχοακουστικές μετρήσεις	Αντιληπτική αξιολόγηση	Συναισθηματική αξιολόγηση
Ήχος 1	Υψηλή ένταση	Δυνατός ήχος	Δυσάρεστος

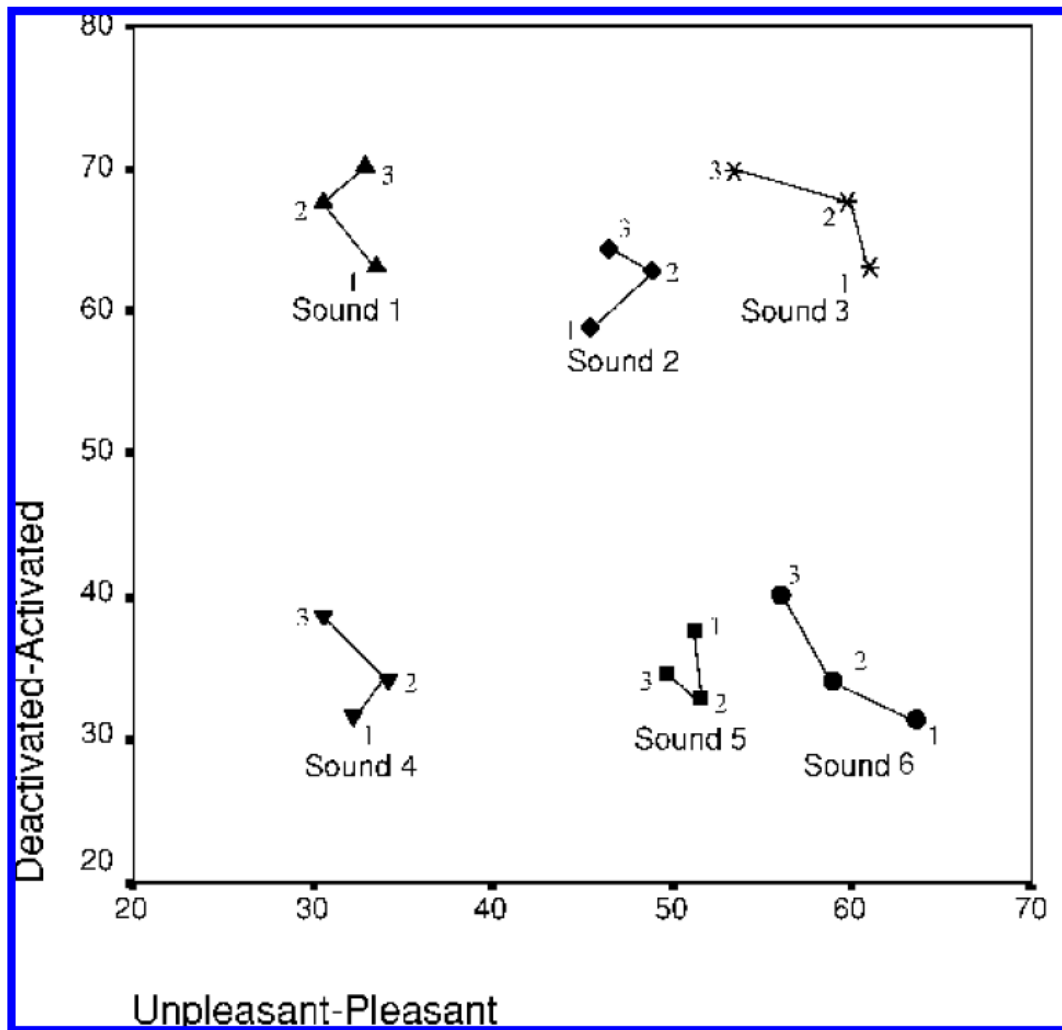
	Υψηλή οξύτητα	Αφύσικος ήχος	Υψηλής ενεργοποίησης
Ήχος 2	Υψηλή ένταση	Οξύς ήχος	Ουδέτερος στην κλίμακα ευχαρίστησης
	Υψηλή οξύτητα	Σκληρός ήχος	Υψηλής ενεργοποίησης
Ήχος 3	Μέτρια ένταση	Απαλός ήχος	Ευχάριστος
	Υψηλή τονικότητα	Καθαρός ήχος	Υψηλής ενεργοποίησης
		Ομαλός ήχος	
Ήχος 4	Υψηλή τονικότητα	Αφύσικος ήχος	Δυσάρεστος
	Μέτρια οξύτητα	Αμβλύς ήχος (dull)	Χαμηλής ενεργοποίησης
	Υψηλή ένταση	Ακανόνιστος ήχος	
Ήχος 5	Μέτρια ένταση	Χωρίς τόνο (lack of tone)	Ουδέτερος στην κλίμακα ευχαρίστησης
	Υψηλή τονικότητα	Τεχνητός ήχος	Χαμηλής ενεργοποίησης
		Σχετικά απαλός ήχος	
Ήχος 6	Χαμηλή ένταση	Απαλός ήχος	Ευχάριστος
	Χαμηλή οξύτητα	Ομαλός ήχος	Χαμηλής ενεργοποίησης
	Μεσαία τονικότητα (medium tonal)	Χαμηλός ήχος	

Πίνακας 2. 1: Περιγραφή των ψυχοακουστικών μετρήσεων, της αντιληπτικής και συναισθηματικής αξιολόγησης, των έξι ήχων.

Υποσημείωση: Οι έξι ήχοι συνδυάστηκαν χωρίς δόνηση, με δόνηση 16Hz και δόνηση 95Hz παράγοντας συνολικά 18 ξεχωριστούς συνδυασμούς. Οι αντιληπτικές και συναισθηματικές αξιολογήσεις λήφθηκαν από μία πιλοτική έρευνα με 16 συμμετέχοντες.

Κατά τη διάρκεια του πειράματος, οι συμμετέχοντες κάθονταν σε αεροπορική θέση και τους είχαν δοθεί οι απαραίτητες οδηγίες, ώστε να διατηρούν τα πόδια τους στην προβλεπόμενη θέση στο πάτωμα και τον κορμό τους σε όρθια στάση. Επιπρόσθετα, τους προέτρεψαν να φαντάζονται έντονα ότι βρίσκονται σε αεροσκάφος καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Κάθε ένας από τους έξι ήχους αναπαράχθηκε στους συμμετέχοντες σε συνδυασμό με μίας εκ των δύο συχνοτήτων δόνηση ή χωρίς καθόλου δόνηση. Έτσι δημιουργήθηκαν 18 ξεχωριστοί συνδυασμοί ήχου και δόνησης.

Όπως είναι εμφανές στην Εικόνα 2. 22, για ευχάριστους ήχους, που απεικονίζονται στο επάνω και κάτω δεξί τμήμα του γραφήματος, αυξάνοντας τη συχνότητα της δόνησης αυξάνεται ταυτόχρονα ο βαθμός ενεργοποίησης, ενώ μειώνεται ο βαθμός ευχαρίστησης. Λόγω του ότι με το πείραμα αυτό ελέγχονται ταυτόχρονα πολλές υποθέσεις, υπάρχει η περίπτωση ορισμένα από τα αποτελέσματα που εμφανίζονται ως στατιστικά σημαντικά να μην είναι στην πραγματικότητα και να έχουν εμφανιστεί από την επίδραση τυχαίων και αστάθμητων παραγόντων. Αυτό γιατί, όσο περισσότερο αναζητούμε την ύπαρξη συσχετισμών, διαφορών και επιδράσεων, τόσο πιο πιθανό είναι να βρούμε κάτι που στην πραγματικότητα όμως δεν υπάρχει. Το λάθος αυτό ονομάζεται αθροιστικό σφάλμα τύπου I και εκφράζει την πιθανότητα να παρατηρηθεί τουλάχιστον ένα στατιστικά σημαντικό αποτέλεσμα που δεν υπάρχει όμως στην πραγματικότητα, σε μία σειρά στατιστικών ελέγχων. Η πιο απλή διόρθωση του σφάλματος αυτού ονομάζεται διόρθωση κατά Bonferroni και εξασφαλίζει τη στατιστική σημαντικότητα των αποτελεσμάτων από το συσχετισμό πολλών μεταβλητών. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, η αρχική στάθμη σημαντικότητας α ενός στατιστικού ελέγχου διαιρείται δια του αριθμού των στατιστικών ελέγχων που πραγματοποιήθηκαν.



Εικόνα 2. 22: Ο μέσος βαθμός διέγερσης και ευχαρίστησης για τους 18 συνδυασμούς ήχου και δόνησης. Οι διαφορετικοί ήχοι αναπαριστανται με διαφορετικά σύμβολα, ενώ οι αριθμοί υποδηλώνουν τον τύπο της δόνησης, 1: χωρίς δόνηση, 2: 16Hz δόνηση, 3: 95Hz δόνηση.

Για τον περιορισμό της πιθανότητας αθροιστικού σφάλματος τύπου I στο πείραμα αυτό λοιπόν, πραγματοποιήθηκε διόρθωση κατά Bonferroni στις μέσες διαφορές για τα τρία επίπεδα δόνησης, η οποία έδειξε ότι σε επίπεδο ευχαρίστησης, μόνο η διαφορά μεταξύ μηδενικής δόνησης και δόνησης 95Hz ήταν σημαντική, τόσο για τον υψηλό όσο και για τον χαμηλό βαθμού ενεργοποίησης, ευχάριστο ήχο. Σε επίπεδο ενεργοποίησης, έδειξε ότι οι μέσες διαφορές μόνο της μηδενικής δόνησης και της δόνησης των 95Hz ήταν σημαντικές, για τον υψηλής ενεργοποίησης ήχο, ενώ για τον χαμηλού βαθμού ενεργοποίησης ήχο, όλες οι διαφορές ήταν σημαντικές, με εξαίρεση αυτή μεταξύ της μηδενικής δόνησης και της δόνησης των 16Hz.

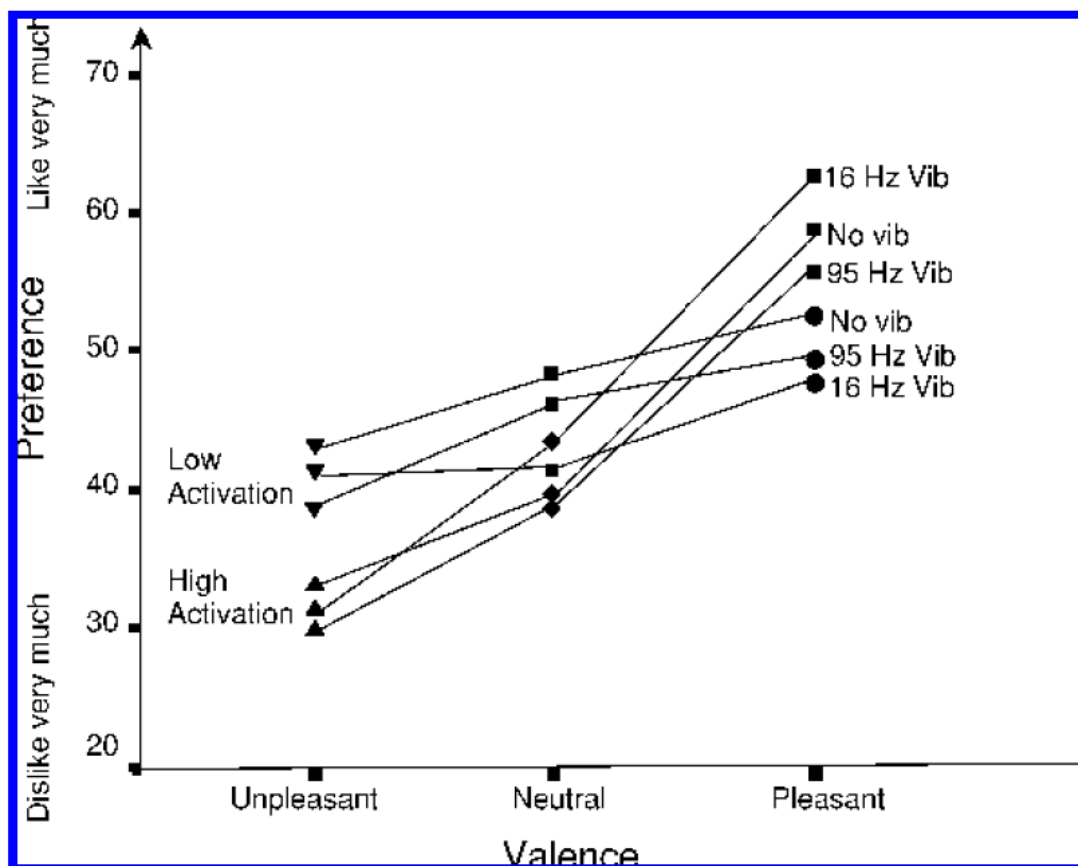
Στον ουδέτερο ήχο χαμηλής ενεργοποίησης, δηλαδή το κάτω μεσαίο τμήμα του γραφήματος, η δόνηση των 16Hz μειώνει την

ενεργοποίηση και αυξάνει ελαφρώς την ευχαρίστηση, σε σχέση με τη μηδενική δόνηση, ενώ η δόνηση των 95Hz μειώνει τόσο το βαθμό ενεργοποίησης, όσο και το βαθμό ευχαρίστησης. Η διόρθωση κατά Bonferroni έδειξε ότι καμία από τις μέσες διαφορές δεν ήταν σημαντική σε επίπεδο ευχαρίστησης αλλά και σε επίπεδο ενεργοποίησης. Για τον ουδέτερο ήχο υψηλής ενεργοποίησης, δηλαδή το πάνω μεσαίο τμήμα του γραφήματος, οι δονήσεις των 16Hz και των 95Hz αυξάνουν και οι δύο το βαθμό ενεργοποίησης και ευχαρίστησης, σε σύγκριση με τη μηδενική δόνηση, αλλά η δόνηση των 95Hz έχει ως αποτέλεσμα ελαφρώς υψηλότερη ενεργοποίηση και χαμηλότερη ευχαρίστηση, σε σχέση με τα αποτελέσματα της επίδρασης της δόνησης των 16Hz. Με διόρθωση κατά Bonferroni φάνηκε ότι καμία από τις μέσες διαφορές δεν ήταν σημαντική σε επίπεδο ευχαρίστησης, ενώ σε επίπεδο ενεργοποίησης όλες ήταν στατιστικά σημαντικές, με μόνη εξαίρεση τη διαφορά μεταξύ της δόνησης των 16Hz και των 95Hz.

Στο δυσάρεστο ήχο χαμηλής ενεργοποίησης, δηλαδή το κάτω αριστερά τμήμα του γραφήματος, και οι δύο συχνότητες δονήσεων, είχαν ως αποτέλεσμα την αύξηση του βαθμού ενεργοποίησης, σε σύγκριση με τη μηδενική δόνηση. Η δόνηση των 16Hz όμως αυξάνει και το βαθμό ευχαρίστησης, σε αντιδιαστολή με τη δόνηση των 95Hz, που τον μειώνει από τα επίπεδα που έχει με μηδενική δόνηση. Η διόρθωση κατά Bonferroni έδειξε ότι σε επίπεδο ευχαρίστησης, όλες οι μέσες διαφορές ήταν σημαντικές, με μόνη εξαίρεση αυτή μεταξύ μηδενικής δόνησης και δόνησης 16Hz. Αντίθετα, σε επίπεδο ενεργοποίησης, η μόνη στατιστικά σημαντική διαφορά ήταν αυτή μεταξύ μηδενικής δόνησης και δόνησης 95Hz. Στο δυσάρεστο ήχο υψηλής ενεργοποίησης, δηλαδή το πάνω αριστερά τμήμα του γραφήματος, τόσο η δόνηση των 16Hz, όσο και η δόνηση των 95Hz αυξάνουν το βαθμό ενεργοποίησης από τα επίπεδα που είχε με μηδενική δόνηση. Η δόνηση των 16Hz όμως μειώνει τα επίπεδα ευχαρίστησης, σε αντίθεση με τη δόνηση των 95Hz, που έχει παρόμοια επίπεδα ευχαρίστησης με αυτά της μηδενικής δόνησης. Με διόρθωση κατά Bonferroni φάνηκε ότι σε επίπεδο ευχαρίστησης όλες οι μέσες διαφορές ήταν στατιστικά σημαντικές, με μόνη εξαίρεση τη διαφορά μεταξύ της μηδενικής δόνησης και της δόνησης των 95Hz.

Τέλος, εξετάστηκαν οι αξιολογήσεις των προτιμήσεων των συμμετεχόντων. Στην Εικόνα 2. 23 απεικονίζονται οι μέσες βαθμολογίες των προτιμήσεων, για τους 18 ξεχωριστούς συνδυασμούς ήχων και δονήσεων, ταξινομημένες σε ευχάριστους, ουδέτερους και δυσάρεστους συνδυασμούς, καθώς επίσης και σε υψηλής και χαμηλής ενεργοποίησης. Όπως είναι εμφανές, η προτίμηση είναι συνολικά μεγαλύτερη για

ευχάριστους συνδυασμούς ήχου και δόνησης και χαμηλότερη για δυσάρεστους. Ωστόσο, εξετάζοντας τους δυσάρεστους συνδυασμούς, τα χαμηλότερα επίπεδα ενεργοποίησης είναι προτιμότερα από τα υψηλότερα, ενώ το αντίθετο ισχύει για τους ευχάριστους συνδυασμούς, όπου τα υψηλότερα επίπεδα ενεργοποίησης προτιμώνται από τα χαμηλότερα. Για τους ουδέτερους συνδυασμούς, χαμηλότερα επίπεδα ενεργοποίησης τείνουν να προτιμώνται. Επιπρόσθετα, φάνηκε ότι σε ορισμένες περιπτώσεις, τα τρία διαφορετικά επίπεδα δόνησης (χωρίς δόνηση, 16Hz, 95Hz) στον ίδιο ήχο, μπορεί να προκαλέσουν σημαντικές διαφορές στα επίπεδα ενεργοποίησης και ευχαρίστησης.



Εικόνα 2. 23: Αξιολογήσεις προτιμήσεων για τους 18 συνδυασμούς ήχων και δονήσεων. Οι συνδυασμοί χωρίζονται σε δυσάρεστοι, ουδέτεροι και ευχάριστοι στην κλίμακα ευχαρίστησης και χαμηλής και υψηλής ενεργοποίησης στην κλίμακα ενεργοποίησης. Οι γραμμές συνδέουν συνδυασμούς με ίδιου τύπου δόνηση, μηδενική, 16Hz ή 95Hz. Η κλίμακα προτίμησης κυμαίνεται από 10 έως 90.

Παρόλο που κυρίως παρατηρήθηκε μία απλή, επιπρόσθετη επίδραση από την αύξηση του επιπέδου δόνησης στην ενεργοποίηση, στα επίπεδα ευχαρίστησης το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης ήχου και δόνησης ήταν συνδυαστικό και πιο περίπλοκο. Για ήχους που γίνονταν

αντιληπτοί ως δυσάρεστοι, η δόνηση των 16Hz δημιούργησε την πιο ισχυρή αρνητική αντίδραση. Για ευχάριστους ήχους όμως, ο συνδυασμός τους με δόνηση 95Hz έλαβε τις λιγότερο ευνοϊκές αντιδράσεις. Ως εκ τούτου, εύλογα προκύπτει το συμπέρασμα ότι η μέτρηση για παράδειγμα του βαθμού ενόχλησης ή άνεσης, σε μία μοναδική και ενιαία κλίμακα μπορεί να οδηγήσει στην απώλεια σημαντικών πληροφοριών σχετικά με την αντίληψη των επιβατών για το περιβάλλον του αεροσκάφους, δεδομένου ότι η ενόχληση είναι ένας συνδυασμός χαμηλού βαθμού στην κλίμακα της ευχαρίστησης (δυσαρέσκεια) και μετρίου βαθμού ενεργοποίησης και η άνεση αντίστοιχα είναι ένας συνδυασμός υψηλού βαθμού ευχαρίστησης και μετρίου βαθμού ενεργοποίησης. Συνολικά, οι άνθρωποι προτιμούν τους ευχάριστους συνδυασμούς ήχου και δόνησης, από τους δυσάρεστους αλλά και από τους ουδέτερους.

Ωστόσο, για συνδυασμούς εξίσου ευχάριστους, υψηλότερα επίπεδα ενεργοποίησης είναι προτιμότερα, ενώ αντιθέτως για συνδυασμούς εξίσου δυσάρεστους, χαμηλά επίπεδα ενεργοποίησης είναι πιο επιθυμητά. Τα ευρήματα αυτά μπορούν να αξιοποιηθούν για τη βελτίωση της ποιότητας της πτήσης και την άνεση των επιβατών. Σε αντίθεση με τις περισσότερες μελέτες, που αναφέρουν μόνο ότι η ενόχληση θα πρέπει να μειωθεί, τα αποτελέσματα του πειράματος αυτού δείχνουν ότι οι συνδυασμοί ορισμένου επιπέδου ευχαρίστησης και ορισμένου επιπέδου ενεργοποίησης, που δημιουργούνται στο περιβάλλον των επιβατών, θα πρέπει να αξιολογούνται συνδυαστικά. Καθώς μπορεί να μην είναι δυνατόν πρακτικά να εφαρμοστεί ένας ευχάριστος και υψηλής ενεργοποίησης συνδυασμός ήχων και δονήσεων στην καμπίνα του αεροσκάφους, γνωρίζοντας τα στοιχεία αυτά μπορούν να γίνουν προσπάθειες για τη δημιουργία της ελάχιστης αρνητικής αντίδρασης, μειώνοντας το βαθμό ενεργοποίησης ή/και ευχαρίστησης ως συνιστώσα του συνδυασμού ήχων και δονήσεων που προκαλούνται από το περιβάλλον.

Είναι ουσιαστικό να αναφερθεί ότι στο συγκεκριμένο πείραμα, χρησιμοποιήθηκαν σύνθετοι ήχοι που καταγράφονται σε ένα αεροσκάφος, αλλά η προσομοίωση των δονήσεων περιορίστηκε μόνο στον πλάγιο άξονα. Στην πραγματικότητα, σε ένα αεροσκάφος το μοτίβο των δονήσεων είναι πιο περίπλοκο και αποτελείται από πλαγιές δονήσεις, κατακόρυφες, εμπρόσθιες/οπίσθιες αλλά και περιστροφικές. Επιπρόσθετα, το φάσμα των δονήσεων ενός αεροσκάφους αποτελείται από αρκετών συχνοτήτων ταυτόχρονες δονήσεις αλλά και τυχαίες διακυμάνσεις αυτών. Έτσι, για το λόγο αυτό, η μελέτη της αξιολόγησης

που αφορά την άνεση των επιβατών στην καμπίνα του αεροσκάφους, σε σχέση με τους ήχους και τις δονήσεις στο χώρο αυτό, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να πραγματοποιείται είτε σε κατάλληλα περιβάλλοντα με ποικίλους και σύνθετους συνδυασμούς ήχων και δονήσεων, είτε σε πραγματικά αεροπλάνα κατά τη διάρκεια πτήσεων, για την όσο το δυνατόν καλύτερη κατανόηση των συναισθηματικών αντιδράσεων των επιβατών. Ακόμα βέβαια, είναι πιθανό οι αντιδράσεις των ατόμων στα ίδια ερεθίσματα να διαφέρουν, όταν αυτά τα λαμβάνουν σε ένα εργαστήριο, από όταν τα λαμβάνουν κατά τη διάρκεια μίας πραγματικής πτήσης και για το λόγο αυτό η καταγραφή τους κατά τη διάρκεια πτήσης πιστεύεται ότι θα είχε πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα. [53][54]

3. Αντικείμενα και Φωτισμός

Εισαγωγή

Η παροχή ενός άνετου περιβάλλοντος στους επιβάτες καθ' όλη τη διάρκεια της πτήσης, προϋποθέτει την επιλογή αντικειμένων σωστών χαρακτηριστικών αλλά και την ύπαρξη κατάλληλου φωτισμού. Ένα σπουδαίας σημασίας στοιχείο λοιπόν για τον καθορισμό των βέλτιστων χαρακτηριστικών για τα αντικείμενα της καμπίνας, είναι το χρώμα τους. Το χρώμα αυτό μπορεί να επηρεάσει ποικιλοτρόπως τους επιβάτες. Ανάλογα με την επιλογή του, ένας επιβάτης μπορεί να αισθανθεί το χώρο γύρω του μικρότερο ή μεγαλύτερο, να νιώσει ένταση ή ηρεμία, πνευματική διέγερση ή χαλάρωση κ.ά. (Εικόνα 3. 1 & Εικόνα 3. 2). Ιδιαίτερη σημασία όμως έχει και το ίδιο το υλικό, αφού η υφή και η ανακλαστικότητα του καθορίζουν σε πολύ μεγάλο βαθμό την αίσθηση που δημιουργείται στους επιβάτες. Έτσι, υλικό με μεγάλη ανακλαστικότητα για παράδειγμα, μπορεί να δημιουργήσει θάμβωση, ειδικά σε περιπτώσεις έντονου φωτισμού. Τέλος, η φωτεινότητα των αντικειμένων, η οποία βεβαίως επηρεάζεται και από τον περιβάλλοντα φωτισμό, αποτελεί και αυτή βασικό στοιχείο τους για την άνεση των επιβατών.



Εικόνα 3. 1: Το χρώμα των αντικειμένων αλλά και το υλικό τους έχει σημαντική επίδραση στην αίσθηση των επιβατών για το περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται, αλλά και το βαθμό άνεσης που αισθάνονται.



Εικόνα 3. 2: Πιο ομοιόμορφοι χρωματισμοί και συντηρητικές επιλογές δημιουργούν στους επιβάτες τελείως διαφορετική αίσθηση από ότι περιβάλλοντα με περισσότερους και πιο ιδιαίτερους χρωματισμούς.

Ακόμα, εκτός από τα αντικείμενα του περιβάλλοντος, πρωταρχικό ρόλο διαδραματίζει και ο φωτισμός, στο το κατά πόσο παρέχεται ένα βολικό περιβάλλον για τους επιβάτες. Η θερμοκρασία του χρώματος του φωτισμού αποτελεί ένα από τα σπουδαιότερα χαρακτηριστικά του. Ψυχρότεροι τόνοι χρωμάτων μπορούν να κάνουν τα άτομα να αισθάνονται το χώρο πιο κρύο, ενώ θερμότεροι τόνοι να προκαλέσουν την αυταπάτη ενός θερμότερου περιβάλλοντος. Με έξυπνη χρήση του γεγονότος αυτού λοιπόν, θα μπορούσε ένα περιβάλλον ακόμα και αν δεν έχει την ιδανική θερμοκρασία, να θεωρηθεί άνετο μόνο και μόνο λόγω της ψευδαίσθησης που μπορεί να δημιουργήσει η επιλογή ενδεδειγμένης θερμοκρασίας χρώματος φωτισμού. Εκτός από τη θερμοκρασία του

χρώματος του φωτισμού όμως, και το χρώμα αυτό καθ' αυτό αποτελεί σπουδαίο χαρακτηριστικό του για την άνεση των επιβατών. Το χρώμα του, όπως και στην περίπτωση των αντικειμένων, μπορεί να επηρεάσει την αίσθηση των επιβατών για το μέγεθός της καμπίνας, για την ποιότητα του αέρα, αλλά και την ίδια την ψυχολογία τους (Εικόνα 3. 3). Επιπρόσθετα, και η ένταση του φωτισμού αποτελεί υψίστης σημασίας χαρακτηριστικό του, για την ύπαρξη ενός βολικού περιβάλλοντος για τους επιβάτες. Σε ενεργητικές δραστηριότητες, όπως κατά τη διάρκεια της εργασίας, υψηλότερης έντασης φωτισμός είναι απαραίτητος για μεγαλύτερη συγκέντρωση και καλύτερη διάθεση. Αντίθετα, σε άλλες πιο παθητικές δραστηριότητες, όπως κατά τη διάρκεια παρακολούθησης μίας ταινίας ή κατά τη διάρκεια του ύπνου, χαμηλότερης έντασης φωτισμός είναι απαραίτητος για ένα πιο άνετο περιβάλλον. Ακόμα, με κατάλληλες τροποποιήσεις του φωτισμού καθ' όλη τη διάρκεια της πτήσης, μπορεί να προσομοιωθεί κατά το δυνατό ο φυσικός φωτισμός και οι αλλαγές που αυτός υφίσταται κατά τη διάρκεια της ημέρας, ώστε να μειωθεί η αίσθηση του jet lag.



Εικόνα 3. 3: Με τη χρήση έγχρωμου φωτισμού, ολόκληρο το περιβάλλον της καμπίνας διαμορφώνεται κατάλληλα, ώστε να παρέχει την επιθυμητή άνεση στους επιβάτες, καλύπτοντας τις απαιτήσεις τους την εκάστοτε χρονική στιγμή.

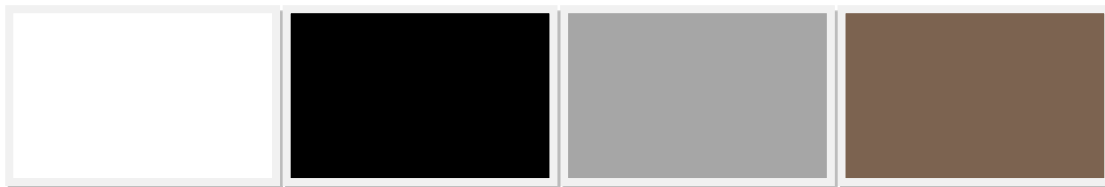
Ουσιαστικό ρόλο όμως διαδραματίζει και η αντίθεση που υπάρχει στη φωτεινότητα ενός χώρου, δηλαδή η σχέση μεταξύ των φωτισμένων και των σκοτεινών σημείων της καμπίνας. Η αντίθεση αυτή μπορεί να επιδράσει καθοριστικά στη βολή των ατόμων κατά τη διάρκεια της πτήσης, ενώ και η σωστή κατανομή της φωτεινής ροής συνδράμει σημαντικά στη δημιουργία ενός ευχάριστου περιβάλλοντος. Όλα τα παραπάνω όμως, μπορεί να έχουν διαφορετικό αντίκτυπο σε κάθε επιβάτη, καθώς ατομικοί παράγοντες όπως το φύλο ή ηλικία, κάνουν τα άτομα να εκλαμβάνουν διαφορετικά ακόμα και τα ίδια ερεθίσματα.

3.1. Αντικείμενα

3.1.1. Χρώμα

Υψίστης σημασίας στοιχείο των αντικειμένων του περιβάλλοντος της καμπίνας αποτελεί το χρώμα τους. Όλα τα χρώματα έχουν την ικανότητα να επιδρούν ουσιαστικά και με διάφορους τρόπους στα άτομα, σε κάποιες περιπτώσεις θετικά, ενώ σε άλλες αρνητικά. Το κάθε χρώμα λοιπόν διαθέτει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, που το καθιστούν κατάλληλο για ορισμένες περιπτώσεις. Το λευκό αφενός επιφέρει ηρεμία, γαλήνη και απλότητα αλλά αφετέρου καθιστά το χώρο ψυχρό, άδειο, μη φιλικό και αποστειρωμένο (Εικόνα 3. 4). Δίνει την αίσθηση ότι μεγαλώνει τους χώρους, τους δίνει καθαρούς και αρμονικούς. Πρόκειται για ιδιαίτερα φωτεινό χρώμα, που καλό είναι να συνδυάζεται με απαλά χρώματα και όχι με άλλα έντονα χρώματα για πιο ευχάριστα αποτελέσματα. Το μαύρο, ενώ προκαλεί δύναμη και αισθησιασμό και αντιπροσωπεύει την κομψότητα και την τυπικότητα, δεν αποτελεί ενδεικνυόμενο χρώμα, κατά κύριο λόγο επειδή μπορεί να επιφέρει αισθήματα όπως ο θυμός, η στεναχώρια, η ανασφάλεια ακόμα και ο φόβος (Εικόνα 3. 4). Έτσι προτιμάται να αποφεύγεται, λόγω του ότι πρόκειται για κλειστό και περιορισμένο χώρο στον οποίο μεγάλη μερίδα των επιβατών ήδη νιώθει ανασφάλεια και φόβο και συνεπώς μπορεί να τους δυσχεράνει πολύ. Το μαύρο επίσης τείνει να δείχνει τους χώρους μικρότερους. Το γκρι είναι ένα ουδέτερο χρώμα, επίσημο και συντηρητικό και εμπνέει τυπικότητα και σοβαρότητα (Εικόνα 3. 4). Σε επαγγελματικούς χώρους για δημιουργικά άτομα μπορεί να συμβάλει στην επιτυχία, διεγείροντας τη δημιουργικότητά τους, ενώ από άλλους μπορεί να θεωρηθεί κακόκεφο και καταθλιπτικό. Το καφέ συμβολίζει το μη επίσημο και ξυπνά αισθήματα ζεστασιάς, άνεσης και ασφάλειας εξαιτίας του συσχετισμού με τη γη και το ξύλο (Εικόνα 3. 4). Μπορεί να συσχετιστεί με

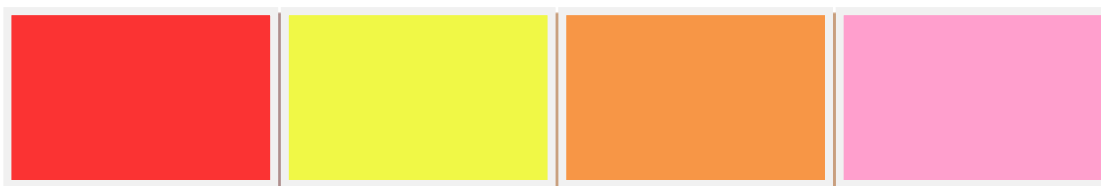
την αξιοπιστία, την επιμονή και τη δύναμη, ενώ αντίθετα μπορεί να δημιουργήσει και συναισθήματα θλίψης και απομόνωσης.



Εικόνα 3. 4: Από τα ουδέτερα χρώματα, το λευκό, το μαύρο, το γκρι και το καφέ επηρεάζουν το καθένα διαφορετικά τους επιβάτες, όταν επιλεχθεί για αντικείμενα της καμπίνας.

Το κόκκινο διεγείρει τις αισθήσεις, αυξάνει τους καρδιακούς παλμούς, ενεργοποιεί την κυκλοφορία του αίματος και τραβάει την προσοχή του ατόμου, ενώ το κρατάει σε εγρήγορση (Εικόνα 3. 5). Η επίδραση του αυτή όμως περνάει γρήγορα και μακροπρόθεσμα μειώνει την αναλυτική σκέψη του ατόμου και την ικανότητά του να παραμένει συγκεντρωμένο, ενώ μπορεί να προκαλέσει και πονοκέφαλο. Ναι μεν έχει συσχετιστεί με τη φωτιά, τη βία και τον πόλεμο, το διάβολο, την επαναστατικότητα, το θυμό και τον κίνδυνο, αλλά δε και με την αγάπη, το πάθος, τον έρωτα, τη δύναμη και τη σπουδαιότητα. Στο δυτικό πολιτισμό είναι το χρώμα που αντιπροσωπεύει την ευημερία, την ευτυχία και την καλή τύχη. Το κίτρινο είναι το χρώμα με την πιο έντονη επίδραση στο συναισθηματικό μας κόσμο (Εικόνα 3. 5). Σε σωστή απόχρωση φτιάχνει τη διάθεση, ανεβάζει την αυτοπεποίθηση και την αισιοδοξία, προσφέρει έμπνευση και δημιουργική σκέψη. Οι απαλές αποχρώσεις ενισχύουν τη συγκέντρωση, ενώ οι πιο έντονες τονώνουν τη μνήμη, αυξάνουν το μεταβολισμό και κεντρίζουν την προσοχή. Έχει συσχετιστεί με τη χαρά και τη λιακάδα, αφού πρόκειται για ένα ζωηρό και χαρούμενο χρώμα, αλλά και με την απάτη, τη δειλία και την ατιμία. Μπορεί ακόμα να προκαλέσει συναισθήματα θυμού, απογοήτευσης, σύγχυσης και αναστάτωσης. Το κίτρινο χρώμα έχει την τάση να κάνει τους χώρους να φαίνονται μεγαλύτεροι, αλλά κουράζει τα μάτια περισσότερο από κάθε άλλο χρώμα. Το πορτοκαλί προκαλεί ενθουσιασμό, ζεστασιά, μαγνητίζει την προσοχή και χρησιμοποιείται όπου θέλουμε να εστιάσει κανείς (Εικόνα 3. 5). Πρόκειται για ένα ζεστό, ζωηρό, ελκυστικό και φιλικό χρώμα, που δίνει ενέργεια και εκπέμπει αξιοπιστία. Εμπνέει τη διαπροσωπική σχέση και κάνει τους ανθρώπους να νιώθουν άνετα. Έχει συσχετιστεί με την υγεία και τη ζωή, την αλλαγή των εποχών και κατ' επέκταση τις αλλαγές γενικότερα, ενώ οι απαλές αποχρώσεις του σχετίζονται με τη γη και το φθινόπωρο. Από την άλλη μεριά, μπορεί να προκαλέσει υπερδιέγερση και για αυτό

πρέπει να χρησιμοποιείται με φειδώ. Το ροζ χαρακτηρίζεται από θηλυκότητα αλλά και τρυφερότητα, παιδικότητα και αθωότητα (Εικόνα 3. 5). Γενικά βοηθάει στην έκφραση συναισθημάτων και στην εξισορρόπησή τους. Εκφράζει ευαισθησία, κατανόηση και ρομαντισμό. Προκαλεί χαλαρωτική διάθεση και έχει ηρεμιστική επίδραση, ειδικά οι πιο έντονες αποχρώσεις του, που έχει αποδειχτεί ότι βοηθούν όχι μόνο στο να ηρεμούν τα άτομα αλλά και στο να παραμείνουν ήρεμα για μεγάλο χρονικό διάστημα. Έτσι, συστήνεται σε περιπτώσεις που είναι επιθυμητό το να μην οξύνονται τα πνεύματα.



Εικόνα 3. 5: Από τα θερμά χρώματα, το κόκκινο, το κίτρινο, το πορτοκαλί και το ροζ επηρεάζουν και αυτά το καθένα διαφορετικά τους επιβάτες, όταν επιλεγθεί για αντικείμενα της καμπίνας.

Το πράσινο συμβολίζει τη φύση, το περιβάλλον, τη γονιμότητα και τη νεότητα (Εικόνα 3. 6). Σχετίζεται με την υγεία και την ευημερία και έχει κατευναστική επίδραση στο μυαλό και στο σώμα, μειώνει το άγχος και διεγείρει την αίσθηση της ασφάλειας. Προκαλεί ελπίδα, ευφορία και οι χρωματικές του ιδιότητες μπορούν να χαλαρώσουν. Έτσι, θεωρείται το χρώμα με τις πιο ευεργετικές θεραπευτικές ιδιότητες, ενώ παράλληλα ενισχύει τη συγκέντρωση, την αντίληψη και την ικανότητα ανάγνωσης και κατανόησης κειμένου. Επίσης, επιδρά θετικά στη δημιουργικότητα των ατόμων. Λόγω του ότι το πράσινο βρίσκεται στο κέντρο του χρωματικού φάσματος, μεταξύ των ψυχρών και των θερμών χρωμάτων, αποκαθιστά στην ισορροπία στο νου. Εναλλακτικά, το πράσινο μπορεί να υποδηλώσει το φθόνο ή τη ζήλεια. Οι βαθύτερες αποχρώσεις του συνδέονται με τον πλούτο και το κύρος, ενώ οι πιο απαλές συνήθως με την ηρεμία και τη γαλήνη. Το μπλε είναι το αντίθετο από το κόκκινο, καθώς ηρεμεί το μυαλό και το σώμα, μειώνει την αρτηριακή πίεση, τον καρδιακό ρυθμό, την αναπνοή, τα συναισθήματα άγχους και επιθετικότητας (Εικόνα 3. 6). Κυριαρχεί στον ουρανό και στο νερό και προκαλεί γαλήνη, ηρεμία, σταθερότητα, αρμονία, εμπιστοσύνη και ασφάλεια. Αντιπροσωπεύει την τάξη και την καθαρότητα και τον αυταρχισμό. Χρησιμοποιείται επίσης για να αναπαραστήσει την ησυχία και την ευθύνη. Σχετίζεται με την ειρήνη και έχει πνευματική και θρησκευτική σημασία σε πολλούς πολιτισμούς και είναι το κατεξοχήν χρώμα της ηρεμίας. Δεν

ενδείκνυται για άτομα που πάσχουν από κατάθλιψη, αφού συνδέεται και με αρνητικά συναισθήματα, όπως η θλίψη και η επιφυλακτικότητα. Επιπρόσθετα, βοηθάει στη μείωση της όρεξης. Οι απαλές αποχρώσεις του κυρίως ηρεμούν το πνεύμα, είναι ξεκούραστες και φιλικές, ενώ οι πιο σκούρες χαρίζουν διαύγεια σκέψης, δείχνουν δύναμη, αξιοπιστία και πιο επαγγελματικό αποτέλεσμα. Τέλος, σύμφωνα με έρευνες, όταν επικρατεί σε επαγγελματικούς χώρους, οι εργαζόμενοι είναι πιο παραγωγικοί. Το μοβ είναι το σύμβολο του πλούτου και των βασιλικών οικογενειών, αποπνέει μία αίσθηση πολυτέλειας και συνδέεται με τη σοφία και την πνευματικότητα (Εικόνα 3. 6). Θεωρείται ευεργετικό για το διαλογισμό και έχει συσχετιστεί με τη δημιουργικότητα και τη φαντασία. Υποδηλώνει ένα μυστήριο, αλλά είναι επίσης και το χρώμα της σκληρότητας, της αγένειας, του θανάτου και του θρήνου. Οι έντονες αποχρώσεις του έχουν την τάση να αποσπούν την προσοχή και σχετίζονται με τον πλούτο και την πολυτέλεια, ενώ οι απαλές αποχρώσεις του είναι χαλαρωτικές και ρομαντικές. ^[55]



Εικόνα 3. 6: Από τα ψυχρά χρώματα, το πράσινο, το μπλε και το μοβ επηρεάζουν και αυτά το καθένα διαφορετικά τους επιβάτες, όταν επιλεγθεί για αντικείμενα της καμπίνας.

3.1.2. Υφή και ανακλαστικότητα υλικού

Πρωταρχικό ρόλο για την άνεση των επιβατών διαδραματίζει η υφή των αντικειμένων και η ικανότητά τους να αντανakλούν το προσπίπτον φως. Ακόμα, και το σχήμα των αντικειμένων του περιβάλλοντα χώρου επηρεάζει σημαντικά την αίσθηση των επιβατών για αυτά. Οι απαλές καμπύλες δημιουργούν ένα πιο φιλικό και ασφαλές περιβάλλον, σε σχέση με τις απότομες καμπύλες. Η δυσχέρεια των επιβατών περιορίζεται όταν λείπουν οι επίπεδες επιφάνειες και οι σκληρές γραμμές. Όσο αφορά την αντανάκλαση, όταν το φως πέφτει πάνω σε μια επιφάνεια ανακλάται πλήρως ή μερικώς ανάλογα με το συντελεστή αντανάκλασης της επιφάνειας αυτής (Πίνακας 3. 1). Στην πραγματικότητα το φως ανακλάται όταν διαδίδεται από ένα υλικό με συγκεκριμένο δείκτη διάθλασης σε ένα άλλο με διαφορετικό δείκτη. Γενικά, ένα ποσοστό του φωτός ανακλάται από την διαχωριστική επιφάνεια, ενώ το υπόλοιπο διαθλάται. Εκτός από την αντανάκλαση όμως, ο βαθμός διάχυσης του ανακλώμενου φωτός

είναι επίσης σημαντικός. Στην περίπτωση κατοπτρικών επιφανειών δεν υπάρχει διάχυση (Εικόνα 3. 7). Όσο πιο έντονη είναι η διάχυση της αντανάκλασης από την επιφάνεια τόσο μικρότερη είναι η κατοπτρική συνιστώσα του ανακλώμενου φωτός, μέχρι το σημείο όπου μόνο διάχυτο φως παράγεται. Συμπερασματικά, εμφανές είναι ότι η υφή των αντικειμένων αποτελεί σημαντικό παράγοντα στο βαθμό διάχυσης του ανακλώμενου φωτός και συνεπακόλουθα στην άνεση του επιβάτη.

Μέταλλα	Συντελεστής αντανάκλασης
Αλουμίνιο, κατοπτρικό	0,80-0,85
Αλουμίνιο, ανοδιωμένο με ματ τελείωμα	0,75-0,85
Αλουμίνιο, ματ τελείωμα	0,50-0,75
Ασήμι, γυαλισμένο	0,90
Χαλκός, γυαλισμένος	0,60-0,70
Χρώμιο, γυαλισμένο	0,60-0,70
Χάλυβας γυαλισμένος	0,50-0,60

Βαμμένο τελείωμα	Συντελεστής αντανάκλασης
Λευκό	0,70-0,80
Απαλό κίτρινο	0,60-0,70
Απαλό πράσινο, ανοιχτό κόκκινο, απαλό μπλε, ανοιχτό γκρι	0,40-0,50
Μπεζ, ώχρα, πορτοκαλί, γκρι	0,25-0,35
Σκούρο γκρι, σκούρο κόκκινο, σκούρο μπλε, σκούρο πράσινο	0,10-0,20

Υλικά κτηριακών κατασκευών	Συντελεστής αντανάκλασης
Σοβάς, λευκός	0,70-0,85
Γύψος	0,70-0,80
Σμάλτο, λευκό	0,60-0,70
Κονίαμα, φωτεινό	0,40-0,50
Μπετό	0,30-0,50
Γρανίτης	0,10-0,30
Τούβλο, κόκκινο	0,10-0,20
Γυαλί, καθαρό	0,05-0,10

Πίνακας 3. 1: Παράγοντες αντανάκλασης κοινών μετάλλων, βαμμένων επιφανειών και υλικών για κατασκευή κτηρίων.



Εικόνα 3. 7: Κατοπτρική αντανάκλαση παράλληλων δεσμών φωτισμού που πέφτουν σε μία επίπεδη επιφάνεια (παράλληλο μονοπάτι ακτινών), σε μία κοίλη επιφάνεια (συγκλίνουσες ακτίνες) και σε μία κυρτή επιφάνεια (διάχυτες ακτίνες).

Το φως που ανακλάται όμως από την επιφάνεια εξαρτάται και από την ένταση του περιβάλλοντα φωτισμού. Αυτό σημαίνει ότι η φωτεινότητα μιας επιφάνειας ποικίλει. Η φωτισμένη πλευρά ενός μονόχρωμου αντικείμενου έχει υψηλότερη φωτεινότητα από την πλευρά που δεν έρχεται σε επαφή με την φωτεινή πηγή. Ένα μαύρο αντικείμενο εκτεθειμένο στο φως του ήλιου παρουσιάζει υψηλότερο επίπεδο φωτεινότητας από ένα άσπρο αντικείμενο σε έναν εσωτερικό χώρο. Απαιτείται ένας μηχανισμός που να καθορίζει την ανακλαστικότητα μιας επιφάνειας με βάση το επίπεδο φωτεινότητας της σε σχέση με το περιβάλλον. Αυτό σημαίνει ότι μια λευκή επιφάνεια θεωρείται ότι είναι λευκή τόσο στο φως όσο και στη σκιά, διότι σε σχέση με τις επιφάνειες του χώρου αντανακλά περισσότερο φως. Όμως υπάρχει και η οριακή περίπτωση που ενώ δυο επιφάνειες έχουν το ίδιο χρώμα, η φωτεινότητα τους φαίνεται διαφορετική παρ' όλο που εκτίθενται στον ίδιο φωτισμό. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας των διαφορετικών συντελεστών ανάκλασης των υλικών των αντικειμένων.

Για την άνεση των επιβατών, προτιμώνται αντικείμενα με υψηλές τιμές ανακλαστικότητας, αλλά και υφές που να προκαλούν διάχυση του φωτισμού. Ο διάχυτος φωτισμός μειώνεται όταν ο περιβάλλοντας χώρος λαμβάνει πολύ λίγο φως, ή όταν το φως απορροφάται σε μεγάλο βαθμό λόγω της χαμηλής ανακλαστικότητας των επιφανειών. ^[55]

3.1.3. Λαμπρότητα

Η λαμπρότητα αποτελεί ένα ιδιαίτερα σημαντικό χαρακτηριστικό των αντικειμένων, ίσως ακόμα και το πιο σημαντικό. Πρόκειται για ένα μέγεθος που δείχνει την ποσότητα του φωτός που φτάνει στο μάτι ενός ανθρώπου, μετά την αντανάκλασή του σε μία επιφάνεια αναφοράς. Η λαμπρότητα είναι το αντικειμενικό μέτρο αίσθησης φωτεινότητας της επιφάνειας αυτής (Εικόνα 3. 8). Ορίζεται ως το πηλίκο της φωτεινής έντασης (I) προς το εμβαδόν της επιφάνειας αναφοράς (S) δηλαδή $L = I / S$ ή $S_b = C_d / C_m^2$, ενώ μονάδα μέτρησης αυτής στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI) είναι τα κηρία (candela) ανά τετραγωνικό μέτρο: cd/m^2 . Συνηθίζεται ακόμα όμως η χρήση των μονάδων στίλβη (S_b), που ισούται

με ένα κηρίο ανά τετραγωνικό εκατοστόμετρο (1 cd/cm^2) και το λάμπερτ (L), που ισούται με ένα προς Π κηρίο ανά τετραγωνικό εκατοστόμετρο ($1/\Pi \text{ cd/cm}^2$). Η λαμπρότητα, όπως προαναφέρθηκε, χαρακτηρίζει το πόσο αντιλαμβάνεται ένα άτομο φωτεινή μία επιφάνεια ή αντίστοιχα πόση θάμβωση προκαλεί η επιφάνεια αυτή σε έναν παρατηρητή. Για δεδομένη φωτεινή ένταση, όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια αναφοράς, τόσο περισσότερο διαχέεται η φωτεινή αυτή ένταση, με αποτέλεσμα η επιφάνεια να φαίνεται λιγότερο λαμπρή. Αντίθετα, αν το άτομο αντιλαμβάνεται ότι δέχεται όλη τη φωτεινή ένταση από ένα συγκεκριμένο σημείο, τότε η λαμπρότητα γίνεται πάρα πολύ μεγάλη, με αποτέλεσμα τη θάμβωση του ατόμου. Η αίσθηση φωτεινότητας μίας συγκεκριμένης επιφάνειας όμως, εξαρτάται και από την κατάσταση προσαρμογής του ματιού του παρατηρητή, εκτός από την ποσότητα του φωτός που φτάνει στα μάτια του ύστερα από αντανάκλαση στην επιφάνεια αυτή. Λόγω των παραπάνω, γίνεται εμφανές ότι η κατανομή της λαμπρότητας σε όλους τους χώρους αποτελείται ουσιαστικό κριτήριο για την ποιότητα της οπτικής εμπειρίας. Μία καλά σχεδιασμένη, ισορροπημένη αλλά και αρμονική κατανομή μπορεί να κάνει ένα χώρο ευχάριστο αλλά και ενδιαφέροντα οπτικά. Έτσι, αυτός είναι και ένας από τους βασικότερους στόχους της μελέτης αρχιτεκτονικού φωτισμού, ο σχεδιασμός δηλαδή σωστής κατανομής της λαμπρότητας των επιφανειών που ορίζουν το χώρο.



Εικόνα 3. 8: Διαφορετικές τιμές λαμπρότητας για επιφάνειες με ίδιο βαθμό ανάκλασης, λόγω διαφορών στο φως που προσπίπτουν σε αυτές.

Σε περίπτωση που υπάρχουν πολύ υψηλές τιμές λαμπρότητας σε ένα χώρο ή πολύ έντονες διαφορές ανάμεσα στις τιμές λαμπρότητας των επιφανειών του, τότε τα ματιά αδυνατούν να ανταποκριθούν και το άτομο θαμβώνεται. Για να αποφευχθεί αυτό το σπουδαίο πρόβλημα, θα πρέπει η λαμπρότητα του πιο λαμπρού σημείου L_{max} και η λαμπρότητα του λιγότερου λαμπρού σημείου να ικανοποιούν κάθε στιγμή τη σχέση $L_{max} - L_{min}/L_{max} \leq 10$. Καθώς σημαντικές διαφορές στις τιμές λαμπρότητας του πεδίου εργασίας με τον περιβάλλοντα χώρο αναγκάζουν τις κόρες του ματιού να αναπροσαρμόζουν το μέγεθός τους συνεχώς, τόσο η κόπωση των ατόμων, όσο ενδεχομένως ακόμα και η βλάβη της όρασης τους, είναι συχνά αναπόφευκτες. Για τον παραπάνω λόγο, είναι απαραίτητη η αποφυγή μεγάλης ανομοιογένειας στις τιμές λαμπρότητας του οπτικού πεδίου του ατόμου. Σύμφωνα με προδιαγραφές, οι αναλογίες που πρέπει να τηρούνται στις τιμές λαμπρότητας μεταξύ της επιφάνειας εργασίας και του περιβάλλοντα χώρου, κοντινού και μακρινού, είναι 10 προς 3 προς 1. Για τη μη ανατροπή των σωστών αυτών αναλογιών των τιμών της λαμπρότητας λοιπόν, είναι απαραίτητο να μη χρησιμοποιείται σε καμία περίπτωση αποκλειστικά και μόνο τοπικός φωτισμός, χωρίς τη

συνύπαρξη γενικού φωτισμού. Κάτι τέτοιο, συνεπώς, θα πρέπει να αποφεύγεται για να μη δυσχεραίνονται τα άτομα.

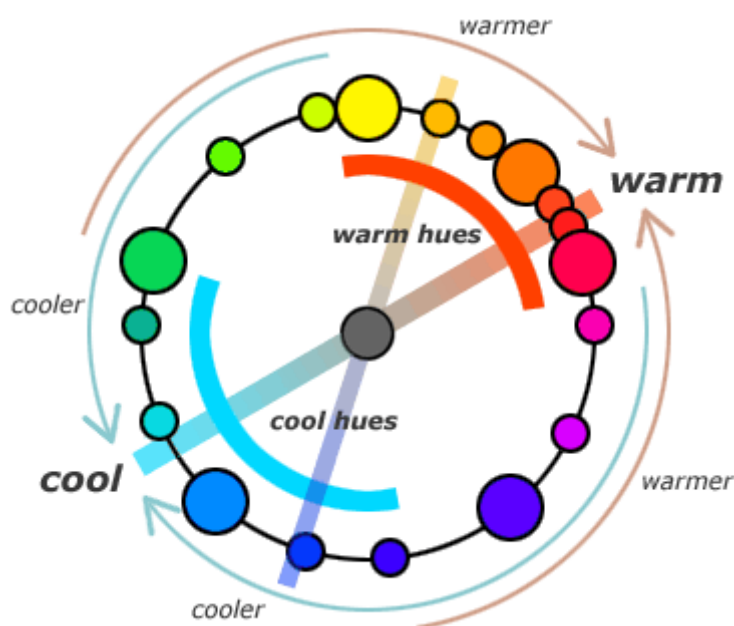
Καθώς η τιμή της λαμπρότητας καθορίζεται εκτός από το προσπίπτον φως και από το βαθμό ανάκλασης μίας δεδομένης επιφάνειας που φωτίζεται, με τη μελέτη φωτισμού επιλέγονται οι κατάλληλοι βαθμοί ανάκλασης (ρ) για κάθε επιφάνεια του χώρου, έτσι ώστε να διατηρούνται οι τιμές λαμπρότητας ολοκλήρου του χώρου εντός των αποδεκτών ορίων. Ο κατάλληλος βαθμός ανάκλασης για επιφάνειες γραφείων και πάγκους εργασίας κυμαίνεται μεταξύ 30 και 50%, για οροφές μεταξύ 60 και 70%, για το δάπεδο μεταξύ 10 και 20%, ενώ για τους τοίχους ο κατάλληλος βαθμός εξαρτάται ιδιαίτερα από την ένταση του φωτισμού και κυμαίνεται μεταξύ 40 και 70%. Ιδιαίτερα σημαντικό και άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι τα μεγαλύτερα άτομα, λόγω του ότι έχουν χαμηλότερο βαθμό οπτικής απόδοσης, είναι πιο ευαίσθητα στις αντανάκλασεις και πρέπει αυτό να λαμβάνεται σοβαρά υπόψιν κατά τη μελέτη φωτισμού ενός χώρου. ^[56]

3.2. Φωτισμός

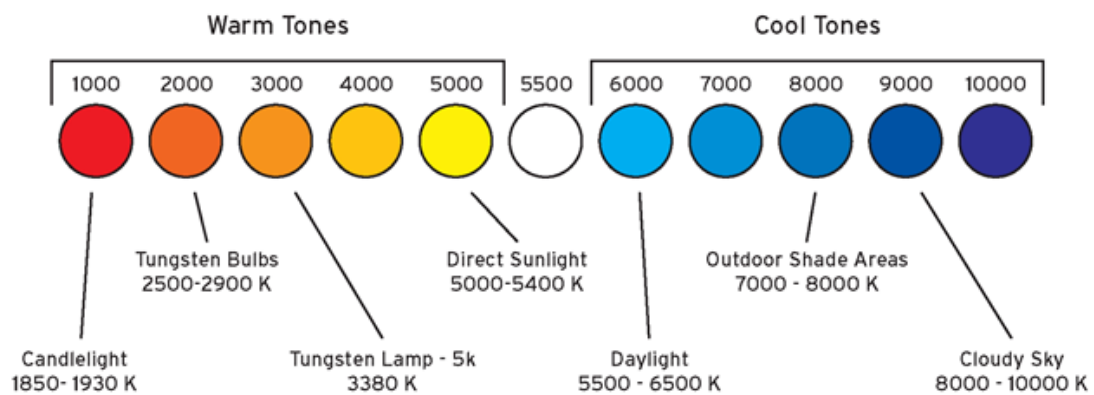
3.2.1. Θερμοκρασία χρώματος

Πρωτεύοντα ρόλο στην άνεση των επιβατών διαδραματίζει η θερμοκρασία του χρώματος του φωτισμού. Χρωματική θερμοκρασία ονομάζεται η διακύμανση των χρωμάτων από τα πιο ψυχρά ως και τα πιο θερμά. Ψυχρά θεωρούνται τα χρώματα προς το μπλε, ενώ θερμά τα χρώματα προς το κόκκινο (Εικόνα 3. 9). Η κλίμακα που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του χρώματος είναι η κλίμακα Kelvin. Όσο πιο ψυχρά είναι τα χρώματα, τόσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία του χρώματος, ενώ όσο πιο θερμά φαίνονται, τόσο κατεβαίνει η χρωματική θερμοκρασία (Εικόνα 3. 10). Δηλαδή, ενώ ψυχολογικά βαθμολογείται το κόκκινο ως θερμό χρώμα και το μπλε ως ψυχρό, στην πραγματικότητα, η θερμοκρασία της ακτινοβολίας που εκπέμπει ένα κόκκινο φως είναι μικρότερη από αυτή που εκπέμπει ένα μπλε. Η θερμοκρασία του χρώματος όμως δεν είναι ένα εντελώς ανεξάρτητο χαρακτηριστικό του. Τόσο το χρώμα του φυσικού φωτός του ηλίου, όσο και το χρώμα του τεχνητού φωτισμού, επηρεάζονται ποικιλοτρόπως. Η θερμοκρασία του χρώματος του ηλιακού φωτός μεταβάλλεται συνεχώς, καθώς εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, για παράδειγμα το υψόμετρο, την απόσταση της γης από τον ήλιο αλλά και τις καιρικές

συνθήκες, όπως το ποσοστό υγρασίας και η ύπαρξη συννεφιάς. Όμως και η αίσθηση που δίνει τόσο το φυσικό φως του ηλίου, όσο και ένα τεχνητό φως σε σχέση με το πόσο ψυχρό ή θερμό είναι δεν είναι σταθερή και αντικειμενική, ακόμα και για φως ίδιας θερμοκρασίας στην κλίμακα Kelvin. Αυτό συμβαίνει γιατί η αίσθηση που δίνει επηρεάζεται άμεσα τόσο από το χρωματικό περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται, όσο και από το με τι αντιπαραβάλλεται. Δηλαδή, ο ίδιος τόνος ενός μωβ φωτός μπορεί να μοιάζει θερμότερος σε σύγκριση με ένα μπλε φως, ενώ αντίθετα σε σύγκριση με ένα κόκκινο να φαντάζει ψυχρότερος από ότι πραγματικά είναι.



Εικόνα 3. 9: Θερμά και ψυχρά χρώματα.

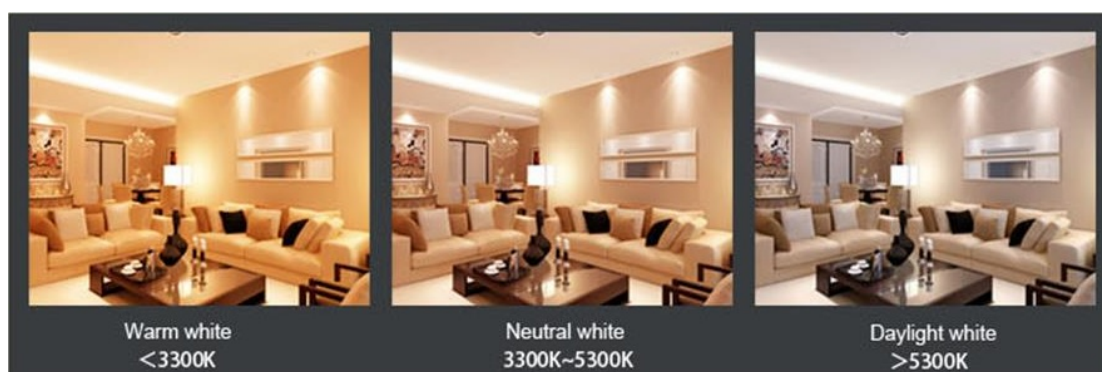


Εικόνα 3. 10: Θερμοκρασίες χρωμάτων στην κλίμακα Kelvin.

Η θερμοκρασία του χρώματος του φωτισμού επηρεάζει ουσιαστικά την αίσθηση των ατόμων για το χώρο στον οποίο βρίσκονται. Οι λαμπτήρες με θερμότερο φως δημιουργούν μια ζεστή ατμόσφαιρα, αίσθηση άνεσης και χαλάρωσης και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται σε σαλόνια, υπνοδωμάτια αλλά και εστιατόρια, αφού δημιουργούν ένα ευχάριστα θερμό αποτέλεσμα. Αντίθετα, οι λαμπτήρες με ψυχρό φως προκαλούν εγρήγορση, επαγρύπνηση, συμβάλουν στην ενίσχυση της συγκέντρωσης, της οπτικής διαύγειας και της αντίληψης, ακόμα και αν τα επίπεδα φωτισμού είναι σχετικά χαμηλά. Επιπρόσθετα, έχουν θετική επίδραση στη διάθεση των ατόμων και στο αίσθημα ευεξίας τους (Εικόνα 3. 11 & Εικόνα 3. 12). Έτσι, τέτοιου τύπου λαμπτήρες επιλέγονται συχνά για γραφεία και σχολεία. Για ξεκούραστη όμως και χωρίς καταπόνηση των ματιών εργασία και μελέτη, ο φωτισμός πρέπει να είναι επίσης ομοιόμορφος, λαμπερός, χωρίς να προκαλεί θάμβωση και να εξασφαλίζει την αυθεντική αναπαραγωγή των χρωμάτων. Τα ζεστά χρώματα φωτισμού, δηλαδή τα κίτρινα, κόκκινα και πορτοκαλί, τείνουν να κάνουν τους χώρους να φαντάζουν μικρότεροι, ενώ τα ψυχρά, δηλαδή τα μπλε, μωβ και πράσινα, τείνουν να τους κάνουν να δείχνουν μεγαλύτεροι. Συνδυάζοντας ταυτόχρονα ζεστά αλλά και ψυχρά χρώματα φωτισμού σε ένα χώρο, ενισχύεται η θερμοκρασία των αντίστοιχων χρωμάτων. Εκτός από το χρώμα, διαφορετικοί τύποι λαμπτήρων εκπέμπουν φως διαφορετικής θερμοκρασίας και έτσι επιλέγονται ανάλογα με την εκάστοτε περίπτωση. Δηλαδή, οι λαμπτήρες πυρακτώσεως εκπέμπουν θερμότερης απόχρωσης φωτισμό και χρησιμοποιούνται για την ανάδειξη έντονων χρωμάτων, ενώ οι λαμπτήρες φθορισμού αναδεικνύουν ιδιαίτερα τα ψυχρά χρώματα. Οι λευκές εμπορικές λάμπες ξεκινάνε από περίπου τα 2400 Kelvin και εκπέμπουν δηλαδή ένα ζεστό και κάπως κιτρινωπό χρώμα, ενώ ορισμένες φθορίου φτάνουν μέχρι και τα 6000 Kelvin και εκπέμπουν ένα ψυχρό προς το μπλε χρώμα.



Εικόνα 3. 11: Διαφορετικές θερμοκρασίες στο χρώμα φωτισμού δημιουργούν τελείως διαφορετική αίσθηση στα άτομα.



Εικόνα 3. 12: Ανάλογα με τις απαιτήσεις στον εκάστοτε χώρο κάθε δεδομένη χρονική στιγμή, η κατάλληλης θερμοκρασίας χρώματος φωτισμού διαφέρει.

Ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο της θερμοκρασίας του φωτισμού είναι το ότι μπορεί να επηρεάσει την αίσθηση των επιβατών για τη θερμοκρασία της καμπίνας. Έτσι, ψυχρές αποχρώσεις φωτισμού δημιουργούν την ψευδαίσθηση στους επιβάτες ότι ο χώρος είναι πιο κρύος από ότι στην πραγματικότητα, ενώ θερμότερα χρώματα μπορούν να κάνουν τα άτομα να αισθάνονται την καμπίνα πιο ζεστή από ότι είναι. Το στοιχείο αυτό είναι ιδιαίτερης σημασίας στα αεροσκάφη, καθώς μπορεί να αξιοποιηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να συμβάλει σε εξοικονόμηση ενέργειας και καυσίμων, άρα και χρημάτων προς όφελος της εταιρείας αλλά πιθανώς και των επιβατών συνεπακόλουθα. Το σύστημα ελέγχου περιβάλλοντος (ECS) στην πλειοψηφία των αεροσκαφών λειτουργεί με τη χρήση απομαστευόμενου αέρα, δηλαδή με την απαγωγή συμπιεσμένου αέρα από τον κινητήρα πριν από την έγχυση του καυσίμου. Αξιόλογο ποσό ενέργειας λοιπόν δαπανάται κατά την ψύξη του αέρα αυτού, για να μπορέσει τελικά να γίνει κατάλληλος για την καμπίνα του αεροσκάφους, με θερμοκρασία μεταξύ 22οC και 27οC, ρεύματα αέρα εντός της καμπίνας μικρότερα από 0.3m/s σε όλα τα καθίσματα και σχετική υγρασία κοντά στο 30%. Αφού λοιπόν ο φωτισμός μπορεί να επηρεάσει την θερμική αίσθηση των επιβατών, ψυχρές αποχρώσεις θα μπορούσαν να χρησιμοποιούνται για να δημιουργούν την εντύπωση ενός ψυχρότερου χώρου και έτσι να μειώνεται μερικώς η ενέργεια που καταναλώνεται από το σύστημα ελέγχου περιβάλλοντος του αεροσκάφους για την ψύξη του. Ακόμα και η χρήση θερμών αποχρώσεων φωτισμού θα μπορούσε να φανεί χρήσιμη, για τη δημιουργία ψευδαίσθησης ενός θερμότερου περιβάλλοντος από ότι είναι στην πραγματικότητα, αφού ορισμένες νέες ιδέες για τη λειτουργία του συστήματος ελέγχου περιβάλλοντος του αεροσκάφους δεν περιλαμβάνουν τη χρήση απομαστευόμενου αέρα.

Η θερμοκρασία του χρώματος φωτισμού όμως δεν επηρεάζει μόνο την αίσθηση των ατόμων για τη θερμοκρασία του χώρου, αλλά και την αίσθηση τους για την ποιότητα του αέρα. Οι ψυχρές αποχρώσεις δηλαδή δίνουν την εντύπωση πιο φρέσκου, καθαρού και ανανεωμένου αέρα, ενώ με θερμές αποχρώσεις η ποιότητα του αέρα θεωρείται χαμηλότερη. Αντιθέτως, η θερμοκρασία του χρώματος του φωτισμού δεν επιδρά στην αίσθηση των επιβατών για τα ρεύματα αέρα και το ποσοστό υγρασίας στην καμπίνα. Επηρεάζει όμως το βαθμό ενεργοποίησης των ατόμων, καθώς ψυχρότεροι τόνοι φωτισμού προκαλούν μεγαλύτερη διέγερση από ότι οι θερμότεροι. Όλα τα παραπάνω αποδείχθηκαν και σε πείραμα που διενέργησαν οι Winzen, Albers και Marggraf-Micheel. Πιο συγκεκριμένα, το πείραμα αυτό πραγματοποιήθηκε σε ένα ειδικό εργαστήριο φωτισμού, στις εγκαταστάσεις του Γερμανικού κέντρου αεροδιαστημικής στο Αμβούργο, που είχε σχεδιαστεί να προσομοιάζει την καμπίνα ενός αεροσκάφους. Για το πείραμα επιλέχθηκαν δύο αποχρώσεις του μπλε και δύο του κίτρινου, που όλες είχαν αποδειχθεί από προηγούμενο πείραμα άνετες. Οι δύο αποχρώσεις του μπλε (B1, B2) ήταν ανοιχτές, δηλαδή γαλάζιες, με κόκκινο και πράσινο σε διαφορετικές αναλογίες. Επιλέχθηκαν με σκοπό να δημιουργήσουν μία πιο ψυχρή αίσθηση για τη θερμοκρασία του χώρου. Οι δύο αποχρώσεις του κίτρινου (Y1, Y2) έτειναν προς το πορτοκαλί - κίτρινο και διέφεραν μεταξύ τους στην αναλογία του πρασίνου. Αυτές επιλέχθηκαν με σκοπό να προκαλέσουν μία θερμότερη αίσθηση για τη θερμοκρασία του χώρου. Ο ουδέτερος φωτισμός που χρησιμοποιήθηκε (N) ήταν τεχνητό φως ημέρας (Πίνακας 3. 2). [56]

Καταστάσεις φωτισμού	R	G	B	Κεντροειδή μήκη κύματος (nm)	Χρωματικές συντεταγμένες X Y		Ένταση (lux)
Y1	255	165	0	603.22	0.552	0.411	134.93
Y2	255	150	0	607.10	0.572	0.396	123.90
B1	130	235	255	496.77	0.183	0.184	175.30
B2	160	255	255	504.58	0.198	0.201	200.40
N	255	255	251	527.48	0.249	0.220	222.52

Υποσημείωση: RGB κλίματα 0-255. Y: Κίτρινο, B: Μπλε, N: Ουδέτερος φωτισμός.

Πίνακας 3. 2: Καταστάσεις φωτισμού με τις αντίστοιχες RGB τιμές που έχουν επιλεγεί, τα μετρημένα μέσα κεντροειδή μήκη κύματος, τις χρωματικές συντεταγμένες και την ένταση του φωτισμού.

Στο πείραμα έλαβαν μέρος 59 άτομα, που χωρίστηκαν σε 6 ομάδες. Η θερμοκρασία του χώρου, το ρεύμα του αέρα και η υγρασία παρέμειναν σταθερά καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Η θερμοκρασία ήταν 22.2οC, η σχετική υγρασία 62% και καθώς δε λειτουργούσε κλιματιστικό στο χώρο και επρόκειτο για έναν κλειστό χώρο, δεν υπήρχε ρεύμα αέρα. Σε κάθε ομάδα, αρχικά δίνονταν σαφής οδηγίες για το πείραμα και τον τρόπο συμπλήρωσης των ερωτηματολογίων και στη συνέχεια τους ζητούνταν να απαντήσουν το πρώτο κομμάτι των ερωτήσεων. Μετά από αυτό, κάθε ομάδα εκτέθηκε σε τέσσερις καταστάσεις φωτισμού που μεταξύ τους μεσολαβούσε για μικρό χρονικό διάστημα ουδέτερος φωτισμός. Σε κάθε μία εκ των καταστάσεων, έξι αποχρώσεις φωτισμού τους παρουσιάζονταν, με τις δύο αποχρώσεις του μπλε και του κίτρινου να εναλλάσσονται διαδοχικά. Η σειρά της εμφάνισης των αποχρώσεων διέφερε μεταξύ των καταστάσεων και έτσι ισορροπούσε η έκθεση στις διαφορετικές καταστάσεις φωτισμού, η τυχαία ανάθεση συμμετεχόντων στο πείραμα, αλλά περιορίζονταν και συγχυτικές επιρροές, όπως η διαφορετική έκθεση σε φως προηγούμενων (Εικόνα 3. 13). Η κάθε κατάσταση έκθεσης σε χρωματιστό φωτισμό διαρκούσε εννιά λεπτά και στο τέλος κάθε μίας οι συμμετέχοντες ζητούνταν να συμπληρώσουν το ερωτηματολόγιο, καθώς ο φωτισμός παρέμενε σταθερός. Πριν την αρχή της έκθεσης στην επόμενη κατάσταση, οι συμμετέχοντες εκτίθονταν για ένα λεπτό σε ουδέτερο φως ημέρας, για την εξάλειψη των προηγούμενων εντυπώσεών τους για το φωτισμό.

Experimental session		Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3		Scenario 4	
1	Neutral	Y1	Neutral	B1	Neutral	Y2	Neutral	B2	Neutral
2		Y2		B2		Y1		B1	
3		Y1		B2		Y2		B1	
4		B1		Y1		B2		Y2	
5		B2		Y2		B1		Y1	
6		B1		Y2		B2		Y1	

Εικόνα 3. 13: Σύνοψη της σειράς των σεναρίων φωτισμού σε όλες τις έξι πειραματικές συνεδρίες (Y = κίτρινο, B = μπλε).

Οι αποχρώσεις του μπλε και του κίτρινου είχαν διαφορετικές επιπτώσεις στην αντίληψη και αξιολόγηση του φωτισμού από τους συμμετέχοντες. Οι δύο αποχρώσεις του μπλε έγιναν αντιληπτές ως πιο φωτεινές και ψυχρές, ενώ αντίθετα οι αποχρώσεις του κίτρινου βαθμολογήθηκαν ως σημαντικά πιο σκούρες και πιο ζεστές. Παρόλα αυτά, η γενική αξιολόγηση του φωτισμού δε διέφερε σημαντικά μεταξύ

των χρωμάτων (Πίνακας 3. 3). Εκτός από τις επιπτώσεις στην αντίληψη και στην αξιολόγηση του φωτισμού αυτού καθαυτού, τα διαφορετικά χρώματα φωτισμού αποδείχτηκε ότι επηρεάζουν και την αίσθηση των ατόμων για τις κλιματικές συνθήκες (Πίνακας 3. 4). Όταν ο χώρος φωτιζόταν με κίτρινο φως, γινόταν αντιληπτός ως ιδιαίτερα θερμότερος από ότι όταν φωτιζόταν με μπλε φως. Αυτό ίσχυε και για τις δύο αποχρώσεις του κίτρινου φωτισμού.

		Κίτρινο		Μπλε		df	F	η ²	P
		Y1	Y2	B1	B2				
Φωτεινότητα									
Αντίληψη	M (SD)	3.90 (1.19)	3.93 (1.33)	4.92 (1.21)	5.15 (1.04)	2.34	23.88	0.29	0.00
Αξιολόγηση	M (SD)	3.15 (0.99)	3.22 (1.04)	3.05 (1.08)	3.08 (1.08)	2.36	0.32	0.01	0.76
Θερμοκρασία χρώματος									
Αντίληψη	M (SD)	5.36 (1.04)	5.59 (0.85)	2.51 (0.96)	2.63 (0.94)	2.46	223.06	0.79	0.00
Αξιολόγηση	M (SD)	3.29 (0.94)	3.49 (0.99)	2.76 (0.99)	2.95 (1.02)	2.01	7.01	0.11	0.00
Συνολική αξιολόγηση φωτισμού	M (SD)	3.07 (1.01)	3.20 (1.04)	2.92 (1.08)	2.98 (0.95)	2.15	0.96	0.02	0.39

Υποσημείωση: N=59. Κλίμακες αντίληψης: φωτεινότητα: 1= πολύ σκούρο έως 7 = πολύ ανοιχτό, θερμοκρασία χρώματος: 1= πολύ κρύο έως 7= πολύ ζεστό. Κλίμακα αξιολόγησης: 1= πολύ άβολο έως 5= πολύ άνετο.

Πίνακας 3. 3: Περιγραφική στατιστική και ανάλυση της διακύμανσης με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις, για τις επιπτώσεις του χρώματος φωτισμού στην αντίληψη και στην αξιολόγηση του φωτισμού.

		Κίτρινο		Μπλε		df	F	η ²	P
		Y1	Y2	B1	B2				
Θερμοκρασία δωματίου									

Αντίληψη	M (SD)	4,31 (0,81)	4,20 (0,92)	3,59 (1,06)	3,66 (1,10)	2,61	13,02	0,18	0,00
Αξιολόγηση	M (SD)	3,42 (0,92)	3,31 (0,93)	3,17 (1,01)	3,24 (1,08)	3,00	0,98	0,02	0,40
<i>Ποιότητα αέρα</i>									
Αντίληψη	M (SD)	3.41 (1,25)	3,29 (1,07)	3,88 (1,46)	3,73 (1,38)	3,00	5,61	0,09	0,00
Αξιολόγηση	M (SD)	2,80 (1,09)	2,75 (0,97)	2,98 (1,02)	2,90 (1,12)	2,72	1,00	0,02	0,39
<i>Ρεύμα αέρα</i>									
Αντίληψη	M (SD)	1,59 (0,74)	1,54 (0,65)	1,73 (0,88)	1,59 (0,67)	2,69	1,39	0,02	0,25
Αξιολόγηση	M (SD)	3,49 (1,20)	3,44 (1,14)	3,27 (1,21)	3,37 (1,06)	3,00	0,72	0,01	0,54
<i>Υγρασία</i>									
Αντίληψη	M (SD)	3,66 (1,17)	3,80 (1,18)	3,90 (1,19)	3,81 (1,19)	3,00	0,94	0,02	0,42
Αξιολόγηση	M (SD)	3,15 (1,07)	3,10 (0,92)	3,15 (0,94)	3,24 (0,91)	3,00	0,31	0,01	0,82
Συνολική αξιολόγηση κλιματικών συνθηκών	M (SD)	3,00 (0,84)	3,10 (0,82)	3,08 (0,89)	2,95 (0,83)	3,00	0,65	0,01	0,58

Υποσημείωση: N=59. Κλίμακες αντίληψης: Θερμοκρασία δωματίου: 1= πολύ κρύο έως 7= πολύ ζεστό, ποιότητα αέρα: 1= πολύ πνιγηρός έως 7= πολύ φρέσκος, ρεύμα αέρα: 1= μηδενικό ρεύμα έως 7= πολύ ισχυρό ρεύμα, υγρασία: 1= πολύ ξηρός αέρας έως 7= πολύ υγρασία. Κλίμακα αξιολόγησης: 1= πολύ άβολο έως 7= πολύ άνετο.

Πίνακας 3. 4: Περιγραφική στατιστική και ανάλυση της διακύμανσης με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις, για τις επιπτώσεις του χρώματος φωτισμού στην αντίληψη και στην αξιολόγηση των περιβαλλοντικών συνθηκών.

Λόγω της σημαντικής διαφοράς όμως στην αίσθηση των ατόμων για τις φωτεινότητες των χρωμάτων, δεν μπορούσε να διαπιστωθεί εάν αυτή η επίδραση οφειλόταν στο ίδιο το χρώμα. Για το λόγο αυτό, διεξήχθη ξανά ανάλυση της διακύμανσης ελέγχοντας αυτή τη φορά τον παράγοντα της φωτεινότητας. Ελέγχοντας τη φωτεινότητα λοιπόν, το μέγεθος της επίδρασης ήταν ελαφρώς μειωμένο, αλλά παρόλα αυτά παρέμεινε ιδιαίτερα σημαντικό. Η αξιολόγηση της άνεσης για τη θερμοκρασία του χώρου όμως δε διέφερε ουσιαστικά, καθώς όλες οι θερμοκρασίες θεωρήθηκαν ευχάριστες. Σχετικά με τις προτιμήσεις όμως για τη θερμοκρασία, υπήρχαν διάφορες ανάμεσα στα δύο βασικά χρώματα. Με τον μπλε φωτισμό, το 38% των συμμετεχόντων στο πείραμα

θα προτιμούσε υψηλότερη θερμοκρασία στο χώρο, 16% θα προτιμούσε χαμηλότερη, ενώ το 46% ήταν ικανοποιημένο. Με τον κίτρινο φωτισμό, μόνο το 28% θα προτιμούσε υψηλότερη θερμοκρασία, το 19% θα προτιμούσε χαμηλότερη, ενώ το 53% ήταν ικανοποιημένο. Η ποιότητα του αέρα ήταν αντιληπτή ως χειρότερη και ο χώρος πιο ασφυκτικός με τον κίτρινο φωτισμό από ότι με τον μπλε, με τον οποίο ο αέρας θεωρούνταν πιο φρέσκος και καθαρός. Παρόλα αυτά, σε γενικές γραμμές και οι τέσσερις αποχρώσεις εκτιμήθηκαν ως άνετες. Η εκτίμηση των συμμετεχόντων για το ρεύμα του αέρα και την υγρασία δεν μεταβάλλονταν σημαντικά ανάλογα με την απόχρωση του φωτισμού. Συνολικά, η γενική αξιολόγηση του κλίματος δε διέφερε ουσιαστικά με την αλλαγή χρώματος και όλες οι περιπτώσεις φωτισμού αξιολογήθηκαν ως αρκετά άνετες.

Η ψυχολογική ευεξία των συμμετεχόντων φάνηκε ότι εξαρτιούνταν από το χρώμα του φωτισμού (Πίνακας 3. 5). Τα άτομα βρίσκονταν σε πολύ μεγαλύτερη εγρήγορση με τις δύο αποχρώσεις του μπλε, ενώ με τον κίτρινο φωτισμό αισθάνονταν μεγαλύτερη υπνηλία. Αυτό συνέβαινε λόγω του ότι ο μπλε φωτισμός καταστέλλει την παραγωγή της μελατονίνης στον οργανισμό. Αξίζει να σημειωθεί βέβαια ότι τα επίπεδα ενεργοποίησης ακόμα και με τον μπλε φωτισμό δεν υπερέβαιναν το ουδέτερο επίπεδο. Αντίθετα, η διάθεση και η ψυχική γαλήνη τους δε διαφοροποιήθηκε σημαντικά με την αλλαγή του χρώματος φωτισμού. Στην πνευματική ευεξία όμως των συμμετεχόντων, το χρώμα του φωτισμού είχε και πάλι μεγάλο αντίκτυπο. Οι ίδιοι περιέγραψαν ότι αισθάνονταν πιο ικανοί να συγκεντρωθούν, πιο έτοιμοι να κάνουν κάτι και πιο αποδοτικοί με τον μπλε φωτισμό. Αμελητέα επίδραση είχε το χρώμα του φωτισμού όμως στη θαλπωρή που ένιωθαν οι συμμετέχοντες, καθώς σε όλες τις περιπτώσεις είχαν την εντύπωση ενός μετρίου βαθμού άνεσης. Σημαντικό κρίθηκε και πάλι να ελεγχθεί εάν οι μεγάλες αποκλίσεις στην αίσθηση φωτεινότητας των διαφορετικών χρωμάτων, επηρέασαν τα αποτελέσματα του πειράματος για την εγρήγορση και την ικανότητα συγκέντρωσης και πράξης, στις κατηγορίες δηλαδή που οι αλλαγές στο χρώμα του φωτισμού είχαν ιδιαίτερο αντίκτυπο. Με ανάλυση της διακύμανσης ελέγχοντας πάλι τον παράγοντα της φωτεινότητας φάνηκε ότι αυτή δεν είχε ουσιαστική επίδραση στις διαφορές που παρατηρήθηκαν στα παραπάνω χαρακτηριστικά, με τις αλλαγές του φωτισμού. [57]

Κίτρινο	Μπλε	df	F	η^2	P
---------	------	----	---	----------	---

		Y1	Y2	B1	B2				
Ψυχολογική ευεξία									
Εγρήγορση	M (SD)	2,52 (0,74)	2,75 (0,98)	3,12 (1,01)	3,22 (0,95)	2,4 7	9,7 6	0,1 4	0,0 0
Διάθεση	M (SD)	3,55 (0,80)	3,51 (0,91)	3,43 (0,89)	3,36 (0,88)	2,2 0	1,0 0	0,0 2	0,3 8
Ψυχική γαλήνη	M (SD)	3,86 (0,89)	3,91 (0,92)	3,75 (0,90)	3,75 (0,90)	2,6 1	0,9 4	0,0 2	0,4 1
Πνευματική ευεξία									
Απόδοση	M (SD)	2,69 (0,89)	2,67 (0,89)	3,12 (0,88)	3,14 (0,88)	2,5 3	9,5 9	0,1 4	0,0 0
Θαλπωρή	M (SD)	2,92 (0,87)	2,93 (0,86)	2,91 (0,89)	2,82 (0,85)	2,1 8	0,3 1	0,0 1	0,7 5

Υποσημείωση: N=59. Κλίμακα: 1= καθόλου έως 7= πάρα πολύ.

Πίνακας 3. 5: Περιγραφική στατιστική και ανάλυση της διακύμανσης με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις, για τις επιπτώσεις του χρώματος φωτισμού στην ψυχολογική και πνευματική ευεξία.

3.2.2. Χρώμα

Ουσιαστική σημασία για την άνεση των επιβατών έχει και το χρώμα του φωτισμού. Όλα τα χρώματα επιδρούν ποικιλοτρόπως στη διάθεση, στα συναισθήματα, στην αισθητική αλλά και τις αισθήσεις των ατόμων εν γένει. Προσδίδοντας στο φωτισμό ένα ενδεδειγμένο χρώμα για κάθε περίπτωση, ολόκληρο το περιβάλλον τροποποιείται με σκοπό να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης χρονικής στιγμής (Εικόνα 3. 14). Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα των χρωμάτων των αντικειμένων, κάθε χρώμα ενδείκνυται για διαφορετικό σκοπό και ασκεί σημαντική επιρροή στα άτομα. Όμως, σε ορισμένες περιπτώσεις, η επίδραση ενός χρώματος μπορεί να διαφέρει εάν χρησιμοποιηθεί σε αντικείμενα ή επιφάνειες σε σχέση με την επίδραση που μπορεί να έχει το ίδιο χρώμα αν επιλεγθεί ως χρώμα φωτισμού. Για παράδειγμα, η χρήση του μπλε χρώματος στα αντικείμενα μπορεί να κατευνάσει και να χαλαρώσει τα άτομα, ενώ αντίθετα η χρήση του σα χρώμα φωτισμού τείνει να τα ενεργοποιήσει και να τα διεγείρει, καθώς καταστέλλεται η μελατονίνη. Έτσι, η γενίκευση των επιπτώσεων κάθε χρώματος για την περιγραφή της επίδρασης έγχρωμου φωτός μπορεί να μην είναι πάντοτε σωστή, αφού ο τρόπος που επηρεάζει το έγχρωμο φως τα άτομα

διαφέρει. Σύμφωνα με τις αρχές τις χρωματοθεραπείας λοιπόν, ο έγχρωμος φωτισμός έχει θεραπευτικές ιδιότητες, επηρεάζει την απόδοση των ατόμων στην εργασία αλλά και την ευχαρίστηση που παίρνουν από αυτήν, την αποτελεσματικότητα στο διάβασμα, την αίσθηση άνεσης, την ψυχική κατάσταση των ατόμων και τα συναισθήματά τους.



Εικόνα 3. 14: Ο έγχρωμος φωτισμός προσδίδει σε όλο το περιβάλλον τις ιδιότητες του χρώματος που έχει επιλεγεί και καλύπτει τις εκάστοτε ανάγκες των ατόμων.

Πιο συγκεκριμένα, το κόκκινο σα χρώμα φωτισμού, είναι ένα θερμό χρώμα που δίνει ενέργεια και τονώνει, γι' αυτό είναι κατάλληλο σε περίπτωση που ένα άτομο νιώθει κούραση, έχει κρυολόγημα ή είναι υποτονικό. Επιταχύνοντας τη λειτουργία της καρδιάς, αυξάνει την κυκλοφορία του αίματος και βελτιώνει προβλήματα που σχετίζονται με χαμηλή αρτηριακή πίεση. Ενεργοποιεί τη λειτουργία όλων των οργάνων αλλά και όλες τις αισθήσεις, την ακοή, την όσφρηση, την αφή, τη γεύση και την όραση. Ακόμα, τονώνει την ανάπτυξη των κυττάρων, προκαλεί την απελευθέρωση αδρεναλίνης από τα επινεφρίδια, με αποτέλεσμα μεγαλύτερη αντοχή, και τον πολλαπλασιασμό της αιμοσφαιρίνης, αυξάνοντας έτσι την ενέργεια και τη θερμοκρασία του σώματος των ατόμων. Το κόκκινο φως είναι εξαιρετικό για την αναιμία και άλλες παθήσεις του αίματος. Επιπρόσθετα, τονώνει την αυτοπεποίθηση, δίνει κουράγιο, αυξάνει τη δύναμη της θέλησης, την αποφασιστικότητα, τη

σωματική δύναμη, τη γονιμότητα και τη σεξουαλικότητα και βελτιώνει εν γενεί την υγεία των ατόμων που βρίσκονται στο χώρο με τέτοιο φωτισμό.

Το κίτρινο χρώμα στο φωτισμό είναι εξαιρετικό για το νευρικό σύστημα και για παθήσεις που σχετίζονται με αυτό. Ενδυναμώνει το μυαλό, βοηθά στην ενεργοποίηση της έμπνευσης και στη διέγερση της πνευματικότητας. Συνδέεται με το ψυχικό κέντρο των ατόμων και ενδείκνυται σε περιπτώσεις ψυχικής εξάντλησης, μελαγχολίας ή και κατάθλιψης, καθώς ενεργοποιεί τα άτομα και βελτιώνει την ψυχική κατάστασή τους, αυξάνοντας και την επιθυμία για ζωή. Επίσης, ο κίτρινος φωτισμός τονώνει τους μύες και καταπραΰνει νευρικούς πόνους. Επιταχύνει την πέψη και την αφομοίωση των θρεπτικών από τις τροφές και είναι κατάλληλο για παθήσεις του στομάχου, του ήπατος ή και των εντέρων. Βοηθά στην επούλωση ουλών του δέρματος και στη διατήρηση της καλής κατάστασης των πόρων του. Ακόμα, ενισχύει την επικοινωνία, την επαφή, την εμπιστοσύνη, τη χαρά, το κέφι, αλλά και την πρόοδο, τη μάθηση, την πνευματική διαύγεια, τη συγκέντρωση, την απομνημόνευση, την ομιλία και τη γραφή. Το πορτοκαλί ως χρώμα φωτισμού είναι ένα ζεστό χρώμα που απελευθερώνει το ανθρώπινο σώμα και το μυαλό και περιορίζει τις αναστολές. Βοηθά τα άτομα να ανακαλύψουν νέες δυνατότητες και επιλογές στη ζωή, καθώς διεγείρει τη δημιουργική σκέψη, τον ενθουσιασμό και βελτιώνει την αφομοίωση των ιδεών. Επιπρόσθετα, περιορίζει τη σεξουαλικότητα, αυξάνει την ποσότητα του μητρικού γάλακτος και ανακουφίζει μυϊκές κράμπες και σπασμούς. Ο πορτοκαλί φωτισμός διεγείρει τη λειτουργία των πνευμόνων, δηλαδή την αναπνοή, αλλά και του θυρεοειδούς αδένα. Αυξάνει τη γοητεία, την ευγένεια, την επιτυχία, την ευημερία, την αισιοδοξία, την ενθάρρυνση και τη διέγερση.

Από τα ψυχρά χρώματα, το πράσινο, όντας το χρώμα της φύσης και της γης, ισορροπεί και εναρμονίζει κατά βάση, έχοντας κατευναστική επίδραση τόσο στο μυαλό, όσο και στο σώμα, όταν χρησιμοποιείται στο φωτισμό. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε περίπτωση κρίνεται αναγκαία η θεραπεία, ενώ αυτός ο φωτισμός δεν έχει ούτε χαλαρωτικές, ούτε συσταλτικές επιπτώσεις. Προτρέπει τη δημιουργία ψυχολογικής και συναισθηματικής αρμονίας και ισορροπίας. Επηρεάζει την αρτηριακή πίεση αλλά και όλες τις παθήσεις της καρδιάς, προκαλώντας ταυτόχρονα τόσο αναζωογόνηση όσο και συγκράτηση και καταπραΰνιση. Ακόμα, θεραπεύει ορμονικές ανισορροπίες, ενεργοποιεί την αυξητική ορμόνη και εναρμονίζει το πεπτικό σύστημα. Ο πράσινος φωτισμός βελτιώνει το ανοσοποιητικό σύστημα, το χτίσιμο των μυών, των οστών και των ιστών, ενισχύει το νευρικό σύστημα και δημιουργεί εσωτερική γαλήνη. Βοηθά

στην ανάπτυξη, την ανανέωση, τη θεραπεία, την ευημερία, την αρμονία, την ισορροπία και την ελπίδα.

Το μπλε, σα χρώμα φωτισμού, είναι ένα ψυχρό χρώμα, αντίθετο σε πολλές από τις ιδιότητες του από το κόκκινο. Περιορίζει την αρτηριακή πίεση, τις φλεγμονές, τις ρευματοπάθειες, τον πυρετό, τις αιμορραγίες, τους έντονους πονοκεφάλους αλλά και έντονα αρνητικά συναισθήματα, όπως ο θυμός, η επιθετικότητα ή ακόμα και η υστερία. Προκαλεί ηρεμία και περιορίζει το στρες, τους ερεθισμούς και τη φαγούρα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε πάθηση σχετίζεται με την ομιλία, την επικοινωνία ή το λαιμό και είναι ιδανικό για φλεγμονή του λάρυγγα. Ο μπλε φωτισμός ενεργοποιεί τα άτομα αφού καταστείλει τη μελατονίνη και ταυτόχρονα αυξάνει τη σοφία, την κατανόηση, την υπομονή, την πίστη, την τιμή, την ειλικρίνεια, την αφοσίωση, το αίσθημα δικαίου αλλά και τους ρυθμούς επούλωσης.

Τέλος, το μοβ σα χρώμα φωτισμού βοηθά στον καθαρισμό του αίματος, επιβραδύνει τη λειτουργία της καρδιάς και τονώνει το ανοσοποιητικό σύστημα και τα λευκά αιμοσφαίρια. Επίσης, μειώνει την ευαισθησία στον πόνο και τη σεξουαλική διάθεση, καθώς χαλαρώνει και προκαλεί υπνηλία. Είναι ευεργετικό σε περιπτώσεις ψυχικών προβλημάτων, για τη θεραπεία της μελαγχολίας, της υστερίας, των παραισθήσεων αλλά και των εθισμών, φέρει πνευματική διορατικότητα και ανανέωση και απαλύνει την ψυχική και συναισθηματική πίεση. Με χρήση μοβ φωτισμού μπορεί να αυξηθεί κατά πολύ η δύναμη του διαλογισμού και τα αποτελέσματά του. Ακόμα, διέπει τόσο τη σωματική όσο και την πνευματική αντίληψη και μπορεί να βοηθήσει ιδιαίτερα στην αντιμετώπιση παθήσεων των ματιών και των αυτιών. Βοηθά στην αντιμετώπιση του αρνητισμού και της κατάθλιψης και στην ενίσχυση της ψυχικής δύναμης, της έμπνευσης, της πνευματικότητας και της συμπόνιας. ^{[55][58][59]}

3.2.3. Φωτεινή ροή και ένταση

Η ποσότητα του φωτός σε ένα χώρο διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο στο οπτικό περιβάλλον. Αρχικά και πρωτίστως, το φως παρέχει τη δυνατότητα ορατότητας, αλλά πέρα από αυτό, καθορίζει και τον τρόπο που αντιλαμβάνεται ένα άτομο το περιβάλλον του και επηρεάζει το πως αισθάνεται για την ατμόσφαιρα του χώρου και το αισθητικό αποτέλεσμα. Για ένα ευχάριστο λοιπόν αισθητικό αποτέλεσμα, η αρμονική κατανομή φωτεινότητας και έντασης φωτισμού είναι απαραίτητες. Η φωτεινή ροή είναι το φυσικό μέγεθος για τη μέτρηση του φωτός που βγάζει ένα

φωτιστικό σώμα. Κάθε φωτιστικό σώμα στέλνει στο περιβάλλον του ενέργεια. Η ενέργεια αυτή δεν έχει μόνο τη μορφή ορατού φωτός, αλλά γενικότερα τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπορεί να είναι ή να μην είναι ορατή από τα ανθρώπινα ματιά. Το γεγονός αυτό εξαρτάται από τη συχνότητα της ακτινοβολίας. Τα φωτιστικά σώματα εκπέμπουν ακτινοβολία πολλών συχνοτήτων, άλλες περισσότερο, άλλες λιγότερο και άλλες καθόλου αντιληπτές από τα ανθρώπινα μάτια. Η φωτεινή ροή, λαμβάνοντας υπόψιν τη φασματική ευαισθησία των ματιών, μετράει μόνο αυτή που γίνεται αντιληπτή, το ορατό φως. Στο διεθνές σύστημα μονάδων, η μονάδα μέτρησης της φωτεινής ροής είναι το lumen (lm). Η φωτεινή ροή αποτελεί δηλαδή τον πιο εύκολο τρόπο αναγνώρισης της πραγματικής φωτεινής ισχύος ενός φωτιστικού σώματος και μπορεί να αποδώσει το πόσο έντονο θα είναι το φως του συγκεκριμένου σώματος.

Η φωτεινή ένταση αποτελεί το φυσικό μέγεθος μέτρησης του φωτός ενός φωτιστικού σώματος, προς μία ορισμένη κατεύθυνση. Το φωτιστικό σώμα στέλνει φωτεινή ροή προς όλες τις κατευθύνσεις. Η ένταση της φωτεινότητας όμως, μετρά το φως σε μία επιλεγμένη κατεύθυνση μόνο. Η φωτεινή ένταση μίας γωνίας που έχει κορυφή το φωτιστικό σώμα, ορίζεται ως η φωτεινή ροή που στέλνεται από αυτό, εντός της γωνίας, δια τη γωνία αυτή. Στο διεθνές σύστημα μονάδων, η μονάδα μέτρησης της φωτεινής έντασης είναι η Candela (cd) και ισχύει $1 \text{ cd} = 1 \text{ lm} / 1 \text{ sr}$. Η φωτεινή ένταση χαρακτηρίζει το φωτιστικό σώμα ανά κατεύθυνση και είναι ανεξάρτητη από την απόσταση μεταξύ αυτού και του παρατηρητή. Δηλαδή, η φωτεινή ένταση ενός συγκεκριμένου φωτιστικού σώματος προς μία ορισμένη κατεύθυνση είναι ίδια, είτε μετρηθεί δίπλα στο σώμα ακριβώς, είτε πολύ μακριά, με εξαίρεση βέβαια την εξασθένιση που υφίσταται το φως λόγω του μέσου διάδοσης.

Η ένταση φωτισμού επιφάνειας είναι το φυσικό μέγεθος για τη μέτρηση του φωτός που προσπίπτει σε μία επιφάνεια και ορίζεται ως η φωτεινή ροή που προσπίπτει κάθετα στην επιφάνεια δια το εμβαδόν αυτής. Σε περίπτωση που η φωτεινή ροή δεν προσπίπτει κάθετα στην επιφάνεια όμως, τότε αναλύεται σε δύο συνιστώσες, μία κάθετη στην επιφάνεια και μία παράλληλη και για τον υπολογισμό της έντασης του φωτισμού λαμβάνεται υπόψιν μόνο η κάθετη συνιστώσα. Στο διεθνές σύστημα μονάδων, η μονάδα μέτρησης της έντασης του φωτισμού της επιφάνειας είναι το lux και ισχύει $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2 = 1 \text{ cd}\cdot\text{sr}\cdot\text{m}^{-2}$. Η ένταση του φωτισμού χαρακτηρίζει το σώμα που φωτίζεται και σε αντίθεση με την ένταση της φωτεινότητας, αυτή εξαρτάται από την απόστασή του από το φωτιστικό σώμα, σύμφωνα με το φωτομετρικό νόμο. Όσο μεγαλύτερη

η απόσταση από τη φωτεινή πηγή, τόσο μικρότερη η ένταση του φωτισμού στην επιφάνεια αυτή. Η ένταση του φωτισμού, εκτός από την απόσταση από την πηγή, επηρεάζεται και από τη συχνότητα της ακτινοβολίας και χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της απαραίτητης φωτεινής ροής στην επιφάνεια αναφοράς, ανάλογα με το είδος της εργασίας σε αυτή.

Η οπτική αντίληψη είναι η διαδικασία με την οποία τα άτομα αντλούν πληροφορίες για τα αντικείμενα του περιβάλλοντός τους, χρησιμοποιώντας ως αίσθηση την όραση. Η διαδικασία αυτή λοιπόν επηρεάζεται από τρεις παράγοντες, το φως, τα αντικείμενα αλλά και τα ίδια τα άτομα. Για το σχεδιασμό του φωτός ενός χώρου, δε λαμβάνεται υπόψιν λοιπόν μόνο το φως αλλά και ο συσχετισμός του με τα αντικείμενα του χώρου. Η βάση της λαμπρότητας, που αναφέρθηκε νωρίτερα, είναι η ένταση του φωτισμού της επιφάνειας κυρίως, αλλά και της φωτεινότητας. Η οπτική απόδοση τείνει να βελτιώνεται συνήθως, όσο η ένταση της φωτεινότητας αλλά και του φωτισμού επιφανειών αυξάνονται, μέχρι ενός ορίου. Ο ρυθμός βελτίωσης είναι πιο γρήγορος έως τα 1000lx και μειώνεται σταδιακά, ενώ σε ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα φωτισμού η οπτική απόδοση επιδεινώνεται ραγδαία λόγω της θάμβωσης που προκαλείται. Ανάλογα με την εργασία που πραγματοποιείται στην επιφάνεια, αλλάζουν οι απαιτήσεις για την ελάχιστη ένταση φωτισμού. Ακόμα, σύμφωνα με έρευνες, και η θερμοκρασία του χρώματος του φωτισμού επηρεάζει την απαραίτητη ένταση, καθώς θερμά χρώματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε χαμηλότερη ένταση, ενώ αντίθετα τα ψυχρά χρησιμοποιούνται σε πιο υψηλά επίπεδα. Στην περίπτωση οπτικά απλών εργασιών χαμηλά επίπεδα φωτισμού μπορεί να επαρκούν, ενώ σε πιο περιπλοκές οπτικά εργασίες, αναγκαία κρίνονται υψηλότερα επίπεδα έντασης. Η οριακή τιμή για την αναγνώριση των χαρακτηριστικών του προσώπου ενός ατόμου είναι τα 20 lx. Για συνεχή εργασία, ως ελάχιστο όριο ορίζονται τα 200 lx, ενώ σε περιπλοκές εργασίες η τιμή αυτή μπορεί να φτάσει τα 2000 lx. Σε πολύ ειδικές περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα σε ορισμένα χειρουργεία, η απαραίτητη ένταση φωτισμού μπορεί να φτάσει και τα 10000 lx. Για χώρους εργασίας όμως, το προτεινόμενο επίπεδο είναι μεταξύ 1000 και 2000 lx (Πίνακας 3. 6). [56]

Ενέργεια / Χώρος

**Φωτεινότητα στην επιφάνεια εργασίας
(σε lux)**

Σκοτεινός Δημόσιος χώρος

20-50

<i>Δυνατότητα εύκολου προσανατολισμού σε χώρο για επίσκεψη μικρής διάρκειας</i>	50-100
<i>Χώροι εργασίας με όχι συχνή εργασία (αποθήκες)</i>	100-150
<i>Οικία – σκάλες, livingroom, χωλ, υπνοδωμάτιο</i>	80-200
<i>Οικία – σιδέρωμα</i>	200
<i>Εργασιακοί χώροι, Τάξεις σχολείου</i>	250
<i>Οικία – διάβασμα (για διασκέδαση)</i>	325
<i>Οικία – γράψιμο</i>	350
<i>Οικία – μαγείρεμα</i>	375
<i>Χώροι γραφείων, Εργασία σε PC, Βιβλιοθήκη, ShowRoom, Εργαστήρια</i>	300-500
<i>SuperMarkets, Μηχανουργεία, Ανοικτοί χώροι γραφείων</i>	750
<i>Σχεδιαστική εργασία, Έλεγχος ποιότητας, Συννεφιασμένη ημέρα</i>	1.000
<i>Σχεδιαστήριο, Λεπτομερής μηχανική εργασία (π.χ. κατασκευή ρολογιών)</i>	1.500-2.000
<i>Ενέργειες που απαιτούν οπτική εγρήγορση με χαμηλή αντίθεση και για παρατεταμένη διάρκεια</i>	2.000-5.000
<i>Καθαρή ημέρα – λιακάδα</i>	10.000-25.000

Πίνακας 3. 6: Τυπικές τιμές φωτεινότητας επιφανειών σε lux, για καθημερινές εργασίες και ευρείας χρήσης χώρους.

3.2.4. Αντίθεση και κατανομή φωτεινής ροής

Για τον ιδανικό σχεδιασμό φωτισμού, σκοπός είναι η βελτιστοποίηση της οπτικής απόδοσης και η σωστότερη κατανομή φωτεινότητας σε ολόκληρο τον προς μελέτη κλειστό χώρο. Ένας χώρος με χαμηλές αντιθέσεις φωτεινότητας μπορεί να φαντάζει μονότονος και χωρίς ιδιαίτερο οπτικό ενδιαφέρον, ενώ ένας χώρος με υψηλές αντιθέσεις να προκαλεί ανησυχία. Έτσι, ο κατάλληλος σχεδιασμός του φωτισμού της καμπίνας είναι ιδιαίτερα απαραίτητος, καθώς στην πλειοψηφία των αεροσκαφών αυτή τη στιγμή οι συνθήκες φωτισμού απέχουν πολύ από το ενδεδειγμένο. Ο στόχος λοιπόν δεν είναι η επιλογή των ελαχίστων δυνατών φωτιστικών σωμάτων με μέση ένταση φωτεινότητας, αλλά μία ποικιλία εντάσεων από μικρή μέχρι μεγάλη, για καλύτερα αποτελέσματα φωτισμού.

Παρόλα αυτά, η ένταση αλλά και οι αντιθέσεις του φωτισμού επηρεάζουν σημαντικά την αντίληψη των επιβατών και για τη χωρητικότητα και το μέγεθος της καμπίνας του αεροσκάφους. Διαφορές στην ένταση, στον αριθμό και στον τύπο των φωτιστικών σωμάτων μπορούν να αλλάξουν δραματικά της αίσθηση των ατόμων για το χώρο. Για παράδειγμα, με περισσότερο οριζόντιο, διάχυτο φωτισμό οροφής, οι επιβάτες αισθάνονται την καμπίνα πολύ πιο ευρύχωρη. Ο πρόσθετος φωτισμός όμως δεν είναι πάντοτε η βέλτιστη λύση. Έτσι, ανάλογα με το εκάστοτε σημείο του χώρου, άλλες ενέργειες μπορεί να είναι απαραίτητες, όπως για παράδειγμα ο περιορισμός των αντανάκλασεων. Μόνο ελέγχοντας τις απαιτήσεις κάθε επιμέρους περιοχής μπορούν να οριστούν οι ανάγκες του χώρου, ώστε το σύνολο του φωτισμού να είναι το βέλτιστο δυνατό. Σε πολλές περιπτώσεις, οι ανάγκες αυτές δε σχετίζονται λοιπόν με την αύξηση της έντασης του φωτός αλλά αντίθετα, με τη μείωσή της, για περιορισμό των αντιθέσεων και του φαινομένου της θάμβωσης, αλλά και πιο ομοιόμορφο συνολικά φωτισμό. Στον ποσοτικό σχεδιασμό φωτισμού, λαμβάνοντας υπόψιν κριτήρια όπως το χρώμα του φωτισμού, η έντασή του, οι αντανάκλασεις, η ένταση φωτισμού των επιφανειών κ.ά. διαμορφώνονται κάποια πρότυπα σχετικά με τα ελάχιστα επίπεδα φωτισμού στον υπό μελέτη εσωτερικό χώρο, για ευρεία ποικιλία δραστηριοτήτων, αλλά και με τις ελάχιστες απαιτήσεις για τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του φωτισμού (Πίνακας 3. 7).

Τύπος φωτισμού	Περιοχές δραστηριότητας	Προδιαγραφές φωτισμού (lx)
<i>Γενικός φωτισμός σε χώρους με μικρής διάρκειας διαμονή</i>	Δρόμοι κυκλοφορίας	50
	Σκάλες και χώροι με μικρής διάρκειας διαμονή	100
	Δωμάτια που δεν είναι σε μόνιμη χρήση, διάδρομοι ή δημόσιας χρήσης χώροι.	200
<i>Γενικός φωτισμός σε χώρους εργασίας</i>	Γραφείο εργασίας που εισχωρεί το φως της ημέρας	300
	Δωμάτιο συνεδριάσεων	300
	Χώρος εργασίας για επεξεργασία δεδομένων	500
	Σχεδιαστικό γραφείο	750

	Γραφείο για περίπλοκες οπτικές εργασίες που απαιτούν ακρίβεια ή/ και έλεγχο χρωμάτων	1000
Επιπλέοντας φωτισμός σε πολύ περίπλοκες οπτικές εργασίες		2000

Πίνακας 3. 7: Προδιαγραφές φωτισμού σε lx, για διαφορετικούς χώρους και διαφορετικές δραστηριότητες, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του CIE.

Τα όρια των χαρακτηριστικών του φωτισμού που προκύπτουν από τον ποσοτικό σχεδιασμό φωτισμού, έχουν ιδιαίτερη σημασία κυρίως σε χώρους που εκτελούνται διάφορων ειδών δραστηριότητες, όπως η καμπίνα του αεροσκάφους. Αντίθετα, οι προδιαγραφές χώρων στους οποίους δεν εκτελούνται πολλές δραστηριότητες, όπως για παράδειγμα μία αποθήκη, διαφέρουν. Μετά τα όσα αναφέρθηκαν σχετικά με την ποσότητα του φωτισμού, απαραίτητη κρίνεται και η αναφορά στοιχείων σχετικά με τον τύπο του φωτισμού. Οι διαφορές μεταξύ του διάχυτου και του άμεσου φωτισμού είναι ουσιαστικές και η επιλογή του κατάλληλου τύπου για κάθε περίπτωση αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές συνιστώσες της μελέτης φωτισμού. Για την καλύτερη κατανόηση τόσο του άμεσου όσο και του διάχυτου φωτισμού σαν έννοιες, η αναφορά μίας καθημερινής εμπειρίας όλων των ατόμων, με το φως της ημέρας, θα εξυπηρετούσε. Έτσι, όταν ο ουρανός είναι καθαρός το ηλιακό φως είναι άμεσο, ενώ όταν είναι νεφελώδης, είναι διάχυτο. Χαρακτηριστική ιδιότητα του διάχυτου φωτισμού είναι η ύπαρξη ενός ομοιόμορφου φωτός, που δε δημιουργεί σκιές. Η σκιά ενός σώματος σχηματίζεται στις περιοχές εκείνες που δε φθάνουν οι ακτίνες της φωτεινής πηγής, λόγω του ότι στην πορεία τους παρεμβάλλεται το αδιαφανές αυτό σώμα. Η δημιουργία της σκιάς λοιπόν είναι αποτέλεσμα της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός και ενώ δημιουργείται από την έλλειψη φωτός στα σημεία αυτά, προϋποθέτει την ύπαρξη της φωτεινής πηγής και του αδιαφανούς σώματος. Το διάχυτο φως όμως δημιουργείται όταν εκτεταμένες περιοχές εκπέμπουν φως.

Σε εσωτερικούς χώρους, το διάχυτο φως δημιουργείται επίσης όταν ο φωτισμός αντανακλάται σε επιφάνειες του χώρου. Ειδικά όταν υπάρχουν επιφάνειες στο περιβάλλον με κατάλληλο συντελεστή αντανάκλασης, μπορεί να παραχθεί ένας πολύ ομοιόμορφος και ήπιος

φωτισμός σε ολόκληρο το χώρο, μειώνοντας στο ελάχιστο τις περιοχές στις οποίες δεν φθάνει το φως και καθιστώντας ορατά τα αντικείμενα αλλά με λιγότερες σκιές. Το άμεσο φως αντίθετα, εκπέμπεται από ένα συγκεκριμένο σημείο, την πηγή του φωτός. Στην περίπτωση του φυσικού φωτισμού εκπέμπεται από τον ήλιο, ενώ στον τεχνητό φωτισμό παράγεται από ένα φωτιστικό σώμα. Βασική ιδιότητα του άμεσου φωτισμού είναι η δημιουργία έντονων σκιών, καθώς με σημειακές πηγές φωτός τα σημεία του χώρου στα οποία δεν φθάνουν οι ακτίνες του φωτός, λόγω της παρεμβολής αντικειμένων στην πορεία τους, είναι πολλά περισσότερα. Επίσης, και οι αντανακλάσεις που προκύπτουν από τον άμεσο φωτισμό είναι πολύ περισσότερες, καθώς εστιασμένο φως προσπίπτει σε επιφάνειες με μεγαλύτερη ένταση από ότι στο διάχυτο φωτισμό. Τα αποτελέσματα του άμεσου φωτισμού γίνονται ιδιαίτερα αισθητά και κατανοητά όταν σε ολόκληρο το χώρο ο γενικός φωτισμός αποτελείται από διάχυτο φωτισμό μόνο σε ένα μικρό τμήμα του ή και καθόλου. Για παράδειγμα, ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες, το φως της ημέρας έχει μικρότερη ή μεγαλύτερη αναλογία άμεσου φωτός του ήλιου προς το διάχυτο φως του ουρανού, 5:1 με 10:1 αντίστοιχα. Έτσι μέρες με καθαρό ουρανό με ηλιοφάνεια οι σκιές είναι πολύ πιο έντονες και τα χαρακτηριστικά του άμεσου φωτισμού πιο αισθητά.

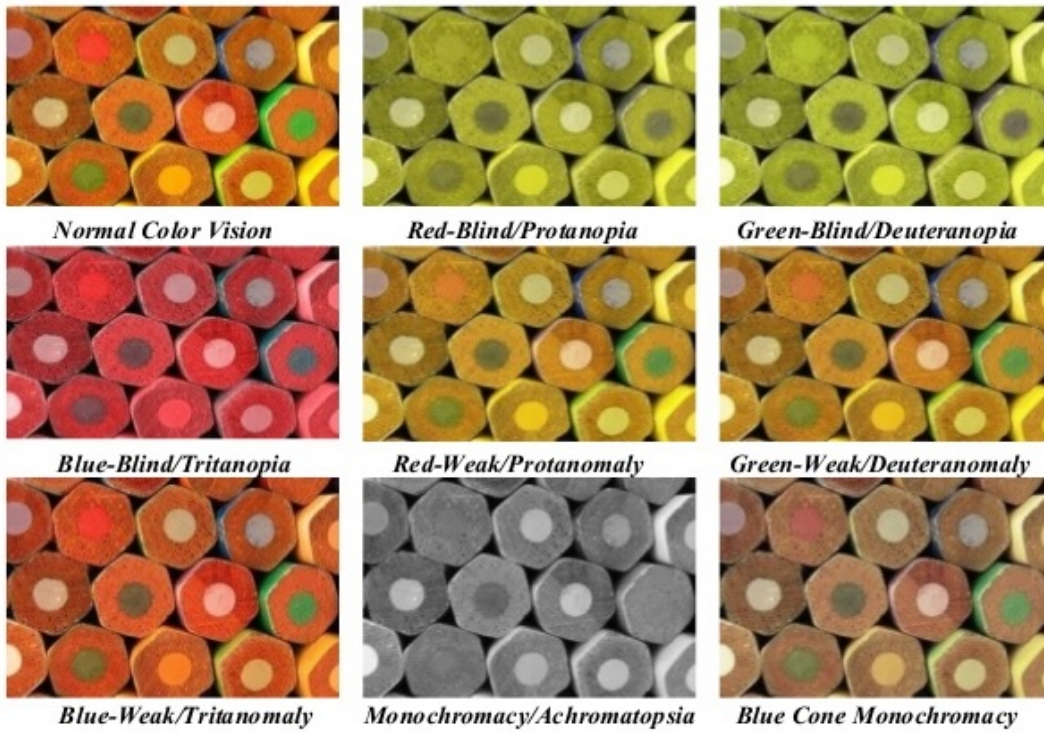
Ο άμεσος φωτισμός όμως δεν παράγει μόνο σκιές και αντανακλάσεις, αλλά και ξεχωριστές δυνατότητες για το σχεδιασμό φωτισμού, λόγω της ικανότητας επιλογής συγκεκριμένης κατεύθυνσης για την πορεία του φωτισμού. Αντίθετα, ο διάχυτος φωτισμός έχει την ίδια επίδραση σε ολόκληρο το χώρο. Η επίδραση του φωτός σχετίζεται άμεσα και με τη θέση της φωτεινής πηγής βέβαια, καθώς με διαφορετική τοποθέτηση μπορεί να αλλάξει ουσιαστικά ολόκληρο το οπτικό αποτέλεσμα. Το ποσοστό του διάχυτου φωτισμού μπορεί να μειωθεί ελαττώνοντας το φως που προσπίπτει σε επιφάνειες του χώρου, όπως οι τοίχοι και οι οροφές, ή όταν οι επιφάνειες αυτές έχουν πολύ μικρό συντελεστή αντανάκλασης και απορροφούν σε μεγάλο βαθμό το φως που προσπίπτει πάνω τους. Με αυτό τον τρόπο το αποτέλεσμα γίνεται πιο δραματικό. Σε εσωτερικούς χώρους, όπως η καμπίνα του αεροσκάφους, η αναλογία του άμεσου και του διάχυτου φωτισμού λοιπόν είναι ιδιαίτερα κρίσιμη και πρέπει να καθορίζεται σωστά, ύστερα από εκτενή μελέτη και σωστό σχεδιασμό φωτισμού. ^{[55][56]}

3.3. Ατομικοί παράγοντες φύλο ηλικία υγεία

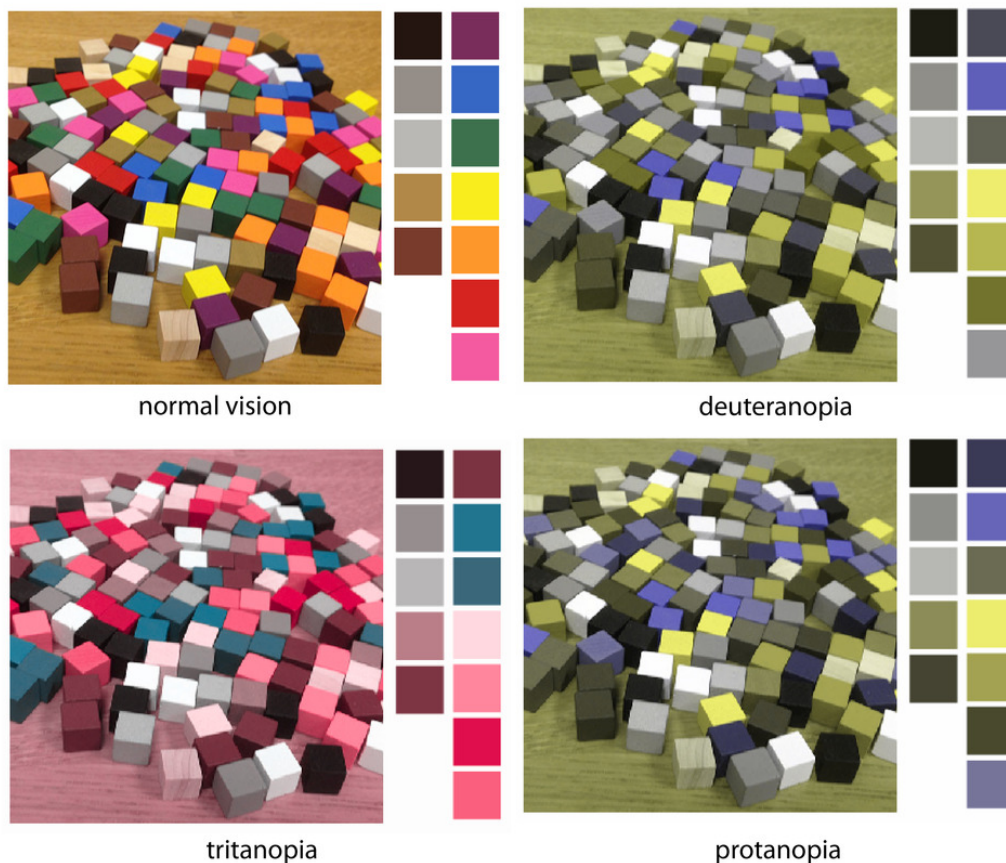
Ο ακριβός ίδιος χώρος με τον ίδιο φωτισμό μπορεί να γίνει αντιληπτός με εντελώς ανόμοιο τρόπο από διαφορετικά άτομα. Αυτό οφείλεται σε πολλούς παράγοντες, κάποιιοι από τους οποίους κάνουν τελικά το ερέθισμα που φτάνει στον αμφιβληστροειδή των ατόμων διαφορετικό και άλλοι που κάνουν απλά την επεξεργασία του ερεθίσματος αυτού διαφορετική. Έτσι, κάποιες παθήσεις της όρασης μπορούν να επηρεάσουν την εικόνα που δέχονται σαν ερέθισμα τα άτομα. Για παράδειγμα, ένας επιβάτης με μυωπία, ανάλογα και το βαθμό της βέβαια, μπορεί να αντιλαμβάνεται το περιβάλλον του θολό χωρίς τη χρήση ειδικών γυαλιών οράσεως ή φακών επαφής. Ακόμα και ο φωτισμός του χώρου λοιπόν γίνεται αντιληπτός από αυτό το άτομο με εντελώς διαφορετικό τρόπο και για να θεωρηθεί άνετος, τα ιδανικά χαρακτηριστικά του χρειάζεται να διαφέρουν.

Εκτός από τη μυωπία όμως, είναι και άλλες παθήσεις της όρασης που τροποποιούν τα οπτικά ερεθίσματα των ατόμων. Μία εξαιρετικά σημαντική τέτοια πάθηση είναι η αχρωματοψία. Η αχρωματοψία είναι η αδυναμία αντίληψης των χρωμάτων. Ένα άτομο δηλαδή που πάσχει από αχρωματοψία δυσκολεύεται να ξεχωρίσει συγκεκριμένα χρώματα (Εικόνα 3. 15). Στην πιο συχνή μορφή της τα άτομα αδυνατούν να αντιληφθούν το κόκκινο και το πράσινο και τα συγχέουν μεταξύ τους ή και με το καφέ, ακόμα και το μπλε με το μοβ. Πιο σπάνια παρουσιάζεται αδυναμία αντίληψης του μπλε και του κίτρινου χρώματος (Εικόνα 3. 16). Σε αντίθεση με ότι πιστεύει η πλειοψηφία των ανθρώπων, είναι αρκετά σπάνιο ένα άτομο που πάσχει από αχρωματοψία να βλέπει μόνο σε αποχρώσεις του γκρι (Εικόνα 3. 17). Η σύγχυση των χρωμάτων που έχει κανείς όταν πάσχει από αχρωματοψία, εξαρτάται όμως και από το φωτισμό. Παραδείγματος χάριν, κάποιος που συγχέει το πράσινο, θα μπορούσε ίσως υπό έντονο ηλιακό φως να αναγνωρίσει μία έντονη απόχρωση του πρασίνου, ενώ αντίθετα υπό τεχνητό φωτισμό μικρής ισχύος θα μπορούσε να το μπερδέψει με το καφέ ή ίσως και το κόκκινο. Σε αυτή την περίπτωση και πάλι δηλαδή, τα ενδεδειγμένα χαρακτηριστικά του φωτισμού διαφέρουν και είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψιν, καθώς ο φωτισμός θα πρέπει να καλύπτει τις ιδιαίτερες ανάγκες του κάθε ατόμου για ένα άνετο ταξίδι.

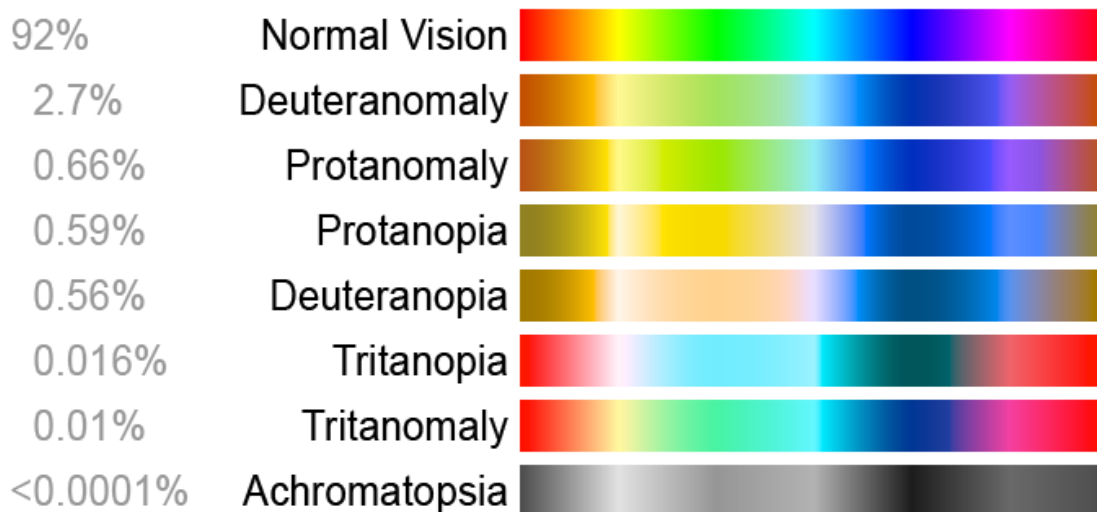
Color Blindness



Εικόνα 3. 15: Ανάλογα με τον τύπο της αχρωματοψίας ενός ατόμου, τα χρώματα που αδυνατεί να αντιληφθεί και συγχέει μεταξύ τους διαφέρουν.



Εικόνα 3. 16: Σύγκριση χρωμάτων ανάλογα με τον τύπο αχρωματοψίας και πως επηρεάζεται η όραση ενός ατόμου.

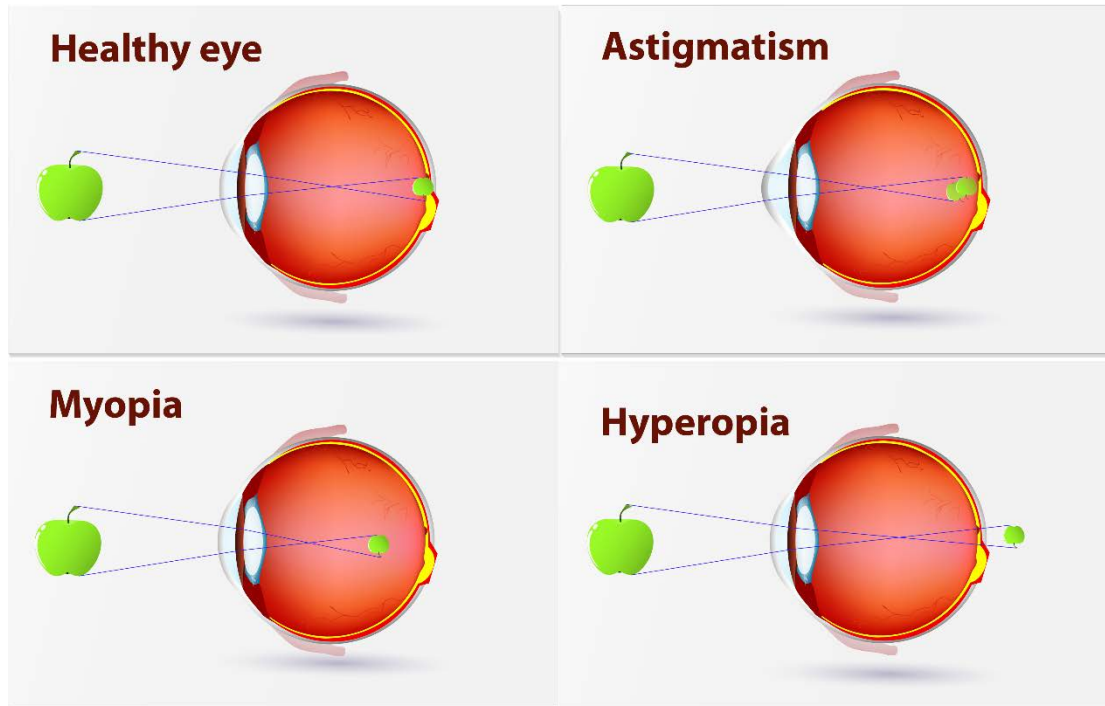


Εικόνα 3. 17: Ποσοστό ατόμων που πάσχουν από διαφορετικούς τύπους αχρωματοψίας.

Μια άλλη πάθηση των ματιών που επηρεάζει τα οπτικά ερεθίσματα των ατόμων είναι η πρεσβυωπία. Πρεσβυωπία ονομάζεται η πάθηση κατά την οποία τα μάτια αντιμετωπίζουν δυσκολία στην εστίαση σε

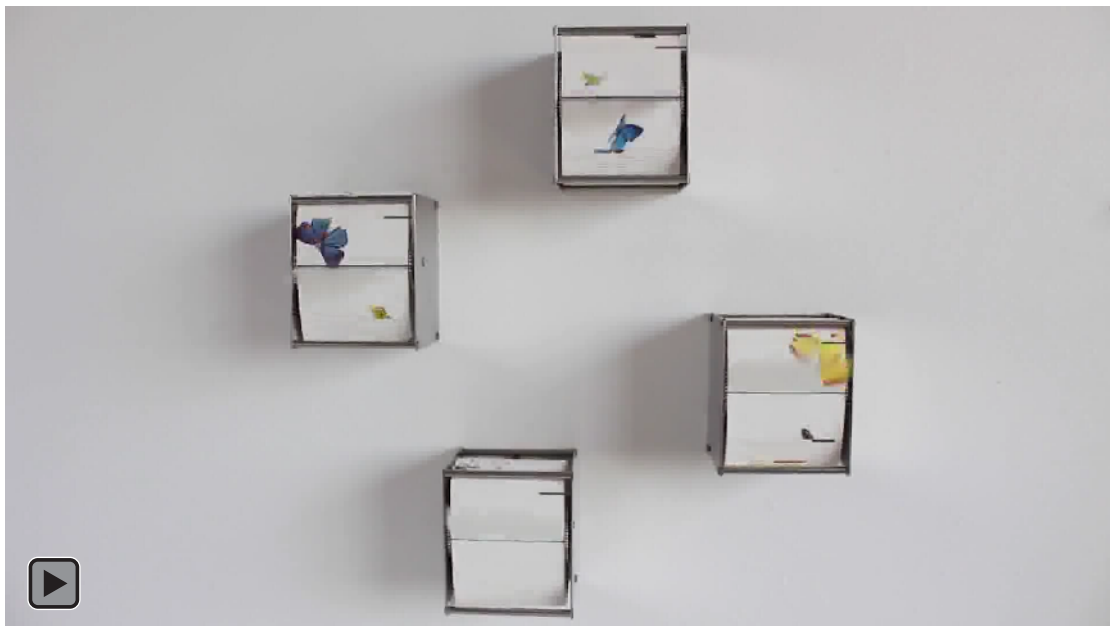
κοντινά αντικείμενα με ευκρίνεια. Τα άτομα δηλαδή που πάσχουν από πρεσβυωπία δυσκολεύονται να διαβάσουν ή και να αναγνωρίσουν αριθμούς σε κοντινή απόσταση. Η πρεσβυωπία όμως είναι εντελώς φυσιολογική φθορά, που υφίστανται τα μάτια με τη γήρανση και έχει ως αποτέλεσμα την σημαντική επιδείνωση της κοντινής όρασης. Η εκφύλιση αυτή ξεκινάει συνήθως να εμφανίζεται σε άτομα μετά την ηλικία των 40 ετών. Εκτός από την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού με ειδικά γυαλιά οράσεως ή φακούς επαφής, αναγκαία είναι η ύπαρξη σωστού φωτισμού στο περιβάλλοντα χώρο και κυρίως κατά τη διάρκεια κοντινών εργασιών. Έτσι, μεγαλύτερης έντασης φωτισμός κρίνεται απαραίτητος για άτομα με πρεσβυωπία, για να επιτευχθεί η βέλτιστη κοντινή όραση.

Επιπρόσθετα, ο αστιγματισμός επιδρά στο οπτικό ερέθισμα που δέχεται ένα άτομο που πάσχει από αυτόν (Εικόνα 3. 18). Σε αυτή την περίπτωση, τόσο τα μακρινά όσο και τα κοντινά αντικείμενα φαίνονται παραμορφωμένα. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι η καμπυλότητα του κερατοειδούς είναι ανομοιομορφη στην επιφάνειά του και έτσι οι ακτίνες του φωτός δεν εστιάζονται στο ίδιο επίπεδο. Άλλες παθήσεις των ματιών που μπορεί να τροποποιήσουν το οπτικό ερέθισμα που δέχεται ένα άτομο είναι η υπερμετρωπία, ο καταρράκτης αλλά ακόμα και το γλαύκωμα. Στο γλαύκωμα για παράδειγμα, λόγω της φωτοευαισθησίας που έχουν τα πάσχοντα άτομα, χαμηλότερης έντασης φωτισμός κρίνεται αναγκαίος. Σε κάθε περίπτωση πάντως, ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες των ατόμων, οι απαιτήσεις φωτισμού μπορεί να διαφέρουν από τις συνήθειες και πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψιν. Ακόμα και η ηλικία του εκάστοτε επιβάτη επιδρά στις ανάγκες του σε σχέση με το φωτισμό. Όσο μεγαλύτερο είναι ένα άτομο, τόσο αυξάνονται οι απαιτήσεις του σε σχέση με την ένταση του φωτισμού. Για παράδειγμα, για να διαβάσει ένας εικοσάχρονος άνθρωπος ξεκούραστα του αρκεί φωτισμός έντασης πολύ μικρότερης από αυτή που απαιτείται για να εκτελέσει την ίδια εργασία ένας μεσήλικας.



Εικόνα 3. 18: Ο αστιγματισμός, η μυωπία και η υπερμετρωπία επηρεάζουν με διαφορετικό τρόπο την όραση των ατόμων και έτσι οι ανάγκες των ατόμων που πάσχουν διαφέρουν.

Εκτός από τους παράγοντες που επηρεάζουν όμως το οπτικό ερέθισμα αυτό καθ' αυτό, υπάρχουν διάφοροι λόγοι για τους οποίους και η επεξεργασία του ερεθίσματος αυτού μπορεί να διαφέρει μεταξύ ατόμων. Το οπτικό ερέθισμα συλλαμβάνεται από το περιβάλλον με τα μάτια και εν συνεχεία μεταδίδεται στον εγκέφαλο μέσω των οπτικών νεύρων. Η επεξεργασία της πληροφορίας γίνεται στον οπτικό φλοιό, όπου και καταλήγει. Με την ερμηνεία της πληροφορίας δημιουργείται μία εικόνα και μία αντίληψη του κόσμου στο άτομο. Τα νεύρα και γενικότερα οι νευρικές οδοί μεταδίδουν τα νευρικά σήματα των ματιών προς τον εγκέφαλο. Πολύ σημαντική οδός για τη μετάδοση αυτή αποτελεί ο νωτιαίος μυελός. Έτσι, παθήσεις στο νωτιαίο μυελό, στις νευρικές οδούς ή και στον οπτικό φλοιό, μπορούν να κάνουν την επεξεργασία του οπτικού ερεθίσματος διαφορετική. Καθώς το ερέθισμα που στέλνει κάθε μάτι είναι ελαφρώς διαφορετικό, ώστε να γίνεται αντιληπτή η απόσταση των αντικειμένων αλλά και να υπάρχει τρισδιάστατη όραση, τέτοιου είδους παθήσεις μπορούν να επηρεάσουν και αυτά τα χαρακτηριστικά της όρασης. Επιπρόσθετα, με την συχνότητα εναλλαγής των εικόνων γίνεται αντιληπτή η κίνηση και ως εκ τούτου σε περίπτωση που μια πάθηση από τις προαναφερθείσες επηρεάσει την ταχύτητα μετάδοσης των ερεθισμάτων των εγκέφαλο, τότε και η αντίληψη της κίνησης θα επηρεαστεί (Βίντεο 3. 1). [58][59]



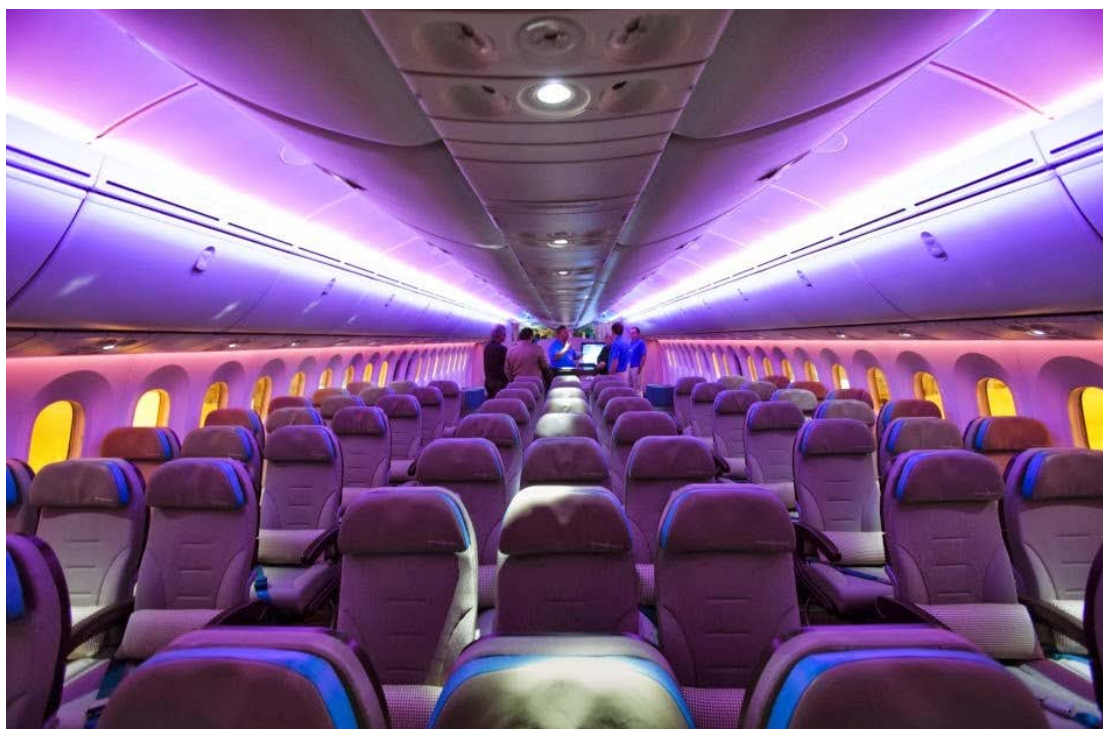
Βίντεο 3. 1: Καθώς η αίσθηση της κίνησης δημιουργείται από την ταχύτατη εναλλαγή εικόνων, όταν ο ρυθμός μετάδοσής του μειώνεται λόγω κάποιας πάθησης, επηρεάζεται και η αίσθηση της κίνησης. ^[60]

Πέρα των παθήσεων όμως που επιδρούν στην επεξεργασία των οπτικών ερεθισμάτων, ακόμα και το συναίσθημα και η αντίληψη του κάθε ατόμου αλλά και η ψυχολογία του συμβάλλουν στο διαφορετικό τρόπο επεξεργασίας των ερεθισμάτων. Οι νοητικές διαδικασίες έχουν μεγάλο αντίκτυπο στην αντίληψη των ατόμων για ένα ερέθισμα και παράδειγμα αυτού αποτελεί η ψευδαισθηση της κίνησης. Το συναίσθημα είναι η

λειτουργία των βιοχημικών γεγονότων, δηλαδή των ουσιών που εκκρίνονται, αλλά και των νευρολογικών γεγονότων, που ξεκινούν με την επίδραση ενός ερεθίσματος σε ένα άτομο. Η αντίληψη είναι η νοητική διαδικασία ή κατάσταση που υποδηλώνει γνώση ή κατανόηση του αισθητηριακού ερεθίσματος στον κόσμο. Σκοπός της αντίληψης είναι η δημιουργία χρήσιμης πληροφορίας για το περιβάλλον και είναι μία ανώτερη νοητική λειτουργία για την ερμηνεία των γεγονότων και των αντικειμένων του κόσμου. Καθώς το συναίσθημα και η αντίληψη μεταξύ των ατόμων διαφέρουν, οι υποστηρικτές της θεωρίας Γκεστάλτ πιστεύουν ότι με μοναδικό συνδυασμό αυτών των δύο, κάθε πρόσωπο βιώνει μία προσωπική πραγματικότητα, η οποία σα σύνολο είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα των μερών της. Όπως γίνεται αντιληπτό δηλαδή, ακόμα και το ίδιο οπτικό ερέθισμα επεξεργάζεται διαφορετικά από κάθε έναν εκ των επιβατών, άρα και οι προτιμήσεις τους για το φωτισμό μπορεί να διαφέρουν, λόγω προσωπικών συναισθημάτων ή διαφορετικής αντίληψης, εκτός των υπολοίπων προαναφερθέντων λόγων. [57][61]

3.4. Προσπάθειες βελτίωσης του φωτισμού

Όπως γίνεται αντιληπτό από τα παραπάνω, ο σωστό φωτισμός είναι ένα σύνθετο και πολυδιάστατο ζήτημα, αλλά και ιδιαίτερα σημαντικό το να επιτυγχάνεται στην καμπίνα του αεροσκάφους. Η προσθήκη επιπλέοντα φωτισμού δεν αποτελεί λύση όμως, καθώς κάτι τέτοιο προκαλεί κόπωση στα μάτια. Υψίστης σημασίας είναι και το να λαμβάνονται υπόψιν οι διαφορετικές δραστηριότητες που εκτελούν οι επιβάτες, καθώς οι απαιτήσεις φωτισμού αλλάζουν ουσιαστικά ανάλογα με την περίπτωση. Σε κάθε περίπτωση βέβαια αναγκάσιος κρίνεται ο περιορισμός των πολύ έντονων αντανάκλασεων που προκαλούν θάμβωση, καθώς επιδεινώνει πολύ την αίσθηση των επιβατών. Από την μέχρι τώρα προσπάθεια που έχει γίνει για το σχεδιασμό ενός κατάλληλου φωτισμού για την καμπίνα του αεροσκάφους λοιπόν, σχεδιάστηκε το "Mood Light" (Εικόνα 3. 19). Χρησιμοποιώντας διάφορες καινοτομίες και σε αντίθεση με τον συμβατικό φωτισμό της καμπίνας, το σύστημα φωτισμού αυτό επιτρέπει τη ρύθμιση της έντασης φωτισμού σε ολόκληρη την καμπίνα, με σκοπό την κάλυψη των απαιτήσεων των επιβατών για μεγαλύτερη άνεσή τους.



Εικόνα 3. 19: Φωτισμός "Mood Light" σε καμπίνα αεροσκάφους.

Με έγχρωμο φωτισμό και προγραμματισμένα εκ των προτέρων ελεγχόμενα σενάρια φωτισμού, το σύστημα αυτό δημιουργεί για τους επιβάτες μία όσο το δυνατόν πιο ομαλή και ξεκούραστη μετάβαση από τη μία φάση φωτισμού της καμπίνας στην άλλη. Αντί να χαμηλώνει και να δυναμώνει απότομα ο φωτισμός της καμπίνας, ρυθμίζει το φωτισμό αργά και σταδιακά, τόσο σε φωτεινότητα όσο και σε χρώμα. Ελέγχοντας και ρυθμίζοντας το φωτισμό, για την τεχνητή μείωση της διάρκειας της ημέρας εν ώρα πτήσης, οι φυσικοί βιορυθμοί των επιβατών μπορούν να προετοιμαστούν σταδιακά για τη νέα ζώνη ώρας του προορισμού τους. Σε ένα πιθανό, ενδεικτικό σενάριο πτήσης, ο ατμοσφαιρικός φωτισμός της καμπίνας θα μπορούσε αρχικά να έχει τα εταιρικά χρώματα της εκάστοτε αεροπορικής εταιρείας κατά τη διάρκεια της επιβίβασης και στη συνέχεια να αλλάξει σε πιο απαλά και χαλαρωτικά χρώματα κατά τη διάρκεια της απογείωσης. Αφού το αεροσκάφος έφτανε το επιθυμητό υψόμετρο για το ταξίδι, η καμπίνα να φωτιστεί πιο έντονα και ψυχρά, για να μπορούν οι επιβάτες να διαβάσουν και να εργαστούν με ευκολία. Καθώς θα ξεκινούσε η υπηρεσία διανομής φαγητού, ο φωτισμός θα μπορούσε να αλλάξει πάλι σε ένα ζεστό, ίσως και λευκό σαν των κεριών χρώμα, κατάλληλο για το φαγητό. Όταν ολοκληρωνόταν η διαδικασία, πιο αχνός φωτισμός θα ενίσχυε τη χαλάρωση των επιβατών, μέχρι το τεχνητό ξημέρωμα να ξυπνούσε σταδιακά τους επιβάτες χωρίς να τους αναστατώσει (Εικόνα 3. 20).



Εικόνα 3. 20: Τεχνητό ξημέρωμα με κατάλληλο φωτισμό, για πιο ομαλή μετάβαση στη νέα ζώνη ώρας του προορισμού.

Η σχεδίαση του συστήματος επιτρέπει και σε άλλα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά να ενσωματωθούν σε αυτό, όπως η απεικόνιση έναστρου ουρανού στην οροφή της καμπίνας, σε συγκεκριμένες φάσεις της πτήσης (Εικόνα 3. 21). Το αποτέλεσμα αυτού του είδους φωτισμού δημιουργεί μία εντελώς διαφορετική εμπειρία στους επιβάτες κατά τη διάρκεια της πτήσης, καλύπτοντας σε κάποιο βαθμό τις ανάγκες τους. Οι ατομικές ανάγκες βέβαια των επιβατών έχουν ληφθεί ελάχιστα υπόψιν και δεν καλύπτονται σε ξεχωριστές περιπτώσεις, αλλά σαφώς πρόκειται για μία κίνηση προς τη σωστή κατεύθυνση. Δυστυχώς όμως, τέτοιου είδους ατμοσφαιρικός φωτισμός δεν έχει ενσωματωθεί στα αεροσκάφη και ο υπάρχοντας συμβατικός φωτισμός σαφώς ικανοποιεί σε πολύ μικρότερο βαθμό τις ανάγκες των επιβατών για μία άνετη πτήση. [55][56][57]



Εικόνα 3. 21: Απεικόνιση έναστρου ουρανού στην οροφή καμπίνας αεροσκάφους.

4. Λοιπές περιβαλλοντικές συνθήκες

Εισαγωγή

Η ποιότητα του αέρα της καμπίνας των επιβατών αποτελεί ιδιαίτερα σημαντικό παράγοντα επιρροής όχι μόνο της άνεσης, αλλά ακόμα και της υγείας των επιβατών. Η ραγδαία αύξηση του αριθμού των ατόμων που χρησιμοποιούν αεροπλάνα για τις μεταφορές τους τα τελευταία χρόνια, πολλαπλασιάζει την ανησυχία για την ποιότητα του αέρα στο αεροσκάφος. Η πλειοψηφία των έως τώρα ερευνών που έχει γίνει σε αυτό τον τομέα αλλά και των αντίστοιχων δημοσιεύσεων, επικεντρώνονται κυρίως στην έκθεση του πληρώματος στον αέρα του αεροσκάφους, σε πιο επαγγελματική, συχνή και μόνιμη βάση και τις επιπτώσεις της.

Λόγω της αύξησης του κόστους των καυσίμων, οι αεροπορικές εταιρείες ενδέχεται να ωθούνται στη μείωση της αναλογίας του φρέσκου, εξωτερικού αέρα προς τον ανακυκλωμένο αέρα της καμπίνας, στο σύστημα εξαερισμού, με σκοπό τον περιορισμό της κατανάλωσης καυσίμων, έχοντας όμως ταυτόχρονα δυσμενή επίδραση στην ποιότητα του αέρα της καμπίνας. Στα νεότερα μοντέλα αεροσκαφών χρησιμοποιείται σε μεγαλύτερο βαθμό ο ανακυκλωμένος αέρας από την

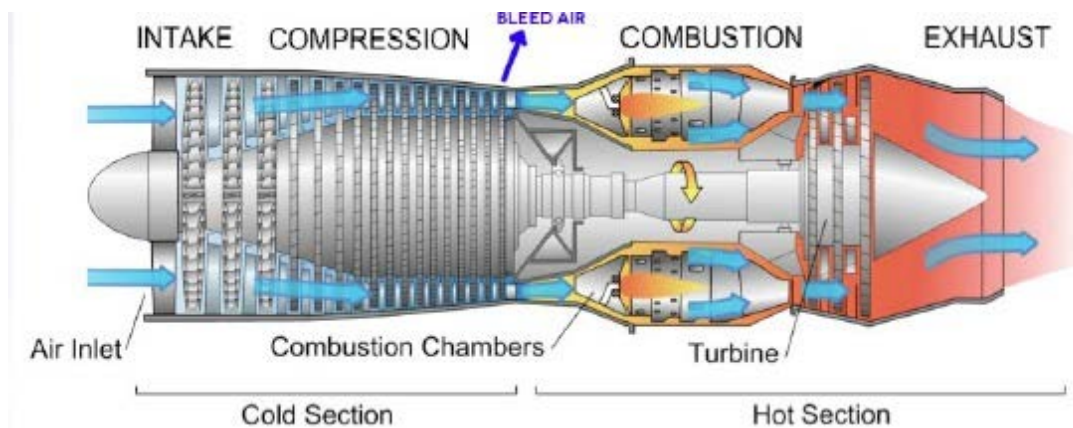
καμπίνα, σε σχέση με τα παλαιότερα μοντέλα του στόλου. Οι ανησυχίες που σχετίζονται με την ποιότητα του αέρα της καμπίνας δεν αφορούν μόνο την ποσότητα του εξωτερικού αέρα, αλλά και τις αρνητικές επιπτώσεις που θα μπορούσαν να προκύψουν από την έκθεση σε αυτό το τόσο περιορισμένο περιβάλλον. Στα αεροσκάφη, οι άνθρωποι εκτίθενται σε ένα συγκεκριμένο συνδυασμό χαμηλής σχετικής υγρασίας, μειωμένης ατμοσφαιρικής πίεσης, αυξημένης κοσμικής ακτινοβολίας, αλλά και ύπαρξη όζοντος και άλλων ρύπων στον αέρα, ορισμένοι εκ των οποίων έχουν αποδειχθεί ότι είναι επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία.

Για τον έλεγχο του περιβάλλοντος της καμπίνας υπεύθυνο είναι το σύστημα ελέγχου περιβάλλοντος, το οποίο στην Αγγλική βιβλιογραφία αναφέρεται ως Environmental Control System (ECS). Το σύστημα αυτό προβλέπει την παροχή αέρα στην καμπίνα, τον έλεγχο και τη ρύθμιση της θερμοκρασίας αλλά και της ατμοσφαιρικής πίεσης σε αυτήν. Τα συστήματα ψύξης των ηλεκτρονικών μερών του αεροσκάφους, ανίχνευσης καπνού και κατάσβεσης φωτιάς θεωρούνται και αυτά συχνά μέρος του συστήματος ελέγχου περιβάλλοντος ενός αεροσκάφους.

4.1. Environmental Control System

4.1.1. Παροχή αέρα

Στα αεριωθούμενα αεροσκάφη ο αέρας παρέχεται στο σύστημα ελέγχου περιβάλλοντος με την απαγωγή του από κάθε έναν εκ των κινητήρων, από κάποιο στάδιο της συμπίεσής του, πριν την έγχυση του καυσίμου (Εικόνα 4. 1). Η θερμοκρασία αλλά και η πίεση του αέρα αυτού διαφέρει, ανάλογα με το στάδιο συμπίεσης από το οποίο έγινε η απομάστευση, αλλά και τη ρυθμισμένη ισχύ του κινητήρα. Η βαλβίδα διακοπής απομάστευσης αέρα υψηλής πίεσης είναι υπεύθυνη για τον περιορισμό της χρήσης του αέρα υψηλής πίεσης από το σύστημα ελέγχου περιβάλλοντος κατά το απαραίτητο, έτσι ώστε να διατηρηθεί η επιθυμητή πίεση και για τα μεταγενέστερα συστήματα. Μία ορισμένη, ελάχιστη πίεση παροχής είναι αναγκαία για την μεταφορά του αέρα δια μέσου του συστήματος, αλλά επιθυμητό είναι η πίεση αυτή, της τροφοδοσίας του, να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερη. Αυτό είναι ωφέλιμο γιατί η ενέργεια που χρησιμοποιούν οι κινητήρες για τη συμπίεση του αέρα που παρέχεται στο σύστημα ελέγχου περιβάλλοντος δεν είναι διαθέσιμη για την πρόωση του αεροσκάφους και η κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται.



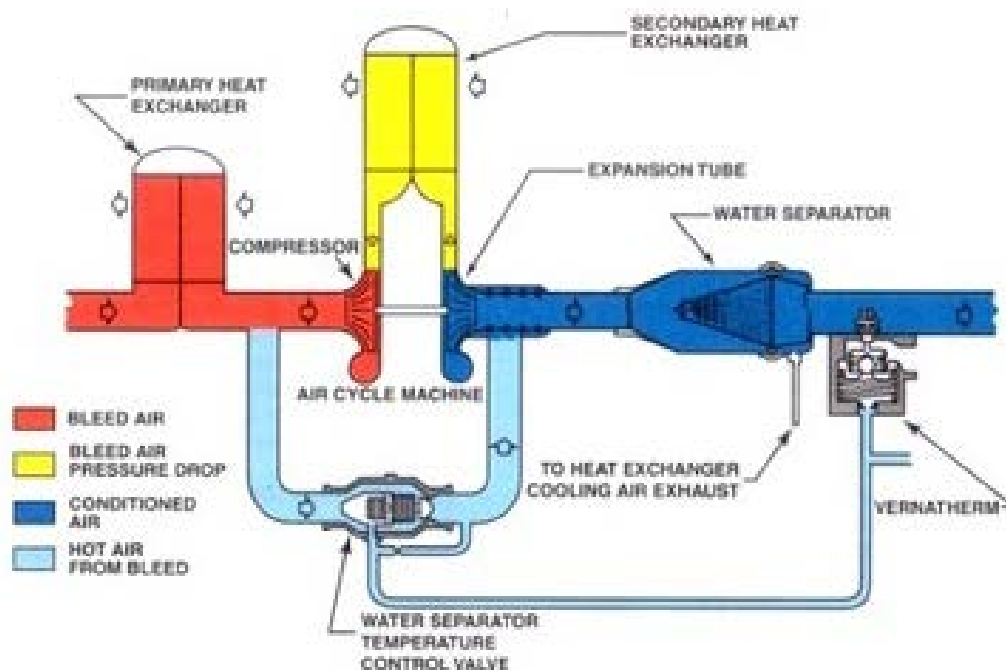
Εικόνα 4. 1: Απομάστευση αέρα από κινητήρα, σε προηγούμενο στάδιο από την έγχυση καυσίμου.

Για το λόγο αυτό, ο αέρας συνήθως προέρχεται από μία εκ των δύο οπών απομάστευσης, που βρίσκονται σε διαφορετικό στάδιο συμπίεσης. Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως στα Boeing 777, οι οπές αυτές είναι τρεις. Όταν ο κινητήρας λειτουργεί με χαμηλότερη πίεση αέρα, λόγω μικρότερης ώσης ή μεγαλύτερου υψομέτρου, η απομάστευση του αέρα γίνεται από την οπή που βρίσκεται στο στάδιο με τη μεγαλύτερη συμπίεση. Όταν η πίεση αυξάνεται στον κινητήρα, λόγω μεγαλύτερης ώσης ή χαμηλότερου υψομέτρου, και φτάνει ένα προκαθορισμένο σημείο τομής, η βαλβίδα διακοπής απομάστευσης αέρα υψηλής πίεσης κλείνει και η απομάστευση του αέρα γίνεται από την οπή που βρίσκεται στο στάδιο με τη μικρότερη πίεση, έτσι ώστε να βελτιστοποιηθεί η απόδοση του κινητήρα. Η αντίστροφη διαδικασία πραγματοποιείται όταν μειώνεται η πίεση στον κινητήρα. Για να αποκτηθεί η επιθυμητή θερμοκρασία αέρα, μετά την απομάστευσή του από τον κινητήρα, ο αέρας διέρχεται έναν εναλλάκτη θερμότητας που ονομάζεται προψύκτης. Ο αέρας λοιπόν διοχετεύεται στον προψύκτη, που βρίσκεται στο στήριγμα του κινητήρα και ο οποίος απορροφά την περίσσεια θερμότητα από τον αέρα. Μία βαλβίδα διαμόρφωσης της ποσότητας του αέρα τροποποιεί τη ροή του αέρα ψύξης για τον έλεγχο της τελικής θερμοκρασίας του αέρα. [62][63][64]

4.1.2. Μονάδα Ψύξης αέρα

Κεντρικό στοιχείο της μονάδας ψύξης αέρα (CAU) αποτελεί μία συσκευή ψύξης, η μηχανή κύκλου αέρα (ACM) (Εικόνα 4. 2). Σε αυτή δε χρησιμοποιείται φρέον, καθώς ο ίδιος ο αέρας αποτελεί το ψυκτικό. Ορισμένα αεροσκάφη, συμπεριλαμβανομένων κάποιων αρχικών

εκδόσεων των 707, χρησιμοποιούσαν ψύξη με συμπίεση ατμών, όπως αυτή των οικιακών κλιματιστικών. Όμως, η μηχανή κύκλου αέρα είναι προτιμότερη, λόγω μικρότερου βάρους και λιγότερων απαιτήσεων συντήρησης. Στην πλειοψηφία των αεροσκαφών υπάρχουν δύο συστήματα ψύξης, ενώ ορισμένα διαθέτουν και τρίτο, όπως το Boeing 747. Αυτά βρίσκονται συνήθως μεταξύ των δύο πτερυγίων στο κάτω τμήμα της ατράκτου, ενώ σε άλλες περιπτώσεις είναι στην ουρά ή στο μπροστινό τμήμα του αεροσκάφους, κάτω από το θάλαμο διακυβέρνησης. Το σύστημα ψύξης αποτελείται από διάφορες βαλβίδες και αισθητήρες, καταφέροντας τελικά να παρέχει κατάλληλο αέρα στην καμπίνα των επιβατών. Ο αέρας αυτός δεν έχει μόνο σωστή θερμοκρασία και πίεση, αλλά είναι και αποστειρωμένος, απαλλαγμένος από σκόνη και παρέχεται με τον απαραίτητο ρυθμό, ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις του συστήματος ελέγχου περιβάλλοντος.



Εικόνα 4. 2: Βασική λειτουργία συστήματος ψύξης αέρα της καμπίνας του αεροσκάφους.

Στη βασική λειτουργία του συστήματος ψύξης, ο αέρας εισέρχεται σε αυτό υπό υψηλή θερμοκρασία και πίεση, προερχόμενος από τους κινητήρες του αεροσκάφους ή τη βοηθητική μονάδα ισχύος του (A.P.U.) και διέρχεται από το πρωτεύον ψυγείο αέρα-αέρα, χάνοντας έτσι μέρος της θερμοκρασίας του. Στη συνέχεια εισέρχεται στον αεροσυμπιεστή της μονάδας στροβίλου-συμπιεστή, για την αύξηση της πίεσής του, αλλά

ταυτόχρονα αναθερμαίνεται κιόλας. Έπειτα, ο αέρας διέρχεται από το δευτερεύον ψυγείο αέρα-αέρα, για να ψυχθεί εκ νέου, διατηρώντας την υψηλή του πίεση, και τελικά οδηγείται στο στρόβιλο της μονάδας στροβίλου-συμπιεστή, για περαιτέρω μείωση της θερμοκρασίας του. Η παραπάνω αποτελεί τη βασική διαμόρφωση και στα σύγχρονα αεροσκάφη η μονάδα ψύξης διαθέτει εκτός από το πρωτεύον και το δευτερεύον ψυγείο αέρα-αέρα, τη μονάδα στροβίλου-συμπιεστή και βαλβίδα ελέγχου ροής, επιπρόσθετα, μετατροπέα όζοντος, πρωτεύουσα και δευτερεύουσα βαλβίδα ρύθμισης θερμοκρασίας, συμπυκνωτή, αναθερμαντή, βαλβίδες μίας κατεύθυνσης, σύστημα απαγωγής νερού και πολλούς αισθητήρες θερμοκρασίας και πίεσης.

Μετά τη διέλευση του αέρα από το δευτερεύον ψυγείο αέρα-αέρα αλλά και τον συμπυκνωτή, η θερμοκρασία του είναι χαμηλότερη από το σημείο υγροποίησης, με αποτέλεσμα την ακαριαία συμπύκνωση της υγρασίας που έχει απομείνει σε αυτόν, σε σταγονίδια νερού. Τα σταγονίδια αυτά συλλέγονται με τη βοήθεια ενός διαχωριστήρα που λειτουργεί φυγοκεντρικά. Ο αέρας περνώντας από μέσα στροβιλίζεται και έτσι τα σταγονίδια εκσφενδονίζονται στα τοιχώματά του, συλλέγονται και απομακρύνονται με σωλήνα, ενώ ο αέρας συνεχίζει απαλλαγμένος από μεγάλο μέρος της υγρασίας που είχε. Το νερό που συλλέγεται από όλους τους διαχωριστήρες είτε αποβάλλεται στο περιβάλλον, είτε διοχετεύεται σε ψεκαστήρες που βρίσκονται στο εσωτερικό του αεραγωγού εξωτερικού ρεύματος αέρα, για την αύξηση της απόδοσης του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος ψυγείου, καθώς απορροφά ενέργεια κατά την εξάτμισή του. Με την απομάκρυνση του νερού εμποδίζεται ο σχηματισμός πάγου και η απόφραξη του συστήματος, καθώς και το θάμπωμα του πιλοτηρίου και της καμπίνας σε χαμηλά υψόμετρα. Στη συνέχεια, ο αέρας συνήθως περνάει από ένα φίλτρο. Το φίλτρο αυτό, συλλέγει τη σκόνη και το λάδι από τον αέρα που έχει προέρθει από τους κινητήρες, προκειμένου να διατηρηθεί καθαρότερος ο αέρας της καμπίνας του αεροσκάφους.

Ολόκληρη η διαδικασία που αναφέρεται παραπάνω, πραγματοποιείται σε περιπτώσεις που η μονάδα ψύξης λειτουργεί στο μέγιστο των δυνατοτήτων της, όταν το αεροσκάφος βρίσκεται στο έδαφος ή σε θερμές ημέρες και περιβάλλοντα. Όταν όμως οι απαιτήσεις για ψύξη είναι μικρότερες, κατά τη διάρκεια της πτήσης ή σε περιπτώσεις όπου πάγος αρχίζει να σχηματίζεται στον συμπυκνωτή ή στην έξοδο του στροβίλου, μέρος του αέρα παρακάμπτει το σύστημα των ψυγείων και του στροβίλου-συμπιεστή. Η ποσότητα του αέρα που εισέρχεται στο σύστημα ψύξης, από το σύστημα παροχής αέρα του αεροσκάφους, ρυθμίζεται από τη βαλβίδα ελέγχου ροής (FCV). Μία τέτοια βαλβίδα είναι

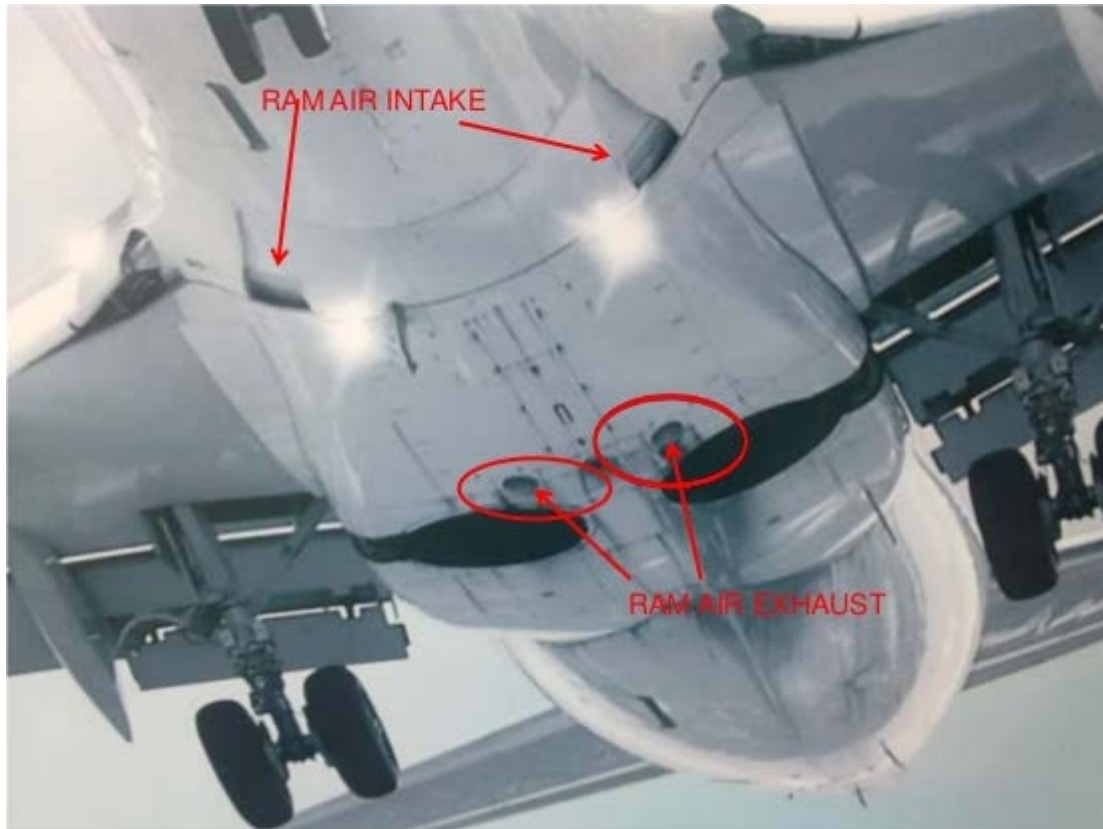
εγκατεστημένη σε κάθε ένα από τα συστήματα ψύξης που διαθέτει το αεροσκάφος. Με αυτόν τον τρόπο, ο θερμός αέρας λιώνει το σχηματισμένο πάγο, για την αποφυγή της απόφραξης του συστήματος, ενώ ταυτόχρονα με τη μείωση της ποσότητας του αέρα που διέρχεται από τα ψυγεία και τη μονάδα στρόβιλου-συμπιεστή, η μονάδα ψύξης παραδίδει πιο ζεστό αέρα.

Ακόμα, στα ύψη ταξιδιού των αεροσκαφών, όπως προαναφέρθηκε, η ανάγκη για ψύξη είναι ελάχιστη εξαιτίας της πολύ χαμηλής θερμοκρασίας του αέρα και για το λόγο αυτό ο αέρας συχνά περνά μόνο από τα ψυγεία αέρα-αέρα και παρακάμπτει το στρόβιλο-συμπιεστή, ο οποίος είναι πιθανό να σταματήσει εντελώς να περιστρέφεται. Μία βαλβίδα ελέγχου θερμοκρασίας είναι υπεύθυνη για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του αέρα που παραδίδει το σύστημα ψύξης. Η βαλβίδα απομόνωσης του αέρα, που σε κανονικές συνθήκες είναι κλειστή, αποτρέπει τον αέρα από το αριστερό σύστημα παροχής να έρθει σε επαφή με τον αέρα από το δεξί και το αντίθετο. Η βαλβίδα μπορεί να ανοίξει όμως σε περίπτωση απώλειας ενός εκ των συστημάτων αυτών.

[65]

4.1.3. Είσοδος και έξοδος αέρα από το σύστημα ψύξης

Για την εισαγωγή ψυχρού αέρα και την τροφοδοσία του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος ψυγείου αέρα-αέρα με αυτόν, υπάρχει ένας αγωγός εισόδου αέρα κρούσης, που βρίσκεται συνήθως στο αεροδυναμικό κάλυμμα μεταξύ φτερών και ατράκτου (Εικόνα 4. 3). Σε σχεδόν όλα τα αεροσκάφη υπάρχει μία θύρα στον αγωγό αυτό, για τη ρύθμιση της ποσότητας του ψυχρού αέρα που εισέρχεται στα ψυγεία. Επίσης, για την αύξηση της ποσότητας του ψυχρού αέρα που ανακτάται, στην πλειοψηφία των αεροσκαφών χρησιμοποιείται μία διαμόρφωση με λεπίδες στην εξαγωγή του αέρα. Ο ανεμιστήρας στο σύστημα του ψυχρού αέρα δημιουργεί τη ροή του αέρα στα ψυγεία, όταν το αεροσκάφος βρίσκεται στο έδαφος.



Εικόνα 4. 3: Αγωγοί εισόδου αέρα κρούσης και εξόδου αυτού.

Ο αέρας που εξάγεται από το σύστημα ψύξης διοχετεύεται στην υπό πίεση άτρακτο. Εκεί αναμειγνύεται με τον αέρα που έχει ληφθεί από την καμπίνα για ανακύκλωση, αφού προηγουμένως αυτός είχε φιλτραρισθεί. Στο χώρο που γίνεται η ανάμειξη του μείγματος του αέρα, το ποσοστό του εξωτερικού αέρα και του φιλτραρισμένου ανακυκλωμένου αέρα είναι περίπου 50% - 50%. Τα σύγχρονα αεροσκάφη χρησιμοποιούν υψηλής απόδοσης φίλτρα για την κατακράτηση σωματιδίων, τα οποία παγιδεύουν περισσότερο από το 99% όλων των βακτηρίων και των ιών.

Μετά το χώρο ανάμειξης του μείγματος, ο αέρας οδηγείται σε ακροφύσια διανομής σε διάφορες ζώνες του αεροσκάφους. Η θερμοκρασία του αέρα σε κάθε ζώνη μπορεί ελαφρώς να ρυθμιστεί με την προσθήκη μικρής ποσότητας θερμού αέρα που έχει ληφθεί από το σύστημα ψύξης, σε αρχικό στάδιο όπως έχει ληφθεί από τους κινητήρες, πριν την βαλβίδα ρύθμισης θερμοκρασίας. Ο αέρας παρέχεται επίσης σε επιμέρους μικρούς, ατομικούς αεραγωγούς, που βρίσκονται πάνω από κάθε κάθισμα επιβάτη και που η λειτουργία τους μπορεί να ρυθμιστεί από τους ίδιους τους επιβάτες για την προσωπική τους άνεση (Εικόνα 4. 4). Με περιστρεφόμενο έλεγχο του αεραγωγού, μπορεί να ρυθμιστεί η λειτουργία του από το να είναι εντελώς κλειστός χωρίς να βγάζει καθόλου αέρα, στο να προσφέρει ένα αρκετά σημαντικό αεράκι στον επιβάτη του

αντίστοιχου καθίσματος. Για τη ρύθμιση των ατομικών αυτών αεραγωγών υπάρχει κεντρικός έλεγχος στο πιλοτήριο, δίνοντας τη δυνατότητα στο πλήρωμα να τους απενεργοποιήσει σε συγκεκριμένες φάσεις της πτήσης, κατά τις οποίες οι απαιτήσεις για θερμό αέρα από τους κινητήρες είναι αναγκαίο να μειωθούν για τον περιορισμό της ενέργειας που δαπανάται. Για παράδειγμα, κάτι τέτοιο μπορεί να κριθεί σκόπιμο κατά την απογείωση ή κατά την ανύψωση. [66]



Εικόνα 4. 4: Ατομικοί αεραγωγοί στην καμπίνα του αεροσκάφους, τοποθετημένοι πάνω από τα καθίσματα των επιβατών.

4.1.4. Ρύθμιση Πίεσης

Η ροή του αέρα στο εσωτερικό της ατράκτου είναι σχεδόν συνεχής και η ατμοσφαιρική πίεση σε αυτή διατηρείται στα επιθυμητά επίπεδα, με το κατάλληλο άνοιγμα και κλείσιμο της βαλβίδας εκροής αερίων και απελευθέρωσης πίεσης (OFV) (Εικόνα 4. 5). Ο αυτόματος ελεγκτής δηλαδή, διατηρεί την πίεση της καμπίνας στα επιθυμητά επίπεδα, με το να αλλάζει διαρκώς την ποσότητα του αέρα που εξέρχεται από τη βαλβίδα. Τα περισσότερα σύγχρονα αεροσκάφη έχουν μία τέτοια βαλβίδα τοποθετημένη στο κάτω, πίσω μέρος της ατράκτου, αν και κάποια μεγαλύτερα αεροσκάφη, όπως τα Boeing 747 και 777, έχουν δύο. Στην

αρκετά απίθανη περίπτωση που η βαλβίδα εκροής αερίων και απελευθέρωσης πίεσης παρουσιάσει δυσλειτουργία, υπάρχουν τουλάχιστον δύο βαλβίδες εκτόνωσης θετικής πίεσης (PPRV) και μία αρνητικής πίεσης (NPRV) για την προστασία της καμπίνας από υπερβολική ή μη επαρκή πίεση.



Εικόνα 4. 5: Βαλβίδα εκροής αερίων και απελευθέρωσης πίεσης.

Η καμπίνα του αεροσκάφους τίθεται τουλάχιστον υπό την ατμοσφαιρική πίεση που υπάρχει σε υψόμετρο 2400m. Η πίεση αυτή ισούται με 75kPa, ενώ όσο μικρότερο είναι το υψόμετρο τόσο μεγαλύτερη είναι η ατμοσφαιρική πίεση σε αυτό. Η πίεση της καμπίνας δεν κρατείται σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια της πτήσης, αλλά αλλάζει ανάλογα με το υψόμετρο στο οποίο βρίσκεται το αεροπλάνο. Έτσι, εκτός από την αναφορά στο υψόμετρο πτήσης, γίνεται αναφορά και στο σχετικό υψόμετρο της καμπίνας, το οποίο εξαρτάται από το υψόμετρο που βρίσκεται το αεροσκάφος κάθε δεδομένη στιγμή και δείχνει την πίεση στην οποία έχει τεθεί η άτρακτος. Η πίεση της άτρακτου ελέγχεται από το χρονοδιάγραμμα πίεσης καμπίνας, που συσχετίζει το υψόμετρο της καμπίνας με το υψόμετρο πτήσης. Νεότερα αεροσκάφη όπως το Airbus A380 και το Boeing 787 κρατάνε χαμηλότερο το μέγιστο υψόμετρο

καμπίνας, δηλαδή μεγαλύτερη την πίεση της καμπίνας από την τιμή που προαναφέρθηκε, με σκοπό τη μείωση της κόπωσης των επιβατών κατά τη διάρκεια των πτήσεων. [66]

4.1.5. Προβληματισμοί σχετικοί με την υγεία

Η ατμόσφαιρα στα συνήθη υψόμετρα πορείας των αεροσκαφών είναι γενικά πολύ ξηρή και κρύα. Ο εξωτερικός αέρας που διοχετεύεται στην καμπίνα σε μία πολύωρη πτήση όμως θα μπορούσε πιθανώς με συμπύκνωση να προκαλέσει διάβρωση σε τμήματα του αεροσκάφους ή ηλεκτρικές βλάβες και για το λόγο αυτό γίνεται προσπάθεια η πιθανότητα αυτή να εξαλείφεται. Συνεπώς, όταν αέρας με υγρασία από χαμηλότερα υψόμετρα αναρροφάται, το σύστημα ελέγχου περιβάλλοντος είναι υπεύθυνο για την αφύγρανσή του τόσο με τους κύκλους θέρμανσης και ψύξης, όσο και με το διαχωριστή νερού που προαναφέρθηκε. Έτσι, ακόμα και όταν το ποσοστό υγρασίας του αέρα του περιβάλλοντος είναι υψηλό, στο εσωτερικό της καμπίνας το ποσοστό σχετικής υγρασίας συνήθως δεν είναι πολύ υψηλότερο από 10%.

Τα όχι υψηλά ποσοστά σχετικής υγρασίας σε ένα χώρο προσφέρουν κάποια οφέλη στην υγεία των ατόμων. Παρόλα αυτά, η τόσο χαμηλή υγρασία προκαλεί ξηρότητα του δέρματος, των ματιών και των βλεννογόνων μεμβρανών, ενώ συμβάλει επίσης στην αφυδάτωση των επιβατών, που με τη σειρά της προκαλεί αισθήματα κόπωσης, δυσφορία και άλλα προβλήματα υγείας. Σε έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί, η πλειοψηφία των αεροσυνοδών αναφέρει δυσφορία και προβλήματα υγείας όταν η υγρασία στην καμπίνα είναι σε χαμηλά επίπεδα. Ένα σύστημα ελέγχου της υγρασίας της καμπίνας θα μπορούσε ως πρόσθετο κομμάτι του συστήματος ελέγχου περιβάλλοντος να διασφαλίζει ότι τα επίπεδα της σχετικής υγρασίας στην καμπίνα δε θα πέφτουν σε εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα, συνυπολογίζοντας βέβαια την ανάγκη αποφυγής συμπύκνωσης. Επιπρόσθετα, ορισμένα αεροσκάφη όπως τα Boeing 787 και τα Airbus 350, χρησιμοποιώντας πιο ανθεκτικά στη διάβρωση υλικά, μπορούν να λειτουργούν με ποσοστά υγρασίας έως και 16% στις μεγάλες πτήσεις.

Ο αέρας που προέρχεται από τους κινητήρες εξέρχεται από αυτούς από στάδιο που προηγείται της καύσης. Αφού ο αέρας δεν ρέει προς τα πίσω παρά μόνο σε περίπτωση απώλειας στήριξης του συμπιεστή, ουσιαστικά δηλαδή σε επιστροφή φλόγας του κινητήρα, ο αέρας απαγωγής είναι απαλλαγμένος από ρύπους καύσης από τη φυσιολογική λειτουργία των ίδιων των κινητήρων του αεροσκάφους. Ωστόσο, σε

ορισμένες περιπτώσεις, από εξαρτήματα υπεύθυνα για τη στεγανοποίηση όπως τις τσιμούχες και τους στυπιοθλίπτες, μπορεί να διαρρεύσουν έλαια, με δυνητικά επικίνδυνες χημικές ουσίες, στον αέρα που οδηγείται στο σύστημα ελέγχου περιβάλλοντος και συνεπώς στην καμπίνα του αεροσκάφους. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως "fume event" και πρόκειται για τοξικές αναθυμιάσεις σε κάποιες περιπτώσεις (Εικόνα 4. 6). Γενικά αυτό αντιμετωπίζεται άμεσα, καθώς μία τέτοια διαρροή μειώνει ταυτόχρονα και τη διάρκεια ζωής του κινητήρα. Όπως είναι αναμενόμενο, η μόλυνση του αέρα από το φαινόμενο αυτό αλλά και από άλλες αιτίες σχετικές με τη λειτουργία των κινητήρων έχει προκαλέσει ανησυχία για την υγεία των επιβατών και έρευνες διεξάγονται συνεχώς για να εξεταστεί η πιθανότητα ύπαρξης κάποιας ιατρικής πάθησης που προκαλείται στους επιβάτες από τη μόλυνση αυτή.



Εικόνα 4. 6: Fume event στην καμπίνα του αεροσκάφους.

Καθώς τα μόνα στοιχεία που είναι διαθέσιμα για την ποιότητα του αέρα του αεροσκάφους είναι η θερμοκρασία και η ατμοσφαιρική πίεση, η έλλειψη αυτή περαιτέρω πληροφοριών, καθιστά δύσκολη τη δυνατότητα προσδιορισμού των αιτιών επιβάρυνσης της υγείας των

επιβατών και των παραπόνων από μέρους τους, αλλά και τον καθορισμό μέτρων μείωσής τους, τόσο από μέρους των αεροπορικών εταιρειών και των πληρωμάτων των αεροσκαφών, όσο και από διεθνείς οργανισμούς και υπηρεσίες. [67][68]

4.2. Θερμοκρασία

4.2.1. Παράγοντες επιρροής θερμικής άνεσης επιβατών

Ο έλεγχος για τη θερμική άνεση των επιβατών ενός αεροσκάφους είναι ιδιαίτερη πρόκληση, λόγω των ξεχωριστών χαρακτηριστικών του. Ο έλεγχος της απόδοσης του είναι στενά συνυφασμένος με το σύστημα ελέγχου περιβάλλοντος, το οποίο περιλαμβάνει το σύστημα κλιματισμού (ACS) αλλά και το σύστημα ελέγχου πίεσης (PRS). Η πίεση στην καμπίνα ελέγχεται από το σύστημα ελέγχου πίεσης (PRS) ανεξάρτητα, ενώ δεν μπορεί να ρυθμιστεί αυθαίρετα λόγω περιορισμών ασφαλείας. Για λόγους ασφαλείας και πάλι, είναι δύσκολο να ελεγχθούν τα επίπεδα υγρασίας στην καμπίνα, ενώ γενικά παραμένουν σε πολύ χαμηλότερες τιμές από αυτές που προβλέπονται ως κατώτερες απαιτούμενες από την ASHRAE, για άνεση. Η θερμοκρασία είναι η μόνη κλιματική μεταβλητή που μπορεί να ελέγχεται για βέλτιστα αποτελέσματα, αλλά ακόμα και για αυτή, ο έλεγχος δεν επιτρέπεται σε όλες τις φάσεις της πτήσης. Πιο συγκεκριμένα, η θερμοκρασία μπορεί να ρυθμίζεται κατά το δοκούν κατά τη διάρκεια της πτήσης σε συγκεκριμένο ύψος, αλλά όχι κατά τη διάρκεια της ανόδου ή της καθόδου του αεροσκάφους, καθώς η απόδοση του κινητήρα δεν μπορεί και δεν πρέπει να επηρεάζεται σε αυτές τις φάσεις.

Ο έλεγχος του περιβάλλοντος της καμπίνας λοιπόν είναι δύσκολος καθώς περιορίζεται από πολλούς παράγοντες. Ωστόσο, το πλήρωμα αναμένεται, με τη χρήση μίας όσο το δυνατόν απλούστερης μεθόδου, να ρυθμίζει τη θερμοκρασία της καμπίνας στη βέλτιστη τιμή. Κάτι τέτοιο είναι ιδιαίτερα δύσκολο συν τοις άλλοις και λόγω του ότι πολλές φορές το πλήρωμα δεν μπορεί να γνωρίζει τις θερμικές απαιτήσεις των επιβατών στα διάφορα σημεία της καμπίνας, με επακόλουθο τη ρύθμιση της σε παράλογες για τους επιβάτες τιμές. Η ρύθμιση της θερμοκρασίας σε κατάλληλα επίπεδα κρίνεται αναγκαία, όχι μόνο για την άνεση και την ασφάλεια των επιβατών και του πληρώματος, αλλά και για την καλή λειτουργία του ηλεκτρολογικού και μηχανολογικού εξοπλισμού του αεροσκάφους. Όμως, επειδή τα θερμικά φορτία δεν είναι ίδια σε όλα τα σημεία της καμπίνας, απαραίτητος είναι ο διαχωρισμός της σε ζώνες. Η

κάθε ζώνη διαθέτει αισθητήρα θερμοκρασίας και ανεξάρτητα ρυθμιζόμενη παροχή κλιματιζόμενου αέρα. Για παράδειγμα, η θερμοκρασία στο πιλοτήριο ρυθμίζεται ξεχωριστά από αυτή στην καμπίνα των επιβατών, που και αυτή χωρίζεται σε δύο ή περισσότερες επιμέρους ζώνες ελέγχου. Αυτό διευκολύνει την παροχή ενός πιο άνετου περιβάλλοντος στους επιβάτες, καθώς οι απαιτήσεις τους μπορεί να διαφέρουν από σημείο σε σημείο εντός της καμπίνας, λόγω της κίνησης του αέρα, της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας και άλλων παραγόντων.

Η θέση των αισθητήρων θερμοκρασίας του αέρα ποικίλλει, αλλά η θερμοκρασία μετριέται συνήθως στον αέρα που τροφοδοτεί μία ζώνη, καθώς αυτός εισέρχεται στην εκάστοτε ζώνη. Σε ορισμένες περιπτώσεις όμως, η θερμοκρασία μετριέται αφού ο παρεχόμενος αέρας αναμειγνύεται με τον υπάρχοντα αέρα. Παρά το γεγονός ότι η θερμοκρασία του αέρα ελέγχεται αυτόματα, η ρυθμισμένη θερμοκρασία μπορεί να αλλάξει από το πλήρωμα, σε περίπτωση σχολίων θερμικής δυσφορίας από τους επιβάτες. Οι θερμικές απαιτήσεις όμως δε διαφοροποιούνται μόνο ανάλογα με τη θέση, αλλά και κάθε μεμονωμένος επιβάτης μπορεί να έχει άλλες ανάγκες από τους διπλανούς του. Οι διαφορές αυτές των αναγκών μπορεί να οφείλονται αρχικά, σε διαφορές στο φύλο των επιβατών, στην ηλικία τους και στη σωματική τους διάπλαση. Ο μεταβολικός ρυθμός του κάθε επιβάτη επηρεάζει την αίσθησή του για το κατά πόσο η θερμοκρασία του περιβάλλοντος τον ικανοποιεί ή όχι, και έτσι οι παραπάνω παράγοντες διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στον βαθμό άνεσης που αισθάνεται. Καθώς η απαγωγή θερμότητας εξαρτάται από την επιφάνεια του σώματος, η σωματική διάπλαση διαμορφώνει και αυτή την αίσθηση των επιβατών, αφού ένα ψηλό και λιγνό άτομο έχει μεγαλύτερη αναλογία επιφάνειας προς όγκο και έτσι μπορεί να απαγάγει περισσότερο τη θερμότητα και επακόλουθα να ανεχθεί καλύτερα υψηλότερες θερμοκρασίες από ότι ένα άτομο με μεγαλύτερο δείκτη μάζας σώματος.

Ακόμα, οι συνήθειες των ατόμων σχετικά με την κατανάλωση φαγητού και ποτού έχουν αντίκτυπο στο μεταβολικό ρυθμό τους και συνεπακόλουθα στην αίσθησή τους για τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος της καμπίνας. Επικουρικά, ο ρουχισμός του κάθε επιβάτη επιδρά ουσιαστικά στο βαθμό απώλειας θερμότητας από αυτόν και έτσι στη θερμική ισορροπία του. Πολλά στρώματα ρούχων μονώνουν το άτομο και έτσι εμποδίζουν την απώλεια θερμότητας από αυτό, με αποτέλεσμα, τη διατήρηση του ατόμου ζεστού σε κρύες θερμοκρασίες ή στην υπερθέρμανσή του αν το περιβάλλον της καμπίνας είναι ζεστό.

Τέλος, ορμονολογικές διαφορές αλλά ακόμα και η σωματική και ψυχολογική κατάσταση του εκάστοτε ατόμου κάθε δεδομένη στιγμή μπορούν να συνδράμουν σε μία πιο ευχάριστη ή δυσάρεστη, ανάλογα, αίσθηση για τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Όμως, όπως προαναφέρθηκε και στην αντίστοιχη ενότητα, ο φωτισμός μπορεί και αυτός με τη σειρά του να έχει αντίκτυπο στην αίσθηση των επιβατών για τη θερμοκρασία του χώρου και συνεπακόλουθα για το βαθμό άνεσης που αισθάνονται εξαιτίας της. Ψυχρές αποχρώσεις τείνουν να κάνουν να άτομα να αισθάνονται πιο κρύο το περιβάλλον τους, ενώ αντίθετα οι θερμές αποχρώσεις πιο ζεστό. [69][70]

4.2.2. Μέθοδοι ελέγχου θερμικής άνεσης

Η Ευρωπαϊκή Αεροπορική Βιομηχανία (European Aviation Industry) έχει διεξαγάγει δύο διάσημα προγράμματα για τη διερεύνηση και τη βελτίωση της άνεσης των επιβατών. Τα προγράμματα αυτά ονομάζονταν Φιλικό Περιβάλλον Καμπίνας Αεροσκάφους (FACE) και Ιδανικό Περιβάλλον Καμπίνας (ICE), ενώ οι έρευνες για τη θερμική άνεση των επιβατών μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις τύπους. Στην πρώτη μέθοδο διεξήχθησαν δοκιμές σε εργαστηριακούς θαλάμους. Πρόκειται για μία πολύ βασική μέθοδο, με την οποία προέκυψε το ευρέως διαδεδομένο μοντέλο προβλεπόμενης μέσης τιμής αίσθησης (PMV). Το μοντέλο αυτό είναι ένα από τα πιο αναγνωρισμένα μοντέλα θερμικής άνεσης. Στη δεύτερη μέθοδο για τη μελέτη της θερμικής άνεσης των επιβατών στην καμπίνα, υιοθετήθηκε ένα μοντέλο θερμορύθμισης που δείχνει τη διαδικασία ανταλλαγής θερμότητας με λεπτομέρειες. Σε αυτή τη μέθοδο, το μοντέλο φυσιολογίας πολλαπλών τμημάτων συνδυάζεται συχνά με υπολογιστική ρευστοδυναμική (CFD) για την πρόβλεψη της θερμοκρασίας του δέρματος ενός ανθρώπινου σώματος. Στην τρίτη μέθοδο διεξάγονται έρευνες πεδίου για τη θερμική άνεση. Με αυτή τη μέθοδο, λαμβάνεται υπόψιν και η επιρροή χαρακτηριστικών των επιβατών, τα οποία δεν μπορούν να συνυπολογιστούν στα πειράματα που διεξάγονται σε έναν εργαστηριακό θάλαμο.

Σε έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί, παρατηρήθηκε το περιβάλλον της καμπίνας ενός αεροσκάφους σε 31 διαφορετικές πτήσεις και με βάση τα δεδομένα που μετρήθηκαν, αποδείχτηκε ότι η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια πολλών πτήσεων ήταν παράλογη, σύμφωνα με ένα διορθωμένο μοντέλο προβλεπόμενης μέσης τιμής αίσθησης (CPMV), για την εκτίμηση θερμικής άνεσης. Το μοντέλο προβλεπόμενης μέσης τιμής αίσθησης μπορεί να εκτιμήσει τη θερμική άνεση ατόμων σε ένα περιβάλλον με

ατμοσφαιρική πίεση ίση με αυτή του επιπέδου της θάλασσας και κατάλληλα ποσοστά υγρασίας. Όμως, στην καμπίνα ενός αεροσκάφους, τόσο η πίεση όσο και το ποσοστό υγρασίας στην ατμόσφαιρα, είναι σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα από τα φυσιολογικά στο επίπεδο της θάλασσας. Οι χαμηλότερες αυτές τιμές έχουν αντίκτυπο σε πολλούς όρους της εξίσωσης του ισοζυγίου βιοθερμότητας.

Για το λόγο αυτό, απαραίτητο κρίθηκε να διορθωθούν κάμποιοι από τους όρους, ώστε να μπορεί να αξιολογηθεί σωστά η θερμική άνεση των επιβατών ενός αεροσκάφους. Για την ανάπτυξη λοιπόν του διορθωμένου μοντέλου προβλεπόμενης μέσης τιμής αίσθησης (CPMV), έπρεπε να διορθωθούν οι παράγοντες που επηρεάζονται από τα χαμηλότερα επίπεδα πίεσης και υγρασίας, οι οποίοι ήταν τρεις. Ο βαθμός εφίδρωσης, που σαφώς επηρεάζεται από τα ποσοστά υγρασίας στο περιβάλλον, ο αριθμός Lewis, που αλλάζει λόγω της χαμηλότερης πίεσης αλλά και ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή. Έτσι, με τις αλλαγές αυτές προέκυψε το διορθωμένο μοντέλο προβλεπόμενης μέσης τιμής αίσθησης (CPMV), που χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της θερμικής άνεσης των επιβατών στις 31 πτήσεις, όπως προαναφέρθηκε.

Λόγω του ότι υπάρχουν πολλοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψιν όμως για τη χρήση του διορθωμένου μοντέλου προβλεπόμενης μέσης τιμής αίσθησης, η ρύθμιση της θερμοκρασίας της καμπίνας από το πλήρωμα με βάση τα αποτελέσματά του είναι δύσκολη. Ένα σχετικά απλό, προσαρμοστικό μοντέλο, που δέχεται ως παράμετρο μόνο τις κλιματικές συνθήκες της πόλης αναχώρησης (ET), χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια της έρευνας για την εκτίμηση και πάλι της θερμοκρασίας της καμπίνας στις ίδιες 31 πτήσεις. Το μοντέλο αυτό συνυπολογίζει τη θερμική ουδετερότητα των επιβατών, κατά την αξιολόγηση της θερμικής αίσθησής τους. Η ανάλυση αυτή έδειξε ότι τα αποτελέσματα της αξιολόγησης με τη χρήση των δύο διαφορετικών μοντέλων ήταν παρόμοια και συμφωνούσαν.

Ως εκ τούτου, προτάθηκε η χρήση του προσαρμοστικού μοντέλου ως μέθοδος καθορισμού της βέλτιστης θερμοκρασίας της καμπίνας του αεροσκάφους, για την σωστή ρύθμισή της από το πλήρωμα. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, η ουδέτερη θερμοκρασία και συνεπακόλουθα η ιδανική, είναι $21.5 C_0 + 0.11ET$, με όρια $\pm 2.5 C_0$. Η παράμετρος ET που ορίζει τις κλιματικές συνθήκες της πόλης αναχώρησης είναι συνάρτηση της μέσης εξωτερικής θερμοκρασίας και του ποσοστού υγρασίας σε αυτήν. Πλεονεκτεί λοιπόν σημαντικά το προσαρμοστικό αυτό μοντέλο σε σχέση με το διορθωμένο μοντέλο προβλεπόμενης μέσης τιμής αίσθησης, λόγω της απλότητας του και του ιδιαίτερα περιορισμένου αριθμού

παραμέτρων που απαιτεί. Καθώς, όπως προαναφέρθηκε, με τη χρήση των δύο διαφορετικών μεθόδων αξιολόγησης και υπολογισμού της ιδανικής θερμοκρασίας της καμπίνας του αεροσκάφους, τα αποτελέσματα ταυτίζονται, θεωρείται εξασφαλισμένη η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της έρευνας, που προτείνει τη χρήση του προσαρμοστικού μοντέλου. ^{[71][72]}

4.3. Υγρασία

4.3.1. Η ισχύουσα κατάσταση στις καμπίνες

Τα ποσοστά υγρασίας στην καμπίνα των αεροσκαφών είναι ιδιαίτερα χαμηλά. Ο εξωτερικός αέρας στα συνήθη υψόμετρα πτήσης έχει πολύ μικρό ποσοστό υγρασίας, που μπορεί να φτάσει και κάτω από 1%. Ακόμα και στην περίπτωση όμως που τα ποσοστά υγρασίας είναι υψηλότερα σε αυτόν, όπως προαναφέρθηκε, πριν εισέλθει στην καμπίνα των επιβατών υφίσταται αφύγρανση, με τη βοήθεια διαχωριστήρων που λειτουργούν φυγοκεντρικά. Η κύρια πηγή λοιπόν υγρασίας στην καμπίνα, στην συνήθη περίπτωση που δεν υπάρχουν ενεργοί υγραντήρες στο χώρο των επιβατών, προέρχεται από τους ίδιους τους επιβάτες, τόσο από την υγρασία του αέρα που εκπνέουν, όσο και από την εξάτμιση του ιδρώτα τους. Η εξάτμιση υγρασίας από τα τρόφιμα και τα ποτά μπορεί να συνεισφέρει ακόμα ένα μικρό ποσό υγρασίας στην ατμόσφαιρα της καμπίνας, καθώς και από τους χώρους υγιεινής.

Αφού ο νέος εισερχόμενος αέρας είναι ιδιαίτερα ξηρός, είναι σαφές ότι τα ποσοστά υγρασίας της καμπίνας είναι αντιστρόφως ανάλογα του ποσοστού εξωτερικού αέρα προς ανακυκλωμένο αέρα, στον αέρα που εισέρχεται από το σύστημα ελέγχου περιβάλλοντος του αεροσκάφους στην καμπίνα. Φυσικά, σε περιπτώσεις που χρησιμοποιείται αποκλειστικά φρέσκος εξωτερικός αέρας από το σύστημα ελέγχου περιβάλλοντος, χωρίς την ανάμιξη του με φιλτραρισμένο, ανακυκλωμένο αέρα της καμπίνας, τα ποσοστά υγρασίας είναι πολύ χαμηλότερα. Δυστυχώς, τα ποσοστά υγρασίας στα αεροσκάφη δεν παρακολουθούνται συνήθως. Παρόλα αυτά, κάποιες μετρήσεις έχουν πραγματοποιηθεί στα πλαίσια ερευνών, σε μικρό βεβαίως αριθμό πτήσεων. Τα δεδομένα που λήφθηκαν ως αποτέλεσμα των μετρήσεων αυτών ήταν σύμφωνα με τα αναμενόμενα, αποδεικνύοντας την έλλειψη άλλων σημαντικών πηγών υγρασίας κατά τη διάρκεια της πτήσης. Ο ρυθμός αερισμού της καμπίνας, σαν συνδυασμός ανακυκλωμένου αέρα και φρέσκου εξωτερικού αέρα,

μπορεί να οριστεί από τον πιλότο, καθώς υπάρχει η δυνατότητα λειτουργίας υψηλής ή χαμηλής έντασης ανάλογα με τον αριθμό των επιβατών και τις ανάγκες. Υπό κανονικές συνθήκες προτιμάται συνήθως η χαμηλής έντασης λειτουργία, για εξοικονόμηση καυσίμων. Υψηλότερες τιμές αερισμού και συνεπακόλουθα η υψηλής έντασης λειτουργία, δημιουργούν πιο άνετα περιβάλλοντα όμως για τους επιβάτες.

4.3.2. Δυσμενείς επιπτώσεις χαμηλής υγρασίας

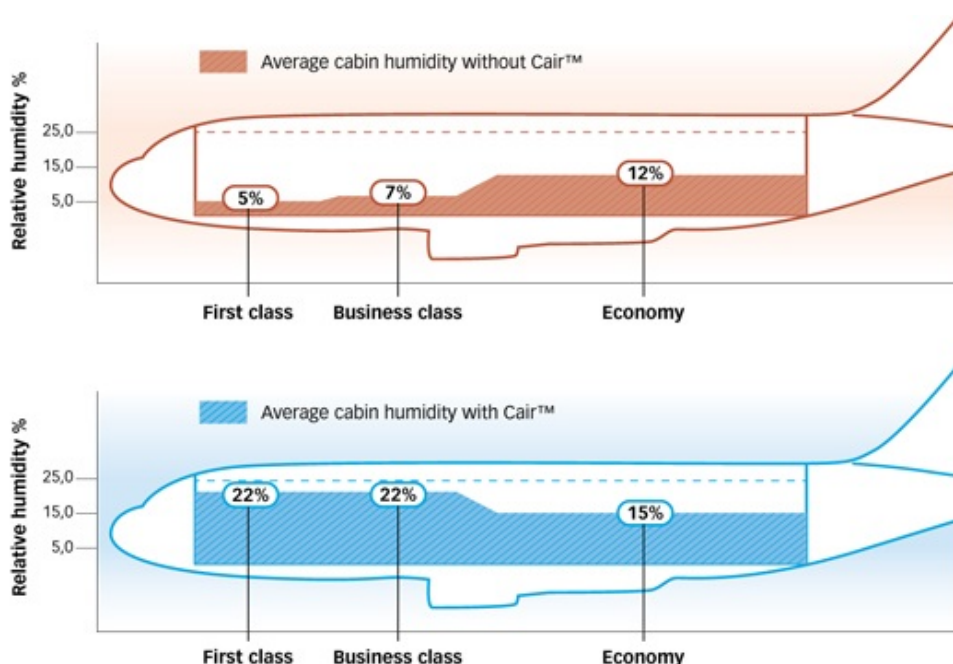
Η χαμηλή υγρασία στο χώρο επηρεάζει δραματικά την άνεση αλλά και την ευημερία των ατόμων. Μπορεί να προκαλέσει ξηρότητα στο δέρμα των επιβατών, ερεθισμό στο ρινικό βλεννογόνο και στο λαιμό, αλλά και κνησμό στα μάτια και ξηροφθαλμία. Επιπρόσθετα, αμφιλεγόμενο θεωρείται το κατά πόσο τα τόσο χαμηλά ποσοστά υγρασίας συσχετίζονται και με πιο σοβαρά προβλήματα υγείας, καθώς υποστηρίζεται ότι στεγνώνει η βλεννογόνος επένδυση του αναπνευστικού συστήματος, αυξάνοντας τον κίνδυνο για κρυολογήματα, γρίπες και άλλες λοιμώξεις, ενώ και οι ιοί της γρίπης θεωρείται ότι επιβιώνουν και εξαπλώνονται ευκολότερα σε τόσο χαμηλά ποσοστά υγρασίας.

Ως εκ τούτου, η σχετική υγρασία θα πρέπει να παρακολουθείται κατά τη διάρκεια των πτήσεων και να μπορεί να ρυθμίζεται σε καλύτερα επίπεδα, τόσο για την υγεία όσο και για την άνεση των επιβατών και του πληρώματος. Η μέτρησή της θα πρέπει να γίνεται στον αέρα που εξέρχεται από την καμπίνα του αεροσκάφους ή το πιλοτήριο. Καθώς, όπως προαναφέρθηκε, ο εξωτερικός αέρας ουσιαστικά δεν περιέχει καθόλου υγρασία, με αυτή τη μέτρηση θα παρέχεται μία ένδειξη για την αναλογία μεταξύ εσωτερικών πηγών υγρασίας, από τους επιβάτες, τα τρόφιμα και τα ποτά, και του εξωτερικού αέρα που τροφοδότησε την καμπίνα το σύστημα ελέγχου περιβάλλοντος του αεροσκάφους. Αισθητήρες για τη θερμοκρασία του αέρα θα πρέπει να τοποθετούνται μαζί με τους αισθητήρες σχετικής υγρασίας, έτσι ώστε οι μετρήσεις σχετικής υγρασίας να μπορούν με ακρίβεια να μετατραπούν σε τιμές απόλυτης υγρασίας, για καλύτερη αξιολόγηση. [73]

4.3.3. Προσπάθειες βελτίωσης

Τόσο η Airbus όσο και η Boeing αναγνωρίζοντας την επιτακτική ανάγκη για μεγαλύτερα ποσοστά υγρασίας για την υγεία και την ευημερία των ατόμων, προσφέρουν ενεργούς υγραντήρες για τα διαμερίσματα του πληρώματος. Δυστυχώς, ο χώρος των επιβατών αποτελεί άλλο θέμα.

Κατά ειρωνικό τρόπο, ο αέρας γίνεται ξηρότερος όσο μειώνεται ο αριθμός των ατόμων σε ένα χώρο. Έτσι, ενώ στην οικονομική θέση τα ποσοστά υγρασίας κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 10% και 15%, στην πρώτη θέση μπορεί να πέσουν ακόμα και στο 5%. Η Boeing εγκαθιστώντας σε ορισμένα αεροσκάφη της ένα σύστημα ελέγχου περιβάλλοντος που διαχειρίζεται την ανακύκλωση του αέρα της καμπίνας και τη χρήση φρέσκου εξωτερικού αέρα καλύτερα από τα προηγούμενα συστήματα, έχει καταφέρει να διατηρεί στα αεροσκάφη αυτά τα ποσοστά υγρασίας μεταξύ 10% και 15% σε ολόκληρη την καμπίνα των επιβατών, χωρίς τη χρήση ενεργών υγραντήρων. Αντίθετα, η Airbus δίνει την επιλογή χρήσης ενεργών υγραντήρων στην πρώτη θέση για την αύξηση του ποσοστού υγρασίας στο 20% με 25%, ενώ μέσω της επανακυκλοφορίας του αέρα στην καμπίνα αυξάνονται ταυτόχρονα και τα επίπεδα υγρασίας στην οικονομική θέση κατά 3% με 4% (Εικόνα 4. 7).



Εικόνα 4. 7: Διαφορές στα ποσοστά υγρασίας σε όλες τις κατηγορίες θέσεων της καμπίνας, χωρίς και με τη χρήση ενεργών υγραντήρων στην πρώτη θέση.

Όμως, οι υδρατμοί πρέπει να συλλέγονται από ξηραντήρες αέρα στην καμπίνα, για την αποφυγή συμπύκνωσής τους στη δομή του αεροσκάφους και συσσώρευσης νερού στα μονωτικά υλικά. Παρόλο που η διάβρωση θεωρείται ευρέως ως ο λόγος για τον οποίο δεν υπάρχουν εγκατεστημένοι υγραντήρες σε όλα τα αεροσκάφη, λόγω του μεταλλικού σκελετού τους, αυτή δεν αποτελεί το κυριότερο πρόβλημα. Όλα τα αεροσκάφη, είτε είναι κατασκευασμένα από αλουμίνιο είτε από

ανθρακονήματα, έρχονται αντιμέτωπα με το πρόβλημα της συμπύκνωσης γύρω από την άτρακτο. Καθώς η επιφάνεια της άτρακτου συνήθως ψύχεται περίπου στους -25οC κατά τη διάρκεια της πτήσης, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα στο εσωτερικό της άτρακτου πέφτει κάτω από το σημείο δρόσου και συμπυκνώνεται.

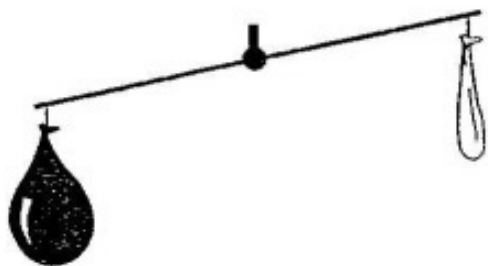
Για το λόγο αυτό, τα αεροσκάφη είναι εφοδιασμένα με διζωνικούς ξηραντήρες, για την αποφυγή της «βροχοπτώσης» στο εσωτερικό τους. Αν και ο βαθμός συμπύκνωσης εξαρτάται από τις συνθήκες λειτουργίας, δε θεωρείται ασυνήθιστη η συσσώρευση 200kg νερού στο μονωτικό υλικό του αεροσκάφους. Το Boeing 787 διαθέτει δύο ξηραντήρες ζωνών στον βασικό εξοπλισμό του, ενώ και στο Airbus A350 αυτό το σύστημα είναι απαραίτητο, λόγω των υγραντήρων που διαθέτει στην πρώτη θέση. Παρόλα αυτά, τα μεταλλικά αεροσκάφη μπορούν να εφοδιαστούν με υγραντήρες, για την άνεση και την καλή υγεία των επιβατών, εάν κάτι τέτοιο ζητηθεί από τις αεροπορικές εταιρείες. Όμως, πέραν των προβλημάτων που προαναφέρθηκαν, κάτι τέτοιο αυξάνει και την πολυπλοκότητα στο πάνω μέρος της καμπίνας, καθώς εκεί είναι τοποθετημένα και τα συστήματα κλιματισμού και χώροι αποσκευών των επιβατών. Ακόμα, πολύ βασικό πρόβλημα των υγραντήρων, αποτελεί το γεγονός ότι για τη λειτουργία τους απαιτείται νερό, το οποίο προσθέτει βάρος στο αεροσκάφος. Περίπου 50 με 100 λίτρα νερό απαιτούνται για την ύγρανση του χώρου της πρώτης θέσης σε μία πτήση διάρκειας 10 ωρών, κρίσιμο χαρακτηριστικό των υγραντήρων που καθιστά και αυτό δυστυχώς δύσκολη τη χρήση τους. [74]

4.4. Πίεση

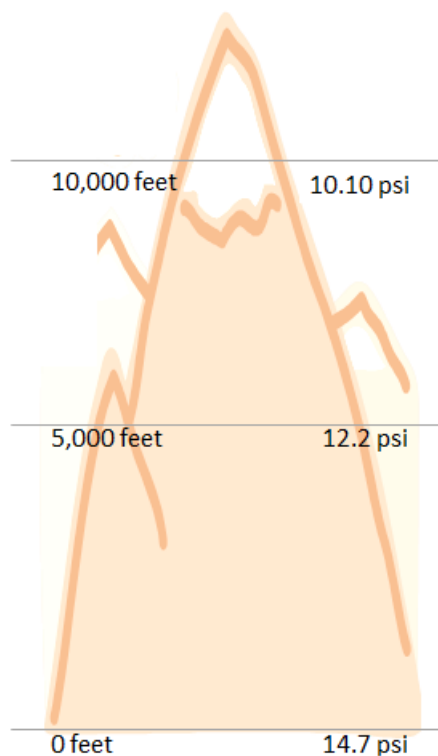
4.4.1. Χάσμα μεταξύ ιδανικών συνθηκών ανθρώπων και αεροπλάνων

Ο αέρας έχει μάζα (Εικόνα 4. 8). Τα ανώτερα στρώματα του αέρα λοιπόν ασκούν δύναμη λόγω του βάρους τους στα κατώτερα και συνεπακόλουθα ο αέρας στα στρώματα αυτά έχει μεγαλύτερη πυκνότητα. Έτσι λοιπόν η ατμοσφαιρική πίεση μεταβάλλεται με το ύψος, αφού η πυκνότητα του αέρα είναι μεγαλύτερη όσο πλησιάζουμε την επιφάνεια της θάλασσας και μικρότερη όσο απομακρυνόμαστε καθ' ύψος από αυτήν. Το ανθρώπινο σώμα είναι φτιαγμένο έτσι ώστε να εξισορροπεί την πίεση που δέχεται από τον αέρα στο επίπεδο της θάλασσας, ενώ μεγάλες διαφορές σε αυτή μπορούν να οδηγήσουν και

στο θάνατο. Η διαφορά στην ατμοσφαιρική πίεση είναι που κάνει και τα αυτιά των ατόμων να βουλώνουν όταν ανεβαίνουν οδηγώντας ένα βουνό ή έναν γρήγορο ανελκυστήρα. Στην επιφάνεια της θάλασσας η ατμοσφαιρική πίεση είναι 14.7 psi (1 atm), ενώ αντίστοιχα σε υψόμετρο 1700 μέτρων είναι 12 psi (0.82 atm). Στα 3000 μέτρα η πίεση είναι 10 psi (0.68 atm), ακόμα ανεκτή από τα άτομα, ενώ ανεβαίνοντας και άλλο υψόμετρο η πίεση μειώνεται πολύ γρήγορα (Εικόνα 4. 9). Στα 5500 μέτρα η πίεση είναι μόλις 7.3 psi (0.5 atm) και το διαθέσιμο οξυγόνο δεν επαρκεί, με αποτέλεσμα, ένας ενήλικας να διατηρεί τις αισθήσεις του μόνο για 20 με 30 λεπτά. Στα 10000 μέτρα που πετάνε συνήθως τα αεροπλάνα, η ατμοσφαιρική πίεση είναι 4 psi (0.27 atm) και ο χρόνος που μπορεί ένας ενήλικας να διατηρήσει τις αισθήσεις του είναι λιγότερο από ένα λεπτό, ενώ σχεδόν αμέσως μετά επέρχεται ο θάνατος.



Εικόνα 4. 8: Ο αέρας έχει μάζα.



Εικόνα 4. 9: Διαμόρφωση ατμοσφαιρικής πίεσης ανάλογα με το υψόμετρο.

Τα αεροπλάνα θα μπορούσαν βέβαια να πετάνε σε χαμηλότερα ύψη, ώστε η ατμοσφαιρική πίεση να είναι ανεκτή, αλλά κάτι τέτοιο θα είχε σημαντικά μειονεκτήματα. Αρχικά, είναι αρκετά δύσκολο το να διασχίσει ένα αεροσκάφος μία οροσειρά 4500 μέτρων σε υψόμετρο 3000 μέτρων. Εκτός αυτού όμως, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, οι κακές καιρικές συνθήκες είναι σε χαμηλό υψόμετρο. Επιπρόσθετα, οι στροβιλοκινητήρες είναι μη αποδοτικοί στα χαμηλά υψόμετρα και ταυτόχρονα οι ταχύτητες των αεροσκαφών είναι χαμηλότερες στα υψόμετρα αυτά. Έτσι, για γρήγορη και ομαλή πτήση με ένα αποδοτικό αεροσκάφος που μπορεί να διασχίσει μία οροσειρά με ευκολία είναι απαραίτητη η πτήση σε μεγάλα υψόμετρα. Οι άνθρωποι χρειαζόμαστε αέρα για να ζήσουμε με επαρκή πίεση και έτσι το ιδανικό υψόμετρο για εμάς είναι του επιπέδου της θάλασσας. Αντίθετα, τα αεροσκάφη λειτουργούν καλύτερα όπως προαναφέρθηκε σε μεγάλα υψόμετρα, που ο αέρας είναι πιο αραιός και λείος. Έτσι προέκυψε ένα πρόβλημα με την εφεύρεση των αεροπλάνων, καθώς αυτά ευδοκιμούν εκεί που οι άνθρωποι δεν το κάνουν. Αυτό έγινε εμφανές όταν η ισχύς των κινητήρων τους αυξήθηκε τόσο, ώστε οι αεροπόροι κατάφεραν να φτάσουν υψόμετρα στα οποία δεν μπορούσαν να διατηρήσουν τις αισθήσεις τους. [75]

4.4.2. Η δημιουργία των πρώτων υπό πίεση αεροσκαφών

Για την επιβίωσή τους λοιπόν, οι επιβαίνοντες των αεροπλάνων χρειάζονται βοήθεια με την αναπνοή. Αρχικά, οι αεροπόροι χρησιμοποιούσαν δεξαμενές γεμάτες με πεπιεσμένο οξυγόνο, το οποίο εισέπνεαν με σωλήνες από καουτσούκ, για να μπορέσουν να ανταπεξέλθουν (Εικόνα 4. 10). Στη συνέχεια, η χρήση μίας μάσκας προσώπου έκανε πιο αξιόπιστη τη διαδικασία πρόσληψης οξυγόνου (Εικόνα 4. 11). Το σύστημα αυτό εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα σε ορισμένα αεροσκάφη, στρατιωτικού τύπου κυρίως. Το πρώτο αεροσκάφος με θάλαμο υπό πίεση κατασκευάστηκε το 1937 και είχε σχεδιαστεί με άτρακτο κυκλικής διατομής, για την εξάλειψη των σημείων υψηλής έντασης, όταν αυτή τίθετο υπό πίεση και διαστελλόταν. Τα ανοίγματα σε αυτό είχαν σφραγιστεί, για τον περιορισμό της διαφυγής του αέρα, και τα παράθυρα είχαν μικρύνει και ενισχυθεί. Η καμπίνα φτιάχτηκε σαν κάψουλα υψηλής πίεσης, σαν ένα μεγάλο αλουμινένιο κονσερβοκούτι.



Εικόνα 4. 10: Πρόσληψη οξυγόνου από δεξαμενή πεπιεσμένου οξυγόνου, με τη χρήση σωλήνα.



Εικόνα 4. 11: Χρήση μάσκας προσώπου, για την πιο αξιόπιστη λήψη οξυγόνου, από δεξαμενή πεπιεσμένου οξυγόνου.

Το 1940 με αεροσκάφος της Boeing ξεκίνησαν να πετούν επιβάτες με άνεση στα 6000 μέτρα. Σήμερα, όλα τα επιβατηγά αεροσκάφη θέτονται υπό πίεση κατά τη διάρκεια της πτήσης και παρόλο που κάποιες λεπτομέρειες μπορεί να διαφέρουν μεταξύ τους, τα βασικά στοιχεία των συστημάτων συμπίεσης είναι σχεδόν πανομοιότυπα. Θεωρητικά, συγκρίνοντας το αεροσκάφος με κονσερβοκούτι, θα μπορούσε κανείς να σκεφτεί ότι σφραγίζοντάς το εντελώς, καθώς υψώνεται στον αέρα η εσωτερική πίεση θα παρέμενε ίδια, χωρίς την ανάγκη συμπίεσης. Δυστυχώς κάτι τέτοιο δεν θα μπορούσε να εφαρμοστεί με επιτυχία, καθώς είναι ιδιαίτερα δύσκολο το να σφραγιστεί τέλεια η τεράστια άτρακτος ενός αεροσκάφους. Ακόμα και αν κάτι τέτοιο πραγματοποιούνταν όμως, χωρίς φρέσκο αέρα οι επιβάτες θα κατανάλωναν το διαθέσιμο οξυγόνο αρκετά σύντομα. Τέλος, η ποιότητα του αέρα αλλά και οι μυρωδιές είναι

σαφές ότι δε θα ήταν καθόλου ευχάριστες, σε έναν απόλυτα σφραγισμένο χώρο με τόσα άτομα. Προφανώς κάποια τροποποίηση από αυτή τη λογική ήταν απαραίτητη. Το αεροσκάφος λοιπόν μοιάζει περισσότερο με ένα κονσερβοκούτι με μία τρύπα στο πίσω μέρος (Εικόνα 4. 12). Η σύγκριση αυτή δεν είναι τόσο υπερβολική όσο θα μπορούσε να φανταστεί κανείς. Σε ένα αεροπλάνο αυτό που διαχωρίζει το μέσα από το έξω είναι μία πλαστική επένδυση στο εσωτερικό, κάποια μόνωση και ένα λεπτό περίβλημα αλουμινίου. Αυτό είναι όλο.



Εικόνα 4. 12: Ύπαρξη τρύπας στο πίσω μέρος του αεροσκάφους.

Η λύση των προβλημάτων που προαναφέρθηκαν είναι η συνεχής άντληση φρέσκου, εξωτερικού αέρα, αυξάνοντάς του την πίεση, για να έχει η καμπίνα την κατάλληλη πίεση για τους επιβάτες και το πλήρωμα. Για τον έλεγχο της πίεσης της καμπίνας και για την έξοδο του παλιού και βρώμικου αέρα από αυτή, υπάρχει μία αυτόματη θύρα στο πίσω μέρος του αεροσκάφους που ονομάζεται βαλβίδα εκροής αερίων και απελευθέρωσης πίεσης (Εικόνα 4. 13). Έχει περίπου το μέγεθος ενός χαρτοφύλακα και βρίσκεται στο πλαϊνό ή στο κάτω μέρος της ατράκτου. Τα μεγαλύτερου μεγέθους αεροσκάφη έχουν συχνά δύο τέτοιες βαλβίδες. Οι βαλβίδες αυτές ελέγχονται αυτόματα από το σύστημα συμπίεσης του αεροσκάφους. Εάν η πίεση στην καμπίνα χρειάζεται να αυξηθεί, τότε η θύρα κλείνει, ενώ σε περίπτωση που πρέπει να μειωθεί, τότε ανοίγει σταδιακά, επιτρέποντας σε περισσότερο αέρα να εξέλθει. Πρόκειται για ένα από τα απλούστερα συστήματα ενός αεροπλάνου.



Εικόνα 4. 13: Η βαλβίδα εκροής αερίων και απελευθέρωσης πίεσης του αεροσκάφους.

Αρχικά, στα παλιά εμβολοφόρα αεροσκάφη, για την παροχή πεπιεσμένου αέρα στην καμπίνα, χρησιμοποιούνταν ηλεκτρικοί αεροσυμπιεστές, που αντλούσαν φρέσκο, εξωτερικό αέρα (Εικόνα 4. 14). Αυτού του είδους το σύστημα λειτουργούσε καλά, αλλά δυστυχώς οι συμπιεστές προσέθεταν πολύ βάρος στο αεροπλάνο. Στα πρώτα αεριωθούμενα αεροσκάφη, απομαστευόμενος αέρας από τις μηχανές χρησιμοποιούνταν για τη λειτουργία στροβιλοσυμπιεστών (Εικόνα 4. 15). Οι στροβιλοσυμπιεστές στη συνέχεια τροφοδοτούσαν την καμπίνα με φρέσκο, συμπιεσμένο αέρα.



Εικόνα 4. 14: Εμβολοφόρο αεροσκάφος - Boeing Stratocruiser.



Εικόνα 4. 15: Από τα πρώτα αεριωθούμενα αεροσκάφη – Boeing 707.

Τα περισσότερα σύγχρονα αεροσκάφη χρησιμοποιούν απομαστευόμενο αέρα από το τμήμα του συμπιεστή του κινητήρα για τη συμπίεση της καμπίνας (Εικόνα 4. 16). Αυτός ο πολύ ζεστός αέρας βέβαια είναι απαραίτητο να ψυχθεί έως ότου φτάσει μία άνετη θερμοκρασία, προτού διοχετευθεί στην καμπίνα. Στο τελευταίο μοντέλο της εταιρείας Boeing επανήλθε η χρήση ηλεκτρικών αεροσυμπιεστών, όπως χρησιμοποιούνταν στα παλιά εμβολοφόρα (Εικόνα 4. 17). Η πρόοδος που έχει σημειωθεί σε αυτή την τεχνολογία καθιστά αυτούς τους αεροσυμπιεστές πολύ πιο αποδοτικούς από τους προκατόχους τους τη δεκαετία του 1950. [76][77]



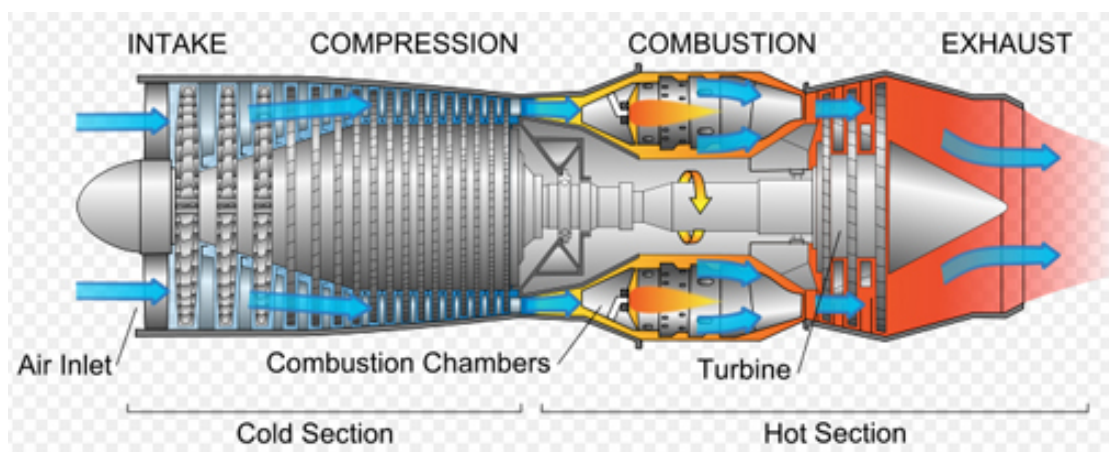
Εικόνα 4. 16: Σύγχρονο αεροσκάφος – MD-88.



Εικόνα 4. 17: Το πιο πρόσφατο μοντέλο της εταιρείας Boeing – Boeing 787.

4.4.3. Διαδικασίες λειτουργίας κινητήρα

Εάν ανοίξει κανείς έναν σύγχρονο κινητήρα αεροσκάφους, θα δει ότι αυτός χωρίζεται σε τέσσερις βασικές ενότητες (Εικόνα 4. 18). Στο μπροστινό τμήμα, εκεί από όπου εισέρχεται ο αέρας, υπάρχει το στάδιο του συμπιεστή. Λεπίδες συμπιέζουν τον αέρα που εισέρχεται από τον αεραγωγό. Στη συνέχεια, το καύσιμο εισέρχεται στο συμπιεσμένο αέρα και αναφλέγεται στο θάλαμο καύσης. Ο αέρας διαστέλλεται σε μεγάλο βαθμό λόγω της καύσης και διέρχεται από έναν στρόβιλο, περιστρέφοντάς τον. Ο στρόβιλος είναι συνδεδεμένος με τον συμπιεστή και έτσι με την περιστροφή του περιστρέφεται και ο συμπιεστής. Τέλος, βρίσκεται το σύστημα εξαγωγής, με το οποίο τα καυσαέρια εξέρχονται από τον κινητήρα δημιουργώντας την ώθηση που διατηρεί το αεροπλάνο στον αέρα.



Εικόνα 4. 18: Στάδια λειτουργίας κινητήρα αεροσκάφους.

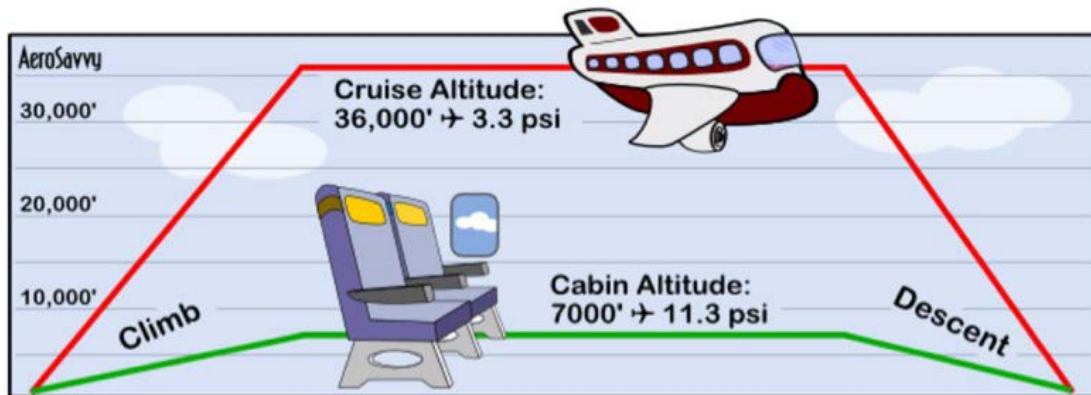
Με τη δημιουργία λοιπόν ενός ανοίγματος στον κινητήρα, μεταξύ του σταδίου συμπίεσης και του σταδίου καύσεως, πριν τη διοχέτευση του καυσίμου στο συμπιεσμένο αέρα, υψηλής πίεσης αέρας μπορεί να απομαστευθεί από τον κινητήρα και να τροφοδοτήσει το θάλαμο για τη διατήρηση της κατάλληλης πίεσης σε αυτόν. Επειδή ο αέρας αυτός έχει μόλις τεθεί υπό πίεση ή θερμοκρασία του είναι ιδιαίτερα υψηλή. Για αυτό το λόγο είναι απαραίτητη, όπως προαναφέρθηκε, η ψύξη του από το σύστημα ελέγχου περιβάλλοντος, με την εκμετάλλευση του τόσο κρύου εξωτερικού αέρα που είναι διαθέσιμος. ^{[76][77]}

4.4.4. Η ατμοσφαιρική πίεση στο εσωτερικό της καμπίνας

Η ατμοσφαιρική πίεση στην καμπίνα του αεροσκάφους μετριέται συνεχώς και είναι υπό τον ακριβή έλεγχο ενός αυτόματου συστήματος. Η παροχή πεπιεσμένου αέρα από το σύστημα ελέγχου περιβάλλοντος αλλά και η απελευθέρωση αέρα από την καμπίνα μέσω της βαλβίδας εκροής αερίων και απελευθέρωσης πίεσης αντισταθμίζονται αυτόματα για τη διατήρηση της πίεσης της καμπίνας στα επιθυμητά επίπεδα. Σημαντικό είναι βεβαίως το γεγονός ότι η πίεση του αέρα στο εσωτερικό των αεροσκαφών δεν είναι ίση με αυτή του επιπέδου της θάλασσας και ότι συνήθως κατά τη διάρκεια της πτήσης ορίζεται περίπου στα 11 με 12 psi (0.75 – 0.82 atm), όση είναι φυσιολογικά δηλαδή σε υψόμετρο περίπου 1830 με 2440 μέτρων. Το σύστημα είναι σχεδιασμένο να λειτουργεί κατά τέτοιο τρόπο, ώστε η διαφορά της πίεσης κατά μήκος της ατράκτου να μην υπερβαίνει ένα καθορισμένο όριο και ταυτόχρονα να διασφαλίζεται ότι, υπό συνήθους συνθήκες τουλάχιστον, η ατμοσφαιρική πίεση στην καμπίνα να μην πέφτει κάτω από τα 11 psi (0.75 atm), έχοντας μέγιστο υψόμετρο πίεσης τα 2440 μέτρα.

Σε μία τυπική πτήση, καθώς το αεροπλάνο ανεβαίνει στα 11000 μέτρα, στα οποία η εξωτερική ατμοσφαιρική πίεση είναι μόλις 3.3 psi (0.22 atm), η καμπίνα ανεβαίνει και αυτή σε ένα εικονικό υψόμετρο των 1830 με 2440 μέτρων, έχοντας έτσι ατμοσφαιρική πίεση εντός της περίπου 11 με 12 psi (0.75 – 0.82 atm) (Εικόνα 4. 19). Όσο το αεροσκάφος βρίσκεται στο έδαφος, η καμπίνα του δεν είναι υπό πίεση και η βαλβίδα εκροής αερίων και απελευθέρωσης πίεσης είναι ανοιχτή. Πριν την πτήση ο πιλότος θέτει το υψόμετρο πτήσης στον ελεγκτή πίεσης της καμπίνας. Από εκεί και έπειτα, ο έλεγχος της ατμοσφαιρικής πίεσης γίνεται αποκλειστικά από το

σύστημα ελέγχου της αυτόματα. Αμέσως μετά την απογείωση η βαλβίδα αρχίζει να κλείνει και η καμπίνα ξεκινάει να τίθεται υπό πίεση.



Εικόνα 4. 19: Πραγματικό και εικονικό υψόμετρο καμπίνας κατά τη διάρκεια της πτήσης.

Το αεροπλάνο συνήθως ανεβαίνει εκατοντάδες μέτρα το λεπτό, αλλά στο εσωτερικό της καμπίνας ο εικονικός ρυθμός ανόδου του είναι πολύ μικρότερος και θα μπορούσε να συγκριθεί με το ανέβασμα ενός λόφου οδηγώντας. Κατά μέσο όρο απαιτούνται περίπου 20 λεπτά για την άνοδο του αεροσκάφους στο υψόμετρο πορείας του, που συνήθως είναι περίπου 10700 μέτρα, αλλά ο ρυθμός ανόδου που αντιλαμβάνονται οι επιβάτες είναι πολύ μικρότερος, καθώς αισθάνονται μία άνοδο 100 μέτρων το λεπτό μόνο, με εικονικό τελικό υψόμετρο πτήσης 2000 μέτρων περίπου. Αυτός ο ρυθμός ανόδου που αισθάνονται οι επιβάτες είναι ικανός να κάνει τα αυτιά τους να βουλώσουν, αλλά τους διατηρεί υγιείς. Κατά την κάθοδο του αεροσκάφους, ο πιλότος εισάγει στο σύστημα το υψόμετρο του αεροδρομίου του προορισμού και η διαδικασία λειτουργεί αντίστροφα.

Το εικονικό υψόμετρο της καμπίνας λοιπόν δεν διατηρείται στο επίπεδο της θάλασσας και συνεπακόλουθα η ατμοσφαιρική πίεση στο εσωτερικό της δεν είναι σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια της πτήσης στα 14.7 psi (1 atm), παρόλο που κάτι τέτοιο θα μεγιστοποιούσε την άνεση των επιβατών. Αυτό συμβαίνει γιατί τα αεροσκάφη είναι σχεδιασμένα να αντέχουν συγκεκριμένες τιμές διαφορετικής πίεσης, δηλαδή διαφοράς μεταξύ της πίεσης στο εσωτερικό του αεροσκάφους από την εξωτερική. Για την κατανόηση της διαφορετικής πίεσης, αξίζει να σημειωθεί ότι η υπέρβαση του ορίου του στη διαφορετική πίεση είναι αυτό που κάνει ένα μπαλόνι να σκάει, όταν φουσκώνεται πολύ. Όσο μεγαλύτερη διαφορετική πίεση απαιτούμε να αντέχει ένα αεροσκάφος, τόσο ισχυρότερα κατασκευασμένο και βαρύτερο χρειάζεται να είναι. Η δομική αντοχή

λοιπόν του αεροπλάνου καθορίζει πόση διαφορική πίεση μπορεί να αντέξει η άτρακτος.

Τα νέα τύπου αεροσκάφη περνούν πάρα πολλούς ελέγχους, κατά τους οποίους η άτρακτός τους τίθεται υπό πίεση και στη συνέχεια αποσυμπιέζεται πολλές χιλιάδες φορές, με σκοπό να εξασφαλιστεί η ακεραιότητά τους. Όσο μεγαλύτερη η αντοχή τους, τόσο πιο κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας μπορεί το σύστημα να διατηρήσει εικονικά την καμπίνα. Είναι εφικτή η κατασκευή ενός αεροπλάνου που μπορεί να αντέξει τη διατήρηση της πίεσης της καμπίνας στα 14.7 psi (1 atm), όσο είναι στο επίπεδο της θάλασσας, κατά τη διάρκεια ολόκληρης της πτήσης. Κάτι τέτοιο όμως θα απαιτούσε σημαντική αύξηση της αντοχής και του βάρους του και έτσι κρίνεται ότι ατμοσφαιρική πίεση 12 psi (0.82 atm) στο εσωτερικό της καμπίνας είναι καλή λύση σαν υποχώρηση. ^{[76][77]}

4.4.5. Δυσλειτουργίες συστήματος πίεσης καμπίνας

Στο σύστημα ελέγχου της πίεσης της καμπίνας υπάρχουν δύο ξεχωριστές αυτόματες λειτουργίες και μία χειροκίνητη, που δίνει τη δυνατότητα ρύθμισης της βαλβίδας εκροής αερίων και απελευθέρωσης πίεσης στους πιλότους, σε περίπτωση που και τα δύο αυτόματα συστήματα δυσλειτουργούν (Εικόνα 4. 20). Βεβαίως, κάτι τέτοιο είναι ιδιαίτερα απίθανο, καθώς τα συστήματα ελέγχου πίεσης λειτουργούν εξαιρετικά και πολύ σπάνια δημιουργούν οποιοδήποτε πρόβλημα. Σε περίπτωση αποσυμπίεσης του θαλάμου, λόγω κάποιας ρήξης της ατράκτου ή κάποιου παραθύρου, η χρήση των μασκών οξυγόνου κρίνεται απαραίτητη και έτσι γίνονται διαθέσιμες στους επιβάτες αυτόματα, εάν το υψόμετρο πτήσης είναι πάνω από 4270 μέτρα. Ο πιλότος είναι αναγκαίο επίσης να ξεκινήσει άμεσα την κάθοδο σε ένα ασφαλές υψόμετρο, όπως τα 2500 μέτρα. Το οξυγόνο που χρησιμοποιείται στις μάσκες δεν προέρχεται από δεξαμενές οξυγόνου υπό πίεση, αφού κάτι τέτοιο θα αύξανε σημαντικά το βάρος.



Εικόνα 4. 20: Σύστημα ελέγχου πίεσης των Boeing 757 & 767.

Αντίθετα, τραβώντας προς τα κάτω μίας εκ των μασκών, ξεκινάει η ανάφλεξη ενός μείγματος χλωριούχου νατρίου και σκόνης σιδήρου, που παράγει οξυγόνο και το παρέχει στις μάσκες (Εικόνα 4. 21). Το αεροσκάφος διαθέτει ένα τέτοιο σύστημα σε κάθε ένα εκ των ντουλαπιών που υπάρχουν στο πάνω μέρος της καμπίνας αλλά και στους χώρους του πληρώματος και στις τουαλέτες, για να είναι δυνατή η παροχή οξυγόνου σε όλους τους επιβάτες και τα μέλη του πληρώματος, ανεξαρτήτως του που βρίσκονται.



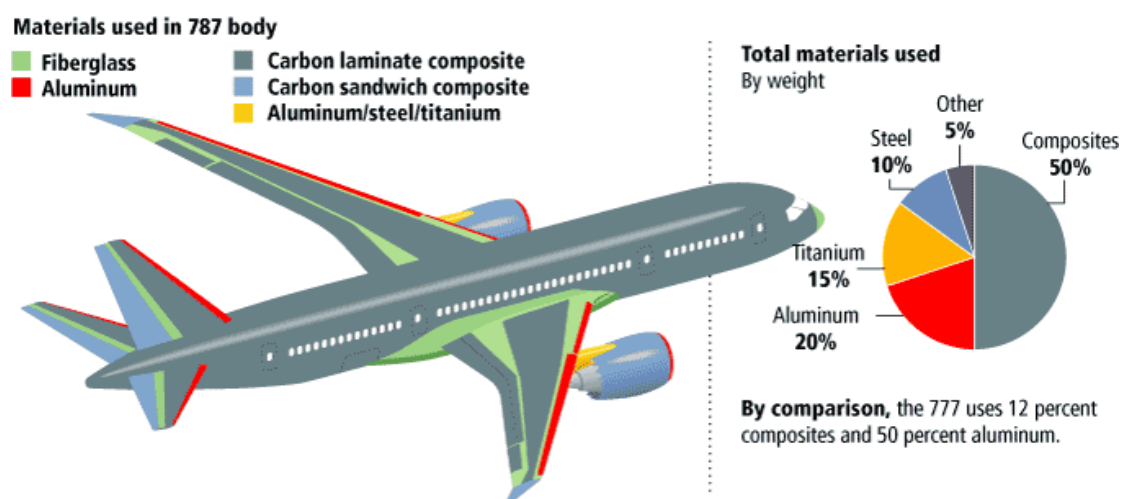
Εικόνα 4. 21: Μηχανισμός παραγωγής οξυγόνου και ατομικές μάσκες.

Τα συστήματα αυτά λειτουργούν μεμονωμένα και είναι ικανά να παράσχουν οξυγόνο για τουλάχιστον 15 λεπτά, ενώ δεν είναι δυνατή η αναστολή της λειτουργίας τους από τη στιγμή που θα ξεκινήσει η χημική αντίδραση. Κατά τη διάρκεια της παραγωγής του οξυγόνου η γεννήτρια γίνεται εξαιρετικά καυτή και για αυτό το λόγο δεν πρέπει να αγγίζεται. Ένα τέτοιο σύστημα είναι πολύ ελαφρύτερο από τη φιάλη οξυγόνου που θα απαιτούνταν αντίστοιχα. Σύμφωνα με τους κανονισμούς, οι πιλότοι χρειάζονται οξυγόνο αν πετάνε σε υψόμετρο μεταξύ 3810 μέτρων και 4270 μέτρων, για πάνω από 30 λεπτά, ενώ για υψόμετρα άνω των 4270 μέτρων το οξυγόνο κρίνεται απαραίτητο καθ' όλη τη διάρκεια. Σε υψόμετρα άνω των 4570 μέτρων, οξυγόνο πρέπει να παρέχεται σε όλους τους επιβάτες και στα μέλη του πληρώματος. [76][77]

4.4.6. Προσπάθειες βελτίωσης

Η διατήρηση της ατμοσφαιρικής πίεσης και της υγρασίας στην καμπίνα σε υψηλότερα επίπεδα, που βελτιώνει την αίσθηση άνεσης των επιβατών, κατέστη εφικτή με την αλλαγή στο υλικό της ατράκτου από αλουμίνιο σε ανθρακονήματα. Η Boeing και η Airbus ακολούθησαν διαφορετικές τεχνολογικές στρατηγικές για τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα στα αεροσκάφη τους, αλλά ακόμα δεν έχει κριθεί ποια έχει καταφέρει να προσφέρει μεγαλύτερη άνεση στους επιβάτες και αν όντως η μετατροπή στο υλικό της ατράκτου αποτελεί παράγοντα ουσιαστικής βελτίωσης στην αίσθηση των επιβατών.

Η Boeing χρησιμοποίησε εκτεταμένα πλαστικό ενισχυμένο με ανθρακονήματα στην κατασκευή του 787, λόγω του ότι είναι ελαφρύ και ως σύνθετο υλικό, ανθεκτικότερο στην κόπωση από τα παραδοσιακά μέταλλα (Εικόνα 4. 22). Το χαρακτηριστικό αυτό επιτρέπει υψηλότερη πίεση στο εσωτερικό της ατράκτου και χαμηλότερο υψόμετρο καμπίνας κατά τη διάρκεια της πτήσης. Τα συμβατικά αεροσκάφη που είναι κατασκευασμένα από αλουμίνιο θα μπορούσαν να διατηρήσουν υψηλότερη πίεση στην καμπίνα από αυτή που ορίζεται από τα πρότυπα λειτουργίας τους, αλλά κάτι τέτοιο θα μείωνε τη διάρκεια ζωής τους. Στο 787 όμως, η Boeing κατάφερε να μειώσει το μέγιστο υψόμετρο της καμπίνας από τα 2440 μέτρα στα 1830 μέτρα.



Εικόνα 4. 22: Υλικά που χρησιμοποιούνται για το σκελετό του Boeing 787.

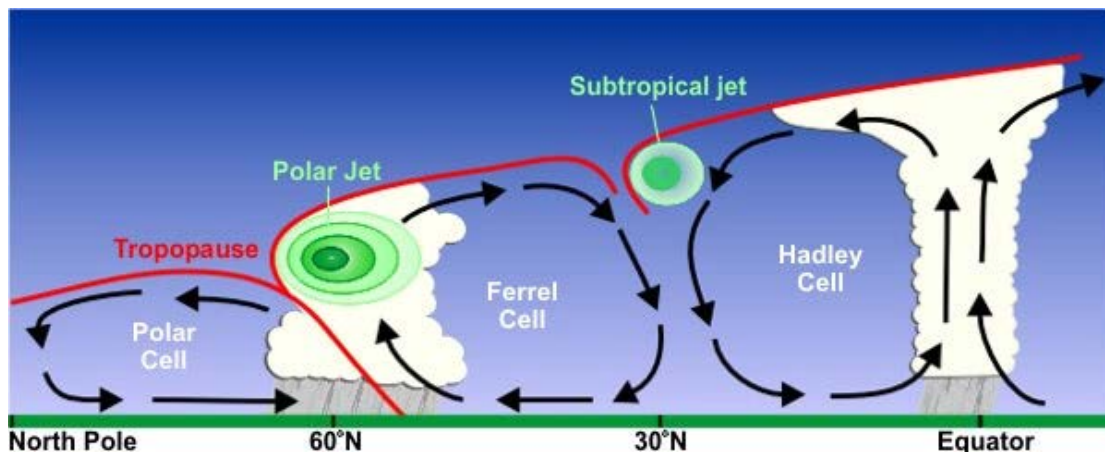
Πρόσφατη έρευνα έδειξε όμως ότι μείωση του υψομέτρου της καμπίνας αυτής της τάξης δεν επηρεάζει ουσιαστικά την αίσθηση άνεσης των επιβατών. Από μελέτες του πανεπιστημίου της Οκλαχόμα για τις

κλιματικές συνθήκες της καμπίνας έχει παρατηρηθεί ότι υπάρχει ένα κομβικό σημείο στις καμπύλες άνεσης στα περίπου 1830 μέτρα, πάνω από το οποίο εμφανίζονται αρνητικά συμπτώματα όπως πονοκέφαλοι και μυϊκοί πόνοι. Ωστόσο, φάνηκε επίσης ότι ο ρυθμός με τον οποίο μειώνεται ή αυξάνεται η ατμοσφαιρική πίεση στην καμπίνα φαίνεται να έχει σημαντική επίδραση στην άνεση των επιβατών. Η Airbus αξιοποίησε τις μελέτες αυτές και ένταξε τα αποτελέσματά τους στους αλγόριθμους της του λογισμικού για τον έλεγχο του συστήματος πίεσης. Έτσι, το υψόμετρο της καμπίνας αλλάζει πιο ομαλά και με διαφορετικό ρυθμό από αυτό της ανόδου και της καθόδου του αεροσκάφους. Όταν το αεροπλάνο ανεβαίνει προς το τελικό υψόμετρο πτήσης του, ο ρυθμός συμπίεσης μειώνεται καθώς η καμπίνα πλησιάζει το τελικό υψόμετρο συμπίεσης της. [76][77]

4.5. Λοιπές κλιματικές συνθήκες

4.5.1. Όζον

Το όζον βρίσκεται σε υψηλές συγκεντρώσεις στην στρατόσφαιρα, όπου σχηματίζεται από τη UV φωτόλυση του οξυγόνου. Τα επιβατικά αεροπλάνα, τα οποία πετούν συνήθως σε υψόμετρα μεταξύ 9 και 13 χιλιομέτρων, αντιμετωπίζουν αυξημένα ποσά όζοντος, όταν διασχίζουν το τροπόπαυση, το ανώτερο διαχωριστικό σύνορο της τροπόσφαιρας. Το υψόμετρο στο οποίο βρίσκεται η τροπόπαυση ποικίλλει τόσο χωρικά, όσο και εποχιακά, με μέση τιμή τα 15 με 18 χιλιόμετρα στις τροπικές περιοχές, έως τα 6 με 8 χιλιόμετρα κοντά στους πόλους και ελάχιστη τιμή την άνοιξη και μέγιστη το φθινόπωρο. Η αλλαγή στο υψόμετρο, στο οποίο βρίσκεται η τροπόσφαιρα, με το γεωγραφικό πλάτος δεν είναι ούτε γραμμική, ούτε σταθερή, αλλά παρουσιάζει απότομες ασυνέχειες. Αυτές οι κλιμακωτές, μη σταθερές, χαμηλότερου και μεσαίου υψομέτρου επιφάνειες της τροπόσφαιρας παρουσιάζουν έντονο ενδιαφέρον, λόγω του ότι σε αυτές δημιουργούνται αλληπάλληλοι ορμητικοί χείμαρροι αέρος που έχουν μεγάλη ταχύτητα (Εικόνα 4. 23). Η ακριβής αιτία του σχηματισμού των αεροχειμάρρων δεν έχει διευκρινιστεί. [78]



Εικόνα 4. 23: Διαφοροποίηση του υψόμετρου στο οποίο βρίσκεται η τροπόσφαιρα, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και σχηματισμός αεροχειμάρρων.

Τα αεροσκάφη λοιπόν που πετούν σε διαδρομές και υψόμετρα με αυξημένη συγκέντρωση όζοντος, χρησιμοποιούν ειδικές συσκευές για την απομάκρυνσή του από τον αέρα που παρέχεται στην καμπίνα. Τέτοιες συσκευές είναι συνήθως καταλυτικοί μετατροπείς όζοντος, ενώ έχουν χρησιμοποιηθεί επίσης φίλτρα άνθρακα και ξυλάνθρακα. Στα αεροπλάνα που χρησιμοποιούνται μετατροπείς όζοντος απαιτείται αντικατάστασή τους σπάνια. Στα αεροσκάφη της εταιρείας Boeing χρειάζονται αλλαγή κάθε δύο με έξι χρόνια, ανάλογα με το μοντέλο, ενώ στις εταιρείας Airbus μετά από περίπου 12000 ώρες πτήσης. Ωστόσο, επειδή οι μετατροπείς αυτοί μολύνονται, ερχόμενοι σε επαφή με άλλες προσμείξεις που τους ρυπαίνουν, κατά τη διάρκεια της καθημερινής λειτουργίας τους, παρακολούθηση του όζοντος κατά τη διάρκεια των πτήσεων θα μπορούσε να δείχνει εάν ο καταλυτικός μετατροπέας λειτουργεί σωστά ή αν απαιτείται συντήρηση ή αντικατάστασή του. Καθώς λοιπόν η αποδοτικότητά τους μπορεί να μειωθεί, εντός της διάρκειας ζωής τους, η μέτρηση του όζοντος κρίνεται αναγκαία. [79]

Λόγω των αυξημένων συγκεντρώσεων όζοντος στα μεγάλα υψόμετρα που πετούν τα αεροσκάφη, οι αρνητικές επιπτώσεις του στην υγεία των ατόμων αλλά και στην αντίληψή τους για το βαθμό άνεσης που αισθάνονται, μπορεί να είναι εντονότερες στην καμπίνα ενός αεροσκάφους. Τα πιο συχνά συμπτώματα που αναφέρονται από υψηλότερες συγκεντρώσεις όζοντος είναι η ξηροστομία, η ξηροφθαλμία και η ρινική συμφόρηση. Από έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί, μετρώντας τη συγκέντρωση όζοντος κατά τη διάρκεια 83 Αμερικανικών πτήσεων και ζητώντας από τους επιβάτες τη συμπλήρωση ερωτηματολογίων, προέκυψε ότι οι μισοί επιβάτες ανέφεραν τουλάχιστον

ένα σύμπτωμα που σχετιζόταν με τα μάτια ή το στόμα, ενώ ένας στους τρεις ανέφερε κάποιο σύμπτωμα του ανώτερου αναπνευστικού. Επιπρόσθετα, φάνηκε μία σχέση μεταξύ των τιμών συγκέντρωσης όζοντος και των συμπτωμάτων που αισθάνθηκαν οι επιβάτες στα μάτια, το ανώτερο αναπνευστικό και το βαθμός ρινικής συμφόρησης. Έτσι, με μεσαίες τιμές συγκεντρώσεως όζοντος τα συμπτώματα φάνηκαν να είναι ασθενέστερα από αυτά που δήλωσαν οι επιβάτες των πτήσεων με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις. Ακόμα, οι μεσαίας και μεγάλης διάρκειας πτήσεις συσχετιστήκαν με περισσότερα συμπτώματα από ότι οι μικρές. Δυστυχώς, εκτενέστερες έρευνες στο πεδίο αυτό δεν έχουν πραγματοποιηθεί σε πραγματικές συνθήκες τα τελευταία χρόνια, λόγω της χρήσης μετατροπέων όζοντος. Βεβαίως, όπως προαναφέρθηκε, ακόμα και με τη χρήση τους, οι συγκεντρώσεις όζοντος στις καμπίνες των αεροσκαφών μπορεί να είναι αυξημένες. ^{[80][81]}

4.5.2. Μονοξείδιο του άνθρακα

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ένα εξαιρετικά δηλητηριώδες αέριο και έστω και σύντομη έκθεση ατόμων σε αυτό μπορεί να οδηγήσει σε βραχυπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα προβλήματα υγείας, ακόμα και στο θάνατο. Η παρατεταμένη έκθεση ή οι επαναλαμβανόμενες εκθέσεις σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα μπορούν να έχουν τις ίδιες επιπτώσεις στην υγεία των ατόμων. Οι έρευνες που έχουν γίνει για τις συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα στα αεροσκάφη είναι περιορισμένες. Τα δεδομένα αυτών δείχνουν ότι οι συγκεντρώσεις του στις καμπίνες των αεροσκαφών είναι πολύ χαμηλότερες από αυτές που προκαλούν προβλήματα υγείας.

Στα αεροσκάφη, οι συνηθέστερες πηγές μονοξειδίου του άνθρακα είναι οι εξατμίσεις των κινητήρων εσωτερικής καύσης, των στροβιλοκινητήρων και των βοηθητικών μονάδων ισχύος. Αν και είναι άοσμο και άγευστο, το μονοξείδιο του άνθρακα που παράγεται από αυτές τις πηγές είναι συνήθως αναμειγμένο και με άλλα αέρια, κάνοντάς το τελικά ανιχνεύσιμο με την όσφρηση και τη γεύση. Επιπρόσθετα, μονοξείδιο του άνθρακα παράγεται σε έκτακτες περιπτώσεις πυρκαγιάς στο αεροσκάφος, από την καύση υλικών. Υπάρχει επίσης πιθανότητα ο αέρας της καμπίνας να είναι μολυσμένος με ουσίες από λιπαντικά έλαια, υδραυλικά και ψυκτικά υγρά. Κάτι τέτοιο μπορεί να προκύψει από αστοχία στη μόνωση του κινητήρα ή της βοηθητικής μονάδας ισχύος, καθώς και από λανθασμένη χρήση αντιψυκτικού υγρού εκεί. Τα έλαια και τα υγρά αυτά μπορούν μέσω μίας

διαδικασίας που ονομάζεται πυρόλυση, να αποδομηθούν σε διάφορες ενώσεις και υπό αρκετά υψηλές θερμοκρασίες, αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν το μονοξείδιο του άνθρακα. Σε μη φυσιολογικές συνθήκες δηλαδή, κατά τις οποίες υπάρχει διαρροή λαδιών της μηχανής ή υδραυλικών υγρών που υποβάλλονται σε υψηλές θερμοκρασίες, μπορεί να παραχθεί μονοξείδιο του άνθρακα. Τότε ο αέρας της καμπίνας μολύνεται από αυτό ακόμα και σε συγκεντρώσεις επιβλαβείς για την υγεία. [82]

4.5.3. Διοξείδιο του άνθρακα

Τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα στην καμπίνα εξαρτώνται ιδιαίτερα από αερισμό της και την αναλογία του φρέσκου εξωτερικού αέρα προς τον ανακυκλωμένο, στον αέρα που εισέρχεται στην καμπίνα από το σύστημα ελέγχου περιβάλλοντος. Επίσης, σημαντικός παράγοντας επιρροής της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα αποτελεί ο αριθμός των επιβατών. Καθώς οι επιβαίνοντες αποτελούν την κύρια πηγή δημιουργίας διοξειδίου του άνθρακα, απελευθερώνοντάς το κατά την εκπνοή, όσο περισσότεροι είναι οι επιβάτες, τόσο μεγαλύτερα είναι τα ποσοστά διοξειδίου του άνθρακα στην καμπίνα του αεροσκάφους. Τα μέσα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα σε πτήση κατά την οποία ο αέρας της καμπίνας ήταν μερικώς ανακυκλωμένος, ήταν διπλάσια από αυτά όμοιας πτήσης που όμως ο αέρας που εισερχόταν από το σύστημα ελέγχου περιβάλλοντος ήταν αποκλειστικά φρέσκος εξωτερικός αέρας. Ακόμα, κατά τη διάρκεια της επιβίβασης και της αποβίβασης οι συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα είναι σαφώς υψηλότερες από ότι κατά τη διάρκεια της πτήσης, με τιμές 2000 με 2500 ppm να είναι συνήθεις. [83][84]

Καθώς οι τιμές του διοξειδίου του άνθρακα στην καμπίνα επηρεάζονται ιδιαίτερα από τον αερισμό της, τα ποσοστά του θα μπορούσαν να χρησιμοποιούνται ως δείκτης του κατά πόσο η καμπίνα ενός αεροσκάφους αερίζεται επαρκώς με φρέσκο εξωτερικό αέρα. Όταν φαίνεται ότι το σύστημα εξαερισμού του αεροσκάφους δεν παρέχει αρκετό φρέσκο εξωτερικό αέρα και τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα είναι υψηλά, τότε και ανθρωπίνου ρύποι θα είναι συσσωρευμένοι στον αέρα της καμπίνας, δυσχεραίνοντας την αίσθηση άνεσης των επιβατών και δημιουργώντας τους παράπονα. Όταν τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα σε ένα χώρο είναι της τάξεως των 50000 ppm, μπορεί να προκληθούν πονοκέφαλοι, ζαλάδες και οπτικές στρεβλώσεις στα άτομα. Για τιμές μεταξύ 3200 και 50000 ppm, εμφανίζονται συμπτώματα όπως

κόπωση, πονοκέφαλοι και πνιγηρότητα. Συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα ιδιαίτερα επιβλαβείς για την υγεία των επιβατών μπορεί να υπάρξουν στο εσωτερικό της καμπίνας ενός αεροσκάφους σε περίπτωση πυρκαγιάς σε αυτό. ^{[85][86]}

Συμπεράσματα

Αντικείμενο διερεύνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσαν οι παράγοντες που επιδρούν στην άνεση των επιβατών των αεροσκαφών. Με βάση όλα τα παραπάνω, μπορεί να διεξαχθεί εύλογα το συμπέρασμα ότι το επιδιωκόμενο αυτό αίσθημα των επιβατών μπορεί να επηρεαστεί από πάρα πολλούς αντικειμενικούς παράγοντες, αλλά και πολλούς υποκειμενικούς και ψυχολογικούς, κάνοντας το στόχο ικανοποίησης κάθε επιβάτη ακόμα δυσκολότερο.

Καθώς η ανάγκη για χρήση των αεροπλάνων ως μεταφορικό μέσο συνεχώς αυξάνεται, η προσπάθεια βελτίωσης της υπάρχουσας κατάστασης κρίνεται αναγκαία. Παρόλο που ευρέως πιστεύεται ότι η απόσταση μεταξύ των καθισμάτων είναι αυτή που έχει αντίκτυπο στην άνεση των επιβατών, είναι σαφές ότι το θέμα αυτό είναι πολύ πιο πολύπλοκο, με πολλούς ακόμα παράγοντες να απειλούν όχι μόνο την άνεση αλλά ακόμα και την ίδια την υγεία των ατόμων.

Με τη δημιουργία τροποποιούμενων, εργονομικά σωστότερων καθισμάτων για μεγαλύτερη μερίδα του πληθυσμού, ένα σημαντικό κομμάτι άνεσης θα είχε εξασφαλιστεί. Ακόμα, με την προσπάθεια περιορισμού των πηγών θορύβου, την καλύτερη ηχομόνωση της καμπίνας, αλλά και την απόπειρα μείωσης των δονήσεων που μεταφέρονται μέσω της ατράκτου στους επιβάτες, σαφώς οι επιβάτες θα ένιωθαν πιο ευχάριστα. Επιπρόσθετα, με καλύτερο σχεδιασμό του συστήματος φωτισμού γενικότερα, αλλά και με τη δυνατότητα εξατομικευμένων επιλογών, η αίσθηση που δημιουργεί ο περιορισμένος χώρος της καμπίνας του αεροσκάφους θα μπορούσε να είναι σαφώς καλύτερη. Τέλος, εξασφαλίζοντας ένα περιβάλλον με καλύτερες κλιματολογικές συνθήκες, υψηλότερα ποσοστά υγρασίας, θερμοκρασία πιο κοντινή στην επιθυμητή για κάθε επιβάτη και απαλλαγμένο από ρίπους, πρωτίστως η υγεία και συνεπακόλουθα η άνεση των επιβατών θα διασφαλιζόταν.

References

1. Mergl, C. (2014). *Measuring Seating Comfort*.
2. Gonçalves, M. and Arezes, P. (2014). *Analysis of the Mismatch Between School Furniture and Children*. [ebook] AHFE Conference. Available at: https://books.google.gr/books?id=14tYBAAAOBAJ&pg=PA271&lpg=PA271&dq=Advances+in+Ergonomics+In+Design+seat+height&source=bl&ots=6cmFOqMErT&sig=gzwQIJvhERqIvT_0QQ5FoMRs7M&hl=el&sa=X&ved=0ahUKEwj-66T9kaDLAhVI0hoKHUTaDscQ6AEIGjAA#v=onepage&q=Advances%20in%20Ergonomics%20In%20Design%20seat%20height&f=true.
3. AverageHeight.co. (n.d.). *Average Height for Men by Country*. [online] Available at: <http://www.averageheight.co/average-male-height-by-country>.
4. Benden, M. (2006). *The Obese Office Worker Seating Problem*. [ebook] Texas A&M University. Available at: <http://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/ETD-TAMU-1137/BENDEN-DISSERTATION.pdf?sequence=1..>
5. DINED. (2016). *DINED Anthropometric Database*. [online] Available at: <http://dined.io.tudelft.nl/en/database/tool>.
6. Pheasant, S. and Haslegrave, C. (2005). *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work*. 3rd ed. London: CRC Press.
7. Seatguru.com. (n.d.). *Short-haul Economy Class Comparison Chart*. [online] Available at: http://www.seatguru.com/charts/shorthaul_economy.php.
8. Goonetilleke, R. and Feizhou, S. (2001). A methodology to determine the optimum seat depth. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 27(4), pp.207-217.
9. <http://www.ahfe2017.org/files/books2014/2014ED-PART-I.pdf>.
Tan, C., Chen, W., Rauterberg, M. and Kimman, F. (2009). Sleeping Posture Analysis of Economy Class Aircraft Seat. *Proceedings of the World Congress on Engineering*, [online] 1, pp.532-535. Available at: http://www.iaeng.org/publication/WCE2009/WCE2009_pp532-535.pdf.
10. Hokwerda, O., Wouters, J., de Ruijter, R. and Zijlstra-Shaw, S. (2006). *Ergonomic requirements for dental equipment*. [ebook] Available at: http://www.meridentoptergo.fi/Liitetiedostot/SCIENTIFIC_ARTICLE_Ergonomic_requirements_for_dental_equipment.pdf.
11. Musa, A., Ismaila, S., Adejuyigbe, S. and Akinyemi, O. (2013). Anthropometric Design of Furniture for Use in Tertiary Institutions in Abeokuta, South-Western Nigeria. *Engineering Review*, 33(3), pp.179-192.

12. International Air Transport Association (2012). *Airlines to Welcome 3.6 Billion Passengers in 2016*. [online] Available at: <http://www.iata.org/pressroom/pr/pages/2012-12-06-01.aspx>.
13. Veldhuis, F. and Holt, C. (2012). Too Fat to Fly?. *Aircraft Interiors International*. [online] Available at: <http://www.aircraftinteriorsinternational.com/articles.php?ArticleID=484>
14. Soares, M. and Rebelo, F. (2014). *Ergonomics In Design, Usability & Special Populations*. [ebook] AHFE Conference. Available at:
15. Tayyari, F. (2012). *Design For Human Factors*. [ebook] Springer - Science + Business Media. Available at: https://books.google.gr/books?id=56_SBwAAQBAJ&pg=PA305&lpg=PA305&dq=anthropometric+data+tabletop+height&source=bl&ots=fzEotAdGtV&sig=bWqQk88gPOU7kLEOeZ_r53hTRq8&hl=el&sa=X&ved=0ahUKewjxz5TO8PLLAhULVhoKHbHRCChoQ6AEILzAC#v=onepage&q=anthropometric%20data%20tabletop%20height&f=false.
16. Lueder, R. and Allie, P. (2005). *Review: Armrest Design and Use*. [ebook] Humanics ErgoSystems. Available at: <http://www.humanics-es.com/armrest-ergonomics.htm>.
17. Quality Foam. (n.d.). *Aircraft Seating*. [online] Available at: <http://www.qualityfoam.com/aircraft-seating.asp>.
18. Siyma. (n.d.). *Εργονομία Καθίσματος Γραφείου*. [online] Available at: http://www.erg.gr/%CE%BA%CE%B1%CE%B8%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%B1_%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%B5%CE%B9%CE%BF%CF%85.el.aspx.
19. Lantal. (n.d.). *Seat cover materials*. [online] Available at: <http://www.lantal.com/america/en-us/aircraft/products/seat/seat-cover-materials/>.
20. Kington, I. (2012). Table talks. In: *Airline Catering International Showcase*. [online] Available at: <http://www.aircraftinteriorsinternational.com/articles.php?ArticleID=284>.
21. Wikipedia. (n.d.). *Airline seat*. [online] Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Airline_seat.
22. Pennig, S., Quehl, J. and Rolny, V. (2012). Effects of aircraft cabin noise on passenger comfort. *Ergonomics*, [online] 55(10), pp.1252-1265. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22849320>.
23. Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) (2016). *Preliminary Flight Demonstration Test on Airframe Noise Reduction Technology Successfully Completed*. [online] Available at: <http://www.aero.jaxa.jp/eng/research/ecat/fquroh/>.

24. JAXA. (n.d.). *FQUROH - Flight Demonstration of Quiet Technology to Reduce Noise from High-lift Configurations Project*. [online] Available at: <http://www.aero.jaxa.jp/eng/research/ecat/fquroh/>.
25. HVACC Library. (n.d.). *Αναταράξεις σε Αιθρία*. [online] Available at: <https://library.hvacc.org/pilots/meteorology/turbulence>.
26. Wilby, J. (1996). Aircraft Interior Noise. *Journal of Sound and Vibration*, [online] 190(3), pp.545-564. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022460X96900784>.
27. Wikipedia. (n.d.). *Aircraft Noise*. [online] Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Aircraft_noise.
28. Καρέλας, Ε., Τριαντάφυλλος, Ι. and Φρέσκος, Γ. (2004). *Κινητήρες αεροσκαφών ΙΙ. Τεχνικά Επαγγελματικά Εκπαιδευτήρια*.
29. Graham, W. (1996). Boundary Layer Induced Noise in Aircraft, Part I: The Flat Plate Model. *Journal of Sound and Vibration*, [online] 192(1), pp.101-120. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022460X96901789#>.
30. Griffin, J. (2006). *The Control of Interior Cabin Noise Due to a Turbulent Boundary Layer Noise Excitation Using Smart Foam Elements*. [ebook] Virginia Polytechnic Institute and State University. Available at: <https://theses.lib.vt.edu/theses/available/etd-05152006-132714/unrestricted/SmartFoamETD.pdf>.
31. Li, Y., Wang, X. and Zhang, D. (2013). Control Strategies for Aircraft Airframe Noise Reduction. *Chinese Journal of Aeronautics*, [online] 26(2), pp.249-260. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1000936113000137>.
32. Hoff-Downing, G. (n.d.). *Airplane Noises Explained for the Nervous Traveler*. [online] Backpacker Travel. Available at: <http://www.backpackertravel.org/random/airplane-noises-explained-nervous-traveler/>.
33. Brown, D. (n.d.). *Boeing Factory*. [online] AirlineReporter. Available at: <http://www.airlinereporter.com/tag/boeing-factory/page/3/>.
34. Leary, M. (2015). *What Are All Those Weird Noises You Hear on an Airplane?*. [online] Gizmodo. Available at: <http://gizmodo.com/what-are-all-those-weird-noises-you-hear-on-an-airplane-1713676966>.
35. Boeing Commercial Airplanes (2015). *The Boeing ecoDemonstrator Program*. [online] Available at: http://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/principles/environment/pdf/Backgrounder_ecoDemonstrator.PDF.
36. Wikipedia. (n.d.). *EcoDemonstrator*. [online] Available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/EcoDemonstrator>.

37. European Commission (2012). *EnVironmentALLY Friendly Aero Engine*. [online] Available at: http://cordis.europa.eu/project/rcn/94198_en.html.
38. Barnstorff, K. (2005). *Flight Tests Confirm New Technologies Can Help Quiet the Skies*. [online] The Researcher News NASA. Available at: https://www.nasa.gov/centers/langley/news/researchernews/rn_quiet_tech.html.
39. Casalino, D., Diozzi, F., Sannino, R. and Paonessa, A. (2008). Aircraft noise reduction technologies: A bibliographic review. *Aerospace Science and Technology*, [online] 12(1), pp.1-17. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1270963807001162>.
40. Gardonio, P. and Elliott, S. (1999). Active Control of Structure-Borne and Airborne Sound Transmission Through Double Panel. *Journal of Aircraft*, [online] 36(6), pp.1023-1032. Available at: <https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/2.2544?journalCode=ja>.
41. Leylekian, L., Lebrun, M. and Lempereur, P. (2014). An Overview of Aircraft Noise Reduction Technologies. *AerospaceLab*, [online] (7), pp.1-15. Available at: http://www.aerospacelab-journal.org/sites/www.aerospacelab-journal.org/files/AL07-01_0.pdf.
42. Aircraft Noise. (2006). Oakland International Airport Master Plan. [online] Oakland International Airport. Available at: http://flyquietoak.com/_source/pdf/Tab%202b%20PDF%20links/aircraft_noise_fundamentals.pdf.
43. Moskvitch, K. (2014). *How to Cut Noise in a Plane Cabin*. [online] BBC. Available at: <http://www.bbc.com/future/story/20140226-tricks-for-a-peaceful-flight>.
44. Aerodynamics and Theory of Flight. (n.d.). *Langley Flying School*. [online] Available at: <https://www.scribd.com/document/177260980/Aerodynamics-and-Theory-of-Flight>.
45. Carbaugh, D., Carriker, M., Huber, D. and Ryneveld, A. (n.d.). Airplane Vibration. *AERO*, [online] (16). Available at: http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_16/vibration_story.html.
46. Λογοθέτης Αγαλιώτης, Μ. (2012). *Αριθμητική Προσομοίωση Αεροελαστικής Απόκρισης Αεροτομής και Έλεγχος με Ενεργητικές Μεθόδους*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
47. Andreassen, Ø., Wasberg, C., Helgeland, A., Tutkun, M., Kielland, J., Pettersson Reif, B., Lundberg, Ø. and Skaugen, A. (2013). Studies of aerodynamically induced vibrations on the P-3C maritime surveillance aircraft and proposed vibration reducing measures. *Norwegian Defence Research Establishment*. [online] Available at: <http://www.ffi.no/no/Rapporter/13-00245.pdf>.

48. Quehl, J. (2001). *Comfort Studies on Aircraft Interior Sound and Vibration*. [ebook] German Research Foundation. Available at: <http://oops.uni-oldenburg.de/340/2/quecom01.pdf>.
49. Μουλίνος, Ι. (2007). *Υπολογιστική Προσομοίωση Παλλόμενων Κρουστικών Κυμάτων (Buffet) σε Χρονικά Μόνιμες Συνθήκες Ροής*. [ebook] Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Available at: https://dspace.lib.ntua.gr/dspace2/bitstream/handle/123456789/752/moulinosi_buffet.pdf?sequence=1.
50. Udris, A. (2016). *How Turbulent Is The Airflow Over Your Wings?*. [online] Boldmethod. Available at: <http://www.boldmethod.com/learn-to-fly/aerodynamics/boundary-layer/>.
51. Αντωνιάδης, Ι. (n.d.). *Δυναμική και Έλεγχος Πτήσης. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο*. [online] Available at: http://courseware.mech.ntua.gr/ml23229/lecture_pdfs/KEFALAI0_1/Dynamikh_Ptisis_Kef_1.pdf.
52. Καραγεώργης, Κ. and Πατούρας, Κ. (2004). *Θεωρία Πτήσης, Επιδόσεις, Τύποι, Όργανα και Συστήματα Αεροσκαφών*. [online] Available at: <http://docplayer.gr/1150894-Theoria-ptisis-epi-oseis-typoi-organa-systimata-aeroskafon.html>.
53. Västfjäll, D., Kleiner, M. and Görling, T. (2003). Affective Reactions to and Preference for Combinations of Interior Aircraft Sound and Vibration. *The International Journal of Aviation Psychology*, [online] 13(1), pp.33-47. Available at: http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/S15327108IJAP1301_3
54. Χαβατζόπουλος, Π. (2011). *Χρήση παρατηρητή, βασισμένου σε νευρωνικά δίκτυα, για αναγνώριση φαινομένου “wing rock” σε δελταπτέρυγα αεροσκάφη 80 μοιρών*. Πολυτεχνείο Κρήτης.
55. Winzen, J., Albers, F. and Marggraf-Micheel, C. (2014). The influence of coloured light in the aircraft cabin on passenger thermal comfort. *Lighting Research & Technology*, [online] 46(4), pp.465-475. Available at: <http://elib.dlr.de/95022/1/465.full.pdf>.
56. Ganslandt, R. and Hofmann, H. (1992). *Handbook of Lighting Design*. [ebook] ERCO Leuchten GmbH. Available at: <http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/Handbook%20of%20lighting%20design.pdf>.
57. Veitch, J. (2001). Psychological Processes Influencing Lighting Quality. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, [online] 30(1), pp.124-140. Available at: <http://nparc.cisti-icist.nrc-cnrc.gc.ca/fra/voir/accept%C3%A9/?id=21939a53-a847-47c2-9bf8-60fea01b1c1f>.
58. Wikipedia. (n.d.). *Αισθητικό Σύστημα*. [online] Available at: https://el.m.wikipedia.org/wiki/Αισθητικό_σύστημα.
59. Wikipedia. (n.d.). *Οπτικός Φλοιός*. [online] Available at: https://el.m.wikipedia.org/wiki/Οπτικός_φλοιός.

60. Behringer, D. (2016). *Making Butterflies: The Perpetual Flip Books of Juan Fontanive*. [video] Available at: <http://design-milk.com/making-butterflies-perpetual-flip-books-juan-fontanive/>.
61. Diathlasis. (n.d.). *Οφθαλμικές Παθήσεις*. [online] Available at: <http://www.eyediathlasis.gr/el/eye-diseases>.
62. Wikipedia. (n.d.). *Environmental Control System*. [online] Available at: [https://en.m.wikipedia.org/wiki/Environmental_control_system_\(aircraft\)](https://en.m.wikipedia.org/wiki/Environmental_control_system_(aircraft)).
63. Majeed, O. (2010). *Aircraft Environmental Control Systems*. [ebook] Carleton University. Available at: <http://www.srs.aero/wordpress/wp-content/uploads/2010/11/AERO-4003-ECS-Lecture-Final.pdf>.
64. Λιάπης, Ι. (2014). *Σύστημα Πρόωσης Αεροσκαφών*. [ebook] Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα ΑΜΘ. Available at: <http://digilib.teiemt.gr/jspui/bitstream/123456789/3361/1/01X00Z01Z0005.pdf>.
65. Μακρής, Κ. (n.d.). *Μονάδα Ψύξης Κύκλου Αέρα*. [online] K-Makris. Available at: http://www.k-makris.gr/AircraftComponents/CoolPack/pack_gr.htm.
66. Aviation Maintenance Technician Handbook - Airframe. (2012). [online] 2. Available at: https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aircraft/amt_airframe_handbook/media/amt_airframe_vol2.pdf.
67. The Airliner Cabin Environment and the Health of Passengers and Crew. (2002). [online] Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK207472/>.
68. Καρέλας, Ε., Τριαντάφυλλος, Ι. and Φρέσκος, Γ. (2004). *Κινητήρες Αεροσκαφών Ι. Τεχνικά Επαγγελματικά Εκπαιδευτήρια*.
69. Boduch, M. and Fincher, W. (n.d.). *Standards of Human Comfort*. [ebook] University of Texas. Available at: https://soa.utexas.edu/sites/default/disk/preliminary/preliminary/1-Boduch_Fincher-Standards_of_Human_Comfort.pdf.
70. Pang, L., Qin, Y., Liu, D. and Liu, M. (2014). Thermal Comfort Assessment in Civil Aircraft Cabins. *Chinese Journal of Aeronautics*, [online] 27(2), pp.210-216. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S100093611400031>
71. Martinez, I. (n.d.). *Aircraft Environmental Control*. [ebook] Available at: <http://webserver.dmt.upm.es/~isidoro/tc3/Aircraft%20ECS.pdf>.
72. Wikipedia. (n.d.). *Thermal Comfort*. [online] Available at: https://en.m.wikipedia.org/wiki/Thermal_comfort.
73. Pflüger, R., Feist, W., Tietjen, A. and Neher, A. (2013). Physiological impairments of individuals at low indoor air humidity. *Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft*. [online] Available at: https://passipedia.org/media/picopen/low_humidity.pdf.

74. Gubisch, M. (2012). Manufacturers Aim for More Comfortable Cabin Climate. *Flight International*. [online] Available at: <https://www.flightglobal.com/news/articles/in-focus-manufacturers-aim-for-more-comfortable-cab-369425/>.
75. Δημοτικό Σχολείο Πύργου. (n.d.). *Ατμοσφαιρική Πίεση*. [online] Available at: <http://5dim-pyrgou.ilei.sch.gr/climate/html/pressure.htm>.
76. Brain, M. (2011). *How Airplane Cabin Pressurization Works*. [ebook] How Stuff Works. Available at: <http://www.brainstuffshow.com/blogs/how-airplane-cabin-pressurization-works-keeping-you-comfortable-in-the-death-zone-at-33000-feet.htm>.
77. Παπακωνσταντίνου, Κ. (n.d.). *Συμπίεση Καμπίνας*. [online] Aviation Computers. Available at: <http://aviation-computers.blogspot.gr/2011/05/gr.html?m=1>.
78. Wikipedia. (n.d.). *Τροπόπαυση*. [online] Available at: <https://el.m.wikipedia.org/wiki/Τροπόπαυση>.
79. Bhangar, S. and Nazaroff, W. (2013). Atmospheric ozone levels encountered by commercial aircraft on transatlantic routes. *Environmental Research Letters*, [online] 8(1). Available at: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/8/1/014006/pdf>.
80. Bekö, G., Allen, J., Weschler, C., Vallarino, J. and Spengler, J. (2015). Impact of Cabin Ozone Concentrations on Passenger Reported Symptoms in Commercial Aircraft. *PLOS ONE*, [online] 10(5). Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4444275/>.
81. Μπουρίκας, Κ. (2004). Καταλυτικές Διεργασίες Αντιρρύπανσης. *Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο*. [online] Available at: https://www.eap.gr/images/stories/pdf/KPP61_A_Katalitikes_Diergasies_Antirripansis_F12068.pdf.
82. Carbon Monoxide Poisoning. (n.d.). *SKYbrary*. [online] Available at: http://www.skybrary.aero/index.php/Carbon_Monoxide_Poisoning.
83. Lee, S., Lam, S. and Luk, F. (2000). Investigation of Cabin Air Quality in Commercial Aircrafts. *Proceedings of Healthy Buildings*, [online] 1. Available at: <http://senseair.se/wp-content/uploads/2011/05/51.pdf>.
84. Lee, S., Poon, C., Li, X. and Luk, F. (1999). Indoor Air Quality Investigation on Commercial Aircraft. *Indoor Air*, [online] 9(3), pp.180-187. Available at: <http://www.zn903.com/cesclee/papers/l-6.pdf>.
85. Nagda, N. (2000). Air Quality and Comfort in Airliner Cabins. *ASTM International*. [online] Available at: <https://books.google.gr/books?id=41mdymdg0cwC&pg=PA41&lpg=PA41&dq=co2+aircraft+cabin&source=bl&ots=YtavmM0T0f&sig=SGOpQk8qe9tZUDk3s5ARKZEt5hk&hl=el&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKewjm-Kb1oLrSAhWEUBQKHQHJBE4Q6AEIaDAL#v=onepage&q=co2%20aircraft%20cabin&f=false>.

86. Waters, M., Bloom, T., Grajewski, B. and Deddens, J. (2002).
Measurements of Indoor Air Quality on Commercial Transport
Aircraft. *National Institute for Occupational Safety and Health*. [online]
Available at: <https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB7563.pdf>.