

1. ΤΕΙ ΣΕΡΡΩΝ	2. ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ	3. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ	4. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ
5. Υπεύθυνος: κ. ΠΡΟΔΡΟΜΟΥ ΙΩΑΝΝΗΣ		6. Αρμόδιος Παρακολούθησης:	
7. Τίτλος Εργασίας: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΠΤΩΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΣΕ ΣΤΟΜΙΑ ΑΕΡΑ			
8. Ονοματεπώνυμο φοιτητή: ΚΟΥΤΛΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ			9. Αριθμός Μητρώου: 4371
10. Θεματική Περιοχή: ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ	11. Ημερ. Έναρξης: 02/10/2011	12. Ημερ. Παράδοσης: 05/04/2012	13. Αριθμός Εργασίας
14. Περίληψη: Σκοπός αυτής της διπλωματικής είναι η μέτρηση πτώσης πίεσης σε στόμια αέρα διαφόρων κατηγοριών για εγκαταστάσεις κλιματισμού. Η υλοποίηση της διπλωματικής αυτής έγινε εφικτή χάρη στην συνεργασία του Πασιούκα Γεωργίου μηχανικού της εταιρίας Aerogrammi η οποία σχεδιάζει, κατασκευάζει και προωθεί στόμια και ειδικά εξαρτήματα κλιματισμού. Χρησιμοποιώντας τις εγκαταστάσεις του εργαστηρίου της εταιρίας, έγινε μια σειρά μετρήσεων των χαρακτηριστικών μεγεθών διαφόρων στομιών της εταιρίας. Μετά το πέρας των μετρήσεων, δίδονται τα αντίστοιχα μεγέθη και αποτελέσματα υπό μορφή πινάκων και διαγραμμάτων. Τα αποτελέσματα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για τους μηχανικούς, όταν διαστασιολογούν συστήματα κλιματισμού με αέρα σε κτίριο. Επίσης αποτελούν μία βάση δεδομένων για την εταιρία, με βάση πραγματικές μετρήσεις.			16. Λέξεις Κλειδιά: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Θέρμανση – ψύξη-κλιματισμός</li> <li>▪ Διανομή και διάχυση του αέρα στο χώρο</li> <li>▪ Στόμια αέρα</li> <li>▪ Ροή αέρα σε αεραγωγούς</li> </ul>
<p>Στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναφέρονται οι λόγοι που οδήγησαν στην εκπόνηση της παρούσας εργασίας.</p> <p>Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στον κλιματισμό</p> <p>Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναλύεται το θεωρητικό υπόβαθρο σχετικά με την ροή και τη διανομή του αέρα σε ένα κλιματιζόμενο χώρο.</p> <p>Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζεται υλικό σχετικό με τους διάφορους τύπους στομιών αέρα, καθώς και κατάλληλες εφαρμογές χρησιμοποίησης του κάθε τύπου στομιού, ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του.</p> <p>Στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζεται και αναλύεται η πειραματική διάταξη του εργαστηρίου, στο οποίο έλαβαν χώρα οι μετρήσεις, καθώς και ο εργαστηριακός εφοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε (όργανα μέτρησης, ειδικά μηχανήματα κλπ).</p> <p>Στο 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που έλαβαν χώρα στο εργαστήριο.</p> <p>Στο 7<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα της εργασίας.</p>			Σχόλια:
18. Συμπληρωματικές Παρατηρήσεις:			19. Βαθμός

# ΚΟΥΤΛΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ 2012

### ΠΕΡΙΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
2. Γενικά περί κλιματισμού .....	2
2.1. Ιστορικό σημείωμα.....	2
2.2. Συστήματα Κλιματισμού .....	2
2.2.1. Γενικά .....	2
2.2.2. Βασικές λειτουργίες ενός συστήματος κλιματισμού.....	3
2.2.3. Κατάταξη συστημάτων κλιματισμού .....	4
2.3. Συνθήκες θερμικής άνεσης και υγείας .....	5
3. Διανομή και διάχυση του αέρα στο χώρο .....	12
3.1. Γενικά .....	12
3.2. Κατάταξη συστημάτων διάχυσης του αέρα στο χώρο .....	14
3.3. Συστήματα ανάμιξης (Mixed systems).....	16
3.3.1. Στόμια ομάδας Α .....	18
3.3.2. Στόμια ομάδας Β .....	20
3.3.3. Στόμια ομάδας C .....	21
3.3.4. Στόμια ομάδας D .....	22
3.3.5. Στόμια ομάδας Ε.....	23
3.4. Συστήματα μερικής ανάμιξης (Partially mixed systems) .....	24
3.4.1. Κατώτερη (αναμεμιγμένη) ζώνη .....	26
3.4.2. Ζώνη στρωματοποίησης .....	26
3.4.3. Ανώτερη (αναμεμιγμένη) ζώνη .....	27
3.4.4. Θερμοκρασία κοντά στο δάπεδο .....	27
3.4.5. Ύψος στρωματοποίησης.....	28
3.4.6. Τύποι σταμίων εξόδου σε συστήματα μερικής ανάμιξης.....	29
3.5. Συστήματα πλήρους στρωματοποίησης (Fully stratified systems).....	31

3.5.1.	Ροές συναγωγής που σχετίζονται με παγές θερμοκρασίες του χώρου	32
3.5.2.	Χαρακτηριστικά των θερμικών ταχυτήτων	32
3.5.3.	Κατακόρυφη κατανομή θερμοκρασίας	33
3.5.4.	Κατανομή ροσπεδίων προσπίξετων	35
3.5.5.	Τύποι στομών εδάδου σε συστήματα πλήρους στρωματοποίησης	36
3.6.	Συστήματα τοπικού περιβατικού ή κλιματισμού (Task/ambient conditioning systems)	38
4.	Στόμα αέρα	42
4.1.	Γενικά	42
4.2.	Στόμα προσαγωγής του αέρα	43
4.3.	Κατηγορίες στομών προσαγωγής	46
4.3.1.	Επίτοιχα στόμα (Wall outlets)	46
4.3.2.	Ορθογωνικά στόμα για κυκλικούς αγωγούς (Round ducts outlets)	47
4.3.3.	Στόμα οροφής (Ceiling diffuser outlets)	48
4.3.4.	Στόμα περιστροφόμενης δέσμης (Twist diffuser outlets)	51
4.3.5.	Στόμα οροφής στροβιλισμού του αέρα (Swirl diffuser outlets)	52
4.3.6.	Γραμμικά στόμα σε τοίχους, δάπεδα και οροφές (Linear slot diffusers)	53
4.3.7.	Ακροφύσια μεγάλης εμβέλειας (long range nozzles)	56
4.3.8.	Στόμα δαπέδου με στρωβιλισμό (floor swirl diffuser outlets)	58
4.3.9.	Στόμα εκτοπισμού (displacement diffuser outlets)	59
4.4.	Στόμα επιστροφής αέρα	60
5.	Εργαστήριο – Πειραματική διάταξη – Εξοπλισμός	62
5.1.	Γενικά για την εταιρία Aerogrammi	62
5.2.	Εργαστήριο	62
5.3.	Προετοιμασία της πειραματικής διάταξης	64
5.3.1.	Υιάρχουσα κατάσταση	64
5.3.2.	Αλλαγές και προετοιμασία της πειραματικής διάταξης	65
5.4.	Εξοπλισμός	68
5.4.1.	Ανάφραγμα VRA αυτόματης ρύθμισης παροχής με στεγυρό μέτρησης	68
5.4.2.	Φορητό ψηφιακό βαρόμετρο / θερμομέτρο χώρου	70
5.4.3.	Σωλήνας Pitot-static μέτρησης πίεσης	70
5.4.4.	Φορητό ψηφιακό μονόμετρο με πισθητήριο διαφορικής πίεσης	71
5.4.5.	Φορητό ανεμόμετρο θερμού σύρματος, μέτρησης ταχύτητας	72
5.5.	Μέτρηση ταχύτητας	73
5.5.1.	Μέτρηση ταχύτητας στην έξοδο του αεραγωγού	73

5.5.2.	Μέτρηση ταχύτητας μέσα στον αεραγωγό.....	75
5.6.	Μέτρηση πτώσης πίεσης .....	77
6.	Μετρήσεις – Αποτελέσματα .....	78
6.1.	Γραμμικά στόμια τύπου Ε .....	78
6.2.	Μέτρηση στομίου «E12 – Πυκνά πτερύγια» 500 x 500 mm.....	79
6.2.1.	Χαρακτηριστικά στομίου.....	79
6.2.2.	Αποτελέσματα μετρήσεων.....	79
6.2.3.	Διάγραμμα μετρούμενης παροχής .....	80
6.2.4.	Διάγραμμα ταχύτητας εξόδου $U_{out}$ από το στόμιο .....	81
6.2.5.	Διάγραμμα πτώσης πίεσης .....	82
6.3.	Μέτρηση στομίου «E17 – Αραιά πτερύγια» 500 x 500 mm .....	83
6.3.1.	Χαρακτηριστικά στομίου.....	83
6.3.2.	Αποτελέσματα μετρήσεων.....	83
6.3.3.	Διάγραμμα μετρούμενης παροχής .....	84
6.3.4.	Διάγραμμα ταχύτητας εξόδου $U_{out}$ από το στόμιο .....	85
6.3.5.	Διάγραμμα πτώσης πίεσης .....	86
6.4.	Επίτοχα στόμια τύπου Τ.....	87
6.5.	Μέτρηση στομίου «T1Π – 0 μοίρες» 500 x 500 mm.....	88
6.5.1.	Χαρακτηριστικά στομίου.....	88
6.5.2.	Αποτελέσματα μετρήσεων.....	89
6.5.3.	Διάγραμμα μετρούμενης παροχής .....	90
6.5.4.	Διάγραμμα ταχύτητας εξόδου $U_{out}$ από το στόμιο .....	91
6.5.5.	Διάγραμμα πτώσης πίεσης .....	92
6.6.	Μέτρηση στομίου «T2Π – 0 μοίρες» 500 x 500 mm.....	93
6.6.1.	Χαρακτηριστικά στομίου.....	93
6.6.2.	Αποτελέσματα μετρήσεων.....	93
6.6.3.	Διάγραμμα μετρούμενης παροχής .....	94
6.6.4.	Διάγραμμα ταχύτητας εξόδου $U_{out}$ από το στόμιο .....	95
6.6.5.	Διάγραμμα πτώσης πίεσης .....	96
6.7.	Ακροφύσια μεγάλου βεληνεκούς τύπου AMB .....	97
6.8.	Μέτρηση στομίου «AMB – Φ195».....	98
6.8.1.	Χαρακτηριστικά στομίου.....	98
6.8.2.	Αποτελέσματα μετρήσεων.....	98
6.8.3.	Διάγραμμα μετρούμενης παροχής .....	99

6.8.4.	Διάγραμμα ταχύτητας εξόδου $U_{out}$ από το στόμιο .....	100
6.8.5.	Διάγραμμα πτώσης πίεσης .....	101
6.9.	Στόμια οροφής τύπου O .....	102
6.10.	Μέτρηση στομίου Q4, 500 x 500 mm .....	103
6.10.1.	Χαρακτηριστικά στομίου .....	103
6.10.2.	Αποτελέσματα μετρήσεων .....	103
6.10.3.	Διάγραμμα μετρούμενης παροχής .....	104
6.10.4.	Διάγραμμα ταχύτητας εξόδου $U_{out}$ από το στόμιο .....	105
6.10.5.	Διάγραμμα πτώσης πίεσης .....	106
7.	Συμπεράσματα – σχόλια .....	107
	Βιβλιογραφία .....	109

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός αυτής της διπλωματικής είναι η μέτρηση πτώσης πίεσης σε στόμια αέρα διαφόρων κατηγοριών για εγκαταστάσεις κλιματισμού. Η υλοποίηση της διπλωματικής αυτής έγινε εφικτή χάρη στην συνεργασία του κ. Πατισούρα Γεωργίου μηχανικού της εταιρίας *Aerogrammi* η οποία σχετίζεται, κατασκευάζει και προωθεί στόμια και ειδικά εξαρτήματα κλιματισμού. Χρησιμοποιώντας τις εγκαταστάσεις του εργαστηρίου της εταιρίας, έγινε μια σειρά μετρήσεων των χαρακτηριστικών μεγεθών διαφόρων στομιών της εταιρίας. Μετά το πέρας των μετρήσεων, δίδονται τα αντίστοιχα μεγέθη και αποτελέσματα υπό μορφή πινάκων και διαγραμμάτων. Τα αποτελέσματα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για τους μηχανικούς, όταν διαστασιολογούν συστήματα κλιματισμού με αέρα σε κτίριο. Επίσης αποτελούν μία βάση δεδομένων για την εταιρία, με βάση πραγματικές μετρήσεις.

Θερμές ευχαριστίες οφείλονται στον καθηγητή κ. Ιωάννη Προδρόμου για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας, τις γενικές υποδείξεις, την παροχή βιβλιογραφικού υλικού και την συνεχή επίβλεψη, φροντίδα και διόρθωση ώστε να καταστεί εφικτή η παρούσα διπλωματική εργασία.

Φυσικά, μεγάλες ευχαριστίες οφείλονται στην εταιρία *Aerogrammi* και τους ανθρώπους της, για την συνεργασία και τη βοήθειά τους, καθώς και την διάθεση του εργαστηριακού τους χώρου. Ειδικότερα στον κ. Γιώργο Πατισούρα, μηχανολόγο μηχανικό – στέλεχος της εταιρίας, για την καθημερινή του επίβλεψη, τη βοήθεια και τις προτάσεις του όσον αφορά τις συνθήκες των μετρήσεων.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλεται στους γονείς μου, στους οποίους και αφιερώνεται η παρούσα διπλωματική εργασία, για την αμέριστη υποστήριξη και την ατέρμονη υπομονή τους όλα αυτά τα χρόνια.

**ΚΟΥΤΛΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όλοι οι άνθρωποι εκτιμούν την άνεση που παρέχουν τα σύγχρονα συστήματα κλιματισμού. Τα περισσότερα συστήματα που εγκαταστάθηκαν πριν τη δεκαετία του '70, σχεδιάστηκαν με μικρή έμφαση στην εξοικονόμηση ενέργειας, δεδομένου ότι τότε η τιμή των καυσίμων ήταν χαμηλή. Το ανερχόμενο ενεργειακό κόστος από εκείνη τη δεκαετία έχει προκαλέσει μεγάλο ενδιαφέρον όσον αφορά την αποδοτικότητα της λειτουργίας. Κατά την ίδια περίοδο μεγάλωσε και η ανάγκη για στενότερο έλεγχο του περιβάλλοντος σε εργαστήρια, ξενοδοχεία και βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Ένας ακόμη παράγοντας για τον οποίο υπήρξε αυξημένη μέριμνα ήταν η σημασία της άνεσης και της ποιότητας του εσωτερικού αέρα τόσο για την υγεία όσο και για την αποδοτικότητα. Οι τεχνικοί σχεδίασης και προσομοίωσης συστημάτων θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού (που στο εξής χάριν συντομίας θα αναφέρονται σαν συστήματα HVAC) αντιμετώπισαν μια πρωτοφανή πρόκληση. Επίσης η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών, των συστημάτων ελέγχου και υπολογιστών διέθεσε τα κατάλληλα εργαλεία ώστε τα συστήματα HVAC, να γίνουν προϊόντα υψηλής τεχνολογίας. Παρ' όλο που τα εργαλεία και οι μέθοδοι έχουν αλλάξει, και υπάρχει πληρέστερη γνώση των παραμέτρων που καθορίζουν την άνεση και την ποιότητα του εσωτερικού αέρα, πολλές από τις βασικές αρχές σχεδίασης των επιτυχημένων συστημάτων δεν έχουν αλλάξει. Το κείμενο αυτό δίνει έμφαση στη διανομή-διάχυση του αέρα σε ένα κλιματιζόμενο χώρο, ως βασική αρχή σχεδίασης και παρέχει τη βάση της παρουσίασης των σύγχρονων τερματικών συσκευών διανομής αέρα (στόμια αέρα) και τις διαδικασίες αξιολόγησης τους με στόχο την καθιέρωση βελτιωμένων και ενεργειακά αποδοτικότερων συστημάτων HVAC με σκοπό την εξασφάλιση υγείας, άνεσης καθώς και αποδοτικότητας.

## 2. Γενικά περί κλιματισμού

### 2.1. Ιστορικό σημείωμα

Ιστορικά ο όρος *κλιματισμός* συνηθίζονταν να υποδηλώνει ψύξη ή διαφορετικά βελτίωση της ποιότητας του αέρα κατά τους θερινούς μήνες. Σήμερα ο όρος αυτός έχει αποκτήσει πιο κυριολεκτική σημασία υπονοώντας την εξασφάλιση επιθυμητών συνθηκών περιβάλλοντος καθ' όλο το χρόνο. Συγκεκριμένα αναφέρεται στον έλεγχο της θερμοκρασίας, της υγρασίας, της καθαρότητας, της ποιότητας και της κυκλοφορίας του αέρα σε κλειστούς χώρους, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των ενοίκων. Ο ορισμός αυτός προτάθηκε για πρώτη φορά από τον Willis Carrier.

Αποδεδειγμένα, τον παλιό καιρό χρησιμοποιείτο για ψύξη πάγος καθώς και τα αποτελέσματα της εξάτμισης. Όμως, μια πρακτική ψυκτική συσκευή εμφανίστηκε μόλις περί τα μέσα του δέκατου ένατου αιώνα. Στα τέλη του αιώνα εκείνου υλοποιήθηκε αρκετά ικανοποιητικά η ιδέα της κεντρικής θέρμανσης, ενώ στις αρχές του εικοστού αιώνα άρχισε να υλοποιείται η ψύξη με σκοπό την άνετη διαβίωση. Ο Carrier πέτυχε πρώτος το 1902 τη μείωση της υγρασίας του αέρα και τη διατήρησή της σ' ένα επιθυμητό επίπεδο. Αυτό σηματοδότησε τη γέννηση του πραγματικού ελέγχου περιβάλλοντος όπως τον γνωρίζουμε σήμερα. Οι εξελίξεις από τότε ήταν ραγδαίες. [1]

Πρωτοπόρος σήμερα και κυρίαρχος σε επίπεδο γνώσεων και υπηρεσιών, όσον αφορά την αιχμή των τεχνολογικών εξελίξεων στα συστήματα HVAC, είναι ο οργανισμός της ASHRAE («American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers» – Αμερικανική Κοινότητα Μηχανικών για Θέρμανση, Ψύξη και Κλιματισμό), πρωτόκολλα, πρότυπα και αρχές σχεδίασης της οποίας χρησιμοποιούνται ευρύτατα σήμερα από μελετητές μηχανικούς σε ολόκληρο τον κόσμο για την μελέτη και κατασκευή συστημάτων HVAC.

### 2.2. Συστήματα Κλιματισμού

#### 2.2.1. Γενικά

Ο πρωταρχικός στόχος των συστημάτων κλιματισμού είναι να διατηρούν την θερμική άνεση και την υγεία των ανθρώπων μέσα στους χώρους διαβίωσης και εργασίας, με αξιοπιστία, επάρκεια και ανεκτό κόστος. Οι συνθήκες θερμικής άνεσης καθορίζονται στους κανονισμούς και τα πρότυπα που ισχύουν σε κάθε χώρα. Ο καθοριστικός παράγοντας συνήθως είναι το είδος και η χρήση των χώρων στους οποίους εγκαθίσταται το σύστημα κλιματισμού. Η εξασφάλιση των απαραίτητων συνθηκών γίνεται με τον κατάλληλο συνδυασμό διαφόρων συσκευών, οι οποίες αποτελούν, στο σύνολό τους, το σύστημα κλιματισμού. [2]



### 2.2.2. Βασικές λειτουργίες ενός συστήματος κλιματισμού

Οι βασικές λειτουργίες ενός συστήματος κλιματισμού είναι η θέρμανση, η ψύξη, η ύγρανση, η αφύγρανση, η ανανέωση, ο καθαρισμός και η κίνηση του αέρα. Παρακάτω αναλύονται κάποιες από αυτές τις λειτουργίες.

- Η *ανανέωση* είναι η διεργασία λήψης εξωτερικού αέρα και απόρριψης αέρα από τους χώρους ενός κτιρίου, με σκοπό την αραίωση των αερίων προσμίξεων του αέρα και την εξασφάλιση της απαραίτητης ποιότητας του εσωτερικού αέρα.
- Ο *καθαρισμός* είναι η διεργασία αφαίρεσης σωματιδιακών και βιολογικών προσμίξεων του αέρα με σκοπό τη βελτίωση και τη διατήρηση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα. Για τον καθαρισμό του αέρα συνήθως χρησιμοποιούνται φίλτρα και επιπρόσθετα μπορεί να απαιτηθεί και απομάκρυνση μολυσματικών αερίων. Το φιλτράρισμα συνήθως γίνεται με μια διεργασία κατά την οποία τα ακάθαρτα σωματίδια συγκεντρώνονται σε ένα πορώδες μέσο. Χρησιμοποιούνται επίσης ηλεκτροστατικοί καθαριστές για την απομάκρυνση πολύ μικρών σωματιδίων και σε ορισμένες περιπτώσεις υδροψεκασμός. Τα μολυσματικά αέρια μπορούν να απομακρυνθούν με απορρόφηση, με φυσική προσρόφηση και με διάφορα άλλα μέσα.
- Η *κίνηση* του αέρα κοντά σε ένα άτομο μπορεί να είναι αρκετά έντονη ώστε να απομακρύνει την ενέργεια που παράγει το σώμα, αλλά και αρκετά διακριτική ώστε να παραμένει απαραίτητη. Η επιθυμητή κίνηση του αέρα πραγματοποιείται μέσω κατάλληλης τοποθέτησης εισαγωγών αέρα στο χώρο, καθώς και διαφόρων συστημάτων διανομής. Η σημασία της κίνησης του αέρα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη, ειδικότερα όταν απαιτείται η εξασφάλιση ανετής διαβίωσης των ατόμων.

### 2.2.3. Κατάταξη συστημάτων κλιματισμού

Τα συστήματα κλιματισμού, ανάλογα με το βαθμό επεξεργασίας που παρέχουν στον αέρα, μπορούν να διακριθούν σε :

- a) Συστήματα *αερισμού-εξαερισμού*, τα οποία εξασφαλίζουν την ανανέωση του αέρα ενός χώρου.
- b) Συστήματα *μερικού κλιματισμού*, τα οποία εκτός από την ανανέωση του αέρα, παρέχουν και μία μερική επεξεργασία που περιλαμβάνει κυρίως τον καθαρισμό και την θέρμανση του αέρα.
- c) Συστήματα *πλήρους κλιματισμού*, τα οποία εξασφαλίζουν την διατήρηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας ενός κλειστού χώρου μέσα σε προκαθορισμένα όρια και περιλαμβάνει διατάξεις για τον καθαρισμό, τη θέρμανση, την ψύξη, την ύγρανση και την αφύγρανση, καθώς και τοπικές ή κεντρικές διατάξεις αυτόματης ρύθμισης της θερμοκρασίας και της υγρασίας.

Ανάλογα με την εφαρμογή του συστήματος, τα συστήματα κλιματισμού διακρίνονται:

- a) Στον *κλασσικό κλιματισμό «άνεσης»*, που συνήθως απασχολεί τους μελετητές μηχανικούς και όπου το κέντρο του ενδιαφέροντος είναι ο άνθρωπος. Οι εγκαταστάσεις κλιματισμού «άνεσης» χρησιμεύουν για την δημιουργία συνθηκών ευεξίας σε χώρους παραμονής κάθε είδους όπως κτίρια γραφείων, θέατρα, κατοικίες, αίθουσες συγκεντρώσεων, χώρους πώλησης κ.α.
- b) Στο *βιομηχανικό κλιματισμό*, ο οποίος προορίζεται για την εξυπηρέτηση στόχων της βιοτεχνίας, της βιομηχανίας και γενικότερα παραγωγικών ή εργασιακών χώρων. Οι εγκαταστάσεις βιομηχανικού κλιματισμού έχουν ως στόχο τον άνθρωπο ( προστασία της υγείας των εργαζομένων ) ή την παραγωγική διαδικασία ( δημιουργία ειδικού περιβάλλοντος που ευνοεί κάποια χημική ή βιολογική εξέλιξη ή κάποια μηχανική κατεργασία ) ή και τα δύο ( βελτίωση της παραγωγικότητας ανθρώπων και μηχανών ).
- c) Στον *κλιματισμό ειδικών εφαρμογών*, που έχει ως στόχο να εξυπηρετήσει τις ειδικές ανάγκες και τις υψηλές απαιτήσεις νοσηλευτηρίων, χειρουργικών χώρων, εργαστηρίων ερευνών, ειδικών κατεργασιών κ.α. Οι εγκαταστάσεις αυτές εξασφαλίζουν ιδιαίτερες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας καθώς και πολύ υψηλές απαιτήσεις καθαριότητας του αέρα, ώστε να εξασφαλίζεται ο έλεγχος της περιεκτικότητας των αιωρούμενων σωματιδίων, των μικροβίων, των βακτηριδίων και των διαφόρων άλλων οργανισμών καθώς και ο έλεγχος της ροής του αέρα στο χώρο και της υπερπίεσης σε σχέση με γειτονικούς χώρους.

Με κριτήριο την θέση των συσκευών κλιματισμού ως προς τον κλιματιζόμενο χώρο και την έκταση εφαρμογής του συστήματος διακρίνονται δύο βασικές κατηγορίες συστημάτων κλιματισμού:

- a) *Κεντρικά συστήματα κλιματισμού*
- b) *Τοπικά συστήματα κλιματισμού*

Με κριτήριο τον τρόπο και τα μέσα με τα οποία επιτυγχάνεται η τελική διαμόρφωση των συνθηκών άνεσης στον κλιματιζόμενο χώρο διακρίνονται δύο κατηγορίες:

a) Συστήματα κλιματισμού αέρα-νερού (air-water systems) : στα συστήματα αυτά, παρέχεται κλιματισμένος αέρας και ψυχρό ή θερμό νερό σε κατάλληλες τερματικές συσκευές, οι οποίες είναι εγκατεστημένες στους χώρους του κτιρίου. Απαιτείται επομένως η εγκατάσταση ενός δικτύου αεραγωγών και ενός δικτύου σωληνώσεων νερού. Σε πολλές περιπτώσεις η παροχή του αέρα στους χώρους γίνεται έξω από τις τερματικές συσκευές με ανεξάρτητο δίκτυο αέρα.

b) Συστήματα κλιματισμού απευθείας εκτόνωσης (direct expansion systems) : Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν ψυκτικό μέσο για την ψύξη του αέρα των κλιματιζόμενων χώρων. Όλες οι μονάδες αυτών των συστημάτων μπορούν με μια αναστροφή του ψυκτικού κύκλου να παρέχουν και θέρμανση οπότε χαρακτηρίζονται και ως αντλίες θερμότητας.

### 2.3. Συνθήκες θερμικής άνεσης και υγείας

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις συνθήκες θερμικής άνεσης σε ένα χώρο και μπορούν να ρυθμιστούν από ένα σύστημα κλιματισμού είναι:

- Η θερμοκρασία (ξηρού βολβού) του περιβάλλοντος αέρα
- Η υγρασία του αέρα
- Η θερμοκρασία των επιφανειών που περιβάλλουν τον χώρο
- Η σχετική ταχύτητα του αέρα

Η θερμοκρασία (ξηρού βολβού) του περιβάλλοντος αέρα μετριέται με ένα θερμόμετρο, προφυλαγμένο από την ακτινοβολία, τοποθετημένο στο ύψος του κεφαλιού και σε απόσταση τουλάχιστον 1m από τους τοίχους και τα παράθυρα και αναφέρεται γενικά σε μέσες τιμές. Στοιχεία με γενική ισχύ δεν υπάρχουν αλλά γενικά σημαντικό στοιχείο είναι η ομοιόμορφη κατανομή της σε ένα χώρο. Γενικά δεν πρέπει να εμφανίζονται σε χώρους που αερίζονται διαφορές μεγαλύτερες από 4°C και σε χώρους που κλιματίζονται διαφορές μεγαλύτερες από  $\pm 1,5$  °C. Επίσης η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ δύο σημείων που βρίσκονται στην ίδια κατακόρυφο με ύψη από το δάπεδο 0,1m και 1,7m αντίστοιχα, δεν πρέπει να ξεπερνά τους 3 °C. Η εκλογή της θερμοκρασίας γίνεται με κριτήριο τόσο την θερμική άνεση όσο και την οικονομικότητα της εγκατάστασης. Συνιστώμενες συνθήκες σχεδιασμού για κλιματιζόμενους χώρους δίνονται στους πίνακες 2.1 και 2.2.

Η υγρασία του αέρα: η αποβολή θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα επιτυγχάνεται κατά ένα μέρος και με την εξάτμιση. Στη θερμοκρασία των 20 έως 22 °C, το ποσό της θερμότητας που απάγεται με εξάτμιση είναι πολύ μικρό. Στις θερμοκρασίες αυτές τα όρια της σχετικής υγρασίας είναι το κατώτερο 30% (κάτω από το οποίο σχηματίζεται σκόνη, δημιουργείται στατικός ηλεκτρισμός, ξηραίνονται οι βλεννογόνοι) και το ανώτερο 70% (πάνω από το οποίο δημιουργείται συμπύκνωση υδρατμών, σχηματίζεται μούχλα, εμφανίζονται οσμές που ερεθίζουν τα οσφρητικά όργανα του ανθρώπου), (βλ. πίνακες 2.1 και 2.2).

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1:** Συνιστώμενες συνθήκες σχεδιασμού για κλιματιζόμενους χώρους το χειμώνα [2]

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΩΡΟΥ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)
Κατοικίες	22	30 - 50
Κτίρια γραφείων	21 - 23	30 - 35
Βιβλιοθήκες - Μουσεία	20 - 22	40 - 50
Νοσοκομεία	24	30
Εστιατόρια και Κέντρα διασκέδασης	21 - 23	30 - 40

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2:** Συνιστώμενες συνθήκες σχεδιασμού για κλιματιζόμενους χώρους το θέρος [2]

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΩΡΟΥ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)
Κατοικίες	25 - 26	40 - 50
Κτίρια γραφείων	25 - 26	40 - 50
Βιβλιοθήκες - Μουσεία	22	40 - 55
Εστιατόρια και Κέντρα διασκέδασης	23 - 26	50 - 60
Εκπαιδευτικά κτίρια	26	45 - 50
Νοσοκομεία		
Αθλοστάσια	24	45 - 50
Χαρουργεία	20 - 24	50 - 60
Αναρρωτήρια	24	50 - 60

Η θερμοκρασία των επιφανειών που περιβάλλουν το χώρο: η μέση θερμοκρασία των επιφανειών που περιορίζουν ένα χώρο καθορίζει σε σημαντικό βαθμό την αποβολή θερμότητας από τον άνθρωπο. Αν η μέση θερμοκρασία των τοίχων πέσει κατά 1 °C, για έναν καθιστό άνθρωπο είναι σαν να έχει πέσει η θερμοκρασία του αέρα κατά 1 °C. Οι θερμοκρασίες λοιπόν τοίχων και αέρα έχουν, τουλάχιστον κατά προσέγγιση, την ίδια επίδραση στην αποβολή θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα. Για τον λόγο αυτό η μέση θερμοκρασία των τοίχων πρέπει να πλησιάζει όσο είναι δυνατόν τη θερμοκρασία του αέρα του χώρου.

Η σχετική ταχύτητα του αέρα επιδρά επίσης στο αίσθημα της θερμικής άνεσης. Μια ελαφρά κίνηση του αέρα στο ύπαιθρο δεν είναι καθόλου δυσάρεστη, πολλές φορές μάλιστα είναι και ευχάριστη. Αντίθετα, σε κλειστούς χώρους ο άνθρωπος είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος στην κίνηση του αέρα. Το πιο ενοχλητικό είναι να έχει ο αέρας που κινείται θερμοκρασία μικρότερη από τον αέρα του χώρου και να συναντά ένα

ορισμένο μέλος του ανθρώπινου σώματος από μίαν ορισμένη διεύθυνση. Τότε έχουμε τα ρεύματα, τα οποία μαζί με τους θορύβους είναι οι κυριότεροι εχθροί μιας εγκατάστασης κλιματισμού. Αντίθετα όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία του δέρματος του ανθρώπου, κάθε αύξηση της ταχύτητας του αέρα γύρω από το σώμα συμβάλλει προς την κατεύθυνση της ανέσεως. Τα επιτρεπτά όρια ταχύτητας του αέρα εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες όπως το είδος του χώρου, τα άτομα που ζουν και εργάζονται μέσα σ' αυτόν, τη διάρκεια παραμονής τους κ.α. Γενικά η επιτρεπτή ταχύτητα αέρα για θερμοκρασίες 20 – 25 °C είναι περίπου 0,15 έως 0,25 m/s (βλ. πίνακα 2.3). Σε χώρους με μεγάλη πυκνότητα όπου οι άνθρωποι κινούνται συνεχώς (όπως εμπορικά καταστήματα) επιτρέπεται μεγαλύτερη ταχύτητα του αέρα.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3:** Ενδεικνυόμενες ταχύτητες του αέρα σε κλειστούς χώρους\*, [2]

ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ (m/s)	ΕΠΙΔΡΑΣΗ	ΣΥΝΙΣΤΟΜΕΝΗ ΧΡΗΣΗ
0 + 0.08	Παραπάνω για έλαση κίνησης του αέρα	Καμία
0.125	Ιδανική κατάσταση	Για όλες τις εφαρμογές
0.125 + 0.25	Πολύ ικανοποιητική κατάσταση αλλά η ταχύτητα των 0.25 m/s πλησιάζει τη μέγιστη επιτρεπόμενη για άτομα που καθνται	Για όλες τις εφαρμογές
0.325	Όχι ικανοποιητική για χώρους γραφείων. Ο αέρας παροσέρει ελαφριά χαρτιά από τα γραφεία	
0.375	Μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα για άτομα που κινούνται	Εμπορικά καταστήματα
0.373 + 1.5	Επιτρεπόμενη μόνο για βιομηχανικές εφαρμογές	

\* Οι παραπάνω ταχύτητες αναφέρονται στη ζώνη διαμονής ατόμων κάθε χώρου (από το δάπεδο μέχρι 2 m ύψος περίπου)

Οι παραπάνω παράμετροι θεωρούνται καθοριστικές για την διαμόρφωση της θερμικής άνεσης. Οι παράμετροι που έχουν να κάνουν περισσότερο με την υγιεινή του αέρα των εσωτερικών χώρων και μαζί με άλλες παραμέτρους όπως π.χ. την ηλεκτρική κατάσταση του αέρα, τη ραδιενέργεια, το φωτισμό κτλ διαμορφώνουν το αίσθημα της ευεξίας είναι:

- Ο αερισμός και η καθαρότητα του αέρα:
- Ο θόρυβος

Η παροχή νωπού αέρα σε ένα χώρο είναι αναγκαία για την ανανέωση του οξυγόνου του χώρου, για την αραίωση των αερίων, του καπνού από το κάπνισμα και του διοξειδίου του άνθρακα που παράγουν οι άνθρωποι. Η απαραίτητη ποσότητα νωπού αέρα για τον παραπάνω σκοπό γίνεται συνήθως με κριτήριο την απαιτούμενη ποσότητα αέρα ανά άτομο (σε  $m^3/h$ , άτομο) και εξαρτάται από την πυκνότητα των ατόμων μέσα στο χώρο και από το είδος της δραστηριότητάς τους (βλ. πίνακα 2.4).

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4: Ενδεικνυόμενες ποσότητες αέρα για αερισμό χώρων [2]

ΕΙΔΟΣ ΧΩΡΟΥ	ΚΑΠΝΙΖΟΝΤΕΣ	ΝΟΣΟΣ ΑΕΡΑΣ [ $m^3/h$ άτομο]
Διαμερίσματα συνήθη	Μερικοί	8,5
Διαμερίσματα πολυτελή	Μερικοί	8,5
Κουρεία	Σημαντικός αριθμός	17,0
Μπαρ	Πάρα πολλοί	25,5
Καταστήματα	Κανένας	8,5
Γραφεία διευθυντών	Εκτάκτως πολλοί	25,5
Εργαστάσια	Κανένας	8,5
Νοσοκομεία, Χειρουργεία	Κανένας	Ειδικός κλιματισμός
Νοσοκομεία, Θάλαμοι ασθενών	Κανένας	25,5
Νοσοκομεία, χώρου προσωπικοί	Κανένας	17,0
Δωμάτια ξενοδοχείων	Πάρα πολλοί	25,5
Εργαστήρια	Μερικοί	8,5
Χώροι συγκεντρώσεων	Εκτάκτως πολλοί	25,5
Γραφεία συλλογικά	Μερικοί	8,5
Γραφεία προσωπικά	Κανένας / Σημαντικός αριθμός	8,5 / 25,5
Καφέ - Μπαρ	Σημαντικός αριθμός	17,0
Εισαπόρτα	Σημαντικός αριθμός	17,0
Χορεία-αίθουσες διδασκαλίας	Κανένας	17,0
Θέατρα	Κανένας	8,5
Τουαλέτες (εξοπλισμός)	-	36 $m^3/h, m^2$ δαπέδου

Σε πολλές περιπτώσεις ο προσδιορισμός της ποσότητας του αέρα που πρέπει να παρέχει το σύστημα κλιματισμού γίνεται με κριτήριο την ωριαία εναλλαγή του αέρα του χώρου (βλ. πίνακα 2.5). Το κριτήριο όμως αυτό δίνει μεγάλα όρια διακύμανσης για τις ωριαίες εναλλαγές του αέρα και δεν εξασφαλίζει πάντα την οικονομικότητα της εγκατάστασης. Σε ειδικές περιπτώσεις αερισμού (γκαραζ, βαφεία, εργοστάσια) ο υπολογισμός της απαιτούμενης ποσότητας νωπού αέρα γίνεται σύμφωνα με τις μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις βλαβερών ουσιών που παράγονται σε αυτούς τους χώρους. Γενικά, η βέλτιστη ποσότητα νωπού αέρα που θα εισαχθεί σε ένα κλιματιζόμενο χώρο εξαρτάται αφενός από τις ανάγκες αερισμού και αφετέρου από το ισοζύγιο θερμότητας και υγρασίας του χώρου.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.5: Ωριαίες εναλλαγές του αέρα για διάφορα είδη χώρων , [2]**

ΕΙΔΟΣ ΧΩΡΟΥ	ΩΡΙΑΙΑ ΕΝΑΛΛΑΓΗ ΑΕΡΑ
Λουτρά	5 – 8 φορές
Βιβλιοθήκες	4 – 5 φορές
Γραφεία	4 – 8 φορές
Χώροι εποικεπτών	5 – 10 φορές
Αμφιθέατρα	8 – 10 φορές
Εμπορικά καταστήματα	4 – 6 φορές
Κινηματογράφοι, θέατρα	4 – 6 φορές
Καταστήματα	6 – 8 φορές
Αίθουσες χειρουργείων	15 – 20 φορές
Κολυμβητήρια	3 – 4 φορές
Αίθουσες συνεδριάσεων	6 – 8 φορές
Ακουστήρια	8 – 10 φορές
Χώροι πωλήσεων	4 – 8 φορές
Χώροι συγκεντρώσεων	5 – 10 φορές
Συνεργεία χωρίς ιδιαίτερη παραγωγή ρυπαντών	3 – 6 φορές

Ένα ποσό εξωτερικού αέρα είναι πάντα απαραίτητο στα κτίρια για να αντικαθιστά το οξυγόνο που απαιτείται για την αναπνοή των ανθρώπων και για να διαλύει το

διοξειδίο του άνθρακα και τις άλλες βλαβερές ουσίες που παράγονται. Για τον έλεγχο των προσμίξεων όμως του αέρα απαιτείται συνήθως και ένας καθαρισμός του αέρα. Η εγκατάσταση κατάλληλου συστήματος καθαρισμού του αέρα είναι το τελικό βήμα για την εξασφάλιση ενός καθαρού και υγιεινού εσωτερικού κλίματος.

Τα αιωρούμενα σωματίδια του αέρα απομακρύνονται με τη χρήση κατάλληλων φίλτρων. Είναι ευνόητο ότι δεν μπορεί να υπάρχει μόνο ένας τύπος φίλτρου για όλες τις περιπτώσεις, γιατί η ποικιλία των αιωρούμενων σωματιδίων τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό περιβάλλον είναι πολύ μεγάλη και το εύρος στο μέγεθος, στο σχήμα και στις συγκεντρώσεις τους είναι τεράστιο.

Τα φίλτρα διακρίνονται σε μηχανικά, λαδιού, ξηρά, αλλά υφασμάτινα, υγρά φίλτρα, ηλεκτροφίλτρα, ενεργού άνθρακα, πολυβάθμια κ.α. Κάθε κατηγορία φίλτρου συγκρατεί μεγάλο ή μικρό ποσοστό από κάποιους ρυπαντές. Η επιλογή του τύπου, της απόδοσης και του αριθμού των βαθμίδων των φίλτρων εξαρτάται από την απαιτούμενη καθαρότητα του αέρα και είναι πρόβλημα τεχνικό-οικονομικής ανάλυσης.

Ο θόρυβος είναι κάθε ανεπιθύμητος ήχος, ο οποίος ενοχλεί τα άτομα που κατοικούν ή εργάζονται σε ένα κτίριο. Πηγές θορύβου μπορεί να υπάρχουν τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό περιβάλλον.

Μια σημαντική πηγή θορύβου είναι και το σύστημα κλιματισμού – αερισμού. Ο θόρυβος εδώ προέρχεται από τις συσκευές της κεντρικής εγκατάστασης (ανεμιστήρες, διάταξη φίλτρων, αντλίες, συμπιεστές, καυστήρες κ.α.), από τα συστήματα διανομής (επίδραση της υψηλής ταχύτητας του αέρα στους αεραγωγούς και τα εξαρτήματα του δικτύου αεραγωγών, επίδραση της υψηλής ταχύτητας του νερού στα δίκτυα σωληνώσεων και τα εξαρτήματά τους) και από τις συσκευές μέσα στους κλιματιζόμενους χώρους (αυτόνομες κλιματιστικές μονάδες, στόμια).

Τα προβλήματα θορύβου αντιμετωπίζονται με προσεκτική επιλογή και διαστασιολόγηση της εγκατάστασης και κατάλληλο σχεδιασμό για απομόνωση ή απορρόφηση των θορύβων. Συνήθως στον κλιματισμό εφαρμόζονται τρεις βασικές τεχνικές ελέγχου του θορύβου:

- Οι επεμβάσεις στην πηγή του θορύβου
- Οι επεμβάσεις στις οδούς μετάδοσης του θορύβου
- Οι επεμβάσεις στον χώρο

Σε κάθε περίπτωση πρέπει να τηρούνται οι επιτρεπόμενες στάθμες θορύβου, τις οποίες δίνουν οι κανονισμοί (βλ. πίνακα 2.6).



ΠΙΝΑΚΑΣ 2.6: Συνιστώμενες στάθμες θορύβου (NR\*) , [2]

ΕΙΔΟΣ ΧΩΡΟΥ	ΘΟΡΥΒΟΣ (Τμη NR)
Αίθουσες συναυλιών, studio ηχογράφησης	NR 20
Υποδωμάτια σπιτιών, εκκλησίες, TV studio, αίθουσες διαλέξεων (>50 άτομα)	NR 25
Καθιστικά σπιτιών, καθημερινά, γραφεία διευθυντών, αίθουσες συνδιαλέξεων (20-50 άτομα), δωμάτια διαφόρων χρήσεων, υποδωμάτια ξενοδοχείων, δωμάτια νοσοκομείων, κινηματογράφοι, δικαστήρια	25 < NR < 30
Δωμάτια ξενοδοχείων, γραφεία, αίθουσες συνδιαλέξεων (<20 άτομα), αίθουσες σχολείων, μουσεία, βιβλιοθήκες, τράπεζες, εστιατόρια	NR 30
Τραφεία σχεδιάσεως, χώροι αναμονής, εργαστήρια, ταχυδρομεία, εστιατόρια, νυχτερινά κέντρα, πολυκατοστήματα, εμπορικά καταστήματα	NR 35
Κουζίνες ξενοδοχείων, νοσοκομεία, αίθουσες Η/Υ, καφετέριες, super markets, κολυμβητήρια	NR 45
Τυπογραφεία	NR 50
Ελαφρές βιομηχανικές διεργασίες	NR 60
Χυτήρια, βαριές βιομηχανικές διεργασίες	NR 70
*Αντιστοιχία ανάμεσα στην τμη NR και την στάθμη ακουστικής πίεσης σε dB(A): NR = dB(A) - 5 dB	

### 3. Διανομή και διάχυση του αέρα στο χώρο

#### 3.1. Γενικά

Τα συστήματα διανομής αέρα στο χώρο προορίζονται για να παρέχουν θερμική άνεση και αερισμό για τους κατοίκους ενός κλιματιζόμενου χώρου ή για κάποια διεργασία. Παρόλο που οι τερματικές συσκευές αέρα (στόμια προσαγωγής και επιστροφής αέρα), τα τοπικά τμήματα των αγωγών και οι ίδιοι οι χώροι μπορεί να επηρεάζουν την διάχυση του αέρα στο χώρο, το κεφάλαιο αυτό απευθύνεται μόνο στα στόμια αέρα και τις άμεσες επιδράσεις αυτών, όσον αφορά τις συνθήκες άνεσης των κατοίκων. Η κατανόηση των αρχών της διάχυσης του αέρα στους χώρους βοηθά στην εκλογή, στο σχεδιασμό, στον έλεγχο και στη λειτουργία των συστημάτων αερισμού και κλιματισμού. Η σωστή διάχυση είναι ένας από τους βασικούς συντελεστές στην επίτευξη των επιθυμητών συνθηκών άνεσης, που είναι και το ζητούμενο σε κάθε σύστημα κλιματισμού. Ο σχεδιασμός του συστήματος διανομής αέρα πρέπει να επιδρά σε όλους τους παράγοντες που αναπτύχθηκαν στο κεφάλαιο 2.3 (περί θερμικής άνεσης), ώστε οι απώλειες θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα να διατηρούνται σε ένα ρυθμό που να εξασφαλίζει το αίσθημα της άνεσης. [4]

Ο αέρας εισάγεται στους κλιματιζόμενους χώρους από τα στόμια προσαγωγής. Ο αέρας προσαγωγής απορροφά τα θερμικά ή τα ψυκτικά φορτία του χώρου και δημιουργεί το επιθυμητό περιβάλλον θερμικής άνεσης και ευεξίας. Συγχρόνως με τον αέρα προσαγωγής, τα στόμια προσάγουν στο χώρο και το απαραίτητο ποσό νωπού αέρα.

Ο εισαγόμενος αέρας πρέπει να αποκτά μια αποδεκτή ταχύτητα και θερμοκρασία πριν εισέλθει στην κατοικημένη ζώνη (ορίζεται ως περιοχή από το δάπεδο μέχρι το ύψος των 2 m περίπου). Ο τρόπος με τον οποίο ο αέρας αποκτά την κατάλληλη θερμοκρασία και ταχύτητα βασίζεται στο φαινόμενο της διεύδυσης. Ο εξερχόμενος από το στόμιο αέρας παρασύρει λόγω της ταχύτητάς του, τον αέρα του χώρου. Ο αέρας ο οποίος έρχεται απευθείας από το στόμιο εξόδου ονομάζεται *πρωτεύοντα αέρας*. Ο αέρας του χώρου, που παρασύρεται από τον πρωτεύοντα αέρα ονομάζεται *δευτερεύοντα αέρας*. Η είσοδος του δευτερεύοντα αέρα στη δέσμη του πρωτεύοντα αυξάνει τη συνολική ποσότητα αέρα μέσα στη δέσμη. Επειδή η ορμή της δέσμης του αέρα παραμένει σταθερή ( $m \cdot v = ct$ ), καθώς αυξάνεται η μάζα του αέρα  $m_{av}$ , ελαττώνεται η ταχύτητά του  $v_{av}$ . Επίσης, η θερμοκρασία μέσα στη δέσμη εξισώνεται καθώς αναμιγνύονται οι δύο μάζες του αέρα, του πρωτεύοντα από το στόμιο και του δευτερεύοντα από το χώρο. Το συνολικό ρεύμα αέρα που αποτελείται από το μίγμα του πρωτεύοντα και δευτερεύοντα αέρα ονομάζεται *συνολικός αέρας*.

Ανάλογα με τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά, υπάρχουν στόμια τα οποία έχουν μεγάλη ικανότητα ανάμιξης πρωτεύοντα και δευτερεύοντα αέρα (μεγάλη διείσδυση) και έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα κλιματισμού με χαμηλές θερμοκρασίες αέρα προσαγωγής και υψηλές διαφορές θερμοκρασίας ανάμεσα στον αέρα του χώρου και τον αέρα προσαγωγής.

Γενικότερα ένα επιτυχημένο σύστημα διανομής αέρα στο χώρο πρέπει να λαμβάνει υπόψη και να ικανοποιεί τις απαιτήσεις που απορρέουν από τις κύριες αιτίες ενόχλησης ενός ανθρώπου σε ένα κλειστό χώρο (συνήθως οφείλονται σε λανθασμένη μελέτη ή κατασκευή του συστήματος διανομής), που είναι:

- Η υπερβολική ταχύτητα του αέρα (ρεύματα): είναι ιδιαίτερα ενοχλητικό όταν έχει ο αέρας που κινείται θερμοκρασία μικρότερη από τον αέρα του χώρου και κατευθύνεται πλευρικά προς το κεφάλι ή χτυπά τον αυχένα, ακόμα και με αποδεκτές ταχύτητες αέρα. Τότε έχουμε τα ρεύματα, τα οποία είναι ένας από τους κυριότερους εχθρούς των συστημάτων κλιματισμού. Αντίθετα όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία του δέρματος του ανθρώπου, κάθε αύξηση της ταχύτητας του αέρα γύρω από το σώμα συμβάλλει προς την θερμική άνεση (βλ. εικόνα 3.1). Από την άλλη πλευρά, υπερβολικά χαμηλές ταχύτητες του αέρα (κάτω από 0,08 m/s) προκαλούν αίσθηση στάσιμου αέρα που είναι το ίδιο ενοχλητική γι αυτό πρέπει να αποφεύγονται.
- Η ανομοιογενής διανομή της ροής του αέρα σε σχέση με τα υπάρχοντα φορτία
- Οι υπερβολικές αλλαγές της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος σε κατακόρυφο ή οριζόντιο επίπεδο: δεν επιτρέπεται να εμφανίζονται σε χώρους που αερίζονται διαφορές μεγαλύτερες από 4°C και σε χώρους που κλιματίζονται διαφορές από την ονομαστική τιμή της θερμοκρασίας μεγαλύτερες από ±1,5°C. Επίσης η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ δύο σημείων που βρίσκονται στην ίδια κατακόρυφο με ύψη από το δάπεδο 0,1 m και 1,7 m αντίστοιχα, δεν πρέπει να ξεπερνά τους 3°C. [2]



ΕΙΚΟΝΑ 3.1: Επιθυμητή διεύθυνση του αέρα σε σχέση με καθιστά άτομα [2]

### 3.2. Κατάταξη συστημάτων διάχυσης του αέρα στο χώρο

Τα συστήματα διανομής και διάχυσης του αέρα μπορούν να καταταχθούν σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες. Οι κατηγορίες αυτές είναι:

- Συστήματα ανάμιξης (mixed systems)*: παράγουν λίγη έως καθόλου θερμική στρωματοποίηση του αέρα εντός του χώρου, καθώς αναμιγνύουν τον πρωτεύοντα αέρα προσαγωγής με τον δευτερεύοντα αέρα του χώρου, λόγω του φαινομένου της διείσδυσης. Ένα παράδειγμα τέτοιου τύπου συστήματος είναι η «εναέρια» διανομή αέρα (overhead air distribution).
- Συστήματα μερικής ανάμιξης (partially mixed systems)*: παρέχουν κάποια ανάμιξη εντός της κατοικημένης ζώνης ενώ παράλληλα, δημιουργούν στρωματοποιημένες συνθήκες στον όγκο του αέρα πάνω από αυτήν. Οι περισσότερες υλοποιήσεις ενδοδαπέδιας διανομής αέρα (underfloor air distribution) αποτελούν παραδείγματα τέτοιου είδους συστήματος.
- Συστήματα πλήρους (θερμικής) στρωματοποίησης (fully thermally stratified systems)*: παράγουν λίγη έως καθόλου ανάμιξη του αέρα εντός της ζώνης κατοίκησης, καθώς προσάγουν τον πρωτεύοντα αέρα και εκτοπίζουν τον δευτερεύοντα αέρα του χώρου, χωρίς ανάμιξη. Ένα παράδειγμα τέτοιου τύπου συστήματος είναι ο αερισμός θερμικού εκτοπισμού (thermal displacement ventilation).
- Συστήματα τοπικού αερισμού ή κλιματισμού (task/ambient conditioning systems)*: εστιάζουν στον κλιματισμό ενός μόνο συγκεκριμένου μέρους του χώρου για εξασφάλιση θερμικής άνεσης, καθώς ο πρωτεύοντας αέρας αναμιγνύεται με τον δευτερεύοντα εντός των στομιών, σύμφωνα με την αρχή της επαγωγής. Παραδείγματα τέτοιου είδους συστήματος είναι τα ατομικώς ελεγχόμενα στόμια θρανίων (personally controlled desk outlets), τα οποία μερικές φορές αναφέρονται και ως ατομικά συστήματα αερισμού (personal ventilation systems) και ο σημειακός κλιματισμός (spot-conditioning system).

Τα συστήματα διανομής και διάχυσης του αέρα όπως το σύστημα εκτοπισμού αέρα και η ενδοδαπέδια διανομή αέρα, τα οποία προσάγουν τον αέρα (σε λειτουργία ψύξης) στο ή κοντά στο επίπεδο του δαπέδου και επιστρέφουν τον αέρα στο ή κοντά στο επίπεδο της οροφής παράγουν ποικίλες ποσότητες στρωματοποίησης αέρα δωματίου. Η εικόνα 3.2 παρουσιάζει μια σειρά απλοποιημένων κάθετων προφίλ της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης ρύπων, αναπαριστώντας το φάσμα των συνθηκών στρωματοποίησης, οι οποίες μπορεί να υφίστανται υπό λειτουργία ψύξης, από πλήρως στρωματοποιημένες (fully stratified) όπως ένα σύστημα

εκτοπισμού αέρα (displacement ventilation), έως πλήρους ανάμιξης (fully mixed), όπως ένα συμβατικό σύστημα «εναέριος» διανομής (overhead system).

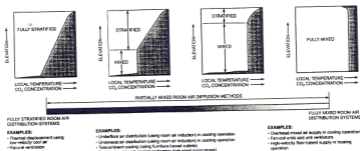
Για παροχή στο επίπεδο του δαπέδου, οι θερμικές τολύπες, οι οποίες αναπτύσσονται πάνω από πηγές θερμότητας μέσα στο δωμάτιο, παίζουν κυρίαρχο ρόλο στην καθοδήγηση της συνολικής κίνησης του αέρα από το δάπεδο έως την οροφή. Το ποσό της διαστρωμάτωσης μέσα στο δωμάτιο καθορίζεται πρωτίστως από την ισορροπία μεταξύ της συνολικής ροής αέρα στο δωμάτιο και των θερμικών φορτίων. Στην πράξη, το πραγματικό προφίλ θερμοκρασίας (ή συγκέντρωσης ρύπων) εξαρτάται από τα συνδυασμένα αποτελέσματα διαφόρων παραγόντων, αλλά σε μεγάλο βαθμό από τα χαρακτηριστικά της ροής του αέρα προσαγωγής στο δωμάτιο και της διαμόρφωση των θερμικών φορτίων.

Για την ροή του αέρα προσαγωγής στο χώρο, οι κύριοι παράγοντες είναι:

- Συνολική παροχή αέρα προσαγωγής στο δωμάτιο
- Θερμοκρασία αέρα προσαγωγής
- Τύπος και είδος στομίου
- Κάθετο βεληνεκές στομίου: αυτό σχετίζεται με το ποσό της ανάμιξης που παρέχεται από ένα στόμιο δαπέδου (ή στις συνθήκες του χώρου κοντά σε ένα χαμηλά τοποθετημένο στόμιο εκτοπισμού αέρα)

Για τα θερμικά φορτία του χώρου, οι κύριοι παράγοντες είναι:

- Μέγεθος και αριθμός φορτίων στο χώρο
- Είδος φορτίου (σημειακό ή πηγή διανομής)
- Επίπεδο φορτίου (πχ «εναέριος» φωτισμός, άτομο που στέκεται στο δάπεδο, υαλοπίνακας από το δάπεδο μέχρι την οροφή κτλ)
- Το κλάσμα ακτινοβολίας / συναγωγής
- Για τα προφίλ συγκέντρωσης ρύπων, εάν οι ρύποι συνδέονται με πηγές θερμότητας ή όχι



ΕΙΚΟΝΑ 3.2: Ταξινόμηση μεθόδων – συστημάτων διάχυσης αέρα [4]

### 3.3. Συστήματα ανάμιξης (Mixed systems)

Στα συστήματα ανάμιξης, εξερχόμενες δέσμες υψηλών ταχυτήτων από τα στόμια αέρα διατηρούν τις συνθήκες άνεσης αναμιγνύοντας τον πρωτεύοντα αέρα προσαγωγής με τον δευτερεύοντα αέρα του δωματίου με διείσδυση. Αυτή η ανάμιξη του αέρα, η μεταφορά θερμότητας και η προκύπτουσα μείωση της ταχύτητας θα πρέπει να λαμβάνουν χώρα εκτός της ζώνης κατοίκησης. Η θερμική άνεση των κατοίκων δεν διατηρείται απευθείας από την εξερχόμενη δέσμη του αέρα από τα στόμια, αλλά από την δευτερεύουσα κίνηση του αέρα η οποία προκύπτει από την διεργασία ανάμιξης που λαμβάνει χώρα στην μη-κατοικημένη ζώνη. Το αίσθημα της θερμικής άνεσης μεγιστοποιείται όταν ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας και ταχύτητες αέρα στο χώρο μικρότερες από 0,25 m/s διατηρούνται στην ζώνη κατοίκησης. [4]

Τα συστήματα ανάμιξης διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με τον τύπο των στομιών εξόδου. Οι διάφοροι τύποι των στομιών μπορούν να καταταχθούν σε πέντε ομάδες:

Ομάδα Α: Στόμια τα οποία τοποθετούνται μέσα ή κοντά στην οροφή και εκχέουν τον αέρα οριζόντια.

Ομάδα Β: Στόμια τα οποία τοποθετούνται μέσα ή κοντά στο δάπεδο και εκχέουν τον αέρα κατακόρυφα σε δέσμη που δε διαχέεται.

Ομάδα Γ: Στόμια τα οποία τοποθετούνται μέσα ή κοντά στο δάπεδο και εκχέουν τον αέρα κατακόρυφα σε δέσμη που διαχέεται σε σχήμα βεντάλιας.

Ομάδα Δ: Στόμια τα οποία τοποθετούνται μέσα ή κοντά στο δάπεδο και εκχέουν τον αέρα οριζόντια.

Ομάδα Ε: Στόμια τα οποία τοποθετούνται μέσα ή κοντά στην οροφή και εκχέουν τον αέρα κατακόρυφα.

Η ανάλυση της επίδρασης των στομιών εξόδου βασίστηκε στην κατανομή του πρωτεύοντος αέρα, στην κατανομή του συνολικού αέρα, στο στάσιμο στρώμα αέρα, στα φυσικά ρεύματα συναγωγής, στην κατανομή του αέρα επιστροφής και στην κίνηση του αέρα του χώρου. Στις εικόνες 3.3 έως 3.7, παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της κίνησης του αέρα στο χώρο για τις πέντε ομάδες στομιών. Οι εξωτερική τοιχοποιία απεικονίζεται με παχιές γραμμές. Οι αρχές της διάχυσης του αέρα που υπογραμμίζονται από αυτές τις εικόνες είναι οι εξής:

- Ο εξερχόμενος από το στόμιο πρωτεύοντας αέρας (ο οποίος απεικονίζεται με σκούρο χρώμα στις εικόνες 3.3 έως 3.7) μέχρι μια ταχύτητα της τάξης των 0,75 m/s μπορεί να υπολογιστεί αναλυτικά. Τα θερμικά ή τα ψυκτικά φορτία έχουν μια ισχυρή επίδραση στα χαρακτηριστικά του πρωτεύοντος αέρα.
- Ο συνολικός αέρας (ο οποίος απεικονίζεται με ανοιχτό γκρι χρώμα στις εικόνες 3.3 έως 3.7) επηρεάζεται από τον πρωτεύοντα αέρα και είναι σχετικά υψηλής ταχύτητας (αλλά μικρότερης από 0,75 m/s). Ο συνολικός αέρας επηρεάζεται επίσης από το περιβάλλον του χώρου και κατεβαίνει (πέφτει) κατά τη διάρκεια της λειτουργίας ψύξης ή ανεβαίνει κατά τη διάρκεια της λειτουργίας θέρμανσης. Δεν υπόκειται σε ακριβή αναλυτικό υπολογισμό.
- Τα φυσικά ρεύματα συναγωγής σχηματίζουν μια ζώνη στασιμότητας από την οροφή και προς τα κάτω κατά τη λειτουργία ψύξης και από το δάπεδο και προς τα πάνω, κατά τη λειτουργία θέρμανσης. Αυτή η ζώνη σχηματίζεται κάτω από το τερματικό σημείο του συνολικού αέρα κατά τη λειτουργία θέρμανσης και πάνω από αυτό, κατά τη λειτουργία ψύξης. Επειδή αυτή η ζώνη σχηματίζεται λόγω των φυσικών αυτών ρευμάτων, οι ταχύτητες του αέρα σ' αυτήν είναι συνήθως χαμηλές (περίπου 0,1 m/s) και ο αέρας στρωματοποιείται σε επίπεδα αυξανόμενων θερμοκρασιών. Η έννοια μιας ζώνης στασιμότητας είναι σημαντική στην σωστή επιλογή και εφαρμογή των στομιών εξόδου, διότι λαμβάνει υπόψη τα φυσικά ρεύματα συναγωγής από θερμές και ψυχρές επιφάνειες και τα εσωτερικά φορτία.
- Ένα στόμιο επιστροφής επηρεάζει την κίνηση του αέρα στο χώρο μόνο στην άμεση γειτνιάζουσα περιοχή του. Η εισαγωγή θα πρέπει να βρίσκεται στην ζώνη στασιμότητας για να επιστρέφει τον θερμότερο αέρα του δωματίου κατά τη διάρκεια της ψύξης ή τον ψυχρότερο αέρα του δωματίου κατά τη διάρκεια της θέρμανσης. Η σημασία της τοποθέτησης εξαρτάται από το σχετικό μέγεθος της ζώνης στασιμότητας, το οποίο με τη σειρά του εξαρτάται από το είδος του στομιού.

- Η γενική κίνηση του αέρα το χώρο (η οποία απεικονίζεται με βέλη στις λευκές περιοχές των εικόνων 3.3 έως 3.7) είναι μια απαλή μετατόπιση προς το σύνολο του αέρα. Οι συνθήκες του χώρου διατηρούνται όταν συμπαρασύρεται ο αέρας του χώρου εις το ρουν του συνολικού ρεύματος αέρα. Η κίνηση του αέρα του χώρου μεταξύ της ζώνης στασιμότητας και του συνολικού αέρα είναι σχετικά αργή και ομοιόμορφη. Η υψηλότερη κίνηση του αέρα εμφανίζεται μέσα και κοντά στα ρεύματα συνολικού αέρα. [4]

### 3.3.1. Στόμια ομάδας Α

Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει τα στόμια τοίχου, τα στόμια οροφής και τα γραμμικά στόμια, τα οποία διαχέουν τον αέρα οριζόντια.

Ο πρωτεύοντας αέρας εκτοξεύεται από τα στόμια τοίχου σε μία, δύο ή τρεις δέσμες. Τα κυκλικά στόμια οροφής εκτοξεύουν τον αέρα σε μια ακτίνα 360°. Τα ορθογωνικά ή τετραγωνικά στόμια οροφής μπορεί να εκτοξεύουν τον πρωτεύοντα αέρα προς μία, δύο, τρεις ή τέσσερις κατευθύνσεις και τα γραμμικά στόμια προς μία ή δύο κατευθύνσεις.

Στη διάρκεια της ψύξης ο συνολικός αέρας πέφτει προς τη ζώνη κατοίκησης σε μία απόσταση, η οποία εξαρτάται από την ποσότητα του αέρα, από την ταχύτητά του, από τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στον αέρα προσαγωγής και τον αέρα του χώρου, από την κατανομή των ψυκτικών φορτίων μέσα στο χώρο και από το φαινόμενο οροφής (*coanda effect*).

Το φαινόμενο οροφής χαρακτηρίζει τα στόμια αυτού του τύπου. Σύμφωνα με το φαινόμενο αυτό, ο αέρας που εξέρχεται από το στόμιο έχει υψηλή δυναμική πίεση λόγω της ταχύτητάς του. Επειδή προσάγεται οριζόντια κοντά στην οροφή, δημιουργείται ζώνη χαμηλότερης στατικής πίεσης στην περιοχή της οροφής σε σχέση με αυτή που επικρατεί στον υπόλοιπο χώρο. Με τον τρόπο αυτό, το ρεύμα του αέρα μένει προσκολλημένο στην οροφή μέχρις ότου μειωθεί η ταχύτητά του.

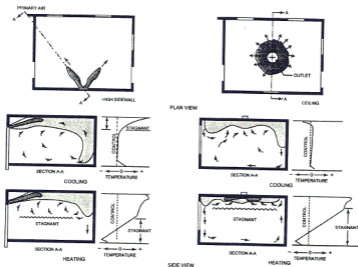
Στην περίπτωση των στομιών τοίχου, ο συνολικός αέρας μένει προσκολλημένος στην οροφή σε όλο το μήκος της και πέφτει προς το δάπεδο κινούμενος παράλληλα με τον απέναντι τοίχο. Στην περίπτωση των στομιών οροφής, ο συνολικός αέρας κινείται προσκολλημένος στην οροφή και ενώ φθάνει μέχρι τους εσωτερικούς τοίχους, δεν κατορθώνει να προσεγγίσει τον εξωτερικό τοίχο λόγω των ανοδικών θερμικών ρευμάτων που δημιουργούνται από τα ηλιακά φορτία. Η κατανομή της θερμοκρασίας είναι ομοιόμορφη στο χώρο κατοίκησης.

Επειδή τα στόμια αυτού του τύπου προσάγουν τον αέρα οριζόντια και κοντά στην οροφή, ο θερμός αέρας του χώρου αναμιγνύεται αμέσως με τον ψυχρό πρωτεύοντα



αέρα και μάλιστα μακριά από τη ζώνη κατοίκησης. Συνεπώς τα στόμια αυτά έχουν την ικανότητα να προσάγουν μεγάλες ποσότητες αέρα και με μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας ανάμεσα στον αέρα προσαγωγής και τον αέρα του χώρου.

Κατά τη λειτουργία σε θέρμανση, μπορεί να δημιουργηθεί μια ζώνη στάσιμου αέρα στην περιοχή πάνω από το δάπεδο. Αυτό συμβαίνει όταν δεν υπάρχει ικανοποιητική διείσδυση του αέρα του χώρου μέσα στον πρωτεύοντα αέρα. Με ορθή επιλογή στομιών, με αύξηση της παροχής, με εκλογή μεγαλύτερων ταχυτήτων εξόδου και με μείωση της διαφοράς θερμοκρασίας ανάμεσα στον αέρα προσαγωγής και στον αέρα του χώρου, το φαινόμενο αυτό μπορεί να περιορισθεί. Στη λειτουργία της θέρμανσης, όπως φαίνεται και από τα ανάλογα διαγράμματα της εικόνας 3.3, η κατανομή της θερμοκρασίας δεν είναι ομοιόμορφη στη ζώνη κατοίκησης.



ΕΙΚΟΝΑ 3.3: Χαρακτηριστικά της κίνησης του αέρα στο χώρο σε στόμια της ομάδας Α (τοποθέτηση ψηλά σε τοίχο και στην οροφή), [4]

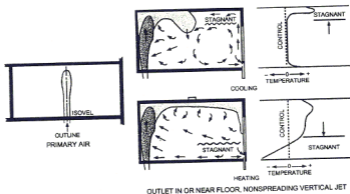
### 3.3.2. Στόμια ομάδας Β

Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει τις σχάρες δαπέδου (στόμια χωρίς οδηγητικά πτερύγια και διάφραγμα ρύθμισης), τις διόδους στη βάση του τοίχου, τις σχάρες γραμμικού τύπου στο δάπεδο και άλλες ανάλογου τύπου εξόδους αέρα.

Επειδή αυτές οι εξοδοί του αέρα δεν έχουν οδηγητικά πτερύγια, η ροή της δέσμης του πρωτεύοντα αέρα είναι κατακόρυφη χωρίς διάχυση. Όταν ο συνολικός αέρας φθάνει στην οροφή απλώνεται προς όλες τις κατευθύνσεις από το σημείο επαφής. Σε λειτουργία ψύξης, ο συνολικός αέρας ακολουθεί την οροφή για μια ορισμένη απόσταση και στη συνέχεια πέφτει προς την ζώνη κατοίκησης. Σε λειτουργία θέρμανσης, ο συνολικός αέρας ακολουθεί την οροφή σε όλο το μήκος της και στη συνέχεια πέφτει, διατηρώντας επαφή με τον απέναντι τοίχο.

Το διάγραμμα της ροής του αέρα σε λειτουργία ψύξης δείχνει ότι δημιουργείται μια ζώνη στασιμότητας κοντά στην οροφή. Κάτω από αυτή τη ζώνη στασιμότητας, η θερμοκρασία του αέρα είναι ομοιόμορφη και ο χώρος ψύχεται ικανοποιητικά. Επίσης η περιοχή κοντά στη δέσμη του πρωτεύοντα αέρα έχει θερμοκρασία κοντά στις συνθήκες σχεδιασμού. Η ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας εξαρτάται και από την απόσταση ανάμεσα στο σημείο πτώσης του αέρα και στον απέναντι τοίχο. Η απόσταση αυτή πρέπει να κυμαίνεται ανάμεσα στα 4,5 και 6 m.

Στη λειτουργία της θέρμανσης δημιουργείται υπερθέρμανση στην περιοχή πάνω από τη ζώνη στασιμότητας του αέρα.

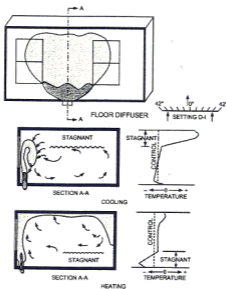


ΕΙΚΟΝΑ 3.4: Χαρακτηριστικά της κίνησης του αέρα στο χώρο σε στόμια της ομάδας Β (τοποθέτηση στο δάπεδο), [4]

### 3.3.3. Στόμια ομάδας C

Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει τα στόμια δαπέδου και τα στόμια στη βάση του τοίχου, τα οποία όμως έχουν οδηγητικά πτερύγια και έτσι διαχέουν τον αέρα προσαγωγής κατακόρυφα σε σχήμα βεντάλιας. Τα χαρακτηριστικά της ροής του συνολικού αέρα δεν διαφέρουν σημαντικά από αυτά της ομάδας Β, αν και η ζώνη του στάσιμου αέρα είναι μεγαλύτερη στην ψύξη και μικρότερη στη θέρμανση.

Η μεγάλη διάχυση του πρωτεύοντα αέρα προκαλεί τη γρήγορη πτώση του στη διάρκεια της ψύξης και έτσι ο συνολικός αέρας δε φθάνει συνήθως μέχρι την οροφή. Η κατανομή της θερμοκρασίας στο χώρο είναι ομοιόμορφη, εκτός από τις ζώνες στασιμότητας του αέρα.

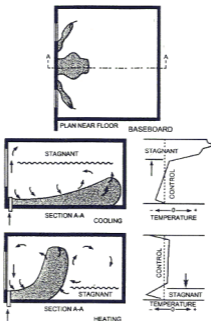


ΕΙΚΟΝΑ 3.5: Χαρακτηριστικά της κίνησης του αέρα στο χώρο σε στόμια της ομάδας C (τοποθέτηση στο δάπεδο), [4]

### 3.3.4. Στόμια ομάδας D

Στην ομάδα αυτή περιλαμβάνονται τα στόμια, τα οποία τοποθετούνται χαμηλά στο δάπεδο ή στη βάση των τοίχων και διαχέουν τον αέρα σε μία ή περισσότερες δέσμες, οριζόντια.

Στη διάρκεια της θερινής περιόδου, επειδή ο ψυχρός αέρας προσάγεται οριζόντια κοντά στο δάπεδο, ο συνολικός αέρας παραμένει χαμηλά για μεγάλο μήκος του χώρου. Στην περιοχή της οροφής δημιουργείται μεγάλη ζώνη στασιμότητας του αέρα. Στη διάρκεια του χειμώνα, ο θερμός αέρας τείνει να κατευθυνθεί, λόγω της άνωσης, προς την οροφή και δημιουργείται μια ζώνη στασιμότητας κοντά στο δάπεδο. Η κατανομή της θερμοκρασίας στο χώρο είναι αρκετά ομοιόμορφη, εκτός από τις ζώνες στασιμότητας του αέρα.

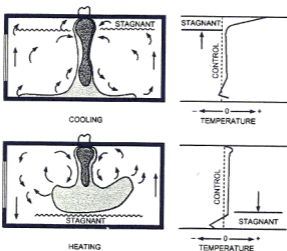


ΕΙΚΟΝΑ 3.6: Χαρακτηριστικά της κίνησης του αέρα στο χώρο σε στόμια της ομάδας D (τοποθέτηση κοντά στο δάπεδο), [4]

### 3.3.5. Στόμια ομάδας E

Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει τα στόμια οροφής και τα γραμμικά στόμια, τα οποία διαχέουν τον αέρα κάθετα προς την οροφή.

Σε λειτουργία ψύξης, ο συνολικός αέρας εκτοξεύεται προς το δάπεδο και διαχέεται σε όλη την επιφάνειά του. Συνήθως δημιουργείται ζώνη στασιμότητας κοντά στην οροφή. Κατά την θέρμανση, ο συνολικός αέρας αφού φθάσει στο δάπεδο, διαχέεται και κατευθύνεται στη συνέχεια προς την οροφή. Αν το στόμιο δεν έχει την ικανότητα να εκτοξεύσει τον αέρα μέχρι το δάπεδο, δημιουργείται ζώνη στασιμότητας και η περιοχή κοντά στο δάπεδο είναι ψυχρότερη. Η κατανομή της θερμοκρασίας στο χώρο είναι ομοιόμορφη, εκτός από τις ζώνες στασιμότητας του αέρα.



ΕΙΚΟΝΑ 3.7: Χαρακτηριστικά της κίνησης του αέρα στο χώρο σε στόμια της ομάδας E (τοποθέτηση στην οροφή), [4]

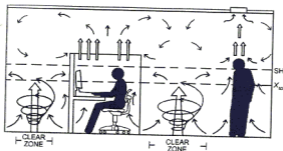
### 3.4. Συστήματα μερικής ανάμιξης (Partially mixed systems)

Τα συστήματα διανομής αέρα στο χώρο με μερική ανάμιξη, τα οποία χρησιμοποιούνται γενικότερα για ψύξη των χώρων, εκχέουν τον κλιματιζόμενο αέρα από χαμηλά σε τοίχο ή από το δάπεδο και η τύρβη εκροής του στομίου είναι σημαντικά μεγαλύτερη απ' ότι στα συστήματα πλήρους στρωματοποίησης (fully stratified systems). Αυτό δημιουργεί μια ζώνη υψηλής παράσυρσης κοντά στο επίπεδο εκροής. Ένα συχνό παράδειγμα συστήματος μερικής ανάμιξης αποτελεί το σύστημα ενδοδαπέδιας διανομής αέρα (UnderFloor Air Distribution systems, τα οποία στο εξής θα αναφέρονται ως συστήματα UFAD).

Τα συστήματα UFAD διαφέρουν από τα συστήματα εκτοπισμού αέρα (Thermal Displacement Ventilation systems, τα οποία στο εξής θα αναφέρονται ως συστήματα TDV και αποτελούν παράδειγμα συστήματος πλήρους θερμικής στρωματοποίησης) πρωτίστως στον τρόπο με τον οποίο ο αέρας διανέμεται στο χώρο: 1<sup>ο</sup>, ο αέρας παρέχεται σε υψηλότερες ταχύτητες διαμέσου μικρότερων στομιών προσαγωγής και 2<sup>ο</sup>, οι τοπικές συνθήκες παροχής αέρα είναι γενικά υπό τον έλεγχο των κατοίκων του χώρου, επιτρέποντας τη βελτιστοποίηση των συνθηκών άνεσης.

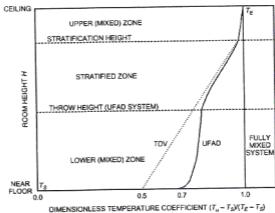
Εισάγοντας τον αέρα προσαγωγής με μεγαλύτερη ορμή, τα συστήματα UFAD μεταβάλλουν τις συνθήκες στην χαμηλότερη περιοχή του χώρου αυξάνοντας το ποσοστό της ανάμιξης και μειώνοντας την κλίση της θερμοκρασίας. Σε υψηλότερα επίπεδα στο δωμάτιο, πάνω από την περιοχή επιρροής των στομιών προσαγωγής, η συνολική επίδοση της ροής είναι παρόμοια με αυτή των συστημάτων TDV. Βασιζόμενοι σε πρόσφατα πειραματικά αποτελέσματα και σε μια προέκταση της θεωρίας εκτοπισμού, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τρεις διακριτές ζώνες στο χώρο για να περιγράψουν την διάχυση του αέρα των συστημάτων UFAD.

Στην εικόνα 3.8 απεικονίζεται μια ένα τυπικό μοτίβο ροής αέρα σε ένα σύστημα UFAD σε περιβάλλον γραφείου. Το σχήμα προσδιορίζει δύο χαρακτηριστικά ύψη στο δωμάτιο τα οποία καθορίζουν τις τρεις ζώνες στο δωμάτιο: 1<sup>ο</sup>, το κατακόρυφο βεληνεκές του στομίου δαπέδου ( $X_{50}$ ) και 2<sup>ο</sup>, το ύψος στρωματοποίησης (Stratification Height – SH), παρόμοια με αυτά που βρίσκει κανείς στα συστήματα TDV. Όπως απεικονίζεται, τα στόμια UFAD τυπικά δημιουργούν γειτονικές ζώνες, οι οποίες έχουν υπερβολικά χαμηλές θερμοκρασίες, καθιστώντας την υψηλής-διάρκειας κατοίκηση μη προτεινόμενη. Ωστόσο, όταν βρίσκονται υπό τον άμεσο ατομικό έλεγχο των κατοίκων, αυτές οι τοπικές θερμικές συνθήκες μπορεί να είναι αποδεκτές, ακόμα και επιθυμητές. Η αυξημένη ανάμιξη στη ζώνη κατοίκησης μειώνει την αποτελεσματικότητα του αερισμού, συγκριτικά με τα συστήματα TDV.



ΕΙΚΟΝΑ 3.8: Σύστημα UFAD με κατακόρυφο βεληνεκές στομίου, χαμηλότερο από το ύψος στρωματοποίησης (SH), [4]

Το γράφημα 3.1 συγκρίνει τυπικά κατακόρυφα προφίλ θερμοκρασιών για συστήματα UFAD, συστήματα TDV και συμβατικών συστημάτων πλήρους ανάμιξης. Τα απεικονιζόμενα προφίλ είναι χαρακτηριστικά συνήθων συνθηκών λειτουργίας και έχουν ως στόχο να δείξουν τις διαφορές – κλειδιά και τις ομοιότητες μεταξύ των τριών συστημάτων διανομής αέρα. Το προφίλ UFAD βασίζεται σε θερμοκρασίες σε μια περιοχή εκτός της άμεσης επιρροής των στομιών προσαγωγής (εκτός των γειτονικών ζωνών) και μπορεί να ποικίλει σημαντικά ανάλογα με διάφορους παράγοντες ελέγχου. Στο διάγραμμα φαίνεται η αδιαστατοποιημένη θερμοκρασία (λόγος θερμοκρασιών) προς το ύψος του χώρου, όπου  $T_H$  είναι η θερμοκρασία του δωματίου σαν συνάρτηση του ύψους,  $T_S$  είναι η θερμοκρασία προσαγωγής και  $T_E$  είναι η θερμοκρασία στο ύψος της οροφής (θερμοκρασία επιστροφής). Το γραμμικό προφίλ για το σύστημα TDV βασίζεται στον εμπειρικό κανόνα του 50% ο οποίος εφαρμόζεται σε δωμάτια με συμβατικό ύψος και συνήθη θερμικά φορτία, σύμφωνα με το οποίο, η θερμοκρασία κοντά στο δάπεδο υποτίθεται ότι είναι στη μέση μεταξύ της θερμοκρασίας προσαγωγής και της θερμοκρασίας επιστροφής. Το προφίλ TDV υποτίθεται ότι ταυτίζεται με το προφίλ UFAD στο ύψος στρωματοποίησης. Όσο το κατακόρυφο βεληνεκές των στομιών UFAD είναι χαμηλότερο από το ύψος στρωματοποίησης, η ανώτερη ζώνη του χώρου θεωρείται ότι συμπεριφέρεται με παρόμοιο τρόπο και για τα δύο συστήματα (με την προϋπόθεση ίδιου λόγου φορτίων χώρου / όγκος παροχής αέρα). Το προφίλ του συστήματος πλήρους ανάμιξης αναπαριστά ένα ομοιόμορφα αναμεμιγμένο δωμάτιο με την θερμοκρασία ίση με την θερμοκρασία επιστροφής. [4]



ΓΡΑΦΗΜΑ 3.1: Σύγκριση τυπικών κατακόρυφων προφίλ θερμοκρασίας για συστήματα UFAD, TDV και πλήρους ανάμιξης, [4]

### 3.4.1. Κατώτερη (αναμεμειγμένη) ζώνη

Η κατώτερη ζώνη γειτνιάζει απευθείας με το δάπεδο και ποικίλει σε βάθος ανάλογα με το κατακόρυφο βεληνεκές των τοποθετημένων στο δάπεδο στομιών που χρησιμοποιήθηκαν. Ο αέρας σε αυτό το επίπεδο είναι σχετικά καλώς αναμεμειγμένος εξαιτίας της επιρροής των δεσμών υψηλών ταχυτήτων κοντά στην έξοδο των στομιών προσαγωγής. Το άνω όριο της κατώτερης ζώνης συμπίπτει με το ύψος στο οποίο ο αέρας προσαγωγής αγγίζει μια τελική ταχύτητα περίπου 0,25 m/s. Η μεγάλη ανάμιξη σε αυτή τη ζώνη αυξάνει το λόγο θερμοκρασιών κοντά στο δάπεδο σε περίπου 0,7 και μειώνει την κλίση συγκριτικά με τα συστήματα TDV. Η κατώτερη αυτή ζώνη υπάρχει πάντοτε, παρόλο που το ύψος της μπορεί να ποικίλει σημαντικά, ανάλογα με το κατακόρυφο βεληνεκές των στομιών προσαγωγής και το λόγο των θερμικών φορτίων του χώρου προς τον αέρα προσαγωγής.

### 3.4.2. Ζώνη στρωματοποίησης

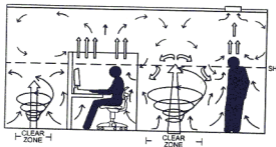
Η ζώνη στρωματοποίησης είναι μία μεταβατική περιοχή μεταξύ της κατώτερης και της ανώτερης ζώνης. Η κίνηση του αέρα σε αυτή τη ζώνη χαρακτηρίζεται ως πλήρως «ζωηρή», καθοδηγούμενη από ανοδικές θερμικές τολύπες, γύρω από πηγές θερμικής συναγωγής στο χώρο. Ο σχηματισμός αυτών των τολυπών σε αυτή την περιοχή είναι ανεμπόδιστος, επειδή η κίνηση του αέρα δεν επηρεάζεται από τις δέσμες αέρα προσαγωγής. Ως εκ τούτου, η κατακόρυφη κλίση θερμοκρασίας σε



αυτή τη ζώνη τείνει να γίνει η μέγιστη, προσεγγίζοντας αυτή των συστημάτων TDV. Η ζώνη στρωματοποίησης υφίσταται μόνον όταν το κατακόρυφο βεληνεκές των στομιών προσαγωγής είναι χαμηλότερο από το ύψος στρωματοποίησης (SH).

### 3.4.3. Ανώτερη (αναμεμιγμένη) ζώνη

Η ανώτερη ζώνη περιλαμβάνει ζεστό (με ρύπους) αέρα ο οποίος εναποτίθεται από τις ανοδικές θερμικές τολύπες μέσα στο χώρο. Παρόλο που η μέση τιμή της ταχύτητας του αέρα είναι γενικά σε αρκετά χαμηλά επίπεδα, ο αέρας σε αυτή τη ζώνη είναι σχετικά καλώς αναμεμιγμένος ως αποτέλεσμα της ορμής των θερμικών τολυλών, οι οποίες διεισδύουν στο κατώτερο όριο της ζώνης. Αυτή η ζώνη είναι ανάλογη με την ανώτερη ζώνη που υφίσταται σε χώρους που εξυπηρετούνται από συστήματα TDV. Το κάτω όριό της, το οποίο συμπίπτει με το ύψος στρωματοποίησης, είναι πρωτίστως μια συνάρτηση του λόγου των θερμικών φορτίων του χώρου προς την παροχή αέρα προσαγωγής. Αν οι δέσμες από τα στόμια προσαγωγής διεισδύσουν σε αυτή τη ζώνη, τότε το βάθος της (η ακόμα και η ύπαρξή της) μπορεί να επηρεαστούν, αν και, εφόσον ελέγχεται σωστά, αυτό μπορεί να είναι μία δευτερεύουσα συνέπεια (βλ. εικόνα 3.9).

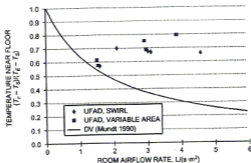


ΕΙΚΟΝΑ 3.9: Σύστημα UFAD με κατακόρυφο βεληνεκές στομιού πάνω από το ύψος στρωματοποίησης (SH), [4]

### 3.4.4. Θερμοκρασία κοντά στο δάπεδο

Όπως φαίνεται στο γράφημα 3.1, η υψηλή ανάμιξη που παρέχεται από την τυρβώδη ροή του αέρα προσαγωγής και χρησιμοποιείται από τα συστήματα UFAD αυξάνει την θερμοκρασία κοντά στο δάπεδο, συγκριτικά με τα συστήματα TDV (για την ίδια θερμοκρασία αέρα προσαγωγής και την ίδια παροχή). Το αποτέλεσμα αυτό φαίνεται πιο καθαρά στο γράφημα 3.2 στο οποίο παριστάνεται γραφικά η αδιάστατη

θερμοκρασία ως συνάρτηση της συνολικής παροχής αέρα στο χώρο. Όπου  $T_f$  είναι η θερμοκρασία κοντά στο δάπεδο,  $T_s$  είναι η θερμοκρασία προσαγωγής στο δάπεδο και  $T_e$  είναι η θερμοκρασία στην οροφή. Τα ύψη μέτρησης για την  $T_f$  είναι σε μια περιοχή από 75 έως 100 mm.



ΓΡΑΦΗΜΑ 3.2: Αδιάστατη θερμοκρασία κοντά στο δάπεδο σε σχέση με την παροχή αέρα στο χώρο, [4]

### 3.4.5. Ύψος στρωματοποίησης

Αν το κατακόρυφο βεληνεκές είναι ίσο ή μικρότερο από το ύψος στρωματοποίησης (βλ. εικόνα 3.8), τότε η μόνη ροή που θα διαπεράσει αυτό το ύψος θα είναι εξ αιτίας της επίδρασης της άνωσης, όπως παρόμοια συμβαίνει και στα συστήματα TDV. Όσο το βεληνεκές και η ανάμιξη μειώνονται, τόσο τα συστήματα UFAD τείνουν να προσεγγίσουν την λειτουργία των συστημάτων TDV. Αν το κατακόρυφο βεληνεκές είναι κοντά στο ή μεγαλύτερο από το ύψος στρωματοποίησης, τότε ο ψυχρότερος αέρας προσαγωγής διεισδύει στην πιο θερμή ανώτερη ζώνη πριν να ξαναπέσει κάτω προς την κατώτερη ζώνη, μεταφέροντας θερμό αέρα μαζί του (βλ. εικόνα 3.10). Παρόλο που πρόκειται για ένα θέμα της εν εξελίξει έρευνας, πρόσφατα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι όσο το βεληνεκές του στομίου δεν διεισδύει πολύ ψηλά στην ανώτερη ζώνη (μέχρι δηλαδή και στα 2,1 m ύψους σε ένα χώρο 3 m ψηλό), τόσο, σχετικά παρόμοιο, αίσθημα της άνεσης υλοποιείται στην ζώνη κατοίκησης, συγκριτικά με στόμια μικρότερου βεληνεκούς.

Η ποσότητα του αέρα που μεταφέρεται προς τα κάτω, επηρεάζει τις θερμοκρασίες στην κατώτερη ζώνη και μπορεί επίσης να αυξήσει το ύψος στρωματοποίησης, αλλά αυτό αποτελεί μια δευτερεύουσα συνέπεια. Υψηλότερο βεληνεκές, το οποίο

διαπερνάει το ύψος στρωματοποίησης, έχει ως αποτέλεσμα ελαφρώς υψηλότερες θερμοκρασίες και μικρότερες κλίσεις στην κατώτερη ζώνη.

Όταν μια πολύ ισχυρή δέσμη προσαγόμενου αέρα διεισδύει ψηλά στην ανώτερη ζώνη τότε είναι πιθανόν να διαταράξει το μοτίβο της στρωματοποιημένης ροής. Για παράδειγμα, εργαστηριακά πειράματα έδειξαν ότι όταν ένα στοιχείο προσαγωγής αέρα στο δάπεδο που λειτουργεί με ανεμιστήρα λειτουργεί σε υψηλότερες παροχές αέρα προσαγωγής, τότε οι ψυχρές δέσμες προσαγόμενου αέρα μπορούν να φθάσουν στην οροφή, με αποτέλεσμα να ελαχιστοποιείται η στρωματοποίηση και να δημιουργούνται σχεδόν ομοιόμορφες συνθήκες αερισμού. Προς αποφυγή της εξάλειψης μιας στρωματοποιημένης ζώνης με ένα σύστημα UFAD, θα πρέπει να περιορίζεται το κατακόρυφο βεληνεκές των στομιών και να μην πλησιάζει περισσότερο από 0,6 έως 0,9 m από την οροφή.

### 3.4.6. Τύποι στομιών εξόδου σε συστήματα μερικής ανάμιξης

Τα συστήματα μερικής ανάμιξης χρησιμοποιούν μια ευρεία ποικιλία στομιών εξόδου, διότι είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να προωθούν την ανάμιξη σε ένα ορισμένο κομμάτι του χώρου. Τα περισσότερα συστήματα μερικής ανάμιξης είναι ενδοδαπέδια συστήματα και αυτά είναι που αναλύονται στο παρόν κεφάλαιο.

Τα στόμια δαπέδου που χρησιμοποιούνται στα συστήματα μερικής ανάμιξης ταξινομούνται ως παθητικά ή ενεργά. Τα παθητικά στόμια τοποθετούνται στο plenum κάτω από το υπερυψωμένο δάπεδο πρόσβασης στα συστήματα UFAD. Δεν συνδέονται άμεσα ούτε με κάποια πηγή κλιματιζόμενου αέρα ούτε από κάποια συσκευή με ανεμιστήρα στο plenum του δαπέδου. Αντί αυτού, η παροχή τους εξαρτάται από την πίεση στο plenum του υπερυψωμένου δαπέδου, που παρέχει την υπηρεσία του κλιματισμού. Τα ενεργά στόμια συνδέονται είτε σε αγωγό προσαγωγής αέρα είτε σε κάποια συσκευή με ανεμιστήρα.

Τόσο τα παθητικά όσο και τα ενεργά στόμια μπορούν να λειτουργήσουν με σταθερή ή μεταβλητή παροχή αέρα. Η παροχή του προσαγόμενου αέρα σε στόμια μεταβλητής παροχής αέρα μπορεί να ρυθμίζεται είτε αυτόματα ως απάντηση σε ένα σήμα συστήματος ελέγχου, είτε χειροκίνητα από τους ενοίκους του χώρου.

Οι τρεις τύποι στομιών που χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε συστήματα UFAD είναι:

Τα στόμια δαπέδου στροβιλισμού του αέρα (swirl diffusers), τα γραμμικά ραβδοειδή στόμια (linear bar diffusers) και τα παθητικά στόμια δαπέδου (passive floor diffusers).

Τα στόμια δαπέδου στροβιλισμού του αέρα αποτελούν τον πιο κοινό τύπο στομίου προσαγωγής για ένα σύστημα UFAD. Η διάταξη στροβιλισμού του αέρα παρέχει ταχεία ανάμιξη του αέρα προσαγωγής με τον αέρα του χώρου μέχρι το ύψους του κατακόρυφου βεληνεκούς του στομίου. Παρόλο που η διάταξη εκροής του αέρα για τα περισσότερα στόμια στροβιλισμού δεν είναι ρυθμιζόμενη, οι ένοικοι του χώρου έχουν κάποιο περιορισμένο έλεγχο της παροχής του διανεμόμενου αέρα είτε περιστρέφοντας τα πτερύγια στην πρόσοψη του στομίου (αν υπάρχει αυτή ή δυνατότητα), είτε ανοίγοντας το στόμιο και ρυθμίζοντας ένα διάφραγμα ελέγχου παροχής (damper). Η μέγιστη παροχή για τα περισσότερα παθητικά στόμια στροβιλισμού τα οποία λειτουργούν σε τυπικές πιέσεις του plenum ενός συστήματος UFAD είναι περίπου  $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$  στα 20 Pa. Τα περισσότερα είναι εφοδιασμένα με λεκάνη απορροής για τη σκόνη και τις διαρροές υγρών.

Τα γραμμικά ραβδοειδή στόμια επίσης χρησιμοποιούνται συνήθως σε συστήματα UFAD. Συνήθως χρησιμοποιούνται ως ενεργά στόμια (τροφοδοτούμενα από τερματικές συσκευές με ανεμιστήρα με διατάξεις αναθέρμανσης) για θέρμανση και / ή ψύξη των περιμετρικών ζωνών, που γειτνιάζουν με τα εξωτερικά παράθυρα. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως παθητικά στόμια για την παροχή ψύξης απευθείας από το υπό πίεση plenum του δαπέδου. Στην τελευταία αυτή περίπτωση, η διανομή ψύξης είναι συνήθως μεταβλητής παροχής και διαφοροποιείται αυτόματα, σύμφωνα με την απαίτηση του θερμοστάτη του χώρου.

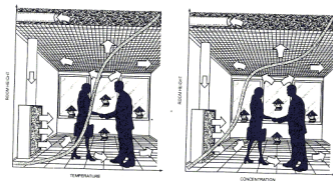
Τα παθητικά στόμια δαπέδου μπορούν επίσης να ρυθμιστούν ως στόμια μεταβλητής παροχής αέρα, με την απαίτηση ελέγχου και απαραίτητων συνδέσεων παροχής ρεύματος για να ρυθμίζουν αυτόματα ένα ενσωματωμένο διάφραγμα ελέγχου παροχής. Αυτά τα στόμια μπορούν να διανέμουν τον αέρα προσαγωγής, ανάλογα με το σήμα ενός θερμοστάτη του χώρου, είτε να χρησιμοποιούν ένα μετατροπέα πλάτους παλμού για να ρυθμίζουν συνεχώς ένα διάφραγμα εισόδου από πλήρως ανοιχτό σε πλήρως κλειστό (λειτουργία δύο θέσεων, ON-OFF). Στην τελευταία αυτή περίπτωση, ο αέρας διανέμεται μέσω μιας τετράγωνης σχάρας δαπέδου με εγκοπές, σε μοτίβο ροής δέσμης. Οι ένοικοι μπορούν να ρυθμίσουν την κατεύθυνση της δέσμης προσαγωγής αλλάζοντας τον προσανατολισμό της σχάρας.

Τα κουτιά plenum με ενσωματωμένα ρυθμιστικά διαφράγματα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να παρέχουν αυτόματη μεταβλητή παροχή διαμέσου στομίων δαπέδου συστήματος UFAD. Μπορούν να είναι είτε παθητικά είτε ενεργά, όσον αφορά τη λειτουργία, ανάλογα με το αν είναι υποβοηθούμενα από ανεμιστήρα ή τροφοδοτούνται απευθείας από το υπό πίεση plenum του δαπέδου. [4]

### 3.5. Συστήματα πλήρους στρωματοποίησης (Fully stratified systems)

Τα συστήματα πλήρους στρωματοποίησης χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές εφαρμογές εδώ και πολλά χρόνια. Το 1980 έγιναν μια δημοφιλή εναλλακτική λύση για κλιματισμό γραφείων και αιθουσών διδασκαλίας στην Ευρώπη. Η δημοτικότητα τους έχει πρόσφατα εξαπλωθεί στην Βόρεια Αμερική εξαιτίας την υψηλής τους απόδοσης όσον αφορά την απομάκρυνση μολυσματικών προσμίξεων και την πιθανή τους εξοικονόμηση ενέργειας, ειδικά σε σχετικά ήπια κλίματα. Τα συστήματα εκποτισμού (Thermal Displacement Ventilation Systems – TDV systems) αποτελούν την πιο ευρεία χρησιμοποιούμενη παραλλαγή των συστημάτων αυτών.

Ο κύριος σκοπός ενός συστήματος πλήρους στρωματοποίησης είναι να δημιουργεί μια ομογενή μίξη προσαγόμενου αέρα και αέρα του χώρου καθ' όλο τον όγκο του δωματίου. Οι προσμίξεις και η θερμότητα αραιώνονται και στη συνέχεια εξάγονται μέσω των στομιών επιστροφής. Τα συστήματα TDV (εικόνα 3.10) δεν επιχειρούν να αναμίξουν τη θερμότητα και τις προσμίξεις. Απεναντίας, τους επιτρέπουν να διαφύγουν προς την ανώτερη μη κατοικημένη ζώνη, από την οποία και εξάγονται. Με ένα σύστημα TDV, ο αέρας προσαγωγής εισάγεται απευθείας στην ζώνη κατοίκησης σε χαμηλές ταχύτητες και μια θερμοκρασία χαμηλότερη από αυτήν του αέρα του χώρου. Οι προσμίξεις και η θερμότητα στο χώρο μεταφέρονται από ροές συναγωγής (οι οποίες δημιουργούνται από πηγές θερμότητας του χώρου) προς το ανώτερο μέρος του χώρου. Ο ζεστός αέρας στην ανώτερη ζώνη δεν ανακυκλοφορεί στην κατοικημένη ζώνη και έτσι η θερμοκρασία και η συγκέντρωση των περισσότερων προσμίξεων στην είσοδο του στομίου επιστροφής υπερβαίνουν εκείνες της κατοικημένης ζώνης στο επίπεδο αναπνοής.



ΕΙΚΟΝΑ 3.10: Αερισμός με εκποτισμό αέρα. [4]

Τα συστήματα TDV προσφέρουν κλιματισμό αυξημένης αποτελεσματικότητας και μπορούν να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας. Οι εφαρμογές τους περιλαμβάνουν αίθουσες διδασκαλίας, αίθουσες συνεδριάσεων, θέατρα, εστιατόρια, σουπερμάρκετ και χώρους με υψηλή οροφή (3 m και άνω).

### 3.5.1. Ροές συναγωγής που σχετίζονται με πηγές θερμότητας του χώρου

Οι ροές θερμότητας με συναγωγή στο χώρο είναι οι κινητήριες δυνάμεις πίσω από ένα σύστημα TDV. Όταν η επιφανειακή θερμοκρασία μιας πηγής θερμότητας υπερβαίνει αυτή του αέρα που την περιβάλλει, θερμότητα μεταφέρεται στον περιβάλλοντα αέρα μέσω συναγωγής. Αυτή η μεταφορά θερμαίνει τον αέρα και προκαλεί την ανύψωσή του λόγω άνωσης. Αυτές οι ανοδικές τολύπες μεγαλώνουν καθώς παρασέρνουν τον αέρα του χώρου. Η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία δεν επηρεάζει άμεσα το σχηματισμό των θερμικών τολυπών, αλλά μπορεί έμμεσα να επηρεάσει την ανάπτυξη θερμικών τολυπών από άλλες πηγές θερμότητας, αυξάνοντας την επιφανειακή θερμοκρασία της πηγής.

Κάθε πηγή θερμότητας στο χώρο σχηματίζει τη δική της θερμική τολύπη. Ο σχηματισμός της τολύπης και η κατακόρυφη μετακίνησή της προσδιορίζονται από διάφορους παράγοντες:

- Σχήμα και επιφάνεια της πηγής θερμότητας
- Ένταση της πηγής θερμότητας
- Τύρβη του αέρα γύρω από την πηγή θερμότητας ( η τύρβη αποθαρρύνει το σχηματισμό τολυπών)
- Κλίση της θερμοκρασίας στο χώρο (επηρεάζει τον όγκο της τολύπης)

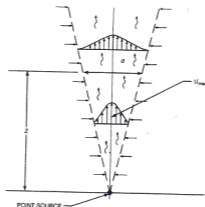
Η θερμική τολύπη ανυψώνεται μέχρι να συναντήσει αέρα του χώρου με παρόμοια θερμοκρασία.

### 3.5.2. Χαρακτηριστικά των θερμικών τολυπών

Καθώς μια θερμική τολύπη ανυψώνεται εξαιτίας της συναγωγής πάνω από μια πηγή θερμότητας, παρασύρει τον περιβάλλοντα αέρα και ως εκ τούτου αυξάνει σε μέγεθος και όγκο ενώ μειώνεται η ταχύτητά της (εικόνα 3.11). Το μέγιστο ύψος στο οποίο μπορεί να φθάσει μία θερμική τολύπη εξαρτάται πρωτίστως από τη θερμική δύναμη της πηγής και δευτερευόντως από την στρωματοποίηση στο χώρο (η οποία μειώνει την άνωση της ανυψούμενης τολύπης). Η στρωματοποιημένη ζώνη έχει ελάχιστη έως καθόλου ανακυκλοφορία. Σε αυτή την περιοχή, ο ψυχρός αέρας

προσαγωγής σταδιακά ρέει σε όλο το δωμάτιο σε ένα λεπτό στρώμα, τυπικού πάχους από 100 έως 150 mm. Έλκεται οριζοντίως προς τις πηγές θερμότητας, όπου ενώνεται με τον ανυψούμενο αέρα στις τοιχίες και παρασύρεται προς τα πάνω. Αυτές οι τοιχίες επεκτείνονται και ανυψώνονται μέχρι να συναντήσουν εξίσου θερμό αέρα στις ανώτερες περιοχές του χώρου. Η ανώτερη ζώνη πάνω από το ύψος στρωματοποίησης χαρακτηρίζεται από ανακυκλοφορία χαμηλής ταχύτητας, η οποία δημιουργεί ένα αρκετά καλά αναμειγμένο στρώμα θερμού αέρα με υψηλότερη συγκέντρωση ρυπογόνων προσμίξεων από αυτή των κατώτερων επιπέδων του χώρου.

Τυπικά, ο θερμότερος και χαμηλότερης ποιότητας αέρα (όσον αφορά την ποιότητά του, λόγω μεγάλης συγκέντρωσης προσμίξεων) δεν θα εισέλθει ξανά στην στρωματοποιημένη ζώνη. Αυτή η αρχή είναι η βάση για τον κλιματισμό αυξημένης αποτελεσματικότητας και την απόδοση της θερμικής αφαίρεσης των συστημάτων TDV.



ΕΙΚΟΝΑ 3.11: Θερμική τοίχιση από σημειακή πηγή. [4]

### 3.5.3. Κατακόρυφη κατανομή θερμοκρασίας

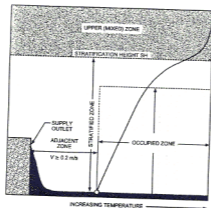
Τα στόμα συστημάτων TDV διαχέουν τον κλιματιζόμενο αέρα (συνήθως θερμοκρασίας από 15,5 έως 18 °C) σε πολύ χαμηλές ταχύτητες εξόδου (μικρότερες από 0,35 m/s). Ο ψυχρός αέρας πέφτει σχεδόν αμέσως προς το δάπεδο, εξαιτίας της αρνητικής του άνωσης. Η άνωση αυτή της προσαγωγής τον αναγκάζει να παραμένει

κοντά στο δάπεδο μέχρι να έρθει σε στενή επαφή με μια πηγή θερμότητας συναγωγής. Η ανοδική τολύπη που σχετίζεται με την πηγή, δημιουργεί έναν ελκυσμό, ο οποίος παρασύρει τον αέρα προσαγωγής από το δάπεδο. Καθώς περνάει κατακόρυφα πάνω από την πηγή, το διαχυμένος αέρας προσαγωγής θερμαίνεται και γίνεται μέρος της τολύπης συναγωγής.

Χώροι οι οποίοι κλιματίζονται με συστήματα TDV μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο βασικές ζώνες. Η εικόνα 3.12 απεικονίζει μια κατακόρυφη κλίση θερμοκρασίας για ένα σύστημα TDV εφαρμοσμένο σε ένα χώρο συμβατικού ύψους οροφής. Επιπρόσθετα, η *γεινιάζουσα ζώνη* (μερικές φορές καλούμενη ως *η εγγύ ή η καθαρή ζώνη*) είναι το κομμάτι του δωματίου κοντά στην έξοδο του στομίου προσαγωγής, όπου μπορούν να βρεθούν οριζόντιες ταχύτητες τιμών πάνω από 0,2 m/s. Αυτή η ζώνη ορίζεται ως ο όγκος του χώρου που συνορεύει οριζόντια με την έξοδο του στομίου και το κατακόρυφο επίπεδο που αντιστοιχεί στην μέγιστη έκταση μιας ισοκινητικής των 0,2 m/s. Οι κάτοικοι που στέκονται δεν θα πρέπει κανονικά να βρίσκονται μέσα σε αυτή τη ζώνη, γιατί οι τοπικές ταχύτητες και οι θερμοκρασίες του αέρα προσαγωγής είναι δυνατόν να προκαλέσουν αίσθηση ρευμάτων. Αφού ο αέρας προσαγωγής μειωθεί σε μια τελική ταχύτητα των 0,2 m/s ή και λιγότερο, όταν μετράται σε ύψος 100 mm πάνω από το δάπεδο, η θερμοκρασία του έχει συνήθως αυξηθεί σε ένα επίπεδο το οποίο δεν είναι πιθανό να προκαλέσει ρεύματα.

Αφού το κλιματιζόμενο μίγμα αέρα περάσει μέσω της γεινιάζουσας ζώνης, αποσπάται πέρα από το δάπεδο και πλέον κινείται μόνον κατακόρυφα όταν παρασυρθεί από μία τολύπη συναγωγής, η οποία σχετίζεται με μια πηγή θερμότητας του χώρου. Η τολύπη ανυψώνεται «διαμέσου του φυσικά στρωματοποιημένου περιβάλλοντος (η *ζώνη στρωματοποίησης*) σε ένα επίπεδο όπου συναντά εξίσου θερμό αέρα. Η τολύπη έπειτα, διαχέεται οριζόντια στο σύνολο του χώρου. Το επίπεδο στο οποίο αυτό συμβαίνει ονομάζεται *ύψος στρωματοποίησης (stratification height – SH)*. Η θερμότητα και οι προσμίξεις (των οποίων η άνωση υπερβαίνει αυτή του αέρα του χώρου) που απάγονται με τον εκτοπισμό του αέρα, συγκεντρώνονται στο χώρο πάνω από το ύψος στρωματοποίησης. Αυτό αναφέρεται ως η *άνωτερη ζώνη*.





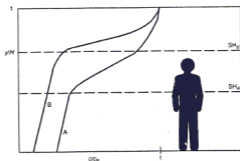
ΕΙΚΟΝΑ 3.12: Κατακόρυφες κλίσεις θερμοκρασίας σε συστήματα εκτοπισμού [4]

### 3.5.4. Κατανομή ρυπογόνων προσμίξεων

Ένα από τα βασικά οφέλη των συστημάτων πλήρους στρωματοποίησης είναι η αυξημένη αποδοτικότητα αφαίρεσης ρυπογόνων προσμίξεων, που σχετίζονται με πηγές θερμότητας του χώρου. Αυτές οι προσμίξεις μεταφέρονται άμεσα στην ανώτερη ζώνη μέσω θερμικών τολυτών που σχετίζονται με τις πηγές θερμότητας.

Το διάγραμμα 3.3 απεικονίζει το πώς επηρεάζει το ύψος στρωματοποίησης την ποιότητα του εσωτερικού αέρα στην ζώνη κατοίκησης για την εξιδανικευμένη περίπτωση ενός συστήματος TDV. Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα εξυπηρετεί ένα χώρο με μία μόνο πηγή θερμότητας (άτομο) και τους συναφείς του ρύπους (αναπνοή του ατόμου). Το διάγραμμα δείχνει δύο τυπικά κατακόρυφα προφίλ ρύπων από την αναπνοή του ατόμου. Φαίνονται οι κανονικοποιημένες συγκεντρώσεις των ρύπων ( $C/C_k$ ) προς το κανονικοποιημένο ύψος του χώρου ( $y/H$ ), όπου  $C_k$  είναι η συγκέντρωση στην σχάρα επιστροφής κοντά στο επίπεδο της οροφής και  $H$  είναι το ύψος του δωματίου. Και τα δύο προφίλ δείχνουν πως μια μεγάλη αύξηση της συγκέντρωσης των ρύπων λαμβάνει χώρα στο ύψος στρωματοποίησης, με καθαρότερο, λιγότερο ρυπογόνο αέρα στη ζώνη στρωματοποίησης και υψηλότερες συγκεντρώσεις ρύπων στην ανώτερη ζώνη. Το προφίλ A παράγεται από μια χαμηλότερη παροχή ή οποία έχει ως αποτέλεσμα ένα ύψος στρωματοποίησης  $SH_A$ , λίγο χαμηλότερο από το ύψος του κεφαλιού ενός στεκούμενου ατόμου. Αυξάνοντας την παροχή (ενώ τα φορτία παραμένουν σταθερά), το ύψος στρωματοποίησης  $SH_B$ , υψώνεται πάνω από το ύψος του κεφαλιού στο προφίλ B,

δημιουργώντας βελτιωμένη ποιότητα του εσωτερικού αέρα στο ύψος της αναπνοής. Το ύψος στρωματοποίησης μπορεί να μετατοπισθεί τοπικά περίπου 0,2 m προς τα πάνω, γύρω από ένα άτομο. Αυτό αντιπροσωπεύει την παράσυρση του καθαρότερου αέρα από τα κατώτερα επίπεδα στο δωμάτιο, μέσω της θερμικής τολύπης που υψώνεται γύρω από ένα άτομο, μέχρι το ύψος της αναπνοής.



ΓΡΑΦΗΜΑ 3.3: Κατακόρυφα προφίλ συγκέντρωσης ρύπων σε χώρο με σύστημα εκπομπής αέρα, [4]

### 3.5.5. Τύποι στομιών εξόδου σε συστήματα πλήρους στρωματοποίησης

Τα στόμια προσαγωγής σε συστήματα TDV είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να περιορίζουν τις ταχύτητες εξόδου σε περίπου 0,35 m/s ή και λιγότερο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, παροχές αέρα προσαγωγής με τυπικές τιμές από 0,25 έως 0,35 m<sup>3</sup>/s ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας διάχυσης. Ως εκ τούτου, τα στόμια που χρησιμοποιούνται σε συστήματα TDV τείνουν να είναι μεγαλύτερα, συγκριτικά με αυτά που χρησιμοποιούνται στα συστήματα ανάμιξης. Επίσης, σωστά σχεδιασμένα στόμια για συστήματα TDV περιλαμβάνουν και διατάξεις οι οποίες δημιουργούν κατάλληλες συνθήκες ισοκατανομής του αέρα προσαγωγής σε όλη την πρόσοψή τους, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι παραλλαγές στην ταχύτητα διάχυσης. Ισοκατανεμημένη ροή αέρα σε όλη την περιοχή διάχυσης μειώνει το μήκος της γειτνιαζουσας περιοχής του στομιού.

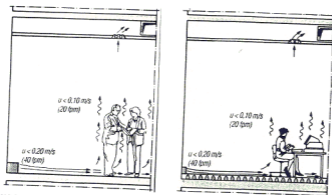
Τα στόμια για συστήματα TDV είναι διαθέσιμα σε ποικίλες γεωμετρίες και χωρητικότητες. Μπορούν να τοποθετηθούν με κρυφή στήριξη μέσα σε μεσοτοιχία, είτε εμπεριεχόμενα μέσα στο τοίχο, είτε μέσα σε ένα μηχανικό χώρο πίσω από αυτόν. Επίσης, συχνά τοποθετούνται γειτονικά σε μία μεσοτοιχία (με είτε 90° ή 180°

μοτίβο διάχυσης) ή σε μία γωνία (με ένα τεταρτοκύκλιο μοτίβο διάχυσης). Άλλα είναι στεκούμενα και σε σχήμα κολώνας με πλήρες ακτινικό μοτίβο διάχυσης.

Επειδή τα στόμια αυτά διαχέουν τον αέρα σε τόσο χαμηλές ταχύτητες, συμβάλλουν πολύ λίγο στην καθοδήγηση του ρεύματος αέρα προσαγωγής. Αυτό τα επιτρέπει να τοποθετούνται πίσω από αρχιτεκτονικά στοιχεία όπως περσίδες ή παραπετάσματα (παραβάν) και να παραμένουν οπτικώς διακριτικά.

Τα στόμια δαπέδου τα οποία διαχέουν τον αέρα οριζόντια σε χαμηλές παροχές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δημιουργήσουν ένα περιβάλλον πλήρως στρωματοποιημένου χώρου. Τα στόμια δαπέδου με κατακόρυφη διάχυση ή με τυρβώδεις δέσμες αέρα δεν μπορούν να δημιουργήσουν τέτοιες συνθήκες και καλύπτονται στον τομέα των συστημάτων μερικής ανάμιξης (βλ. παράγραφο 3.4.6).

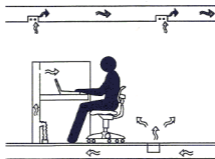
Στόμια για συστήματα TDV, αρκετά μικρότερα σε διαστάσεις, χρησιμοποιούνται για παροχή από τη βάση καθισμάτων σε εφαρμογές δημοσίων κτιρίων (θέατρα, αίθουσες διδασκαλίας, στάδια κλειστού στίβου κτλ.). Αυτά τα στόμια είναι γενικότερα σχεδιασμένα για πολύ χαμηλότερες ατομικές παροχές και χρησιμοποιούν συνήθως θερμότερο αέρα προσαγωγής. Μπορεί να είναι εξοπλισμένα με συσκευές εσωτερικής ανάμιξης, οι οποίες θα βοηθήσουν στο να μειωθεί το μήκος της γειννιάζουσας ζώνης τους. [4]



ΕΙΚΟΝΑ 3.13: Παραδείγματα συστημάτων εκτοπισμού αέρα, [2]

### 3.6. Συστήματα τοπικού αερισμού ή κλιματισμού (Task/ambient conditioning systems)

Τα συστήματα τοπικού αερισμού ή κλιματισμού (Task/Ambient Conditioning Systems, που στη συνέχεια θα αναφέρονται ως συστήματα TAC) υλοποιούνται συνήθως σε εγκαταστάσεις ενδοδαπέδιας διανομής αέρα (Underfloor Air distribution, UFAD) και παρέχουν κλιματισμένο αέρα τοπικά και κοντά στους ανθρώπους που κατοικούν στον κλιματισμένο χώρο. Τα συστήματα TAC παρέχουν στους ιδιώτες (άτομα) κάποιο έλεγχο πάνω στο τοπικό τους περιβάλλον χωρίς να επηρεάζουν δυσμενώς το περιβάλλον των κοντινών κατοίκων. Τυπικά, ο ένοικος δύναται να ελέγξει την ταχύτητα, την κατεύθυνση και, σε μερικές περιπτώσεις, την θερμοκρασία του αέρα προσαγωγής. Τα συστήματα TAC είναι πιο συχνά εγκατεστημένα σε γραφεία ανοιχτού σχεδιασμού για την παροχή αέρα και, σε μερικές περιπτώσεις, για την θέρμανση με ακτινοβολία απευθείας στους σταθμούς εργασίας. Η εικόνα 3.14 δείχνει ένα ενδοδαπέδιο σύστημα TAC με ένα τοπικό (προσωπικός κλιματισμός) στόμιο που βρίσκεται στο διαμέρισμα μπροστά από τον εργαζόμενο του γραφείου. Έρευνες έχουν δείξει ότι οι ένοικοι των κτιρίων που δεν έχουν την δυνατότητα ατομικού ελέγχου είναι δύο φορές πιο ευαίσθητοι σε αλλαγές της θερμοκρασίας από τους ενοίκους, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα ατομικού ελέγχου της θερμοκρασίας. [4]



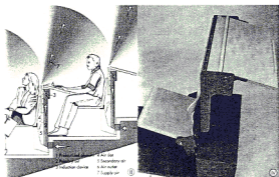
3.14: Ενδοδαπέδιο σύστημα TAC και προσωπικό σύστημα κλιματισμού, [4]

Σε σύγκριση με τα κλασικά συστήματα κλιματισμού, έχουν μεγαλύτερο αριθμό στομιών προσαγωγής αέρα, τα οποία εγκαθίστανται δίπλα στα άτομα που ζουν και εργάζονται στο χώρο. Τα στόμια προσαγωγής αέρα τοποθετούνται στο δάπεδο σε χώρους γραφείων ή ηλεκτρονικών υπολογιστών, στη βάση ή την πλάτη καθισμάτων

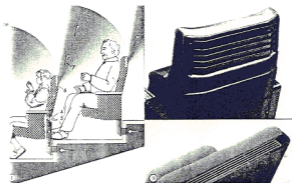
σε θέατρα και αίθουσες συναυλιών και στα μπροστινά τμήματα αναλογίων σε αμφιθέατρα. Τα στόμια επιστροφής του αέρα τοποθετούνται στην οροφή και έτσι η επιστροφή του αέρα γίνεται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως και στα συστήματα εκτοπισμού (TDV), δηλαδή τα ανοδικά ρεύματα του αέρα παρασύρουν τη θερμότητα και τους ρύπους που δημιουργούνται στο κάτω μέρος του κτιρίου (βλ. εικόνες 3.15 έως 3.19).



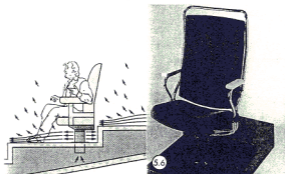
3.15: Τοπικό σύστημα κλιματισμού σε έδρανο , [2]



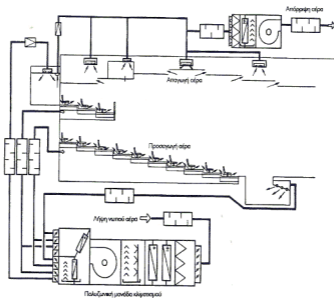
3.16: Στόμια συστημάτων ΤΑC σε έδρανα , [2] [8]



3.17: Στόμα συστημάτων TAC στην πλάτη πολυθρόνας , [2] [8]



3.18: Στόμα συστημάτων TAC στη βάση πολυθρόνας , [2] [8]



3.19: Εγκατάσταση κλιματισμού σε αίθουσα θεάτρου με πολυζωνική μονάδα κλιματισμού , [2]

## 4. Στόμια αέρα

### 4.1. Γενικά

Τα στόμια του αέρα είναι τα στοιχεία εκείνα των εγκαταστάσεων κλιματισμού, με τη βοήθεια των οποίων γίνεται η διανομή και η απαγωγή του αέρα στους κλιματιζόμενους χώρους. Τα στόμια διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

α) τα στόμια *προσαγωγής του αέρα*, μέσω των οποίων διανέμεται ο κλιματισμένος αέρας στους χώρους και δημιουργείται το επιθυμητό περιβάλλον θερμικής άνεσης και ευεξίας

β) τα στόμια *επιστροφής του αέρα*, μέσω των οποίων απάγεται από τους χώρους ο αέρας που ανακυκλοφορεί στην εγκατάσταση κλιματισμού ή απορρίπτεται στο εξωτερικό περιβάλλον.

Τα στόμια του αέρα αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα εξαρτήματα κάθε εγκατάστασης κλιματισμού ή αερισμού και πρέπει να υπολογίζονται και να εγκαθίστανται με πολλή μεγάλη προσοχή. Με τη σωστή επιλογή των στομιών αποφεύγεται μέσα στους κλιματιζόμενους χώρους η δημιουργία ρευμάτων ή περιοχών στάσιμου αέρα καθώς και οι υπερβολικές αλλαγές της θερμοκρασίας σε κατακόρυφο και οριζόντιο επίπεδο.

Ο έλεγχος και η ρύθμιση της κίνησης και της θερμοκρασίας του αέρα έχει ιδιαίτερη σημασία στο τμήμα του χώρου που παραμένουν τα άτομα, δηλαδή στη ζώνη που εκτείνεται από το δάπεδο μέχρι το ύψος των 1,80 m περίπου. Στην παραπάνω ζώνη είναι απαραίτητο να υπάρχει μια ελαφρά κίνηση του αέρα, όμως η ταχύτητα του αέρα δεν πρέπει να υπερβαίνει ένα όριο πέρα από το οποίο γίνεται ενοχλητική. Το όριο αυτό είναι τα 0,25 m/s.

Η ορθή επιλογή και τοποθέτηση των στομιών του αέρα εκτός από τα λειτουργικά αποτελέσματα που πρέπει να επιτυγχάνει, έχει ιδιαίτερη σημασία και για τους αρχιτέκτονες διότι κατά κανόνα τα στόμια είναι ορατά μέσα στους χώρους και δεν πρέπει να καταστρέφουν την συνολική αισθητική αντίληψη μέσα στο χώρο.

Οι τεχνικές, λειτουργικές και αισθητικές απαιτήσεις, οδήγησαν τους κατασκευαστές στη δημιουργία πολλών ειδών στομιών, τα οποία διαφέρουν στη μορφή, τις διαστάσεις και τον τρόπο λειτουργίας. Τα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους είναι συνήθως ο χάλυβας, το αλουμίνιο και το πλαστικό. [2]



## 4.2. Στόμια προσαγωγής του αέρα

Τα στόμια προσαγωγής αέρα όταν διαστασιολογούνται και τοποθετούνται σωστά, μπορούν να ρυθμίσουν την κίνηση του αέρα και να εξισώσουν τη θερμοκρασία του χώρου. Τα στόμια προσαγωγής κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με:

- τον τρόπο που διαχέουν τον αέρα στο χώρο (οριζόντια ή κατακόρυφα με αποκλίνουσα ή μη αποκλίνουσα δέσμη αέρα)
- τα φυσικά χαρακτηριστικά τους (τετράγωνα, ορθογωνικά, κυκλικά, γραμμικά, στόμια εκπομπής αέρα κλπ.)
- τη θέση τοποθέτησής τους (τοιχίου, οροφής ή διαπέδου)

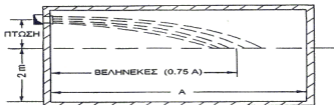
Τα στόμια προσαρμόζονται στεγανά στο άκρο ή σε ειδικά πλευρικά ανοίγματα των αεραγωγών και διαθέτουν πτερύγια (οριζόντια και κατακόρυφα) για τη διαμόρφωση της δέσμης του εξερχόμενου αέρα. Τα στόμια προσαγωγής είναι συνήθως εφοδιασμένα με διάφορα εξαρτήματα (καθοδηγητικά πτερύγια, ρυθμιστικά διαφράγματα κ.ά.), με τα οποία ρυθμίζεται η παροχή του αέρα προσαγωγής και ελέγχεται η σωστή διανομή της δέσμης του αέρα μέσα στο χώρο. Τα εξαρτήματα αυτά πρέπει να επιλέγονται και να τοποθετούνται σύμφωνα με τις υποδείξεις των κατασκευαστών, οι οποίοι δίνουν όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά των στομιών που κατασκευάζουν και σε πολλές περιπτώσεις παρέχουν και προγράμματα σε ηλεκτρονικό υπολογιστή για την ορθή εκλογή τους.

Ένα μέγεθος, το οποίο επιδρά σημαντικά στην σωστή διανομή του αέρα στο χώρο είναι το βεληνεκές. Το βεληνεκές σχετίζεται με τα στόμια τοίχου και είναι η οριζόντια απόσταση μεταξύ του στομιού και του σημείου εκείνου του ρεύματος αέρα, στο οποίο η ταχύτητα του αέρα έχει λάβει την τιμή 0,25 m/s. Συνήθως το βεληνεκές εκλέγεται ίσο με το 75% της απόστασης ανάμεσα στο στόμιο και τον απέναντι τοίχο. Οποσδήποτε υπάρχουν εξαιρέσεις σε αυτό τον κανόνα, όταν υπάρχουν πηγές θερμότητας στην απέναντι από το στόμιο πλευρά του δωματίου. Οι πηγές αυτές θερμότητας μπορεί να είναι κάποιες συσκευές που παράγουν θερμότητα ή ανοιχτές θύρες. Στις περιπτώσεις αυτές μπορεί να απαιτείται ο αέρας που εξέρχεται από το στόμιο να σαρώνει όλο το μήκος (ή το πλάτος) του χώρου.

Το βεληνεκές είναι συνάρτηση της ταχύτητας εξόδου του αέρα από το στόμιο, η μείωση της οποίας είναι ανάλογη της ποσότητας του δευτερεύοντα αέρα που συμπαρασύρει το πρωτεύον ρεύμα αέρα. Η ποσότητα αυτή είναι ανάλογη της περιμέτρου της διατομής του πρωτεύοντος ρεύματος. Συνεπώς για δύο στόμια αυτού του εμβαδού, εκείνο με τη μεγαλύτερη περίμετρο έχει το μικρότερο βεληνεκές. Για μια δεδομένη παροχή αέρα υπό ορισμένη πίεση, το μέγιστο

βεληνεκές επιτυγχάνεται με ένα κυκλικό στόμιο και το ελάχιστο με ένα επίμηκες με μορφή σχίσμης.

Κατά την εκλογή των στομιών τοίχου πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η πτώση του αέρα, η οποία είναι η κατακόρυφη απόσταση από τον άξονα του στομιού μέχρι το σημείο που η ταχύτητα του αέρα έχει πέσει στα 0,25 m/s. Το φαινόμενο της πτώσης οφείλεται στο ότι ο αέρας που βγαίνει από το στόμιο είναι ψυχρότερος από τον αέρα του χώρου, έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από αυτόν και συνεπώς ως βαρύτερος τείνει να κατέλθει. Η πτώση του αέρα είναι ανάλογη της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ της ψυχρής δέσμης και του αέρα του χώρου, του βεληνεκού και αντιστρόφως ανάλογη από την ταχύτητα εξόδου από το στόμιο. Το φαινόμενο της πτώσης είναι σημαντικό για της συνθήκες άνεσης, γι αυτό η πτώση του αέρα πρέπει να είναι τόσο, ώστε η ταχύτητα να φθάνει στην τιμή των 0,25 m/s περίπου στο ύψος ενός κανονικού ανθρώπου.



ΕΙΚΟΝΑ 4.1: Βεληνεκές και πτώση του αέρα σε στόμια προσαγωγής, [2]

Για την εκλογή των κυκλικών στομιών προσαγωγής, τα οποία τοποθετούνται στην οροφή των χώρων, σημασία έχει η μέγιστη ακτίνα διαχύσεως. Το μέγεθος αυτό είναι αντίστοιχο του βεληνεκού και είναι η οριζόντια απόσταση μεταξύ του στομιού και της ζώνης στην οποία η ταχύτητα του αέρα έχει ελαττωθεί στα 0,25 m/s. Η μέγιστη ακτίνα διαχύσεως δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τις διαστάσεις του χώρου, γιατί τότε ο αέρας θα χτυπάει στους τοίχους. Αν τα στόμια που θα εγκατασταθούν είναι περισσότερα από ένα, τότε η μέγιστη ακτίνα διαχύσεως κάθε στομιού θα πρέπει να περιορίζεται στα όρια της ζώνης που εξυπηρετεί.

Για την εκλογή των στομιών προσαγωγής συνήθως εφαρμόζεται η παρακάτω διαδικασία:

- 1) Υπολογίζεται η απαραίτητη ποσότητα του αέρα προσαγωγής. Η ποσότητα αυτή προκύπτει από το αισθητό ψυκτικό φορτίο του χώρου ή από το απαραίτητο ποσό του φρέσκου εξωτερικού αέρα, εάν αυτό είναι μεγαλύτερο.

- 2) Εκλέγεται ο τύπος και ο αριθμός των στομιών για κάθε χώρο. Τα κριτήρια επιλογής είναι η απαραίτητη ποσότητα του αέρα προσαγωγής, τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του χώρου (διαστάσεις, πιθανά εμπόδια στη ροή του αέρα) και οι αρχιτεκτονικές απαιτήσεις.
- 3) Εκλέγεται η θέση των στομιών στο χώρο, με κριτήριο την όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφη κατανομή του αέρα. Η εμπειρία του μηχανικού σε θέματα διανομής και διάχυσης του αέρα στο χώρο, παίζει πολύ μεγάλο ρόλο στην ορθή εκλογή της θέσης των στομιών. Σε πολλές περιπτώσεις η διαστασιολόγηση και η τοποθέτηση των στομιών στο χώρο γίνεται με κριτήριο τα θερμικά κέρδη ή τις θερμικές απώλειες στα διάφορα σημεία του χώρου (π.χ. μεγάλα ανοίγματα, συσκευές που παράγουν θερμότητα, μεγάλη συγκέντρωση ατόμων κλπ.).
- 4) Επιλέγεται το μέγεθος των στομιών σύμφωνα με την ποσότητα του αέρα προσαγωγής, το βεληνεκές και την πτώση του αέρα (για στόμια τοίχου) ή τη μέγιστη ακτίνα διάχυσης και την πτώση του αέρα (για στόμια οροφής). Πάντοτε πρέπει να ελέγχεται και η στάθμη θορύβου ώστε να μην υπερβαίνει τα ανώτερα επιτρεπόμενα όρια για τη χρήση του χώρου (παραπομπή στην παράγραφο 2.3, πίνακας 2.6).

Για να αποφύγουμε το ενδεχόμενο της υψηλής στάθμης θορύβου, η ταχύτητα του εξερχόμενου αέρα δεν πρέπει να ξεπερνάει το ανώτατο όριο που εξαρτάται από το είδος του χώρου και της εργασίας η οποία εκτελείται σ' αυτόν (βλ. πίνακα 4.1).

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1: Μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα εξόδου του αέρα για διάφορες εφαρμογές, [2]**

ΕΙΔΟΣ ΧΩΡΟΥ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ (m/s)
Στούντιο ραδιοφωνίας και τηλεόρασης, βιβλιοθήκες	2,5
Κατοικίες, γραφεία	3,8
Δωμάτια ξενοδοχείων, δωμάτια νοσοκομείων	3,8
Θέατρα	4,0
Δημόσια κτίρια, τράπεζες, εστιατόρια, κινηματογράφοι	5,0
Εμπορικά καταστήματα, γυμναστήρια, κουζίνες	7,5
Βιομηχανικά κτίρια, εργοστάσια	8,0

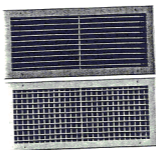
### 4.3. Κατηγορίες στομιών προσαγωγής

#### 4.3.1. Επίτοιχα στόμια (Wall outlets)

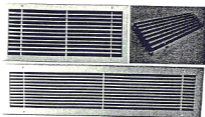
Τα στόμια αυτού του τύπου εγκαθίστανται στους τοίχους, κοντά στην οροφή και σε κατάλληλες αποστάσεις, ανάλογα με το μέγεθος και τη μορφή του κλιματιζόμενου χώρου. Είναι κατάλληλα για τη διάχυση ψυχρού αέρα, αλλά και θερμού αέρα σε περιοχές με ήπιο κλίμα. Η ταυτόχρονη χρήση τους για ψύξη και για θέρμανση πρέπει να εξετάζεται πολύ προσεκτικά και πρέπει να περιορίζεται σε διαφορές θερμοκρασίας που δεν υπερβαίνουν τους 15 °C σε λειτουργία θέρμανσης.

Γενικά υπάρχουν πολλές παραλλαγές επίτοιχων στομιών. Τα πλέον συνηθισμένα είναι τα ορθογωνικά με μία σειρά πτερυγίων, που είναι παράλληλα είτε στη μεγαλύτερη διάσταση είτε στη μικρότερη διάσταση του στομιού. Μεγάλη εφαρμογή συναντούν και τα στόμια με δύο σειρές πτερυγίων, στα οποία τα εμπρός πτερύγια είναι παράλληλα στη μεγαλύτερη διάσταση του στομιού και τα πίσω πτερύγια είναι παράλληλα στη μικρότερη διάσταση ή αντίθετα. Τα πτερύγια μπορούν να περιστρέφονται μεμονωμένα ή ομαδικά, με αποτέλεσμα η ρύθμιση της δέσμης του αέρα να μπορεί να γίνει προς μία έως τέσσερις κατευθύνσεις και να ελέγχεται πλήρως η διασπορά της.

Στα επίτοιχα στόμια μπορούν να προστεθούν πτερύγια σχήματος V ή επίπεδο διάφραγμα με ρυθμιζόμενο μηχανισμό κλίσης, για τη ρύθμιση της παροχής του αέρα. Επίσης στόμια που είναι επισκέψιμα μπορούν να κατασκευάζονται έτσι ώστε να περιλαμβάνουν και φίλτρο αέρα, το οποίο εξάγεται και επανατοποθετείται χωρίς την αφαίρεση του στομιού. [2]



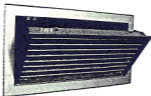
ΕΙΚΟΝΑ 4.2: Ορθογωνικά στόμια τοίχου με μία και δύο σειρές ρυθμιζόμενων πτερυγίων, [5]



ΕΙΚΟΝΑ 4.3: Γραμμικά επίτοιχα στόμια με μία σειρά σταθερών πτερυγίων βήματος 12 και 17 mm, καθώς και δείγμα της σχάρας τους, [5]



ΕΙΚΟΝΑ 4.4: Επίπεδο διάφραγμα με ρυθμιζόμενο μηχανισμό κλίσης, για την ρύθμιση της παροχής του αέρα σε επίτοιχα στόμια, [5]

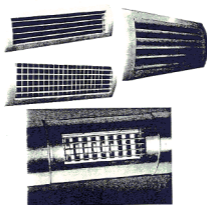


ΕΙΚΟΝΑ 4.5: Επισκέψιμο επίτοιχο στόμιο, [5]

#### 4.3.2. Ορθογωνικά στόμια για κυκλικούς αγωγούς (Round ducts outlets)

Τα στόμια αυτού του τύπου τοποθετούνται απευθείας σε κυκλικούς αεραγωγούς. Χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου το σύστημα κλιματισμού ενσωματώνεται στο συνολικό σχεδιασμό ενός χώρου και οι αεραγωγοί τοποθετούνται σε ορατές θέσεις. Συνήθως έχουν ενσωματωμένα ρυθμιστικά πτερύγια με τα οποία η δέση του εξερχόμενου αέρα γίνεται οριζόντια, κατακόρυφη, συγκλίνουσα ή αποκλίνουσα. Με τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν για ψύξη και για θέρμανση, χωρίς προβλήματα στη διάχυση του αέρα και στην ομοιόμορφη

κατανομή της θερμοκρασίας. Η κίνηση των ρυθμιστικών πτερυγίων μπορεί να γίνεται και αυτόματα με ηλεκτρικό σερβοκινητήρα. Επισημαίνεται ότι σε εφαρμογές με ορατούς αεραγωγούς η πορεία της ροής του αέρα μπορεί να μεταβληθεί με μεγαλύτερη ευκολία, λόγω της απουσίας του φαινομένου οροφής (coanda effect). [2]



ΕΙΚΟΝΑ 4.6: Ορθογωνικά στόμια για κυκλικούς αεραγωγούς με μία και δύο σειρές ρυθμιζόμενων πτερυγίων, με μία σειρά καμπύλων ρυθμιζόμενων πτερυγίων και παράδειγμα εγκατάστασής τους σε κυκλικό αγωγό, [5]

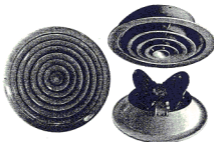
#### 4.3.3. Στόμια οροφής (Ceiling diffuser outlets)

Τα στόμια οροφής είναι συνήθως κυκλικής, ορθογωνικής ή τετραγωνικής διατομής. Είναι κατάλληλα για εκτεταμένους χώρους μεγάλων διαστάσεων, στους οποίους η τοποθέτηση στομιών τοίχου είναι πιθανόν να μην εξασφαλίζει την ομοιόμορφη διάχυση του αέρα. Συχνά όμως η τοποθέτησή τους επιβάλλεται και για λόγους αισθητικής ή γιατί συνδυάζονται με φωτιστικά σώματα του χώρου.

Τα κυκλικά στόμια οροφής αποτελούνται από σειρά κωνικών πτερυγίων, διαφορετικών διαμέτρων, τα οποία είναι είτε σταθερά είτε ρυθμιζόμενα. Η ρύθμιση των πτερυγίων δίνει τη δυνατότητα στον αέρα προσαγωγής να εξέρχεται από το στόμιο οριζόντια ή κατακόρυφα. Η κατακόρυφη διανομή του αέρα είναι κατάλληλη για εφαρμογές θέρμανσης σε χώρους με μεγάλο ύψος. Η οριζόντια διανομή του αέρα προτιμάται για περιπτώσεις χώρων με μικρό ύψος και εφαρμογές θερινού κλιματισμού. Γενικά εξασφαλίζουν ταχεία ανάμειξη του αέρα προσαγωγής με τον

αέρα του χώρου, με αποτέλεσμα τη γρήγορα εξίσωση της θερμοκρασίας και την αποφυγή δημιουργίας ενοχλητικών ρευμάτων. Τα κυκλικά στόμια αυτού του τύπου μπορούν να τοποθετηθούν και απευθείας σε ορατούς κυκλικούς αεραγωγούς.

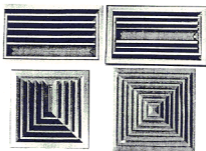
Για τη ρύθμιση της ποσότητας του αέρα και την ομοιόμορφη κατανομή του, τα κυκλικά στόμια εγκαθίστανται συνήθως με σχάρα ισοκατανομής και διάφραγμα ρύθμισης (damper). Η σχάρα ισοκατανομής είναι ένα εξάρτημα που τοποθετείται στο πίσω μέρος του στομίου και έχει ως σκοπό την ομοιόμορφη κατανομή του αέρα σε όλη την επιφάνεια του στομίου καθώς και τον έλεγχο της διεύθυνσής του. Το διάφραγμα ελέγχει την ποσότητα του αέρα που περνά μέσα από το στόμιο. Πίσω από τα στόμια υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης κιβωτίου plenum.



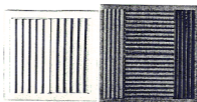
ΕΙΚΟΝΑ 4.7: Κυκλικά στόμια οροφής με σταθερά κωνικά πτερύγια, με ρυθμιζόμενα κωνικά πτερύγια και ρυθμιστικό διάφραγμα (damper) σε κυκλικά στόμια οροφής, [5]

Τα ορθογωνικά ή τετραγωνικά στόμια οροφής παρουσιάζουν τα ίδια χαρακτηριστικά με τα κυκλικά. Είναι κατασκευασμένα από πτερύγια τετραγωνικά ή ορθογωνικά που έχουν συναρμολογηθεί σε σταθερή θέση και μπορούν να διανεύουν τον αέρα οριζόντια προς μία έως τέσσερις κατευθύνσεις. Τα ορθογωνικά στόμια μπορούν να κατασκευαστούν και με ρυθμιζόμενα καμπύλα πτερύγια, τα οποία μπορούν να αλλάξουν την κατεύθυνση της δέσμης του αέρα από οριζόντια σε κατακόρυφη ή με οποιαδήποτε κλίση. Όπως και τα κυκλικά στόμια φέρουν σχάρα ισοκατανομής, διάφραγμα ή κιβώτιο plenum.

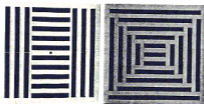
Εκτός από τις κλασικές διαμορφώσεις των κυκλικών και ορθογωνικών στομιών οι εταιρίες κατασκευής στομιών κλιματισμού διαθέτουν και διάφορους άλλους τύπους στομιών (πχ. Διάτρητα ή με πτερύγια τοποθετημένα σε διάφορα σχήματα) τα οποία μπορούν να καλύψουν τις λειτουργικές και αισθητικές απαιτήσεις κάθε χώρου. [2]



ΕΙΚΟΝΑ 4.8: Ορθογωνικά στόμια οροφής με σταθερά πτερύγια , μίας έως τεσσάρων κατευθύνσεων , [5]



ΕΙΚΟΝΑ 4.9: Ορθογωνικά στόμια οροφής με καμπύλα ρυθμιζόμενα πτερύγια, δύο και τεσσάρων κατευθύνσεων , [5]



ΕΙΚΟΝΑ 4.10: Ορθογωνικά στόμια οροφής με ρυθμιζόμενα πλαστικά πτερύγια, τεσσάρων κατευθύνσεων , [5]



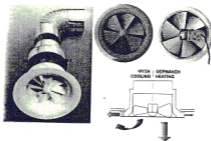
#### 4.3.4. Στόμια περιστρεφόμενης δέσμης (Twist diffuser outlets)

Τα στόμια περιστρεφόμενης δέσμης είναι κατάλληλα για τη διάχυση του αέρα εκ χώρου με μεγάλη επιφάνεια, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από ισχυρά θερμικά φορτία. Ξεπερνούν τους περιορισμούς των κλασικών στομιών τοίχου και οροφής, γιατί επιτρέπουν μεγαλύτερες παροχές αέρα για ίση επιφάνεια χώρου, χωρίς τη δημιουργία ρευμάτων και πτώσεων ψυχρού αέρα.

Κατασκευάζονται σε δύο τύπους, με σταθερή ή μεταβλητή γεωμετρία. Και οι δύο τύποι έχουν κυκλικό σχήμα με μία σειρά ελικοειδών πτερυγίων, τα οποία είναι αντίστοιχα σταθερά ή ρυθμιζόμενα. Η διάχυση του αέρα μεταβάλλεται ρυθμίζοντας τη γωνία των πτερυγίων. Η ρύθμιση γίνεται χειροκίνητα ή μέσω σερβοκινητήρα. Με τον τρόπο αυτό η προσαγωγή του αέρα προσαρμόζεται στις μεταβολές του φορτίου.

Τα πτερύγια του στομίου δημιουργούν ακινικά ρεύματα αέρα και έτσι δημιουργείται μια ισχυρή ανάμιξη με τον αέρα του περιβάλλοντος. Σε λειτουργία ψύξης ο αέρας διαχέεται οριζόντια. Στο κέντρο των ρευμάτων δημιουργείται έντονη υποπίεση που αναρροφά τον αέρα του χώρου από κάτω. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται υψηλή ανάμιξη με τον αέρα του χώρου. Σε λειτουργία θέρμανσης η δέσμη του αέρα κατευθύνεται κατακόρυφα προς τα κάτω.

Τα στόμια αυτά τοποθετούνται είτε χωνευτά σε ψευδοροφές είτε αναρτώνται από την οροφή. Μπορούν να τοποθετηθούν και σε ορατούς αεραγωγούς. Το ύψος τοποθέτησης μπορεί να ξεπεράσει τα 4 m και να φθάσει μέχρι 8 m. Η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στον αέρα προσαγωγής και στον αέρα του χώρου μπορεί να είναι μέχρι 12 K στην ψύξη και μέχρι 5 K στην θέρμανση. Η ηχητική τους στάθμη είναι χαμηλή.

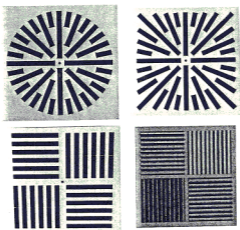


ΕΙΚΟΝΑ 4.11: Στόμια περιστρεφόμενης δέσμης με σταθερά πτερύγια, με χειροκίνητα ρυθμιζόμενα πτερύγια, με ρυθμιζόμενα πτερύγια μέσω αναλογικού σερβοκινητήρα και αρχή λειτουργίας ενός τέτοιου στομίου, [5]

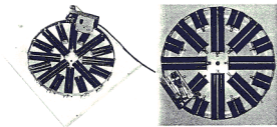
#### 4.3.5. Στόμια οροφής στροβιλισμού του αέρα (Swirl diffuser outlets)

Τα στόμια αυτού του τύπου είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για συστήματα κλιματισμού άνεσης που απαιτούν μεγάλες παροχές αέρα προσαγωγής. Ο αέρας διαχέεται σε μορφή χωριστών ρευμάτων, τα οποία χαρακτηρίζονται από έντονη περιστροφή. Έχουν μεγάλη ικανότητα διείσδυσης και έτσι επιτυγχάνεται μια γρήγορα εξισορρόπηση της θερμοκρασίας του χώρου σε πολύ μικρή απόσταση από το στόμιο, χωρίς τη δημιουργία ρευμάτων και πτώσεων του ψυχρού αέρα. Κατά τη θερινή λειτουργία ο αέρας διανέμεται οριζόντια και παράλληλα προς την οροφή. Σε πολλούς τύπους στομιών στροβιλισμού μπορεί να μεταβληθεί η γωνία πρόσπτωσης του αέρα για τη βελτίωση της βύθισης του αέρα στη λειτουργία της θέρμανσης.

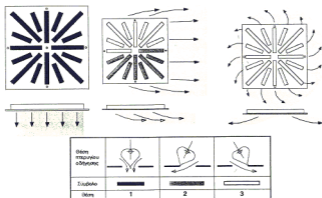
Τα στόμια στροβιλισμού μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς προβλήματα κατά την ψύξη μέχρι μια διαφορά θερμοκρασίας 12 K και για εναλλαγές του αέρα έως 14 φορές/ώρα. Η στάθμη θορύβου που δημιουργούν είναι χαμηλή και είναι κατάλληλα για συστήματα κλιματισμού μεταβλητής παροχής αέρα. Τοποθετούνται σε ύψος από 2,4 έως 4,5 m. Προσφέρονται σε κυκλικό ή τετράγωνο πλαίσιο. [2]



ΕΙΚΟΝΑ 4.12: Στόμια στροβιλισμού με ρυθμιζόμενα πλαστικά πτερυγία κυκλικής διάταξης και με ρυθμιζόμενα καμπύλια πτερυγία αλουμινίου ορθογωνικής διάταξης τεσσάρων κατευθύνσεων, [5]



ΕΙΚΟΝΑ 4.13: Διατάξεις αυτόματης ρύθμισης στομίων στροβιλισμού, με αναλογικό σερβοκινητήρα και με θερμικό μηχανισμό αυτορύθμισης. [5]



ΕΙΚΟΝΑ 4.14: Κύριες παραλλαγές θέσης των πτερυγίων οδήγησης αέρα σε στόμια οροφής στροβιλισμού. [5]

#### 4.3.6. Γραμμικά στόμια σε τοίχους, δάπεδα και οροφές (linear slot diffusers)

Ένα στόμιο χαρακτηρίζεται ως γραμμικό, όταν η σχέση ανάμεσα στο μήκος και το πλάτος του είναι μεγαλύτερη από 10 προς 1. Τα γραμμικά στόμια χρησιμοποιούνται σε μεγάλους ή μικρούς χώρους και βρίσκουν εκτεταμένη εφαρμογή, γιατί επιτυγχάνουν ικανοποιητική προσαγωγή ή απαγωγή αέρα χωρίς να δημιουργούν τη βίαιη μετακίνησή του.

Για εγκατάσταση σε τοίχους ή δάπεδα χρησιμοποιούνται γραμμικά στόμια με σταθερά πτερύγια, τα οποία είναι παράλληλα προς τη μεγάλη διάσταση του

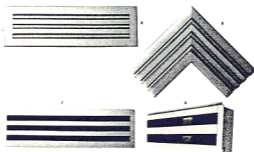
στομίου. Τα στόμια αυτού του τύπου προσάγουν τον αέρα σε σταθερή διεύθυνση. Όταν τοποθετούνται σε πλευρικούς τοίχους ή κοντά στην οροφή, η κλίση των πτερυγίων είναι ρυθμισμένη στις 0°. Με αυτή την κλίση, ο αέρας προσαγωγής μένει προσκολλημένος στην οροφή και μεγαλώνει το βεληνεκές, ενώ περιορίζεται η πτώση του. Όταν τα στόμια είναι τοποθετημένα σε απόσταση μεγαλύτερη των 300 mm από την οροφή, απαιτείται μία κλίση των πτερυγίων από 15° έως 30° προς τα πάνω. Τοποθέτηση στο δάπεδο γίνεται συνήθως μπροστά από μεγάλες γυάλινες επιφάνειες, οι οποίες χρησιμοποιούνται συχνά στα σύγχρονα κτίρια. Η κλίση των πτερυγίων εξαρτάται και εδώ από την απόσταση τοποθέτησης του στομίου από την εξωτερική επιφάνεια.

Τα πιο διαδεδομένα όμως γραμμικά στόμια είναι αυτά που τοποθετούνται στην οροφή. Η κατασκευαστική τους διαμόρφωση επιτρέπει την εύκολη και λειτουργική εγκατάστασή τους σε ψευδοροφές, όπου είναι σχεδόν «αόρατα». Κατασκευάζονται με μία ή περισσότερες εγκοπές (συνήθως μέχρι 4) και είναι εφοδιασμένα με πτερύγια εκτροπής της ροής του αέρα. Τα πτερύγια εκτροπής σε κάθε εγκοπή ρυθμίζονται σε τέτοιες θέσεις ώστε ο αέρας προσαγωγής να μπορεί να κατευθύνεται από οριζόντια προς τα δεξιά ή αριστερά, έως κατακόρυφα προς τα κάτω.

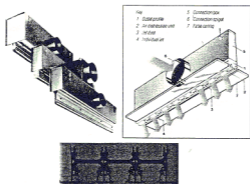
Η ρύθμιση αυτή των πτερυγίων και η μεγάλη ικανότητα που έχουν να αναμειγνύουν τον πρωτεύοντα αέρα προσαγωγής με τον δευτερεύοντα αέρα του χώρου (ικανότητα διείδυσης), τα καθιστά κατάλληλα για εφαρμογές ψύξης και θέρμανσης, χωρίς προβλήματα στην κίνηση του αέρα και στην ομοιομορφία της θερμοκρασίας του χώρου. Λόγω της μεγάλης διείδυσης μπορούν να λειτουργούν στην ψύξη με μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας, μέχρι 12 Κ. Αυτό επιτρέπει τη μείωση των αναγκαίων παροχών αέρα σε σχέση με τα κλασικά στόμια.

Στην περίπτωση της ψύξης η δέση του αέρα κατευθύνεται οριζόντια και εξασφαλίζει τη γρήγορη πτώση της ταχύτητας του αέρα και των διαφορών θερμοκρασίας. Με τον τρόπο αυτό η θερμοκρασία του αέρα προσαγωγής και η θερμοκρασία του χώρου εξισώνονται γρήγορα. Στην περίπτωση της θέρμανσης η δέση του αέρα κατευθύνεται κατακόρυφα και η μεγάλη διείδυση εξασφαλίζει τη γρήγορη και αποτελεσματική θέρμανση του χώρου.

Πάνω από τα στόμια υπάρχει κιβώτιο plenum, μέσω του οποίου ένα ή περισσότερα στόμια συνδέονται με το δίκτυο αεραγωγών. Με ρυθμιστικό διάφραγμα που τοποθετείται στην είσοδο του κιβωτίου plenum μπορεί να ρυθμιστεί και η παροχή του αέρα. Αξίζει να επισημανθεί ότι τα γραμμικά στόμια οροφής είναι τα πλέον κατάλληλα για συστήματα κλιματισμού μεταβλητής παροχής αέρα. [2]



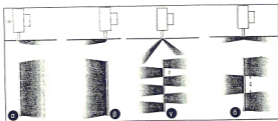
ΕΙΚΟΝΑ 4.15: Γραμμικά στόμια 3 εγκοπών, ορθογώνια και γωνίας (Α και Β) με κυλινδρικά ρυθμιστικά πτερύγια, 3 και 2 εγκοπών, ορθογώνια με πλαστικά πτερύγια (Γ και Δ), [5]



ΕΙΚΟΝΑ 4.16: Τυπικά γραμμικά στόμια τύπου slot μαζί με το κιβώτιο ribnum και λεπτομέρεια σε τμή εσωτερικής κατασκευαστικής διαμόρφωσης τυπικού γραμμικού στόμιου, [5] [8]



ΕΙΚΟΝΑ 4.17: Πίσω όψη γραμμικού στόμιου 2 εγκοπών με θερμικό μηχανισμό αυτορρύθμισης των πτερυγίων, [5]



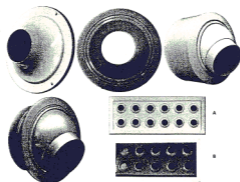
ΕΙΚΟΝΑ 4.18: Δυνατότητες κατεύθυνσης του αέρα προσαγωγής σε γραμμικά στόμια οροφής, οριζόντια αριστερά (α), οριζόντια δεξιά (β), δεξιά-αριστερά υπό γωνία (γ), δεξιά-αριστερά οριζόντια (δ), [8]

#### 4.3.7. Ακροφύσια μεγάλης εμβέλειας (long range nozzles)

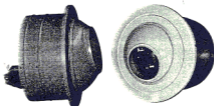
Τα ακροφύσια μεγάλης εμβέλειας χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που ο αέρας προσαγωγής πρέπει να διανύσει μεγάλες αποστάσεις μέχρι να φθάσει στη ζώνη παραμονής του κλιματιζόμενου χώρου. Η περίπτωση αυτή συναντάται σε πολύ μεγάλους χώρους, όπως θέατρα, αίθουσες συναυλιών κλπ, ιδιαίτερα όταν η προσαγωγή του αέρα με στόμια οροφής είναι αδύνατη ή παρουσιάζει προβλήματα. Στους χώρους αυτούς τα ακροφύσια τοποθετούνται σε περιοχές κοντά στους πλευρικούς τοίχους, πάνω σε εξώστες ή πάνω σε κολώνες.

Αποτελούνται από ένα κώνο ενσωματωμένο σε σφαιρική έδρα, που μπορεί να προσανατολισθεί κατά  $30^\circ$  προς όλες τις κατευθύνσεις. Ο προσανατολισμός είναι πολύ σημαντικός γιατί στο στάδιο της μελέτης δεν είναι δυνατό να προβλεφθεί η πραγματική ροή του αέρα για εμβέλειες μεγαλύτερες από 7 έως 10 m. Τα στόμια αυτού του τύπου επιτρέπουν εμβέλειες από 4,5 έως 30 m. Η κατεύθυνση της δέσμης του αέρα ρυθμίζεται μετά την εγκατάσταση των ακροφυσίων και μπορεί να μεταβάλλεται αυτόματα με ηλεκτρικό σερβοκινητήρα. Η ηχητική στάθμη τους είναι εξαιρετικά χαμηλή και η μέγιστη αποδεκτή διαφορά θερμοκρασίας κατά την ψύξη είναι 10 K.

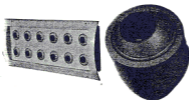
Για να αποφευχθούν ρεύματα κατά τη λειτουργία σε ψύξη, ο αέρας προσαγωγής δεν πρέπει να κατευθύνεται απότομα προς τα κάτω. Ρεύματα μπορούν να προκληθούν επίσης και εάν τα ακροφύσια τοποθετηθούν σε χαμηλό ύψος. Ανάλογα με τον τύπο του ακροφυσίου συνίσταται η τοποθέτησή τους σε ύψος τουλάχιστον 2,5 m.



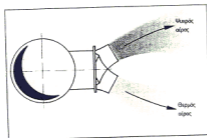
ΕΙΚΟΝΑ 4.19: Διάφορα ακροφύσια μεγάλης εμβέλειας και ειδικά διαμορφωμένα υβριδικά στόμια με φέροντα ακροφύσια και αυτόνομη ρύθμιση του κάθε ακροφυσίου (Α) ή ταυτόχρονη ρύθμιση των ακροφυσίων (Β) , [5]



ΕΙΚΟΝΑ 4.20: Διατάξεις αυτόματης ρύθμισης ακροφυσίων μεγάλης εμβέλειας, με αναλογικό σερβοκινητήρα και με θερμικό μηχανισμό αυτορρύθμισης, [5]



ΕΙΚΟΝΑ 4.21: Διαμορφώσεις ακροφυσίων μεγάλης εμβέλειας για προσαρμογή σε πλευρικά τμήματα κυκλικών αεραγωγών , [5]



ΕΙΚΟΝΑ 4.22: Κατευθύνσεις του αέρα προσαγωγής με ακροφύσια μεγάλης εμβέλειας (θερινή - χειμερινή λειτουργία) , [2]

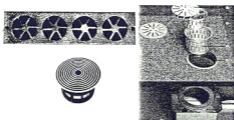
#### 4.3.8. Στόμια δαπέδου με στροβιλισμό (floor swirl diffuser outlets)

Τα στόμια αυτού του τύπου είναι κατάλληλα για χώρους με μεγάλη πυκνότητα εσωτερικών πηγών θερμότητας (πχ. χώροι ηλεκτρονικών υπολογιστών), στους οποίους λόγω της άνωσης δημιουργείται μία συνεχής φυσική ροή αέρα προς την οροφή. Τα στόμια δαπέδου με στροβιλισμό, με τη μεγάλη ικανότητα διεύθυνσης που έχουν, προκαλούν μια γρήγορα πτώση της ταχύτητας του πρωτεύοντα αέρα και μια άμεση εξίσωση της θερμοκρασίας του αέρα προσαγωγής με αυτή του αέρα του χώρου. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένα εσωτερικό περιβάλλον χωρίς ρεύματα αέρα.

Συνήθως τοποθετούνται σε κάποια απόσταση από τις θέσεις των εργαζομένων και δεν προκαλούν ακουστικά προβλήματα. Ενσωματώνονται στα δάπεδα και η τροφοδοσία του κλιματισμένου αέρα γίνεται μέσα από τον κενό χώρο (plenum) που δημιουργείται κάτω από το δάπεδο, είτε απευθείας στα στόμια είτε μέσω εύκαμπτων αεραγωγών. Τα συνηθισμένα υλικά κατασκευής τους είναι το αλουμίνιο και το πλαστικό. Για εύκολο καθαρισμό τους φέρουν μια λαγίδα σκουπιδιών η οποία μπορεί να καθαριστεί αφού αφαιρεθεί το κάλυμμα του στομιού.

Οι θερμοκρασίες προσαγωγής του αέρα κυμαίνονται από 18 °C έως 30 °C και η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στον αέρα προσαγωγής και στην επιθυμητή θερμοκρασία του χώρου δεν μπορεί να υπερβεί τους 10 K.





4.23: Στόμιο σκαλοπατιού με στροβιλισμό, δαπέδου με στροβιλισμό και τυπική συναρμολόγηση σε εφαρμογή στοίμων δαπέδου με στροβιλισμό, [2] [5]

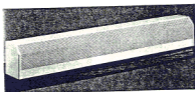
#### 4.3.9. Στόμια εκτοπισμού (displacement diffuser outlets)

Τα στόμια με εκτοπισμό του αέρα λειτουργούν με μια διαφορετική αρχή από τα άλλα στόμια. Ενώ η λειτουργία των επίτοιχων στομιών, των στομιών οροφής, των ακροφυσίων κτλ. βασίζεται στην ανάμιξη του πρωτεύοντα αέρα με τον αέρα του χώρου και η απόδοσή τους εξαρτάται από τον βαθμό διείσδυσης που επιτυγχάνουν, ο σκοπός των στομιών εκτοπισμού είναι η επίτευξη μιας ροής του αέρα με όσο το δυνατόν μικρότερη διείσδυση.

Όταν εγκαθίστανται σε χώρους στους οποίους η δραστηριότητα είναι συνήθως καθιστική (πχ. γραφεία), τοποθετούνται στο επίπεδο του δαπέδου και προσάγουν τον κλιματισμένο αέρα με πολύ χαμηλή ταχύτητα ( $\leq 0,5$  m/s) και με θερμοκρασία όχι πολύ μικρότερη από την επιθυμητή στο χώρο (συνήθως 1 έως 8 Κ χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του χώρου). Ο αέρας προσαγωγής διαχέεται στο επίπεδο του δαπέδου χωρίς να αναμιγνύεται με τον αέρα του χώρου και στη συνέχεια ανυψώνεται, καθώς θερμαίνεται από τις πηγές θερμότητας (άτομα, ηλεκτρονικοί υπολογιστές, επιτραπέζια φωτιστικά) στη ζώνη παραμονής των ατόμων. Η ροή αυτή του αέρα παρασύρει τη θερμότητα και τους ρύπους που δημιουργούνται στο κάτω μέρος του χώρου και έτσι η ζώνη παραμονής δέχεται συνεχώς δροσερό και καθαρό αέρα.

Τα στόμια εκτοπισμού αποτελούνται από ένα περίβλημα από λαμαρίνα που έχει κυκλικό, ημικυκλικό ή παραλληλεπίπεδο σχήμα, στο εσωτερικό του οποίου υπάρχει ένας ειδικός λαβύρινθος. Εγκαθίστανται στη βάση των τοίχων και σε κολώνες είτε χωνευτά είτε σε προεξέχουσα θέση. Η απαγωγή του αέρα γίνεται από την οροφή. Εγκαθίστανται σε χώρους ψυχαγωγίας, καταστήματα πωλήσεων, γραφεία και βιομηχανικούς χώρους.

Τα στόμια εκτοπισμού χρησιμοποιούνται συνήθως μόνο για ψύξη και συνδυάζονται με κάποιο σύστημα θέρμανσης. Υπάρχουν όμως στόμια ειδικής διαμόρφωσης, τα οποία τοποθετούνται σε ύψος 3 έως 4 m από το δάπεδο και μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για θέρμανση. Τα στόμια αυτά είναι κατάλληλα για βιομηχανικούς χώρους με υψηλά επίπεδα ρυπογόνων ουσιών, γιατί απομακρύνουν τις ρυπογόνες ουσίες από την ζώνη παραμονής ή εργασίας των ανθρώπων. Η τοποθέτησή τους στην οροφή εξοικονομεί και ωφέλιμο χώρο εργασίας. Στη λειτουργία σε ψύξη ο αέρας διαχέεται οριζόντια ενώ στην λειτουργία σε θέρμανση κατακόρυφα. Στην περίπτωση της τοποθέτησης στην οροφή, η απαγωγή του αέρα γίνεται κατά 50% από σημεία κοντά στο δάπεδο. [2]

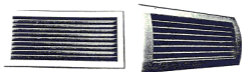


4.24: Τυπικό στόμιο προσαγωγής εκτοπισμού του αέρα , [2]

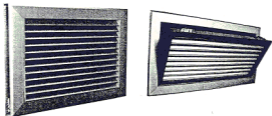
#### 4.4. Στόμια επιστροφής αέρα

Τα στόμια επιστροφής αέρα μπορούν να τοποθετηθούν στον τοίχο, στο δάπεδο ή στην οροφή ενός χώρου. Γενικά η τοποθέτηση των στομιών επιστροφής δεν έχει τόσο μεγάλη σημασία όσον αφορά στην κίνηση του αέρα του χώρου, γιατί επηρεάζει την κίνηση του αέρα μόνο σε μία περιοχή πολύ κοντά στο στόμιο. Παρ' όλα αυτά πρέπει να αποφεύγονται τα μεγάλα στόμια απαγωγής στη ζώνη παραμονής των ανθρώπων, γιατί οι μεγάλες μάζες του αναρροφούμενου αέρα μπορεί να δημιουργήσουν δυσάρεστα ρεύματα σε όσους βρίσκονται κοντά στο στόμιο. [2]

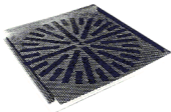
Αξίζει να αναφερθεί ότι σε μερικές εφαρμογές, για λόγους αρχιτεκτονικής, ομοιομορφίας και αισθητικής του χώρου, επιλέγονται στόμια επιστροφής ίδιας εξωτερικής όψης με τα στόμια προσαγωγής, παρόλο που δεν έχουν πάντα τις ίδιες δυνατότητες κατεύθυνσης του αέρα (βλ. εικόνα 4.27).



4.25: Στόμια επιστροφής ταίχου ή οροφής με μια σειρά σταθερών πτερυγίων κλίσης 45° και κατασκευαστική διαμόρφωση για τοποθέτηση στα πλάγια κυκλικού αεραγωγού, [5]



4.26: Στόμιο επιστροφής για τοποθέτηση σε θύρες και επισκέψιμο στόμιο επιστροφής. [5]



4.27: Παράδειγμα χρησιμοποίησης διαμορφωμένου στομίου «αεριοβλυσμού» ως στόμιο επιστροφής, λόγω απαιτήσεων αισθητικής και ομοιομορφίας στον χώρο, [5]

## 5. Εργαστήριο – Πειραματική διάταξη – Εξοπλισμός

### 5.1. Γενικά για την εταιρία Aerogrammi

Η εταιρία Aerogrammi ιδρύθηκε το 1989 στη Θεσσαλονίκη. Ασχολείται με τον σχεδιασμό, την παραγωγή και την εμπορία στομίων κλιματισμού, διαφραγμάτων και εξαρτημάτων σύνδεσης αεραγωγών. Κατέχει ηγετική θέση στην ελληνική αγορά και εξάγει τα προϊόντα της σε πολλές χώρες. Η οργάνωσή και η ποιότητα των προϊόντων της είχαν σαν αποτέλεσμα να της χορηγηθεί πιστοποιητικό ποιότητας ISO 9001-2000.

Η απόδοση των προϊόντων της Aerogrammi έχει μετρηθεί σε εξωτερικό εργαστήριο πιστοποιημένο κατά ISO 5219. Επίσης έχει αρχίσει την λειτουργία του το νέο ιδιόκτητο εργαστήριο μετρήσεων που κατασκευάστηκε στις εγκαταστάσεις της εταιρίας. Εκεί γίνονται πέρα από μετρήσεις απόδοσης των προϊόντων της εταιρίας, προσομοιώσεις χώρων, μέσω μετακινούμενης οροφής, και ενημερωτικά σεμινάρια πάνω στην διανομή αέρα στον χώρο. [5]



ΕΙΚΟΝΑ 5.1: Εταιρία Aerogrammi, [5]

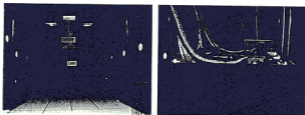
### 5.2. Εργαστήριο

Η εταιρία ΑΕΡΟΦΡΑΜΜΗ στα πλαίσια των επενδύσεών της σε έρευνα και νέα προϊόντα κατασκεύασε στις εγκαταστάσεις της εργαστήριο μετρήσεων. Στον χώρο αυτό είναι δυνατό να μελετηθούν διάφορα φαινόμενα που αφορούν την διανομή του αέρα στον χώρο. Το εργαστήριο είναι ένα σύνολο χώρων οι οποίοι είναι οι εξής:

- Χώρος μετρήσεων
- Χώρος επίδειξης
- Μηχανοστάσιο

Στον χώρο μετρήσεων υπάρχει η δυνατότητα να τοποθετηθούν στόμια στην οροφή, στον τοίχο ή στο δάπεδο. Η οροφή είναι μετακινούμενη οπότε μπορούν να προσομοιωθούν χώροι με διαφορετικά ύψη. Οι μετρήσεις γίνονται με ειδικά όργανα

τα οποία είναι συνδεδεμένα σε ηλεκτρονικό υπολογιστή (ανεμόμετρα, θερμόμετρα, αισθητήρες-διαφορικής πίεσης), σε ισόθερμες ή ανισόθερμες δέσμες (θέρμανση ή ψύξη) για διάφορους τύπους εκτόξευσης (κατακόρυφη, οριζόντια, μέσω τοίχου και συγκρουόμενες δέσμες).



ΕΙΚΟΝΑ 5.2: Χώρος μετρήσεων και κινητή οροφή του εργαστηρίου , [5]

Ο χώρος επίδειξης χρησιμοποιείται για την παρουσίαση των προϊόντων και την παρουσίαση διάφορων φαινομένων που αφορούν την διανομή αέρα στον χώρο. Για να είναι ορατή η δέση του αέρα υπάρχει η δυνατότητα ο προσαγόμενος αέρας να περιέχει καπνό.



ΕΙΚΟΝΑ 5.3: Χώρος επίδειξης του εργαστηρίου , [5]

Στο μηχανοστάσιο υπάρχει κλιματιστική μονάδα η οποία μέσω ηλεκτρικών διαφραγμάτων σταθερής παροχής μπορεί να δώσει αέρα της επιθυμητής παροχής και θερμοκρασίας στα μετρούμενα στόμια. Τόσο η κλιματιστική μονάδα όσο και τα διαφράγματα ελέγχονται από ηλεκτρονικό υπολογιστή.



ΕΙΚΟΝΑ 5.4: Μηχανοστάσιο του εργαστηρίου , [5]

### 5.3. Προετοιμασία της πειραματικής διάταξης

#### 5.3.1. Υπάρχουσα κατάσταση

Η διάταξη μετρήσεων του εργαστηρίου λειτουργεί ως εξής (βλ. Παράρτημα για λειτουργικό διάγραμμα της εγκατάστασης):

- Ρυθμίζεται το ύψος της κινητής οροφής στο επιθυμητό επίπεδο, ανάλογα με την περίπτωση και τις απαιτήσεις της εκάστοτε μέτρησης.
- Τοποθετείται το προς μέτρηση στόμιο σε μία από τις διαθέσιμες θέσεις (στην κινητή οροφή ή σε τοίχο).
- Μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή ελέγχου της εγκατάστασης, ενεργοποιείται το διάφραγμα VRA (VolumenstromRegler Automatik - αυτόματη ρύθμιση παροχής) του αντίστοιχου τμήματος αεραγωγού προσαγωγής, στο τέλος του οποίου βρίσκεται τοποθετημένο το στόμιο και καθορίζεται η επιθυμητή παροχή αέρα σε  $m^3/h$ . Το ίδιο συμβαίνει και για το αντίστοιχο διάφραγμα VRA του τμήματος της επιστροφής (για να υπάρχει ισορροπία στο δίκτυο).
- Ενεργοποιείται ο ανεμιστήρας inverter και στέλνει κλιματιζόμενο αέρα στο δίκτυο και κατά συνέπεια στον χώρο μετρήσεων.
- Πίσω από κάθε διαθέσιμη θέση τοποθέτησης στομίου βρίσκεται κιβώτιο plenum, με σχάρα ισοκατανομής του αέρα και είναι εξοπλισμένο με

ηλεκτρονικό αισθητήρα διαφορικής πίεσης. Ο ηλεκτρονικός αυτός αισθητήρας στέλνει σήμα στη συσκευή μετατροπής, όπου το σήμα αυτό ψηφιοποιείται και στέλνεται για προβολή και περαιτέρω επεξεργασία στον ηλεκτρονικό υπολογιστή ελέγχου.

- Ταυτόχρονα, δίνεται η τιμή της θερμοκρασίας και της ατμοσφαιρικής πίεσης στο χώρο, καθώς και η τιμή θερμοκρασίας του αέρα προσαγωγής και του αέρα επιστροφής. Η τιμή των δύο τελευταίων θερμοκρασιών ρυθμίζεται από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή, ο οποίος στέλνει σήμα στις τριόδες βάνες του ψυχρού κυκλώματος νερού ή του θερμού αντίστοιχα για ψύξη ή θέρμανση.
- Αν υπάρχει απαίτηση, ενεργοποιείται η μηχανή παραγωγής καπνού, η οποία είναι συνδεδεμένη με την κεντρική κλιματιστική μονάδα, μετά το κιβώτιο μίξης του αέρα. Ο παραγόμενος καπνός μεταφέρεται μέσω του αέρα στο χώρο (από τα διαφράγματα VRA τα οποία βρίσκονται σε λειτουργία, δηλαδή είναι ανοιχτά) και υπάρχει μια πολύ παραστατική οπτικοποίηση της ροής του προσαγόμενου αέρα και της διάχυσης της δέσμης στο σύνολο του χώρου.

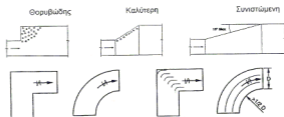
Δυστυχώς, μετά από εντατικό έλεγχο, διαπιστώθηκε ότι οι ηλεκτρονικοί αισθητήρες διαφορικής πίεσης του εργαστηρίου έχουν απορρυθμιστεί και χρίζουν βαθμονόμησης ή και αντικατάστασης. Για τον λόγο αυτό, δεν ήταν δυνατόν να χρησιμοποιηθεί το υπάρχον σύστημα μέτρησης πίεσης. Λόγω κατασκευαστικής διαμόρφωσης των κιβωτιών plenum και έλλειψης χώρου, κρίθηκε μη σκόπιμη η χρησιμοποίηση φορητού οργάνου μέτρησης πίεσης στην υπάρχουσα κατασκευή. Έτσι αποφασίστηκε η κατασκευή νέου τμήματος αεραγωγού, το οποίο θα μπορούσε να διαμορφωθεί κατάλληλα ώστε να φιλοξενήσει τα απαραίτητα όργανα που απαιτούνται για τις μετρήσεις.

### 5.3.2. Αλλαγές και προετοιμασία της πειραματικής διάταξης

Στα πλαίσια της εργασίας αποφασίστηκε η κατασκευή αεραγωγού τελικής διατομής 500 x 500 mm. Ο καινούργιος αεραγωγός συνδέθηκε στο τμήμα του δικτύου με το αντίστοιχο VRA-11 (βλ. Παράρτημα για το κατασκευαστικό σχέδιο του αεραγωγού).

Η αρχική διατομή του αεραγωγού 11 είναι 220 x 370 mm. Η μετάβαση στη διατομή γίνεται με μονόπλευρη αύξηση της διατομής, λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς στις αλλαγές διατομής των αεραγωγών και στις στροφές, όπως ορίζονται από την ASHRAE. Έτσι επιλέχθηκε αλλαγή διατομής κατά ύψος 13° (με μέγιστο όριο τις 15°) και κατά πλάτος, αμφίπλευρη αλλαγή διατομής 23° - 17° = 6° (με μέγιστο όριο τις 7,5°).

Η στροφή του αεραγωγού κατασκευάστηκε με εσωτερική ακτίνα καμπυλότητας  $R = 362$  mm, η οποία είναι μεγαλύτερη από τη μισή ισοδύναμη διάμετρο  $D_{eq} = 547$  mm (και συνεπώς εντός των επιτρεπτών ορίων). Κατά το πλάτος της στροφής τοποθετήθηκαν 6 καμπύλα καθοδηγητικά περύγια ανά 71 mm ακτίνας, εκτός του πιο κοντινού περυγίου προς την εσωτερική καμπυλότητα που απέχει 74 mm από αυτήν. Τα περύγια αυτά τοποθετήθηκαν για ομοιομορφία της κατανομής της ταχύτητας στο προφίλ ροής του αέρα.

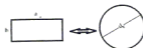


ΕΙΚΟΝΑ 5.5: Συνιστώμενες διαμορφώσεις για ελαχιστοποίηση θορύβου σε διευρύνσεις διατομών αεραγωγών και για ομοιομορφία ροής σε αλλαγές διεύθυνσης αεραγωγών [4]

Υπενθυμίζεται εδώ ότι οι κανονισμοί και οι υπολογισμοί στα συστήματα κλιματισμού αφορούν συνήθως κυκλικούς αεραγωγούς. Έτσι όταν θέλουμε να μελετήσουμε αεραγωγούς ορθογωνικής διατομής, χρησιμοποιείται η *ισοδύναμη διάμετρος*  $D_{eq}$ . Η ισοδύναμη κυκλική διάμετρος υπολογίζεται ως εξής:

$$D_{eq} = \frac{1,3 \cdot (a \cdot b)^{0,625}}{(a + b)^{0,25}}$$

όπου  $a$  και  $b$  οι διαστάσεις της ορθογωνικής διατομής



ΕΙΚΟΝΑ 5.6: Ισοδύναμη κυκλική διάμετρος [4]

Έτσι για τελική διατομή 500 x 500 mm υπολογίζεται μια ισοδύναμη διάμετρος  $D_{eq} = 547$  mm. [4]



Το γεγονός ότι δεν υπάρχει διαθέσιμο κιβώτιο plenum από την εταιρία για εγκατάσταση στο νέο τμήμα του αεραγωγού, κατέστησε απαραίτητα τα παρακάτω μέτρα για την ομοιόμορφη ροή του αέρα. Επειδή λοιπόν δεν μπορούσε να εισαχθεί σχάρα ισοκατανομής της ροής (λόγω απουσίας plenum box) πίσω από τα μετρούμενα στόμια στον καινούργιο αεραγωγό, δόθηκε η λύση της κατασκευής αγωγού με το απαραίτητο μήκος, ούτως ώστε να γίνει η ροή του αέρα πλήρως ανεπτυγμένη (μετά την στροφή και την τελική διάσταση της διατομής) και το τελικό προφίλ του αέρα να έχει ομοιόμορφη κατανομή ταχυτήτων στην έξοδο. Για την επίτευξη αυτού, δόθηκε στη ροή περιθώριο μήκους 14 ισοδύναμων διαμέτρων, ούτως ώστε να γίνει πλήρως ανεπτυγμένη, σύμφωνα με το ISO 5219 περί μετρήσεων σε αγωγούς. [6]

Μετά το πέρας της συναρμολόγησης του νέου αεραγωγού έγιναν δοκιμαστικές μετρήσεις ταχύτητας εξόδου από τον αεραγωγό, άνευ ύπαρξης στομίου (ελεύθερη έξοδος), για να εξακριβωθεί το ποσοστό επιτυχίας στην ισοκατανομή του αέρα (βλ. παράγραφο 5.5.1).

Τα αποτελέσματα των δοκιμαστικών μετρήσεων ήταν θετικά με τη μόνη υποψία μη σωστής λειτουργίας του VRA. Έτσι, έγιναν μετρήσεις παροχής του αέρα στην έξοδο για να εξακριβωθεί η ακρίβεια του VRA, καθώς και του προγράμματος ελέγχου της διάταξης. Λόγω σφάλματος στην μετρούμενη παροχή, βγήκε το συμπέρασμα ότι το VRA χρήζει ρύθμισης ή αντικατάστασης ή ακόμα, το πρόγραμμα ελέγχου της διάταξης χρήζει βαθμονόμησης της τάσης εξόδου σε σχέση με το βήμα ανοίγματος του διαφράγματος του VRA.

Για την σωστή διεξαγωγή των μετρήσεων πτώσης πίεσης, κρίθηκε απαραίτητη η μέτρηση της ταχύτητας του αεραγωγού και η μετατροπή της σε παροχή αέρα, ούτως ώστε να είναι γνωστή η πραγματική παροχή του δικτύου, από τη στιγμή που η παροχή που δίνεται μέσω του υπολογιστή στο VRA δεν είναι τελικά η πραγματική, δηλαδή αυτή που φτάνει στο στόμιο. Ανάγοντας λοιπόν την παροχή του VRA από τον υπολογιστή στην μετρούμενη παροχή στον αεραγωγό, τα διαγράμματα πτώσης – παροχής που δημιουργούνται μετά τις μετρήσεις γίνονται πιο ρεαλιστικά.



ΕΙΚΟΝΑ 5.7: Διεύρυνση διατομής και τμήμα στροφής του νέου αεραγωγού



ΕΙΚΟΝΑ 5.8: Αποψη του νέου αεραγωγού

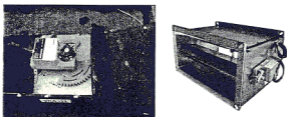
## 5.4. Εξοπλισμός

### 5.4.1. Διάφραγμα VRA αυτόματης ρύθμισης παροχής με σταυρό μέτρησης

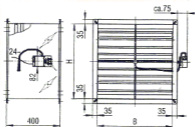
Όπως αναπτύχθηκε σε προηγούμενη παράγραφο, με τη συσκευή αυτή είναι δυνατή η ρύθμιση της παροχής του αέρα στο δίκτυο μέσω υπολογιστή.

Η αρχή λειτουργίας της συσκευής βασίζεται στην εξίσωση του Bernoulli, όπου η διαφορά ολικής – στατικής πίεσης σε ένα σημείο ή επίπεδο της διατομής ενός αγωγού ισούται με τη δυναμική πίεση. Η συσκευή διαθέτει σταυρό μέτρησης της ολικής και στατικής πίεσης και το μετρούμενο σήμα μεταφέρεται σε ηλεκτρονικό κύκλωμα, το οποίο μετατρέπει την ένδειξη του σήματος σε ταχύτητα και τελικά λόγω της γνωστής διατομής του VRA, σε παροχή. Το σήμα αυτό μεταφέρεται σε ένα σύστημα ελέγχου της συσκευής, το οποίο συγκρίνει την τιμή αυτή με την τιμή της παροχής την οποία λαμβάνει από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή (τιμή παροχής που ρυθμίζεται από το χειριστή). Αν υπάρχει διαφορά ανάμεσα στις δύο αυτές τιμές, τότε ενεργοποιείται το σύστημα ανάδρασης του ελεγκτή του VRA και δίνεται σήμα

στον αναλογικό σερβοκινητήρα του διαφράγματος, να κινηθεί αναλόγως (αυξάνοντας περισσότερο την διαθέσιμη διατομή και αντίθετα, ανάλογα με το πρόσημο της διαφοράς των δύο τιμών). Η κυκλική επαναλαμβανόμενη αυτή λειτουργία του συστήματος ανάδρασης σταματάει όταν η διαφορά ανάμεσα στις δύο τιμές παροχής πάρει μια ελάχιστη τιμή, της τάξης του 2,5%.



ΕΙΚΟΝΑ 5.9: Διάφραγμα VRA-11 και εσωτερική άποψη των πτερυγίων του



ΕΙΚΟΝΑ 5.10: Κατασκευαστικό σχέδιο του VRA

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1: Λεπτομέρειες προδιαγραφών του VRA

ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ VRA	
Μοντέλο	ΣΧΗΜΑΚΟ VRA-Q-E HKP
Κωδικός	KA05050543 Pos Nr 2
Μέγιστη επιτρεπτή ταχύτητα	12 m/s (100%)
Διαστάσεις $B \times H$	225 x 225 mm
$V_{min}$	365 m <sup>3</sup> /h (1,7%)
$V_{max}$	2187 m <sup>3</sup> /h (100%)
Τύπος ηλεκτρικού σερβοκινητήρα	NVM-D2M 50, 8Nm, AC/DC 24V 50/60 Hz, 5VA, 3W

### 5.4.2. Φορητό ψηφιακό βαρόμετρο / θερμόμετρο χώρου

Με τη συσκευή αυτή μετράται η ατμοσφαιρική πίεση, καθώς και η θερμοκρασία του χώρου. Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε τις τιμές των δύο αυτών μεγεθών, για να προσδιορίζουμε με ακρίβεια την πυκνότητα του αέρα (αφού συμβουλευτούμε κάποιο πίνακα θερμοδυναμικών μεγεθών του αέρα). Η τιμή της πυκνότητας του αέρα πρέπει να είναι γνωστή με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια καθώς εισέρχεται ως μέγεθος στους υπολογισμούς ταχύτητας (βλ. παράγραφο 5.5.1).



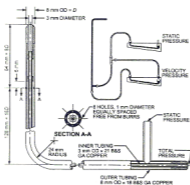
ΕΙΚΟΝΑ 5.11: Ψηφιακό βαρόμετρο/θερμόμετρο χώρου

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2: Λεπτομέρειες προδιαγραφών του ψηφιακού βαρόμετρο/θερμόμετρο

ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΒΑΡΟΜΕΤΡΟΥ/ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΟΥ	
Μοντέλο	GREISINGER electronic GTD 1100 Digital altimeter/barometer/thermometer
Εύρος μέτρησης θερμοκρασίας	-10,0 ... 50,0 °C
Ανάλυση μέτρησης θερμοκρασίας	0,1 °C
Ακρίβεια μέτρησης θερμοκρασίας	±1% FS
Εύρος μέτρησης πίεσης	300,0 ... 1100,0 mbar
Ανάλυση μέτρησης πίεσης	0,1 mbar
Ακρίβεια μέτρησης πίεσης	±1 1,5 mbar
Συχνότητα μετρήσεων	1 μέτρηση / s

### 5.4.3. Σωλήνας Pitot-static μέτρησης πίεσης

Ο σωλήνας pitot-static σε συνδυασμό με ένα κατάλληλο μανόμετρο ή ένα αισθητήριο διαφορικής πίεσης, παρέχει μια απλή μέθοδο μέτρησης πτώσης πίεσης ή ακόμα και ταχύτητας του αέρα σε ένα σημείο του πεδίου ροής.



ΕΙΚΟΝΑ 5.12: Τυπικός σωλήνας Pitot-static, [4]

#### 5.4.4. Φορητό Ψηφιακό μανόμετρο με αισθητήριο διαφορικής πίεσης

Με τη συσκευή αυτή συνδεδεμένη στον σωλήνα pitot, μπορεί να μετρηθεί η διαφορά πίεσης, είτε ολικής – στατικής πίεσης, είτε ολικής – ατμοσφαιρικής πίεσης είτε ατμοσφαιρικής – στατικής πίεσης, ανάλογα με την συνδεσμολογία. Η συσκευή φέρει δύο εύκαμπτους λαστιχένιους σωλήνες, οι οποίοι συνδέονται στον σωλήνα pitot. Στην ένδειξη της οθόνης παίρνουμε το αποτέλεσμα της μέτρησης. Η συσκευή έχει ενσωματωμένη μνήμη με δυνατότητα αποθήκευσης μετρήσεων και θύρα USB για σύνδεση με ηλεκτρονικό υπολογιστή και απευθείας μεταφορά των μετρήσεων σε ειδικό πρόγραμμα επεξεργασίας δεδομένων.



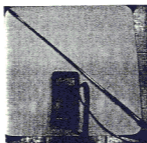
ΕΙΚΟΝΑ 5.13: Ψηφιακό μανόμετρο και σωληνάκια διασύνδεσης

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3: Λεπτομέρειες προδιαγραφών του ψηφιακού μανόμετρου

ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΑΝΟΜΕΤΡΟΥ	
Μοντέλο	TSI 5825 DP-CALC Micromanometer
Εύρος μέτρησης πίεσης	-3735 ... 3735 Pa
Ανάλυση μέτρησης πίεσης	0,1 Pa
Ακρίβεια μέτρησης πίεσης	±1% FS
Εύρος υπερπίεσης	48 kPa

#### 5.4.5. Φορητό ανεμόμετρο θερμού σύρματος, μέτρησης ταχύτητας

Η συσκευή αυτή φέρει ηλεκτρονικό κύκλωμα θερμού σύρματος (hot-wire) και χρησιμοποιείται για την σημειακή μέτρηση ταχύτητας. Στην ένδειξη της οθόνης φαίνεται το αποτέλεσμα της μέτρησης. Η συσκευή είναι εφοδιασμένη με τηλεσκοπική ράβδο, στο τέλος της οποίας βρίσκεται το αισθητήριο όργανο. Με τη ράβδο αυτή, ο χειριστής δεν παρεμβάλλεται στη ροή και συνεπώς δεν επηρεάζονται οι μετρήσεις αφού πραγματοποιούνται από κάποια απόσταση.



ΕΙΚΟΝΑ 5.14: Φορητό ανεμόμετρο θερμού σύρματος

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4: Λεπτομέρειες προδιαγραφών του φορητού ανεμόμετρου

ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΦΟΡΗΤΟΥ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟΥ	
Μοντέλο	GREISINGER electronic TA 35 Anemometer
Κωδικός	21280
Εύρος μέτρησης ταχύτητας	0 ... 20 m/s
Ανάλυση μέτρησης ταχύτητας	0,01 m/s
Ακρίβεια μέτρησης ταχύτητας	±3% FS

## 5.5. Μέτρηση ταχύτητας

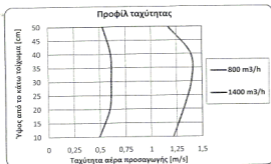
### 5.5.1. Μέτρηση ταχύτητας στην έξοδο του αεραγωγού

Οι μετρήσεις ταχύτητας γίνονται στην έξοδο του αεραγωγού, χωρίς στόμιο, για να εξακριβωθεί το πόσο ισοκατανεμημένη είναι η ροή του αέρα μέσω του νέου αεραγωγού. Όπως αναλύθηκε παραπάνω, ο έλεγχος αυτός είναι απαραίτητος από τη στιγμή που ο νέος αεραγωγός δεν φέρει κιβώτιο plenum στην περιοχή τοποθέτησης του στομίου, ούτε και διάτρητη σχάρα ισοκατανομής του αέρα προσαγωγής. Γι αυτό το λόγο, ο αεραγωγός κατασκευάστηκε με τέτοιο τρόπο, ώστε να δίνει στη ροή αρκετό μήκος ισοδύναμων διαμέτρων και η ροή να γίνεται πλήρως ανεπτυγμένη, με αποτέλεσμα να υπάρχει ομοιόμορφο προφίλ ταχύτητας στην έξοδο.

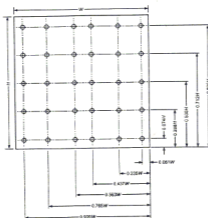
Μετρήσεις ταχύτητας γίνονται επίσης στην έξοδο του αεραγωγού, με το εκάστοτε στόμιο προς μέτρηση, για να υπολογιστεί η ταχύτητα εξόδου του αέρα από το στόμιο, ανάλογα με την προστιδόμενη παροχή.

Και τα δύο σετ μετρήσεων γίνονται σύμφωνα με το πρωτόκολλο της ASHRAE «Standard 111», το οποίο καθορίζει τα σημεία μέτρησης της ταχύτητας, καθώς και τον συνολικό τους αριθμό. Σύμφωνα με το πρωτόκολλο αυτό (βλ. εικόνα 5.15), για έναν αεραγωγό ορθογωνικής διατομής 500 x 500 mm, χρειάζονται συνολικά 30 σημεία μέτρησης της ταχύτητας. [4] [7]

Η τελική τιμή της ταχύτητας είναι ο αριθμητικός μέσος όρος των τιμών όλων των μετρήσεων στα αντίστοιχα σημεία. Παρόλα αυτά εκτός της τιμής της ταχύτητας, μπορεί να απεικονιστεί και το προφίλ ταχύτητας του αέρα στην έξοδο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ικανοποιητική ισοκατανομή του αέρα, οπότε συμπεραίνεται ότι η κατασκευή του αεραγωγού ήταν επιτυχής και πλέον ήταν δυνατόν να γίνουν ρεαλιστικές μετρήσεις, χωρίς τον κίνδυνο της μη ομοιόμορφης κατανομής του αέρα (βλ. γράφημα 5.1).



ΓΡΑΦΗΜΑ 5.1: Ενδεικτικά αποτελέσματα μετρήσεων για προφίλ ταχύτητας στον αεραγωγό



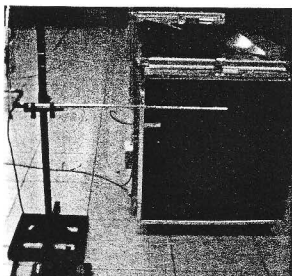
Duct Dimensions	No. of Points for Traverse Lines	Position Relative to Lower Wall
460 mm < H, W < 750 mm	5	0.051, 0.207, 0.437, 0.765, 0.959
750 mm < H, W < 900 mm	6	0.051, 0.225, 0.437, 0.650, 0.765, 0.959
H, W > 900 mm	7	0.051, 0.200, 0.386, 0.590, 0.804, 0.797, 0.947

ΕΙΚΟΝΑ 5.15: Πρωτόκολλο της ASHRAE (Standard 111) για μέτρηση ταχύτητας σε ορθογωνικούς αεραγωγούς, [4]

Για τις ανάγκες των μετρήσεων, κατασκευάστηκε μία βάση στήριξης της τηλεσκοπικής ράβδου του ανεμομέτρου, με τέτοιο τρόπο ώστε να προσφέρει



ελευθερία κίνησης κατά τον κατακόρυφο άξονα. Ο στύλος της βάσης βαθμονομήθηκε σύμφωνα με το πρωτόκολλο της ASHRAE και έτσι, «κλειδώνοντας», με έναν κοχλία, την τηλεσκοπική ράβδο σε διαφορετική θέση κάθε φορά, γίνεται δυνατή η μέτρηση ταχύτητας όλων των απαραίτητων σημείων (βλ. εικόνα 5.16).



ΕΙΚΟΝΑ 5.16: Βαθμονομημένη διάταξη στήριξης της τηλεσκοπικής ράβδου του ανεμομέτρου

### 5.5.2. Μέτρηση ταχύτητας μέσα στον αεραγωγό

Οι μετρήσεις ταχύτητας μέσα στον αεραγωγό γίνονται για να υπολογιστεί η παροχή του αέρα προσαγωγής και να συγκριθεί με την παροχή του αέρα, η οποία ρυθμίζεται στο VRA από τον υπολογιστή, για τυχόν διαφορές στις τιμές. Τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων, όπως αναλύθηκε παραπάνω, έδειξαν ότι υπάρχει πράγματι διαφορά στις δύο ενδείξεις και γι αυτό σε κάθε σετ μετρήσεων ενός στομίου, είναι απαραίτητες για την αναγωγή στην πραγματική παροχή.

Οι μετρήσεις αυτές γίνονται χρησιμοποιώντας τον σωλήνα pitot-static και το ψηφιακό μανόμετρο, σε συνδεσμολογία μέτρησης διαφοράς ολικής πίεσης – στατικής πίεσης. Η μέτρηση της ταχύτητας βασίζεται στην εξίσωση του Bernoulli, η οποία λαμβάνοντας υπόψη σταθερή πυκνότητα και ύψος, παίρνει την παρακάτω μορφή:[4] [6] [7]

$$P_{tot} = P_{st} + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \Rightarrow \Delta P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \Rightarrow v = \sqrt{2 \cdot \Delta P / \rho}$$

όπου  $\rho$  = η πυκνότητα του αέρα σε  $\text{kg/m}^3$ , (από πίνακες για T- $P_{atm}$  από το GTD 1100)

$u$  = η ταχύτητα του αέρα στο σημείο μέτρησης σε m/s

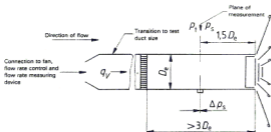
$\Delta P$  = η διαφορά ολικής – στατικής πίεσης σε [Pa] (ένδειξη μανομέτρου)

Η τοποθέτηση του σωλήνα pitot-static, γίνεται σύμφωνα με το ISO 5219, περί μετρήσεων σε αγωγούς. Σύμφωνα με το συγκεκριμένο ISO, οι μετρήσεις πίεσης σε ορθογωνικούς αγωγούς προσαγωγής γίνονται σε απόσταση  $1,5 \cdot D_{eq}$  mm από την έξοδο του αεραγωγού (βλ εικόνα 5.18). Επίσης επιβάλλει, η τελευταία μετάβαση της διατομής του αγωγού να γίνεται σε απόσταση μεγαλύτερη από  $3 \cdot D_{eq}$  mm από την έξοδο του αεραγωγού και αν δεν υπάρχει κιβώτιο plenum και τα παρελκόμενά του (σχάρα ισοκατανομής ή/και διάφραγμα ρύθμισης), σε απόσταση μεγαλύτερη από  $12 \cdot D_{eq}$  mm από την έξοδο του αεραγωγού.

Ικανοποιώντας τους παραπάνω περιορισμούς, ο σωλήνας pitot-static τοποθετήθηκε στον αεραγωγό, στο σωστό σημείο. Για την στήριξη του σωλήνα pitot, κατασκευάστηκε μια βάση στήριξης με τέτοιο τρόπο, ώστε να προσφέρει ελευθερία κίνησης κατά τον κατακόρυφο άξονα, δίνοντας τη δυνατότητα μετρήσεων σε διάφορα επίπεδα του αεραγωγού (από  $\sim 0$  έως τα 500 mm).



ΕΙΚΟΝΑ 5.17: Διάταξη στήριξης του σωλήνα pitot κατά τις μετρήσεις στον αεραγωγό

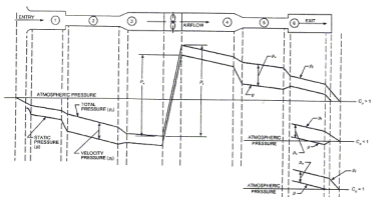


ΕΙΚΟΝΑ 5.18: Απαιτήσεις τοποθέτησης οργάνων μέτρησης πίεσης σε ορθογωνικούς αεραγωγούς προσαγωγής, [6]

## 5.6. Μέτρηση πτώσης πίεσης

Η μέτρηση πτώσης πίεσης γίνεται με τον ίδιο εξοπλισμό της μέτρησης ταχύτητας μέσα στον αεραγωγό, με μόνη διαφορά την διαφορετική συνδεσμολογία. Σε αυτή την περίπτωση η συνδεσμολογία που χρησιμοποιείται είναι μέτρησης διαφοράς ολικής πίεσης – ατμοσφαιρικής πίεσης σύμφωνα με τα ISO 5219 για μετρήσεις ροής σε αγωγούς.

Εδώ πρέπει να επισημανθεί ότι στην πραγματικότητα, τα αποτελέσματα μετρήσεων της παραπάνω συνδεσμολογίας δεν αναφέρονται στην ολική πτώση πίεσης στο στόμιο (δηλαδή στην έξοδο του αεραγωγού). Κάτι τέτοιο θα συνέβαινε, εάν η ταχύτητα του αέρα αμέσως μετά την έξοδο του στομίου θα ήταν ίση με 0 m/s. Αυτό όμως δεν ισχύει καθώς ο εξερχόμενος αέρας έχει ακόμα δυναμική πίεση και κινητική ενέργεια και θεωρητικά η ταχύτητα θα γίνει ίση με 0 μετά από κάποια απόσταση από το στόμιο. Στον τομέα του κλιματισμού όμως, η μέτρηση διαφοράς ολικής - ατμοσφαιρικής πίεσης στην έξοδο του στομίου θεωρείται ως η ολική πτώση πίεσης του στομίου, παρόλο που δεν ισχύει στην πραγματικότητα. [4] [6]



ΕΙΚΟΝΑ 5.19: Αλλαγές της πίεσης κατά την ροή σε αγωγούς, [4]

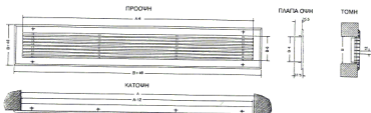
## 6. Μετρήσεις – Αποτελέσματα

### 6.1. Γραμμικά στόμια τύπου E

Τα στόμια κλιματισμού της σειράς E είναι γραμμικά στόμια ελαφρού τύπου ορθογωνικής διατομής. Τα γραμμικά στόμια είναι εξοπλισμένα με μία σειρά σταθερών πτερυγίων, παράλληλα προς τη μεγαλύτερη διάσταση.

Τα γραμμικά στόμια της σειράς E χρησιμοποιούνται κυρίως για προσαγωγή ή απαγωγή του αέρα από κατακόρυφες επιφάνειες, πχ. τοίχους, πλαϊνά τμήματα αεραγωγών κλπ, (σε λειτουργία ψύξης) ή από οροφές (σε λειτουργία θέρμανσης). Μπορούν να αναρτηθούν και σε κεκλιμένες επιφάνειες, ανάλογα με τις ανάγκες κλιματισμού του συγκεκριμένου χώρου. Για την κατασκευή τους χρησιμοποιείται προφίλ ανοδιωμένου αλουμινίου με πάχος ανοδίωσης 12  $\mu\text{m}$ , επιτυγχάνοντας έτσι μεγάλη διάρκεια ζωής.

Στην εικόνα 6.1 φαίνονται τα κατασκευαστικά σχέδια των στομιών της σειράς E. Για τον προσδιορισμό των γραμμικών στομιών χρησιμοποιείται η ονομαστική διάσταση σπής A x B. [5]



ΕΙΚΟΝΑ 6.1: Κατασκευαστικά σχέδια στομιών σειράς E, [5]

Τα στόμια της σειράς E, τα οποία μετρήθηκαν είναι τα εξής:

- E12: Με πυκνή διάταξη πτερυγίων, τοποθετημένων με κλίση  $0^\circ$  από την οριζόντια θέση, διαστάσεων 500 x 500 mm .
- E17: Με αραιή διάταξη πτερυγίων, τοποθετημένων με κλίση  $0^\circ$  από την οριζόντια θέση, διαστάσεων 500 x 500 mm .

## 6.2. Μέτρηση στομίου «E12 – Πυκνά πτερώγια» 500 x 500 mm

### 6.2.1. Χαρακτηριστικά στομίου

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1: Χαρακτηριστικά στομίου E12

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ/ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΣΤΟΜΙΟΥ		
Όνομα/τύπος	E12 - Πυκνά Πτερώγια	
Ύψος	500	[mm]
Πλάτος	500	[mm]
Ύψος πτερυγίου	5	[mm]
Ύψος κενού	7	[mm]
Πλάτος κενού	488	[mm]
Αριθμός κενών	42	[spaces]
Επιφάνεια	0,25	[m <sup>2</sup> ]
Ελεύθερη επιφάνεια	0,144	[m <sup>2</sup> ]

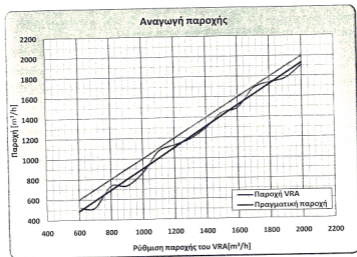


### 6.2.2. Αποτελέσματα μετρήσεων

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2: Αποτελέσματα μετρήσεων στομίου E12

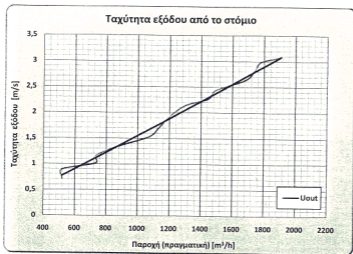
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΡΟΗΣ				ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΟΜΙΟΥ	
$V_{VRA}$ [m <sup>3</sup> /h]	$\Delta P_{Average}$ [Pa]	$U_{Duct}$ [m/s]	$V_{Real}$ [m <sup>3</sup> /h]	$\Delta P_i$ [Pa]	$U_{out}$ [m/s]
600	0,2	0,577	519	0,3	0,715
700	0,2	0,577	519	0,6	0,895
800	0,4	0,816	734	0,7	1,015
900	0,4	0,816	734	0,9	1,16
1000	0,55	0,957	861	1,3	1,33
1100	0,85	1,19	1071	1,6	1,53
1200	0,95	1,258	1132	2	1,7
1300	1,05	1,323	1191	2,5	1,9
1400	1,25	1,443	1299	3,1	2,14
1500	1,55	1,607	1446	3,3	2,27
1600	1,65	1,658	1492	3,9	2,44
1700	2,1	1,871	1684	4,7	2,64
1800	2,25	1,936	1742	5,2	2,83
1900	2,35	1,979	1781	5,7	2,99
2000	2,7	2,121	1909	6,3	3,08

## 6.2.3. Διάγραμμα μετρούμενης παροχής



ΓΡΑΦΗΜΑ 6.1: Σφάλμα παροχής αέρα στο VRA και πραγματική παροχή αέρα με εγκατεστημένο το στόμιο «E12 – Πυκνά πτερύγια»

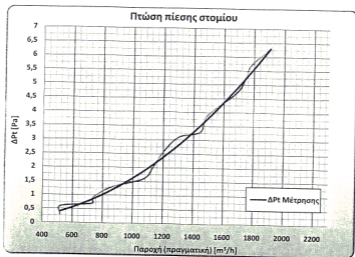
Στο γράφημα 6.1 παρατηρείται ότι το σφάλμα της ρυθμιζόμενης παροχής στο VRA σε σχέση με την πραγματική μετρημένη παροχή είναι της τάξης του 15,4% στις μικρές παροχές και μικραίνει σταδιακά μέχρι που στις μεγάλες παροχές γίνεται της τάξης του 4,4% .

6.2.4. Διάγραμμα ταχύτητας εξόδου  $U_{out}$  από το στόμιο

ΓΡΑΦΗΜΑ 6.2: Ταχύτητα εξόδου από το στόμιο «E12 – Πυκνά πτερύγια»

Στο γράφημα 6.2 παρατηρείται η σχεδόν γραμμική αύξηση της ταχύτητας εξόδου  $U_{out}$  από το στόμιο «E12 – Πυκνά πτερύγια».

## 6.2.5. Διάγραμμα πτώσης πίεσης



ΓΡΑΦΗΜΑ 6.3: Ολική πτώση πίεσης στο στόμιο «E12 - Πυκνά πτερύγια»

Στο γράφημα 6.3 απεικονίζεται η ολική πτώση πίεσης  $\Delta P_t$  στο στόμιο «E12 – Πυκνά πτερύγια». Γενικά παρατηρείται μια μη γραμμική σχέση μεταξύ της παροχής και της πτώσης πίεσης, η οποία ακολουθεί μια καμπύλη εκθετικής μορφής.



### 6.3. Μέτρηση στομίου «E17 – Αραιά πτερύγια» 500 x 500 mm

#### 6.3.1. Χαρακτηριστικά στομίου

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3: Χαρακτηριστικά στομίου E17

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ/ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΣΤΟΜΙΟΥ		
Όνομα/τύπος	E17 - Αραιά Πτερύγια	
Ύψος	500	[mm]
Πλάτος	500	[mm]
Ύψος πτερυγίου	5	[mm]
Ύψος κενού	12	[mm]
Πλάτος κενού	487	[mm]
Αριθμός κενών	25	[spaces]
Επιφάνεια	0,25	[m <sup>2</sup> ]
Ελεύθερη επιφάνεια	0,147	[m <sup>2</sup> ]

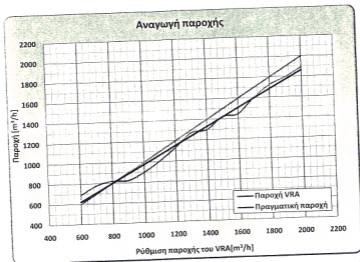


#### 6.3.2. Αποτελέσματα μετρήσεων

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.4: Αποτελέσματα μετρήσεων στομίου E17

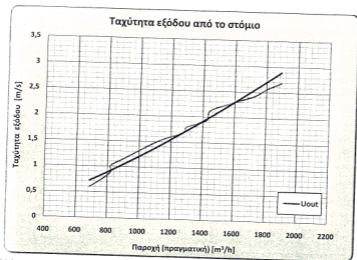
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΡΟΗΣ				ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΟΜΙΟΥ	
$V_{VNA}$ [m <sup>3</sup> /h]	$\Delta P_{Average}$ [Pa]	$U_{duct}$ [m/s]	$V_{real}$ [m <sup>3</sup> /h]	$\Delta P_i$ [Pa]	$U_{out}$ [m/s]
600	0,35	0,764	688	0,2	0,6
700	0,45	0,866	779	0,4	0,78
800	0,5	0,913	822	0,5	0,9
900	0,5	0,913	822	0,7	1,02
1000	0,6	1	900	0,9	1,15
1100	0,75	1,118	1006	1,2	1,33
1200	0,95	1,258	1132	1,5	1,53
1300	1,2	1,414	1273	1,9	1,68
1400	1,25	1,443	1299	2,3	1,8
1500	1,5	1,581	1423	2,7	1,935
1600	1,55	1,607	1446	3,1	2,125
1700	1,9	1,78	1602	3,5	2,3
1800	2,2	1,915	1724	4	2,42
1900	2,4	2	1800	4,4	2,56
2000	2,65	2,102	1892	4,9	2,685

## 6.3.3. Διάγραμμα μετρούμενης παροχής



ΓΡΑΦΗΜΑ 6.4: Σφάλμα παροχής αέρα στο VRA και πραγματική παροχή αέρα με εγκατεστημένο το στόμιο «E17 – Αραιά πτερόγια»

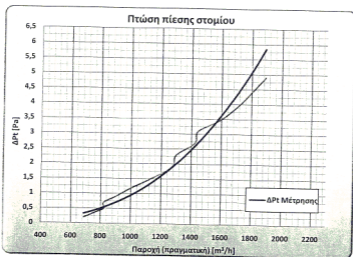
Στο γράφημα 6.4 παρατηρείται ότι το σφάλμα της ρυθμιζόμενης παροχής στο VRA σε σχέση με την πραγματική μετρημένη παροχή είναι πολύ μικρό έως αμελητέο στις μικρές παροχές και αυξάνει σταδιακά μέχρι που στις μεγάλες παροχές γίνεται της τάξης του 5,85% .

6.3.4. Διάγραμμα ταχύτητας εξόδου  $U_{out}$  από το στόμιο

ΓΡΑΦΗΜΑ 6.5: Ταχύτητα εξόδου από το στόμιο «E17 - Αραιά πτερύγια»

Στο γράφημα 6.5 παρατηρείται η σχεδόν γραμμική αύξηση της ταχύτητας εξόδου  $U_{out}$  από το στόμιο «E17 - Αραιά πτερύγια». Να επισημανθεί εδώ η διαφορά των μέγιστων ταχυτήτων, αυτών δηλαδή που παρατηρούνται στις πολύ μεγάλες παροχές, σε σχέση με το στόμιο «E12 - Πυκνά πτερύγια». Λόγω του μικρότερου βήματος πτερυγίων στο E12, οι μέγιστες ταχύτητες είναι μεγαλύτερες σε σχέση με το, κατά τα άλλα, ίδιας γεωμετρίας στόμιο E17, το οποίο όμως έχει μεγαλύτερο βήμα πτερυγίων (πιο αραιό).

## 6.3.5. Διάγραμμα πτώσης πίεσης



ΓΡΑΦΗΜΑ 6.6: Ολική πτώση πίεσης στο στόμιο «Ε17 - Αραιά πτερόγυια»

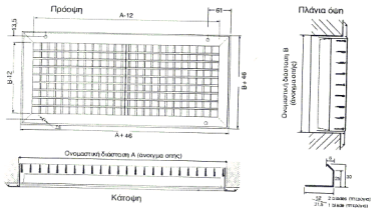
Στο γράφημα 6.6 απεικονίζεται η ολική πτώση πίεσης  $\Delta P_t$  στο στόμιο «Ε17 – Αραιά πτερόγυια». Γενικά παρατηρείται μια μη γραμμική σχέση μεταξύ της παροχής και της πτώσης πίεσης, η οποία ακολουθεί μια καμπύλη εκθετικής μορφής. Όπως και στο γράφημα 6.5 της ταχύτητας εξόδου, παρατηρείται ότι οι μέγιστες πτώσεις πίεσης για το στόμιο αυτό είναι μικρότερες συγκριτικά με εκείνες του στομίου Ε12 και αυτό οφείλεται στο μεγαλύτερο βήμα πτερυγίων του στομίου Ε17 (πιο αραιή κατανομή, λιγότερη προβολή αντίστασης στον αέρα).

#### 6.4. Επίτοιχα στόμια τύπου T

Τα στόμια της σειράς T είναι στόμια κλιματισμού ορθογωνικής διατομής τα οποία συνήθως τοποθετούνται σε τοίχους. Τα στόμια αυτά έχουν μία ή δύο σειρές ρυθμιζόμενων πτερυγίων, τα οποία είναι παράλληλα ή κάθετα στην μεγαλύτερη διάσταση (μία σειρά πτερυγίων) ή έχουν την πρώτη σειρά παράλληλα ή κάθετα στην μεγαλύτερη διάσταση (δύο σειρές πτερυγίων).

Τα στόμια της σειράς T χρησιμοποιούνται συνήθως για προσαγωγή αέρα από κάθετες επιφάνειες. Μπορούν όμως να τοποθετηθούν και σε οριζόντιες ή επικλινείς επιφάνειες. Τα πτερυγιά τους είναι ρυθμιζόμενα, ούτως ώστε να είναι δυνατή η μεταβολή της μορφολογίας και τη διασπορά της δέσμης του προσαγόμενου αέρα, ανάλογα με τις ανάγκες κλιματισμού του κάθε χώρου. Στην κατασκευή τους χρησιμοποιείται προφίλ ανοδιωμένου αλουμινίου, επιτυγχάνοντας έτσι μεγάλη διάρκεια ζωής. Περιμετρικά φέρουν φλάντζα αλουμινίου και ταινία από αφρώδες ελαστικό για πλήρη στεγανοποίηση κατά την τοποθέτησή τους.

Στην εικόνα 6.2 φαίνονται τα κατασκευαστικά σχέδια των στομιών της σειράς T. Για τον προσδιορισμό των επίτοιχων στομιών χρησιμοποιείται η ονομαστική διάσταση οπής  $A \times B$ . [5]



ΕΙΚΟΝΑ 6.2: Κατασκευαστικά σχέδια στομιών σειράς T, [5]

Τα στόμια της σειράς T, τα οποία μετρήθηκαν είναι τα εξής:

- T1Π: Με μία σειρά ρυθμιζόμενων πτερυγίων (παράλληλων προς τη μεγαλύτερη του διάσταση), τοποθετημένων με κλίση  $0^\circ$  από την οριζόντια θέση, διαστάσεων 500 x 500 mm .
- T2Π: Με δύο σειρές ρυθμιζόμενων πτερυγίων (με την πρώτη σειρά παράλληλη προς τη μεγαλύτερή του διάσταση), τοποθετημένων με κλίση  $0^\circ$  από την οριζόντια θέση, διαστάσεων 500 x 500 mm .

## 6.5. Μέτρηση στομίου «T1Π – 0 μοίρες» 500 x 500 mm

### 6.5.1. Χαρακτηριστικά στομίου

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.5: Χαρακτηριστικά στομίου T1Π

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ/ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΣΤΟΜΙΟΥ		
Όνομα/τύπος	T1Π – 0 μοίρες	
Ύψος	500	[mm]
Πλάτος	500	[mm]
Ύψος πτερυγίου	4	[mm]
Ύψος κενού	17	[mm]
Πλάτος κενού	485	[mm]
Αριθμός κενών	25	[spaces]
Επιφάνεια	0,25	[m <sup>2</sup> ]
Ελεύθερη επιφάνεια	0,207	[m <sup>2</sup> ]

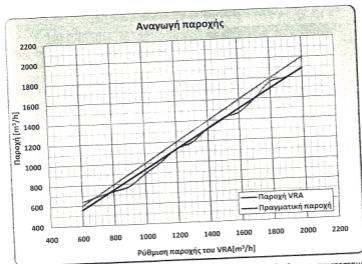


## 6.5.2. Αποτελέσματα μετρήσεων

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.6: Αποτελέσματα μετρήσεων στομίου T1Π

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΡΟΗΣ				ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΟΜΙΟΥ	
$V_{VRA}$ [ $m^3/h$ ]	$\Delta P_{Average}$ [Pa]	$U_{duct}$ [m/s]	$V_{Real}$ [ $m^3/h$ ]	$\Delta P_i$ [Pa]	$U_{out}$ [m/s]
600	0,3	0,707	636	0,3	0,62
700	0,35	0,764	688	0,4	0,78
800	0,4	0,816	734	0,5	0,85
900	0,45	0,866	779	0,6	0,96
1000	0,6	1	900	0,7	1,11
1100	0,75	1,118	1006	1,1	1,27
1200	0,95	1,258	1132	1,35	1,46
1300	1,05	1,323	1191	1,6	1,58
1400	1,3	1,472	1325	1,9	1,73
1500	1,5	1,581	1423	2,1	1,9
1600	1,6	1,633	1470	2,5	2,02
1700	1,9	1,78	1602	2,9	2,19
1800	2,3	1,958	1762	3,5	2,345
1900	2,4	2	1800	3,7	2,43
2000	2,65	2,102	1892	4,1	2,65

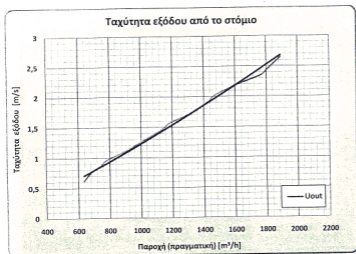
## 6.5.3. Διάγραμμα μετρούμενης παροχής



ΓΡΑΦΗΜΑ 6.7: Σφάλμα παροχής αέρα στο VRA και πραγματική παροχή αέρα με εγκατεστημένο το στόμιο «T1Π – 0 μοίρες»

Στο γράφημα 6.7 παρατηρείται ότι το σφάλμα της ρυθμιζόμενης παροχής στο VRA σε σχέση με την πραγματική μετρημένη παροχή είναι της τάξης του 5% στις μικρές παροχές και αυξάνει σταδιακά, με μικρή όμως μεταβολή, μέχρι που στις μεγάλες παροχές γίνεται της τάξης του 6%.

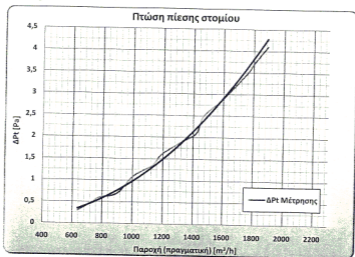


6.5.4. Διάγραμμα ταχύτητας εξόδου  $U_{out}$  από το στόμιο

ΓΡΑΦΗΜΑ 6.8: Ταχύτητα εξόδου από το στόμιο «T1Π - 0 μοίρες»

Στο γράφημα 6.8 παρατηρείται η σχεδόν γραμμική αύξηση της ταχύτητας εξόδου  $U_{out}$  από το στόμιο «T1Π - 0 μοίρες».

## 6.5.5. Διάγραμμα πτώσης πίεσης



ΓΡΑΦΗΜΑ 6.9: Ολική πτώση πίεσης στο στόμιο «T1Π - 0 μοίρες»

Στο γράφημα 6.9 απεικονίζεται η ολική πτώση πίεσης  $\Delta P_t$  στο στόμιο «T1Π - 0 μοίρες». Γενικά παρατηρείται και σε αυτό το στόμιο, μια μη γραμμική σχέση μεταξύ της παροχής και της πτώσης πίεσης, η οποία ακολουθεί μια καμπύλη εκθετικής μορφής.

## 6.6. Μέτρηση στομίου «Τ2Π – 0 μοίρες» 500 x 500 mm

## 6.6.1. Χαρακτηριστικά στομίου

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.7: Χαρακτηριστικά στομίου Τ2Π

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ/ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΣΤΟΜΙΟΥ		
Όνομα/τύπος	Τ2Π – 0 μοίρες	
Ύψος	500	[mm]
Πλάτος	500	[mm]
Ύψος πτερυγίου	4	[mm]
Ύψος κενού	17	[mm]
Πλάτος κενού	485	[mm]
Αριθμός κενών	25	[spaces]
Επιφάνεια	0,25	[m <sup>2</sup> ]
Ελεύθερη επιφάνεια	0,207	[m <sup>2</sup> ]

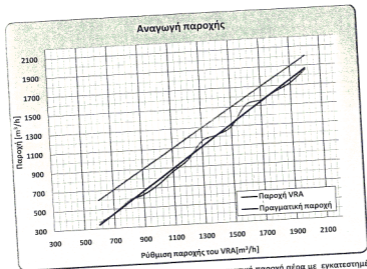


## 6.6.2. Αποτελέσματα μετρήσεων

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.8: Αποτελέσματα μετρήσεων στομίου Τ2Π

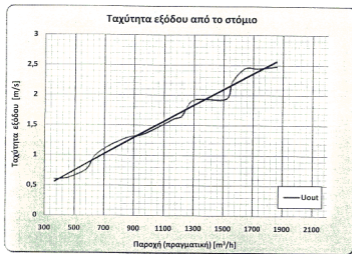
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΡΟΗΣ				ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΟΜΙΟΥ	
$V_{VRA}$ [m <sup>3</sup> /h]	$\Delta P_{Average}$ [Pa]	$U_{dact}$ [m/s]	$V_{Real}$ [m <sup>3</sup> /h]	$\Delta P_i$ [Pa]	$U_{out}$ [m/s]
600	0,1	0,408	367	0,2	0,6
700	0,15	0,5	450	0,4	0,62
800	0,25	0,645	581	0,6	0,765
900	0,3	0,707	636	0,8	0,99
1000	0,4	0,816	734	1,1	1,16
1100	0,55	0,957	861	1,3	1,3
1200	0,7	1,08	972	1,7	1,36
1300	1	1,291	1162	1,9	1,6
1400	1,1	1,354	1219	2,2	1,65
1500	1,25	1,443	1299	2,6	1,92
1600	1,7	1,683	1515	2,9	1,94
1700	1,8	1,732	1559	3,3	2,23
1800	2	1,826	1643	4	2,45
1900	2,2	1,915	1724	4,3	2,445
2000	2,55	2,062	1856	4,7	2,48

## 6.6.3. Διάγραμμα μετρούμενης παροχής



ΓΡΑΦΗΜΑ 6.10: Σφάλμα παροχής αέρα στο VRA και πραγματική παροχή αέρα με εγκατεστημένο το στόμιο «TZΠ - 0 μοίρες»

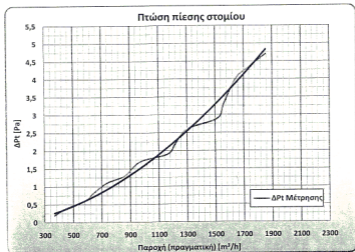
Στο γράφημα 6.10 παρατηρείται ότι το σφάλμα της ρυθμιζόμενης παροχής στο VRA σε σχέση με την πραγματική μετρημένη παροχή είναι πολύ μεγάλο, της τάξης του 32% στις μικρές παροχές και μειώνεται σταδιακά, μέχρι που στις μεγάλες παροχές γίνεται περίπου της τάξης του 8%.

6.6.4. Διάγραμμα ταχύτητας εξόδου  $U_{out}$  από το στόμιο

ΓΡΑΦΗΜΑ 6.11: Ταχύτητα εξόδου από το στόμιο «T2Π - 0 μοίρες»

Στο γράφημα 6.11 παρατηρείται η σχεδόν γραμμική αύξηση της ταχύτητας εξόδου  $U_{out}$  από το στόμιο «T2Π - 0 μοίρες». Η μέγιστες ταχύτητες είναι ελαφρώς μικρότερες συγκριτικά με αυτές του στομίου «T1Π - 0 μοίρες», με την διαφορά ότι εδώ η διακύμανση των τιμών είναι μεγαλύτερη (ειδικά στις μεγάλες παροχές) και αυτό πιθανότατα οφείλεται στην επίδραση της δεύτερης σειράς πτερυγίων στη ροή.

## 6.6.5. Διάγραμμα πτώσης πίεσης



ΓΡΑΦΗΜΑ 6.12: Ολική πτώση πίεσης στο στόμιο «T2Π - 0 μοίρες»

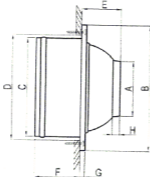
Στο γράφημα 6.12 απεικονίζεται η ολική πτώση πίεσης  $\Delta P_t$  στο στόμιο «T2Π - 0 μοίρες». Παρατηρείται μια μη γραμμική σχέση μεταξύ της παροχής και της πτώσης πίεσης, η οποία ακολουθεί μια καμπύλη εκθετικής μορφής. Παρατηρείται επίσης ότι οι μέγιστες πτώσεις πίεσης για το στόμιο αυτό είναι μεγαλύτερες συγκριτικά με εκείνες του στομίου T1Π και αυτό οφείλεται στην ύπαρξη της δεύτερης σειράς πτερυγίων του στομίου T2Π, οι οποίες το καθιστούν πιο «πυκνό» και συνεπώς προκαλεί ελαφρώς μεγαλύτερη αντίσταση στη διέλευση του αέρα.

## 6.7. Ακροφύσια μεγάλου βεληνεκούς τύπου AMB

Τα στόμια της σειράς AMB είναι ακροφύσια (Jet) μεγάλου βεληνεκούς τα οποία συνήθως τοποθετούνται σε τοίχους υψηλών χώρων ή στις οροφές και στα πλάγια τμήματα αεραγωγίων. Είναι εφοδιασμένα με περιστρεφόμενη κεφαλή προς κάθε διεύθυνση ώστε να μπορεί να ρυθμιστεί κατά τον επιθυμητό τρόπο η δέσμη του αέρα.

Τα στόμια της σειράς AMB χρησιμοποιούνται για προσαγωγή αέρα από ψηλά και είναι κατάλληλα για χρήση σε εφαρμογές θέρμανσης και ψύξης σε μεγάλους χώρους όπως θέατρα, κινηματογράφοι, γήπεδα, αμφιθέατρα, αεροδρόμια κτλ. Παράγονται σε διάφορους τύπους ώστε να καλύπτουν κάθε ανάγκη τοποθέτησης. Η κεφαλή τους ρυθμίζεται χειροκίνητα αλλά συνήθως εφοδιάζονται με ηλεκτροκινητήρα τύπου on-off ή αναλογικό. Σε πιο ακριβές υλοποιήσεις χρησιμοποιείται θερμικός μηχανισμός αυτορρύθμισης της κεφαλής. Κατασκευάζονται από αλουμίνιο γυαλισμένο ή βαμμένο με ηλεκτροστατική βαφή.

Στην εικόνα 6.3 φαίνονται τα κατασκευαστικά σχέδια των στομιών της σειράς AMB. Για τον προσδιορισμό τους χρησιμοποιείται η διάμετρος οπής A της περιστρεφόμενης κεφαλής. [5]



ΕΙΚΟΝΑ 6.3: Κατασκευαστικά σχέδια ακροφυσίων μεγάλου βεληνεκούς σειράς AMB , [5]

Το στόμιο της σειράς AMB, το οποίο μετρήθηκε είναι το: AMB-Φ195, με την κεφαλή σε οριζόντια ρύθμιση και με χρήση κατάλληλου πλαισίου αλουμινίου, ούτως ώστε να εφαρμόζει στην έξοδο του ορθογωνικού αεραγωγού διαστάσεων 500 x 500 mm.

## 6.8. Μέτρηση στομίου «AMB – Φ195»

### 6.8.1. Χαρακτηριστικά στομίου

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.9: Χαρακτηριστικά στομίου AMB

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ/ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΣΤΟΜΙΟΥ		
Όνομα/τύπος	AMB - 195	
Ύψος	500	[mm]
Πλάτος	500	[mm]
Διάμετρος κενού	195	[mm]
Αριθμός κενών	1	[spaces]
Επιφάνεια	0,25	[m <sup>2</sup> ]
Ελεύθερη επιφάνεια	0,144	[m <sup>2</sup> ]



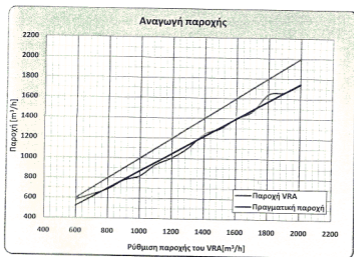
### 6.8.2. Αποτελέσματα μετρήσεων

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.10: Αποτελέσματα μετρήσεων στομίου AMB

V <sub>NHA</sub> [m <sup>3</sup> /h]	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΡΟΗΣ			ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΟΜΙΟΥ		
	ΔΡ <sub>Αναρτο</sub> [Pa]	U <sub>Δict</sub> [m/s]	V <sub>Real</sub> [m <sup>3</sup> /h]	ΔΡ <sub>t</sub> [Pa]	U <sub>out</sub> [m/s]	
600	0,25	0,645	581	10,3	3,88	
700	0,3	0,707	636	15,7	4,7	
800	0,35	0,764	688	20,8	5,26	
900	0,45	0,866	779	26	5,92	
1000	0,5	0,913	822	33,4	6,82	
1100	0,65	1,041	937	44	7,98	
1200	0,75	1,118	1006	55,4	9,18	
1300	0,9	1,225	1103	66,5	10,1	
1400	1,15	1,384	1246	78,3	10,8	
1500	1,25	1,443	1299	90,3	11,45	
1600	1,45	1,555	1400	104,4	12,72	
1700	1,6	1,633	1470	120,3	13,7	
1800	2	1,826	1643	137,2	14,62	
1900	2,05	1,848	1663	153,4	15,26	
2000	2,25	1,936	1742	167,8	15,92	

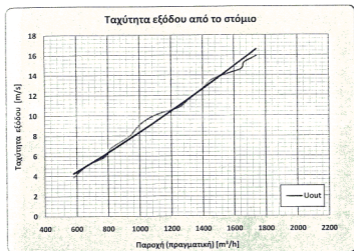


## 6.8.3. Διάγραμμα μετρούμενης παροχής



ΓΡΑΦΗΜΑ 6.13: Σφάλμα παροχής αέρα στο VRA και πραγματική παροχή αέρα με εγκατεστημένο το στόμιο «AMB - 195»

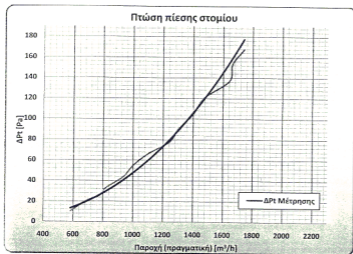
Στο γράφημα 6.13 παρατηρείται ότι το σφάλμα της ρυθμιζόμενης παροχής στο VRA σε σχέση με την πραγματική μετρημένη παροχή είναι της τάξης του 9,2% στις μικρές παροχές και αυξάνει σταδιακά, μέχρι που στις μεγάλες παροχές γίνεται περίπου της τάξης του 12,5%.

6.8.4. Διάγραμμα ταχύτητας εξόδου  $U_{out}$  από το στόμιο

ΓΡΑΦΗΜΑ 6.14: Ταχύτητα εξόδου από το στόμιο «AMB - Φ195»

Στο γράφημα 6.14 παρατηρείται η σχεδόν γραμμική αύξηση της ταχύτητας εξόδου  $U_{out}$  από το στόμιο «AMB - Φ195». Η ιδιαίτερη μορφολογία των ακροφυσίων μεγάλου βεληνεκούς είναι τέτοια που παράγει πολύ μεγάλες ταχύτητες εξόδου του αέρα από το στόμιο. Το μέγεθος της διαφοράς γίνεται πιο εμφανές αν συγκριθεί αυτό το γράφημα με τα γραφήματα 6.2, 6.5, 6.8 και 6.11 τα οποία αναφέρονται σε διαφορετικά στόμια μεν, αλλά της ίδιας βασικής φιλοσοφίας σχεδιασμού. Εκεί οι μέγιστες ταχύτητες είναι της τάξης των 2,5 έως 3 m/s σε αντίθεση με το ακροφύσιο μεγάλου βεληνεκούς, στο οποίο οι μέγιστες ταχύτητες είναι της τάξης των 16-17 m/s. Αυτό το μέγεθος της ταχύτητας είναι που τα κάνει ιδανικά στις περιπτώσεις όπου ο αέρας προσαγωγής πρέπει να προσαχθεί σε κλιματιζόμενους χώρους που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από την έξοδο του αεραγωγού και συνεπώς είναι αναγκαία μεγάλα μήκη βεληνεκούς και δεσμών αέρα.

## 6.8.5. Διάγραμμα πτώσης πίεσης



ΓΡΑΦΗΜΑ 6.15: Ολική πτώση πίεσης στο στόμιο «AMB - Φ195»

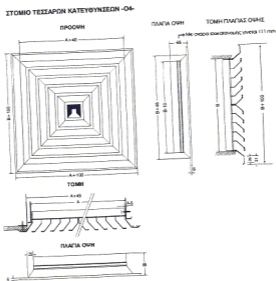
Όπως και το γράφημα 6.14 της ταχύτητας εξόδου, έτσι και το γράφημα 6.15 της ολικής πτώσης πίεσης  $\Delta P$ , διαφέρει από εκείνα των υπόλοιπων στομιών συμβατικού σχεδιασμού. Παρατηρείται καταρχάς πως η μη γραμμική σχέση πτώσης πίεσης και παροχής γίνεται περισσότερο έντονη (μεγαλύτερη κλίση) σε σχέση με τα αποτελέσματα των προηγούμενων στομιών. Επίσης υπάρχει τεράστια διαφορά στις τιμές της πτώσης πίεσης. Στην πραγματικότητα, τα ακροφύσια μεγάλου βεληνεκούς είναι τα μόνα είδη στομιών τα οποία σε συνήθεις συνθήκες λειτουργίας δίνουν τιμή πτώσης πίεσης μεγαλύτερη από 100 Pa. Σε αντίθεση με τα υπόλοιπα συμβατικά στόμια, τα οποία έχουν μέγιστες πτώσεις ολικής πίεσης της τάξης των 5 Pa (η ακόμα και 20 Pa, όπως θα φανεί παρακάτω για τα στόμια O), παρατηρείται ότι το στόμιο AMB παρουσιάζει μέγιστες πτώσεις πίεσης της τάξεως των 180 Pa. Τα αποτελέσματα αυτά είναι λογικά, αν αναλογιστεί κανείς την κατασκευαστική ιδιαιτερότητα των στομιών αυτών, καθώς και την φιλοσοφία λειτουργίας τους (όπως συζητήθηκε στην παράγραφο 6.8.4 περί ταχυτήτων εξόδου), ότι δηλαδή χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις κλιματισμού όπου απαιτήση πολύ μεγαλύτερου βεληνεκούς αέρα σε σχέση με αυτό που αποδίδουν οι τύποι στομιών συμβατικού σχεδιασμού.

## 6.9. Στόμια οροφής τύπου Ο

Τα στόμια της σειράς Ο είναι στόμια κλιματισμού οροφής, ορθογωνικής διατομής, με σταθερά πτερύγια. Τα στόμια αυτά κατασκευάζονται σε τέσσερις βασικές διαφορετικές παραλλαγές: με κατεύθυνση της δέσμης του αέρα προς μία έως και τέσσερις διευθύνσεις.

Τα στόμια της σειράς Ο χρησιμοποιούνται για την προσαγωγή κλιματιζόμενου αέρα σε χώρους χαμηλού ύψους οροφής (μέχρι και 3,5 m). Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επιστροφή αέρα από την οροφή σε συστήματα κλιματισμού. Τα πτερύγια των στομιών Ο είναι σταθερά και έτσι δεν είναι δυνατή η ρύθμιση της κατεύθυνσης του αέρα. Στην κατασκευή τους χρησιμοποιείται προφίλ ανοδιωμένου αλουμινίου με πάχος ανοδείωσης 12  $\mu\text{m}$  επιτυγχάνοντας έτσι μεγάλη διάρκεια ζωής. Επίσης υπάρχει εναλλακτικά η δυνατότητα ηλεκτροστατικής βαφής.

Στην εικόνα 6.4 φαίνονται τα κατασκευαστικά σχέδια των στομιών της σειράς Ο. Για τον προσδιορισμό των στομιών οροφής Ο χρησιμοποιείται η ονομαστική διάσταση οπής  $A \times B$ . [5]



ΕΙΚΟΝΑ 6.4: Κατασκευαστικά σχέδια στομιών σειράς Ο, [5]

Το στόμιο της σειράς Ο, το οποίο μετρήθηκε είναι το: Ο4, με κατεύθυνση της δέσμης του αέρα προς τέσσερις διευθύνσεις, διαστάσεων 500 x 500 mm .

## 6.10. Μέτρηση στομίου Ο4, 500 x 500 mm

### 6.10.1. Χαρακτηριστικά στομίου

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.11: Χαρακτηριστικά στομίου Ο4

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ/ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΣΤΟΜΙΟΥ		
Όνομα/τύπος	Ο4	
Υψος	500	[mm]
Πλάτος	500	[mm]
Υψος πτερυγίου	10	[mm]
Υψος κενού	μεταβλητό	[mm]
Πλάτος κενού	μεταβλητό	[mm]
Αριθμός κενών	7	[spaces]
Επιφάνεια	0,25	[m <sup>2</sup> ]
Ελεύθερη επιφάνεια	0,1725	[m <sup>2</sup> ]

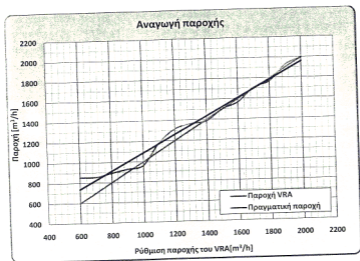


### 6.10.2. Αποτελέσματα μετρήσεων

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.12: Αποτελέσματα μετρήσεων στομίου Ο4

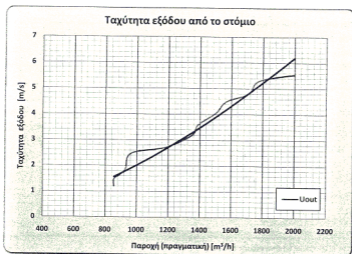
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΡΟΗΣ				ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΟΜΙΟΥ	
$V_{VRA}$ [m <sup>3</sup> /h]	$\Delta P_{Average}$ [Pa]	$U_{out}$ [m/s]	$V_{Real}$ [m <sup>3</sup> /h]	$\Delta P_i$ [Pa]	$U_{out}$ [m/s]
600	0,55	0,95	855	1,3	1,2
700	0,55	0,95	855	1,9	1,48
800	0,6	0,992	893	2,6	1,65
900	0,65	1,032	929	3,3	1,89
1000	0,7	1,071	964	4,3	2,48
1100	1,05	1,312	1181	5,6	2,71
1200	1,3	1,46	1314	7	3,06
1300	1,4	1,515	1364	8,5	3,275
1400	1,45	1,542	1388	10,1	3,6
1500	1,7	1,669	1502	11,6	4,06
1600	1,85	1,741	1567	13,4	4,5
1700	2,2	1,899	1709	15,6	4,8
1800	2,35	1,963	1767	17,7	5,28
1900	2,8	2,142	1928	19,9	5,49
2000	3	2,218	1996	22,1	5,54

## 6.10.3. Διάγραμμα μετρούμενης παροχής



ΓΡΑΦΗΜΑ 6.16: Σφάλμα παροχής αέρα στο VRA και πραγματική παροχή αέρα με εγκατεστημένο το στόμιο O4

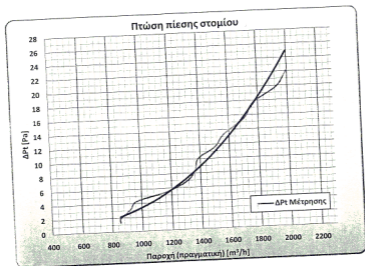
Στο γράφημα 6.16 παρατηρείται ότι το σφάλμα της ρυθμιζόμενης παροχής στο VRA σε σχέση με την πραγματική μετρημένη παροχή είναι πάρα πολύ μεγάλο, της τάξης του 30% στις μικρές παροχές και μειώνεται σταδιακά, μέχρι που στις μεγάλες παροχές γίνεται περίπου της τάξης του 1%. Το συγκεκριμένο στόμιο εμφανίζει το μεγαλύτερο σφάλμα από το σύνολο των μετρήσεων, όσον αφορά τις μικρές παροχές αλλά ταυτόχρονα εμφανίζει και το μικρότερο σφάλμα (σχεδόν αμελητέο) από το σύνολο των μετρήσεων, στις μεγάλες παροχές.

6.10.4. Διάγραμμα ταχύτητας εξόδου  $U_{out}$  από το στόμιο

ΓΡΑΦΗΜΑ 6.17: Ταχύτητα εξόδου από το στόμιο O4

Στο γράφημα 6.17 παρατηρείται η σχεδόν γραμμική αύξηση της ταχύτητας εξόδου  $U_{out}$  από το στόμιο O4. Η μέγιστες ταχύτητες είναι μεγαλύτερες συγκριτικά με αυτές των υπόλοιπων ορθογωνικών στομιών, οι οποίες είναι της τάξης των 2,5 με 3 m/s . Παρατηρείται επίσης η μεγαλύτερη διακύμανση στις μετρούμενες τιμές (σε σχέση με τα γραφήματα των υπόλοιπων στομιών) και αυτό οφείλεται στην μορφολογία του ίδιου του στομιού αφενός (ότι δηλαδή δεν διαχέει τον αέρα κάθετα στη διατομή του αλλά με κλίση 45°) και αφετέρου στο μεγάλο πιθανότατα σφάλμα μέτρησης της ταχύτητας λόγω δυσκολίας της σωστής τοποθέτησης του ανεμομέτρου.

## 6.10.5. Διάγραμμα πτώσης πίεσης



ΓΡΑΦΗΜΑ 6.18: Ολική πτώση πίεσης στο στόμιο Ο4

Στο γράφημα 6.18 απεικονίζεται η ολική πτώση πίεσης  $\Delta P_t$  στο στόμιο Ο4. Παρατηρείται και εδώ μια μη γραμμική σχέση μεταξύ της παροχής και της πτώσης πίεσης, η οποία ακολουθεί μια καμπύλη εκθετικής μορφής με μεγαλύτερες κλίσεις από τα αντίστοιχα γραφήματα των υπόλοιπων ορθογωνικών στομιών. Παρατηρείται επίσης ότι οι μέγιστες πτώσεις πίεσης για το στόμιο αυτό είναι μεγαλύτερες (της τάξης των 25 Pa) συγκριτικά με εκείνες των υπόλοιπων ορθογωνικών στομιών, οι οποίες είναι της τάξης των 5 Pa. Επισημαίνεται ότι όπως στο γράφημα 6.17 της ταχύτητας, έτσι και εδώ φαίνεται μία σημαντικά μεγαλύτερη διακύμανση των τιμών συγκριτικά με τις υπόλοιπες μετρήσεις. Το γεγονός αυτό (όπως και το γεγονός της τιμής της πτώσης πίεσης) οφείλεται στην μορφολογία του στομίου και στη γεωμετρία των πτερυγίων του.



## 7. Συμπεράσματα – σχόλια

Στην παρούσα διύλιματική εργασία εκπονήθηκαν μετρήσεις ολικής πτώσης πίεσης σε μία σειρά στομιών της εταιρίας AeroGraphmi. Όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 5.3 (προετοιμασία της πειραματικής διάταξης), υπήρξαν διάφορες αντικειμενικές δυσκολίες για την εκπόνηση των μετρήσεων, οι οποίες αντιμετωπίστηκαν κατάλληλα με αποτέλεσμα να προκύψουν ρεαλιστικά συμπεράσματα για το ζητούμενο της εργασίας. Συνεπώς, οι τροποποιήσεις και οι αλλαγές της πειραματικής διάταξης κρίνονται επιτυχείς.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για τους μηχανικούς, όταν διαστασιολογούν συστήματα κλιματισμού και ειδικότερα στον τομέα επιλογής κατάλληλων στομιών προσαγωγής αέρα για τις απαιτήσεις της εκάστοτε μελέτης. Επίσης αποτελούν μια βάση δεδομένων για την εταιρία, βάσει της οποίας μπορεί να γίνει αξιολόγηση προηγούμενων μετρήσεων ή και στομιών, όσον αφορά τον έλεγχο ποιότητας της κατασκευής και της αποδοτικότητας κατά τη λειτουργία.

Η εκπόνηση της παρούσας διύλιματικής εργασίας είναι ένα πρώτο βήμα μιας έρευνας, στην οποία κάθε περαιτέρω ανάλυση κρίνεται σκόπιμη και έχει πολλές προοπτικές.

Η βαθμιονόμηση ή και η αντικατάσταση του διαφράγματος σταθερής παροχής VRA θα αποτελέσει μια μεγάλη βελτίωση της παρούσας διάταξης μέτρησης, όσον αφορά την ταχύτητα διεξαγωγής των μετρήσεων. Είναι προφανές ότι σε περίπτωση που το VRA λειτουργεί με το ονομαστικό του σφάλμα (2,5%) τότε η διαδικασία μέτρησης ταχύτητας μέσα στον αεραγωγό μπορεί να απεμπλακεί από την συνολική διαδικασία μετρήσεων, καθώς δε θα υπάρχει πλέον η ανάγκη για έλεγχο της σωστής λειτουργίας του VRA. Αυτό, σύμφωνα με τον ήδη υπάρχοντα εξοπλισμό μετρητικών οργάνων της διάταξης, μπορεί να μειώσει το χρόνο διεξαγωγής ενός σετ μετρήσεων σημαντικά, από τις δύο περίπου ώρες που απαιτούνται με την παρούσα κατάσταση, στην μισή ώρα (προσεγγιστικά).

Κρίνεται επίσης σκόπιμη η επένδυση για την κατασκευή ειδικά διαμορφωμένου χώρου, μονωμένου ηχητικά, ο οποίος δε θα επηρεάζεται από εξωτερικές πηγές θορύβου. Έτσι θα είναι δυνατόν να γίνουν μετρήσεις επιπέδων θορύβου, από τη ροή του αέρα αλλά και από την λειτουργία του συνόλου των συσκευών ενός κλιματιστικού συστήματος. Οι μετρήσεις αυτές αποτελούν μια ακόμα προοπτική για περαιτέρω έρευνα.

Ωστόσο, η πιο σημαντική ίσως προοπτική περαιτέρω έρευνας θεωρείται οποιαδήποτε μορφή έρευνας σχετίζεται με την ισοκατανομή του αέρα. Είναι προφανές ότι η παρούσα κατασκευή αεραγωγού, παρόλο που αποφέρει ιδιαίτερα

ικανοποιητικά επίπεδα ισοκατανομής, δεν είναι ρεαλιστική, όσον αφορά τη χρησιμοποίησή της σε πραγματικές περιπτώσεις μελετών αυστηρών κλιματισμού. Για το λόγο αυτό κρίνεται σκόπιμη η μέτρηση ολικής πτώσης πίεσης σε στόμια τα οποία είναι εγκατεστημένα σε κιβώτια plenum και μάλιστα με την ύπαρξη σχάρας ισοκατανομής του αέρα, μέσα στο plenum box. Τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων είναι πολύ μεγάλης σημασίας καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα σε πραγματικές μελέτες. Επιπλέον μπορούν να αποτελέσουν μια πολύ σημαντική βάση δεδομένων, όσον αφορά την επίδραση των διαστάσεων και της μορφολογίας ενός plenum box στην ροή του αέρα αφενός και αφετέρου της επίδρασης της κλίσης και της μορφολογίας της διάτρητης σχάρας ισοκατανομής (πάχος σχάρας, διάμετρος στοιχειώδους οπής, κατανομή και ποσού οπών) στην ισοκατανομή του αέρα.

Τέλος αναφέρεται ότι οι παραπάνω παρεμβάσεις ολοκληρώνουν ένα τμήμα της μελέτης, όσον αφορά την διανομή του αέρα στο χώρο. Επιπλέον, κρίνεται σκόπιμη η μελέτη του αέρα, μετά την έξοδό του από το στόμιο. Υπάρχουν λοιπόν και εδώ μεγάλες προοπτικές για έρευνα, όσον αφορά τη μέτρηση της ταχύτητας του αέρα στους χώρους, την οπτικοποίηση της κίνησης του αέρα στο σύνολο του χώρου και φυσικά μετρήσεις μήκους βεληνεκού και ισόθερμης-ανισόθερμης δέσμης του αέρα.

Με τα αποτελέσματα και των παραπάνω μετρήσεων μπορεί να δημιουργηθεί μια πλήρης, πλέον, βάση δεδομένων, η οποία θα διαθέτει όλα τα απαραίτητα στοιχεία που αφορούν την διανομή και διάχυση του αέρα στο χώρο, από το κομμάτι του αεραγωγού μέχρι την έξοδο αφενός και αφετέρου από την έξοδο του αεραγωγού μέχρι και το σύνολο του χώρου.

Η ύπαρξη μιας ολοκληρωμένης βάσης δεδομένων, θα επιλύσει πολλά προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι σημερινοί μηχανικοί και θα βελτιώσει το επίπεδο των μελετών και εγκαταστάσεων κλιματισμού, τόσο στο κομμάτι της μελέτης, όσο και στο κομμάτι της λειτουργίας και της αποτελεσματικότητας.

## Βιβλιογραφία

- [1] Parker, Faye C. McQuiston and Jerald D., Heating, Ventilating and Air Conditioning, Analysis & Design, John Wiley & Sons, Inc., Oklahoma, USA , 1999.
- [2] Παπακώστας Κωνσταντίνος Τ., Κλιματισμός, Τμήμα Εκδόσεων ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 2007.
- [3] Παπακώστας Κωνσταντίνος Τ., Θέρμανση-Ψύξη-Κλιματισμός, Τμήμα Εκδόσεων ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 2008.
- [4] ASHRAE, ASHRAE HANDBOOK - Fundamentals, ASHRAE Inc., USA, 2009.
- [5] [www.aerogrammi.gr](http://www.aerogrammi.gr), *Ταποθεσία web της εταιρίας Aerogrammi.*
- [6] ISO 5219, Air distribution and air diffusion - Laboratory aerodynamic testing and rating of air terminal device, International Organization for Standardization, Switzerland, 1984.
- [7] ASHRAE, ASHRAE HANDBOOK - HVAC Systems and equipment, ASHRAE Inc., USA, 2008.
- [8] [www.titus-hvac.com](http://www.titus-hvac.com), *Ταποθεσία web της εταιρίας Titus.*