



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΡΟΪΚΟΥ
ΠΕΔΙΟΥ ΑΕΡΑ ΑΠΟ ΣΤΟΜΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ
ΜΕ ΓΡΙΑΛΙΕΣ ΤΥΠΟΥ ΣΧΙΣΜΗΣ ΚΑΙ
ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΣΥΡΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΟΗΣ**

ΚΑΣΤΡΙΝΟΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ

ΑΜ : 1059718

**ΕΠΟΠΤΕΙΑ : ΜΑΡΓΑΡΗΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ
ΟΜΟΤΙΜΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

Διπλωματική εργασία υποβληθείσα στο Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών του
Πανεπιστημίου Πατρών

ΠΑΤΡΑ, 07/2024

Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών
Καστρινός Σπυρίδων
© 2024 – Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ

Η παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάστηκε

από τον

ΚΑΣΤΡΙΝΟ ΣΠΥΡΙΔΩΝ

1059718

την Τετάρτη 03.07.2024

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας δεν υποδηλοί την αποδοχή των γνωμών του συγγραφέα.
Κατά τη συγγραφή τηρήθηκαν οι αρχές της ακαδημαϊκής δεοντολογίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΡΟΪΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΑΕΡΑ ΑΠΟ ΣΤΟΜΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ ΜΕ ΓΡΙΛΛΙΕΣ ΤΥΠΟΥ ΣΧΙΣΜΗΣ ΚΑΙ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΣΥΡΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΟΗΣ

ΚΑΣΤΡΙΝΟΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, στόχος είναι η μελέτη ροής αέρα από στόμια κλιματισμού με γρίλλες τύπου σχισμής και ρυθμιστικό σύρτη ροής προκειμένου να υπολογιστούν τα χαρακτηριστικά μεγέθη αυτών. Τα μεγέθη αυτά σχετίζονται με την κατανομή της ταχύτητας, την ανύψωση, την πτώση, την διάχυση την πτώσης πίεσης της ροής του αέρα καθώς και το παραγόμενο θόρυβο στο χώρο μελέτης. Το υπολογιστικό χωρίο που εκτελείται το πείραμα αποτελεί ψηφιακό δίδυμο του πειραματικού χώρου μελέτης του Εργαστηρίου Ρευστομηχανικής του Πανεπιστημίου Πατρών ενώ οι γρίλλες είναι τύπου STS της εταιρίας AIRTECHNIC ΧΑΤΖΟΥΔΗΣ Ε.Π.Ε. Τέλος να αναφερθεί ότι οι προ μελέτης γρίλλες σχεδιάστηκαν με τη βοήθεια του υπολογιστικού προγράμματος SOLIDWORKS, ενώ η υπολογιστή ανάλυση έγινε με το ANSYS Fluent.

Λέξεις κλειδιά

στόμια, γρίλλες , κλιματισμός, υπολογιστική ρευστομηχανική, ψηφιακό δίδυμο

ABSTRACT

COMPUTATIONAL SIMULATION OF AIR FLOW FIELD FROM AIR- CONDITIONING VENTS WITH GRILLES OF SLOT TYPE WITH REGULATING DAMPER OF THE FLOW DIRECTION

KASTRINOS SPYRIDON

In this master's thesis, the objective is to study the airflow from air conditioning outlets with slot-type grilles and flow control sliders to determine their characteristic sizes. These sizes are related to the distribution of velocity, uplift, drop, diffusion, pressure drop of the airflow, and the noise produced in the study area. The computational domain where the experiment is conducted is a digital twin of the experimental study area of the Fluid Mechanics Laboratory at the University of Patras, and the grilles are of the STS type from the company AIRTECHNIC HATZOUDIS E.P.E. Finally, it should be noted that the pre-study grilles were designed with the help of the SOLIDWORKS design program, while the computational analysis was carried out using ANSYS Fluent.

Keywords

Airflow, slot-type grilles, HVAC, CFD

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Συνιστώμενες ταχύτητες εξόδου σε κάθε εφαρμογή.	15
Πίνακας 2. Αντίδραση ατόμων σε συνάρτηση με την ταχύτητα του αέρα στο δωμάτιο.	15
Πίνακας 3. Συνιστώμεθα ανώτατα μεγέθη -ένταση- θορύβου σε συγκεκριμένες εφαρμογές.....	16
Πίνακας 4. Συνοπτικά τα χαρακτηριστικά του πλέγματος των στομίων STS 1R και 2R με το σύρτη στη μεσαία θέση.....	47
Πίνακας 5. Συνοπτικά τα χαρακτηριστικά του πλέγματος των στομίων STS 1R με το σύρτη στις ακριανές θέσεις.	50
Πίνακας 6. Ταχύτητα αεραγωγού και εξόδου στομίου ανά παροχή με βάση την εξίσωση της συνέχειας.....	58
Πίνακας 7. Συγκεντρωτικά στοιχεία STS1R 20 με το σύρτη στη μεσαία θέση.	67
Πίνακας 8. Ταχύτητα αεραγωγού και εξόδου στομίου ανά παροχή με βάση την εξίσωση της συνέχειας.....	70
Πίνακας 9. Συγκεντρωτικά στοιχεία STS1R 20 με το σύρτη στην κάτω θέση.	76
Πίνακας 8. Ταχύτητα αεραγωγού και εξόδου στομίου ανά παροχή με βάση την εξίσωση της συνέχειας.....	79
Πίνακας 10. Ταχύτητα αεραγωγού και εξόδου στομίου ανά παροχή με βάση την εξίσωση της συνέχειας.....	81
Πίνακας 11. Συγκεντρωτικά στοιχεία STS2R 20 με το σύρτη στη μεσαία θέση.	85

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ

Σχήμα 1.1. Σκιτσογραφία μιας κατάστασης μη Θερμικής Άνεσης (Εικόνα δημιουργημένη από ChatGPT).....	3
Σχήμα 1.2. Η Μηχανή Carrier.	4
Σχήμα 2.1 Ψυκτικό κύκλος συστήματος HVAC.	8
Σχήμα 2.2. Αεραγωγός και Στόμιο εκροής ενός συστήματος HVAC.	9
Σχήμα 2.3. Είδη στομίων	12
Σχήμα 2.4. Απεικόνιση χαρακτηριστικών ανύψωσης και πτώσης.	14
Σχήμα 2.5. Απεικόνιση χαρακτηριστικού διάχυσης.	14
Σχήμα 2.6. Δέσμη αέρα τύπου jet-stream.	18
Σχήμα 2.7. Δέσμη αέρα τύπου wall jet stream.	19
Σχήμα 3.1. Γραφική απεικόνιση πλεγμάτων, δομημένου και μη δομημένου.....	29
Σχήμα 3.2. Σχήματα στοιχείων πλέγματος.	30
Σχήμα 3.3. Δομικό διάγραμμα αλγορίθμου SIMPLE.	34
Σχήμα 4.1. Στόμιο τύπου STS 1R.....	37
Σχήμα 4.2. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά στομίων STS R.	38
Σχήμα 4.3. Λειτουργία ρυθμιστικού πτερυγίου (damper).	38
Σχήμα 4.4. Πλάγια τομή για το Στόμιο STS 1R20 με το σύρτη στη μεσαία θέση.....	40
Σχήμα 4.5. Πλάγια τομή για το Στόμιο STS 1R20 με το σύρτη στην πάνω θέση.....	41
Σχήμα 4.6. Πλάγια τομή για το Στόμιο STS 1R20 με το σύρτη στην κάτω θέση.....	42
Σχήμα 4.7. Πλάγια τομή από στόμιο STS2R με το ρυθμιστικό σύρτη στη μεσαία θέση.....	43
Σχήμα 4.8. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά χωρίου μελέτης.	44
Σχήμα 4.9. Ο υπολογιστικός χώρος με χρωματισμένες τις συνοριακές περιοχές.	44
Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας και Περιβάλλοντος	xi

Σχήμα 4.10. Γενικά δεδομένα στο Ansys Fluent για τη ροή προς λύση.	45
Σχήμα 4.11. Χαρακτηριστικά μοντέλου k-e στο Ansys Fluent.	46
Σχήμα 4.12. Δομή πλέγματος για τα στόμια με το σύρτη στη μεσαία θέση.	46
Σχήμα 4.13. Δομή πλέγματος για τα στόμια με το σύρτη στις πάνω και κάτω θέσεις.	47
Σχήμα 4.14. Ποιότητα Πλέγματος STS 1R20	48
Σχήμα 4.15. Ορθογωνιότητα Πλέγματος STS 1R20	48
Σχήμα 4.16. Ποιότητα Πλέγματος STS 2R20	49
Σχήμα 4.17. Ορθογωνιότητα Πλέγματος STS 1R2	49
Σχήμα 4.18. Γραφική απεικόνιση πλέγματος.	50
Σχήμα 4.19. Γραφική απεικόνιση πλέγματος κατά τον άξονα συμμετρίας Z.	50
Σχήμα 4.20. Γραφική απεικόνιση πλέγματος στομίου.	50
Σχήμα 4.21. Γραφική απεικόνιση πύκνωσης πλέγματος στα τοιχώματα για την πλήρη καταγραφή του οριακού στρώματος.	50
Σχήμα 4.22. Ποιότητα Πλέγματος STS 1R20 με το σύρτη στην πάνω και κάτω θέση.....	51
Σχήμα 4.23. Ορθογωνιότητα Πλέγματος STS 1R20 με το σύρτη στην πάνω και κάτω θέση	51
Σχήμα 4.24. Γραφική απεικόνιση πλέγματος κατά τον άξονα συμμετρίας Z για το στόμιο STS1R, damper down.....	52
Σχήμα 4.25. Γραφική απεικόνιση πλέγματος στομίου για το στόμιο STS1R, damper down	52
Σχήμα 4.26. Συνθήκη εισόδου στο Ansys Fluent.	53
Σχήμα 4.27. Συνθήκη στους τοίχους.	54
Σχήμα 4.28. Συνθήκη Εξόδου στο Ansys Fluent.....	54
Σχήμα 4.29. Αλγόριθμος SIMPLE Ansys Fluent.	55
Σχήμα 4.30. Κριτήρια σύγκλισης της λύσης του προβλήματος	55

Σχήμα 5.1. Κάτοψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.	59
Σχήμα 5.2. Πάγια όψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.....	59
Σχήμα 5.3. Διάγραμμα ολικής πίεσης στο στόμιο κατά τον άξονα συμμετρίας Z για παροχή $Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.	60
Σχήμα 5.4. Διαφορά ολικής πίεσης στο στόμιο είσοδο – έξοδο, για παροχή $Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.....	60
Σχήμα 5.5. Μέτρηση ταχύτητας σε απόσταση 25 [mm] από την έξοδο του στομίου.	61
Σχήμα 5.6. Ταχύτητα κατά το επίπεδο εξόδου του στομίου.....	61
Σχήμα 5.7. Ροϊκές γραμμές για παροχή $Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.	61
Σχήμα 5.8. Πλάγια όψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=200 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.....	62
Σχήμα 5.9. Κάτοψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=200 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.	62
Σχήμα 5.10. Ροϊκές γραμμές για παροχή $Q=200 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.	63
Σχήμα 5.11. Διαφορά ολικής πίεσης στο στόμιο είσοδο – έξοδο, για παροχή $Q=200 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.....	63
Σχήμα 5.12. Πλάγια όψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=400 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.....	64

Σχήμα 5.13. Κάτοψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=400 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.	64
Σχήμα 5.14. Ροϊκές γραμμές για παροχή $Q=400 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.	65
Σχήμα 5.15. Διαφορά ολικής πίεσης στο στόμιο είσοδο – έξοδο, για παροχή $Q=400 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.....	65
Σχήμα 5.16. Πλάγια όψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=600 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.....	66
Σχήμα 5.17. Κάτοψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=600 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.	66
Σχήμα 5.18. Ροϊκές γραμμές για παροχή $Q=600 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.	66
Σχήμα 5.19. Διαφορά ολικής πίεσης στο στόμιο είσοδο – έξοδο, για παροχή $Q=600 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.....	66
Σχήμα 5.20. Ταχύτητα εξόδου για το στόμιο STS1R με το σύρτη στη μεσαία θέση συναρτήσει της παροχής.....	67
Σχήμα 5.21. Πτώση πίεσης για το στόμιο STS1R με το σύρτη στη μεσαία θέση.....	68
Σχήμα 5.22. Βεληνεκές για το στόμιο STS1R με το σύρτη στη μεσαία θέση.....	68
Σχήμα 5.23. Ανύψωση για το στόμιο STS1R με το σύρτη στη μεσαία θέση.....	68
Σχήμα 5.24. Πτώση για το στόμιο STS1R με το σύρτη στη μεσαία θέση.	68
Σχήμα 5.25. Διάχυση για το στόμιο STS1R με το σύρτη στη μεσαία θέση.	68
Σχήμα 5.26. Θόρυβος για το στόμιο STS1R με το σύρτη στη μεσαία θέση.	68

Σχήμα 5.27. Μπροστινή όψη για τις ισοεπιφανειακές στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην κάτω θέση, για παροχή $Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$	71
Σχήμα 5.28. Πλάγια όψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην κάτω θέση.....	71
Σχήμα 5.29. Ροικές γραμμές στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην κάτω θέση, για παροχή $Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$	71
Σχήμα 5.30. Διαφορά ολικής πίεσης στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην κάτω θέση, για παροχή $Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$	71
Σχήμα 5.31. Κατανομή ταχύτητας έως $25[\text{mm}]$ από την έξοδο του στομίου STS 1R 20, damper down.....	72
Σχήμα 5.32. Κατανομή ταχύτητας κατά το επίπεδο της εξόδου του στομίου STS 1R 20, damper down.....	72
Σχήμα 5.33. Κατανομή Ταχύτητας για το στόμιο STS 1R 20, damper down.	72
Σχήμα 5.34. Μπροστινή όψη για τις ισοεπιφανειακές στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην κάτω θέση, για παροχή $Q=200 \text{ m}^3/\text{s}$	73
Σχήμα 5.35. Παραμετρική όψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=200 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην κάτω θέση.....	73
Σχήμα 5.36. Ροικές γραμμές στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην κάτω θέση, για παροχή $Q=200 \text{ m}^3/\text{s}$	73
Σχήμα 5.37. Διαφορά ολικής πίεσης στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην κάτω θέση, για παροχή $Q=200 \text{ m}^3/\text{s}$	73
Σχήμα 5.38. Παραμετρική όψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=500 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην κάτω θέση.....	74

Σχήμα 5.39. Ροικές γραμμές στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην κάτω θέση, για παροχή $Q=500 \text{ m}^3/\text{s}$	74
Σχήμα 5.40. Διαφορά ολικής πίεσης στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην κάτω θέση, για παροχή $Q=500 \text{ m}^3/\text{s}$	74
Σχήμα 5.41. Παραμετρική όψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην κάτω θέση.....	75
Σχήμα 5.42. Ροικές γραμμές στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην κάτω θέση, για παροχή $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$	75
Σχήμα 5.43. Διαφορά ολικής πίεσης στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην κάτω θέση, για παροχή $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$	75
Σχήμα 5.44. Ταχύτητα εξόδου για το στόμιο STS1R με το σύρτη στην κάτω θέση.....	76
Σχήμα 5.45. Πτώση Πίεσης για το στόμιο STS1R με το σύρτη στην κάτω θέση.....	77
Σχήμα 5.46. Βεληνικές για το στόμιο STS1R με το σύρτη στην κάτω θέση.....	77
Σχήμα 5.47. Πτώση για το στόμιο STS1R με το σύρτη στην κάτω θέση.....	77
Σχήμα 5.48. Διάχυση για το στόμιο STS1R με το σύρτη στην κάτω θέση.....	77
Σχήμα 5.49. Θόρυβος για το στόμιο STS1R με το σύρτη στην κάτω θέση.....	77
Σχήμα 5.50. Πλάγια όψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=20 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην πάνω θέση.....	80
Σχήμα 5.51. Πλάγια όψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=50 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην πάνω θέση.....	80
Σχήμα 5.52. Ροικές γραμμές στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην πάνω θέση, για παροχή $Q=20 \text{ m}^3/\text{s}$	80

Σχήμα 5.53. Ροϊκές γραμμές στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην πάνω θέση, για παροχή $Q=50 \text{ m}^3/\text{s}$	80
Σχήμα 5.54. Πλάγια όψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=200 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 2R20 με το damper στη μεσαία θέση.....	82
Σχήμα 5.55. Κάτοψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=200 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 2R20 με το damper στη μεσαία θέση.	82
Σχήμα 5.56. Ροϊκές γραμμές για παροχή $Q=600 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 2R20 με το damper στη μεσαία θέση.	82
Σχήμα 5.57. Διαφορά ολικής πίεσης στο στόμιο είσοδο – έξοδο, για παροχή $Q=200 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 2R20 με το damper στη μεσαία θέση.....	82
Σχήμα 5.58. Πλάγια όψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=600 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 2R20 με το damper στη μεσαία θέση.....	83
Σχήμα 5.59. Κάτοψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=600 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 2R20 με το damper στη μεσαία θέση.....	83
Σχήμα 5.60. Ροϊκές γραμμές για παροχή $Q=600 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 2R20 με το damper στη μεσαία θέση.	84
Σχήμα 5.61. Διαφορά ολικής πίεσης στο στόμιο είσοδο – έξοδο, για παροχή $Q=600 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 2R20 με το damper στη μεσαία θέση.....	84
Σχήμα 5.62. Πλάγια όψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=1300 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 2R20 με το damper στη μεσαία θέση.....	84
Σχήμα 5.63. Κάτοψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=1300 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 2R20 με το damper στη μεσαία θέση.....	84

Σχήμα 5.64. Σχήμα 5.65. Ροϊκές γραμμές για παροχή $Q=1300 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 2R20 με το damper στη μεσαία θέση.....	85
Σχήμα 5.66. Διαφορά ολικής πίεσης στο στόμιο είσοδο – έξοδο, για παροχή $Q=1300 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 2R20 με το damper στη μεσαία θέση.....	85
Σχήμα 5.67. Ταχύτητα εξόδου για το στόμιο STS2R με το σύρτη στη μεσαία θέση.....	86
Σχήμα 5.68. Πτώση Πίεσης για το στόμιο STS2R με το σύρτη στη μεσαία θέση.	87
Σχήμα 5.69. Βεληνεκές για το στόμιο STS2R με το σύρτη στη μεσαία θέση.....	87
Σχήμα 5.70. Ανύψωση για το στόμιο STS2R με το σύρτη στη μεσαία θέση.....	87
Σχήμα 5.71. Πτώση για το στόμιο STS2R με το σύρτη στη μεσαία θέση.	87
Σχήμα 5.72. Διάχυση για το στόμιο STS2R με το σύρτη στη μεσαία θέση.	87
Σχήμα 5.73. Θόρυβος για το στόμιο STS2R με το σύρτη στη μεσαία θέση.	87
Σχήμα 5.74. Συγκριτικό διάγραμμα βεληνεκούς για τα στόμια.	89
Σχήμα 5.75. Συγκριτικό διάγραμμα διάχυσης των στομίων.....	90
Σχήμα 5.76. Συγκριτικό διάγραμμα Ανύψωσης	91
Σχήμα 5.77. Συγκριτικό διάγραμμα Πτώσης των στομίων.	91
Σχήμα 5.78. Σύγκριση Πτώσης Πίεσης για τα στόμια.....	92
Σχήμα 5.79. Ταχύτητα Εξόδου προς παροχή για όλα τα στόμια.	93
Σχήμα 5.80. Συγκριτικό διαγράμμα για τη στάθμη θορύβου των τριών στομίων.....	94

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

CFD – Computational Fluid Dynamics

A_c – Διατομή Στομίου [m^2]

HVAC – Heating Ventilation and Air Conditioning

m/s – μέτρα ανά δευτερόλεπτά

ΗΠΑ – Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

mm – χιλιοστά μέτρου

T – Βεληνεκές [m]

m – μέτρο

D – Πτώσης [m]

Pa – πασκάλ

R – Ανύψωση [m]

dB – ντεσιμπέλ

S – Διάχυση [m]

Q – Παροχή $\left[\frac{m^3}{s}\right]$

ΔPa – Πτώση Πίεσης [Pa]

L_N – Στάθμη Θορύβου [dB]

V_k – Ταχύτητα Εξόδου $\left[\frac{m}{s}\right]$

V_c – Ταχύτητα στην Έξοδο του Στομίου [m/s]

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	V
ABSTRACT.....	VII
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	IX
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	XI
ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ.....	XX
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	XXII
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	1
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ.....	3
1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ.....	5
2.0 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ - ΣΤΟΜΙΩΝ	7
2.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ - HVAC	7
2.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ.....	9
2.3 ΣΤΟΜΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ.....	10
2.3.1 Εισαγωγικά Στοιχεία και Είδη Στομίων	10
2.3.2 Συνθήκες Ευεξίας και Θερμικής Άνεσης στο χώρο.....	12
2.3.3 Χαρακτηριστικά Μεγέθη Στομίων	13
2.3.4 Θεωρητική Ανάλυση της Δέσμης Αέρα.....	17
3.0 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ [CFD].....	21
3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	21
3.2 ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ CFD.....	22

3.3	ΛΟΓΟΙ ΧΡΗΣΗΣ CFD	25
3.4	ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΑΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΣΕ CFD.....	25
3.5	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ CFD.....	26
3.5.1	Διαμόρφωση του Φυσικού Προβλήματος.....	27
3.5.2	Υπολογιστικό Πλέγμα και Ποιότητα αυτού.	28
3.5.3	Καθορισμός Συνοριακών και Αρχικών Συνθηκών	31
3.5.4	Επίλυση των Διαφορικών Εξισώσεων	31
3.5.5	Πιστοποίηση – Επαλήθευση των αποτελεσμάτων	34
3.6	ANSYS FLUENT	35
4.0	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ	37
4.1	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΤΟΜΙΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ	37
4.1.1	Παρουσίαση STS 1R20.....	40
4.1.2	STS 2R με τους ρυθμιστικού σύρτες στη μεσαία θέση.....	42
4.2	ΧΩΡΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	43
4.3	ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ.....	45
4.3.1	Προσδιορισμός Φυσικού Προβλήματος.....	45
4.3.2	Δημιουργία Πλέγματος.....	46
4.3.3	Αρχικές και Συνοριακές Συνθήκες.....	53
4.3.4	Λύτης – Επιλογή Αλγορίθμου Λύσης και Παραμέτρων.....	55
5.0	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	57
5.1	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ STS 1R20 ΜΕ ΣΥΡΤΗ ΣΤΗ ΜΕΣΑΙΑ ΘΕΣΗ	57
5.2	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ STS 1R20 ΜΕ ΣΥΡΤΗ ΣΤΗ ΚΑΤΩ ΘΕΣΗ.....	70
5.3	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ STS 1R20 ΜΕ ΣΥΡΤΗ ΣΤΗΝ ΠΑΝΩ ΘΕΣΗ	79

5.4	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ STS2R20 ΜΕ ΣΥΡΤΗ ΣΤΗ ΜΕΣΑΙΑ ΘΕΣΗ	81
5.5	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ.....	89
6.0	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	96
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	98

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών, υπό την εποπτεία του κ. Δ.-Ε. Μάργαρη, Ομότιμου Καθηγητή του τμήματος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κ. Διονύσιο Μάργαρη καθώς και τον πρώην φοιτητή του τμήματος κ. Αθανάσιο Αναγνωστόπουλο που συνέδραμαν στην υλοποίηση της παρούσας μελέτης και διπλωματικής εργασίας.

Τέλος να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την στήριξη της -τόσο οικονομική όσο και ψυχολογική- κατά τη διάρκεια της πενταετούς φοίτησης μου στη σχολή Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ

Η ιδέα του κλιματισμού δεν είναι σύγχρονη. Η ανάγκη για ψύξη ξεκίνησε από την απλή ανακάλυψη των οφελών του πάγου και του νερού και έφτασε στην ανάπτυξη σύνθετων μηχανικών συστημάτων.. Ο κλιματισμός έχει βασικό ρόλο στη διαμόρφωση ενός περιβάλλοντος άνεσης, λόγου αυτού δημιουργήθηκε και ο όρος «Θερμική Άνεση».

Ο όρος «Θερμική Άνεση» εκφράζει μια κατάσταση κατά την οποία ο εργαζόμενος (ή μη) αισθάνεται ικανοποιημένος από τις θερμικές συνθήκες του εργασιακού του περιβάλλοντος (θερμοκρασία του αέρα, σχετική υγρασία, ακτινοβολούμενη θερμότητα) σε συνάρτηση με το είδος της εργασίας που ασκεί και τον ρυθισμό του.»

Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας [4]



Σχήμα 1.1. Σκίτσογραφία μιας κατάστασης μη Θερμικής Άνεσης (Εικόνα δημιουργημένη από ChatGPT)

Οι ρίζες της εξέλιξης επεκτείνονται βαθιά στην ιστορία, από την αρχαία Ρώμη και την Κίνα μέχρι την μεσαιωνική Περσία, όπου εφευρέσεις και αρχιτεκτονικές καινοτομίες επιτρέπονταν τη ρύθμιση της θερμοκρασίας και της υγρασίας εσωτερικών χώρων.

Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι χρησιμοποιούσαν πανιά βουτηγμένα στο νερό για να ψύξουν τους χώρους τους. Αρχαίοι εύποροι Ρωμαίοι χρησιμοποιούσαν υδραγωγεία για να μεταφέρουν νερό

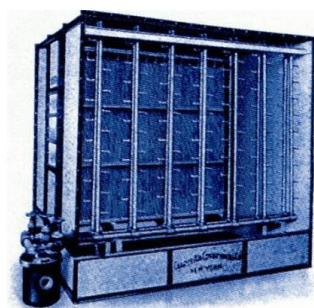
που δρόσιζε τους τοίχους των πολυτελών οικιών τους, ενώ στην αρχαία Κίνα, περίπου το 2ο αιώνα, ο Ding Huan κατασκεύασε έναν μεγάλο χειροκίνητο ανεμιστήρα που βελτίωνε την άνεση στους εσωτερικούς χώρους.

Οι πρώτες ένδειξης της σύγχρονης περιόδου είναι οι απόπειρες για κλιματισμό κτιρίων με την κοινή έννοια του όρου, δηλαδή την ψύξη του αέρα και παρατηρούνται στις ΗΠΑ μεταξύ του 1880 και του 1920.

Τα πρώτα συστήματα χρησιμοποιούσαν μεγάλες δεξαμενές γεμάτες με νερό και πάγο και ένα σύστημα αεραγωγών με ανεμιστήρα και έκχυση παγωμένου νερού στον αέρα. Τα συστήματα αυτά απαιτούσαν καθημερινή ή ακόμη και πιο συχνή μεταφορά πάγου και φυσικά δεν είχαν κανένα έλεγχο ισχύος. Οι πρώτες εφαρμογές ήταν σε εκκλησίες και θέατρα.

Η πρώτη συσκευή για “επεξεργασία του αέρα” κατασκευάστηκε από τον Carrier το 1902 και είχε ως στόχο να αφαιρεί υγρασία από το χώρο ενός τυπογραφείου. Αυτό το πραγματοποιούσε μέσω της διοχέτευσης αέρα από σωλήνες που ψέκαζαν ψυχρό νερό.

Στη συνέχεια από το 1911 αρχίζει η εγκατάσταση κεντρικών κλιματιστικών μονάδων για έλεγχο του περιβάλλοντος σε διάφορες βιομηχανικές μονάδες. Η εξέλιξη αυτή συνεχίζεται μέχρι σήμερα με επικεντρώσεις στην ενεργειακή αποδοτικότητα και την βελτίωση της ποιότητας του αέρα, καθώς οι κλιματιστικές τεχνολογίες προσαρμόζονται σε έναν κόσμο που αλλάζει.



Σχήμα 1.2. Η Μηχανή Carrier.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο ερευνητικού έργου του Εργαστηρίου Ρευστομηχανικής, υπό την εποπτεία του κ. Δ.-Ε. Μάργαρη, Ομότιμου Καθηγητή. Στο έργο αυτό μελετήθηκαν τα τεχνικά χαρακτηριστικά στομίων κλιματισμού διαφορετικών διαμορφώσεων, διαστάσεων και εφαρμογών από ερευνητική ομάδα φοιτητών, που εργάστηκαν υπό την επίβλεψη του κ. Μάργαρη. Ως εκ τούτου, το εισαγωγικό μέρος των εργασιών παρουσιάζει πολλά κοινά σημεία, χωρίς όμως να παραβιάζονται κατά τη συγγραφή οι αρχές της ακαδημαϊκής δεοντολογίας.

2.0 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ - ΣΤΟΜΙΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν συνοπτικά τα συστήματα θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού (HVAC) και εν συνέχεια θα γίνει εμβάθυνση στα στόμια του κλιματισμού προκειμένου να υπάρχει επαρκής θεωρητική γνώση πριν την υπολογιστική μελέτη. Θα ξεκινήσουμε περιγράφοντας τα είδη των στομιών/γρίλιών κλιματισμού και θα συνεχίσουμε παρουσιάζοντας τα χαρακτηριστικά τους μεγέθη. Τέλος θα γίνει μια σύντομη θεωρητική ανάλυση της δέσμης αέρα.

2.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ - HVAC

Τα συστήματα θέρμανση ψύξης και κλιματισμού (HVAC) αποτελούν συσκευές που λειτουργούν με στόχο τον έλεγχο της θερμοκρασίας, της υγρασίας και την ποιότητας του αέρα σε ένα χώρο. Ο έλεγχος της ποιότητας γίνεται μέσω ανανέωσης και καθαρισμού του αέρα από φίλτρα. Ο τρόπος λειτουργίας των συστημάτων αυτών είναι μέσω του ψυκτικού κύκλου.

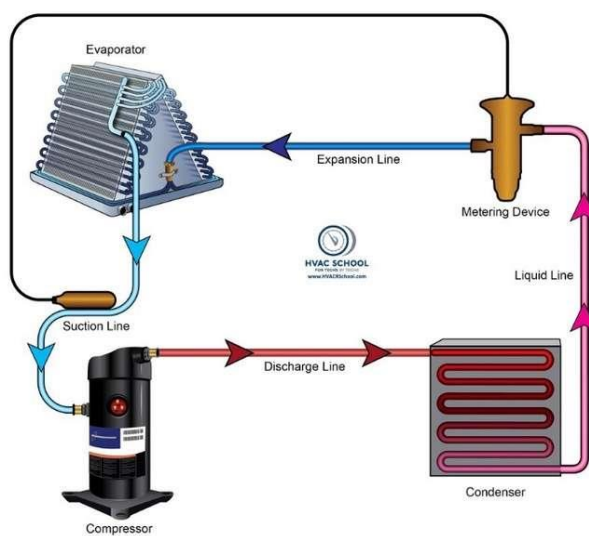
Οι βασικότερες μονάδες που αποτελούν ένα σύστημα HVAC είναι :

Συμπιεστής : Απορροφά το ψυκτικό σε χαμηλή πίεση και το συμπιέζει αυξάνοντάς την πίεση και την θερμοκρασία του.

Συμπυκνωτής : Το ψυκτικό υψηλής πίεσης αποβάλλει θερμότητα προς το περιβάλλον και υγροποιείται.

Εξατμιστής : Το ψυκτικό υγρό εξατμίζεται απορροφώντας θερμότητα από τον εσωτερικό αέρα, ψύχοντάς τον.

Έπειτα το ψυκτικό υγρό επιστρέφει στον συμπιεστή και ο κύκλος επαναλαμβάνεται. Να σημειωθεί ότι στη θέρμανση η λειτουργία είναι αντίστροφη ενώ στη χρήση του συστήματος μόνο για αερισμό είναι ανενεργά.



Σχήμα 2.1 Ψυκτικό κύκλος συστήματος HVAC.

Στη συνέχεια για να μεταφερθεί και να διανεμηθεί ο αέρας συνήθως χρησιμοποιούνται :

Αεραγωγοί : Οι αεραγωγοί είναι υπεύθυνοι για τη μεταφορά του αέρα (ψυχρού ή κρύου) έως την είσοδο των χώρων ψύξης-θέρμανσης.

Στόμια/Γρίλλες εκροής : Τα στόμια συνδέονται με τους αεραγωγούς και είναι υπεύθυνα για να διαχέουν τον αέρα στο χώρο. Στόχος τους είναι η βέλτιστη κατανομή του αέρα στο χώρο για την ύπαρξη θερμικής άνεσης και βελτιστοποίηση της κατανάλωσης.



Σχήμα 2.2. Αεραγωγός και Στόμιο εκροής ενός συστήματος HVAC.

2.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

Ένα κατάλληλα σχεδιασμένο σύστημα κλιματισμού αποσκοπεί στη δημιουργία συνθηκών ευεξίας, ελέγχοντας τη παροχή και απαγωγή του αέρα στον κλιματιζόμενο χώρο. Σύμφωνα με τους Etheridge and Sandberg [4], ο έλεγχος της διανομής του αέρα στο χώρο επιτυγχάνεται με μία από τις τρεις βασικές αρχές αερισμού που παρουσιάζονται κάτωθι.

Ροή Μονής Κατεύθυνσης : Η εισαγωγή του αέρα στον εσωτερικό χώρο γίνεται είτε μέσω ολόκληρης της επιφάνειας της οροφής, είτε μέσω κάποιου πλαϊνού τοίχου. Με αυτό τον τρόπο

δημιουργείται μια ροή μονής κατεύθυνσης (είσοδο προς έξοδο). Χρησιμοποιείται συνήθως σε εργαστήρια και σε περιβάλλοντα όπου απαιτούνται ελεγχόμενες συνθήκες περιβάλλοντος.

Μικτή Ροή : Ο αέρας εισέρχεται στον εσωτερικό χώρο μέσω ενός στομίου . Ο αέρας υπό της μορφής μιας δέσμης αναμιγνύεται με τον υπάρχοντα αέρα του δωματίου. Με το τρόπο αυτό μειώνεται η διαφορά της ταχύτητας και της θερμοκρασίας μεταξύ του παρεχόμενου και του εσωτερικού αέρα. Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη και χρησιμοποιείται σε χώρους όπως γραφεία και εμπορικά κτίρια.

Μέθοδος Εκτοπισμού Αέρα : Μέσω ενός υγραντήρα χαμηλής ταχύτητας, ο αέρας εισέρχεται στον χώρο από χαμηλό σημείο του δωματίου, έχοντας χαμηλή θερμοκρασία. Ο αέρας λόγω της άνωσης, ρέει από τα χαμηλότερα σημεία του δωματίου προς τα υψηλότερα.

2.3 ΣΤΟΜΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ

2.3.1 Εισαγωγικά Στοιχεία και Είδη Στομίων

Τα στόμια αέρα αποτελούν ένα από τα πιο κρίσιμα εξαρτήματα των συστημάτων κλιματισμού και αερισμού, έχοντας καθοριστικό ρόλο στη διανομή και την απομάκρυνση του αέρα στους κλιματιζόμενους χώρους. Βάση της λειτουργίας τους κατατάσσονται κυρίως σε στόμια προσαγωγής, που διανέμουν τον κλιματισμένο αέρα, και στόμια επιστροφής, που απομακρύνουν τον αέρα από τους χώρους.

Η σωστή επιλογή και εγκατάσταση των στομίων αέρα είναι σημαντική για την αποφυγή ρευμάτων αέρα και την εξασφάλιση θερμικής άνεσης. Αυτό επιτυγχάνεται με την ομοιόμορφη

διανομή του αέρα, αποφεύγοντας τις μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και τις περιοχές στάσιμου αέρα.

Τα στόμια διανομής αέρα κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο διάχυσης του αέρα, τα φυσικά τους χαρακτηριστικά και τη θέση τοποθέτησης τους. Συγκεκριμένα, υπάρχουν στόμια ανάμιξης, στόμια εκτοπισμού και στόμια τοπικού κλιματισμού, που επιλέγονται βάσει των απαιτήσεων του χώρου και των λειτουργικών και αισθητικών αναγκών.

Στην εργασία αυτή θα ασχοληθούμε με τα **στόμια ανάμιξης**. Τα στόμια αυτά διασπώνται σε ακόμα περισσότερες υποκατηγορίες, ορισμένες εκ των οποίων είναι :

Επίτοιχα Στόμια (Wall Outlets) : Τα στόμια αυτού του τύπου εγκαθίστανται στους τοίχους και συνήθως είναι ορθογώνια με μια σειρά πτερυγίων.

Στόμια Οροφής (Ceiling Diffuser Outlets) : Τοποθετούνται στην οροφή των χώρων και είναι συνήθως κυκλικής, ορθογωνικής ή τετραγωνικής διατομής. Είναι κατάλληλα για εκτεταμένους χώρους, μεγάλων διαστάσεων, στους οποίους η τοποθέτηση στομίων τοίχου είναι πιθανόν να μην εξασφαλίζει την ομοιόμορφη διάχυση του αέρα.

Ακροφύσια Μεγάλης Εμβέλειας (Long Range Nozzles) : Χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που ο αέρας προσαγωγής πρέπει να διανύσει μεγάλες αποστάσεις μέχρι να φθάσει στη ζώνη παραμονής του κλιματιζόμενου χώρου.

Γραμμικά Στόμια (Linear Slots Diffusers) : Ένα στόμιο χαρακτηρίζεται ως γραμμικό, όταν η σχέση ανάμεσα στο μήκος και το πλάτος του είναι μεγαλύτερη από 10 προς 1.

Στόμια με Ρυθμιστικά Πτερύγια ή Σύρτη : Τα στόμια αυτά περιλαμβάνουν κινούμενα μέρη – κινούμενα πτερύγια ή σύρτη- τη ρύθμιση της διεύθυνσης της δέσμης αέρα.



Σχήμα 2.3. Είδη στομίων

2.3.2 Συνθήκες Ευεξίας και Θερμικής Άνεσης στο χώρο

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.

Στη **ζώνη κατοίκησης** είναι απαραίτητο να υπάρχει μια ελαφρά κίνηση του αέρα. Γενικά η επιτρεπτή ταχύτητα του αέρα για θερμοκρασίες 20 – 25 [°C] είναι περίπου 0.15 έως 0.25 [m/s].

Υπερβολικά χαμηλές ταχύτητες του αέρα, μικρότερες των 0.08 [m/s], προκαλούν την αίσθηση στάσιμου αέρα που είναι το ίδιο ενοχλητική και γι αυτό πρέπει να αποφεύγονται. Στην πραγματικότητα η ιδανική ταχύτητα του αέρα για θερμική άνεση είναι περίπου [0.13] m/s, αλλά στην πλειοψηφία των περιπτώσεων είναι δύσκολο να επιτευχθεί.

2.3.3 Χαρακτηριστικά Μεγέθη Στομίων

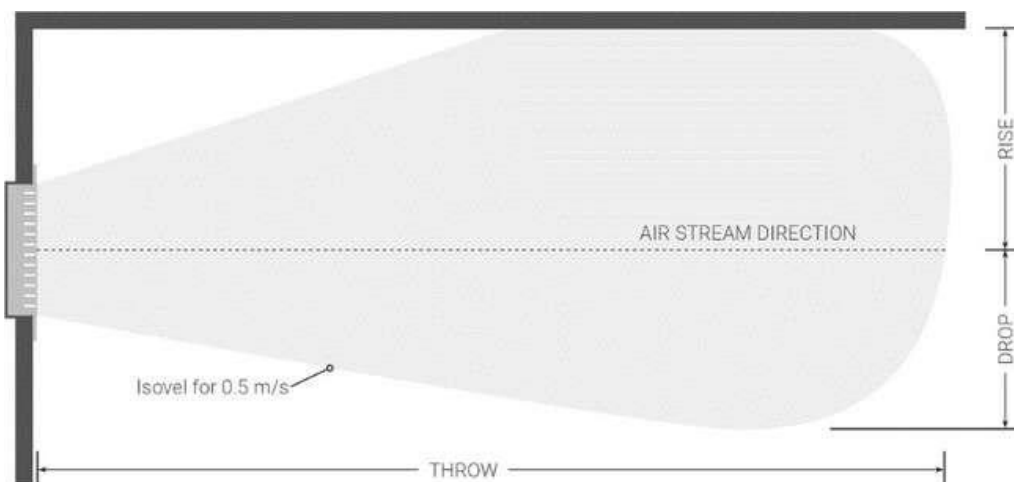
Η επιλογή του κατάλληλου στομίου έχει ιδιαίτερη σημασία, καθώς από αυτή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό η επίτευξη των συνθηκών ευεξίας. Για την επιλογή του ιδανικού στομίου λαμβάνονται υπόψιν οι κάτωθι παράγοντες που αποτελούν και τα χαρακτηριστικά των στομίων.

Παροχή Αέρα [Q] : Η μονάδα όγκου αέρα που θέλουμε να διέρχεται ανά χρονική στιγμή στο χώρο είναι ένα από τα κριτήρια επιλογής μεγέθους στομίου.

Βεληνεκές [T]: Βεληνεκές ορίζεται η οριζόντια απόσταση της γρίλιας από ένα σημείο του αέρα, όπου η μέγιστη ταχύτητα δεν υπερβαίνει μια καθορισμένη τελική ταχύτητα.

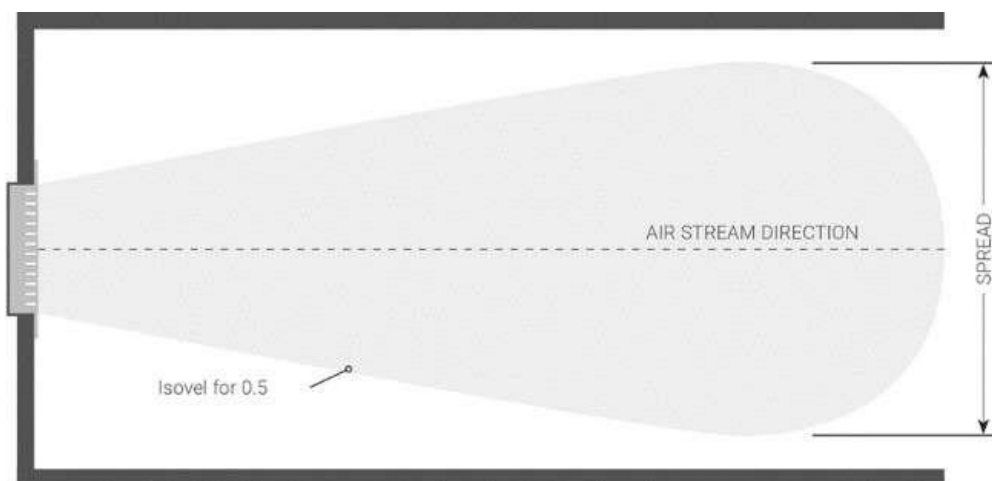
Ανύψωση [R]: Ορίζεται η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ της κεντρικής ροϊκής γραμμής της γρίλιας και του ανώτατου σημείου της ροής όπου η μέγιστη ταχύτητα δεν υπερβαίνει μια καθορισμένη τελική ταχύτητα.

Πτώση [D]: Ορίζεται η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ της κεντρικής ροϊκής γραμμής της γρίλιας και του κατώτατου σημείου της ροής όπου το ρεύμα δεν υπερβαίνει μια προκαθορισμένη τελική ταχύτητα. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως όταν ο αέρας που βγαίνει από το στόμιο είναι ψυχρότερος από τον αέρα του χώρου έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από αυτόν και συνεπώς είναι βαρύτερος και τείνει να κατέβει, δημιουργώντας το φαινόμενο της πτώσης. Το φαινόμενο της πτώσης είναι σημαντικός παράγοντας στη ζώνη κατοίκησης.



Σχήμα 2.4. Απεικόνιση χαρακτηριστικών ανύψωσης και πτώσης.

Διάχυση [S]: Διάχυση ορίζεται η μέγιστη απόσταση μεταξύ των δύο άκρων τη δέσμης αέρα.



Σχήμα 2.5. Απεικόνιση χαρακτηριστικού διάχυσης.

Πτώση Πίεσης [ΔP_a]: Πτώση πίεσης ορίζεται η μεταβολή της ολικής πίεσης της ροής λόγω του στομίου. Αποτελεί το διαφορικό μεταξύ των πιέσεων εξόδου και εισόδου.

Ταχύτητα Εξόδου [Vk] : Ταχύτητα εξόδου (Vk) ονομάζεται η ταχύτητα του αέρα που διέρχεται από το στόμιο, μετρούμενη σε απόσταση 25 [mm] από το στόμιο.

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας με συνιστάμενες ταχύτητες εξόδου σε διάφορες εφαρμογές.

Πίνακας 1. Συνιστώμενες ταχύτητες εξόδου σε κάθε εφαρμογή.

Ταχύτητα εξόδου V_k [m/s]	Εφαρμογές
1.5 – 2.5	Βιβλιοθήκες
2.5 – 3.8	Γραφεία, σπίτια
4	Χώροι εστίασης
5	Χώροι συνάθροισης
7	Εργοστάσια, πολυκαταστήματα

Στα πλαίσια της εργασίας αυτή θα θεωρήσουμε ως μέγιστη επιτρεπτή ταχύτητα εξόδου V_k τα 10 [m/s].

Ταχύτητα Δωματίου : Ταχύτητα δωματίου ορίζεται η ταχύτητα του αέρα μέσα στον χώρο/δωμάτιο. Η ταχύτητα αυτή είναι σημαντικός παράγοντας της Θερμικής Άνεσης, μικρές ταχύτητες κάνουν το περιβάλλον πνιγηρό ενώ αρκετά υψηλές είναι ενοχλητικές για τους ανθρώπους.

Πίνακας 2. Αντίδραση ατόμων σε συνάρτηση με την ταχύτητα του αέρα στο δωμάτιο.

Ταχύτητα αέρα δωματίου [m/s]	Αντίδραση ατόμων	Εφαρμογή
0 – 0.08	Πνιγηρό περιβάλλον	Καμία
0.13	Βέλτιστη ταχύτητα	Παντού
0.25	Μέγιστη ανεκτή ταχύτητα για άτομα που κάθονται στο χώρο	Παντού
0.33	Δυσμενείς	Αρκετές
0.38	Μέγιστο όριο για άτομα που κινούνται στο χώρο	Εμπορικά καταστήματα

0.38 – 1.52	Υψηλές ταχύτητες αέρα	Βιομηχανικές εφαρμογές
-------------	-----------------------	------------------------

Στάθμη Θορύβου [L_N]: Καθώς ο αέρας διέρχεται από το στόμιο δημιουργεί θόρυβο, ο οποίος για να μην είναι ενοχλητικό πρέπει να μη ξεπερνάει κάποια προκαθορισμένα όρια που διακρίνονται στον κάτωθι πίνακα.

Πίνακας 3. Συνιστώμεθα ανώτατα μεγέθη -ένταση- θορύβου σε συγκεκριμένες εφαρμογές.

Θόρυβος [dB]	Εφαρμογές
25	Στούντιο ηχογράφησης
30	Βιβλιοθήκες, αίθουσες διαλέξεων
35	Γραφεία, σπίτια, χώροι εστίασης, κινηματογράφος
40	Χώροι αναμονής, καταστήματα, εργαστήρια
50	Σούπερ μάρκετ
60	Ελαφρές βιομηχανίες

Στην μελέτη μας ο θόρυβος θα υπολογισθεί μέσω της εμπειρικής σχέσης [6] που περιγράφεται από την Εξ (1).

$$L_N = 10 + 50 \log(V_c) + 10 \log(A_c) \quad (2.1)$$

, όπου:

$$L_N = \text{Θόρυβος [dB]}$$

$$V_c = \text{Ταχύτητα του αέρα που διαπερνάει το στόμιο [m/s], στην ανάλυση μας ίση με τη } V_k.$$

$$A_c = \text{Επιφάνεια εξόδου στομίου [m}^2\text{]}$$

Για διευκόλυνση θα χρησιμοποιηθεί ως ταχύτητα η ταχύτητα εξόδου των στομιών V_c καθώς οι τιμές είναι κοντά.

2.3.4 Θεωρητική Ανάλυση της Δέσμης Αέρα

Για την ανάλυση της δέσμης αέρα καθοριστική θεωρείται η έρευνα του Malmstorm (1992), όπου μελετήθηκε η επίδραση της διαμέτρου του ακροφυσίου και της ταχύτητας του παρεχόμενου αέρα στην μέγιστη μέση ταχύτητα με την οποία αποσυντίθεται η δέσμη αέρα, καθώς επέδειξε ότι η σταθερά αποσύνθεσης (K) είναι συνάρτηση της ταχύτητας της δέσμης στην έξοδο του στομίου (U_0) και όχι του αριθμού Reynolds.

Θεωρείται λοιπόν γνωστό ότι οι δέσμες αέρα διαχωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με το κριτήριο μελέτης που επιλέγεται κάθε φορά.

Έτσι, ανάλογα με την ύπαρξη ή όχι εμποδίων χωρίζεται σε

- ελεύθερη δέσμη, εάν τα τοιχώματα ή το στόμιο δεν επηρεάζουν την ροή του αέρα
- περιορισμένη δέσμη, εάν η δέσμη επηρεάζεται από αντίστροφες ροές

ενώ, εάν η θερμοκρασία είναι το κριτήριο μελέτης χωρίζεται σε

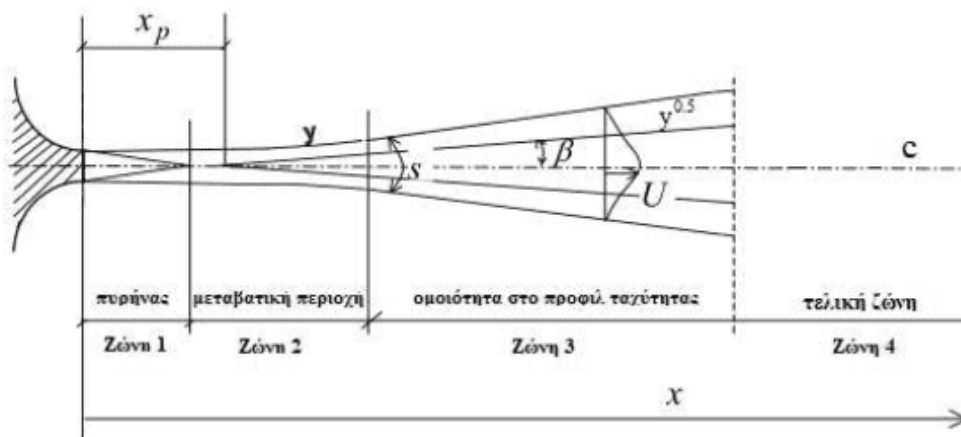
- ισόθερμη δέσμη (isothermal jet): όταν δεν υπάρχει θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του παρεχόμενου και του εσωτερικού αέρα
- μη ισόθερμη δέσμη (non-isothermal jet) : όταν υφίσταται θερμοκρασιακή διαφορά.

Επιπλέον, σύμφωνα με την θεωρία δέσμης αέρα (air jet theory) ο υπό μελέτη χώρος διαχωρίζεται σε δύο ζώνες:

- τη ζώνη δέσμης (jet region), η οποία επηρεάζεται άμεσα από τη δέσμη αέρα και
- την κατειλημμένη ζώνη, η οποία καταλαμβάνεται κατά κύριο λόγο από τα άτομα που χρησιμοποιούν τον χώρο

Τέλος, ανάλογα με τον ρυθμό αποσύνθεσης της ταχύτητας της κεντρικής γραμμής, η ανάπτυξη της δέσμης χωρίζεται σε τέσσερις ζώνες:

- ζώνη 1: πυρήνας, όπου η ταχύτητα της κεντρικής γραμμής ισούται με την ταχύτητα εξόδου της δέσμης από το στόμιο
- ζώνη 2: μεταβατική ζώνη, στην οποία η ταχύτητα της κεντρικής γραμμής αρχίζει να μειώνεται, αναλογικά με το $x^{-0.5}$, όπου ως μεταβλητή x ορίζεται η οριζόντια απόσταση από το στόμιο
- ζώνη 3: όπου το προφίλ της ταχύτητας είναι ίδιο σε ίση απόσταση από την κεντρική γραμμή και η ταχύτητα μειώνεται αναλογικά με το x^{-1}
- ζώνη 4: η τελευταία ζώνη, όπου η ταχύτητα της δέσμης αέρα μειώνεται ακαριαία, χωρίς όμως να είναι πλήρως κατανοητός ο μηχανισμός με τον οποίο αυτό συμβαίνει

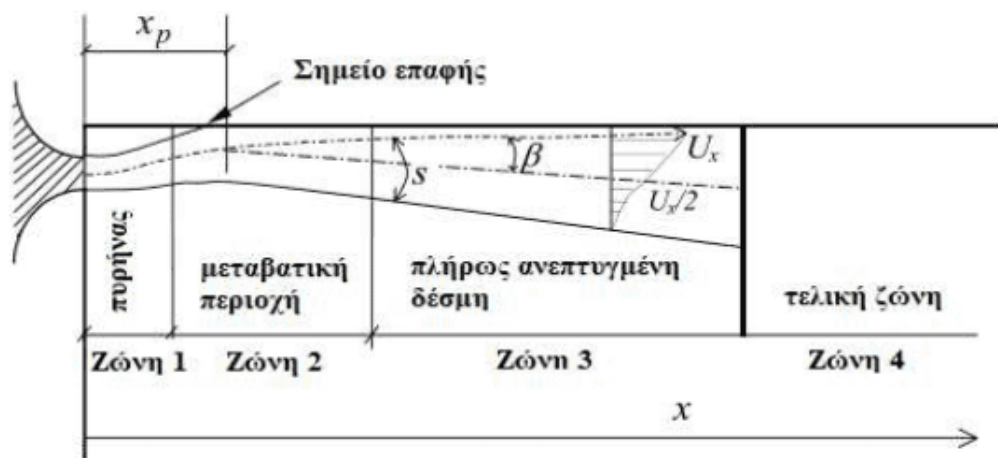


Σχήμα 2.6. Δέσμη αέρα τύπου jet-stream.

Ωστόσο, τα τοιχώματα του χώρου, στον οποίο εγχέεται η δέσμη αέρα, είναι πιθανό να επιδράσουν στη διάχυσή της, εάν βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από το στόμιο. Σε αυτή την περίπτωση δημιουργείται ένα ιδιαίτερο είδος δέσμης (wall jet), το οποίο βασίζεται στο φαινόμενο

Coanda (τάση ενός υγρού να παραμένει προσκολλημένο σε μια καμπύλη επιφάνεια) και παρουσιάζεται στην εικόνα παρακάτω.

Ο Farquharson (1952) είναι ο πρώτος ερευνητής που μελέτησε συστήματα HVAC, στα οποία η δέσμη αέρα επηρεάζεται έντονα από τα τοιχώματα. Σε αυτή την περίπτωση, ένα στρώμα τύρβης παρασύρει μόρια αέρα και από τις δυο πλευρές της δέσμης, δημιουργώντας χαμηλότερη πίεση στην άνω πλευρά, η οποία με την σειρά της οδηγεί σε εκτροπή της δέσμης από την φυσική της πορεία. Η διαφορά των δύο δεσμών έγκειται στο ότι η μέγιστη ταχύτητα παρατηρείται πλέον κοντά στην επιφάνεια.



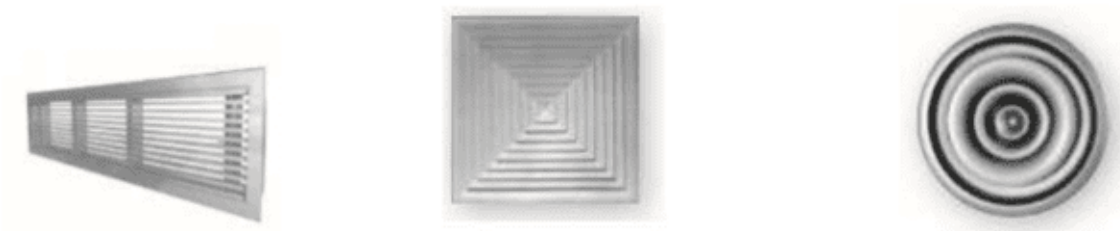
Σχήμα 2.7. Δέσμη αέρα τύπου wall jet stream.

Τέλος, μια δέσμη μπορεί να χαρακτηριστεί και από το είδος του στομίου μέσω του οποίου εισέρχεται στον κλιματιζόμενο χώρο.

Έτσι προκύπτουν οι εξής κατηγορίες :

- **Γραμμικές δέσμες αέρα (linear jets):** σχηματίζονται όταν το στόμιο έχει σχισμές ή ορθογώνια ανοίγματα, με λόγο πλάτους προς ύψος μεγαλύτερο της μονάδας. Θα μπορούσε κανείς να θεωρήσει ότι αυτή η ροή είναι σχεδόν δισδιάστατη.

- **Συμπυγμένες δέσμες αέρα (compact jets):** σχηματίζονται όταν το στόμιο προσαγωγής αποτελείται από κυλινδρικά, ορθογώνια ή τετράγωνα ανοίγματα με αναλογία πλάτους προς ύψος μικρότερη ή ίση της μονάδας. Σε αυτή την περίπτωση η μέγιστη ταχύτητα εμφανίζεται στον κεντρικό άξονα.
- **Ακτινικές δέσμες αέρα (radial jets):** σχηματίζονται συνήθως από στόμια που τοποθετούνται στην οροφή. Ο αέρας διαχέεται κυκλικά, συνήθως στην οριζόντια διεύθυνση ή ακόμη και σε όλες τις διευθύνσεις.



Διάγραμμα 2.1. Παραδείγματα στομίων για γραμμικές, συμπυγμένες και ακτινικές δέσμες αέρα.

3.0 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ [CFD]

3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η Υπολογιστική Ρευστομηχανική (Computational Fluid Dynamics - CFD) είναι ένα διεπιστημονικό πεδίο που συνδυάζει τη μηχανική ρευστών και την υπολογιστική επιστήμη για την ανάλυση και προσομοίωση της συμπεριφοράς των ρευστών. Το CFD χρησιμοποιεί αριθμητικές μεθόδους και αλγορίθμους για την επίλυση και ανάλυση προβλημάτων που αφορούν τη ροή των ρευστών.

Η ιστορία της υπολογιστικής ρευστομηχανικής ξεκινά από τον 18ο και 19ο αιώνα, όταν διατυπώθηκαν οι θεμελιώδεις εξισώσεις της ρευστομηχανικής. Οι εξισώσεις Navier-Stokes, που περιγράφουν την κίνηση των ρευστών, διατυπώθηκαν από τους Claude-Louis Navier το 1822 και George Gabriel Stokes το 1845. Παρά την ανακάλυψη αυτών των εξισώσεων, η επίλυσή τους παρέμενε εξαιρετικά δύσκολη χωρίς τη βοήθεια υπολογιστικών εργαλείων.

Στη δεκαετία του 1940 και του 1950, με την ανάπτυξη των πρώτων ηλεκτρονικών υπολογιστών, κατέστη δυνατή η αριθμητική επίλυση διαφορικών εξισώσεων. Οι πρώτες προσπάθειες εστιάστηκαν σε γραμμικές εξισώσεις και σε απλοποιημένα μοντέλα ροής. Κατά τη δεκαετία του 1960, η ανάπτυξη της μεθόδου των πεπερασμένων διαφορών (Finite Difference Method - FDM) και της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Method - FEM) αποτέλεσε σημαντική πρόοδο. Οι πρωτοπόροι, όπως ο John von Neumann και ο Richard Courant, συνέβαλαν σημαντικά στην ανάπτυξη αυτών των μεθόδων.

Η δεκαετία του 1970 είδε την εισαγωγή της μεθόδου των πεπερασμένων όγκων (Finite Volume Method - FVM), που προσέφερε μεγαλύτερη ευελιξία στην επίλυση των εξισώσεων Navier-Stokes. Το λογισμικό CFD άρχισε να γίνεται πιο διαδεδομένο, και η υπολογιστική ισχύς αυξήθηκε σημαντικά στις επόμενες δεκαετίες, επιτρέποντας την προσομοίωση πιο περίπλοκων και μεγάλης κλίμακας συστημάτων.

3.2 ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ CFD

Τι είναι όμως αυτό που λύνει ο υπολογιστής; Σε αυτό το στάδιο θα παρουσιαστούν οι βασικές αρχές και μαθηματικές (διαφορικές) εξισώσεις που περιγράφουν τη ροή των ρευστών. Οι εξισώσεις αυτές περιλαμβάνουν:

- **Εξίσωση Συνέχειας - Διατήρηση της μάζας**

Η γενική μορφή της εξίσωσης συνέχειας για τη διατήρηση της μάζας σε μια τρισδιάστατη ροή ρευστού είναι η εξής:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0 \quad (4.1)$$

, όπου :

ρ : η πυκνότητα του ρευστού [kg/m^3]

t : ο χρόνος [s]

$\mathbf{u}$: το διανυσματικό πεδίο ταχύτητας του ρευστού [m/s]

∇ : ο τελεστής της απόκλισης (ανάδελτα)

Στην περίπτωση που το ρευστό είναι ασυμπίεστο, δηλαδή η πυκνότητα είναι σταθερή, η Εξ. (4.1) απλοποιείται σημαντικά σε

$$\nabla u = 0 \quad (4.2)$$

- **Εξισώσεις Navier-Stokes - Διατήρηση της ορμής.**

Οι εξισώσεις Navier-Stokes αποτελούν το κορμό της ρευστομηχανικής ανάλυσης και περιγράφουν πώς η ταχύτητα ενός ρευστού αλλάζει με τον χρόνο και τον χώρο υπό την επίδραση διαφόρων δυνάμεων. Η γενική διανυσματική μορφή τους για ένα ασυμπίεστο ρευστό μπορείς να διακριθεί στην Εξ. (K).

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 u + f \quad (4.3)$$

, όπου :

ρ : η πυκνότητα του ρευστού [kg/m³]

t : ο χρόνος [s]

u : το διανυσματικό πεδίο ταχύτητας του ρευστού [m/s]

p : η πίεση [Pa]

μ : δυναμικό ιξώδες του ρευστού.

f : εξωτερική δύναμη ανά μονάδα όγκου (π.χ. βαρυτική δύναμη).

∇ : ο τελεστής απόκλισης.

∇^2 : ο τελεστής Λαπλάς (λαπλασιανός).

Στην αριστερή πλευρά της εξίσωσης, ο πρώτος όρος ($\frac{\partial t}{\partial u}$) αναπαριστά τη χρονική μεταβολή της ταχύτητας. Ο δεύτερος όρος ($\mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u}$) αναπαριστά τις μη γραμμικές αδρανειακές δυνάμεις που σχετίζονται με την κίνηση του ρευστού.

Στη δεξιά πλευρά της εξίσωσης ο όρος ($-\nabla p$) αντιπροσωπεύει τη δύναμη πίεσης που ασκείται στο ρευστό, ο όρος ($\mu \nabla^2 \mathbf{u}$) περιγράφει τις ιξώδεις δυνάμεις που αντιστέκονται στην κίνηση του ρευστού και τέλος ο όρος (f) περιλαμβάνει τις εξωτερικές δυνάμεις που μπορεί να δρουν στο ρευστό, όπως η βαρύτητα.

- **Εξισώσεις Ενέργειας - Διατήρηση της ενέργειας.**

Οι εξισώσεις ενέργειας είναι ένα σημαντικό στοιχείο της υπολογιστικής ρευστομηχανικής (CFD) και εκφράζουν τη διατήρηση της ενέργειας σε ένα ρευστό σύστημα.

$$\rho \left(\frac{\partial t}{\partial e} + \mathbf{u} \cdot \nabla e \right) = -\nabla \cdot \mathbf{q} + \Phi + Q \quad (4.4)$$

, όπου :

ρ : η πυκνότητα του ρευστού [kg/m^3]

t : ο χρόνος [s]

$\mathbf{u}$: το διανυσματικό πεδίο ταχύτητας του ρευστού [m/s]

e : η ειδική εσωτερική ενέργεια [J/kg]

$\mathbf{q}$: το διανυσματικό πεδίο της θερμικής ροής [W/m^2]

Φ : η συνεισφορά από τη διασπορά ιξώδους (viscous dissipation) [W/m^3]

Q : η πηγή θερμότητας ανά μονάδα όγκου [W/m^3]

3.3 ΛΟΓΟΙ ΧΡΗΣΗΣ CFD

Η χρήση υπολογιστικών πακέτων για την επίλυση προβλημάτων ροών αυξάνεται εκθετικά με την πρόοδο της τεχνολογίας και παίρνει τη θέση των πειραμάτων. Στο υποκεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν ορισμένοι λόγοι της προτίμησης αυτής.

Κόστος και Χρόνος: Η χρήση της CFD μειώνει σημαντικά το κόστος και τον χρόνο που απαιτούνται για την εκτέλεση φυσικών. Οι προσομοιώσεις μπορούν να γίνουν γρηγορότερα και με χαμηλότερο κόστος σε σύγκριση με τα πειράματα σε αεροσήραγγες ή δεξαμενές νερού.

Ευελιξία: Η CFD προσφέρει ευελιξία στη μελέτη διαφόρων σεναρίων και παραμέτρων χωρίς να απαιτούνται φυσικά μοντέλα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση σύνθετων ροών και φαινομένων που είναι δύσκολο να μελετηθούν πειραματικά.

Βελτιστοποίηση: Η CFD επιτρέπει τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού πριν από την κατασκευή πρωτοτύπων, μειώνοντας τον χρόνο και το κόστος ανάπτυξης. Οι μηχανικοί μπορούν να πειραματιστούν με διάφορα σχέδια και να επιλέξουν το βέλτιστο πριν από την παραγωγή.

3.4 ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΑΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΣΕ CFD

Η μετάβαση από τα πειράματα στην υπολογιστική ρευστομηχανική αντιπροσωπεύει μια σημαντική αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο αναλύονται και κατανοούνται τα ρευστά φαινόμενα. Αυτή η αλλαγή προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα αλλά και ορισμένες προκλήσεις.

Η CFD δεν αντικαθιστά πλήρως τα πειράματα αλλά συχνά τα συμπληρώνει. Οι δύο προσεγγίσεις μπορούν να συνεργάζονται με τους εξής τρόπους:

Επαλήθευση και Επικύρωση (Validation and Verification): Τα πειραματικά δεδομένα χρησιμοποιούνται για την επαλήθευση και την επικύρωση των CFD μοντέλων, εξασφαλίζοντας την ακρίβεια των προσομοιώσεων.

Προκαταρκτική Μελέτη: Η CFD μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διερεύνηση και την κατανόηση των φαινομένων πριν από τη διεξαγωγή φυσικών πειραμάτων, μειώνοντας τον αριθμό των απαιτούμενων πειραμάτων.

Βελτιστοποίηση Σχεδιασμού: Η CFD επιτρέπει τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού πριν από την κατασκευή πρωτοτύπων, μειώνοντας τον χρόνο και το κόστος ανάπτυξης.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι παρόλο που η υπολογιστική αποτελεί ένα εξαιρετικό εργαλείο στα έρρα ενός μηχανικού, σε ορισμένες περιπτώσεις είναι αδύνατο να αντικαταστήσει τις πειραματικές μετρήσεις.

3.5 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ CFD

Η μεθοδολογία της υπολογιστικής ρευστομηχανικής (CFD) περιλαμβάνει μια σειρά από βήματα που είναι απαραίτητα για την επίλυση προβλημάτων που αφορούν τη ροή των ρευστών. Αυτά τα βήματα περιλαμβάνουν τη διαμόρφωση του φυσικού προβλήματος, τη δημιουργία του υπολογιστικού πλέγματος, τον καθορισμό των συνοριακών και αρχικών συνθηκών, την επίλυση των διαφορικών εξισώσεων, και την ανάλυση και επαλήθευση των αποτελεσμάτων. Ακολουθεί μια αναλυτική περιγραφή των βασικών βημάτων της μεθοδολογίας CFD.

3.5.1 Διαμόρφωση του Φυσικού Προβλήματος

Το πρώτο βήμα στη μεθοδολογία CFD είναι η κατανόηση και η διαμόρφωση του φυσικού προβλήματος. Αυτό περιλαμβάνει τον καθορισμό των φυσικών φαινομένων που διέπουν το πρόβλημα (πχ. ηλεκτρομαγνητισμός, θερμότητά, ακτινοβολία, τυρβώδη ροή κ.α.), τον ορισμό της γεωμετρίας και των ιδιοτήτων των ρευστών – υλικών που μελετώνται.

3.5.1.1 Τυρβώδη Ροή – Επιλογή Μοντέλου Τύρβης

Μια σημαντική επιλογή σε ένα πρόβλημα ρευστομηχανικής είναι το κατά πόσο η ροή αποκλίνει από την ιδανική στρωτή ροή και δημιουργούνται τύρβες. Η τυρβώδης ροή είναι ένα πολύπλοκο και χαοτικό φαινόμενο στη ρευστομηχανική που διαφέρει από την ιδανική στρωτή ροή. Η στρωτή ροή χαρακτηρίζεται από ομαλές και παράλληλες γραμμές ροής, όπου κάθε στρώμα του ρευστού κινείται χωρίς να αναμειγνύεται με τα γειτονικά του στρώματα. Αντίθετα, στην τυρβώδη ροή, η κίνηση του ρευστού είναι χαοτική και περιλαμβάνει έντονες διακυμάνσεις στην ταχύτητα και στην πίεση, καθώς και την ανάμειξη των στρωμάτων του ρευστού.

Για την ανάλυση και προσομοίωση της τυρβώδους ροής, χρησιμοποιούνται διάφορα μοντέλα τύρβης. Αυτά τα μοντέλα είναι απαραίτητα για την επίλυση των εξισώσεων ρευστομηχανικής, καθώς η ακριβής προσομοίωση της τυρβώδους ροής απαιτεί μεγάλη υπολογιστική δύναμη και είναι συχνά ανέφικτη στην πράξη.

Κάποια από τα μοντέλα αυτά είναι :

Μοντέλο k-ε (k-epsilon): Αυτό το μοντέλο χρησιμοποιείται ευρέως λόγω της σχετικά απλής του μορφής και της ικανότητάς του να δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε απλές γεωμετρίες. Στηρίζεται στην επίλυση δύο εξισώσεων μεταφοράς: μία για την κινητική ενέργεια τύρβης (k) και μία για τον ρυθμό διασποράς της τύρβης (ε).

Μοντέλο k-ω (k-omega): Αυτό το μοντέλο είναι παρόμοιο με το μοντέλο k-ε, αλλά χρησιμοποιεί διαφορετικές μεταβλητές. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιεί την ειδική διασπορά της τύρβης (ω) αντί για τον ρυθμό διασποράς της τύρβης (ε). Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιοχές κοντά στα τοιχώματα.

LES - Large Eddy Simulations: Αυτή η μέθοδος είναι πιο ακριβής από τα παραδοσιακά μοντέλα τύρβης και προσομοιώνει τις μεγάλες δίνες του ρευστού ενώ φιλτράρει τις μικρότερες. Είναι πιο απαιτητική υπολογιστικά, αλλά προσφέρει μεγαλύτερη ακρίβεια στις προβλέψεις.

DNS - Direct Numerical Simulation: Η DNS επιλύει πλήρως τις εξισώσεις Navier-Stokes για κάθε κλίμακα τύρβης. Αν και προσφέρει την μεγαλύτερη ακρίβεια, απαιτεί τεράστιους υπολογιστικούς πόρους.

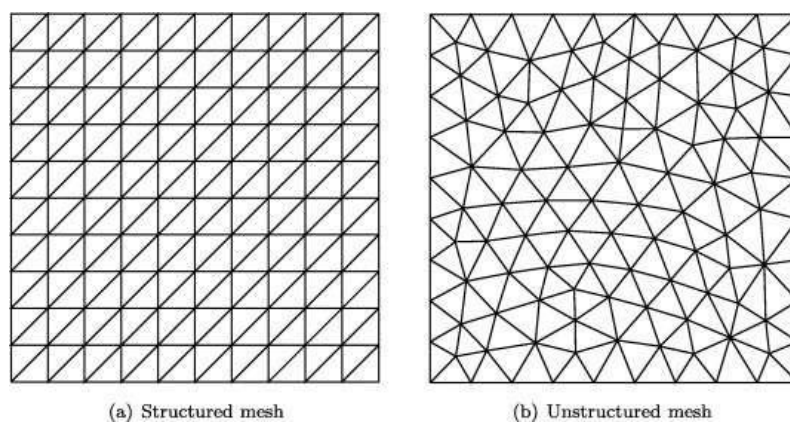
3.5.2 Υπολογιστικό Πλέγμα και Ποιότητα αυτού.

Το επόμενο βήμα είναι η δημιουργία του υπολογιστικού πλέγματος (meshing). Το πλέγμα είναι η διακριτοποίηση της γεωμετρίας σε μικρά στοιχεία ή κελιά, όπου οι διαφορικές εξισώσεις θα επιλυθούν αριθμητικά.

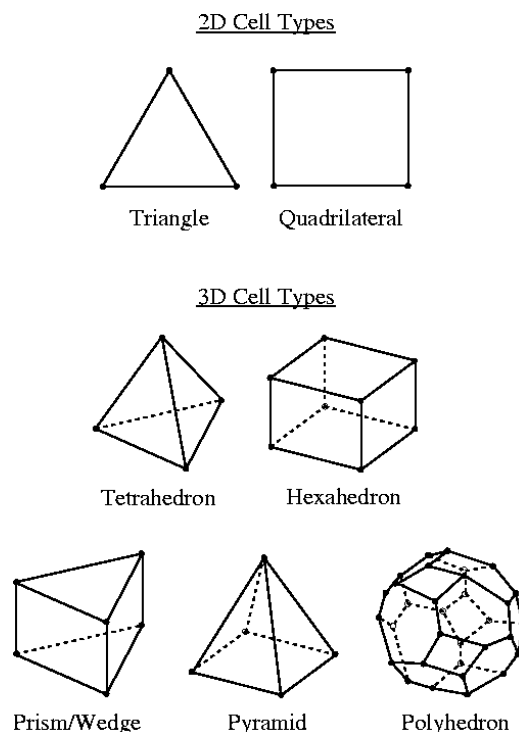
Τύπος Πλέγματος: Επιλογή μεταξύ δομημένου, μη δομημένου ή υβριδικού πλέγματος. Το δομημένο πλέγμα προσφέρει μεγαλύτερη ακρίβεια και ποιότητα αποτελεσμάτων με λιγότερη

υπολογιστική ισχύ, αλλά είναι δύσκολο να κατασκευαστεί απόλυτα λόγω γεωμετρικών περιορισμών. Το μη δομημένο πλέγμα προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία σε πολύπλοκες γεωμετρίες, αν και απαιτεί περισσότερη υπολογιστική ισχύ. Συχνά, χρησιμοποιείται υβριδικό πλέγμα, που συνδυάζει τα πλεονεκτήματα και των δύο τύπων, εξισορροπώντας ακρίβεια και υπολογιστική αποδοτικότητα.

Σχήμα Πεπερασμένου Στοιχείου : Σε δισδιάστατη ανάλυση, τα στοιχεία μπορεί να είναι τριγωνικά ή τετραγωνικά, ενώ για τρισδιάστατη ανάλυση, τα στοιχεία μπορεί να είναι τετραεδρικά ή εξαεδρικά. Αυτή η επιλογή επιτρέπει την καλύτερη προσαρμογή των πλεγμάτων στις γεωμετρικές απαιτήσεις και τη φύση του προβλήματος που εξετάζεται.



Σχήμα 3.1. Γραφική απεικόνιση πλεγμάτων, δομημένου και μη δομημένου.



Σχήμα 3.2. Σχήματα στοιχείων πλέγματος.

Ποιότητα Πλέγματος: Καθορισμός της πυκνότητας και της λεπτομέρειας του πλέγματος ανάλογα με τις απαιτήσεις της ανάλυσης. Περιοχές με υψηλή διακύμανση ροής και αλληλεπίδραση (κοντά σε εμπόδια, σε αλλαγή γεωμετρία) απαιτούν πιο λεπτομερές και πυκνό πλέγμα.

Για την ανάλυση της ποιότητας του πλέγματος, χρησιμοποιούνται κριτήρια όπως η ορθογωνιότητα και ο λόγος όψεων. Η ορθογωνιότητα ορίζεται ως η κανονικοποιημένη παράγωγος ενός διανύσματος μιας επιφάνειας και ενός άλλου διανύσματος από το κέντρο ενός κελιού στο κέντρο της επιφάνειας αυτής. Τα κελιά με ορθογωνιότητα κοντά στο 0 θεωρούνται τα χειρότερα, ενώ αυτά με ορθογωνιότητα κοντά στο 1 θεωρούνται τα καλύτερα. Ο λόγος όψεων αντιπροσωπεύει τη σχέση μεταξύ της μεγαλύτερης και της μικρότερης τιμής των επιφανειών.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό που επηρεάζει την ποιότητα του κελιού είναι η στρεβλότητα, η οποία εκφράζει την απόκλιση από τη συμμετρία. Μεγάλες τιμές στρεβλότητας υποδηλώνουν κακή ποιότητα πλέγματος.

3.5.3 Καθορισμός Συνοριακών και Αρχικών Συνθηκών

Συνοριακές Συνθήκες (Boundary Conditions): Καθορισμός των συνθηκών στις άκρες της γεωμετρίας, όπως η ταχύτητα, η πίεση, η θερμοκρασία, και η συνθήκη στο τοίχου (μη ολίσθησης κ.λπ.).

Σύμφωνα με τη συνθήκη μη ολίσθησης (no-slip condition) το ρευστό που βρίσκεται σε άμεση επαφή με την επιφάνεια ενός στερεού σώματος έχει την ίδια ταχύτητα με την επιφάνεια αυτή.

Αρχικές Συνθήκες (Initial Conditions): Καθορισμός των αρχικών τιμών για όλες τις μεταβλητές του προβλήματος (π.χ. αρχική ταχύτητα, πίεση, θερμοκρασία).

3.5.4 Επίλυση των Διαφορικών Εξισώσεων

Οι εξισώσεις που περιγράφουν τη ροή των ρευστών, όπως οι εξισώσεις Navier-Stokes και οι εξισώσεις διατήρησης της ενέργειας, είναι συνήθως μη γραμμικές μερικές διαφορικές εξισώσεις. Η αριθμητική επίλυση αυτών των εξισώσεων απαιτεί τη διακριτοποίηση τους και την εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων επίλυσης.

Για την αριθμητική επίλυση χρησιμοποιούνται μέθοδοι όπως η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών (FDM), η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων (FEM), και η μέθοδος των πεπερασμένων όγκων (FVM). Η επίλυση πραγματοποιείται συνήθως μέσω επαναληπτικών

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας και Περιβάλλοντος 31

αλγορίθμων, και οι λύσεις αποκτούνται σε διακριτά χρονικά βήματα ή μέσω σταθερής κατάστασης.

Με λίγα λόγια η μέθοδο πεπερασμένων διαφορών (FEM) προσεγγίζει τις παραγώγους των εξισώσεων χρησιμοποιώντας το ανάπτυγμα Taylor σε διακριτά πλέγματα σημείων, κάτι που την καθιστά απλή και εύκολη στην εφαρμογή για κανονικές γεωμετρίες. Ωστόσο, είναι λιγότερο ευέλικτη για σύνθετες γεωμετρίες και ακανόνιστα πλέγματα. Η μέθοδος των πεπερασμένων όγκων (FVM) διαιρεί το πεδίο σε μικρούς όγκους ελέγχου και εφαρμόζει την αρχή διατήρησης σε κάθε όγκο, εξασφαλίζοντας την τοπική και παγκόσμια διατήρηση φυσικών μεγεθών. Είναι κατάλληλη για προβλήματα ρευστομηχανικής με ευελιξία σε σύνθετες γεωμετρίες αλλά μπορεί να είναι πιο υπολογιστικά απαιτητική από τη FDM.

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιείται η μέθοδος πεπερασμένων όγκων (FVM) λόγω του λύτη (Ansys Fluent) και της ευκολίας που παρέχει.

3.5.4.1 Αλγόριθμοι Επίλυσης

Οι μέθοδοι επίλυσης που χρησιμοποιούνται για την αριθμητική επίλυση διαφορικών εξισώσεων περιλαμβάνουν σχήματα χωρικής και χρονικής διακριτοποίησης. Μερικές από τις πιο μεθόδους που χρησιμοποιούνται είναι :

PISO (Pressure-Implicit with Splitting of Operators)

Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται για τη σύζευξη πίεσης-ταχύτητας σε μη σταθερά προβλήματα ροής. Είναι κατάλληλη για δυναμικά προβλήματα όπου η ταχύτητα και η πίεση

αλλάζουν γρήγορα με το χρόνο. Το PISO επιτρέπει μεγαλύτερα χρονικά βήματα από το SIMPLE, καθιστώντας το αποτελεσματικό για γρήγορα μεταβαλλόμενες ροές.

SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations)

Αυτή η μέθοδος είναι μια από τις πιο κοινά χρησιμοποιούμενες μεθόδους για τη σύζευξη πίεσης-ταχύτητας σε σταθερά και μη σταθερά προβλήματα ροής. Η μέθοδος SIMPLE επιλύει τις διαφορικές εξισώσεις επαναληπτικά, ενημερώνοντας την πίεση και την ταχύτητα μέχρι να επιτευχθεί σύγκλιση.

SIMPLEC (SIMPLE-Consistent)

Αυτή είναι μια παραλλαγή της μεθόδου SIMPLE, σχεδιασμένη να βελτιώνει την ταχύτητα σύγκλισης. Το SIMPLEC μειώνει την εξάρτηση της λύσης από τις επαναληπτικές διορθώσεις πίεσης, καθιστώντας το πιο αποτελεσματικό σε ορισμένες εφαρμογές.

COUPLED

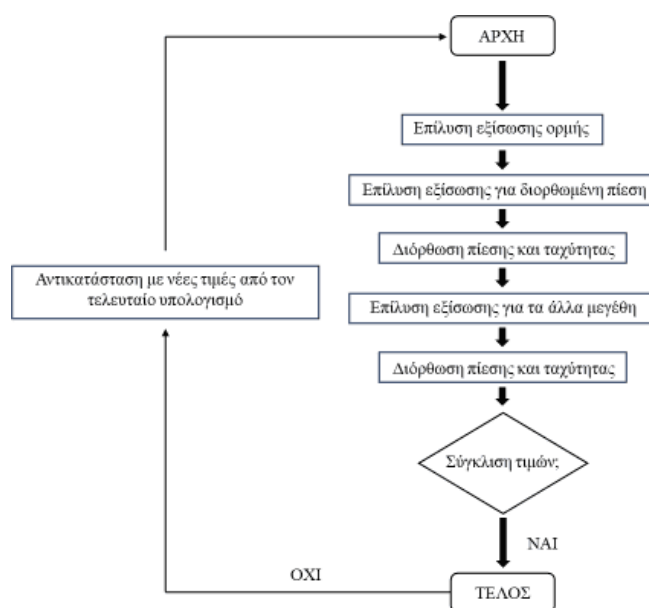
Η μέθοδος COUPLED λύνει τις εξισώσεις της ταχύτητας και της πίεσης ταυτόχρονα, αντί για επαναληπτικά. Αυτό το σχήμα μπορεί να είναι πιο αποδοτικό για προβλήματα που απαιτούν υψηλή σύζευξη μεταξύ πίεσης και ταχύτητας, καθώς μειώνει τον αριθμό των επαναλήψεων που απαιτούνται για τη σύγκλιση.

Για αλγόριθμο επίλυσης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations (SIMPE) των S.V. Patankar και D.B. Spalding.

3.5.4.2 Αλγόριθμος SIMPLE

Ο αλγόριθμος SIMPLE βασίζεται σε μια επαναληπτική διαδικασία που επιλύει τις εξισώσεις ορμής και διορθώνει την πίεση για να εξασφαλίσει ότι οι εξισώσεις συνέχειας ικανοποιούνται.

Τα κύρια βήματα περιγράφονται στο κάτωθι δομικό διάγραμμα.



Σχήμα 3.3. Δομικό διάγραμμα αλγορίθμου SIMPLE.

3.5.5 Πιστοποίηση – Επαλήθευση των αποτελεσμάτων

Στο τέλος, μετά την επίλυση των εξισώσεων, ο μηχανικός οφείλει να πιστοποιήσει τα αποτελέσματα που έχουν εξαχθεί μέσω :

Σύγκρισης με Πειραματικά Δεδομένα: Σύγκριση των αποτελεσμάτων της CFD με τα πειραματικά δεδομένα για την επαλήθευση και την επικύρωση του μοντέλου. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής αυτό δε θα διεξαχθεί.

Ανάλυση Σύγκλισης: Έλεγχο της σύγκλισης της αριθμητικής λύσης για να διασφαλιστεί ότι τα αποτελέσματα είναι ανεξάρτητα από το μέγεθος του πλέγματος και το χρονικό βήμα.

3.6 ANSYS FLUENT

Το **ANSYS Fluent** είναι ένα λογισμικό υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (CFD) που χρησιμοποιείται ευρέως για την προσομοίωση και ανάλυση της ροής ρευστών (υγρών και αερίων), της μεταφοράς θερμότητας και της αλληλεπίδρασης ροής-δομής (Fluid Structure Interaction). Αναπτύχθηκε από την ANSYS Inc., και θα αποτελέσει το εργαλείο των υπολογιστικών μας πειραμάτων.

4.0 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

Όντας πλέον όλα τα απαραίτητα θεωρητικά στοιχεία γνωστά θα προσχωρήσουμε στην παρουσίαση του προβλήματος και τη μοντελοποίησή του.

4.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΤΟΜΙΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ

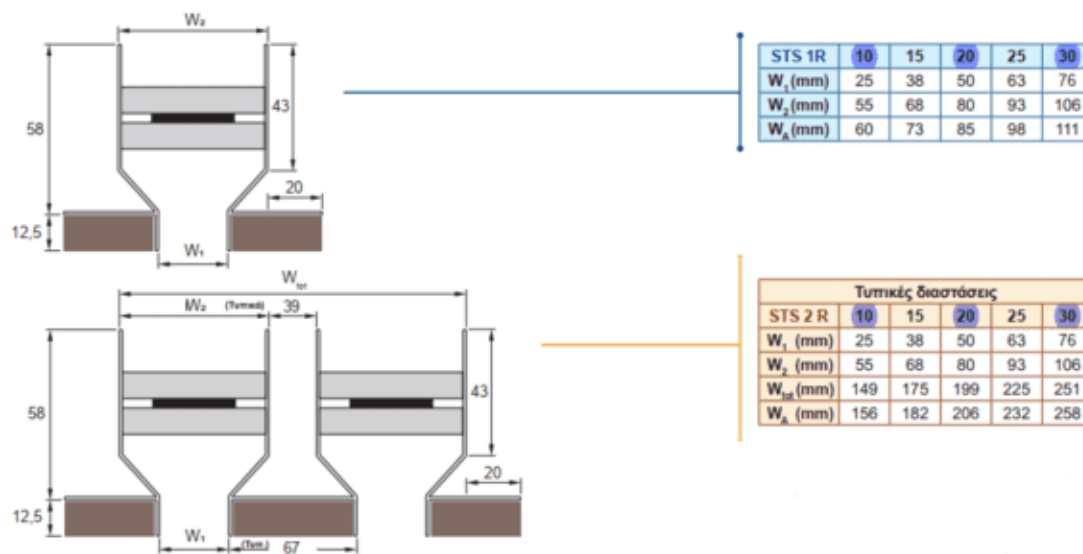
Στην παρούσα εργασία θα μελετηθεί το στόμιο τύπου STS της εταιρίας AIRTECHNIC ΧΑΤΖΟΥΔΗΣ Ε.Π.Ε. Σύμφωνα με το φυλλάδιο του κατασκευαστή [13] έχουμε τις ακόλουθες πληροφορίες.



Σχήμα 4.1. Στόμιο τύπου STS 1R.

Τα στόμια κρυφού τύπου slot STS είναι κατάλληλα για λειτουργία σε θέρμανση και ψύξη. Κατασκευάζονται με 1 εγκοπή (STS 1R), 2 εγκοπές (STS 2R) ή 3 εγκοπές (STS 3R) σε 5 μεγέθη

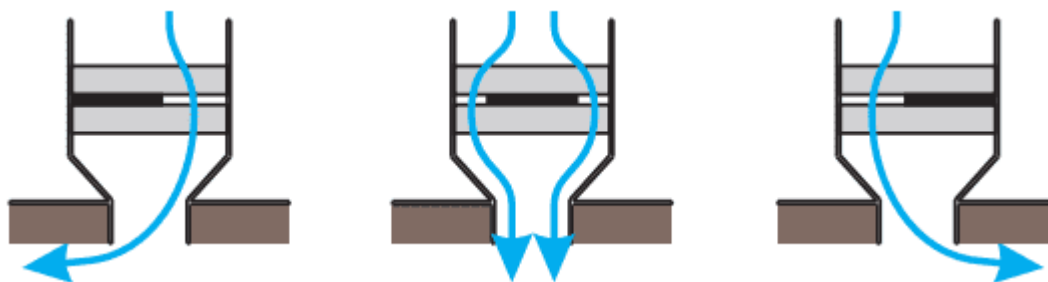
10, 15, 20, 25 και 30, ενώ δεν υπάρχει περιορισμός στο μήκος. Το ονομαστικό πλάτος του στομίου είναι ίσο με το πλάτος της εγκοπής.



Σχήμα 4.2. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά στομίων STS R.

Εντός του στομίου, υπάρχει ρυθμιζόμενο περύνγιο, το οποίο τοποθετείται παράλληλα με το μήκος του στομίου και παρέχει τη δυνατότητα χειροκίνητης ρύθμισης της κατεύθυνσης του αέρα προσαγωγής προς τα αριστερά, προς τα δεξιά και κατακόρυφα.

Η ρύθμιση αυτή επιτυγχάνεται με την ολίσθηση του περυνγίου μέσα από την πρόσφυση του στομίου.



Σχήμα 4.3. Λειτουργία ρυθμιστικού περυνγίου (damper).

Στην εργασία αυτή θα μελετηθούν τα χαρακτηριστικά των παρακάτω στομιών και υπο-περιπτώσεων αυτών σε υπολογιστικό χωρίο πανομοιότυπο του πειραματικού χώρου μελέτης του Εργαστήριου Ρευστομηχανικής του Πανεπιστημίου Πατρών και σε θερμοκρασιακό περιβάλλον $T = 295[K]$:

- **STS 1R20 με το:**

- A. *Ρυθμιστικό σύρτη στη μεσαία θέση.*
- B. *Ρυθμιστικό σύρτη στη πάνω θέση.*
- C. *Ρυθμιστικό σύρτη στη κάτω θέση.*

- **STS 2R20 με το:**

- A. *Ρυθμιστικό σύρτη στη μεσαία θέση.*

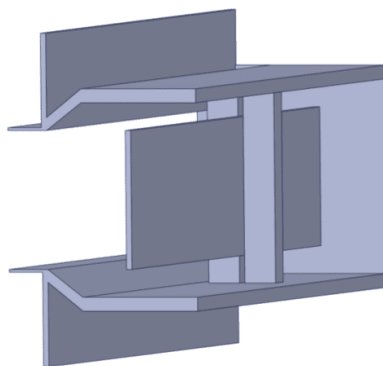
4.1.1 Παρουσίαση STS 1R20

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν οι υποκατηγορίες του στομίου STS 1R20.

4.1.1.1 STS 1R20 με ρυθμιστικό σύρτη στη μεσαία θέση

Η πρώτη υποπερίπτωση του στομίου αυτού είναι με τη θέση του σύρτη στη μέση. Με τη διάταξη αυτή όπως διακρίνεται και στο **Σχήμα 4.4** ο αέρας περνάει συμμετρικά και από τις δύο διόδους με αποτέλεσμα όπως θα δούμε και στη συνέχεια η ροή να εξέρχεται οριζόντια. Η διατομή της εξόδου είναι

$$A_{C_{1R_{middle}}} = 0.0245 [m^2].$$



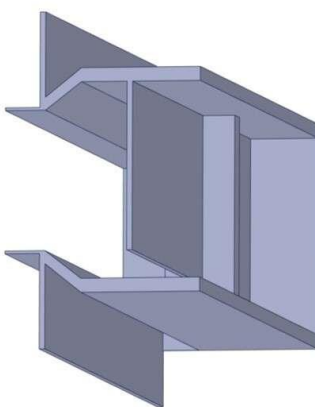
Σχήμα 4.4. Πλάγια τομή για το Στόμιο STS 1R20 με το σύρτη στη μεσαία θέση

4.1.1.2 STS 1R20 με ρυθμιστικό σύρτη στη πάνω θέση

Στην υποπερίπτωση αυτή ο σύρτης βρίσκεται στην κάτω θέση. Με τη διάταξη αυτή η ροή θα κινηθεί από την πάνω πλευρά του στομίου και λόγω της γεωμετρίας του -κλίση προς τα κάτω στην έξοδο- η δέσμη του αέρα θα αναγκαστεί σε μια κίνηση προς τα κάτω.

Η διατομή στην έξοδο του στομίου είναι

$$A_{C_{1R_{up}}} = 0.0245 [m^2].$$



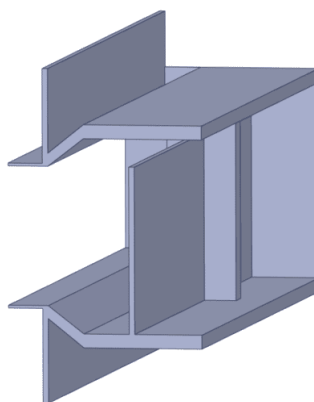
Σχήμα 4.5. Πλάγια τομή για το Στόμιο STS 1R20 με το σύρτη στην πάνω θέση..

4.1.1.3 STS 1R20 με ρυθμιστικό σύρτη στην κάτω θέση

Στη διάταξη αυτή η θέση του σύρτη είναι στην πάνω θέση κλείνοντας την άνω δίοδο του στομίου και εξαναγκάζοντας τη ροή να κινηθεί από την κάτω δίοδο. Λόγω αυτού και της κλίσης που έχει στην έξοδο στην κάτω πλευρά η δέσμη αέρα θα κινηθεί προς τα πάνω.

Η διατομή στη έξοδο της γρίλιας είναι

$$A_{C_{1R_{down}}} = 0.0245 [m^2].$$



Σχήμα 4.6. Πλάγια τομή για το Στόμιο STS 1R20 με το σύρτη στην κάτω θέση.

4.1.2 STS 2R με τους ρυθμιστικούς σύρτες στη μεσαία θέση

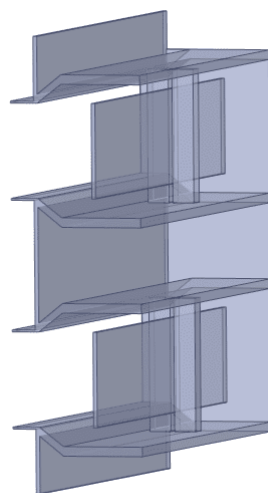
Το στόμιο STS 2R20 αποτελείται από δύο στόμια STS 1R20 που διαχωρίζονται από μία κατακόρυφη απόσταση 67 [mm]. Από κάθε στόμιο εξέρχεται μια ξεχωριστή οριζόντια ροή, οι οποίες ενώνονται και δημιουργούν μια ενιαία ροή. Αυτό συμβαίνει επειδή η διαφορά πίεσης προκαλεί την κίνηση της πάνω ροής προς τα κάτω, και της κάτω ροής προς τα πάνω, με αποτέλεσμα η μια ροή να έλκει την άλλη και να ενώνονται.

Για τη διατομή στην έξοδο της γρίλλας ισχύει ότι

$$A_{C_{2R}} = A_{C_{1Ru}} + A_{C_{1Rd}} = [m^2] \rightarrow$$

$$A_{C_{2R}} = 2A_{C_{1Rmiddle}} \rightarrow$$

$$A_{C_{2R}} = 0.049 [m^2].$$

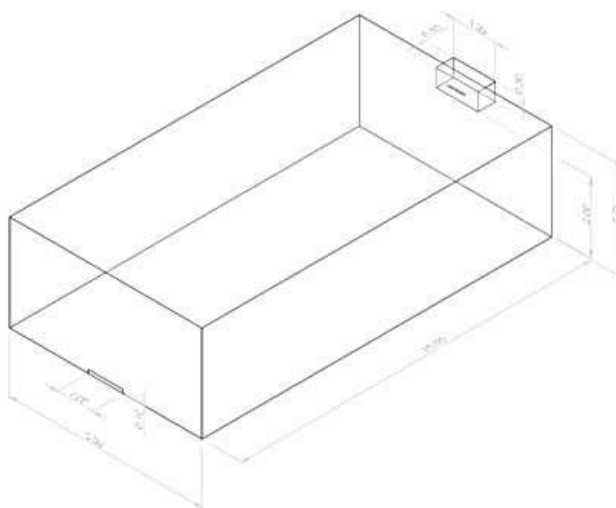


Σχήμα 4.7. Πλάγια τομή από στόμιο STS2R με το ρυθμιστικό σύρτη στη μεσαία θέση.

4.2 ΧΩΡΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών μεγεθών των στομιών πέραν της μοντελοποίησης των ίδιων των στομιών απαραίτητος είναι και ο προσδιορισμός του χώρου-δωματίου που θα πραγματοποιηθεί η μελέτη. Στη μελέτη χρησιμοποιήθηκε χωρίο πανομοιότυπο με το χώρο πειραματικών μελετών του Εργαστηρίου Ρευστομηχανικής του Πανεπιστημίου Πατρών ούτως ώστε τα υπολογιστικά δεδομένα να μπορούν να συγκριθούν με πειραματικά.

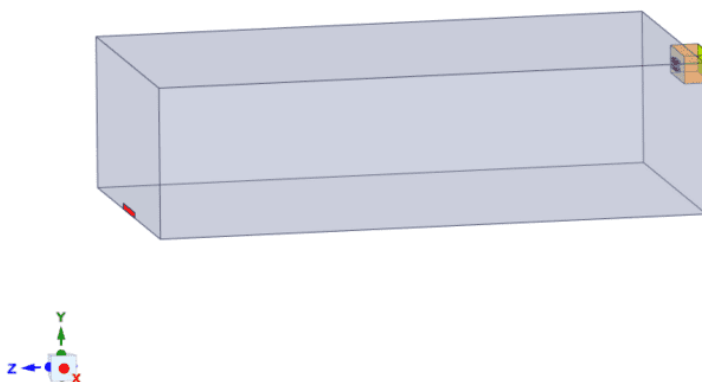
Στο κάτωθι **Σχήμα 4.8** μπορούν να διακριθούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του υπολογιστικού/πειραματικού χώρου.



Σχήμα 4.8. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά χωρίου μελέτης.

Αναλυτικότερα ο υπολογιστικός χώρος μπορεί να χωριστεί σε :

- Το ίδιο το δωμάτιο, τα όρια του οποίου -τοίχοι- είναι με γκρι χρώμα.
- Το στόμιο το οποίο είναι μπλε χρώμα.
- Τον αεραγωγό που είναι με πορτοκαλί χρώμα.
- Την είσοδο του αέρα από τον αεραγωγό.
- Το στόμιο απαγωγής -έξοδος του αέρα- το οποίο είναι με κόκκινο χρώμα.



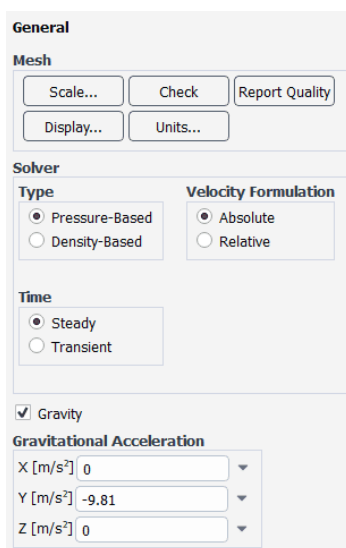
Σχήμα 4.9. Ο υπολογιστικός χώρος με χρωματισμένες τις συνοριακές περιοχές.

4.3 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

Στο υποκεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί αναλυτικά ο τρόπος που μοντελοποιήθηκε το πρόβλημα με τη βοήθεια του Ansys Fluent.

4.3.1 Προσδιορισμός Φυσικού Προβλήματος

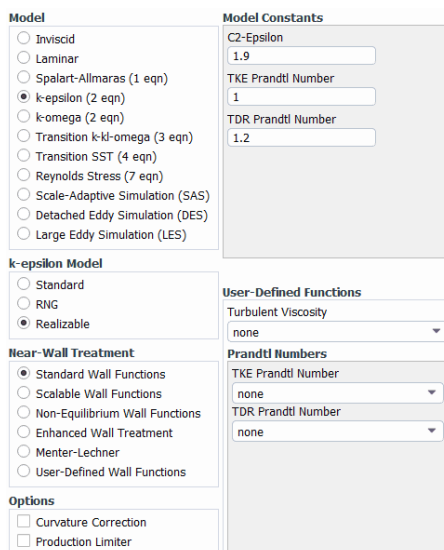
Το πρόβλημα που έχουμε να λύσουμε αποτελεί προσομοίωση ροής -σταθερής κατάστασης- σε μια τρισδιάστατη γεωμετρία. Λόγω των μικρών ταχυτήτων της ροής -μηδαμινή συμπίεση- θα επιλέξουμε λύτη βασισμένο στην πίεση ενώ για να συμπεριλάβουμε την επίδραση της βαρύτητας θα εισάγουμε επιτάχυνση στον κατακόρυφο άξονα ίση με τη βαρυτική ($g = 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]}$).



Σχήμα 4.10. Γενικά δεδομένα στο Ansys Fluent για τη ροή προς λύση.

Μοντέλο τύρβης

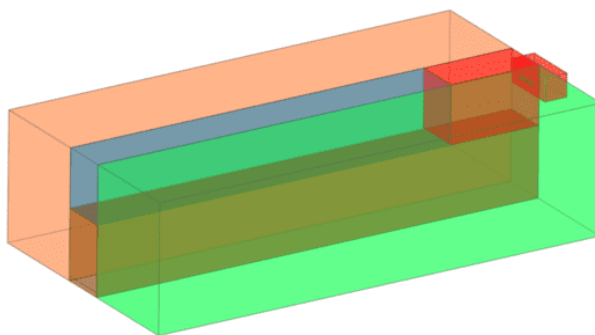
Όπως αναφέρθηκε και στη θεωρία για τη μοντελοποίηση της τύρβης χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο **k-ε** με τα χαρακτηριστικά του οποίου να διακρίνονται στο **Σχήμα 5.13**.



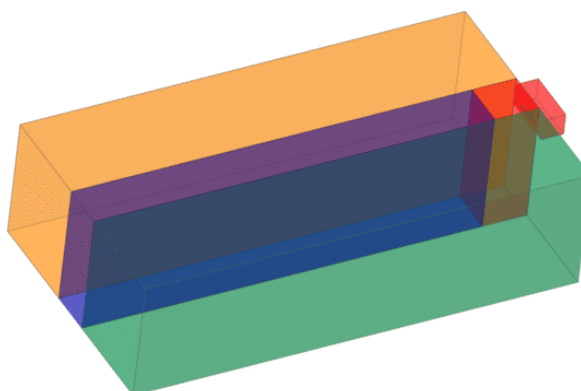
Σχήμα 4.11. Χαρακτηριστικά μοντέλου k-e στο Ansys Fluent.

4.3.2 Δημιουργία Πλέγματος

Θα δημιουργηθούν δύο γεωμετρίες πλέγματος, η μια αφορά τις περιπτώσεις που περιμένουμε η ροή να εξέλθει ευθύβολα και άλλη μια για όταν η ροή γνωρίζουμε πως θα κινηθεί κατακόρυφα. Αυτό θα γίνει με σκοπό να μειωθεί το πλέγμα όσο το δυνατόν γίνεται χωρίς παράλληλα να χαθεί πληροφορία από τα σημεία που κινείται η ροή.



Σχήμα 4.12. Δομή πλέγματος για τα στόμια με το σύρτη στη μεσαία θέση.



Σχήμα 4.13. Δομή πλέγματος για τα στόμια με το σύρτη στις πάνω και κάτω θέσεις.

Η φιλοσοφία που ακολουθήθηκε για τη δημιουργία του πλέγματος ήταν να δημιουργηθεί πυκνωση στα σημεία ενδιαφέροντος όπως το εσωτερικό του στομίου και σε μια απόσταση μπροστά από αυτό όπου η ροή είναι αρκετά ενεργή αλλά και κοντά στα τοιχώματα ώστε να υπάρχει πλήρη καταγραφή της επίδρασης του οριακού στρώματος ενώ στα υπόλοιπα αδρανά σημεία να υπάρχει αραίωση ώστε να μπορεί το μοντέλο να «τρέξει» σε ένα συμβατικό λάπτοπ.

Στη συνέχεια το πλέγμα αυτό μελετήθηκε βάση της ποιότητας του, χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν στο κομμάτι της θεωρίας και έπειτα μελετήθηκε η ανεξαρτησία του πλέγματος και η σύγκλιση της λύσης.

Έχοντας τα πάνω ως γνώση και μέτρο καταλήγουμε :

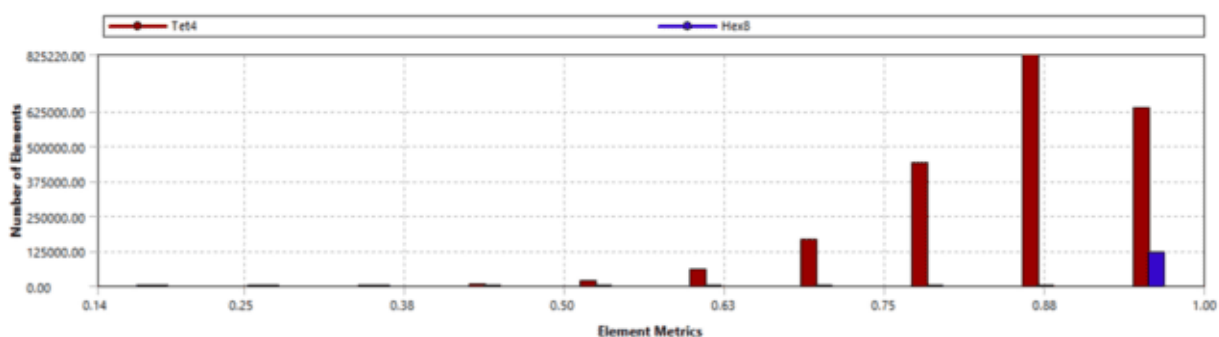
Για τα στόμια STS 1R και 2R με τη θέση του σύρτη στη μεσαία διάταξη.

Πίνακας 4. Συνοπτικά τα χαρακτηριστικά του πλέγματος των στομίων STS 1R και 2R με το σύρτη στη μεσαία θέση.

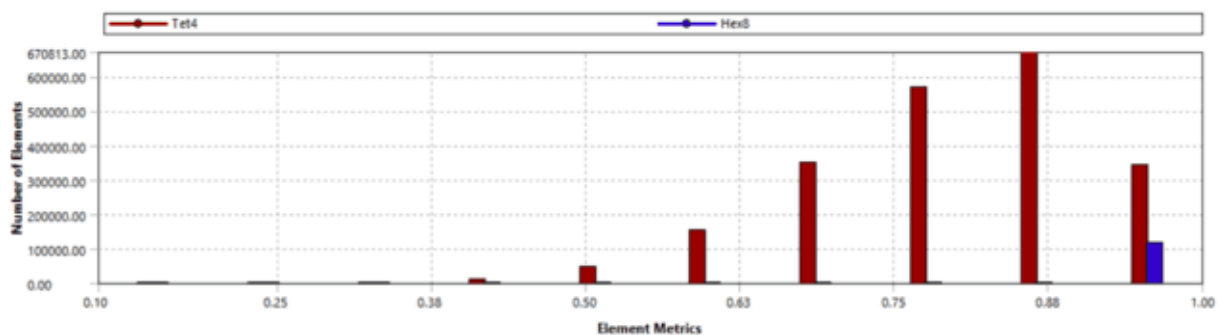
Τμήμα	Αριστερό & Δεξί	Κεντρικό Κάτω	Κεντρικό Πάνω	Αεραγωγός και Έξοδος Στομίου	Στόμιο
Χρώμα Σχήμα 5.14	Πορτοκαλί και Πράσινο	Καφέ	Μπλε	Κόκκινο	Κόκκινο
Μέγεθος	0.05 [m]	0.05 [m]	0,025 [m]	0.01 [m]	0.001 [m]

Παρατηρήσεις	Η ροή εκεί επιδρά ελάχιστα συνεπώς δεν είναι απαραίτητη μεγάλη πυκνότητα πλέγματος.	Στο χώρο αυτό η ροή βρίσκεται και ξεπερνάει το πλήρως ανεπτυγμένο στάδιο. Δεν υπάρχουν έντονες μεταβολές επομένως δε χρειάζεται ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια.	Από τα πιο κρίσιμα σημεία της ροής. Η ροή εκεί είναι αρκετά ενεργής συνεπώς χρειαζόμαστε μεγάλη ακρίβεια. Επιπλέον στο σημείο αυτό η ροή επιδρά με την οροφή οπότε υπάρχει περαιτέρω πύκνωση ώστε να καλυφθώ η αλληλεπίδραση.	Το στόμιο αποτελεί το μεγαλύτερο παράγοντα επίδρασης στη ροή. Το πλέγμα εκεί θέλουμε να είναι όσο το δυνατόν πυκνότερο γίνεται ώστε να έχουμε τη μέγιστη ακρίβεια. Επιπλέον υπάρχει πύκνωση στα τοιχώματα για την κάλυψη της επίδρασης του οριακού στρώματος και της τριβής.
--------------	---	--	---	--

Αναλυτικότερα στην περίπτωση του στομίου **STS 1R20** καταλήγουμε σε πλέγμα με 497939 κόμβους και 2252932 στοιχεία και για την ποιότητα ισχύουν :



Σχήμα 4.14. Ποιότητα Πλέγματος STS 1R20

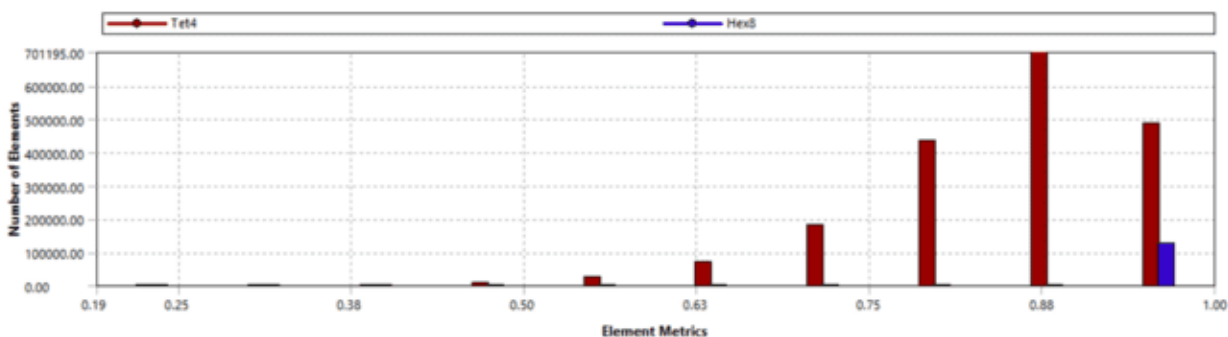


Σχήμα 4.15. Ορθογωνιότητα Πλέγματος STS 1R20

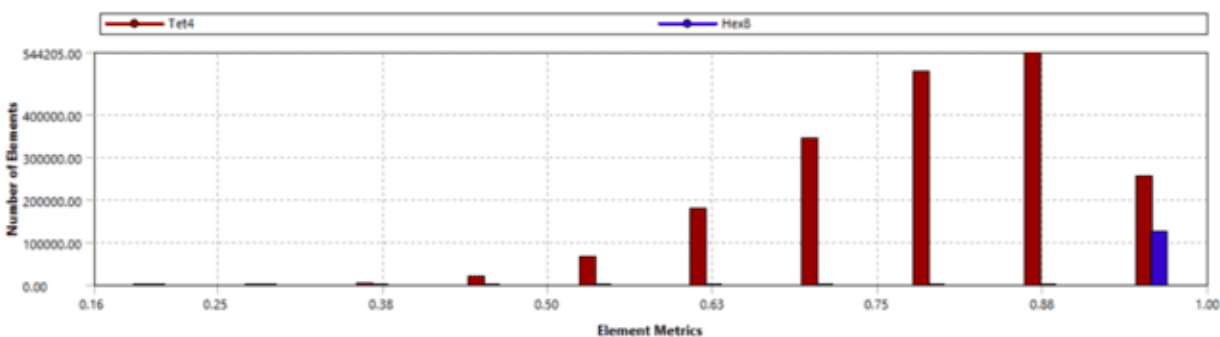
Τα αποτελέσματα δείχνουν πλέγμα με μέσες τιμές «ποιότητας» και ορθογωνιότητας γύρω στο 0.88 και με το ελάχιστο να είναι 0.16, αποτελέσματα τα οποία θεωρούνται ικανοποιητικά για τη μελέτη.

Να σημειωθεί ότι η «Ποιότητα» που υπολογίζει το Ansys είναι ένα συνδυασμός-μέσος όρος των ποιοτικών ελέγχων που αναφέρθηκαν στην θεωρία.

Ενώ στην περίπτωση του στομίου **STS 2R20** καταλήγουμε σε πλέγμα με 511229 κόμβους και 2528822 στοιχεία και για την ποιότητα :



Σχήμα 4.16. Ποιότητα Πλέγματος STS 2R20

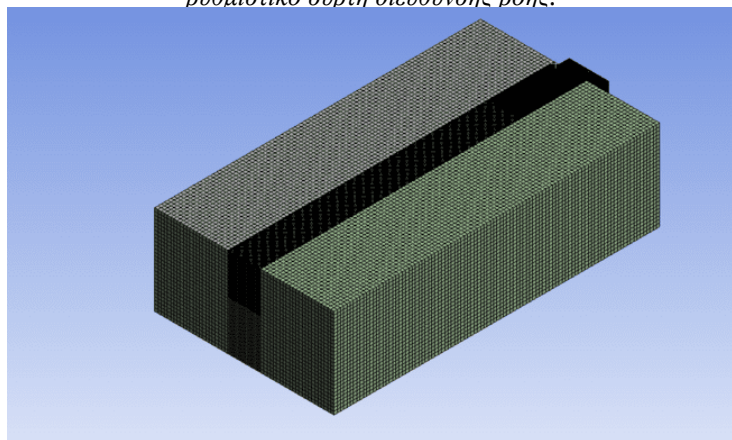


Σχήμα 4.17. Ορθογωνιότητα Πλέγματος STS 1R2

Παρατηρούμε πως σε σύγκριση με το μονό στόμιο τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν είναι περισσότερα κάτι το οποίο είναι αναμενόμενο λόγω της ουσιαστικής μελέτης δύο στομίων παράλληλα. Όσο αφορά την ποιότητα του πλέγματος παρατηρούμε ότι η υπολογισμένη «ποιότητα» του Ansys είναι ικανοποιητική με μέση τιμή 0,80 και μικρότερη 0,23.

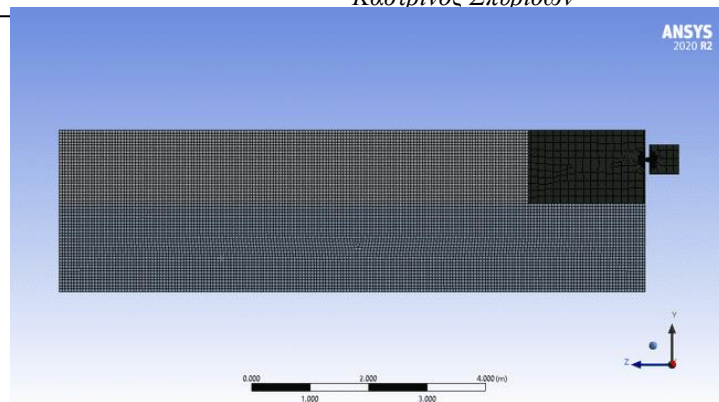
Παρακάτω παρατίθενται οι γραφικές απεικονίσεις της διακριτοποίησης στις περιπτώσεις αυτές.

Υπολογιστική προσομοίωση ροϊκού πεδίου αέρα από στόμια κλιματισμού με γρίλλες τύπου σχισμής και ρυθμιστικό σύρτη διεύθυνσης ροής.

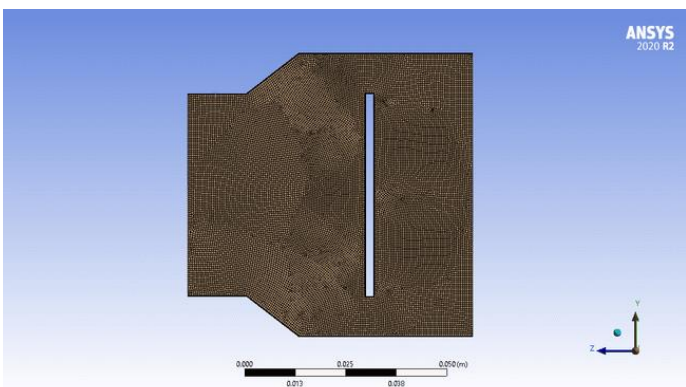


Σχήμα 4.18. Γραφική απεικόνιση πλέγματος.

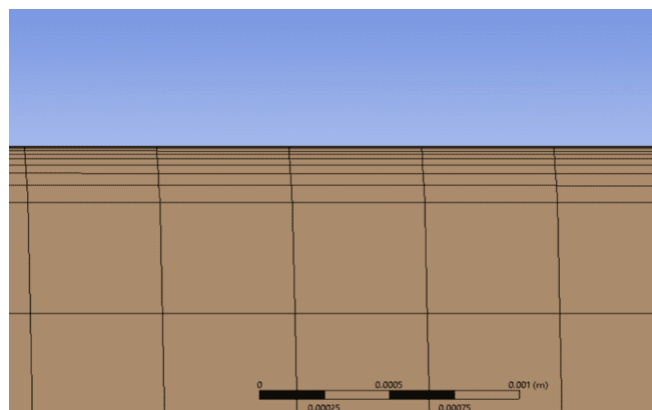
Καστρινός Σπυρίδων



Σχήμα 4.19. Γραφική απεικόνιση πλέγματος κατά τον άξονα συμμετρίας Z.



Σχήμα 4.20. Γραφική απεικόνιση πλέγματος στομίου.



Σχήμα 4.21. Γραφική απεικόνιση πύκνωσης πλέγματος στα τοιχώματα για την πλήρη καταγραφή του οριακού στρώματος.

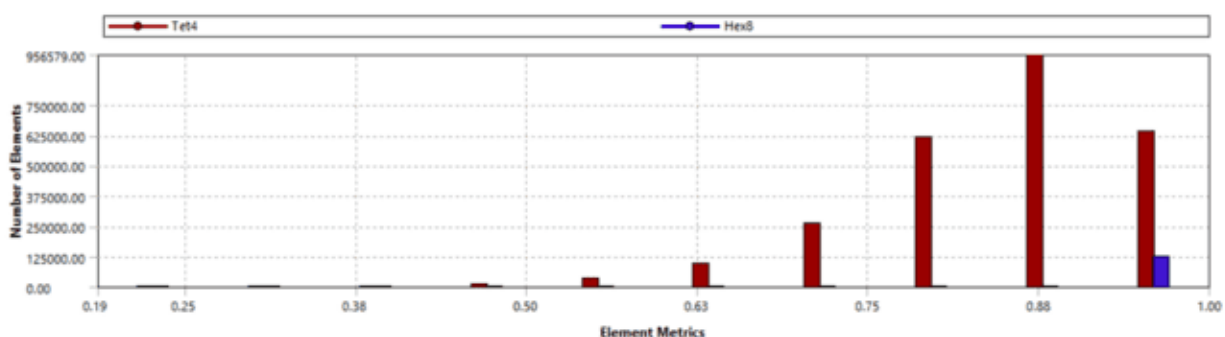
Στόμια STS 1R με το σύρτη στην κάτω και πάνω θέση

Πίνακας 5. Συνοπτικά τα χαρακτηριστικά του πλέγματος των στομίων STS 1R με το σύρτη στις ακριανές θέσεις.

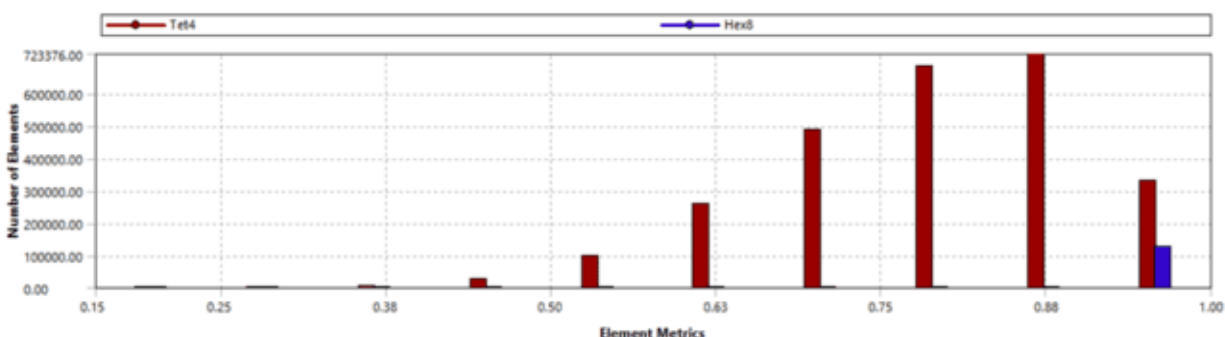
Τμήμα	Αριστερό & Δεξί	Κεντρικό	Αεραγωγός και Έξοδος Στομίου	Στόμιο
Χρώμα	Κίτρινο και Πράσινο	Μωβ	Κόκκινο	Κόκκινο
Μέγεθος	0.05 [m]	0.05 [m]	0.01 [m]	0.001 [m]
Παρατηρήσεις	Η ροή εκεί επιδρά ελάχιστα συνεπώς δεν είναι απαραίτητη μεγάλη πυκνότητα πλέγματος.	Από τα πιο κρίσιμα σημεία της ροής. Η ροή εκεί είναι αρκετά ενεργής συνεπώς χρειαζόμαστε μεγάλη		Το στόμιο αποτελεί το μεγαλύτερο παράγοντα επίδρασης στη ροή. Το πλέγμα εκεί θέλουμε να είναι όσο το

		ακρίβεια. Επιπλέον στο σημείο αυτό η ροή επιδρά με το τοίχωμα οπότε υπάρχει περαιτέρω πύκνωση ώστε να καλυφθεί η αλληλεπίδραση.	δυνατόν πυκνότερο γίνεται ώστε να έχουμε τη μέγιστη ακρίβεια. Επιπλέον υπάρχει πύκνωση στα τοιχώματα για την κάλυψη της επίδρασης του οριακού στρώματος και της τριβής.
--	--	---	---

Αναλυτικότερα και στις δύο περιπτώσεις υποπεριπτώσεις του **STS 1R20** καταλήγουμε σε πλέγμα με **602374** κόμβους και **2735228** στοιχεία, τόσο τετραεδρικά όσα και εξαεδρικά και για την ποιότητα ισχύουν :



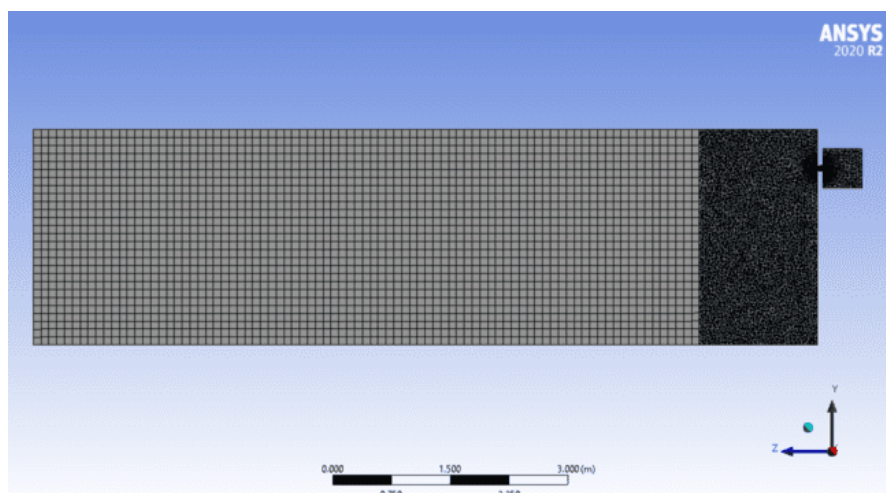
Σχήμα 4.22. Ποιότητα Πλέγματος STS 1R20 με το σύρτη στην πάνω και κάτω θέση



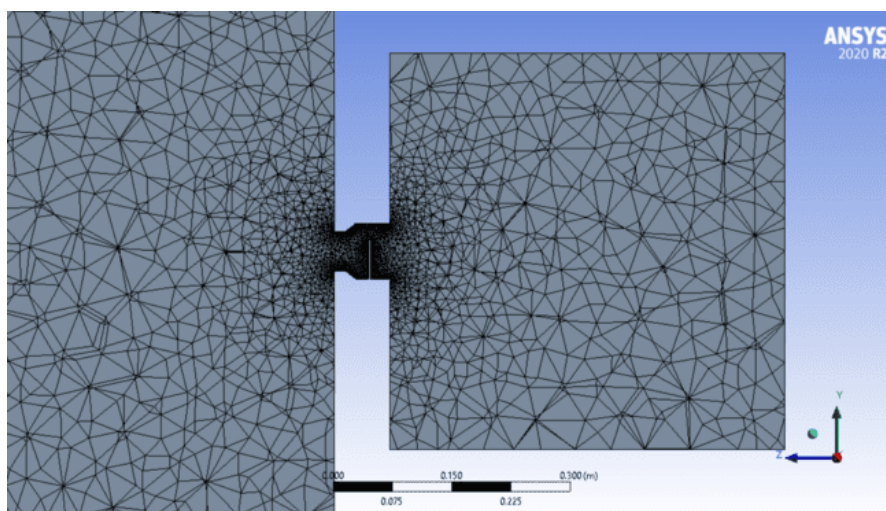
Σχήμα 4.23. Ορθογωνιότητα Πλέγματος STS 1R20 με το σύρτη στην πάνω και κάτω θέση

Τα αποτελέσματα δείχνουν πλέγμα με μέσες τιμές «ποιότητας» και ορθογωνιότητας γύρω στο 0.88 και με το ελάχιστο να είναι 0.16. Η διακριτοποίηση αυτή θεωρείται ικανοποιητική για την υπολογιστική μας μελέτη.

Παρακάτω παρατίθενται και οπτικές απεικονίσεις του meshing.



Σχήμα 4.24. Γραφική απεικόνιση πλέγματος κατά τον άξονα συμμετρίας Z για το στόμιο STS1R, damper down



Σχήμα 4.25. Γραφική απεικόνιση πλέγματος στομίου για το στόμιο STS1R, damper down

4.3.3 Αρχικές και Συνοριακές Συνθήκες

Στο σημείο αυτό θα εισάγουμε τις αρχικές και συνοριακές συνθήκες του προβλήματος.

- **Είσοδος**

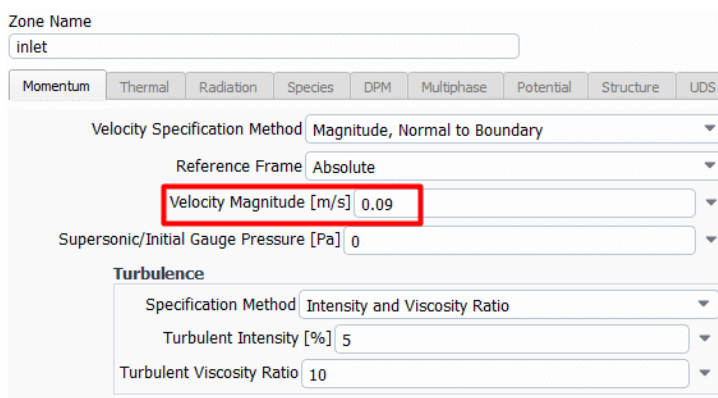
Η ανάλυση των χαρακτηριστικών των στομιών γίνεται συναρτήσει της παροχής τους. Ωστόσο επειδή η παροχή δεν είναι εφικτό να εισαχθεί ως συνοριακή συνθήκη επιλέγεται η ταχύτητα του αεραγωγού (βλέπε **Σχήμα 4.12**) μέσω των εξισώσεων παροχής και συνέχειας.

Από την εξίσωση παροχής :

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= VA \rightarrow \\ V &= \frac{\dot{Q}}{A}\end{aligned}\quad (5.1)$$

Και από την εξίσωση συνέχειας για δύο σημεία 1 και 2 :

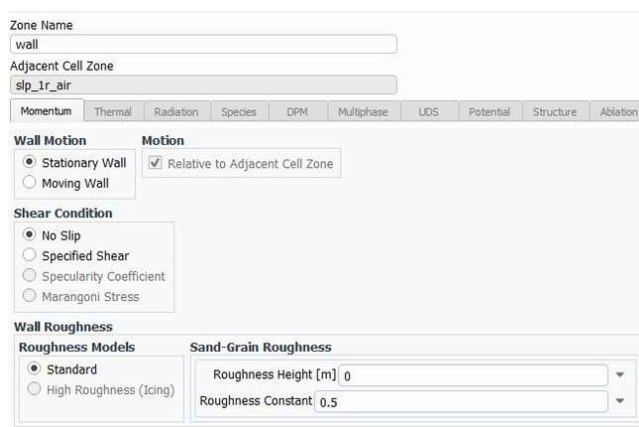
$$\begin{aligned}\dot{Q}_1 &= \dot{Q}_2 \rightarrow \\ V_2 &= \frac{A_1}{A_2} V_1\end{aligned}\quad (5.2)$$



Σχήμα 4.26. Συνθήκη εισόδου στο Ansys Fluent.

- **Τοιχώματα**

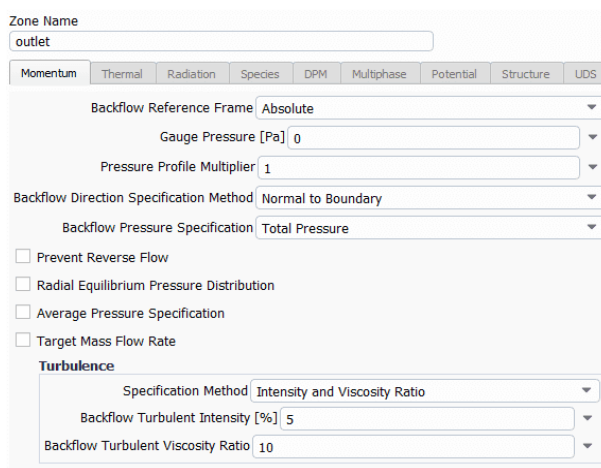
Για όλα τα τοιχώματα – τοίχοι δωματίου και τοιχώματα στομίου και αεραγωγού- επιλέγεται συνθήκη **Μη Ολίσθησης (no slip condition)**, δηλαδή η ταχύτητα στην επαφή είναι μηδενική.



Σχήμα 4.27. Συνθήκη στους τοίχους.

- **Έξοδος**

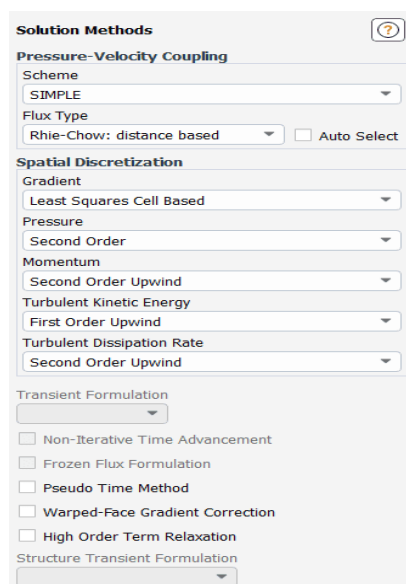
Για την έξοδο λόγω του ότι εκεί θεωρητικά βρίσκεται στόμιο απαγωγής, επιλέγεται συνοριακή συνθήκη πίεσης.



Σχήμα 4.28. Συνθήκη Εξόδου στο Ansys Fluent.

4.3.4 Λύτης – Επιλογή Αλγορίθμου Λύσης και Παραμέτρων

Για τη επίλυση των εξισώσεων χρησιμοποιείται η μέθοδος **SIMPLE** όπως αναφέραμε και στο θεωρητικό μέρος. Αναλυτικά τα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιήθηκαν μπορούν να διακριθούν στο κάτωθι σχήμα.



Σχήμα 4.29. Αλγόριθμος SIMPLE Ansys Fluent.

Για την επίτευξη της λύσης επιλέγουμε μέγιστο αριθμό επαναλήψεων 2000, ενώ θα θεωρήσουμε ότι η λύση έχει συγκλίνει (κριτήριο σύγκλισης) όταν τα residuals φθάσουν την τιμή 10^{-3} . Να αναφερθεί ότι τα residuals στο Ansys είναι μια ειδικευμένη εξίσωση για την εύρεση της ακρίβειας της λύσης ανά επανάληψη.

Equations	Monitor	Check Convergence	Absolute Criteria
continuity	☒	☒	0.001
x-velocity	☒	☒	0.001
y-velocity	☒	☒	0.001
z-velocity	☒	☒	0.001
k	☒	☒	0.001
epsilon	☒	☒	0.001

Σχήμα 4.30. Κριτήρια σύγκλισης της λύσης του προβλήματος

5.0 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Για την εύρεση των χαρακτηριστικών μελέτης ξεκινάμε για παροχή εισόδου $100 \text{ m}^3/\text{h}$ έως την τιμή της παροχής που η ταχύτητα στην έξοδο του κάθε στομίου προσεγγίζει την κρίσιμη τιμή όπως περιεγράφηκε στην **Ενότητα 3.3.3** ($V_c=10 \text{ [m/s]}$). Στις περιπτώσεις που τα αποτελέσματα επηρεάζονται από τη γεωμετρία του δωματίου (π.χ. η ροή χτυπάει στα τοιχώματα του δωματίου) τότε τα αποτελέσματα υπολογίζονται βάση των προηγούμενων δεδομένων -μέσω γραμμικής παρεμβολής-.

Τέλος να αναφερθεί ότι λόγω έκτασης θα παρουσιάζονται γραφήματα για δυο-τρεις τιμές παροχής ανά περίπτωση στομίου, αναλυτικά όλα τα αποτελέσματα μπορούν να βρεθούν στο **Παράρτημα**.

5.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ STS 1R20 ΜΕ ΣΥΡΤΗ ΣΤΗ ΜΕΣΑΙΑ ΘΕΣΗ

Γνωρίζοντας πως η διατομή του στομίου στην έξοδο είναι $A_{C_{1R_{middle}}} = 0.0245 \text{ [m}^2\text{]}$ και η διατομή του αεραγωγού είναι $A_V = 0.6 \text{ [m}^2\text{]}$ τότε από τις **Εξισώσεις (5.1)** και **(5.2)** για την αναλογία παροχής και ταχύτητας εισόδου (V_i) ισχύει :

$$V_i = Q \frac{A_c}{A_V} = 0.0408Q$$

, και προκύπτει ο **Πίνακας 6** με τις τιμές των ταχυτήτων ανά παροχή.

Πίνακας 6. Ταχύτητα αεραγωγού και εξόδου στομίου ανά παροχή με βάση την εξίσωση της συνέχειας.

Σενάριο	Παροχή Q [m^3/h]	Ταχύτητα εξόδου στομίου V_c [m/s]	Ταχύτητα Αεραγωγού V_i [m/s]
1	100	1.13	0.05
2	200	2.27	0.09
3	300	3.40	0.14
4	400	4.54	0.19
5	500	5.67	0.23
6	600	6.80	0.28
7	700	7.94	0.32
8	800	9.07	0.37
9	900	10.20	0.42

Σύμφωνα με τον **Πίνακα 6** η μέγιστη επιτρεπτή τιμή παροχής είναι $Q=800$ [m^3/s], μετά από εκεί η ταχύτητα εξόδου παίρνει μη αποδεκτή τιμή για χρήση σε χώρο γραφείου – δωματίου που εξετάζουμε, μεγαλύτερη δηλαδή από $V_c=10$ [m/s].

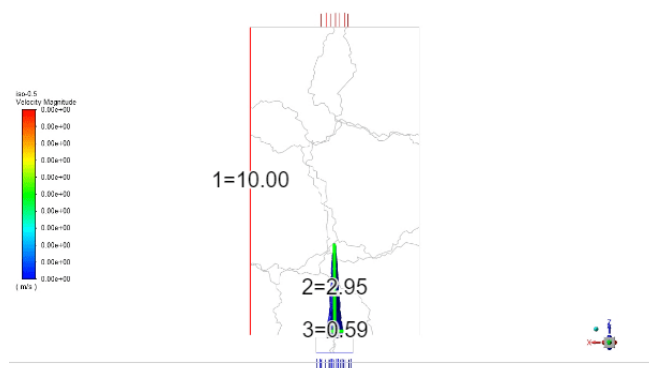
Στο σημείο αυτό πρέπει να τονισθεί ότι οι ταχύτητες εξόδου στον παραπάνω πίνακα είναι ενδεικτικές μέσω της εξίσωσης της συνέχειας-παροχής. Στην πραγματικότητα η ταχύτητα δεν είναι σταθερή σε όλη την επιφάνεια του στομίου και λόγω τη σύγκλισης του στην έξοδο αναμένουμε η ταχύτητα να συνεχίσει να αυξάνεται, οπότε στην απόσταση 25 [mm] από την έξοδο -σημείο όπου μετράτε η ταχύτητα εξόδου- αναμένουμε αύξηση. Τέλος οφείλουμε να σημειώσουμε ότι στην εξίσωση συνέχειας που χρησιμοποιήσαμε αγνοήσαμε τη μεταβολή της πυκνότητας λόγω της συμπίεσης.

Ακολουθούν απεικονίσεις με τα χαρακτηριστικά του στομίου STS 1R20 με το σύρτη στη μεσαία θέση για τις περιπτώσεις παροχής $Q=100,200,400$ και 600 [m^3/s], ενώ έπονται διαγράμματα με τα χαρακτηριστικά στοιχεία του στομίου ανά παροχή.

➤ **Περίπτωση 1 – Παροχή $Q=100 \text{ [m}^3/\text{s]}$.**

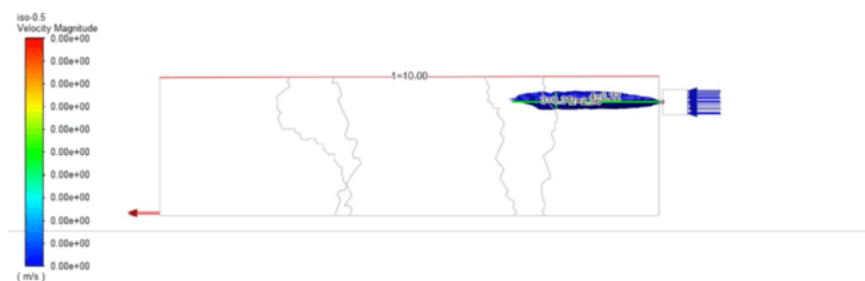
Για την εύρεση των χαρακτηριστικών Βεληνεκές, Πτώσης, Ανύψωσης και Διάχυσης χρησιμοποιούμε τις ισο-επιφανειακές για ταχύτητα ίση με 0.5 [m/s] σε κάτοψη και πλάγια όψη. Έχοντας τα διαγράμματα αυτά μέσω επεξεργασίας και έχοντας ως σημείο αναφοράς ότι το μήκος του δωματίου είναι 10 [m] προκύπτουν :

- **Βεληνεκές (T) = 2.95 [m] και Διάχυση = 0.59 [m]**



Σχήμα 5.1. Κάτοψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.

- **Ανύψωση = 0.18 [m] και Πτώση = 0.17 [m]**



Σχήμα 5.2. Πάγια όψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.

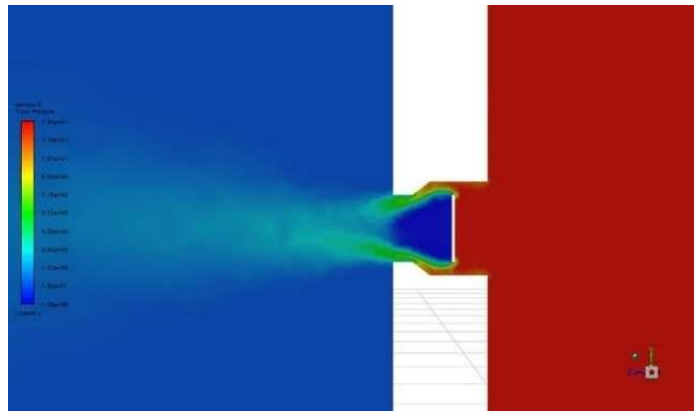
Όσο αφορά την πτώση πίεσης στο στόμιο, αυτή ορίζεται ως η μεταβολή της ολικής πίεσης μεταξύ εισόδου και εξόδου στομίου. Καθώς στις δυο αυτές επιφάνειες η πίεση δεν είναι σταθερή θα παρθεί ο μέσο όρος της διαφοράς. Βάση αυτού έχουμε :

$$\Delta P_{total} = \bar{P}_{outlet} - \bar{P}_{inlet} \rightarrow$$

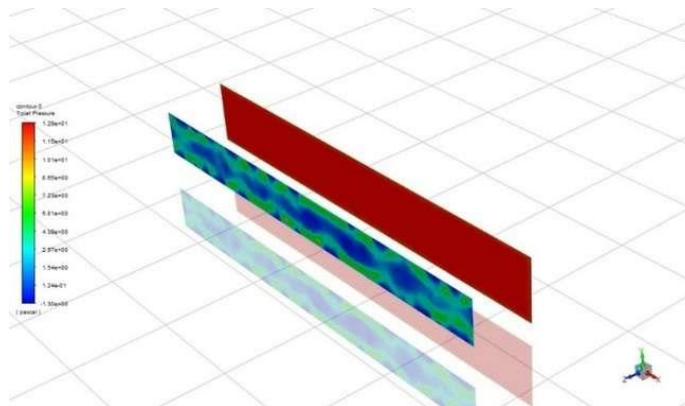
$$\Delta P_{total} = 5.75 - 12.9 \rightarrow$$

$$\Delta P_{total} = -5.15 [Pa]$$

Δηλαδή η πτώση πίεσης στο στόμιο είναι $|\Delta P_{total}| = 5.15 [Pa]$.

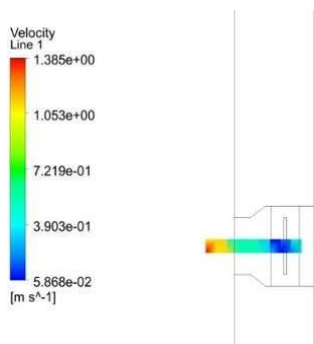


Σχήμα 5.3. Διάγραμμα ολικής πίεσης στο στόμιο κατά τον άξονα συμμετρίας Z για παροχή Q=100 m³/s στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.

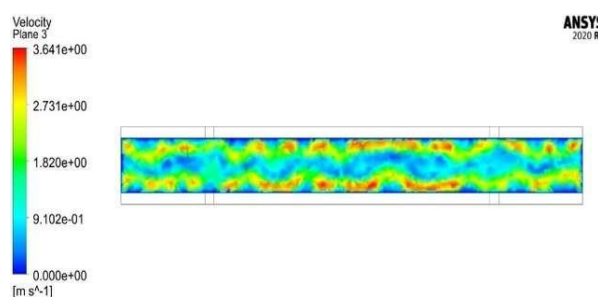


Σχήμα 5.4. Διαφορά ολικής πίεσης στο στόμιο είσοδο – έξοδο, για παροχή Q=100 m³/s στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.

Επιπλέον για να την ταχύτητα εξόδου V_c του στομίου και βάση του προτύπου ότι μετριέται σε απόσταση 25 [mm] από την έξοδο -σημείο ($x=0, y=0, z=25[mm]$)- προκύπτει πως ισούται με 1.385 [m/s]. Στο σημείο αυτό να σημειωθεί -όπως αναφέρθηκε και στο κομμάτι της θεωρίας- η ταχύτητα εξόδου V_c θα χρησιμοποιηθεί για την εύρεση του θορύβου καθώς οι τιμές είναι πολύ κοντά. Από το **Σχήμα 5.5** εξάγουμε μέτρηση 1.385 [m/s] ενώ ύστερα από επεξεργασία του **Σχήματος 5.6**, ο μέσος όρος της ταχύτητας ακριβώς στην έξοδο είναι 1.4 [m/s].

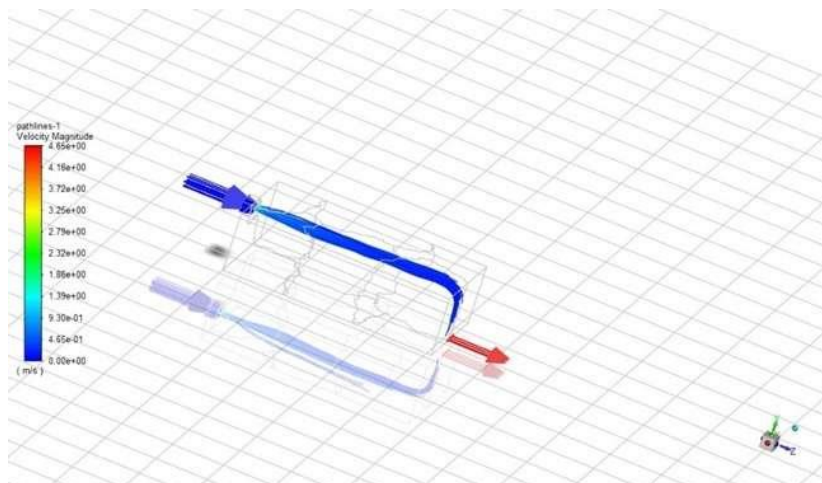


Σχήμα 5.5. Μέτρηση ταχύτητας σε απόσταση 25 [mm] από την έξοδο του στομίου.



Σχήμα 5.6. Ταχύτητα κατά το επίπεδο εξόδου του στομίου.

Τέλος παρουσιάζονται και οι ροϊκές γραμμές, η πορεία δηλαδή που ακολουθεί ο αέρας που εισέρχεται από το στόμιο.



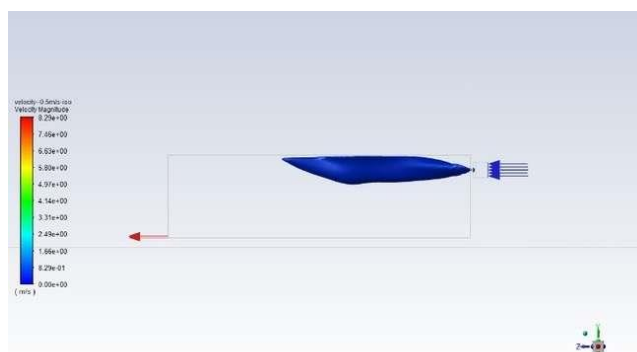
Σχήμα 5.7. Ροϊκές γραμμές για παροχή $Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.

Παρατηρήσεις :

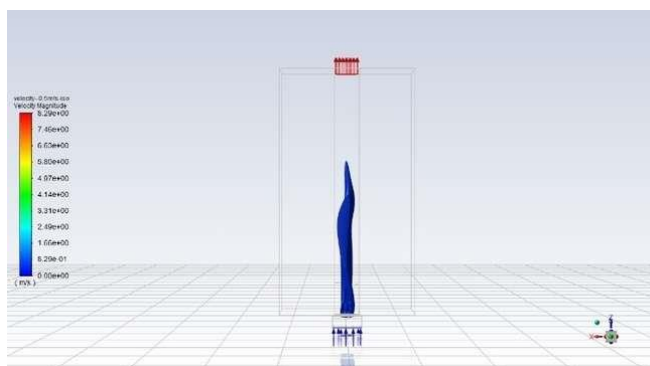
Από το **Σχήμα 5.2** παρατηρούμε ότι η ροή εξέρχεται οριζόντια από το στόμιο κλιματισμού σχηματίζοντας μια δέσμη jet που διαχέεται σχεδόν συμμετρικά στο χώρο, δηλαδή η ανύψωση ισούται με την πτώση και η διάχυση προς τα αριστερά ισούται με αυτή προς τα δεξιά. Επιπλέον παρατηρούμε ότι η ροή δεν επιδράει με κάποιο από τα τοιχώματα του δωματίου.

➤ Περίπτωση 2 - Παροχή $Q=200 \text{ [m}^3/\text{s]}$.

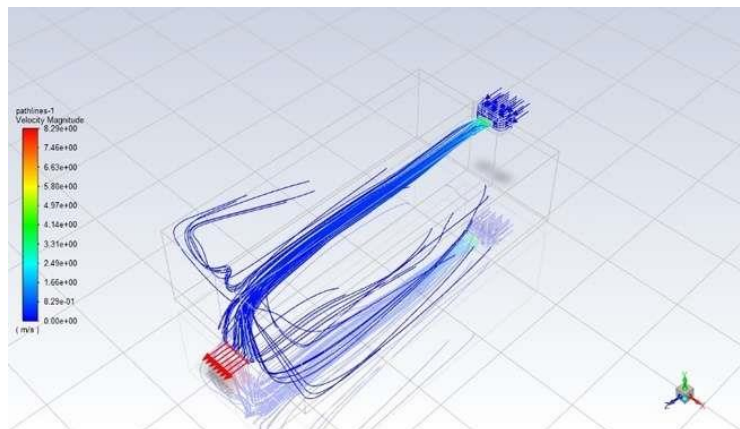
Συνοπτικά για παροχή $Q = 200 \text{ [m}^3/\text{s]}$ προκύπτουν :



Σχήμα 5.8. Πλάγια όψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=200 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.

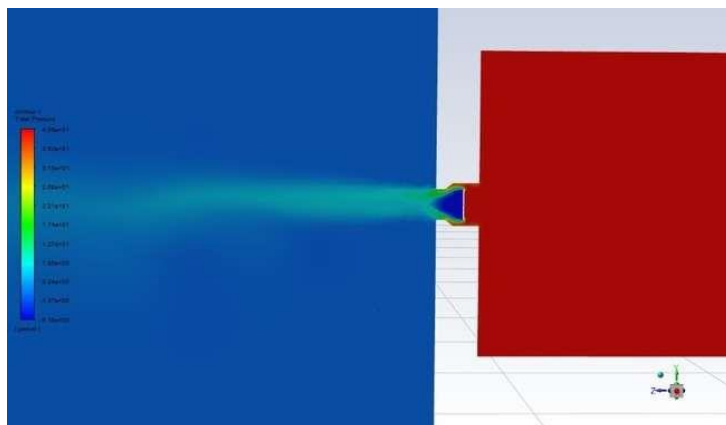


Σχήμα 5.9. Κάτοψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=200 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.



Σχήμα 5.10. Ροϊκές γραμμές για παροχή $Q=200 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο

STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.



Σχήμα 5.11. Διαφορά ολικής πίεσης στο στόμιο είσοδο – έξοδο, για παροχή $Q=200 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.

Παρατηρήσεις :

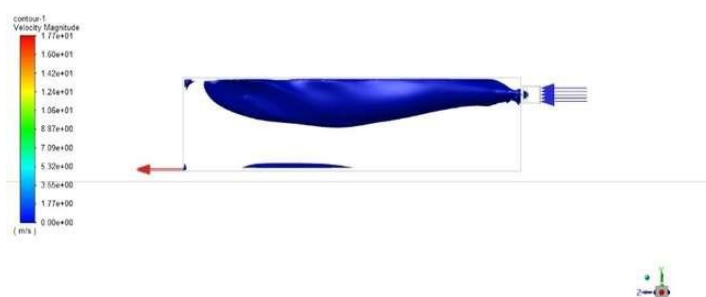
Από το **Σχήμα 5.6** παρατηρούμε ότι η ροή ανεβαίνει απότομα και «βρίσκει» την οροφή του δωματίου σχηματίζοντας ένα wall jet. Όπως είδαμε και στην θεωρία αυτό συμβαίνει λόγω του φαινομένου Coanda και της υπο-πίεσης που δημιουργείται ωθώντας την ροή να ανέβει και να κολλήσει στην οροφή. Επιπλέον επαληθεύουμε ότι η μέγιστη ταχύτητα της πλήρους ανεπτυγμένης δέσμης βρίσκεται στην επαφή με την οροφή καθώς εκεί παρατηρείται και το σημείο με το μέγιστο βεληνεκές.

Από το σημείο αυτό, η ανύψωση δεν έχει πλέον πρακτικό νόημα καθώς η οροφή την εμποδίζει. Για να μπορέσουμε να προχωρήσουμε σε συμπεράσματα για μεγαλύτερες παροχές, υπάρχουν δύο ενδεχόμενα: είτε να επεξεργαστούμε τον υπολογιστικό χώρο αυξάνοντας το ύψος της οροφής, είτε να προσεγγίσουμε τις τιμές για μεγαλύτερες παροχές. Επειδή ο βαθύτερος στόχος της εργασίας είναι να συγκριθούν τα αποτελέσματα με πειραματικά στοιχεία, και μια μεταβολή στο χώρο θα επηρεάσει όλες τις τιμές, επιλέγεται η δεύτερη επιλογή. Δηλαδή, για να μπορέσουμε να εξάγουμε αποτελέσματα και για τις επόμενες παροχές, θα χρησιμοποιήσουμε γραμμική Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας και Περιβάλλοντος 63

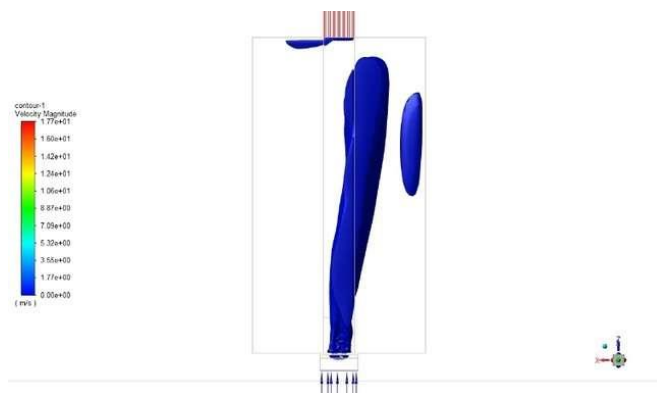
παρεμβολή με τα ήδη υπάρχοντα δεδομένα. Να σημειωθεί ότι για μεγαλύτερη ακρίβεια πάρθηκαν μετρήσεις και για παροχή $Q = 50 \text{ [m}^3/\text{s]}$.

➤ **Περίπτωση 4 - Παροχή $Q=400 \text{ [m}^3/\text{s]}$.**

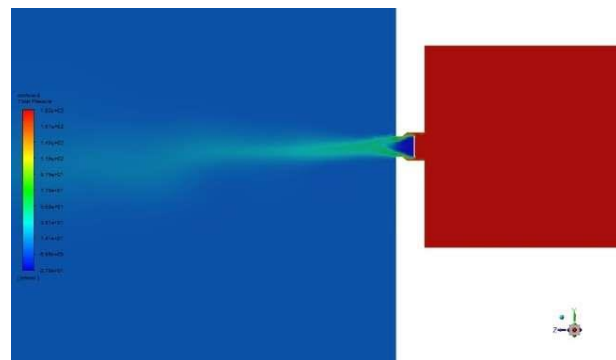
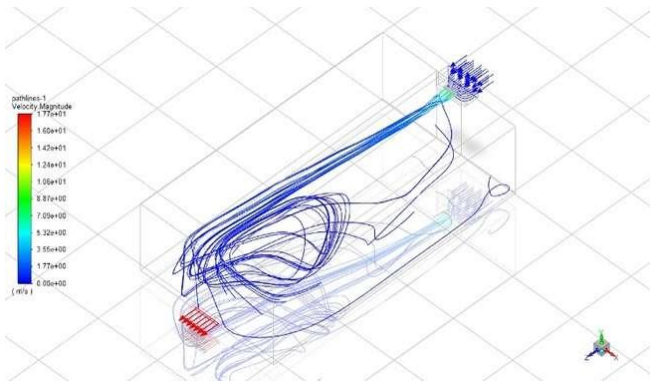
Συνοπτικά για παροχή $Q=400 \text{ [m}^3/\text{s]}$ προκύπτουν :



Σχήμα 5.12. Πλάγια όψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=400 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.



Σχήμα 5.13. Κάτοψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=400 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.



Σχήμα 5.14. Ροϊκές γραμμές για παροχή $Q=400 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.

Σχήμα 5.15. Διαφορά ολικής πίεσης στο στόμιο είσοδο – έξοδο, για παροχή $Q=400 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.

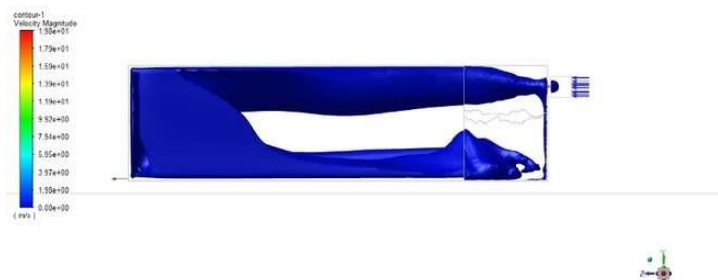
Παρατηρήσεις :

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι για παροχή $Q=400 \text{ m}^3/\text{s}$ η ενεργός ροή σχεδόν φθάνει τον απέναντι τοίχο ενώ η πτώση αγγίζει την περιοχή κατοίκησης (1.80 [m] από το δάπεδο). Για την ανύψωση και εδώ δε μπορούμε να εξάγουμε ακριβή αποτελέσματα καθώς χτυπάει την οροφή.

Επιπλέον από **Σχήμα 5.11** διακρίνεται ότι η ροή έχει μια κλίση προς τα δεξιά. Όντας το δωμάτιο και το στόμιο συμμετρικά ως προς τον άξονα ζ κάτι τέτοιο δε θα έπρεπε να υφίσταται και πρόκειται για υπολογιστικό σφάλμα το οποίο ωστόσο δεν επηρεάζει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων οπότε και αγνοούμε.

➤ **Περίπτωση 6 - Παροχή $Q=600 \text{ [m}^3/\text{s]}$**

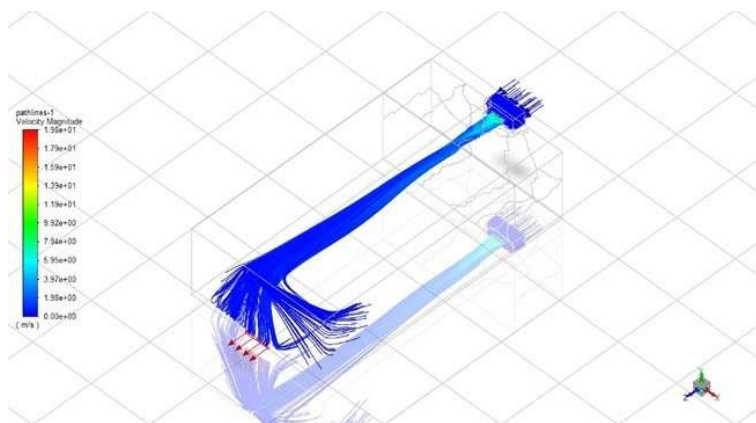
Συνοπτικά για παροχή $Q=600 \text{ [m}^3/\text{s]}$ προκύπτουν :



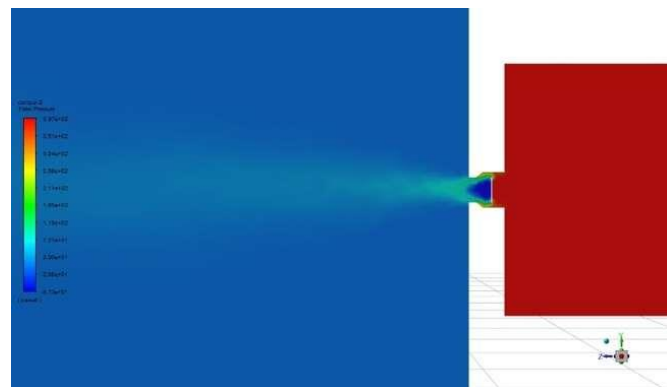
Σχήμα 5.16. Πλάγια όψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=600 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.



Σχήμα 5.17. Κάτοψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=600 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.



Σχήμα 5.18. Ροϊκές γραμμές για παροχή $Q=600 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.



Σχήμα 5.19. Διαφορά ολικής πίεσης στο στόμιο είσοδο – έξοδο, για παροχή $Q=600 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στη μεσαία θέση.

Παρατηρήσεις :

Από τις οπτικές απεικονίσεις γίνεται εύκολα διακριτό ότι η ροή πλέον χτυπά και τον απέναντι τοίχο καλύπτοντας ολόκληρο το μήκος του δωματίου 10 [m] . Για τις μετέπειτα παροχές το βεληνεκές θα βρίσκεται με γραμμική παρεμβολή. Επιπλέον παρατηρούμε ότι χτυπώντας τον Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας και Περιβάλλοντος

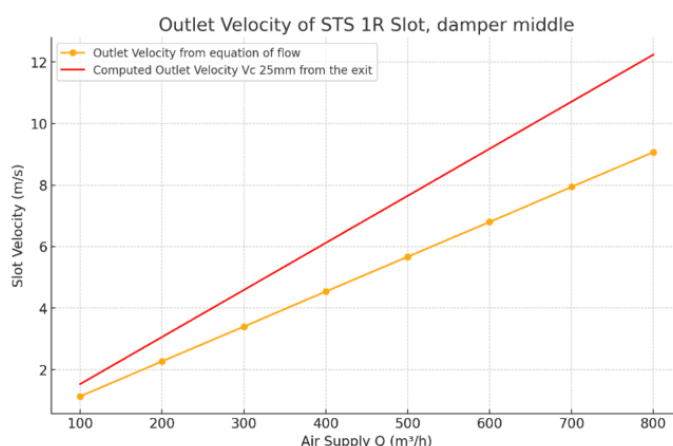
απέναντι τοίχο η ροή επιστρέφει προς τα πίσω και διαχέεται στο χώρο σε σημεία που δεν κατευθύνονταν πριν.

➤ Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα

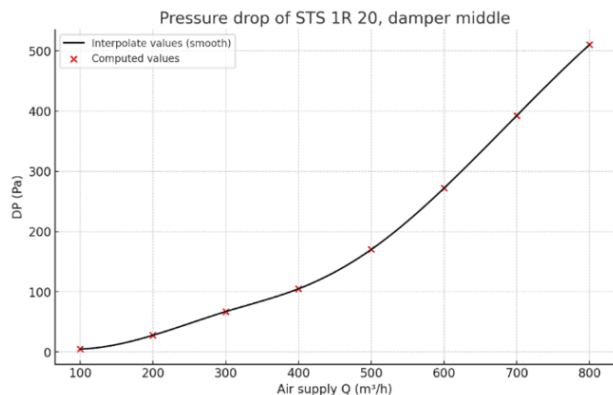
Στο σημείο αυτό παρουσιάζεται ο συγκεντρωτικός πίνακας με τα αποτελέσματα των υπολογιστικών μετρήσεων και στη συνέχεια οπτικοποιούνται και σχολιάζονται.

Πίνακας 7. Συγκεντρωτικά στοιχεία STS1R 20 με το σύρτη στη μεσαία θέση.

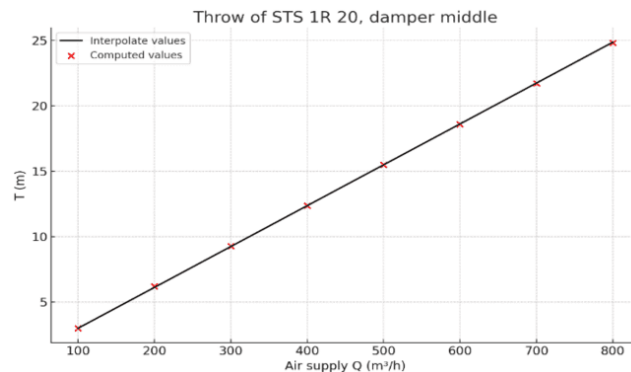
Παροχή Q [m^3/h]	Ταχύτητα Στομίου [m/s] <i>Από εξ. παροχής και συνέχειας.</i>	Ταχύτητα Εξόδου Στομίου V_c [m/s] <i>Μετρούμενη σε απόσταση 25mm από την έξοδο</i>	Πτώση Πίεσης Δp_a (Pa)	Βεληνεκές T [m]	Ανύψωση R [m]	Πτώση D [m]	Διάχυση S [m]	Θόρυβος NL [dB]
100	1.13	1.35	5.15	3.000	0.180	0.170	0.590	0.4
200	2.27	3.06	17.90	6.190	0.510	0.520	0.850	18.2
300	3.40	4.59	46.20	8.000	0.840	0.850	1.220	27.0
400	4.54	6.12	95.00	9.800	1.170	1.400	1.450	33.2
500	5.67	7.65	170.21	11.600	1.500	1.950	1.900	38.1
600	6.80	9.18	272.00	13.400	1.830	2.500	2.180	42.0
700	7.94	10.71	392.47	15.200	2.160	3.050	2.460	45.4
800	9.07	12.24	510.14	17.000	2.490	3.600	2.740	48.3



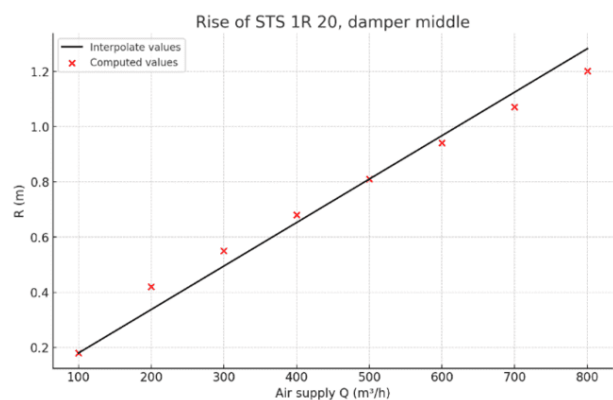
Σχήμα 5.20. Ταχύτητα εξόδου για το στόμιο STS1R με το σύρτη στη μεσαία θέση συναρτήσει της παροχής.



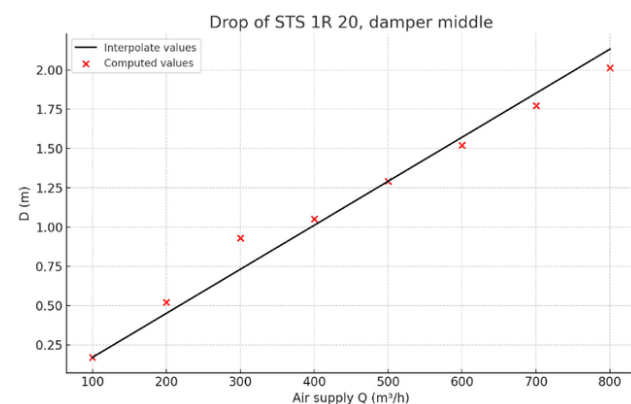
Σχήμα 5.21. Πτώση πίεσης για το στόμιο STS1R με το σύρτη στη μεσαία θέση.



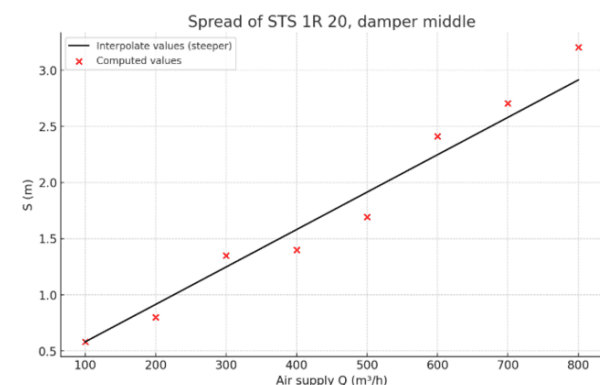
Σχήμα 5.22. Βεληνεκές για το στόμιο STS1R με το σύρτη στη μεσαία θέση.



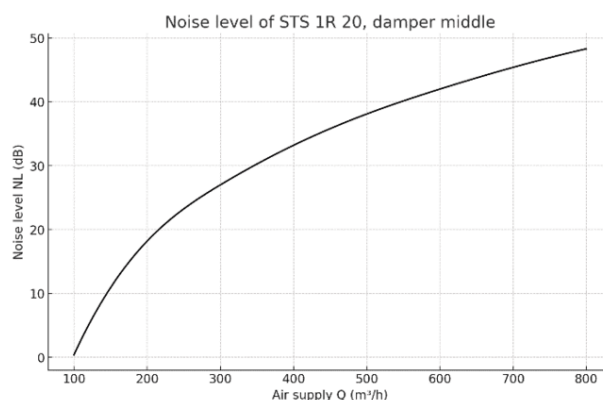
Σχήμα 5.23. Ανύψωση για το στόμιο STS1R με το σύρτη στη μεσαία θέση.



Σχήμα 5.24. Πτώση για το στόμιο STS1R με το σύρτη στη μεσαία θέση.



Σχήμα 5.25. Διάχυση για το στόμιο STS1R με το σύρτη στη μεσαία θέση.



Σχήμα 5.26. Θόρυβος για το στόμιο STS1R με το σύρτη στη μεσαία θέση.

Παρατηρήσεις :

Από το **Σχήμα 5.20** γίνεται φανερό ότι η ταχύτητα εξόδου μεταξύ εξίσωσης παροχής και υπολογιστικών μετρήσεων αποκλίνουν κατά μέσο όρο με ένα λόγο $\lambda = 1,34$. Η διαφορά αυτή οφείλεται στις παραδοχές της εξ. παροχής (σταθερή – πλήρως ανεπτυγμένη ροή δίχως τριβές και συμπίεση) καθώς επίσης και στη γεωμετρία του στομίου (σύγκλιση προς το τέλος με αποτέλεσμα η ενεργός διατομή εξόδου να είναι μικρότερη). Βάση των νέων τιμών εξόδων μέγιστη παροχή μπορεί να θεωρηθεί η $Q = 700 \text{ [m}^3/\text{s]}$.

Για την πτώση πίεσης (**Σχήμα 5.21**) το διάγραμμα δείχνει μια μη γραμμική αύξηση της πτώσης πίεσης με την αύξηση της παροχής αέρα, γεγονός που υποδηλώνει ότι η σχέση μεταξύ της παροχής αέρα και της πτώσης πίεσης είναι εκθετική ή ακολουθεί ένα πολυωνυμικό πρότυπο. Ωστόσο, από παροχή $500 \text{ m}^3/\text{h}$ και ύστερα, η καμπύλη προσεγγίζει μια γραμμική αύξηση, υποδηλώνοντας μια πιο σταθερή σχέση μεταξύ παροχής αέρα και πτώσης πίεσης σε αυτό το εύρος κάτι το οποίο μεταφράζεται πως μπορούμε να προσεγγίσουμε τα αποτελέσματα για μεγαλύτερες παροχές.

Για τα χαρακτηριστικά Βεληνεκούς, Ανύψωσης και Διάχυσης παρατηρούμε ότι η αύξηση τους είναι σχεδόν γραμμική με την αύξηση της παροχής. Μικρές διακυμάνσεις μεταξύ των υπολογιστικών μετρήσεων και της γραμμής παρεμβολής είναι λογικές και μπορεί να οφείλονται τόσο σε υπολογιστικά σφάλματα όσο και στην ακρίβεια της μέτρησης. Ωστόσο τα αποτελέσματα που μπορούν να παρθούν από αυτή τη γραμμή θεωρούνται αξιόπιστα.

Από το **Σχήμα 5.26** παρατηρούμε ότι η αύξηση του θορύβου με την αύξηση της παροχής ακολουθεί παραβολική τάση. Αρνητικές τιμές θορύβου, για παροχές μικρότερες της $Q = 100 \text{ [m}^3/\text{s]}$ αποτελούν σφάλμα του εμπειρικού τύπου και αγνοούνται ως μηδαμινές.

5.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ STS 1R20 ΜΕ ΣΥΡΤΗ ΣΤΗ ΚΑΤΩ ΘΕΣΗ

Γνωρίζοντας πως η διατομή του στομίου στην έξοδο είναι $A_{C_{1R_{lower_pos}}} = 0.0245 [m^2]$

προκύπτει πως

$$V_i = Q \frac{A_c}{A_v} = 0.408Q$$

, επομένως καταλήγουμε :

Πίνακας 8. Ταχύτητα αεραγωγού και εξόδου στομίου ανά παροχή με βάση την εξίσωση της συνέχειας.

Σενάριο	Παροχή Q [m ³ /h]	Ταχύτητα εξόδου στομίου V _c [m/s]	Ταχύτητα Αεραγωγού V _i [m/s]
1	100	1.13	0.05
2	200	2.27	0.09
3	300	3.40	0.14
4	400	4.54	0.19
5	500	5.67	0.23
6	600	6.80	0.28
7	700	7.94	0.32
8	800	9.07	0.37
9	900	10.20	0.42

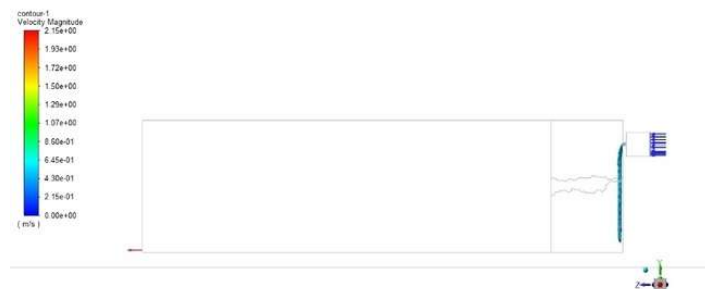
Σύμφωνα με τον **Πίνακα 6** η μέγιστη επιτρεπτή τιμή παροχής είναι Q=800 [m³/s] καθώς έπειτα η ταχύτητα εξόδου προσεγγίζει τη μέγιστη ενδεικνυόμενη τιμή V_c=10 [m/s].

Ακολουθούν απεικονίσεις με τα χαρακτηριστικά του στομίου STS 1R20 με το σύρτη στην κάτω θέση για τις περιπτώσεις παροχής Q=100,200,500 και 700 [m³/s], ενώ έπονται διαγράμματα με τα χαρακτηριστικά στοιχεία του στομίου ανά παροχή.

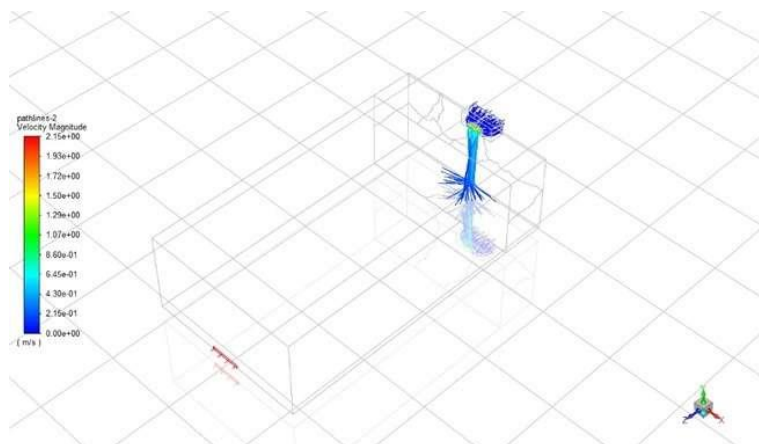
➤ **Περίπτωση 1 - Παροχή $Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$**



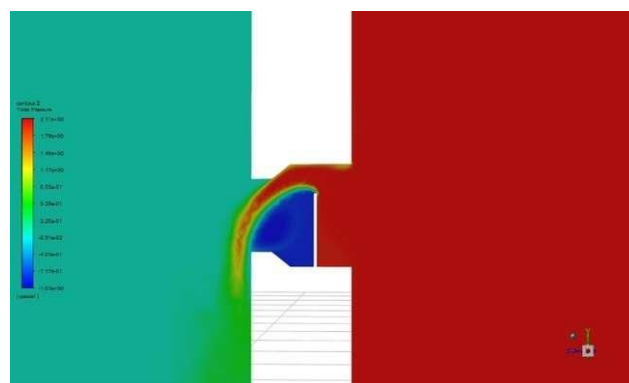
Σχήμα 5.27. Μπροστινή όψη για τις ισοεπιφανειακές στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην κάτω θέση, για παροχή $Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$



Σχήμα 5.28. Πλάγια όψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην κάτω θέση.



Σχήμα 5.29. Ροϊκές γραμμές στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην κάτω θέση, για παροχή $Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$

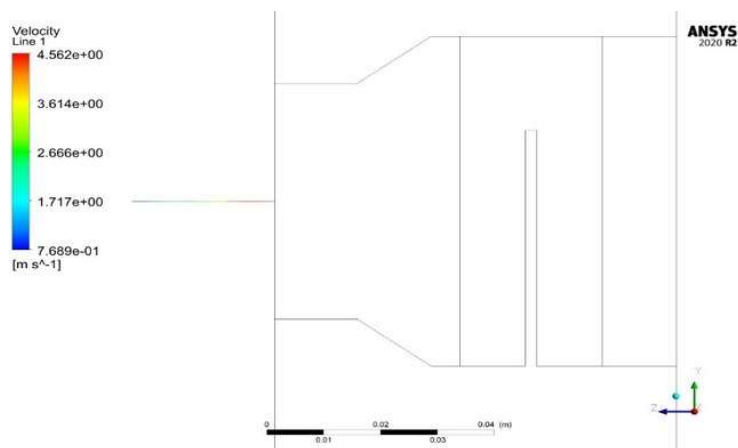


Σχήμα 5.30. Διαφορά ολικής πίεσης στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην κάτω θέση, για παροχή $Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$

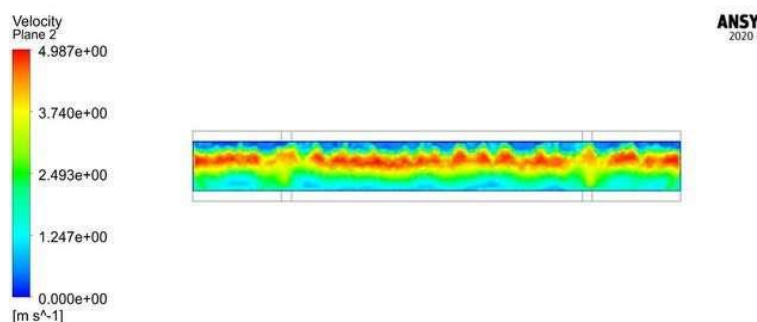
Από τις παραπάνω οπτικές απεικονίσεις γίνεται φανερό ότι η ροή εξέρχεται κατακόρυφα προς τα κάτω με γωνίας 90° και κολλάει στον τοίχο. Ο λόγος που γίνεται αυτό πέρα της γεωμετρίας του στομίου είναι και το φαινόμενο Coanda. Επιπλέον παρατηρούμε ότι ακόμα και για παροχή $Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$ η ροή οριακά βρίσκει το δάπεδο με το μέγεθος της πτώσης να είναι $D = 2.16 \text{ [m]}$. Για να μπορούν να προσεγγιστούν τα χαρακτηριστικά της πτώσης και για

μεγαλύτερες παροχές θα παρθούν μετρήσεις και για παροχή $Q = 50 \text{ [m}^3/\text{s]}$ και θα βρεθούν προσεγγιστικά.

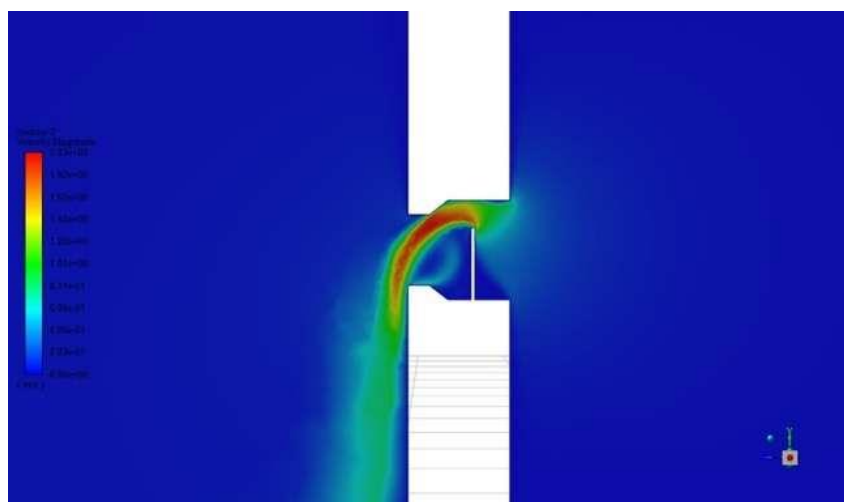
Τέλος όπως είναι αναμενόμενο λόγω της γεωμετρίας του στομίου, τα μεγέθη του βεληνικού και της ανύψωση είναι αμελητέα.



Σχήμα 5.31. Κατανομή ταχύτητας έως 25[mm] από την έξοδο του στομίου STS 1R 20, damper down.



Σχήμα 5.32. Κατανομή ταχύτητας κατά το επίπεδο της εξόδου του στομίου STS 1R 20, damper down.

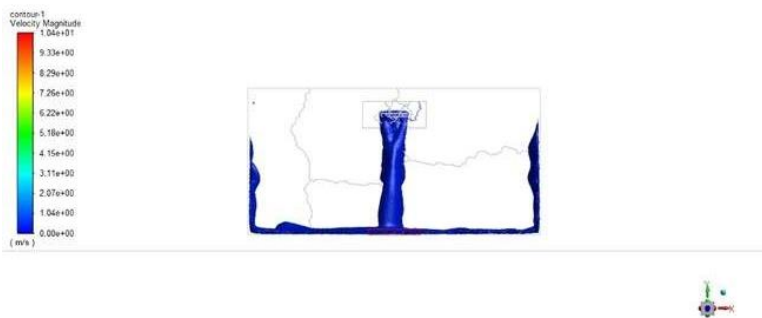


Σχήμα 5.33. Κατανομή Ταχύτητας για το στόμιο STS 1R 20, damper down.

Επιπλέον για τη ταχύτητα εξόδου στην περίπτωση αυτή, το σημείο μέτρησης ($\zeta = 25 \text{ [mm]}$) δεν είναι πλέον ιδανικό καθώς η ροή στρέφεται προς τα κάτω και η πληροφορία χάνεται. Θα

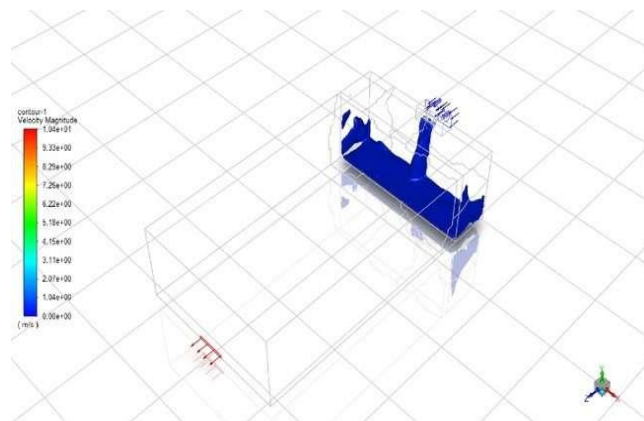
ελέγχουμε την ταχύτητα εξόδου από το μέσο όρο των ταχυτήτων της ροής στην έξοδο του στομίου καθώς επίσης και σε απόσταση 25 [mm] προς την κατεύθυνση της ροής.

➤ **Περίπτωση 2 - Παροχή $Q=200 \text{ [m}^3/\text{s]}$**

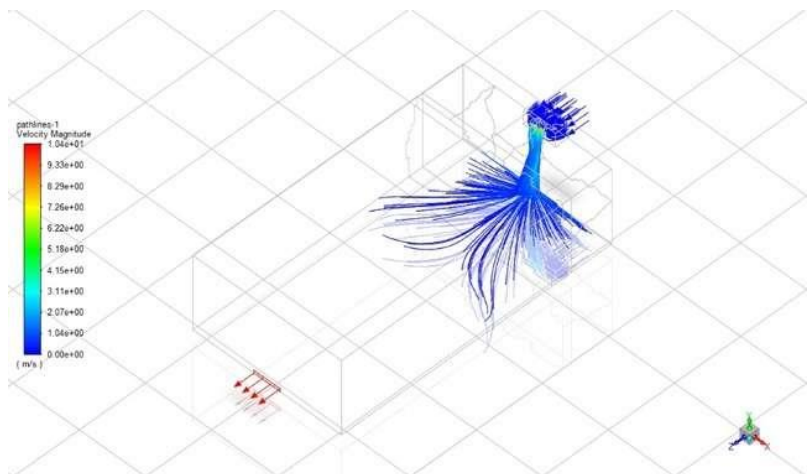


Σχήμα 5.34. Μπροστινή όψη για τις ισοεπιφανειακές στο στόμιο STS 1R20

με το damper στην κάτω θέση, για παροχή $Q=200 \text{ m}^3/\text{s}$

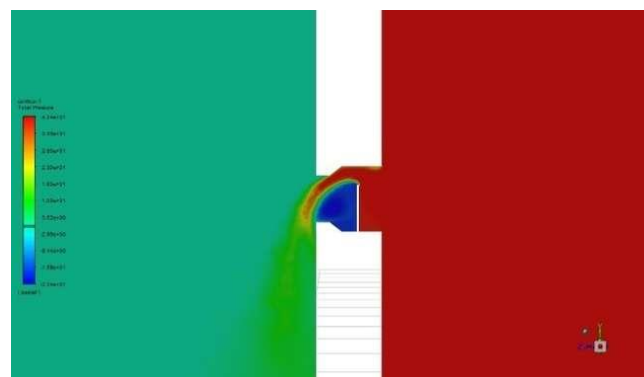


Σχήμα 5.35. Παραμετρική όψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=200 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην κάτω θέση.



Σχήμα 5.36. Ροϊκές γραμμές στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην κάτω

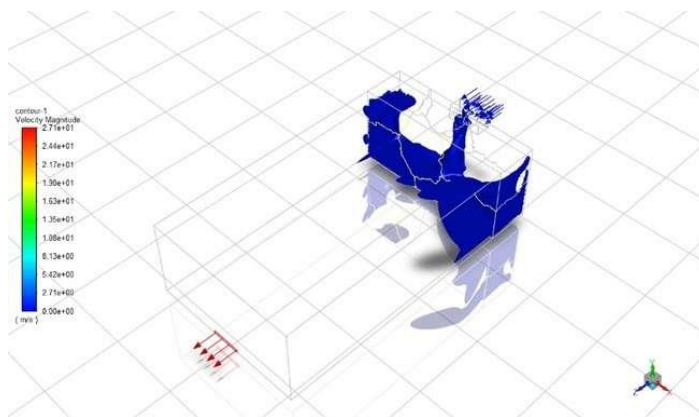
θέση, για παροχή $Q=200 \text{ m}^3/\text{s}$



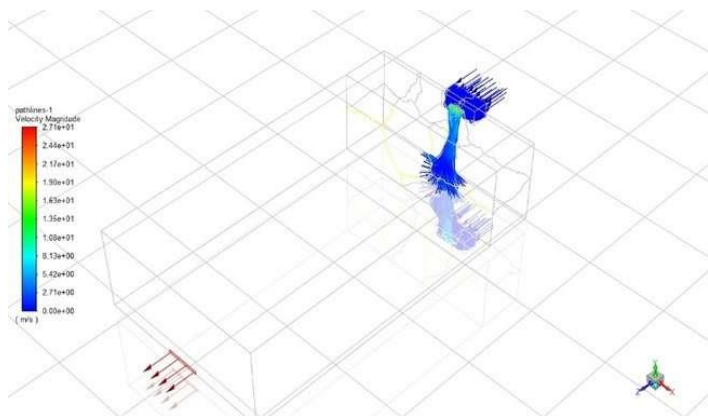
Σχήμα 5.37. Διαφορά ολικής πίεσης στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην κάτω θέση, για παροχή $Q=200 \text{ m}^3/\text{s}$

Με την παροχή των $Q=200 \text{ m}^3/\text{s}$ παρατηρούμε πως η ροή βρίσκει το δάπεδο και μάλιστα με ταχύτητα, «αναγκάζοντας» τη να διαδοθεί προς τα πλάγια. Το βεληνεκές αν και συνεχίζει να είναι αρκετά μικρό, μετριέται στα 0.4 [m] .

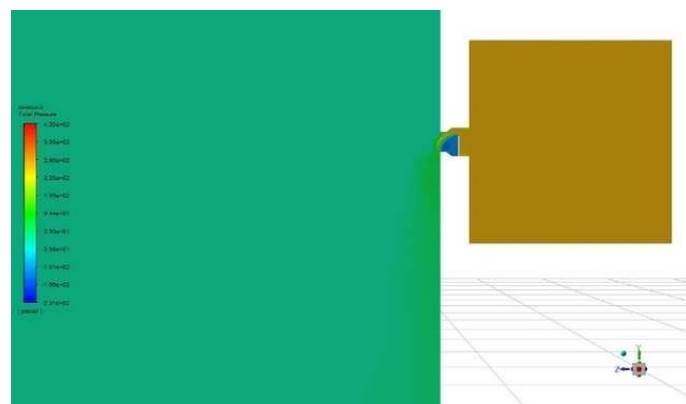
➤ **Περίπτωση 5 - Παροχή $Q=500 \text{ [m}^3/\text{s]}$**



Σχήμα 5.38. Παραμετρική όψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=500 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην κάτω θέση.



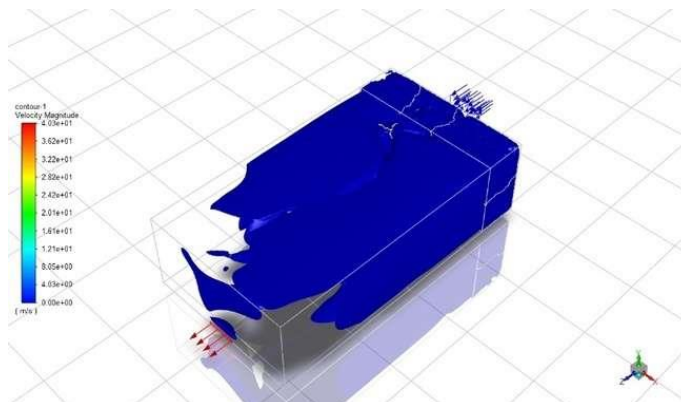
Σχήμα 5.39. Ροϊκές γραμμές στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην κάτω θέση, για παροχή $Q=500 \text{ m}^3/\text{s}$



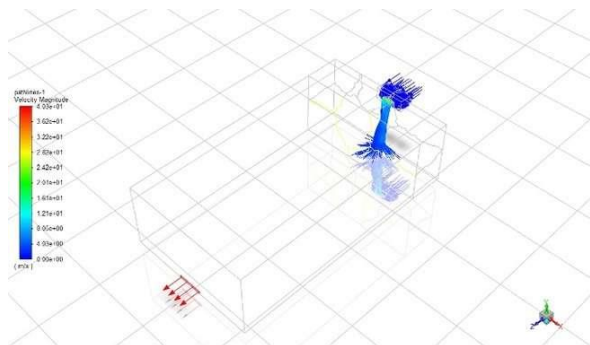
Σχήμα 5.40. Διαφορά ολικής πίεσης στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην κάτω θέση, για παροχή $Q=500 \text{ m}^3/\text{s}$

Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, με την παροχή των $Q=500 \text{ m}^3/\text{s}$ παρατηρούμε πως η ροή χτυπάει με ταχύτητα το δάπεδο και εξαπλώνεται προς τα πλάγια.

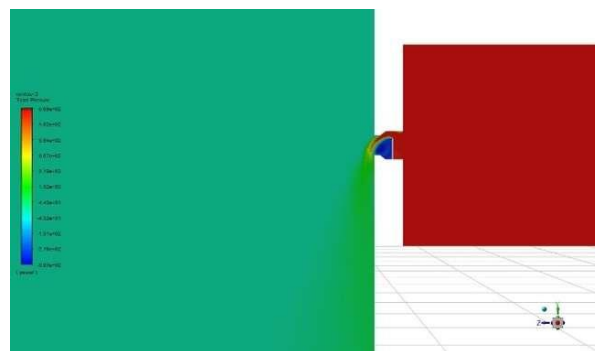
➤ **Περίπτωση 7 - Παροχή $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$**



Σχήμα 5.41. Παραμετρική όψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην κάτω θέση.



Σχήμα 5.42. Ροϊκές γραμμές στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην κάτω θέση, για παροχή $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$



Σχήμα 5.43. Διαφορά ολικής πίεσης στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην κάτω θέση, για παροχή $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$

Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως η παροχή των $Q=700 \text{ m}^3/\text{s}$ είναι τόσο μεγάλη για το συγκεκριμένο στόμιο και δωμάτιο που μέσω των τοιχωμάτων που συγκρούεται, εξαπλώνει τη ροή σε όλο το χώρο καλύπτοντας τον σχεδόν όλο. Αυτό μπορεί να φανεί στο **Σχήμα 5.41**.

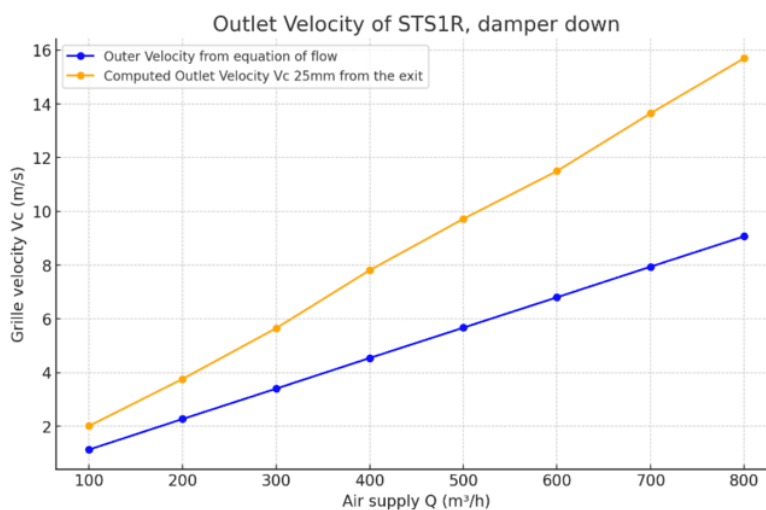
➤ Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα

Στο σημείο αυτό παρουσιάζεται ο συγκεντρωτικός πίνακας με τα αποτελέσματα των υπολογιστικών μετρήσεων και στη συνέχεια οπτικοποιούνται και σχολιάζονται.

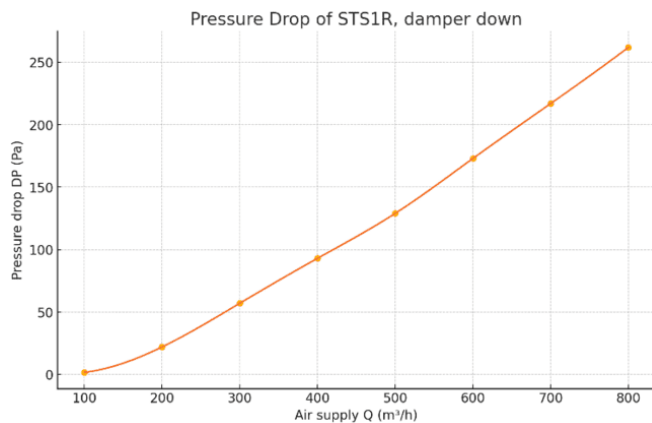
Πίνακας 9. Συγκεντρωτικά στοιχεία STS1R 20 με το σύρτη στην κάτω θέση.

Παροχή Q [m^3/h]	Ταχύτητα Στομίου [m/s] <i>Από εξ. παροχής και συνέχειας.</i>	Ταχύτητα Στομίου V_c [m/s]	Πτώση Πίεσης Δp_a (Pa)	Βεληνεκές T [m]	Ανύψωση R [m]	Πτώση D [m]	Διάχυση S [m]	Θόρυβος NL [dB]
100	1.13	2.01	1.61	0.210	0	2.160	0.440	-3.4
200	2.27	3.76	22.00	0.400	0	2.800	0.490	11.7
300	3.40	5.65	57.00	0.550	0	3.440	0.540	20.5
400	4.54	7.81	93.00	0.670	0	4.080	0.590	26.7
500	5.67	9.72	129.00	0.750	0	4.720	0.650	31.6
600	6.80	11.50	173.00	0.820	0	5.360	0.700	35.5
700	7.94	13.65	217.00	0.900	0	6.000	0.750	38.9
800	9.07	15.70	262.00	0.970	0	6.640	0.800	41.8

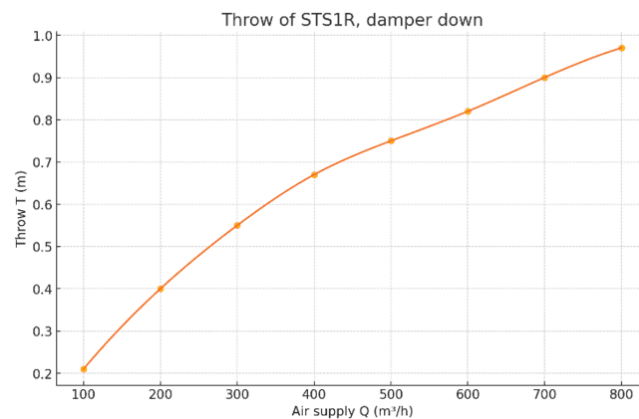
Σημείωση : Θεωρούμε ταχύτητα εξόδου V_c τη μέση ταχύτητα που έχει η ροή στην επιφάνεια εξόδου του στομίου.



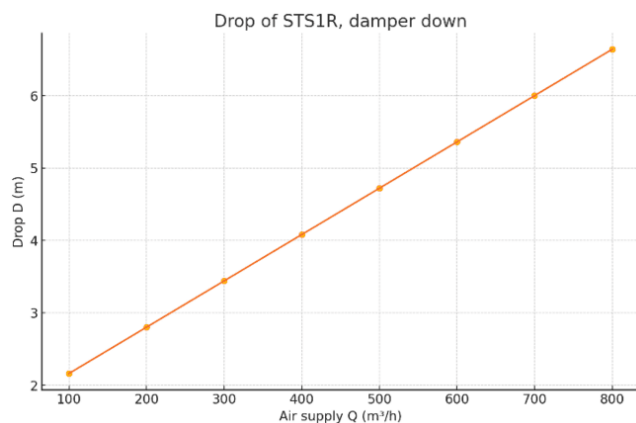
Σχήμα 5.44. Ταχύτητα εξόδου για το στόμιο STS1R με το σύρτη στην κάτω θέση.



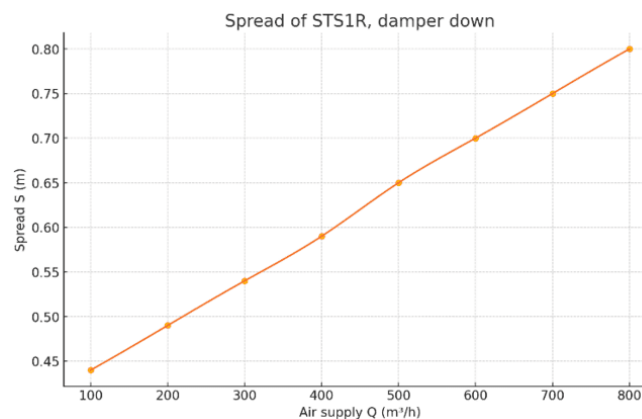
Σχήμα 5.45. Πτώση Πίεσης για το στόμιο STS1R με το σύρτη στην κάτω θέση.



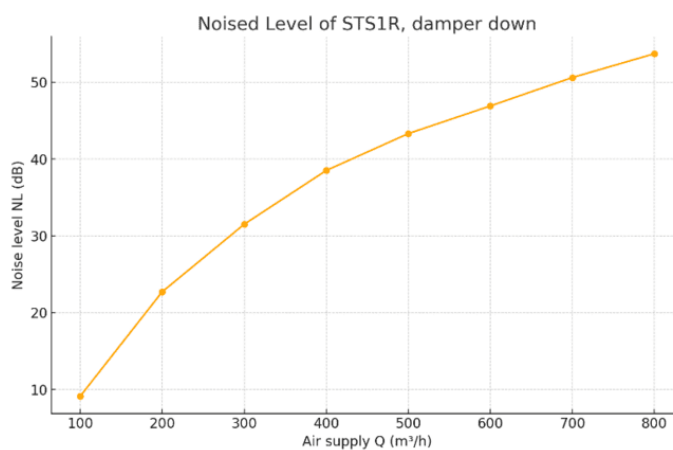
Σχήμα 5.46. Βεληνεκές για το στόμιο STS1R με το σύρτη στην κάτω θέση.



Σχήμα 5.47. Πτώση για το στόμιο STS1R με το σύρτη στην κάτω θέση.



Σχήμα 5.48. Διάχυση για το στόμιο STS1R με το σύρτη στην κάτω θέση.



Σχήμα 5.49. Θόρυβος για το στόμιο STS1R με το σύρτη στην κάτω θέση.

Από το **Σχήμα 5.44** παρατηρούμε πως η σχέση μεταξύ των ταχυτήτων εξόδων που αναμέναμε από την εξίσωση παροχής και αυτών που πράγματι υπολογίσαμε αποκλίνουν. Αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό από τη γεωμετρία του στομίου και τις παραδοχές της εξίσωσης παροχής που χρησιμοποιήσαμε (κλειστού αγωγού). Βάση των νέων δεδομένων μέγιστη παροχή πρέπει να θεωρείται $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$.

Για την πτώση πίεσης (**Σχήμα 5.45**) το διάγραμμα δείχνει αρχικά μια μη γραμμική αύξηση της πτώσης πίεσης έως $300 \text{ m}^3/\text{h}$, ενώ από εκεί και ύστερα η καμπύλη προσεγγίζει μια γραμμική αύξηση υποδηλώνοντας μια πιο σταθερή σχέση μεταξύ παροχής αέρα και πτώσης πίεσης. Συνεπώς από το τα $300 \text{ m}^3/\text{h}$ και έπειτα μπορούμε με σχετική ακρίβεια να προσεγγίζουμε την πτώση πίεσης μέσω γραμμικής παρεμβολής.

Για τα χαρακτηριστικά Βεληνεκούς, Πτώσης και Διάχυσης παρατηρούμε ότι η αύξηση τους είναι σχεδόν γραμμική με την αύξηση της παροχής. Μικρές διακυμάνσεις μεταξύ των υπολογιστικών μετρήσεων και της γραμμής παρεμβολής είναι λογικές και μπορεί να οφείλονται τόσο σε υπολογιστικά σφάλματα όσο και στην ακρίβεια της μέτρησης. Ωστόσο τα αποτελέσματα που μπορούν να παρθούν από αυτή τη γραμμή θεωρούνται αξιόπιστα. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι οι τιμές της πτώσης προσεγγίστηκαν από τις τιμές των $50 \text{ m}^3/\text{h}$ και $100 \text{ m}^3/\text{h}$.

Όσο αφορά το βεληνεκές είναι φανερό ότι ο σκοπός του στομίου δεν είναι να εκτοπίζει τη ροή σε μεγάλες αποστάσεις καθώς ακόμα και για τις μεγαλύτερες παροχές η τιμές είναι μικρές. Στο ίδιο μήκος κύματος βρίσκεται και η διάχυση. Αν αγνοήσουμε την επίδραση των τοίχων που βοηθούν στη διάχυση του αέρα στο χώρο το ίδιο το στόμιο δεν έχει μεγάλη επίδραση σε αυτό.

Τέλος παρατηρούμε ότι η αύξηση του θορύβου με την αύξηση της παροχής ακολουθεί παραβολική τάση. Επιπλέον αρνητικές τιμές θορύβου, για παροχές μικρότερες της $Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ αποτελούν σφάλμα του εμπειρικού τύπου και αγνοούνται.

5.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ STS 1R20 ΜΕ ΣΥΡΤΗ ΣΤΗΝ ΠΑΝΩ ΘΕΣΗ

Γνωρίζοντας πως η διατομή του στομίου στην έξοδο είναι $A_{C1Rupper_pos} = 0.0245 [m^2]$

προκύπτει πως

$$V_i = Q \frac{A_c}{A_v} = 0.408Q$$

, επομένως καταλήγουμε :

Πίνακας 10. Ταχύτητα αεραγωγού και εξόδου στομίου ανά παροχή με βάση την εξίσωση της συνέχειας.

Σενάριο	Παροχή $Q [m^3/h]$	Ταχύτητα εξόδου στομίου $V_c [m/s]$	Ταχύτητα Αεραγωγού $V_i [m/s]$
1	100	1.13	0.05
2	200	2.27	0.09
3	300	3.40	0.14
4	400	4.54	0.19
5	500	5.67	0.23
6	600	6.80	0.28
7	700	7.94	0.32
8	800	9.07	0.37
9	900	10.20	0.42

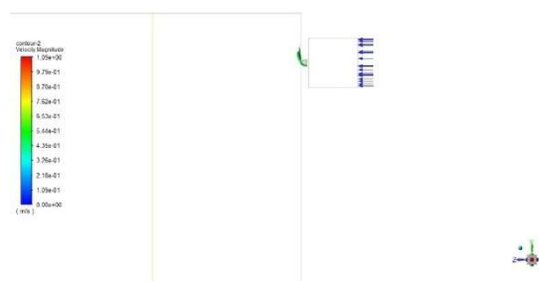
Σύμφωνα με τον **Πίνακα 8** η μέγιστη επιτρεπτή τιμή παροχής είναι $Q=800 [m^3/s]$ καθώς έπειτα η ταχύτητα εξόδου προσεγγίζει τη μέγιστη ενδεικνυόμενη τιμή $V_c=10 [m/s]$.

Έπειτα από προσομοιώσεις για την περίπτωση αυτή δε μπορούν να εξαχθούν επαρκή στοιχεία για την εύρεση και την προσέγγιση των χαρακτηριστικών. Λόγω της γεωμετρίας του χώρου και της θέσης του στομίου -αρκετά κοντά με την οροφή- ακόμα και για παροχή ίση με $Q = 50 m^3/s$ η ροή επιδρά με την οροφή οπότε τα χαρακτηριστικά από τις μετρήσεις αλλοιώνονται. Να σημειωθεί ότι μετρήσεις πάρθηκαν και για παροχή $Q = 20 m^3/s$, όπου και παρουσιάζονται.

Ωστόσο η προσέγγιση καμπύλων χαρακτηριστικών από μετρήσεις μικρών παροχών και κοντά σε μέγεθος μεταξύ τους δε μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστα.

Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι χαρακτηριστικά όπως Πτώση Πίεσης, και Θόρυβος μπορούν να προσεγγιστούν με μεγάλη ακρίβεια από τις καμπύλες του στόμιού STS 1R 20 με το σύρτη στην κάτω θέση. Αυτό συμβαίνει διότι τα χαρακτηριστικά αυτά εξαρτώνται σε απόλυτο βαθμό από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του στομίου.

Παροχή $Q=20 \text{ m}^3/\text{s}$

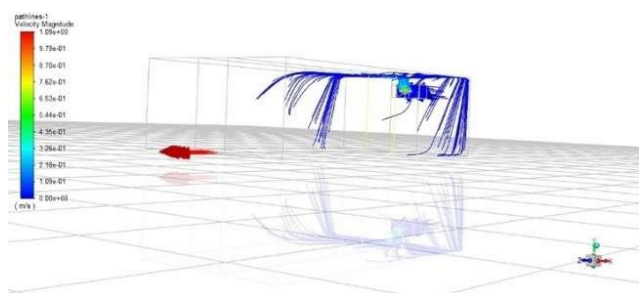


Σχήμα 5.50. Πλάγια όψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=20 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην πάνω θέση.

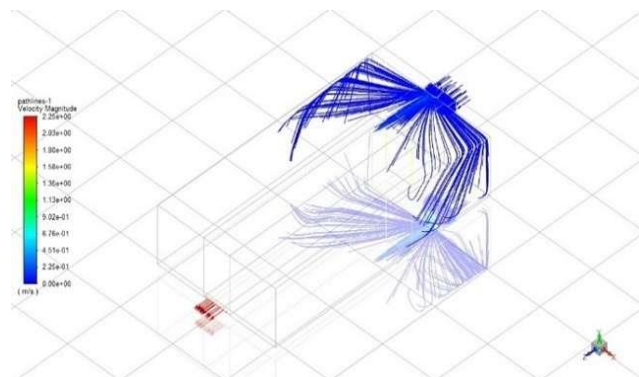
Παροχή $Q=50 \text{ m}^3/\text{s}$



Σχήμα 5.51. Πλάγια όψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=50 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην πάνω θέση.



Σχήμα 5.52. Ροικές γραμμές στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην πάνω θέση, για παροχή $Q=20 \text{ m}^3/\text{s}$



Σχήμα 5.53. Ροικές γραμμές στο στόμιο STS 1R20 με το damper στην πάνω θέση, για παροχή $Q=50 \text{ m}^3/\text{s}$

5.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ STS2R20 ΜΕ ΣΥΡΤΗ ΣΤΗ ΜΕΣΑΙΑ ΘΕΣΗ

Στο υποκεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν και θα σχολιαστούν τα αποτελέσματα για το στόμιο STS2R 20 με το σύρτη στη μεσαία θέση,

Γνωρίζοντας πως η διατομή του στομίου στην έξοδο είναι $A_{C_{2R_{middle}}} = 0.090 [m^2]$ προκύπτει πως

$$V_i = Q \frac{A_c}{A_v} = 0.408Q$$

, και επομένως καταλήγουμε για τις ταχύτητες :

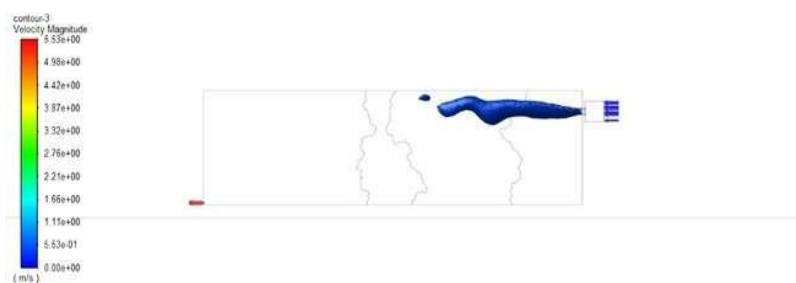
Πίνακας 11. Ταχύτητα αεραγωγού και εξόδου στομίου ανά παροχή με βάση την εξίσωση της συνέχειας.

Σενάριο	Παροχή	Ταχύτητα εξόδου στομίου	Ταχύτητα Αεραγωγού
	Q [m ³ /h]	V _c [m/s]	V _i [m/s]
1	100	0.57	0.05
2	200	1.13	0.09
3	300	1.70	0.14
4	400	2.27	0.19
5	500	2.83	0.23
6	600	3.40	0.28
7	700	3.97	0.32
8	800	4.54	0.37
9	900	5.10	0.42
10	1000	5.67	0.46
11	1100	6.24	0.51
12	1200	6.80	0.56
13	1300	7.37	0.60
14	1400	7.94	0.65
15	1500	8.50	0.69
16	1600	9.07	0.74
17	1700	9.64	0.79
18	1800	10.20	0.83

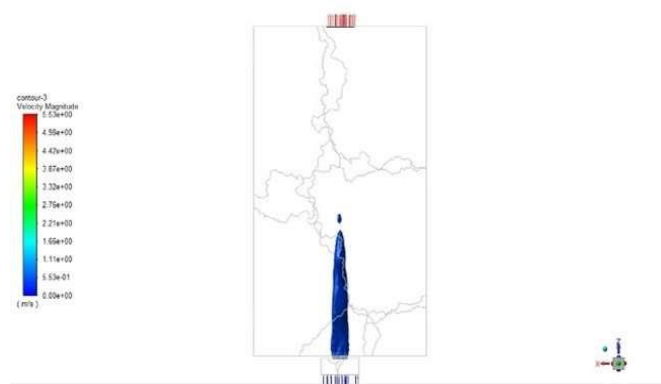
Σύμφωνα με τα στοιχεία από τον **Πίνακα 10**, η μέγιστη παροχή που μπορεί να μεταφέρει το στόμιο είναι $Q = 1700 \left[\frac{m^3}{s} \right]$, έπειτα η ταχύτητα εξόδου γίνεται μεγαλύτερη από την επιτρεπτή.

Με βάση αυτά στη συνέχεια θα παρουσιαστούν συνοπτικά τα οπτικά αποτελέσματα για τις παροχές $Q = 200, 600$ και $1300 \left[\frac{m^3}{s} \right]$.

➤ Περίπτωση 2- Παροχή $Q=200 [m^3/s]$.



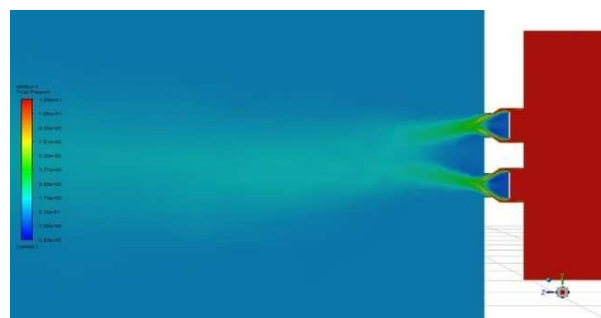
Σχήμα 5.54. Πλάγια όψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=200 m^3/s$ στο στόμιο STS 2R20 με το damper στη μεσαία θέση.



Σχήμα 5.55. Κάτοψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=200 m^3/s$ στο στόμιο STS 2R20 με το damper στη μεσαία θέση.



Σχήμα 5.56. Ροϊκές γραμμές για παροχή $Q=600 m^3/s$ στο στόμιο STS 2R20 με το damper στη μεσαία θέση.

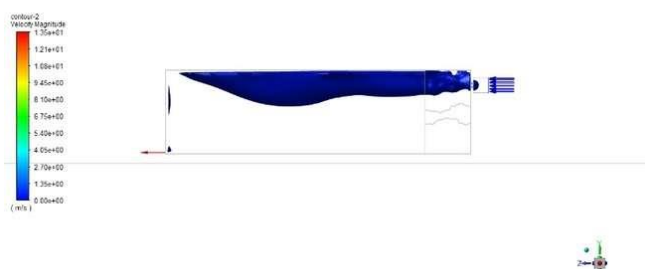


Σχήμα 5.57. Διαφορά ολικής πίεσης στο στόμιο είσοδο – έξοδο, για παροχή $Q=200 m^3/s$ στο στόμιο STS 2R20 με το damper στη μεσαία θέση.

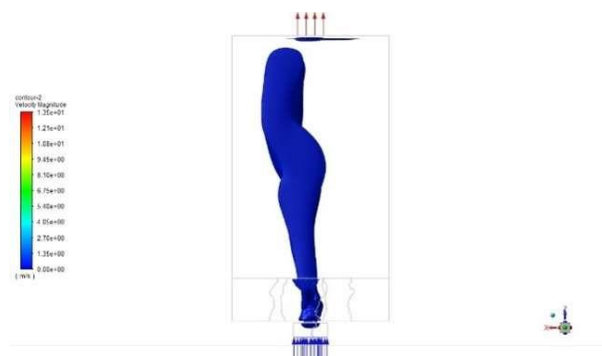
Όπως διακρίνεται από το **Σχήμα 5.52** οι ροές που εξέρχονται από τα δύο υποστόμια ενώνονται σε μια απόσταση περίπου 150-200 [mm] από την έξοδο, δημιουργώντας μια ενιαία ροή.

Στην περίπτωση αυτή, όπου η παροχή είναι $Q=200$ [m^3/s], παρατηρούμε πως η ροή εξέρχεται οριζόντια από το στόμιο κλιματισμού σχηματίζοντας μια δέσμη jet που διαχέεται σχεδόν συμμετρικά στο χώρο, δηλαδή η ανύψωση ισούται με την πτώση και η διάχυση προς τα αριστερά ισούται με αυτή προς τα δεξιά. Ακόμα και για τη μικρή σχετικά αυτή παροχή η ροή καλύπτει απόσταση 3.73 [m] στο μήκος ενώ διαχέεται κατά 0.53[m], με μια πτώση πίεσης μόλις στα 12 [Pa].

➤ **Περίπτωση 6 - Παροχή $Q=600$ [m^3/s].**



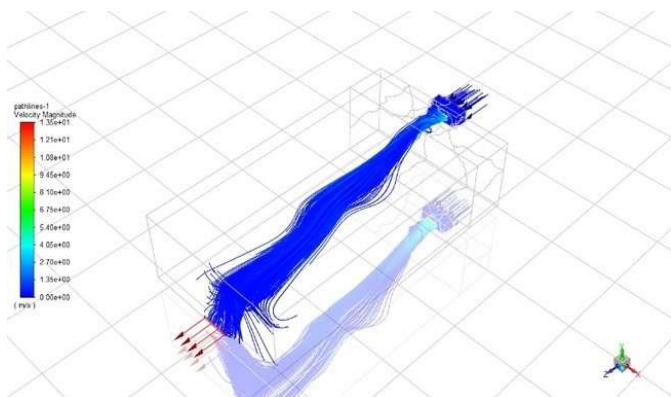
Σχήμα 5.58. Πλάγια όψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=600$ m^3/s στο στόμιο STS 2R20 με το damper στη μεσαία θέση.



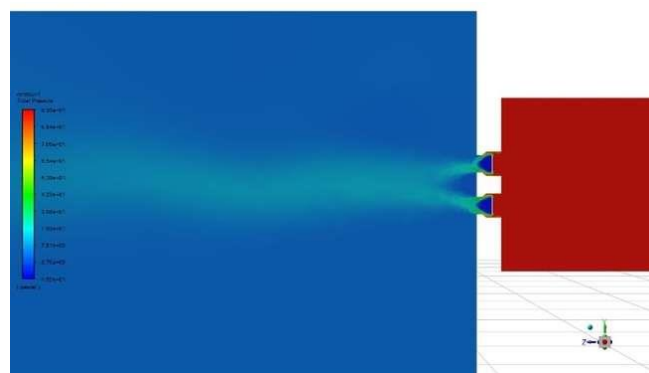
Σχήμα 5.59. Κάτοψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=600$ m^3/s στο στόμιο STS 2R20 με το damper στη μεσαία θέση.

Για παροχή $Q=600$ [m^3/s] η ενεργός ροή σχεδόν φθάνει τον απέναντι τοίχο με το βεληνεκές να είναι $T=9.40$ [m]. Επιπλέον παρατηρούμε πως η ροή πλέον επιδρά με την οροφή και επομένως σχηματίζεται ροή τύπου wall jet,

Επιπλέον στο **Σχήμα 5.54** διακρίνεται ότι η ροή έχει μια κλίση προς τα αριστερά. Όντας το δωμάτιο και το στόμιο συμμετρικά ως προς τον άξονα ζ κάτι τέτοιο δε θα έπρεπε να υφίσταται και πρόκειται για υπολογιστικό σφάλμα το οποίο ωστόσο δεν επηρεάζει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων οπότε και αγνοούμε.

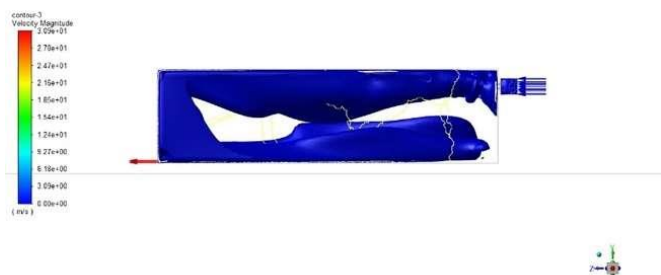


Σχήμα 5.60. Ροϊκές γραμμές για παροχή $Q=600 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 2R20 με το damper στη μεσαία θέση.



Σχήμα 5.61. Διαφορά ολικής πίεσης στο στόμιο είσοδο – έξοδο, για παροχή $Q=600 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 2R20 με το damper στη μεσαία θέση.

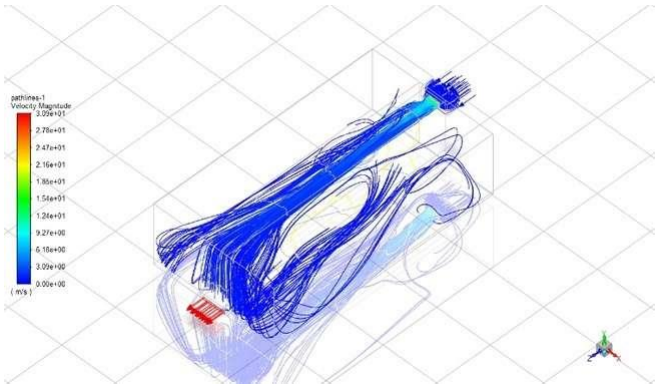
➤ Περίπτωση 13 - Παροχή $Q=1300 \text{ m}^3/\text{s}$



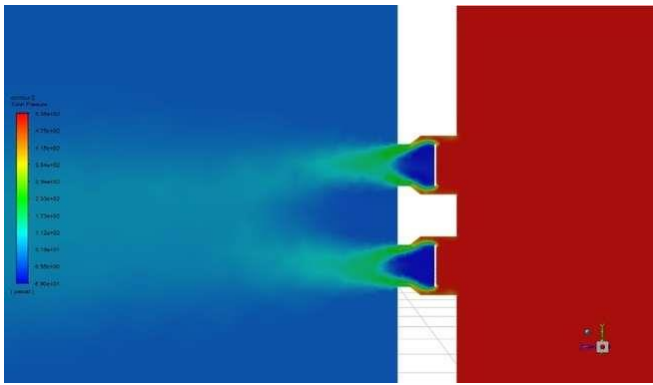
Σχήμα 5.62. Πλάγια όψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=1300 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 2R20 με το damper στη μεσαία θέση.



Σχήμα 5.63. Κάτοψη ισο-επιφανειακής ταχύτητας 0.5 m/s για παροχή $Q=1300 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 2R20 με το damper στη μεσαία θέση.



Σχήμα 5.64. Ροϊκές γραμμές για παροχή $Q=1300 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 2R20 με το damper στη μεσαία θέση.



Σχήμα 5.65. Διαφορά ολικής πίεσης στο στόμιο είσοδο – έξοδο, για παροχή $Q=1300 \text{ m}^3/\text{s}$ στο στόμιο STS 2R20 με το damper στη μεσαία θέση.

Στην περίπτωση που η παροχή είναι $Q=1300 \text{ m}^3/\text{s}$ παρατηρούμε πως η ροή χτυπάει τον απέναντι τοίχο με αποτέλεσμα να την επιστρέφει και να την διαχέει προς τα πίσω στο χώρο.

➤ **Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα**

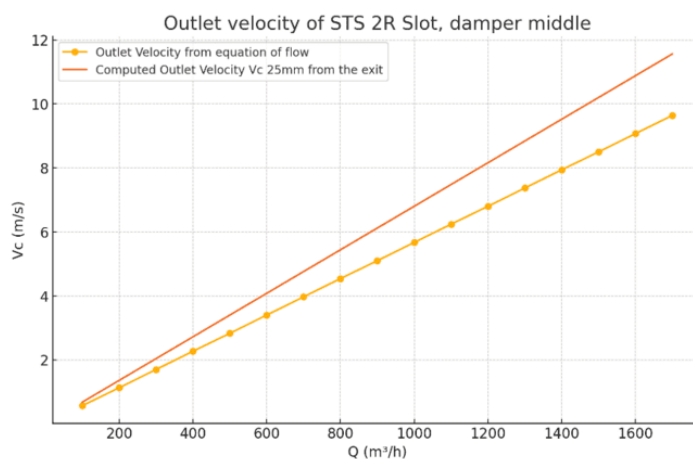
Στο σημείο αυτό παρουσιάζεται ο συγκεντρωτικός πίνακας με τα αποτελέσματα των υπολογιστικών μετρήσεων και στη συνέχεια οπτικοποιούνται και σχολιάζονται.

Πίνακας 12. Συγκεντρωτικά στοιχεία STS2R 20 με το σύρτη στη μεσαία θέση.

Παροχή $Q \text{ [m}^3/\text{h]}$	Ταχύτητα Στομίου $[\text{m/s}]$ Από εξ. παροχής και συνέχειας.	Ταχύτητα Εξόδου $V_c \text{ [m/s]}$ Λεπτομέρειες στη Σημείωση.	Ταχύτητα στο σημείο Ένωσης των Ρωών $[\text{m/s}]$. <i>Μετρούμενη 150 και 250 [mm] από το κεντρικό σημείο του συνολικού στομίου.</i>		Πτώση Πίεσης $\Delta p \text{ (Pa)}$	Βεληνεκές $T \text{ [m]}$	Ανύψωση $R \text{ [m]}$	Πτώση $D \text{ [m]}$	Διάχυση $S \text{ [m]}$	Θόρυβος $NL \text{ [dB]}$
			150 [mm]	200 [mm]						
100	0.57	1.95	0.16	0.98	4.05	1.41	0.09	0.10	0.26	-15.42
200	1.13	2.50	1.14	1.30	7.63	3.73	0.26	0.28	0.53	-0.37
300	1.70	3.06	1.77	2.04	12.05	4.23	0.27	0.31	0.77	8.43
400	2.27	3.61	2.40	2.78	20.32	5.65	0.36	0.41	1.02	14.68
500	2.83	4.17	3.01	3.52	35.20	7.06	0.45	0.51	1.28	19.53
600	3.40	4.72	3.64	4.26	57.60	9.39	0.54	0.70	1.50	23.48

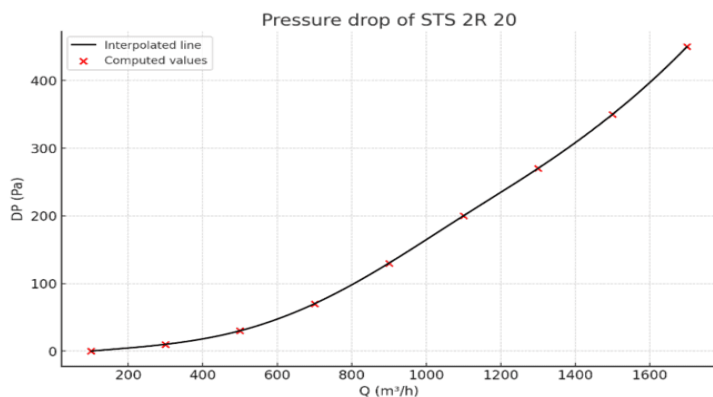
700	3.97	5.30	4.24	4.83	93.31	9.88	0.63	0.71	1.60	26.83
800	4.54	5.87	4.84	5.41	129.02	11.29	0.73	0.82	1.75	29.73
900	5.10	6.45	5.44	5.99	164.73	12.70	0.82	0.92	1.86	32.29
1000	5.67	7.02	6.05	6.56	200.44	14.12	0.91	1.15	1.99	34.58
1100	6.24	7.50	6.65	7.13	236.15	15.53	1.00	1.12	2.08	36.65
1200	6.80	8.17	7.30	7.71	271.86	16.94	1.09	1.22	2.12	38.54
1300	7.37	8.70	7.90	8.29	310.00	18.35	1.18	1.36	2.21	40.27
1400	7.94	9.32	8.45	8.86	343.26	19.76	1.27	1.43	2.35	41.88
1500	8.50	9.80	9.06	9.44	378.99	21.17	1.36	1.53	2.42	43.38
1600	9.07	10.40	9.66	10.00	414.70	22.59	1.45	1.63	2.53	44.78
1700	9.64	11.00	10.27	10.59	449.00	24.00	1.54	1.68	2.23	46.10

Σημείωση : Θεωρούμε ταχύτητα εξόδου V_c του στομίου ως σύνολο, την ταχύτητα που θα είχε, αν τα δύο υπο-στόμια ήταν ομοιόμορφα ενωμένα μεταξύ τους. Η ταχύτητα αυτή ισούται με την ταχύτητα που έχει το κάθε υπο-στόμιο μετρούμενη σε απόσταση 25mm από την έξοδο του.

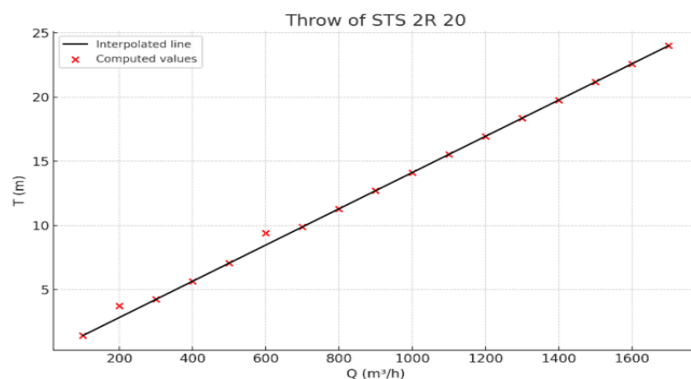


Σχήμα 5.67. Ταχύτητα εξόδου για το στόμιο STS2R με το σύρτη στη μεσαία θέση.

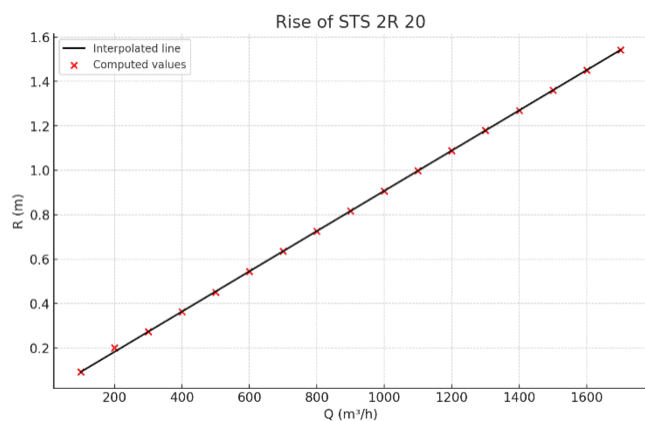
Όπως αναφέρεται και στον **Πίνακα 11**, ταχύτητα εξόδου V_c , θεωρούμε την ταχύτητα που θα είχε το στόμιο αν τα δύο υπο-στόμια ήταν ομοιόμορφα ενωμένα μεταξύ τους. Η ταχύτητα αυτή ισούται με την ταχύτητα που έχει το κάθε υπο-στόμιο μετρούμενη σε απόσταση 25mm από την έξοδο του. Η διαφορά μεταξύ των τιμών από την εξίσωση παροχής και τα υπολογιστικά δεδομένα προκύπτουν από τις παραδοχές της εξίσωσης της παροχής και λόγω της γεωμετρίας του στομίου.



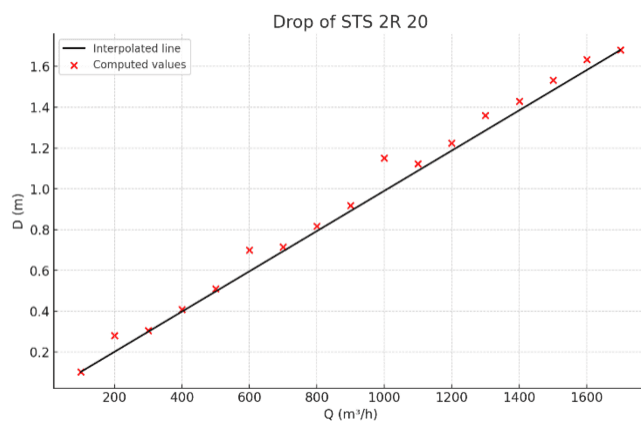
Σχήμα 5.68. Πτώση Πίεσης για το στόμιο STS2R με το σύρτη στη μεσαία θέση.



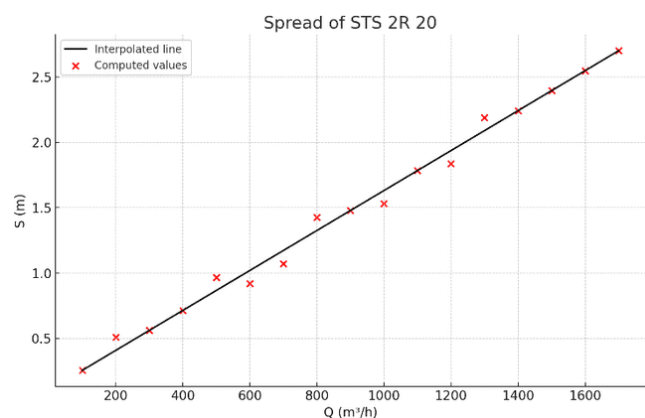
Σχήμα 5.69. Βεληνεκές για το στόμιο STS2R με το σύρτη στη μεσαία θέση.



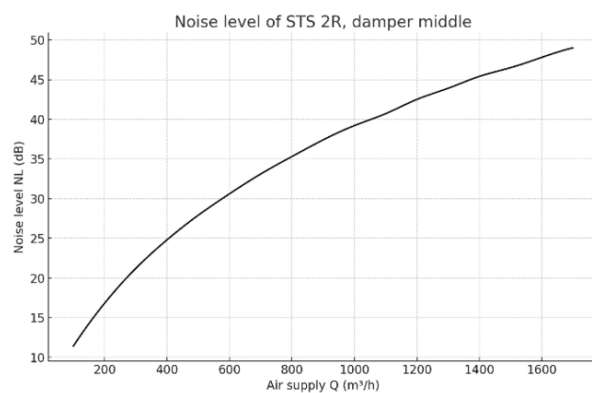
Σχήμα 5.70. Ανύψωση για το στόμιο STS2R με το σύρτη στη μεσαία θέση.



Σχήμα 5.71. Πτώση για το στόμιο STS2R με το σύρτη στη μεσαία θέση.



Σχήμα 5.72. Διάχυση για το στόμιο STS2R με το σύρτη στη μεσαία θέση.



Σχήμα 5.73. Θόρυβος για το στόμιο STS2R με το σύρτη στη μεσαία θέση.

Παρατηρήσεις :

Από το **Σχήμα 5.67** γίνεται φανερό ότι η ταχύτητα εξόδου μεταξύ εξίσωσης παροχής και υπολογιστικών μετρήσεων αποκλίνουν κατά μέσο όρο με ένα λόγο $\lambda = 1,15$. Βάση των νέων τιμών εξόδων μέγιστη παροχή μπορεί να θεωρηθεί η $Q = 1500 \text{ [m}^3/\text{s]}$.

Για την πτώση πίεσης (**Σχήμα 5.68**) η καμπύλη υποδηλώνει μια μη γραμμική αύξηση της πτώσης πίεσης με την αύξηση της παροχής αέρα έως την παροχή των $700 \text{ m}^3/\text{h}$. Από εκεί και ύστερα, η καμπύλη προσεγγίζει τη γραμμική, υποδηλώνοντας μια πιο σταθερή σχέση μεταξύ παροχής αέρα και πτώσης πίεσης σε αυτό το εύρος κάτι το οποίο μεταφράζεται πως μπορούμε να προσεγγίσουμε τα αποτελέσματα για μεγαλύτερες παροχές με σχετική ευκολία.

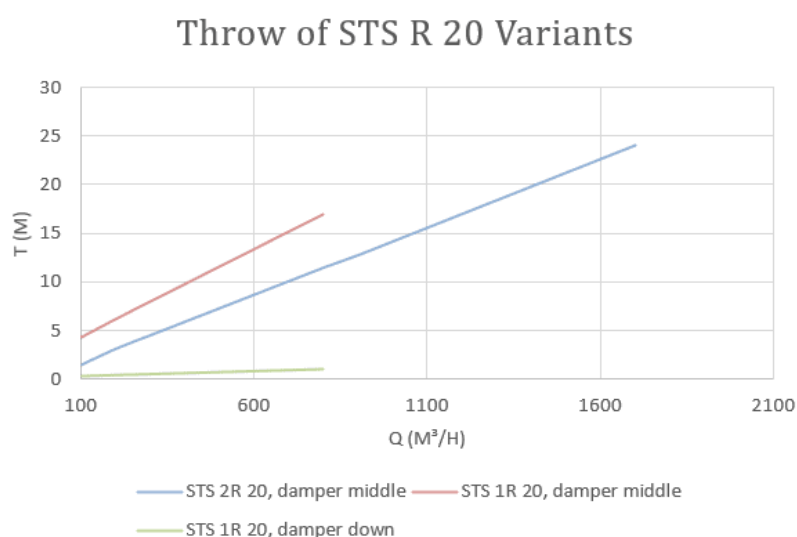
Για τα χαρακτηριστικά Βεληνεκούς, Ανύψωσης και Διάχυσης παρατηρούμε ότι η αύξηση τους είναι σχεδόν γραμμική με την αύξηση της παροχής. Μικρές διακυμάνσεις μεταξύ των υπολογιστικών μετρήσεων και της γραμμής παρεμβολής είναι λογικές και μπορεί να οφείλονται τόσο σε υπολογιστικά σφάλματα όσο και στην ακρίβεια της μέτρησης. Ωστόσο τα αποτελέσματα που μπορούν να παρθούν από αυτή τη γραμμή θεωρούνται αξιόπιστα.

Τέλος για το θόρυβο σημαντικά είναι να αναφερθούν ότι στον εμπειρικό τύπο θεωρήθηκαν ως επιφάνεια εξόδου το άθροισμα των δύο επιφανειών εξόδου των υποστομίων ενώ για ταχύτητα επιλέχθηκε η ταχύτητα εξόδου V_c του **Πίνακα 11**. Επιπλέον οι οποιεσδήποτε αρνητικές τιμές οφείλονται σε σφάλματα του εμπειρικού τύπου και θεωρούνται σχεδόν μηδενικές.

5.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

Στο σημείο αυτό θα παρουσιαστούν συγκριτικά διαγράμματα με τα χαρακτηριστικά των στομίων που μελετήσαμε και θα σχολιασθούν.

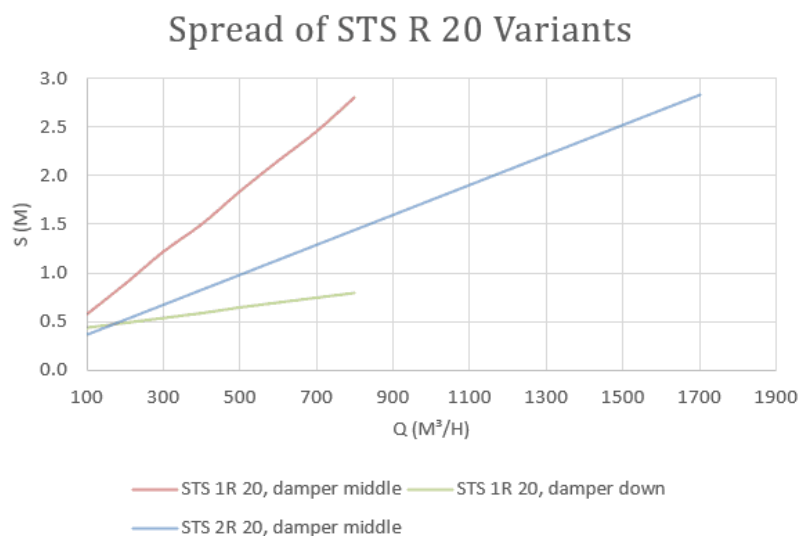
- Σύγκριση Βεληνεκούς



Σχήμα 5.74. Συγκριτικό διάγραμμα βεληνεκούς για τα στόμια.

Από το παραπάνω διάγραμμα είναι φανερό ότι το στόμιο με το σύρτη προς τα κάτω δεν είναι δημιουργημένο με σκοπό να διαχέει τον αέρα σε μεγάλη απόσταση κατά μήκος καθώς το βεληνεκές είναι οριακά στο μηδέν. Από την άλλη πλευρά παρατηρούμε ότι για ίδια παροχή το στόμιο STS 1R έχει μεγαλύτερο βεληνεκές από το STS 2R κατά περίπου 2-3 [m]. Ωστόσο λόγω του ότι το STS 2R μπορεί να εξυπηρετήσει και μεγαλύτερα μεγέθη παροχών, έχει την ικανότητα εν τέλει να ξεπεράσει σε βεληνεκές το STS 1R.

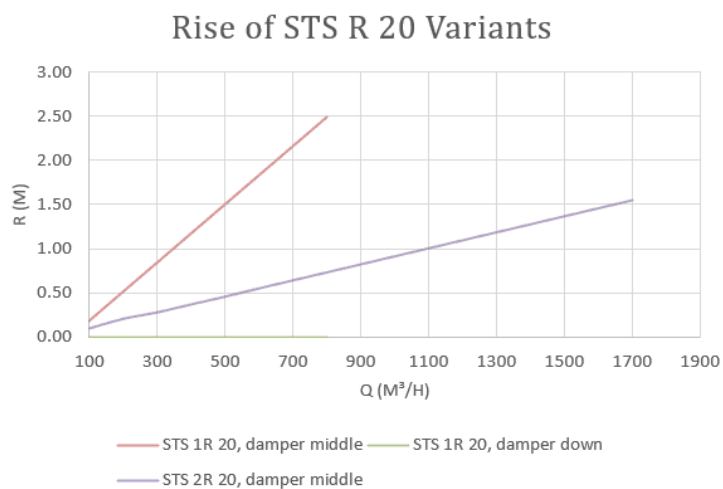
- Σύγκριση Διάχυσης



Σχήμα 5.75. Συγκριτικό διάγραμμα διάχυσης των στομίων.

Και στην περίπτωση αυτή παρατηρούμε πως το στόμιο STS με το σύρτη στην κάτω θέση δεν είναι ιδανικό για διάχυση του αέρα, οι τιμές παραμένουν σταθερές παρά την αύξηση της παροχής. Από την άλλη πλευρά παρατηρούμε πως για ίδιες τιμές παροχής το στόμιο STS 1R έχει αρκετά μεγαλύτερες τιμές διάχυσης από την STS 2R. Ωστόσο και πάλι λόγω του ότι η δεύτερη μπορεί να πάρει μεγαλύτερες τιμές παροχής, δίνει τη δυνατότητα να ξεπεράσει τις τιμές διάχυσης της STS 1R.

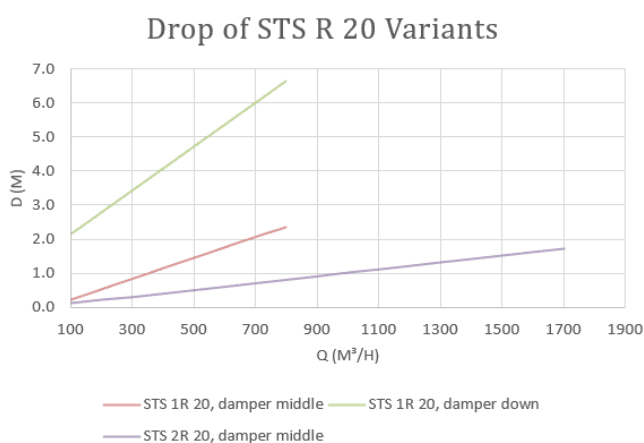
- **Σύγκριση Ανύψωσης**



Σχήμα 5.76. Συγκριτικό διάγραμμα Ανύψωσης

Για την καμπύλη ανύψωση παρατηρούμε πως το στόμιο STS 1R έχει αρκετά μεγαλύτερη κλίση από αυτή του STS 2R. Στην περίπτωση αυτή ακόμα και οι μεγαλύτερες παροχές που μπορούν να διαπεράσουν το δεύτερο στόμιο δε το βοηθούν να φτάσεις τις τιμές ανύψωσης του πρώτου.

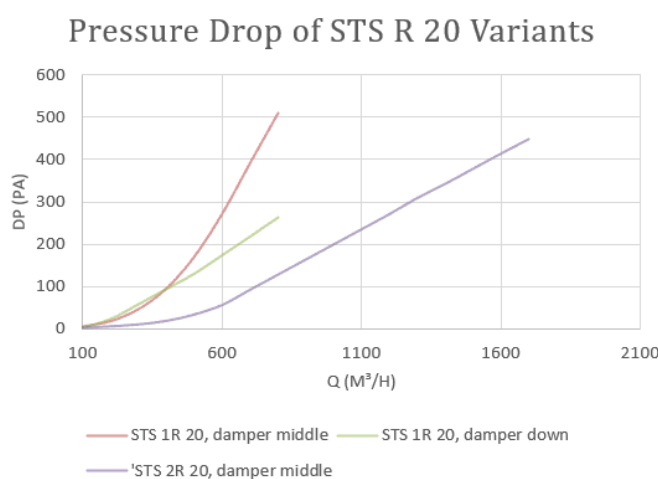
- **Σύγκριση Πτώσης**



Σχήμα 5.77. Συγκριτικό διάγραμμα Πτώσης των στομίων.

Ξεκάθαρος «νικητής» στη σύγκριση της πτώσης ανά την παροχή είναι το στόμιο STS 1R με το σύρτη την κάτω θέση. Αυτό είναι φυσιολογικό διότι η γεωμετρία και ο σκοπός δημιουργίας του είναι να ωθεί τη ροή προς τα κάτω. Ακόμα και για την πιο μικρή παροχή $Q = 100$ [m³/s] η πτώση στο στόμιο αυτό είναι κατά

- Σύγκριση Πτώσης Πίεσης

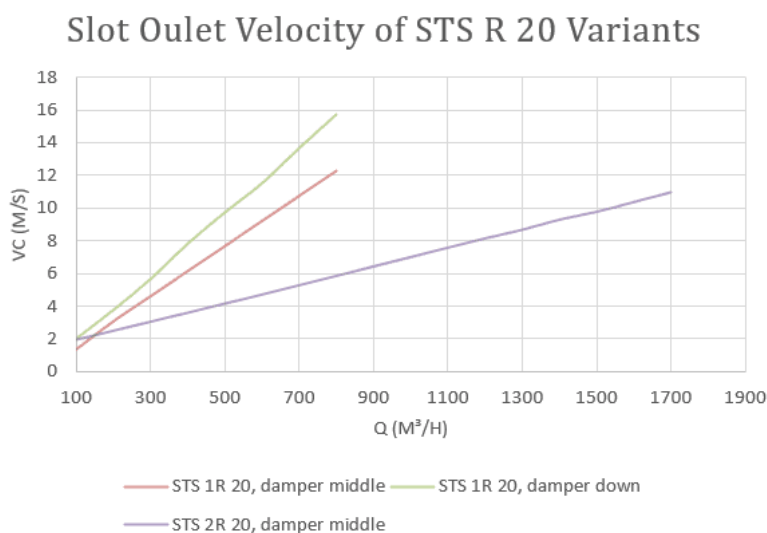


Σχήμα 5.78. Σύγκριση Πτώσης Πίεσης για τα στόμια.

Από τις καμπύλες πτώσης ολικής πίεσης του **Σχήματος 5.78** παρατηρούμε ότι η κλίση της αύξησης στην περίπτωση του στομίου STS 1R με το σύρτη στη μεσαία θέση είναι η πιο απότομη. Για κάθε παροχή, η πτώση πίεσης είναι σχεδόν διπλάσια σε σύγκριση με αυτή του στομίου STS 2R.

- **Σύγκριση Ταχυτήτων Εξόδου**

Πριν προχωρήσουμε στη σύγκριση, οφείλουμε να υπενθυμίσουμε ότι για τις υποπεριπτώσεις όπου ο σύρτης ήταν στη μεσαία θέση, ως ταχύτητα εξόδου θεωρήθηκε η ταχύτητα που είχε η ροή στην οριζόντια απόσταση 25 mm από την έξοδο. Στην περίπτωση του στομίου με το σύρτη προς τα κάτω, λόγω του ότι η ροή στρέφεται και η πληροφορία στο προηγούμενο σημείο θα ήταν εσφαλμένη, θεωρήθηκε ως ταχύτητα εξόδου ο μέσος όρος της ταχύτητας στην επιφάνεια εξόδου του στομίου. Με βάση αυτά προκύπτει :



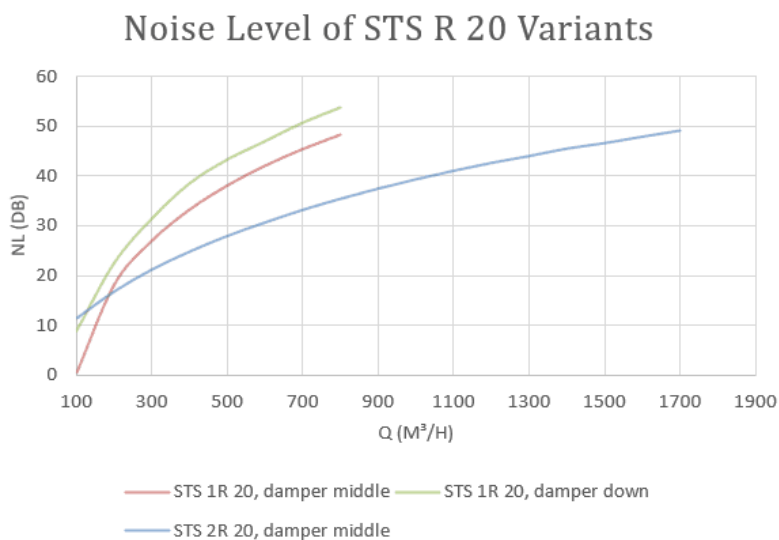
Σχήμα 5.79. Ταχύτητα Εξόδου προς παροχή για όλα τα στόμια.

Παρατηρούμε ότι στην περίπτωση που ο σύρτης είναι προς τα κάτω, η ροή εξέρχεται με μεγαλύτερη ταχύτητα από ό,τι στις περιπτώσεις που είναι στη μεσαία θέση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο διαθέσιμος χώρος στο στόμιο μειώνεται, συνεπώς η ταχύτητα αυξάνεται για να διατηρηθεί σταθερή η παροχή. Ωστόσο, αυτό περιορίζει το στόμιο σε μικρότερες παροχές. Παράλληλα, για τα στόμια με τον σύρτη στη μεσαία θέση, παρατηρούμε ότι το διπλό στόμιο (2R)

έχει μικρότερη ταχύτητα εξόδου για την ίδια παροχή σε σύγκριση με το μονό, προσφέροντας δυνατότητες μεγαλύτερης παροχής και με μικρότερο θόρυβο, όπως θα δούμε παρακάτω.

- **Σύγκριση Στάθμης Θορύβου**

Εδώ και πάλι πρέπει να αναφερθεί ότι, βάσει του εμπειρικού τύπου (Εξ. 2,1), χρησιμοποιείται η ταχύτητα που διαπερνάει το στόμιο, V_c . Επειδή αυτή η ταχύτητα δεν είναι σταθερή και ούτε εύκολο να βρεθεί, θεωρήθηκε πως ισοδυναμεί με την μετρούμενη ταχύτητα στην έξοδο, V_k . Μια μικρή υποσημείωση είναι ότι, για την περίπτωση όπου ο σύρτης ήταν στην κάτω θέση, η ταχύτητα πάρθηκε από τον μέσο όρο στην έξοδο.



Σχήμα 5.80. Συγκριτικό διαγράμμα για τη στάθμη θορύβου των τριών στομίων.

Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι το στόμιο STS 1R 20 με το σύρτη στη μεσαία θέση έχει συνεχώς χαμηλότερο επίπεδο θορύβου σε σύγκριση με το στόμιο με το σύρτη προς τα κάτω για τις ίδιες παροχές, ενώ ο θόρυβος αυξάνεται πιο αργά. Το στόμιο STS 1R 20 με το σύρτη προς

τα κάτω παρουσιάζει το υψηλότερο επίπεδο θορύβου, λόγω της υψηλότερης ταχύτητας της ροής. Το στόμιο STS 2R 20 με το σύρτη στη μεσαία θέση έχει το χαμηλότερο επίπεδο θορύβου για τις ίδιες παροχές και προσφέρει δυνατότητες μεγαλύτερης παροχής χωρίς σημαντική αύξηση του θορύβου. Συνολικά, το STS 2R 20 με το σύρτη στη μεσαία θέση είναι πιο αποδοτικό ως προς τον χαμηλό θόρυβο, ακόμα και για μεγαλύτερες παροχές, ενώ το STS 1R 20 με το σύρτη προς τα κάτω παράγει τον περισσότερο θόρυβο.

6.0 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώθηκε στην υπολογιστική προσομοίωση του ροϊκού πεδίου αέρα από στόμια κλιματισμού με γρίλλες τύπου σχισμής και ρυθμιστικό σύρτη διεύθυνσης ροής. Τα στόμια αυτά αποδείχθηκαν αποτελεσματικά στη ρύθμιση της κατεύθυνσης και της ταχύτητας της ροής αέρα. Οι προσομοιώσεις έδειξαν ότι η προσαρμογή της θέσης του σύρτη επιτρέπει την ομοιόμορφη διανομή του αέρα στον κλιματιζόμενο χώρο, βελτιώνοντας τις συνθήκες θερμικής άνεσης και μειώνοντας τις περιοχές στάσιμου αέρα.

Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά των στομίων, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η θέση του σύρτη και το μέγεθος του στομίου τα επηρεάζουν σημαντικά. Αυτό σημαίνει ότι κάθε στόμιο είναι φτιαγμένο για διαφορετικές καταστάσεις και χώρους, και για αυτό είναι σημαντικό να ελέγχονται τα χαρακτηριστικά τους πριν επιλεγούν για τη διανομή του αέρα σε έναν χώρο.

Επιπλέον, μέσω αυτής της εργασίας,δείχθηκε ότι η υπολογιστική μελέτη μπορεί να εξάγει αποτελέσματα εφάμιλλα των πειραματικών με μικρότερο λειτουργικό κόστος, τόσο χρηματικό όσο και χρονικό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. AIRTECHNIC HATZOUDIS E.P.E. (n.d.). Retrieved from <https://www.airtechnic.gr/el/>.
2. SolidWorks. (n.d.). Retrieved from <https://www.solidworks.com>.
3. ANSYS Fluent. (n.d.). Retrieved from <https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-fluent>.
4. Etheridge, D., & Sandberg, M. (1996). Building ventilation: theory and measurement. John Wiley & Sons.
5. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. (1986). TOTEE 2423/86. Retrieved from <https://web.tee.gr/d-e-k-a-d/tmima-epistimonikoy-kai-anaptyxiakoy-ergoy/totee>.
6. Van Hooff, T., & Blocken, B. (2002). Flow-generated noise in ventilation ducts. Air Infiltration and Ventilation Centre.
9. Simscale. (2023). Turbulence CFD Analysis. Retrieved from <https://www.simscale.com/blog/turbulence-cfd-analysis/>.
10. Featips. (2022). ANSYS Mesh Methods Explained. Retrieved from <https://featips.com/2022/12/27/ansys-mesh-methods-explained/>.
11. Παπανίκας, Δ. (2010). Εφαρμοσμένη Ρευστομηχανική (4η Έκδοση). Αθήνα: Φ. Παπανίκας & ΣΙΑ Ο.Ε.
12. Αναγνωστόπουλος, Α. (2023). ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΚΡΟΗΣ ΑΕΡΑ ΑΠΟ ΣΤΟΜΙΑ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΜΕ ΓΡΙΛΙΕΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ.
13. Airtechnic. (n.d.). Slot STS Air Outlets. Retrieved from <https://airtechnic.gr/en/products/air-outlets/slot/slot-sts-detail>.
14. Launder, B.E. and Spalding, D.B., 1974, The Numerical Computation of Turbulent Flows, Computer Methods App. Mech., pp. 269-275.