



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

ΑΝΤΩΝΙΟΣ ΜΙΧΑΗΛΙΔΗΣ

Αποκαπνισμός κτηρίου με περιμετρικό αίθριο μετά από
ατύχημα πυρκαγιάς.

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Ακαδημαϊκό Έτος: 2023- 2024

Επιβλέπων: Δρ. ΚΩΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΒΑΣΙΛΟΠΟΥΛΟΣ
Επιβλέπων: Δρ. ΙΩΑΝΝΗΣ ΣΑΡΡΗΣ

Αιγάλεω, Φεβρουάριος 2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

ΜΙΧΑΗΛΙΔΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

Αποκαπνισμός κτηρίου με περιμετρικό αίθριο μετά από
ατύχημα πυρκαγιάς.

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Ακαδημαϊκό Έτος: 20123 - 2024

Επιβλέπων: Δρ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ ΒΑΣΙΛΟΠΟΥΛΟΣ
Επιβλέπων: Δρ. ΙΩΑΝΝΗΣ ΣΑΡΡΗΣ

Αιγάλεω, Φεβρουάριος 2023

© UNIVERSITY OF WEST ATTICA
2023. All rights reserved. No part of this publication may be
reproduced without the written permission of the copyright owner.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Αποκαπνισμός κτηρίου με περιμετρικό αίθριο μετά από ατύχημα πυρκαγιάς.

Τριμελής Επιτροπή Αξιολόγησης

Α/Α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Δρ. Ιωάννης Σαρρής Δρ.	Καθηγητής	
2	Κωνσταντίνος Ιωάννης Βασιλόπουλος	Διδάκτορας ΕΣΠΑ	
3	Δρ.Ευάγγελος Καρβέλας	Διδάκτορας	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη ΜΙΧΑΗΛΙΔΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ του ΠΕΤΡΟΥ, με αριθμό μητρώου 46146254, φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου»

Ο Δηλών

Αντώνιος Μιχαηλίδης



ABSTRACT

This thesis examines the behaviour of a building atrium in case of rapid flame spread, when is exposed to an open air flow. The historical way of architecture of the atrium buildings and the advantages they offer, such as natural lighting and ventilation, were the trigger for further study and research. All these facts are certainly changing when a fire starts in one of the atrium areas. For this reason, with assistance from CFD (Computer Fluid Dynamics) programs in combination with the use of customized FDS (Fire Dynamic Simulation) code, the appropriate data analysis conditions were created and will be analysed during the development of the thesis.

Keywords:

Atrium case; Atrium courtyard; FDS (Fire Dynamic Simulation); CFD (Computer Fluid Dynamics)

Ευχαριστίες

Με το πέρας της διπλωματικής μου εργασίας ολοκληρώνεται και ο κύκλος σπουδών μου στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής. Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον υπεύθυνο καθηγητή της διπλωματικής εργασίας Δρ. Κ. Βασιλόπουλο για την ανάθεση του θέματος αυτού όσο για την προσφορά και την πολύτιμη καθοδήγηση και επίβλεψη που μου προσέφερε για την διεκπεραίωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Η ακαδημαϊκή εμπειρία καθώς και η τεχνογνωσία που μου μετέφερε αποτέλεσε κινητήριο μοχλό για την επιτυχημένη ολοκλήρωση της συγγραφής μου. Τέλος, θα ήθελα να αναφερθώ σε όλη την εργαστηριακή ομάδα και τους συμφοιτητές μου που μέσα από αυτήν την διαδικασία αντάλλαξα πολύτιμες ιδέες και γνώσεις που βοήθησαν σε σημαντικό ποσοστό για την βέλτιστη πορεία της διαδικασίας αυτής.

Κλείνοντας, δεν μπορώ να παραλείψω τους ανθρώπους που μου στάθηκαν σε όλη την διάρκεια της εξέλιξης και ολοκλήρωσης της διπλωματικής μου εργασίας, αλλά και γενικότερα σε όλη την προπτυχιακή μου πορεία. Άτομα που χωρίς αυτά δεν θα είχα καταφέρει τίποτα και αναφέρομαι φυσικά για την οικογένεια μου αλλά και τους φίλους μου.

Περιεχόμενα

.....	iii
ABSTRACT	i
Ευχαριστίες	ii
Κατάλογος FIGURES	iv
Κατάλογος Πινάκων	viii
No table of figures entries found.....	¡Error! Marcador no definido.
Κατάλογος Εξισώσεων.....	ix
ΛΙΣΤΑ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ	x
1 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	15
1.1 Εισαγωγή	15
1.1.1 ΡΟΗ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΚΥΒΟ	20
1.1.2 Ανάλυση αίθριού	24
1.1.3 Πυροπροστασία – Ασφάλεια ανθρώπινης ζωής	30
1.1.4 Νομοθεσία – Διατάξεις	32
1.1.5 Συστήματα ελέγχου πυρκαγιάς	33
2 Ανάλυση δεδομένων μέσω ρευστοδυναμικών εργαλείων FDS	44
2.1 Θεμελιώδης εξισώσεις	45
2.2 Εφαρμογή διαδικασία επίλυσης	47
3 Ανάλυση αίθριου	49
3.1.1 Ροή γύρω από αίθριο κτήριο.	49
3.1.2 Περιγραφή διαδικασίας.....	50
3.1.3 Διαστασιολόγηση αίθριού.	50
3.1.4 Υπολογιστικό χωρίο	53
3.1.5 Οριακές συνθήκες	58
3.1.6 Εργαστηριακές μετρήσεις	59
3.1.7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ	61
3.1.8 Αποτελέσματα απεικονίσεων πρώτης περίπτωσης.	64
3.1.9 Αποτελέσματα απεικονίσεων δεύτερης περίπτωσης.	68
3.1.10 Αποτελέσματα απεικονίσεων τρίτης περίπτωσης.	80
4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	91
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	99

Κατάλογος FIGURES

No table of figures entries found.

Σχήμα 1-1 Πείραμα έναυσης φωπιάς σε κλειστό χώρο	12
Σχήμα 1-1 Alcazar (Seville). (Torres-González, Rubio-Bellido et al. 2022).....	16
Σχήμα 1-2 Τυπικές διατάξεις ιστορικών αίθριων κτηρίων από την Αγία Παρασκευή (Murgul 2015).	16
Σχήμα 1-3 Πρώτη περίοδος εξέλιξης : Από αγροτική κατοικία σε αστική.(Tablada, De Troyer et al. 2009).	18
Σχήμα 1-4 Δεύτερη περίοδος εξέλιξης : Εκμετάλλευση και αναδόμηση των κενών οικοπέδων για την βασική δομή του αίθριού(Tablada, De Troyer et al. 2009).	19
Σχήμα 1-5 Τρίτη περίοδος εξέλιξης :Κατασκευή μικτών κτηρίων με την αρχιτεκτονική της εποχής(Tablada, De Troyer et al. 2009).	20
Σχήμα 1-6 Κατανομή της πίεσης στο επίπεδο συμμετρίας του κύβου.(Yakhot, Liu et al. 2006).	21
Σχήμα 1-7 Κατανομή της πίεσης πάνω στα τοιχώματα του κύβου και στις αιχμές της γεωμετρίας του.(Yakhot, Liu et al. 2006).	22
Σχήμα 1-8 Πειραματικός κύβος προσομοίωσης.(Khan, Sooraj et al. 2018).	23
Σχήμα 1-9 Οπτικοποίηση ροής γύρω από τον κύβο με χρήση χρωστικών ουσιών.(Khan, Sooraj et al. 2018).	23
Σχήμα 1-10 Γεωμετρίες απλής μορφής (Todd Gritch, 2016).	26
Σχήμα 1-11 Γεωμετρίες σύνθετης μορφής (Todd Gritch, 2016).	27
Σχήμα 1-12 Γεωμετρία υπολογισμού(Micallef, Buhagiar et al. 2016).	29
Σχήμα 1-13 Προσομοίωση γεωμετρίας και οπτικοποίηση της ροής αέρα τριών περιπτώσεων.(Micallef, Buhagiar et al. 2016).	30
Σχήμα 1-14 Απεικόνιση φαινομένου (Xu, Zhang et al. 2013).	35
Σχήμα 1-15 Μελέτη αίθριου έκθεσης σε φωπιά στην Μούρθια (Ισπανία) (Ayala, Cantizano et al. 2013).....	37
Σχήμα 1-16 Ροή καπνού σε διαφορετικές θέσεις έναυσης φωπιάς (Klote 2012).	39
Σχήμα 1-17 Ελάχιστο βάθος στρώματος καπνού (Klote 2012).	41
Σχήμα 3-1 Διαστασιολόγηση πρώτης περίπτωσης.	51

Σχήμα 3-2 Διαστασιολόγηση πρώτης περίπτωσης δοκιμής τοποθετώντας την εστία φωτιάς στο εσωτερικοί του αίθριου.....	52
Σχήμα 3-3 Διαστασιολόγηση δεύτερης περίπτωσης δοκιμής τοποθετώντας την εστία φωτιάς στην αυλή του αίθριο.....	52
Σχήμα 3-4 Διαστασιολόγηση πεδίου ροής.....	53
Σχήμα 3-5 Προσαρμογή γεωμετρίας μέσα στο πεδίο ροής.....	54
Σχήμα 3-6 Κατανομή κελιών μέσα στο πεδίο ροής.....	54
Σχήμα 3-7 Απεικόνιση υπολογιστικής προσομοίωσης αίθριού.....	57
Σχήμα 3-8 Θέση γεωμετρίας μέσα στο πεδίο ροής.....	57
Σχήμα 3-9 Ισοϋψή γράφημα ταχυτήτων U_x (m/sec) για $t=200s$ και $Y=39m$ (χωρίς εστία φωτιάς).....	65
Σχήμα 3-10 Ισοϋψή γράφημα ταχυτήτων U_x (m/sec) για $t=400s$ και $Y=39m$ (χωρίς εστία φωτιάς).....	65
Σχήμα 3-11 Ισοϋψή γράφημα ταχυτήτων U_x (m/sec) για $t=600s$ και $Y=39m$ (χωρίς εστία φωτιάς).....	66
Σχήμα 3-12 Ισοϋψή γράφημα ταχυτήτων U_x (m/sec) για $t=200s$ και $Y=39m$ υπό την μορφή κατόψεως (χωρίς εστία φωτιάς).....	66
Σχήμα 3-13 Ισοϋψή γράφημα ταχυτήτων U_x (m/sec) για $t=400s$ και $Y=39m$ υπό την μορφή κατόψεως (χωρίς εστία φωτιάς).....	67
Σχήμα 3-14 Ισοϋψή γράφημα ταχυτήτων U_x (m/sec) για $t=600s$ και $Y=39m$ υπό την μορφή κατόψεως (χωρίς εστία φωτιάς).....	68
Σχήμα 3-15 Ισοϋψή γράφημα ταχυτήτων U_x (m/sec) για $t=200s$ και $Y=39m$ (παρουσία εστίας φωτιάς στην αυλή).....	69
Σχήμα 3-16 Ισοϋψή γράφημα ταχυτήτων U_x (m/sec) για $t=400s$ και $Y=39m$ (παρουσία εστίας φωτιάς στην αυλή).....	70
Σχήμα 3-17 Ισοϋψή γράφημα ταχυτήτων U_x (m/sec) για $t=600s$ και $Y=39m$ (παρουσία εστίας φωτιάς στην αυλή).....	71
Σχήμα 3-18 Ισοϋψή γράφημα πίεσης(Pa) για $t=200s$ και $Y=39m$ (παρουσία εστίας φωτιάς στην αυλή).....	72
Σχήμα 3-19 Ισοϋψή γράφημα πίεσης(Pa) για $t=400s$ και $Y=39m$ (παρουσία εστίας φωτιάς στην αυλή).....	73
Σχήμα 3-20 Ισοϋψή γράφημα πίεσης(Pa) για $t=600s$ και $Y=39m$ (παρουσία εστίας φωτιάς στην αυλή).....	74
Σχήμα 3-21 Ισοϋψές γράφημα θερμοκρασίας καπναερίων ($^{\circ}C$) στο επίπεδο $Y=39m$ μετρά από χρόνο $t=200s$ έπειτα από την εκκίνηση της φωτιάς(παρουσία εστίας φωτιάς στην αυλή).....	75

Σχήμα 3-22 Ισοϋψές γράφημα θερμοκρασίας καπναερίων ($^{\circ}\text{C}$) στο επίπεδο $Y=39\text{m}$ μετρά από χρόνο $t=400\text{s}$ έπειτα από την εκκίνηση της φωτιάς(παρουσία εστίας φωτιάς στην αυλή)	76
Σχήμα 3-23 Ισοϋψές γράφημα θερμοκρασίας καπναερίων ($^{\circ}\text{C}$) στο επίπεδο $Y=39\text{m}$ μετρά από χρόνο $t=600\text{s}$ έπειτα από την εκκίνηση της φωτιάς(παρουσία εστίας φωτιάς στην αυλή).	77
Σχήμα 3-24 Εξέλιξη πλήρωσης καπνού για $t=200\text{sec}$ (παρουσία εστίας φωτιάς στην αυλή).	78
Σχήμα 3-25 Εξέλιξη πλήρωσης καπνού για $t=400\text{sec}$ (παρουσία εστίας φωτιάς στην αυλή).	79
Σχήμα 3-26 Εξέλιξη πλήρωσης καπνού για $t=600\text{sec}$ (παρουσία εστίας φωτιάς στην αυλή)	80
Σχήμα 3-27 Ισοϋψή γράφημα ταχυτήτων $U_x(\text{m}/\text{sec})$ για $t=200\text{s}$ και $Y=39\text{m}$ (παρουσία εστίας φωτιάς εντός του κλειστού χώρου).	81
Σχήμα 3-28 Ισοϋψή γράφημα ταχυτήτων $U_x(\text{m}/\text{sec})$ για $t=400\text{s}$ και $Y=39\text{m}$ (παρουσία εστίας φωτιάς εντός του κλειστού χώρου).	82
Σχήμα 3-29 Ισοϋψή γράφημα ταχυτήτων $U_x(\text{m}/\text{sec})$ για $t=600\text{s}$ και $Y=39\text{m}$ (παρουσία εστίας φωτιάς εντός του κλειστού χώρου).	83
Σχήμα 3-30 Ισοϋψή γράφημα πίεσης(Pa) για $t=200\text{s}$ και $Y=39\text{m}$ (παρουσία εστίας φωτιάς εντός του κλειστού χώρου).	84
Σχήμα 3-31 Ισοϋψή γράφημα πίεσης(Pa) για $t=400\text{s}$ και $Y=39\text{m}$ (παρουσία εστίας φωτιάς εντός του κλειστού χώρου)	85
Σχήμα 3-32 Ισοϋψή γράφημα πίεσης(Pa) για $t=200\text{s}$ και $Y=39\text{m}$ (παρουσία εστίας φωτιάς εντός του κλειστού χώρου)	85
Σχήμα 3-33 Ισοϋψές γράφημα θερμοκρασίας καπναερίων ($^{\circ}\text{C}$) στο επίπεδο $Y=39\text{m}$ μετρά από χρόνο $t=200\text{s}$ έπειτα από την εκκίνηση της φωτιάς(παρουσία εστίας φωτιάς εντός του κλειστού χώρου).	86
Σχήμα 3-34 Ισοϋψές γράφημα θερμοκρασίας καπναερίων ($^{\circ}\text{C}$) στο επίπεδο $Y=39\text{m}$ μετρά από χρόνο $t=400\text{s}$ (παρουσία εστίας φωτιάς εντός του κλειστού χώρου).	87
Σχήμα 3-35 Ισοϋψές γράφημα θερμοκρασίας καπναερίων ($^{\circ}\text{C}$) στο επίπεδο $Y=39\text{m}$ μετρά από χρόνο $t=600\text{s}$ έπειτα από την εκκίνηση της φωτιάς(παρουσία εστίας φωτιάς εντός του κλειστού χώρου)	87
Σχήμα 3-36 Εξέλιξη πλήρωσης καπνού για $t=20\text{sec}$ (παρουσία εστίας φωτιάς εντός του κλειστού χώρου)	89
Σχήμα 3-37 Εξέλιξη πλήρωσης καπνού για $t=200\text{sec}$ (παρουσία εστίας φωτιάς εντός του κλειστού χώρου)	89

Σχήμα 3-38 Εξέλιξη πλήρωσης καπνού για $t=400\text{sec}$ (παρουσία εστίας φωτιάς εντός του κλειστού χώρου).	90
Σχήμα 3-39 Εξέλιξη πλήρωσης καπνού για $t=600\text{sec}$ (παρουσία εστίας φωτιάς εντός του κλειστού χώρου).	90
Σχήμα 4-1 Κατανομή μέγιστων θερμοκρασιών εστίας φωτιάς για την περίπτωση έναυσης φωτιάς σε κλειστό χώρο.	92
Σχήμα 4-2 Κατανομή μέγιστων θερμοκρασιών εστίας φωτιάς για την περίπτωση έναυσης φωτιάς στον χώρο της αυλής.	92
Σχήμα 4-3 Διάγραμμα θερμοκρασιών επτά κατακόρυφων θέσεων συναρτήση του χρόνου για την περίπτωση έναυσης φωτιάς στον χώρο της αυλής.	93
Σχήμα 4-4 Διάγραμμα θερμοκρασιών επτά κατακόρυφων θέσεων συναρτήση του χρόνου για την περίπτωση έναυσης φωτιάς στον κλειστό χώρο του αίθριου.	94
Σχήμα 4-5 Θερμοκρασιακό προφίλ για την περίπτωση έναυσης εστίας φωτιάς στον κλειστό χώρο του αιθρίου.	95
Σχήμα 4-6 Θερμοκρασιακό προφίλ για την περίπτωση έναυσης εστίας φωτιάς στην αυλή του αιθρίου.	95
Σχήμα 4-7 Διάγραμμα ενθαλπίας για τις δύο περιπτώσεις εστίας φωτιάς.	96

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Θέση αισθητήρων μέσα στον χώρο.	55
Πίνακας 2 Αριθμητική κατανομή κελιών στο πεδίο ροής	56

Κατάλογος Εξισώσεων

Εξίσωση 1: Εξίσωση συνέχειας της μάζας.	45
Εξίσωση 2: Εξίσωση της Διατήρησης Ορμής.....	45
Εξίσωση 3: Εξίσωση Διατήρησης της Ενέργειας.	45
Εξίσωση 4: Ακπινοβολία από συναγωγή.	46
Εξίσωση 5: Υπολογισμός ταχύτητας απόκλισης.....	46
Εξίσωση 6: υπολογισμός κάθε αερίου ξεχωριστά που μεταφέρεται στον αέρα.	46
Εξίσωση 7: Εξίσωση Διατήρησης της Ορμής.....	47
Εξίσωση 8:Μετασχηματισμός Εξίσωσης Διατήρησης της Ορμής.	47
Εξίσωση 9: Εξίσωση υπολογισμού τάσεων τάνυσης.....	47
Εξίσωση 10: Υπολογισμός πυκνότητας.	48

ΛΙΣΤΑ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

CFD Computational Fluid Dynamics

FDS Fire Dynamics Simulator

LES Large Eddy Simulation

Εισαγωγή

Γύρω από την εξέλιξη κάποιας νέας τεχνολογίας, ιδέας ή καινοτομίας με σκοπό την λύση κάποιου κοινωνικού καθημερινού προβλήματος, αναμφισβήτητος κανόνας για την έγκριση της διαδικασίας αυτής, είναι η ανθρώπινη ασφάλεια. Οποδήποτε προσδοκεί να υλοποιηθεί και να ενταχθεί στην κοινωνία πρέπει να πληροί κάποιες προϋποθέσεις. Αν για την οποιαδήποτε ενέργεια του ανθρώπου που πραγματοποιεί υπάρχει κίνδυνος για την ακεραιότητα του, τότε η διαδικασία αυτή πρέπει να απαγορευτεί. Όμως σε κάποιες περιπτώσεις ο κίνδυνος δημιουργείται χωρίς να μπορεί να προβλεφθεί. Ένα συχνό παράδειγμα είναι έκθεση του ανθρώπου σε μια φωτιά. Σε κάθε περίπτωση ενός τέτοιου φαινομένου ο άνθρωπος βρίσκεται σε κίνδυνο ειδικά όταν αυτό συμβαίνει σε κλειστούς χώρους όπου οι δυνατότητες απεγκλωβισμού είναι ελάχιστες.

Για την επιτυχή μελέτη σχεδιασμού ενός κτηρίου υπάρχουν πολλοί και σημαντικοί παράγοντες που δεν πρέπει να παραλειφθούν .

Η έκκληση μιας φωτιάς σε ένα κτήριο αποτελεί ένα συχνό φαινόμενο και ειδικά σε περιπτώσεις όπου η ένταση και ο ρυθμός εξάπλωσης της οδηγείται σε μη ελεγχόμενα επίπεδα. Όσο μεγαλύτερη έκταση καταλαμβάνει τόσο αυξάνεται και ο κίνδυνος για την δημιουργία υλικών ζημιών αλλά και για την πιθανότητα κίνδυνου που διατρέχεται για εμφάνιση ανθρώπινης βλάβης. Είναι γνωστό πως ο καπνός μπορεί να επιφέρει ανεπανόρθωτη ζημιά στον άνθρωπο και σε πολλές περιπτώσεις να επιφέρει τον θάνατο. Οι επιπτώσεις σε έκθεση σε καπνό αναλογίζονται και σε άλλες κατηγορίες όπως η ολοσχερή καταστροφή ιδιοκτησίας, διακοπή έως και καταστροφή λειτουργίας συστημάτων για την παραγωγή ενέργειας καθώς και την διάβρωση του εδάφους, δηλαδή σε κοστολογικές ζημιές.

Οι περιπτώσεις που προαναφέρθηκαν δεν είναι μεμονωμένα περιστατικά αλλά εμφανίζονται σε παγκόσμιό κλίμακα. Το πρόβλημα αυτό έδωσε το έναυσμα για την υλοποίηση ερευνών γύρω από νέες και αποτελεσματικές τεχνικές πυροπροστασίας . Οι πιο σύνηθες προσεγγίσεις γύρω από τέτοια φαινόμενα δημιούργησαν μοντέλα όπου προσεγγίζονται με την μέγιστη δυνατή ακρίβεια με

βασικό γνώμονα την απόλυτη μείωση της πιθανότητας για την απώλεια κάποιας ανθρώπινης ζωής. Για τον λόγο αυτόν τα μοντέλα αυτά δεν αρκεί να διερευνηθούν μόνο σε θεωρητικό επίπεδο αλλά και σε πειραματικό.

Η ταχύτητα μετάδοσης της φωτιάς πολλές φορές μπορεί να είναι πάρα πολύ γρήγορη και η πρόκληση της μπορεί να γίνει από χρήσεις που πραγματοποιούνται στην καθημερινότητα του ανθρώπου όπως από τα υπολείμματα στάχτης κάποιου τσιγάρου, στατικό ηλεκτρισμό, βραχυκύκλωμα ηλεκτρικής συσκευής ακόμα και από φυσικά φαινόμενα όπως οι κεραυνοί.



Σχήμα 4-1 Πείραμα έναυσης φωτιάς σε κλειστό χώρο(Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα 2016).

Το εικονιζόμενο πείραμα αναφέρεται σε μια περίπτωση πυρκαγιάς σε ένα κλειστό διαμέρισμα όπου η έναυση της φωτιάς ξεκινάει από το δέντρο εορτών. Η εισροή οξυγόνου είναι κατά πολύ περιορισμένη διότι δεν υπάρχουν ανοικτοί χώροι για την προσέλευση οξυγόνου, άρα ο ρυθμός επέκτασης της φωτιάς θα είναι αρκετά αργός. Κατά την εξέλιξη της φωτιάς, η ακτινοβολία που προκύπτει αρχίζει να θερμαίνει την περιοχή γύρω από την εστία της φωτιάς με αποτέλεσμα να αυξάνει την θερμοκρασία όχι μόνο του χώρου αλλά και όλων των αντικειμένων που βρίσκονται μέσα σε αυτόν(Pérez-Urrestarazu, Egea et al. 2018),(Micallef, Buhagiar et al. 2016). Παράλληλα, ο καπνός που προκύπτει από την καύση εκτελεί ανοδική πορεία προς την οροφή του διαμερίσματος, δημιουργώντας ένα πυκνό και ομοιόμορφο στρώμα που κατά την πάροδο του χρόνου το στρώμα καπνού θα καταλαμβάνει ακόμα μεγαλύτερο όγκο μέσα στον χώρο. Καθώς η ένταση της φωτιάς αυξάνεται, οι φλόγες πλησιάζουν ακόμα περισσότερο την επιφάνεια της οροφής με αποτέλεσμα να αυξάνεται η

θερμοκρασία του τοίχου καθώς και τον καπνό που έχει συσσωρευτεί στην θέση αυτή (Rastegari, Pournaseri et al. 2021),(Rafinazari and Hadjisophocleous 2018). Η αύξηση της θερμοκρασίας του καπνού δημιουργεί μεταφορά θερμότητας στους υπολοίπους τοίχους αλλά και σε όποιους χώρους κατακλύζει. Η συσσώρευση του καπνού που δημιουργείται και η εξέλιξη της φωτιάς μέσα σε ένα κτήριο αποκτά βασικό γνώμονα προστασίας διότι είναι ο κυριότερος λόγος που μπορεί να προκαλέσει τον θάνατο(Murgul 2015),(Nosek, Klukoná et al. 2022). Γι' αυτόν τον λόγο καταβάλλονται συνεχείς προσπάθειες με σκοπό την μείωση των πιθανοτήτων πυρκαγιάς. Πιθανές λύσεις για την επίλυση αυτού του προβλήματος είναι η κατασκευή ειδικών εξόδων εκκένωσης και αυτομάτων συστημάτων ανίχνευσης καπνού (Κολαΐτης and Φούντη 2016).

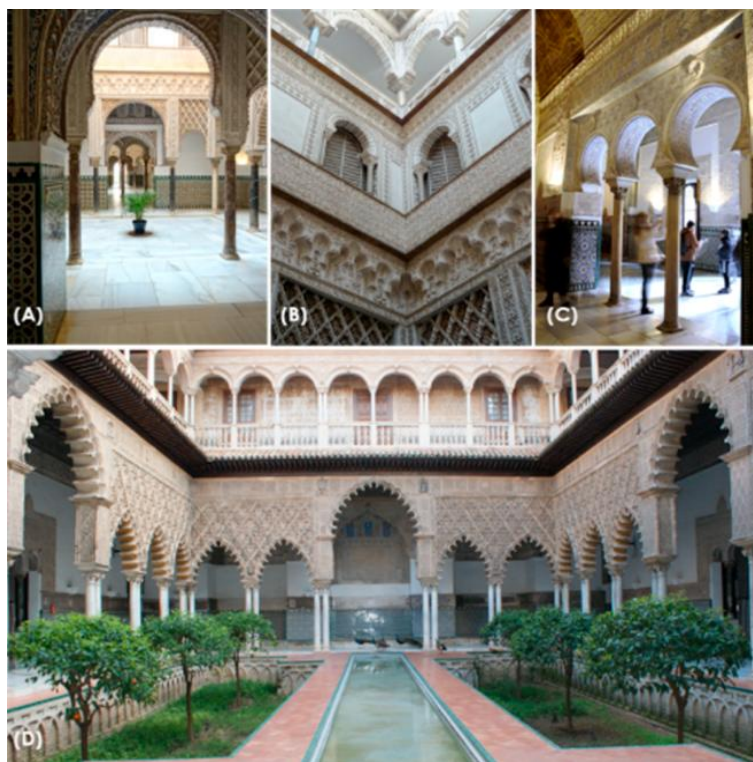
Στην προκείμενη διπλωματική εργασία εξετάζεται μια ειδική περίπτωση έναυσης πυρκαγιάς τόσο στην αυλή όσο και στο εσωτερικό ενός κτηρίου που βρίσκεται στην έκθεση ενός αίθριου. Αρχικά δόθηκε έμφαση στην παρατήρηση των μεταβολών της ροής του αέρα του αίθριου πάνω στην προκείμενη γεωμετρία. Το συγκεκριμένο κτήριο που εξετάζεται διαθέτει μια απλή γεωμετρία τετραγωνικής μορφής και στο κέντρο του υπάρχει μια αυλή ανοικτής οροφής. Εν συνεχεία η πλευρά που βρίσκεται κάθετα στην ροή του αέρα έχει μια διαμπερής είσοδο που οδηγεί στην κεντρική αυλή του κτηρίου (Rychtáriková, Chmelík et al. 2016),(Ratajczak, Bandurski et al. 2022). Σε δεύτερο χρόνο στην θέση αυτή θα τοποθετηθεί μια εστία φωτιάς και κατά την διάρκεια της καύσης θα αναλυθεί η ροή του εκλυόμενου καπνού συναρτήσει του χρόνου καθώς και άλλες μεταβλητές που προκύπτουν κατά την διεργασία αυτή σε σχέση με τις αρχικές συνθήκες που θα έχουν προμελετηθεί (Sharpley and Bensalem 2001). Τόσο για την εκτέλεση της πειραματικής διαδικασίας όσο και των δεδομένων που θα συλλεχθούν θα γίνουν υπό την μορφή προσομοίωσης με την βοήθεια συστημάτων ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων και μετά την ολοκλήρωση της πειραματικής αυτής διαδικασίας θα συγκριθούν και θεωρητικά με την βοήθεια μαθηματικών μοντέλων. Χρησιμοποιώντας τις δύο αυτές μεθόδους, θα προκύψει ένα συμπέρασμα για την ορθότητα εκτέλεσης της διαδικασίας αλλά και για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων(Littlefair 2002, Klote 2012). Για την εκτέλεση του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν αξιόπιστα εργαλεία προσομοίωσης

υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (Computational Fluid Dynamics CFD). Οι συγκεκριμένοι τρόποι προσέγγισης και αναπαράστασης τέτοιων περιπτώσεων χρήζουν πια ως οι πιο ακριβείς και αποτελεσματικές μέθοδοι για την συλλογή δεδομένων αλλά και για την αναλυτική αναπαράσταση τρισδιάστατων απεικονίσεων ασυμπίεστων ρευστών με η χωρίς την ύπαρξη εστίας φωπίας (Shafiei Fini and Moosavi 2016),(Shaeri, Mahdavinejad et al. 2022). Για να μπορέσουν τα εργαλεία αυτά να αποδώσουν αληθή δεδομένα για την παρούσα διαδικασία που εξετάζεται, χρησιμοποιήθηκε κώδικας μέσω του προγράμματος FDS (Fire Dynamics Simulations).

1 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

1.1 Εισαγωγή

Η ιδέα της δημιουργίας αίθριων κτηρίων έρχεται από την αρχαία Ελλάδα και συνεχίστηκε στην Ρώμη περίπου στα τέλη της δεκαετίας του 1950 αλλά και λίγο πιο πριν όπου εξελισσόταν η βιομηχανική επανάσταση, όπου η ανάγκη για την προσθήκη φυσικού φωτισμού και αερισμού άρχισε να υλοποιείται σε κτήρια μεγάλης κλίμακας και σε όλο τον κόσμο με την κατασκευή νοσοκομείων, αεροδρομίων καθώς και σε σιδηροδρομικούς σταθμούς. Αποτελούσε ιδανική επιλογή όταν το περιβάλλον διέθετε μεγάλα ποσοστά υγρασίας η υψηλούς αριθμούς θερμοκρασίας όπου με τις κατάλληλες ρυθμίσεις το άνοιγμα του αίθριου μπορούσε να προσφέρει άμεσο φυσικό αερισμό και ελεύθερη ψύξη (Xu, Li et al. 2022). Ήταν μια φιλοσοφία που στην συνέχεια ήρθε να πλαισιωθεί γύρω και από άλλα οφέλη όπως η εξοικονόμηση ενέργειας που πια αποτελεί ζήτημα υψίστης σημασίας ποσό μάλλον όταν γίνεται αναφορά σε κτήρια μεγάλης κλίμακας που οι ενεργειακές απαιτήσεις τους είναι σημαντικά υψηλές. Πολλοί ερευνητές κατά το πέρασμα των χρόνων έχουν αναπτύξει μελέτες γύρω από τις ενεργειακές καταναλώσεις τέτοιων κτηρίων με σκοπό την εύρεση εναλλακτικών επιλογών από μεριάς μηχανικής και αρχιτεκτονικής προσαρμογής.



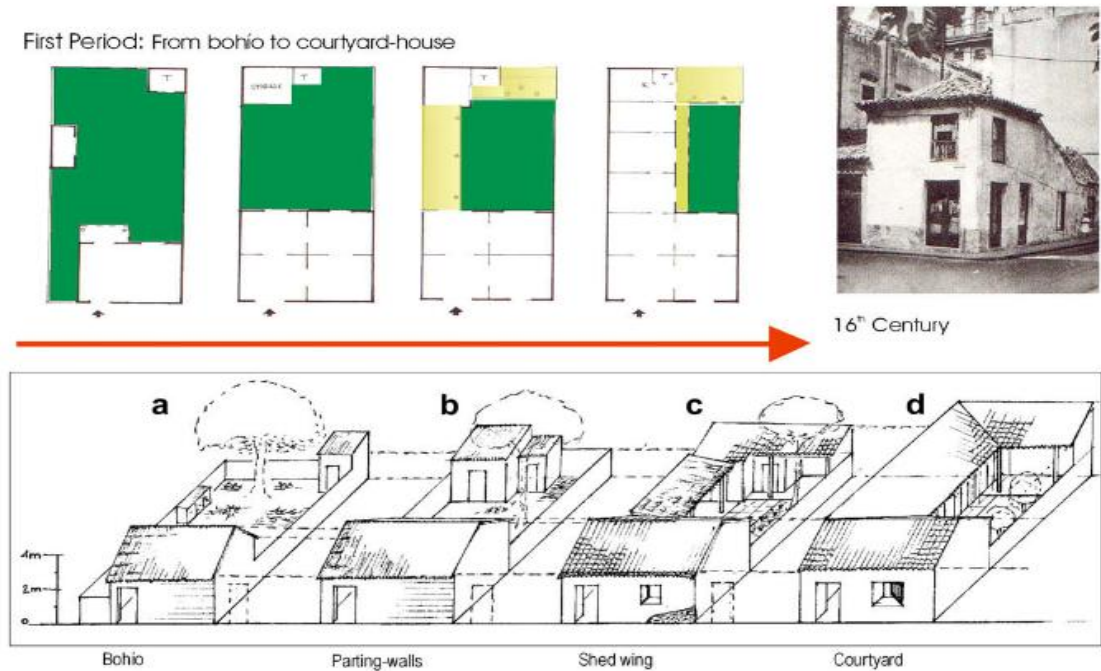
Σχήμα 1-1 Alcazar (Seville). (Torres-González, Rubio-Bellido et al. 2022)



Σχήμα 1-2 Τυπικές διατάξεις ιστορικών αίθριων κτηρίων από την Αγία Παρασκευή (Murgul 2015).

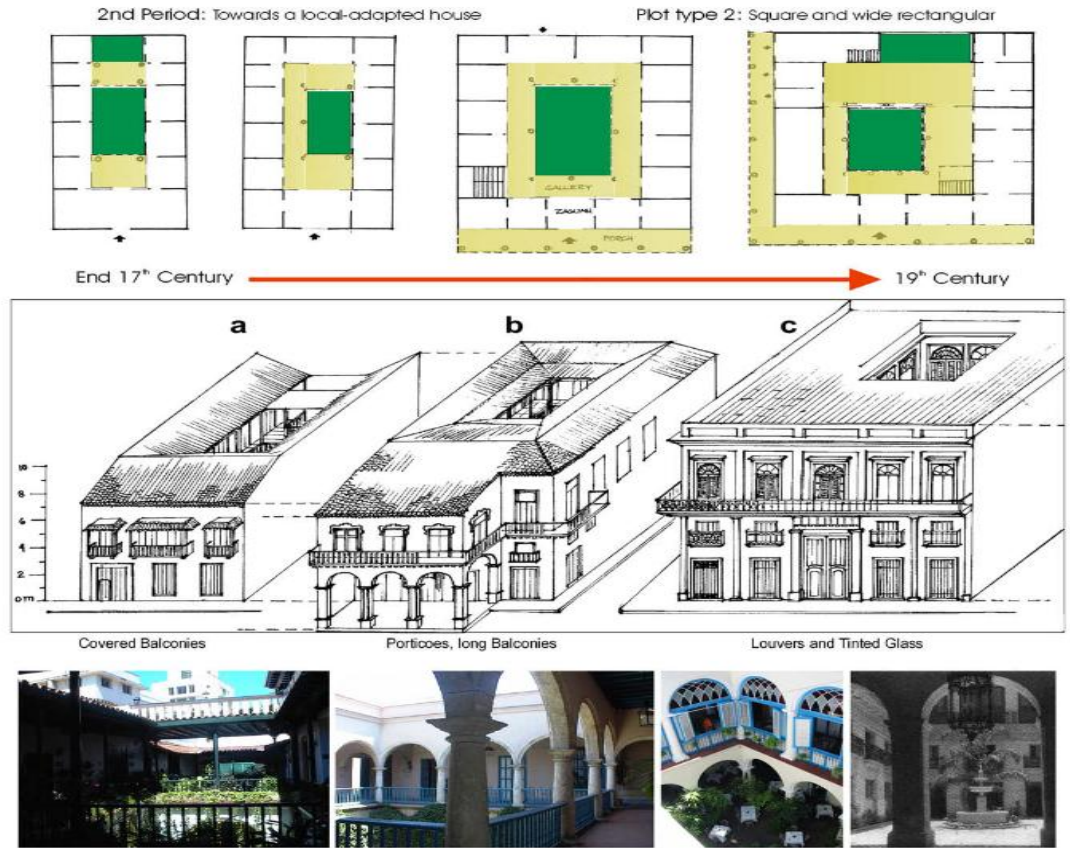
Μια ιδιαίτερη περίπτωση μελέτης και αναδιαμόρφωσης ενός αίθριου ήταν και το Ιστορικό Κέντρο Παλαιάς Αβάνας στην Κουβά, όπου λόγω της ιστορικής και αρχιτεκτονικής ιδιαιτερότητας που διέθετε η UNESCO, το 1982 το ανέδειξε σαν μια παγκόσμιας φήμης πολιτιστική κληρονομιά. Η Κούβα όμως και πιο συγκεκριμένα η Αβάνα βρισκόταν πολύ κοντά σε τροπικές ζώνες ανεξάρτητα από το νησιώτικο τροπικό κλίμα που την χαρακτήριζε εκ των νέσω (Torres-González, Rubio-Bellido et al. 2022), (Tilley, Rauwoens et al. 2011). Ο συνδυασμός αυτός εμφάνιζε υψηλές τιμές στην θερμοκρασία του αέρα αλλά και της σχετικής υγρασίας. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τον Αύγουστο μήνα η μέση ημερήσια θερμοκρασία να βρίσκεται στους 31,4°C και η ημερήσια σχετική υγρασία στο 68% έως 91%. Ο αρχικός σχεδιασμός είχε γίνει με βάση τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούσαν τότε που ήταν τελείως διαφορετικές. Με το πέρασμα των χρόνων και σε συνδυασμό με την έλλειψη συντήρησης του χώρου το Κέντρο της Παλαιάς Αβάνας περιέχει αρκετά εγκαταλελειμμένα σπίτια καθώς και οικόπεδα χωρίς κάποια κατοικία και λόγω όλων αυτών των προβλημάτων δεν μπορεί να αναδομηθεί και να κατοικηθεί με την έννοια της αναπαλαίωσης (Danielski, Nair et al. 2016). Παρ' όλα αυτά, έπειτα από την μεγάλη ζήτηση για νέες κατοικίες και μέσα από το γραφείο ιστορικού της Αβάνας εκδηλώθηκε ενδιαφέρον για την αναδόμηση και την δημιουργία νέων κατοικιών αλλά με βάση την διαχείριση των κλιματικών αλλαγών που είχαν εκείνη την εποχή. Έτσι η νέα αρχιτεκτονική αναφερόταν σε ένα αίθριο που θα μπορούσε να εκμεταλλευτεί στο μέγιστο τα κλιματικά πλεονεκτήματα και να αποδώσει όσο τον δυνατόν καλύτερη θερμική άνεση και φυσικό αερισμό στους κάτοικους. Η υλοποίηση της ιδέας αυτής έγινε μέσα από τρεις περιόδους εξέλιξης (Tablada, De Troyer et al. 2009), (Yang, Wu et al. 2019).

Η πρώτη περίοδος εξέλιξη ήταν εκείνη που θα έβαζε τις βάσεις για την σωστή δομή του αίθριου. Σε αυτό το στάδιο το απομονωμένο σπίτι, που απεικονίζεται στο Σχήμα 1-3 απέκτησε μια προσθήκη ενός ακόμα σπιτιού συνδεδεμένο με έναν διαχωριστικό τοίχο αλλά η γενική εικόνα έμοιαζε σαν σπίτι με αυλή.



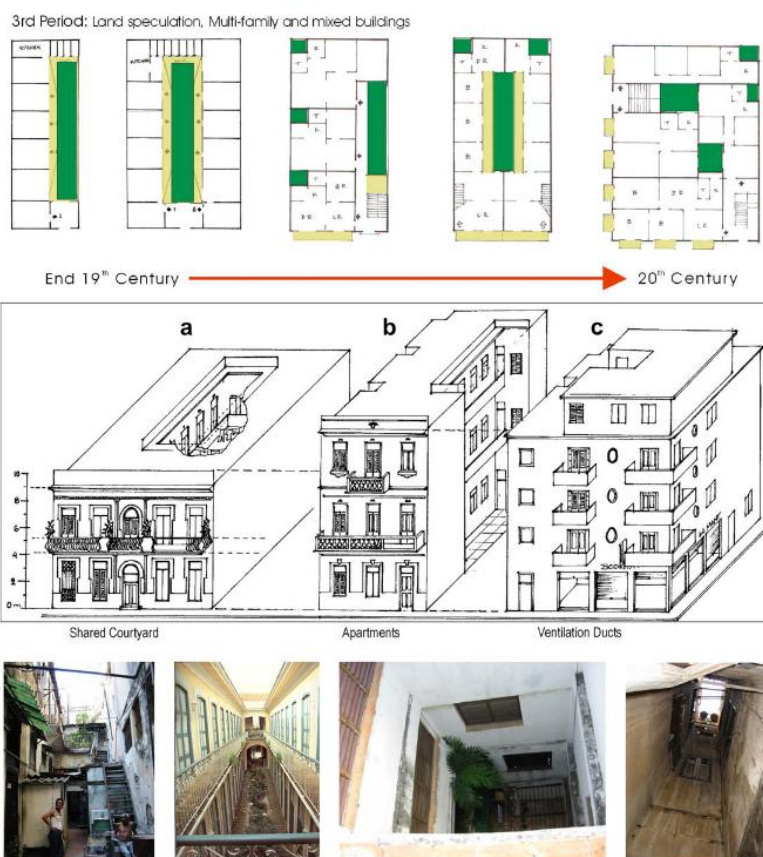
Σχήμα 1-3 Πρώτη περίοδος εξέλιξης : Από αγροτική κατοικία σε αστική.(Tablada, De Troyer et al. 2009).

Στην δεύτερη περίοδο πραγματοποιήθηκε ένας μετασχηματισμός, όσον αφορά την αναλογία προσόψεως και ανοίγματος παραθύρων. Με την αύξηση της αναλογίας αυτής, αυξήθηκε και ο εισερχόμενος φυσικός φωτισμός καθώς και ο φυσικός αερισμός διότι δημιουργήθηκαν συνθήκες καλύτερης κατανομής της ροής του αέρα μέσα στο εσωτερικό του. Η ύπαρξη της κεντρικής αυλής καθώς και η δημιουργία μπαλκονιών, τα οποία περιείχαν κιγκλιδώματα, διευκόλυναν την ροή του αέρα να εισέρχεται στους εσωτερικούς χώρους Σχήμα 1-4. Τα ψηλοτάβανα ταβάνια και τα ευρύχωρα παράθυρα έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην επίτευξη των συνθηκών της θερμικής άνεσης στο εσωτερικό των κατοικιών(Yang, Wu et al. 2019), (Tablada, De Troyer et al. 2009).



Σχήμα 1-4 Δεύτερη περίοδος εξέλιξης : Εκμετάλλευση και αναδόμηση των κενών οικοπέδων για την βασική δομή του αίθριού (Tablada, De Troyer et al. 2009).

Στην τρίτη περίοδο Σχήμα 1-5 δημιουργήθηκαν αρκετά μεγαλύτερα σπίτια, για την κάλυψη περισσότερων ατόμων ανά οικογένεια, που αυτό σήμαινε ότι υπήρχε ανάγκη για την δημιουργία μεγαλύτερων χώρων που με βάση την συγκεκριμένη αρχιτεκτονική οι συνθήκες του φυσικού αερισμού και της θερμικής άνεσης θα ήταν ακόμα πιο εύκολο να επιτευχθούν (Tablada, De Troyer et al. 2009).

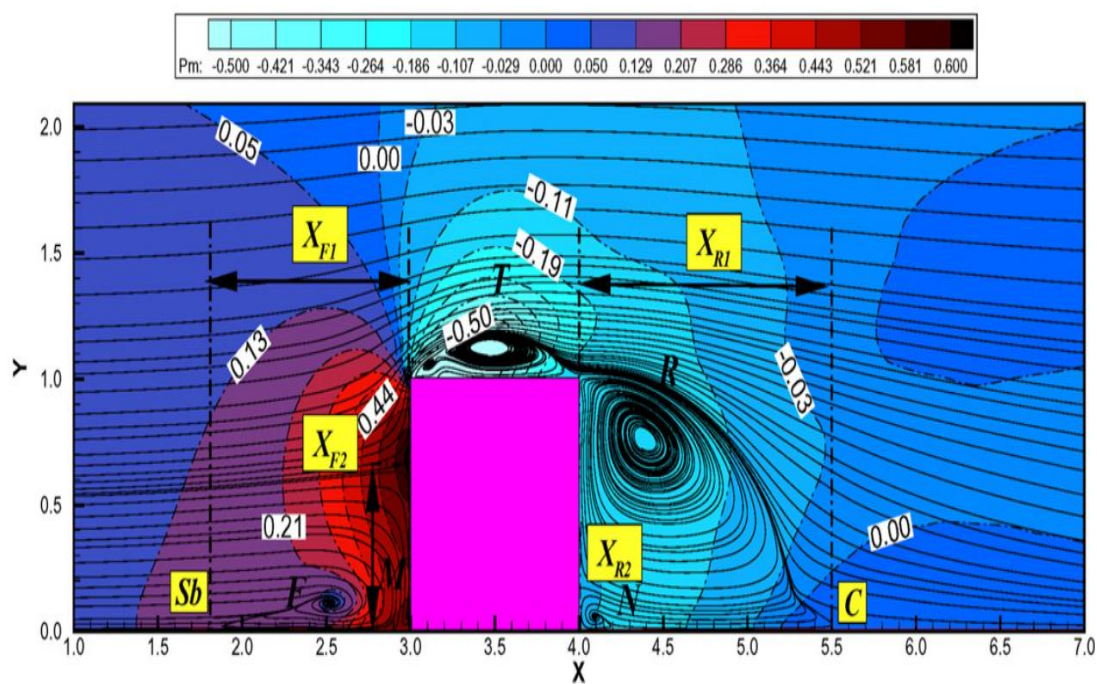


Σχήμα 1-5 Τρίτη περίοδος εξέλιξης :Κατασκευή μικτών κτηρίων με την αρχιτεκτονική της εποχής(Tablada, De Troyer et al. 2009).

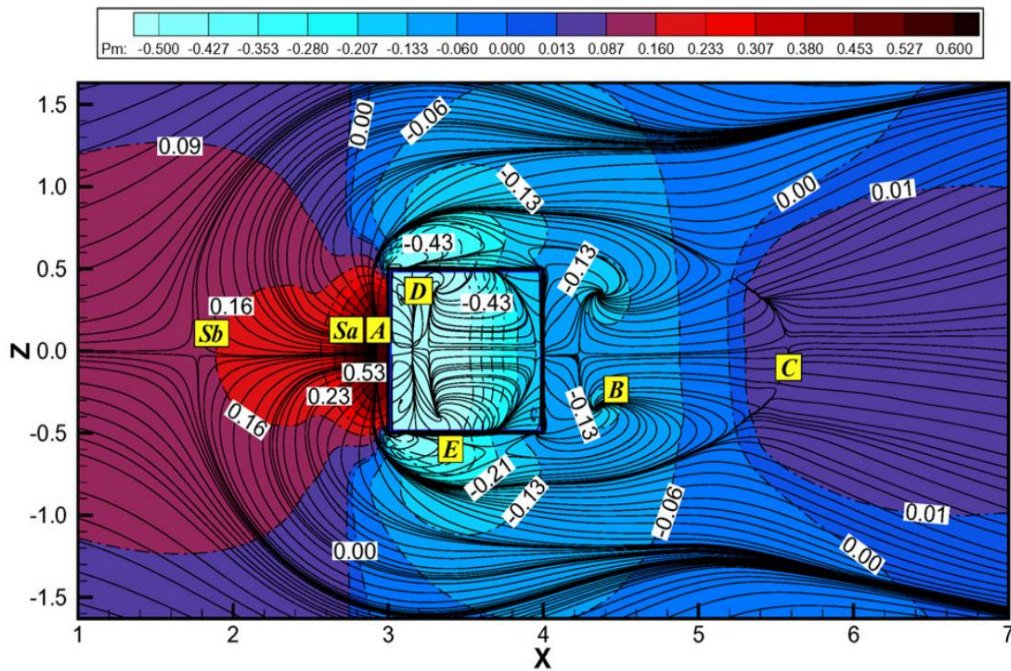
1.1.1 ΡΟΗ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΚΥΒΟ

Στις αρχές του 1987 ο Murakami παρουσίασε της δυνατότητες υπολογισμών LES σε περιπτώσεις ροών οριακών στρωμάτων πάνω σε κύβο (Cheung and Liu 2011). Παρ' όλη την απλότητα της γεωμετρίας, πραγματοποιούνται πολλές έρευνες και προκύπτουν μελέτες που αναλύουν την συμπεριφορά ενός σχήματος κυβικής μορφής στην έκθεση του σε μια ροή ή ένα αίθριο συγκεκριμένης γεωμετρίας όπου εμφανίζεται σε πάρα πολλές περιπτώσεις όπως σε δομές κτηρίων και μεταλλικές κατασκευές. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά την πειραματική διαδικασία έδειξαν ότι εμφανίζουν αριθμητική διασπορά, κάτι που ήρθε να επαναπροσδιοριστεί το 1996-1997 από τον Shah και Ferziger όπου εκτέλεσαν παρεμφερή πείραμα με μεγαλύτερη

ακρίβεια και οδηγήθηκαν στο συμπέρασμα ότι η LES μπορεί τελικά να παράγει αρκετά αξιόπιστα αποτελέσματα σε θέματα ροών και πιο συγκεκριμένα γύρω από τον κύβο (Lim, Thomas et al. 2009, van Hooff, Blocken et al. 2017, Zhong, Zhang et al. 2018, M'Saouri El Bat, Romani et al. 2022). Στο παρελθόν, έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές μελέτες ίδιας φύσεως που εξετάζουν την συμπεριφορά της ροής αέρα γύρω από κύβο όπως αυτή των Yakhot, Liu et al. (2006) Nikolay Nikitin που παρατήρησαν την προσαρμογή των ροικών γραμμών και τα σημεία στα οποία εμφάνιζαν ροικές διαταραχές. Μια ενδεικτικό σχήμα από το πείραμα αυτό είναι το Σχήμα 1-6 και Σχήμα 1-7 (Yakhot, Liu et al. 2006),(Zhong, Zhang et al. 2018),(Khan, Sooraj et al. 2018),(Abu-Zidan, Mendis et al. 2021).

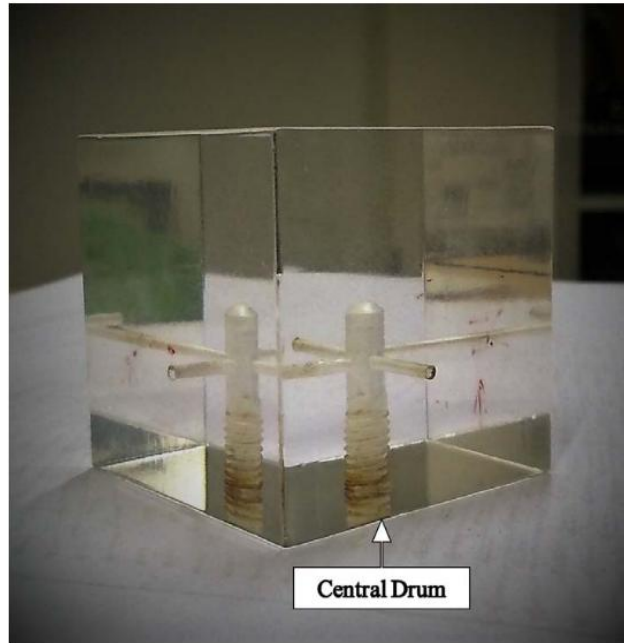


Σχήμα 1-6 Κατανομή της πίεσης στο επίπεδο συμμετρίας του κύβου.(Yakhot, Liu et al. 2006).



Σχήμα 1-7 Κατανομή της πίεσης πάνω στα τοιχώματα του κύβου και στις αιχμές της γεωμετρίας του.(Yakhot, Liu et al. 2006).

Οι προσομοιώσεις μπορούσαν να προσφέρουν αρκετά αξιόπιστα αποτελέσματα. Υπήρχε όμως το περιθώριο να προκύψει μια πιο ρεαλιστική περίπτωση, που θα πρόσφερε ακόμα μεγαλύτερο ενδιαφέρον κατά την ανάλυση των αποτελεσμάτων. Γι' αυτόν τον λόγο έγινε εκτέλεση του ίδιου πειράματος αλλά σε πραγματικές συνθήκες (Σχήμα 1-8), και με την κατασκευή του κύβου υπό κλίμακα, προσπάθησαν να απεικονίσουν την ροή γύρω από τον κύβο (Σχήμα 1-9) οι Majid Hassan Khan, P. Sooraj, Atul Sharma, Amit Agrawal ,(Khan, Sooraj et al. 2018).



Σχήμα 1-8 Πειραματικός κύβος προσομοίωσης.(Khan, Sooraj et al. 2018).



Σχήμα 1-9 Οπτικοποίηση ροής γύρω από τον κύβο με χρήση χρωστικών ουσιών.(Khan, Sooraj et al. 2018).

1.1.2 Χαρακτηριστικά αίθριού

Σαν έννοια ο ορός του αίθριού χαρακτηρίζεται σαν ένας χώρος ανοικτής η κλειστής οροφής, στο κέντρο ενός κτηρίου που έχει σαν σκοπό να παρουσιάσει τροποποιητικό χαρακτήρα του κλίματος με την αύξηση τόσο του φυσικού φωτισμού μέσα στο κτήριο όσο και με την παρουσία φυσικού αερισμού. Πέρα από την αποτελεσματικότητα στο φως της ημέρας των αίθριων χώρων, προσφέρουν μεγάλο αισθητικό ενδιαφέρον στην εξέλιξη της σχεδιαστικής θεωρίας αλλά και στην κατασκευή τέτοιων κτηρίων. Για την διαμόρφωση αυτών των χώρων χρησιμοποιούσαν γυαλί αλλά και χάλυβα. Ο σχεδιασμός και η φιλοσοφία στην δημιουργία αίθριων κτηρίων, στηρίζεται στον τύπο της κατασκευής και στα μεγάλα οφέλη που προσφέρει όπως αναγράφονται και παρακάτω.

Βασικοί τύποι περιβλήματος αίθριου.

- Αποστειρωμένος σωλήνας atrium.
- Κλειστό αίθριο(Aldawoud 2013).
- Μερικώς ανοικτό αίθριο.
- Πλήρως ανοικτό αίθριο (Harrison 2004),(Yaşa and Ok 2014).

Πλεονεκτήματα αίθριων κτηρίων.

- Η ύπαρξη του εξωτερικού φωτισμού στο εσωτερικό ενός κτηρίου προκαλεί ψυχική ευεξία διότι δημιουργεί την αίσθηση εργασίας πιο κοντά στην φύση. Αυτό αυξάνει και την παραγωγικότητα του προσωπικού.
- Ο φυσικός αερισμός ενός κτηρίου δημιουργεί πιο φυσικό περιβάλλον, προκαλώντας την ανανέωση του υπάρχον αέρα χωρίς την κατανάλωση κάποιας επιπρόσθετης ενέργειας για αυτό (Acred and Hunt 2014),(Danielski, Nair et al. 2016).
- Φυσικός φωτισμός ενός κτηρίου δημιουργεί μια θερμοκρασιακή παθητική προστασία για την αποφυγή πιθανών ακραίων θερμοκρασιακών μεταβολών της βροχής και των ανέμων.

- Ο προσεγγμένος σχεδιασμός για την κατασκευή ενός αίθριου μπορεί να μεγιστοποιήσει τα αποτελέσματα της πρόσδοσης των φυσικών αυτών φαινομένων (Dai, Tong et al. 2022).
- Ο φυσικός φωτισμός και αερισμός μπορεί να προσδίδεται πλάγια, κατακόρυφα ή με τον συνδυασμό και των δυο κάτι που προσφέρει εναλλαξιμότητα στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό.
- Επιφέρει μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για την επιπλέον θέρμανση ή ψύξη του χώρου (MABB, 2001),(Ibrahim, Kershaw et al. 2022).

Τα πιο σημαντικά τμήματα που εξετάζονται για την μελέτη και διαμόρφωση ενός αίθριου είναι:

- Θερμικές ιδιότητες οροφής: Πρόκειται για μια από τις πιο κρίσιμες παραμέτρους διότι μέσα από τα χαρακτηριστικά αυτά αναλύεται και υπολογίζεται η θερμική απόδοση και η θερμική άνεση που προκύπτει μέσα στο αίθριο.
- Γεωμετρία του αίθριου: Η γεωμετρία αποδίδει την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο εσωτερικό του αίθριου η οποία καθορίζει την κατανομή της θερμοκρασίας στον χώρο αλλά και την θερμική διαστρωμάτωση που προκύπτει, συνδυαστικά με την ροή του αέρα που εισέρχεται σε αυτό.
- Χαρακτηριστικά ανοίγματος: Αφορούν περισσότερο την έκταση, τον αριθμό των ανοιγμάτων καθώς και την θέση που βρίσκονται διότι καθορίζουν την ροή του αέρα του αίθριου (Xu, Li et al. 2022),(Ferreira 2018),(Yang, Wu et al. 2019).

Διαφοροποιημένες γεωμετρίες για την δημιουργία αίθριου

Για την επίτευξη του βέλτιστου σχεδιασμού ενός αίθριου με βάση τις εκάστοτε σχεδιαστικές παραμέτρους που δημιουργήθηκαν, προέκυψαν εναλλακτικές

γεωμετρίας, ώστε να αποδοθεί η μέγιστη εισροή του φυσικού φωτισμού και αερισμού (Aldawoud and Clark 2008).

Ενδεικτικές εναλλακτικές γεωμετρίες απλής και σύνθετης μορφής εμφανίζονται παρακάτω (Σχήμα 1-10):

Περίπτωση 1 : Μονόπλευρο.

Κατασκευή αίθριου με εφαπτομένη στην μια πλευρά.

Περίπτωση 2 : Δυο πλευρών.

Το αίθριο βρίσκεται εφαπτόμενο σε δυο από τις πλευρές του.

Περίπτωση 3 : Τριών πλευρών.

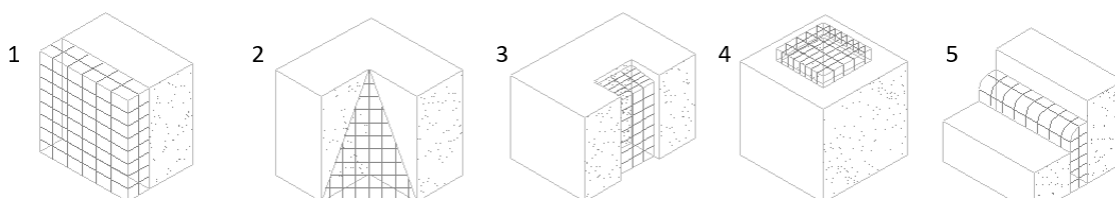
Το αίθριο βρίσκεται εφαπτόμενο σε τρεις από τις πλευρές του.

Περίπτωση 4 : Τεσσάρων πλευρών.

Το αίθριο βρίσκεται εφαπτόμενο σε τέσσερις από τις πλευρές του.

Περίπτωση 5 : Γραμμικό.

Το αίθριο βρίσκεται ανάμεσα από δυο από δυο τμήματα.



Σχήμα 1-10 Γεωμετρίες απλής μορφής (Todd Gritch, 2016).

Γεωμετρίες σύνθετης μορφής (Σχήμα 1-11):

Περίπτωση 1: Γεφύρωση .

Με την χρήση της γεφύρωσης αίθριου δίνεται η δυνατότητα σύνδεσης απομονωμένων κτηρίων μεταξύ τους. Δυνατότητα προσαρμογής αίθριου χώρου τύπου βάρου.

Περίπτωση 2: Podium.

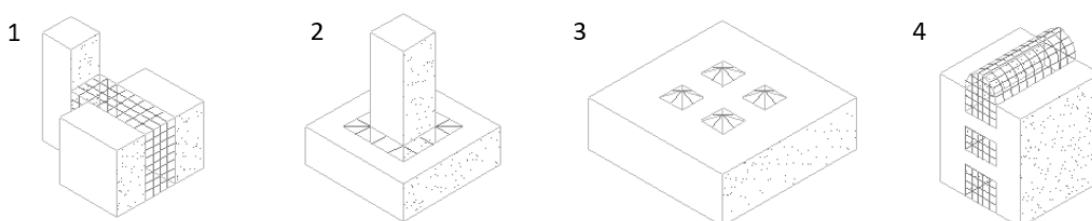
Χρησιμοποιώντας ένα απομονωμένο κτήριο δημιουργείται αίθριο στο κάτω μέρος.

Περίπτωση 3: Πολλαπλά πλευρικά.

Δημιουργία πολλών και σε διάφορα σημεία αίθριων χώρων σε παραπάνω από έναν ορόφους.

Περίπτωση 4: Πολλαπλά κατακόρυφα.

Δημιουργία πολλών και σε διάφορα σημεία αίθριων χώρων κατακόρυφα της δομής του κτηρίου.



Σχήμα 1-11 Γεωμετρίες σύνθετης μορφής (Todd Gritch, 2016).

Οι παραλλαγές για την δημιουργία ενός αίθριου είναι αρκετές διότι η θέση του μπορεί να διαμορφωθεί ανάλογα την αρχιτεκτονική του κτηρίου, όμως υπάρχουν κάποιες παράμετροι που σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να παραλειφθούν όπως:

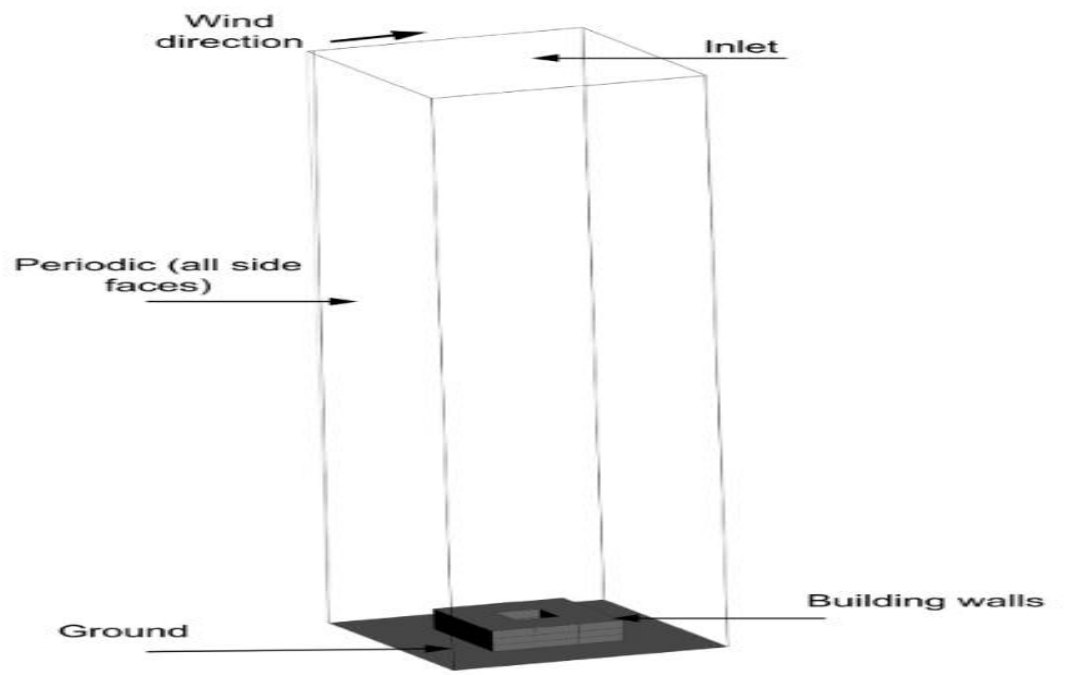
- Η προσωπική αισθητική του συνόλου.
- Τα μετρά ανθρώπινης προστασίας για την αποφυγή κίνδυνου ατυχήματος.
- Η χρήση του αίθριου συναρτήσσει με τους υπόλοιπους χώρους.
- Η επίδραση και ανταπόκριση της κατασκευής του αίθριου σε σχέση με την εκάστοτε κλιματική ζώνη.
- Οι ενεργειακοί στόχοι της κατασκευής.
- Ο σωστός σχεδιασμός για την απαιτούμενη επάρκεια φωτισμού και αερισμού στο κάτω μέρος του αίθριου.

- Η αποφυγή ανοιγμάτων η τζαμιών στην ανατολική και δυτική πλευρά του κτηρίου λόγω κίνδυνου θαμβώσεις σε χαμηλές γωνίες θέασης του ήλιου (αμέσου φωτισμού).
- Σχεδιασμός για την επίτευξη διάχυτου φυσικού φωτισμού.
- Επιλογή φωτεινών επιφανειών των τοίχων για καλύτερη μετάδοση του φυσικού φωτισμού στα βαθύτερα επίπεδα του χώρου.

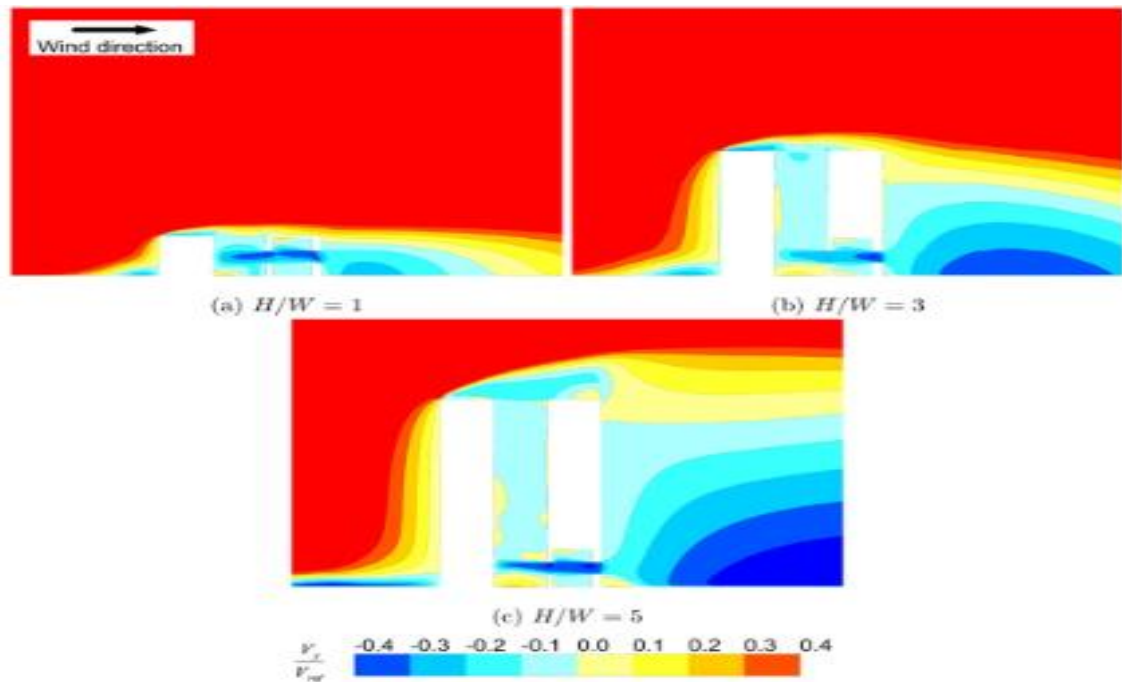
Πολλές μελέτες εξετάζουν περιπτώσεις αίθριων σε μορφή προσομοίωσης για να υπολογίσουν το είδος της ροής (Σχήμα 1-13) που προκύπτει σε κάθε σημείο πάνω στο αίθριο με βάση μια ορισμένη γεωμετρία.

Τα βασικά δεδομένα που εξετάζονται για την απόδοση ενός συμπεράσματος για τον αν η σχεδιαζόμενη γεωμετρία (Σχήμα 1-12) είναι η ιδανική για να επιφέρει όλα τα μέγιστα ενεργειακά οφέλη που μπορεί να παρέχει ένα αίθριο εξετάζει και η μελέτη των Daniel Micallef, Vincent Buhagiar, Simon P. Borg (Micallef, Buhagiar et al. 2016) υπολογίζοντας:

- Τα χαρακτηριστικά ροής.
- Την πίεση.
- Την ταχύτητα του αέρα.
- Τον ρυθμός ροής εξαερισμού.
- Τον αριθμό Reynolds.
- Τα ποσοστά αερισμού.



Σχήμα 1-12 Γεωμετρία υπολογισμού (Micallef, Buhagiar et al. 2016).



Σχήμα 1-13 Προσομοίωση γεωμετρίας και οπτικοποίηση της ροής αέρα τριών περιπτώσεων.(Micallef, Buhagiar et al. 2016).

1.1.3 Πυροπροστασία – Ασφάλεια ανθρώπινης ζωής

Υπάρχουν αρκετοί παράμετροι γύρω από τον σχεδιασμό και την αρχιτεκτονική ενός αίθριου, ώστε να μπορεί να αποδοθεί η μέγιστη ενεργειακή αυτονομία φυσικού φωτισμού και αερισμού, με σκοπό να παρέχονται οι βέλτιστες ιδιότητες στην εκμετάλλευση και στην εργονομία ενός αίθριου(Harrison 2004),(Danielski, Nair et al. 2016). Όλοι αυτοί οι παράμετροι περιστρέφονται γύρω από έναν βασικό άξονα προστασίας που λέγεται ασφάλεια ανθρώπινης ζωής. Ο σωστός σχεδιασμός γύρω από την ασφάλεια μια ανθρώπινης ζωής είναι αρκετά περίπλοκος και τα σενάρια πρόβλεψης για πιθανή έξοδο κινδύνου θα πρέπει να είναι παραπάνω από ένα σε κάθε περίπτωση.

Παράμετροι σχεδιασμού:

- Πρόβλεψη αποφυγής έναυσης πιθανής πυρκαγιάς μέσα στο κτήριο.

- Αποφυγή σε περίπτωση ύπαρξης εστίας και πιθανή διάδοση της.
- Κατασκευή κτηρίου με πυράντοχα οικοδομικά στοιχεία.
- Σχεδιασμός εκ των προτέρων για οδούς διαφυγής με σκοπό την γρήγορη και ασφαλή εκκένωση του κτηρίου σε πιθανή περίπτωση προκλήσης πυρκαγιάς (Γεωργιάδου, 2004).

Μερικές βασικές προϋποθέσεις για τις απαιτήσεις των αίθριων στην έκθεση μιας πιθανής πυρκαγιάς είναι:

- Ύπαρξη μηχανικού συστήματος ελέγχου καπνού συνδυαστικά με ένα αυτόματο σύστημα καταιονισμού πυρκαγιάς .
- Οριοθέτηση του συστήματος καπνού μόνο για την περιοχή του αίθριου (Γεωργιάδου, 2004).

Πρέπει να υπάρχει προσοχή από ποια άτομα θα γίνεται η χρήση των χώρων μέσα στο κτήριο μέχρι και στο τι είδους εργασίες θα εκτελούνται μέσα σε αυτόν. Επίσης θα πρέπει να εξεταστεί ο τρόπος και η διασφάλιση της σωστής επικοινωνίας των ατόμων μεταξύ τους σε περίπτωση πυρκαγιάς (Xu, Zhang et al. 2013),(Vujošević and Krstić-Furundžić 2017). Η διατήρηση των οδεύσεων διαφυγής θα πρέπει να βρίσκεται σε κατάσταση επιφυλακής καθώς και οι πιθανοί χώροι καταφυγής, ώστε να παρέχεται η δυνατότητα απόλυτης προστασίας για ένα χρονικό διάστημα (Yaşa and Ok 2014),(Yang, Wu et al. 2019). Ο βασικός στόχος του σχεδιασμού των μέσων διαφυγής είναι ότι οι επιβαίνοντες θα πρέπει να μπορούν σε μια κατάσταση πυρκαγιάς να μπορούν να απομακρυνθούν και να οδηγηθούν σε ένα προστατευμένο μέρος διαφυγής χωρίς την βοήθεια από εξωτερικούς παράγοντες(Dai, Tong et al. 2022),(Council 2006). Για να μπορέσει να γίνει αυτό θα πρέπει όλοι οι παρευρισκόμενοι των χώρων αυτών να εκπαιδευτούν, μέσα από ανάλογες ασκήσεις υποτιθέμενης πυρκαγιάς όμως αυτό δεν αρκεί. Θα πρέπει να τοποθετηθούν και σαφής σημάνσεις καθώς και πιθανά μέτρα ατομικής προστασίας που θα πρέπει να ακολουθούν κατά την διάρκεια της όδευσης προς την έξοδο κινδύνου. Ένα από τα πιο σημαντικά επιτεύγματα στον σχεδιασμό του αίθριου είναι και η

καθυστέρηση πλήρωσης των χώρων με καπνό. Μετά τον σχεδιασμό πραγματοποιείται ένα σχέδιο προσομοίωσης ώστε να υπολογιστεί ο χρόνος πλήρωσης του χώρου με καπνό από μια υποτιθέμενη πυρκαγιά. Πραγματοποιούνται συνέχεις έρευνες και μελέτες γύρω από την ροή του καπνού, τόσο σε κλειστούς χώρους τόσο και σε ανοικτούς, διότι αυξάνει την επικινδυνότητα κατακόρυφα γνωρίζοντας ότι είναι η βασική αιτία θανάτου. Η καθυστέρηση της πλήρωσης του καπνού στον χώρο εξαρτάται και από την αποτελεσματικότητα των συστημάτων ελέγχου καπνού σε συνεργασία με το σύστημά εξαερισμού. Τέτοια συστήματα θα αναλυθούν και στην συνέχεια όπου θα εξεταστεί η εναλλαξιμότητα στην διαχείριση τόσο του καπνού αλλά όσο και του συνόλου μια πυρκαγιάς (Yasa 2017). Για του λόγους που προαναφέρθηκαν καθοριστική σημασία έχει η αναγνώριση ενδεχομένης εστίας σε όσο το δυνατόν πιο πρώιμο στάδιο βρίσκεται. Τα αίθρια σαν σχεδιασμός δεν είναι ιδανικά για την αντιμετώπιση μιας πιθανής φωπιάς διότι οι μεγάλοι χώροι και οι ψιλές οροφές καθυστερούν αρκετά στην ευκολότερη ανίχνευση.

1.1.4 Νομοθεσία – Διατάξεις

Η νομοθεσία τροποποιείται συνεχώς ώστε να μπορεί να πληροί όλα τα μέτρα πυροπροστασίας που θα πρέπει να υπάρχουν γύρω από ασφάλεια των ατόμων.

Νομοθεσία μέτρων πυροπροστασίας σε ενδεικτικούς χώρους.

- Πυρ/κή Δ/ξη 1/1978 (ΦΕΚ. 1148/ Β/30-12-1978) (τροποποιήσεις 1981 και 1983).

Αναφέρεται σε μεγάλους χώρους εμπορικών καταστημάτων αλλά και για τους χώρους όπου γίνεται η αποθήκευση των εμπορευμάτων τους.

- Πυρ/κή Δ/ξη 2/1979 (ΦΕΚ 100/ Β/3-2-1979) (τροποποιήσεις 1981, 1982 και 1983).

Αναφέρεται σε χώρους φιλοξενίας όπως τα ξενοδοχεία.

- Πυρ/κή Δ/ξη 3/1981 (ΦΕΚ 20/Β/19-1-1981) (τροποποιήσεις 1981, 1983, 1995).

Αναφέρετε σε χώρους όπου γίνονται συγκεντρώσεις.

- Πυρ/κή Δ/ξη 6/1996 (ΦΕΚ 150/Β/13-3-1996).

Αναφέρετε σε μικρούς χώρους αποθήκευσης υλών.

- Πυρ/κή Δ/ξη 8/1997 (ΦΕΚ 725/Β/19-8-1997) (τροποποίηση 2002)

Αναφέρετε σε μικρά εμπορικά καταστήματα.

- Πυρ/κή Δ/ξη 10/2002 (ΦΕΚ 844/Β/8-7-2002).

Αναφέρετε σε τουριστικούς λιμένες και σε σκάφη αναψυχής.(ΦΕΚ 2002).

Εφαρμόζονται μέτρα πυροπροστασίας για κάθε πιθανή περίπτωση έκθεσης ατόμου σε κίνδυνο ειδικά όταν βρίσκεται σε κλειστό χώρο.

Οι νομοθετικοί μηχανισμοί εφαρμόζονται ανάλογα την κατηγορία αλλά την χρήση του κτηρίου. Σε κάθε περίπτωση όμως ένας επιτυχής σχεδιασμός πρέπει να προϋποθέτει τον συνδυασμό παθητικής και ενεργητικής προστασίας.

1.1.5 Συστήματα ελέγχου πυρκαγιάς

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι “επίβλεψης” ενός αίθριου για να υπάρχει όσον το δυνατόν πιο άμεση ανταπόκριση στο στάδιο ανίχνευσης (παθητικά και ενεργητικά) και έπειτα στην κατάσβεση ενδεχόμενης πυρκαγιάς. Τα υλικά κατασκευής θα πρέπει να προσδίδουν τις απαιτούμενες παθητικές ιδιότητες πυροπροστασίας ώστε με τον σχεδιασμό επιπλέον ενεργητικών συστημάτων να προσφέρουν την μέγιστη δυνατή ζώνη πυροπροστασίας.

Ενεργητική πυροπροστασία: Περιέχει όλες τις ηλεκτρολογικές και μηχανολογικές διατάξεις που απαιτούνται για την πρόληψη κατά την έναρξη αλλά και κατά την διάρκεια κάποια πιθανής εστίας καθώς και με την βοήθεια του παθητικού σχεδιασμού πυροπροστασίας που έχει γίνει εκ των πρότερον.

Στα μέσα ενεργητικής πυροπροστασίας περιλαμβάνονται:

- Χρήση φορητών μέσων πυρόσβεσης (Πυροσβεστήρες).
- Χρήση συστημάτων πυρανίχνευσης.
- Χρήση χειροκίνητου συστήματος συναγερμού (κομβία εκτάκτου ανάγκης).

- Χρήση μονίμου υδροδοτικού πυροσβεστικού δικτύου (Πυροσβεστικές φωλιές).
- Χρήση συστημάτων καταιονισμού(Sprinklers) (Αναγνωστάτος, 2008).

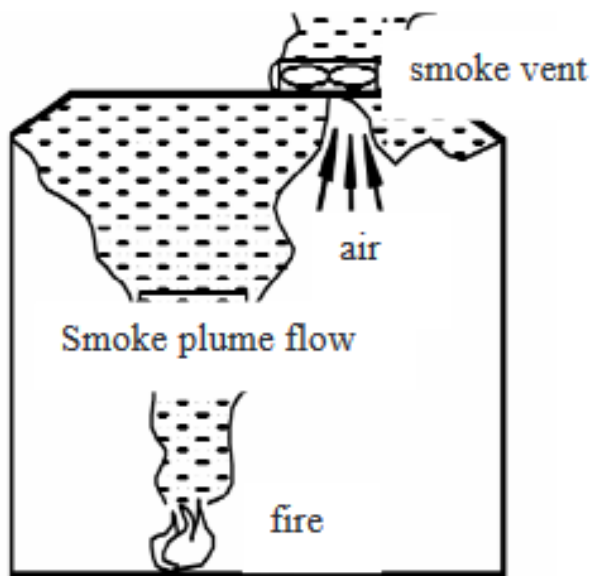
Παθητική πυροπροστασία: Ο σχεδιασμός ενός κτηρίου, τόσο δομικά όσο και νομοθετικά γύρω από τα μέτρα πυροπροστασίας, είναι αυτό που χαρακτηρίζει την παθητική πυροπροστασία.

Οι τρόποι ανίχνευσης αλλά και ενεργοποίησης των διατάξεων αυτών μπορούν να γίνουν είτε με αυτοματοποιημένους τρόπους όπου η ενεργοποίηση του συστήματος πυρασφάλειας γίνεται υπό τον έλεγχο ανιχνευτών όπου είναι τοποθετημένοι σε προκαθορισμένα σημεία ώστε να υπάρχει η δυνατότητα εστίασης σε όλο το εσωτερικό του κτηρίου, καθώς και με ημιαυτομάτους τρόπους όπου ο έλεγχος για την εμφάνιση πιθανής εστίας γίνεται υπό την ανθρώπινη επίβλεψη και η ενεργοποίηση του συστήματος πυρασφάλειας γίνεται χειροκίνητα (Ahmed and Hussein 2021),(Aldawoud 2013). Στις περιπτώσεις των αυτοματοποιημένων μεθόδων υπάρχουν ανιχνευτές που μπορούν να ανιχνεύουν με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους την ύπαρξη μιας πιθανής εστίας. Μπορούν να εξισώνουν συνθήκες ώστε από το χρονικό διάστημα της δημιουργίας της εστίας μέχρι την ανίχνευση της να είναι όσο το δυνατό μικρότερο(Ayala, Cantizano et al. 2013),(Zhong, Zhang et al. 2018). Όσα περισσότερα δεδομένα συλλέγονται για τον χώρο επίβλεψης τόσο πιο άμεση είναι και η ανταπόκριση του συστήματος πυρασφάλειας γι' αυτό υπάρχουν και ανιχνευτές όπου έχουν την δυνατότητα να ελέγχουν και να ενεργοποιούνται με την ύπαρξη εστίας μέσω του καπνού ή φλόγας (Σχήμα 1-14) μέχρι και την εξέλιξη αυτών σε πιο ειδικές περιπτώσεις όπου η διαδικασία ανίχνευσης είναι πολύ πιο πρόωρη έχοντας πιο εξελιγμένους ανιχνευτές όπου λαμβάνουν την θερμοκρασία του χώρου και ενεργοποιούνται όταν αυτή υπερβεί κάποια επιτρεπτά όρια ή όταν η διαφορά της θερμοκρασίας πραγματοποιηθεί σε μικρό χρονικό διάστημα (Γεωργιάδου, 2004),(Lei, Zheng et al. 2022),(Ahmed and Hussein 2021).

Οι παράμετροι που μπορούν να αριθμομετρηθούν και να οροθετηθούν ώστε να αποδώσουν καλύτερες συνθήκες πυροπροστασίας σε μια ενδεχομένη φωτιά είναι:

- Βάθος στρώματος καπνού.
- Ορατότητα μέσα από το στρώμα καπνού.
- Συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα.
- Αύξηση θερμοκρασίας στρώματος καπνού.

(Harrison, 2004), (Chow, Cui et al. 1997),(Chow and Li 2010).



Σχήμα 1-14 Απεικόνιση φαινομένου (Χυ, Zhang et al. 2013).

Μορφές ελέγχου καπνού.

- Διατήρηση του καπνού σε χαμηλά επίπεδα για τον χρόνο που απαιτείται έως την εκκένωση του χώρου.
- Περιορισμός του καπνού σε συγκεκριμένη περιοχή του αίθριου.
- Περιορισμός της μετακίνησης του καπνού από χώρο σε χώρο.

- Δημιουργία συνθήκων ώστε να υπάρχει βοήθεια στο προσωπικό αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης να επιχειρήσει ερευνά εντοπισμού και ελέγχου της φωτιάς.
- Συμβολή στην συνολική προστασία της ανθρώπινης ζωής και στην μείωση των απωλειών περιουσίας (Harrison, 2004).

Για τον ιδιαίτερο αυτό τρόπο αρχιτεκτονικής τα πλεονεκτήματα, γύρω από την μείωση του ενεργειακού φορτίου λόγω του φυσικού αερισμού και φωτισμού, μελετήθηκαν από πολλούς ερευνητές διεξοδικά και εξετάστηκαν δοκιμές είτε με περιπτώσεις υπαρκτών παραδειγμάτων είτε με την βοήθεια πειραματικών μοντέλων και προσομοιώσεων (Heskestad 1984),(Chow and Han 2010, Abu-Zidan, Mendis et al. 2021). Πειράματα που εξέταζαν όλα τα πιθανά σενάρια τόσο για την προστασία της ανθρώπινης ζωής σε περίπτωση πυρκαγιάς με την χρήση μοντέλων καύσης (Σχήμα 1-16) (Chow and Han 2010) όσο και για την γρήγορη και αποτελεσματική κατάσβεση της μειώνοντας τις πιθανότητες εξάπλωσης αλλά και τις υλικές φθορές. Μια μελέτη σαν αυτές είναι και εκείνη των Pablo Ayala, Alexis Cantizano, Cándido Gutiérrez-Montes και Guillermo Rein όπου με την βοήθεια εργαλείων υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (CFD) προσομοίωσαν δυο πειράματα πλήρους κλίμακας στην περιοχή Μούρθια (Σχήμα 1-15) της Ισπανίας με την δημιουργία δύο εστιών φωτιάς και στην συνέχεια προσέγγισαν όλα τα πιθανά αποτελέσματα τόσο με αριθμητική ακρίβεια όσο και με οπτική αναπαράσταση (Ayala, Cantizano et al. 2013),(Al-Waked, Nasif et al. 2021),(Lanlan and Feng 2015),(Mohsenin and Hu 2015).



**Σχήμα 1-15 Μελέτη αίθριου έκθεσης σε φωτιά στην Μούρθια (Ισπανία)
(Ayala, Cantizano et al. 2013).**

Προσέγγιση σχεδιασμού.

Ο σχεδιασμός συστημάτων ελέγχου καπνού (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) γίνεται με την χρήση μεθόδων όπως:

- Φυσική πλήρωση καπνού.
- Σταθερή μηχανική απαγωγή καπνού.
- Ασταθής μηχανική απαγωγή καπνού .
- Σταθερή φυσική απαγωγή καπνού.
- Ασταθής φυσική απαγωγή καπνού (Klote 2012).

Φυσική πλήρωση καπνού.

Στην περίπτωση αυτή εξετάζεται η πλήρωση του αίθριου με καπνό χωρίς κανέναν άλλο τρόπο εξαερισμού ή απαγωγής καπνού. Σε ορισμένους χώρους

αίθριων ο χρόνος που χρειάζεται για την πλήρωση του από καπνό είναι αρκετός για την εκκένωση του.

Σταθερή μηχανική εξάτμιση καπνού.

Πρόκειται για ένα σύστημα μηχανικής απαγωγής καπνού το οποίο έχει σαν σκοπό να διατηρεί το στρώμα καπνού στο χαμηλότερο επίπεδο με βάση το αντίστοιχο ύψος που έχει μελετηθεί για μια προκαθορισμένη εστία φωτιάς.

Ασταθής μηχανική εξάτμιση καπνού.

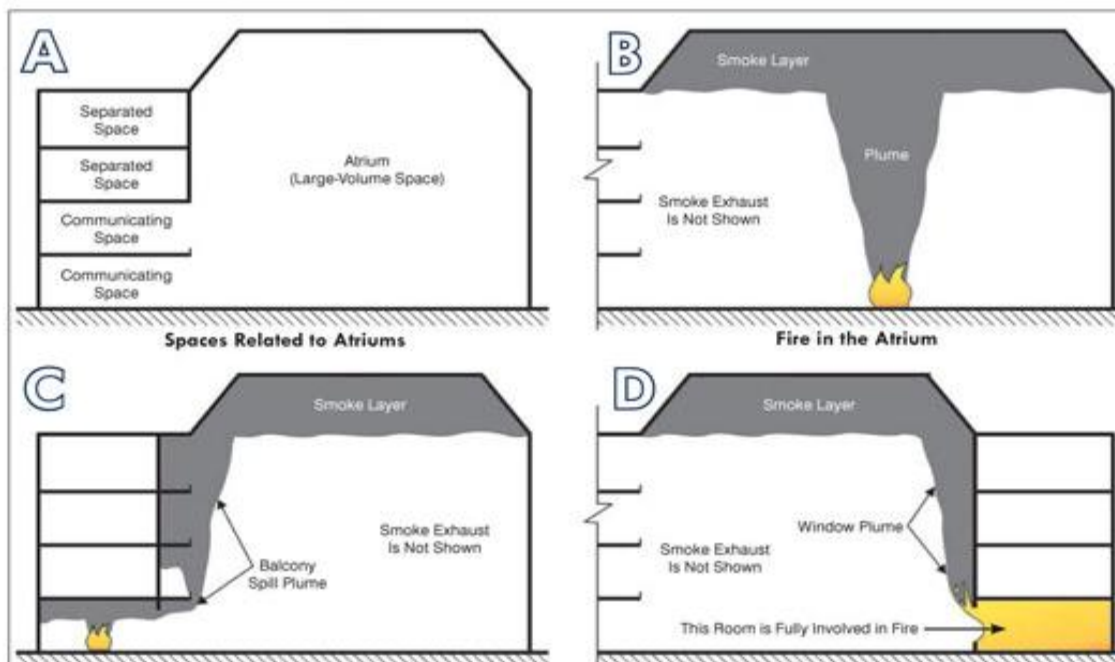
Η περίπτωση αυτή λειτουργεί με μηχανική απαγωγή καπνού αλλά ο ρυθμός απαγωγής είναι μικρότερος από την σταθερή μηχανική απαγωγή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μειώνει τον ρυθμό καθόδου του στρώματος καπνού για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο έως ότου να δημιουργηθεί ο κατάλληλος χρόνος για την ασφαλή απομάκρυνση των ατόμων από τον χορό.

Σταθερή φυσική απαγωγή καπνού.

Η περίπτωση περιέχει ηλεκτροκίνητους αεραγωγούς καπνού κοντά στην κορυφή του αίθριου, γνωστός και ως εξαερισμός βαρύτητας επειδή ο καπνός απομακρύνεται λόγω της άντωσης. Τα συστήματα αυτά αναλύονται μέσω υπολογιστικών μοντέλων ρευστοδυναμικής (CFD).(Chow 1995).

Ασταθής φυσική απαγωγή καπνού.

Η μέθοδος αυτή έχει σαν σκοπό να διατηρεί τον ρυθμό καθόδου του στρώματος καπνού σε ένα σταθερό σημείο (Klote 2012),(Shafiei Fini and Moosavi 2016).



Σχήμα 1-16 Ροή καπνού σε διαφορετικές θέσεις έναυσης φωτιάς (Klote 2012).

Μέθοδοι ανάλυσης δεδομένων.

Αλγεβρικές εξισώσεις.

Με την χρήση αλγεβρικών εξισώσεων υπολογίζεται ο έλεγχος καπνού μέσα στο αίθριο. Για τον έλεγχο καπνού στο αίθριο χρησιμοποιούνται πολλές και διαφορετικές αλγεβρικές εξισώσεις οι οποίες βασίζονται στις θεμελιώδεις αρχές της μηχανικής. Πρόκειται για εμπειρικές σχέσεις που στηρίζονται πάνω σε πειραματικά δεδομένα. Εξισώσεις για την πλήρωση με καπνό, για τον φυσικό εξαερισμό καθώς και την ταχύτητα της ροής του αέρα ώστε να αποτραπεί η παλινδρόμηση του καπνού (Klote 2012).

Μοντελοποίηση μέσω πυρκαγιάς ζώνης.

Καθώς η ροή του καπνού έχει την τάση της ανόδου μεταφέρει και το στρώμα αέρα προς τα πάνω. Σε περίπτωση που το αίθριο είναι κλειστής οροφής ο καπνός συσσωρεύεται στο πάνω και κατά μήκος μέρος της οροφής. Στην περίπτωση ανοικτής οροφής ο καπνός κατά την άνοδο του, με φυσική η εξαναγκασμένη ροή, απομακρύνεται προς το περιβάλλον. Η μέθοδος

πυρκαγιάς ζώνης μπορείς να διαχωριστεί σε δυο υποκατηγορίες που είναι το βασικό στρώμα καπνού και το κατώτερο στρώμα καπνού το οποίο δεν περιέχει προϊόντα καύσης. Σε πραγματικές συνθήκες αναμεσα στις δυο αυτές κατηγορίες υπάρχει μια μεταβατική ζώνη όπου η θερμοκρασία και οι συγκεντρώσεις των ρύπων μεταβάλλονται όμως στο ανώτερο στρώμα καπνού οι δυο αυτές μεταβλητές παραμένουν σταθερές σε όλο καθώς και σε κάθε σημείο της οροφής που υπάρχει καπνός.

Μοντελοποίηση μέσω προσομοίωσης CFD.

Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι ιδανική για περίπτωση διαχωρισμού ενός χώρου σε επιμέρους τμήματα με την βοήθεια κελίων όπως και στην περίπτωση ενός αίθριου. Για την επίτευξη αυτής της προσομοίωσης χρησιμοποιείται λογισμικό το οποίο επεξεργάζεται και επιλύει εξισώσεις για κάθε κελί. Έπειτα από την επεξεργασία και την συλλογή των αποτελεσμάτων, προσομοιώνονται με ρεαλιστικό τρόπο παρατηρώντας την ροή καπνού και διαστρωμάτωση του όπως θα ήταν σε πραγματική περίπτωση. Επίσης η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να προσομοιώσει την κατανομή πλουμίου συναρτήσει τις μεταβολές της ροής του αέρα και τις επιρροές σε αυτόν. Πέρα από τα μεγάλα οφέλη χρειάζεται και αρκετή τεχνογνωσία και εμπειρία γύρω από την χρήση των προγραμμάτων αυτών. Η ανάλυση των δεδομένων μπορεί να διαρκέσει αρκετές ώρες η ημέρες ώστε να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση.

Μοντελοποίηση κλίμακας.

Η μέθοδος αυτή είναι ικανή για την απόδοση ρεαλιστικών απεικονίσεων μέσα από πειραματικές δοκιμές πυρκαγιάς αλλά σε μορφή υπό κλίμακας. Έπειτα από την συλλογή των δεδομένων τα αποτελέσματα πρέπει να προσαρμοστούν εκ νέου στην πραγματική κλίμακα.

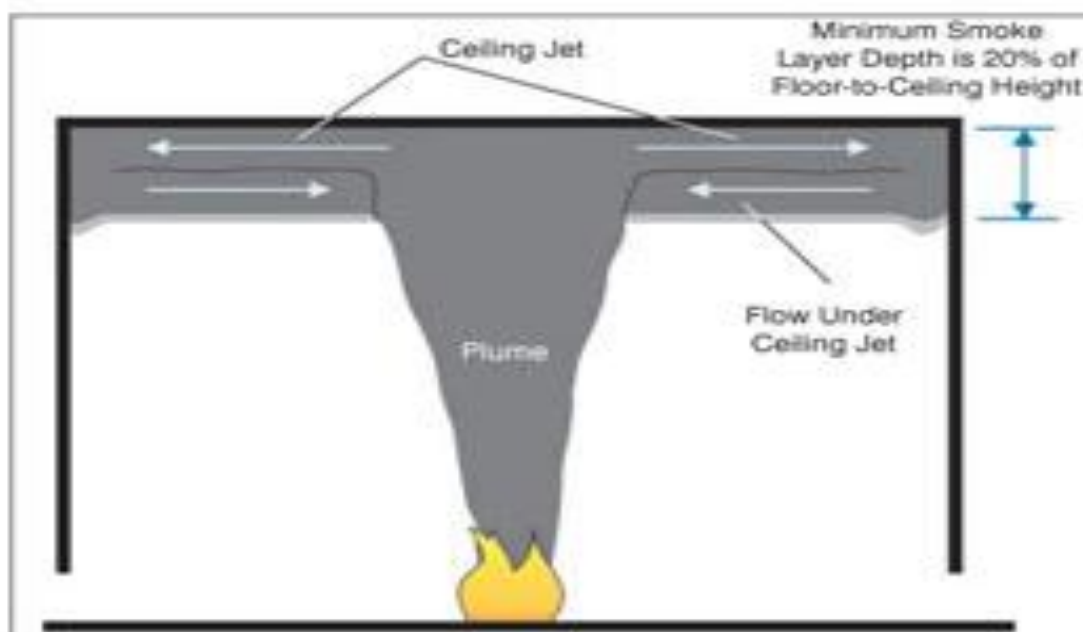
Θερμοκρασία αίθριου.

Η θερμοκρασία του αέρα στο κάτω μέρος τους στρώματος καπνού μπορεί να φτάσει πολύ γρήγορα την εξωτερική θερμοκρασία και αυτό προκύπτει επειδή η ανακυκλοφορία του αέρα μέσα στο αίθριο είναι σε μεγάλες ποσότητες και ενεργούν σε μικρό χρονικό διάστημα. Όταν η θερμοκρασία καπνού αυξάνεται η

πυκνότητα του δρα αντιστρόφως ανάλογα και η ροή του όγκου, που χρειάζεται ώστε να παραμείνει σταθερή η ροή μάζα, αυξάνεται.

Ελάχιστο βάθος στρώματος καπνού.

Προσδιορίζοντας αριθμητικά το ελάχιστο βάθος στρώματος καπνού είναι το 20% του ύψους του δαπέδου έως την οροφή (Σχήμα 1-17). Σε περίπτωση έναυσης πυρκαγιάς το στρώμα καπνού ρέει προς την οροφή, η ροή του καπνού απλώνεται ακτινικά σε όλο το μήκος της οροφής. Το κύριο στρώμα καπνού το οποίο έρχεται σε επαφή με το τοίχωμα της οροφής είναι της τάξης του 10% του συνολικού ύψους από το δάπεδο και το κατώτερο στρώμα καπνού αντιστοιχεί στο υπόλοιπο 10% του συνολικού στρώματος καπνού.



Σχήμα 1-17 Ελάχιστο βάθος στρώματος καπνού (Klote 2012).

Πλήρωση αέρα.

Η συμπληρωματική ποσότητα αέρα προέρχεται από ανοίγματα στην οροφή ή στους γύρω χώρους ή από συστήματα μηχανικής υποβοήθησης εξαερισμού καπνού. Είναι καθοριστικής σημασίας η ύπαρξη τέτοιων λύσεων διότι αποτελεί όδευση φυγής του καπνού και θα πρέπει να μην ξεπερνάνε τις απαιτήσεις για την δύναμη ανοίγματος της πόρτας. Σε περίπτωση πυρκαγιάς θα πρέπει όλες οι οδεύσεις φυγής καπνού να ανοίγουν αυτόματα και τα μεγάλα ανοίγματα να καταλαμβάνουν το 85%-95% της συνολικής πλήρωσης αέρα. Ο αέρας που εισέρχεται στο αίθριο ιδανικά δεν θα πρέπει να ξεπερνάει τα 200fpm δηλαδή 1m/s και ο λόγος είναι ότι αν υπερβεί το όριο αυτό υπάρχει κίνδυνος εκτροπής του καπνού και να οδηγήσει στην ανάμειξη του αέρα με τον καπνό και στην συνέχεια σε σφάλμα στο σύστημα ελέγχου καπνού. Επιπλέον η οριοθέτηση τέτοιων συνθηκών ταχύτητας αέρα βοηθάει στην μείωση της εξαπλωμένης φωτιάς.

Διαστρωμάτωση.

Κάτω από το στρώμα καπνού σχηματίζεται ένα θερμό στρώμα καπνού που είναι άμεσα επηρεασμένο από την ηλιακή ακτινοβολία του περιβάλλοντος και προσεγγίζει θερμοκρασίες γύρω από τους 50°C. Όταν η μέση θερμοκρασία του καπνού είναι μακρότερη από εκείνη του θερμού στρώματος αέρα τότε ακριβώς από κάτω σχηματίζεται ένα ακόμα σωματοποιημένο στρώμα καπνού που εμποδίζει τον καπνό να εντοπιστεί από τους ανιχνευτές. Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται ειδικοί ανιχνευτές καπνοί προβαλλόμενης δέσμης.

Έλεγχος και λειτουργία.

Όλα τα συστήματα ανίχνευσης και καταιονισμού φωτιάς πρέπει να ενεργοποιούνται από αυτόματες διαδικασίες και να προσφέρουν γρήγορη και αποτελεσματική προστασία για τα άτομα που μπορεί να βρίσκονται μέσα στον χώρο του αίθριου. Οι επιλογές που προκύπτουν για την ενεργοποίηση και κατάσβεση μιας πιθανής φωτιάς σε ένα αίθριο, είναι η τοποθέτηση ανιχνευτών

καπνού και θερμότητας. Για την κατάσβεση της χρησιμοποιούνται καταιονιστές με ροή νερού. Το σύστημα ελέγχου θα πρέπει να ενεργοποιείται πλήρως πριν οι συνθήκες μέσα στο αίθριο πλησιάσουν τις συνθήκες σχεδιασμού ενεργοποίησης και απενεργοποίησης του συστήματος γίνεται είτε αυτόματα είτε χειροκίνητα για ειδικές περίπτωση

2 Ανάλυση δεδομένων μέσω ρευστοδυναμικών εργαλείων FDS

Για την διεξαγωγή του πειραματικού μέρους της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας έγινε χρήση του κώδικα FDS (Fire Dynamics Simulation). Αποτελεί ένα λογισμικό μοντελοποίησης σεναρίων φωτιάς και εκκένωσης του χώρου. Σε συνδυασμό με τις εξισώσεις Navier-Stokes, διατήρηση της μάζας, της ορμής και της ενέργειας παρέχει πληροφορίες για την παραγωγή καπνού και αναλύει φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας και μάζας καθώς και τον ρυθμό θερμικών ροών (κυρίως χαμηλών ταχυτήτων). Εν συνεχεία, για την επίλυση των παραγώγων των εξισώσεων θα γίνει χρήση μεθόδων πεπερασμένων διαφορών και αντίστοιχα για τον υπολογισμό αριθμού Mach σε διαφορετικές θερμοκρασίες χρήση εξισώσεων καύσης. Για τις διαδοχικές λύσεις που προκύπτουν σε χρονική κλίμακα, χρησιμοποιείται η μέθοδος πρόβλεψης – Διόρθωσης. Με την χρήση αυτής της μεθόδου δημιουργούνται δεδομένα τα οποία συσχετίζονται άμεσα με τα ακριβώς προηγούμενα δεδομένα. Με βάση τις λύσεις που αποδίδονται στα προηγούμενα σημεία προκύπτουν νέες λύσεις και για τα επόμενα με την υποβοήθησης μαθηματικών μοντέλων όπου πραγματοποιούν διορθώσεις για καλύτερα αποτελέσματα.

Ο αλγόριθμος αυτός έχει την ικανότητα να αναλύει ροικά φαινόμενα μέσα από την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων και διαφορικών εξισώσεων δευτέρας τάξεως αναλύοντας τόσο τις παράγωγους του χώρου αλλά και του χρόνου με την βοήθεια της μεθόδου πρόβλεψης -διόρθωσης. Η μέθοδος αυτή προβλέπει την τιμή του επόμενου σημείου λύσης με βάση τα αποτελέσματα από το προηγούμενο ακριβώς σημείο, με την χρήση μαθηματικής σχέσης διορθώνει την αμέσως επόμενη τιμή. Μια πιθανή περίπτωση απόδειξης αυτής της μεθόδου είναι ο υπολογισμός της πίεσης και της ταχύτητας όπου με την χρήση της εξίσωσης της διατήρησης ενέργειας υπολογίζει τις νέες και διορθωμένες τιμές πίεσεως και ταχύτητας και έτσι δημιουργείται μια αλληλουχία αποτελεσμάτων και διορθωτικών τιμών όπου επαναλαμβάνονται μέχρι να ολοκληρωθεί ο τελικός αριθμός τιμών που ζητείται.

2.1 Θεμελιώδης εξισώσεις.

Στην προκείμενη περίπτωση γίνεται χρήση μερικών παραγώγων για της εξισώσεις της διατήρησης ενέργειας, διατήρησης μάζας και διατήρησης της ορμής, όπου με την βοήθεια των πεπερασμένων διαφορικών στοιχείων δευτέρας τάξεως μετατρέπονται σε κώδικα fds.

Οι εξισώσεις που επιλυθήκαν και προσαρμόστηκαν στον κώδικα fds είναι:

- **Εξίσωση 1: Εξίσωση συνέχειας της μάζας.**

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

- **Εξίσωση 2: Εξίσωση της Διατήρησης Ορμής.**

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i + f_{d,i} + \dot{m}_b''' u_{b,i}$$

Η φωτιά και η επίλυση της πίεσης p , τόσο χρονικά όσο και χωρικά, αποτελούν εφαρμογές χαμηλής ταχύτητας. Οι Rehm και Baum (McGrattan et al. 1998) παρατήρησαν πως για τις εφαρμογές αυτές υπάρχει η δυνατότητα της αποσύνθεσης σε μια πίεση υποβάθρου (background), $\bar{p}(z,t)$, σε συνδυασμό με μια διαταραχή $\tilde{p}(x,y,z,t)$. Έτσι σύμφωνα με τον ιδανικό νόμο των αερίων, η πίεση υποβάθρου είναι η μοναδική που διατηρείται στην εξίσωση κατάσταση.

- **Εξίσωση 3: Εξίσωση Διατήρησης της Ενέργειας.**

$$\bar{p} = \rho T R \sum_a \frac{Z_a}{W_a} = \frac{\rho RT}{\bar{W}}$$

Το μειονέκτημα που δημιουργείται όταν προκύπτουν ροές με χαμηλό αριθμό Mach είναι ότι μέσω των εξισώσεων της εσωτερικής ενέργειας e και της

ενθαλπίας h είναι ότι παρουσιάζονται μέσα από όρους θερμοδυναμικής του υπόβαθρου πίεσης: $h = e + \bar{p}/\rho$. Η.

Όπου.

\dot{q}''' : ρυθμός έκλυσης θερμότητας ανά μονάδα όγκου.

\vec{q}'' : ροή θερμότητας από ακτινοβολία.

Εξίσωση 4: Ακτινοβολία από συναγωγή.

$$\vec{q}'' = -k\nabla T - \sum_{\alpha} h_{s,\alpha} \rho D_{\alpha} \nabla Y_{\alpha} + \dot{q}_r''$$

k : είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας.

\vec{q}'' : είναι η ροή θερμότητας λόγω ακτινοβολίας σε στερεή επιφάνεια.

Εξίσωση 5: Υπολογισμός ταχύτητας απόκλισης.

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = \frac{1}{\rho h_s} \left[\frac{D}{Dt} (\bar{p} - \rho h_s) + \dot{q}''' + \dot{q}_r''' - \dot{q}_r''' - \nabla \cdot \dot{q}'' \right]$$

Εξίσωση 6: Υπολογισμός κάθε αερίου ξεχωριστά που μεταφέρεται στον αέρα.

$$\frac{\partial(\rho Z_{\alpha})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho Z_{\alpha} \mathbf{u}) = \nabla \cdot (\rho D_{\alpha} \nabla Z_{\alpha}) + \dot{m}_{\alpha}'''$$

Μέσα από τον κώδικα FDS είναι δυνατή η επίλυση ρευστοδυναμικών εξισώσεων σε συνεργασία με την μέθοδο προσομοίωσης μεγάλων δυνών (LES – Large Eddy Simulation). Η διαδικασία αυτή επιφέρει τον άμεσο υπολογισμό δυνών μεγάλης κλίμακας και σε περίπτωση όπου προκύπτουν δύνες μικρής κλίμακας είναι εφικτή και η μοντελοποίηση τους με την προσθήκη

υποπλεγματικών μοντέλων. Σε περιπτώσεις προσομοίωσης μεγάλων δινών χρησιμοποιείται το μοντέλο Smagorinsky.

Εξίσωση 7: Εξίσωση Διατήρησης της Ορμής.

$$\frac{\partial(\bar{\rho}u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\bar{\rho}u_i u_j) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} - \frac{\partial \bar{\tau}_{ij}}{\partial x_j} + \bar{\rho}g_i + \bar{f}_{d,i} + \overline{\dot{m}_b'''' u_{b,i}}$$

Όπου έπειτα από την εφαρμογή του Favre filter $\bar{\varphi} = \frac{\bar{\rho}\varphi}{\bar{\rho}}$ η εξίσωση της ορμής παρουσιάζεται ως εξής:

Εξίσωση 8: Μετασχηματισμός Εξίσωσης Διατήρησης της Ορμής.

$$\frac{\partial(\bar{\rho}\tilde{u}_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\bar{\rho}\tilde{u}_i \tilde{u}_j) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} - \frac{\partial \bar{\tau}_{ij}}{\partial x_j} + \bar{\rho}g_i + \bar{f}_{d,i} + \overline{\dot{m}_b'''' \tilde{u}_{b,i}}$$

Όπου:

$\bar{f}_{d,i}$: Εξωτερικές δυνάμεις εφαρμογής.

$\bar{\tau}_{ij}$: Τάση τάνυσης.

Εξίσωση 9: Εξίσωση υπολογισμού τάσεων τάνυσης.

$$\tau_{ij} = \mu \left(2\bar{S}_{ij} - \frac{2}{3}\delta_{ij}(\nabla \cdot \bar{\mathbf{u}}) \right)$$

2.2 Εφαρμογή διαδικασία επίλυσης.

Με βάση την ικανότητα του FDS να αναλύει σχήματα με την μορφή πλέγματος και να τα επιλύει συγχρόνως τα με μαθηματικές εξισώσεις, προκύπτουν ροές που μεταβάλλονται στον χρόνο όπου και πάλι μπορούν να αναλυθούν μέσα από το σχήμα Runge-Kutta δεύτερης τάξης. Με βάση την ικανότητα του αλγόριθμου αυτού παρουσιάζονται τα παρακάτω βήματα επίλυσης.

- **BHMA 1ο**: Ανάλυση και υπολογισμός μέσου ροικού πεδίου \bar{u}^n .
- **BHMA 2ο**: Υπολογισμός ρ , Y_α και \bar{p}_m για το ακριβώς επόμενο χρονικό σημείο με την χρήση του σχήματος Euler.

Εξίσωση 10: Υπολογισμός πυκνότητας.

$$\frac{\rho^* - \rho^n}{\delta t} + \nabla \cdot \rho^n \bar{u}^n = 0$$

- **BHMA 3ο**: Μεταβολή των οριακών συνθηκών για τις δυο περιπτώσεις ρ^* και Y_α^* οριοθέτηση των πλεγμάτων..
- **BHMA 4ο**: Προγραμματισμός εφαρμογής των οριακών συνθηκών ρ^* και Y_α^* .
- **BHMA 5ο**: Εφαρμόζοντας την εξίσωση διατήρησης της ενέργειας προκύπτει ο υπολογισμός της απόκλισης της ταχύτητας $\nabla \cdot \bar{u}^*$. Στο βήμα αυτό όλοι οι υπολογισμοί για την ταχύτητα και την απόκλιση της έχουν υπολογιστεί χωρίς να έχει πραγματοποιηθεί διαδικασία επίλυσης και εκτίμησης του αμέσως επόμενου χρονικού σημείου αρά και η απόκλιση του (McGrattan, K. B., H. R. Baum and R. G. Rehm (1998). "Large eddy simulations of smoke movement." Fire Safety Journal **30**(2): 161-178, McGrattan, K. (2005). "Fire Dynamics Simulator (Version 4)—Technical Reference Guide.").

3 Ανάλυση αίθριου

3.1.1 Ροή γύρω από αίθριο κτήριο.

Το προφίλ ταχύτητας του αέρα διαφοροποιείται ανάλογα με την γεωμετρία που παρεμβάλλεται μέσα στο πεδίο ατμοσφαιρικής ροής, και προσαρμόζεται σε αυτό με την ανάπτυξη της. Η ροή του αέρα μπορεί να επηρεαστεί από διάφορους παράγοντες όπως το ύψος, την θέση του κτιρίου, καθώς και από εξωτερικές συνθήκες όπως η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου. Στη ρευστοδυναμική, η ροή του αέρα περιγράφεται από έναν συνδυασμό ταχύτητας, πίεσης και θερμοκρασίας και οι γραμμές ροής καθορίζονται από την ισορροπία μεταξύ αυτών των ποσοτήτων. Η αεροδυναμική ροή αέρα γύρω από ένα κτίριο μπορεί να μοντελοποιηθεί και να αναλυθεί χρησιμοποιώντας προσομοιώσεις, δοκιμές αεροδυναμικής σήραγγας ή φυσικά μοντέλα.

Για παράδειγμα, η ανάλυση μεταβλητών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη του αντίκτυπου της προσθήκης ή αφαίρεσης ανεμοφράκτη, όπως δέντρα ή τοίχοι και στη ροή αέρα γύρω από ένα κτίριο. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού του κτιρίου και του περιβάλλοντα χώρου για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, της ποιότητας του εσωτερικού αέρα και της συνολικής άνεσης για τους ενοίκους του κτιρίου.

Εκτός από την ανάλυση της ροής του αέρα γύρω από τα κτίρια, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη της επίδρασης άλλων μεταβλητών, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία ή οι ατμοσφαιρικοί ρύποι στη συνολική απόδοση του κτιρίου. Τα αποτελέσματα από αυτές τις μελέτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενημέρωση των αποφάσεων σχεδιασμού και τη βελτίωση της συνολικής βιωσιμότητας και απόδοσης του κτιρίου.

Για να αναλύσουν και να σχεδιάσουν την προσαρμογή της ροής αέρα γύρω από ένα αίθριο, οι μηχανικοί μπορούν να χρησιμοποιήσουν διάφορα εργαλεία όπως προσομοιώσεις υπολογιστή, δοκιμές αεροδυναμικής σήραγγας και φυσικά μοντέλα. Αυτά τα εργαλεία επιτρέπουν στους μηχανικούς να μελετούν τη

ροή του αέρα σε ένα αίθριο υπό διάφορες συνθήκες και να κάνουν προσαρμογές για τη βελτίωση της συνολικής απόδοσης του κτηρίου.

3.1.2 Περιγραφή της μελετώμενης γεωμετρίας

Η εργασία αυτή μελετάει τρεις διαφορετικές περιπτώσεις προσομοίωσης με σκοπό την σύγκριση και αξιολόγηση τόσο της γεωμετρίας στην έκθεση μιας ροής αέρα όσο και στην ύπαρξη εστίας φωτιάς σε ορισμένα σημεία μέσα στην γεωμετρία. Σκοπός είναι η παρατήρηση της ροής του αέρα σε συνδυασμό με τον εκλυόμενο καπνό από το ενδεχόμενο αυτό. Επίσης θα προσεγγιστεί ο ρυθμός εξάπλωσης της φωτιάς και του καπνού καθώς η μεταβολή της θερμοκρασίας, πίεσης και ταχύτητα ροής για ένα συγκεκριμένο υπολογιστικό πεδίο, με βάση τις δυο περιοχές που έχουν σχεδιαστεί μέσα στο αίθριο, δημιουργώντας δυο διαφορετικά σενάρια πιθανής φωτιάς. Η καύσιμη ύλη της εστίας φωτιάς είναι το επτάνιο και λαμβάνει την τιμή των 2000kw/m^2 . Η επιφάνεια κάλυψης της εστίας σχεδιάστηκε στο 1m^2 . Ο συνολικός χρόνος εξέλιξης του πειράματος είναι 600sec . Η πρώτη περίπτωση εξετάζει την γεωμετρία εκτεθειμένη σε ένα πεδίο ροής αέρα (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Η δεύτερη και η τρίτη περίπτωση εξετάζει την συμπεριφορά της εστίας φωτιάς σε δυο διαφορετικές θέσεις με το ίδιο προφίλ ταχύτητας. Την πρώτη περίπτωση όπου η εστία φωτιάς βρίσκεται μέσα στον κλειστό χώρο του αίθριου (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) και την δεύτερη περίπτωση εντός της αυλής του αίθριου (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Οι δυο αυτές περιπτώσεις θα συσχετιστούν με την ροή αέρα, την ροή του καπνού και τον χρόνο διάδοσης τους. Στην μια πλευρά από τις τέσσερις του κτηρίου όπου βρίσκεται κάθετα στην ροή του αέρα στο αίθριο. Ακόμα υπάρχει μια διαμπερής είσοδος που οδηγεί στην κεντρική αυλή του κτηρίου.

3.1.3 Διαστασιολόγηση αίθριου.

Στην μια πλευρά από τις τέσσερις του κτηρίου όπου βρίσκεται κάθετα στην ροή του αέρα στο αίθριο. Ακόμα υπάρχει μια διαμπερής είσοδος που οδηγεί στην κεντρική αυλή του κτηρίου.

Οι διαστάσεις της τετραγωνικής μορφής εισόδου είναι (διαμπερής): 2 m (μήκος) x 0.2 m (πλάτος) x 2 m (ύψος) και 2m απόσταση από το έδαφος 3.1.1.

Οι εξωτερικές διαστάσεις του κτηρίου είναι: 27 m (μήκος) x 27 m (πλάτος) x 6 m (ύψος) (Σχήμα 3-1).

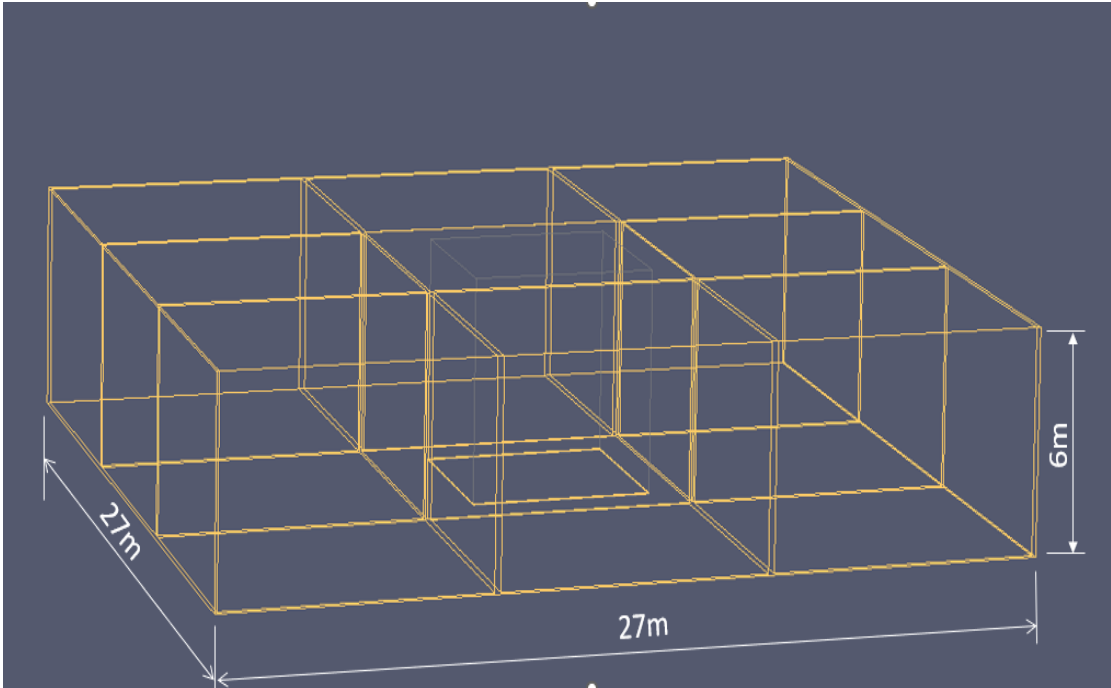
Οι διαστάσεις της τετραγωνικής μορφής εισόδου είναι: 2 m (μήκος) x 9 m (πλάτος) x 2 m (ύψος) και 2m απόσταση από το έδαφος (Σχήμα 3-2).

Η κεντρική αυλή έχει διαστάσεις: 9 m (μήκος) x 9 m (πλάτος) x 6 m (ύψος) (Σχήμα 3-3).

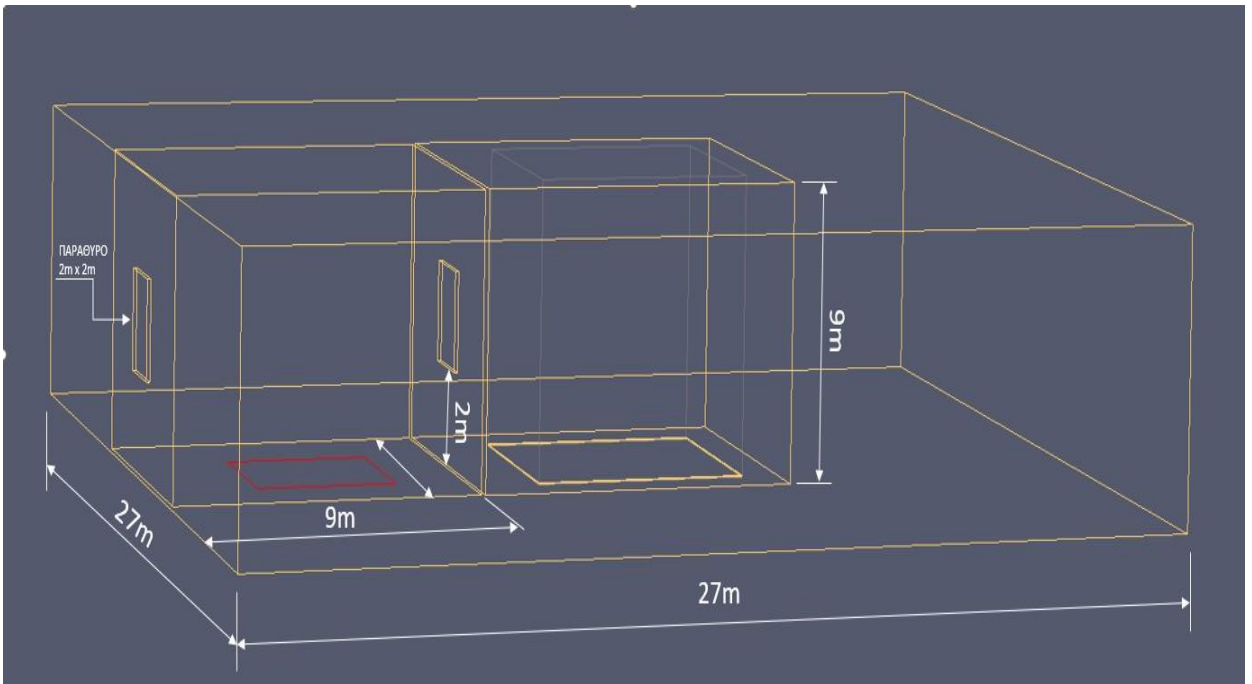
Σύνθεση προϊόντων καύσης.

Καύσιμη ύλη: Επτάνιο.

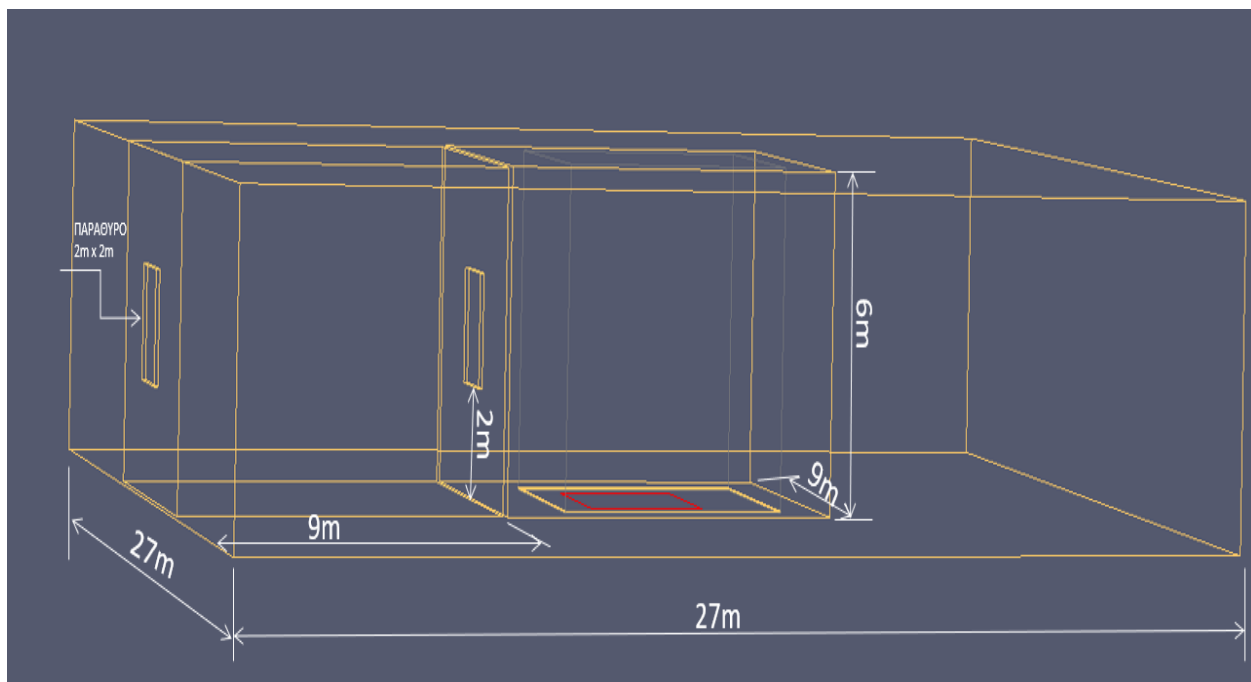
C: 7 , H: 16 (Προσδιόμενη τιμή μονοξειδίου του άνθρακα 0.006 και αντίστοιχη τιμή απόδοσης καπνού 0.0015).



Σχήμα 3-1 Γεωμετρία πρώτης περίπτωσης.



Σχήμα 3-2 Γεωμετρία πρώτης περίπτωσης δοκιμής τοποθετώντας την εστία φωτιάς στο εσωτερικό του αίθριου

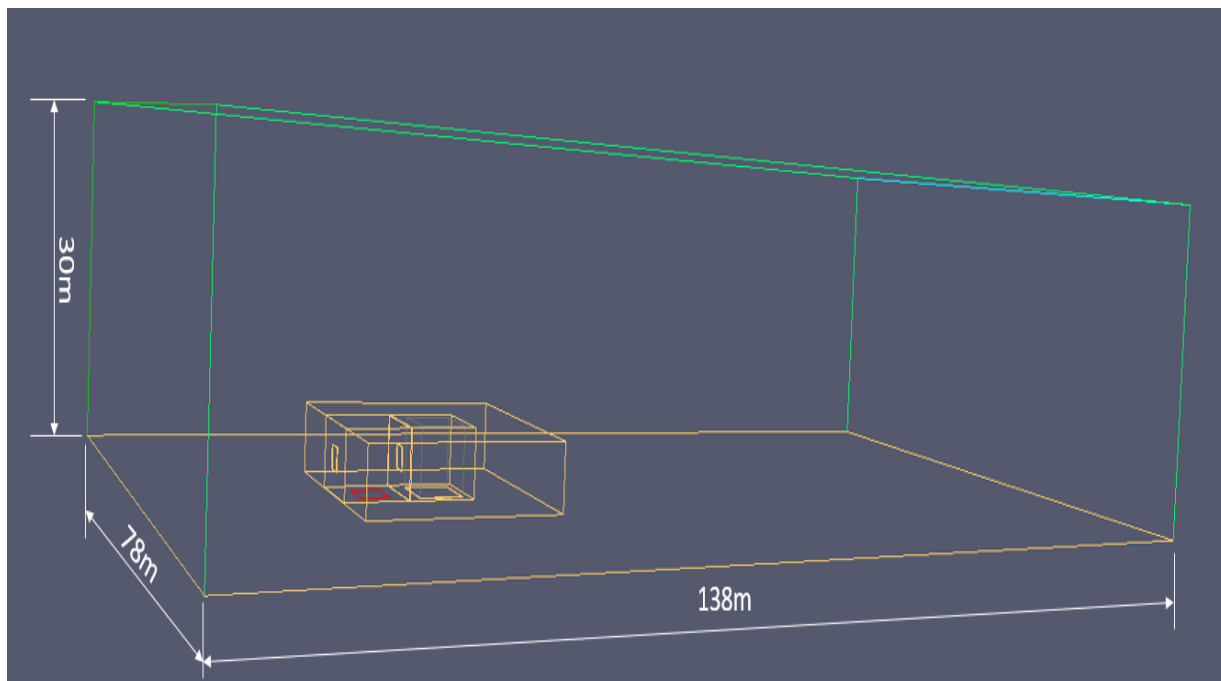


Σχήμα 3-3 Γεωμετρία δεύτερης περίπτωσης δοκιμής τοποθετώντας την εστία φωτιάς στην αυλή του αίθριο.

3.1.4 Υπολογιστικό χωρίο

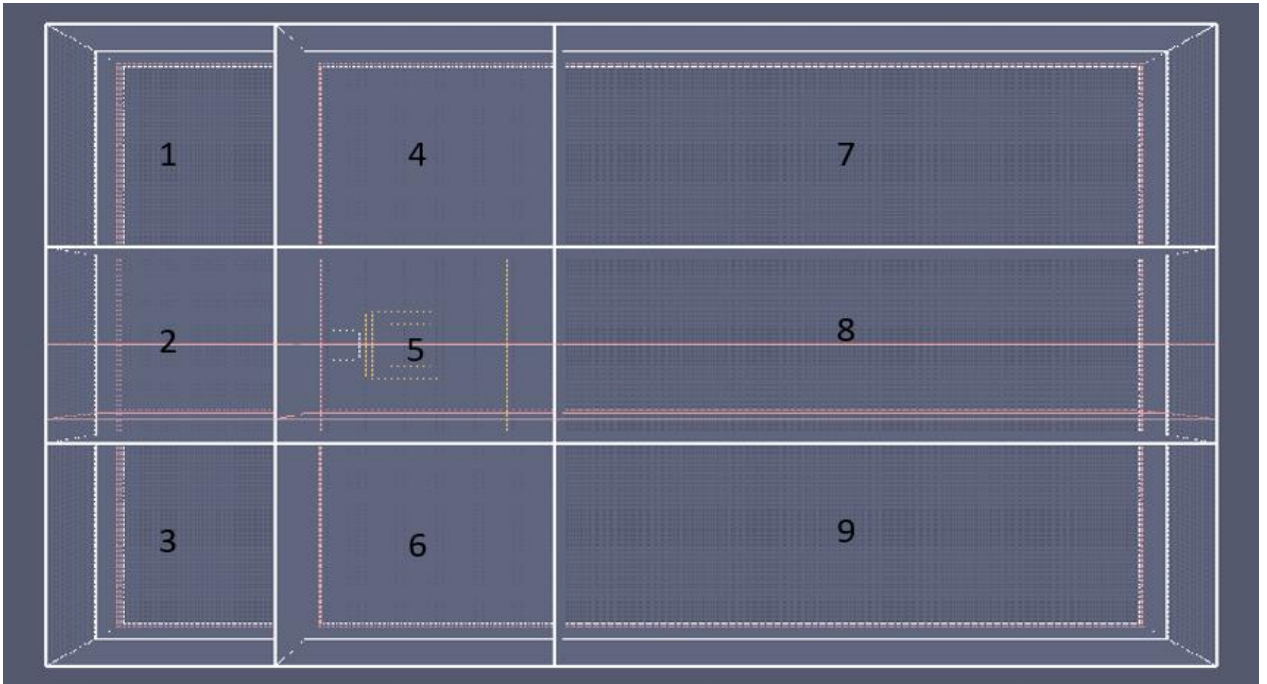
Για τον υπολογισμό των αναφερόμενων παραμέτρων δημιουργήθηκε υπολογιστικό χωρίο με την χρήση του λογισμικού Pyrosim. Αρχικά διαστασιολογήθηκε το πεδίο ροής (Σχήμα 3-4) και στην συνέχεια προσαρμόστηκε η γεωμετρία μέσα σε αυτό (Σχήμα 3-5). Το πεδίο αυτό περιέχει μια σειρά από πλέγματα που αναλύουν τα δεδομένα της ροής για κάθε σημείο του χώρου και τα αποδίδουν σαν οπτική απεικόνιση. Για την απόδοση αναλυτικότερων και ακριβέστερων αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν πλέγματα σε όλον τον χώρο του πεδίου ροής όπως ενδεικτικά εμφανίζεται και στο Σχήμα 3-6 που αριθμεί τις περιοχές των κελίων μέσα στο πεδίο ροής υπό την μορφή κατόψεως. Ο συνολικός αριθμός των ομαδοποιημένων κελίων είναι 18 όπου χωρίζονται σε αντίστοιχα υποκελιά (Πίνακας 2 Πίνακας 2). Για να γίνει η συλλογή δεδομένων της ταχύτητας του καπνού, των ροικών γραμμών του αέρα αλλά και των θερμοκρασιακών μεταβολών τόσο στην οροφή όσο και στα εσωτερικά τοιχώματα του αίθριο, με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια, τοποθετήθηκαν 32 θερμοστοιχεία (Πίνακας 1) τύπου K σε σταθερή απόσταση

μεταξύ τους σε όλο το εσωτερικό και εξωτερικό του αίθριου. Το επίπεδο ροής της γεωμετρίας βρίσκεται για $Y=39\text{m}$ (Σχήμα 3-7 , Σχήμα 3-8; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).



Σχήμα 3-4 Διαστασιολόγηση πεδίου ροής.

Σχήμα 3-5 Προσαρμογή γεωμετρίας μέσα στο πεδίο ροής.



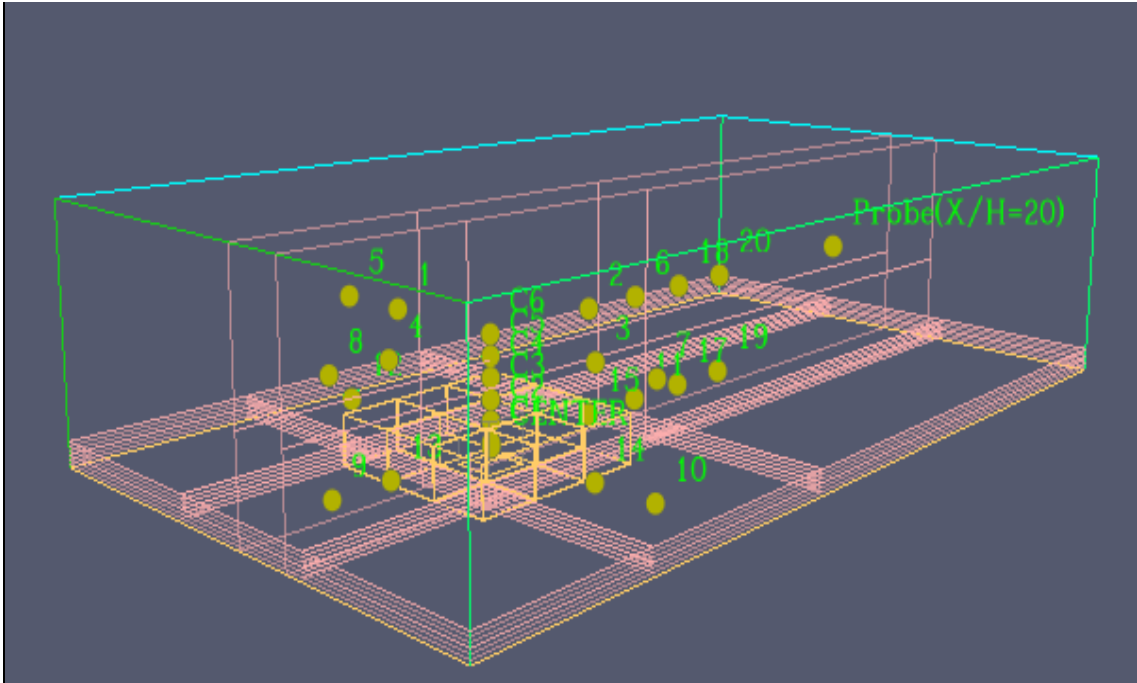
Σχήμα 3-6 Κατανομή κελιών μέσα στο πεδίο ροής.

ΑΙΣΘΗΤΗΤΑΣ	X	Y	Z
CENTER	39	39	2
W1	30	39	2
W2	32	39	2
W3	36	39	2
1	39	58	15
2	58	39	15
3	39	20	15
4	22	39	15
5	39	69	15
6	68	39	15
7	39	10	15
8	13	39	15
C1	39	39	2.5
C2	39	39	5
C3	39	39	7.5
C4	39	39	10
C5	39	39	12.5
C6	39	39	15
9	13	39	2
10	39	10	2
11	68	39	2
12	39	69	2
13	22	39	2
14	39	20	2
15	58	39	2
17	78	39	2
18	78	39	15
19	88	39	2
20	88	39	1
W0	28	39	2
W12	30	39	4
W13	30	39	5

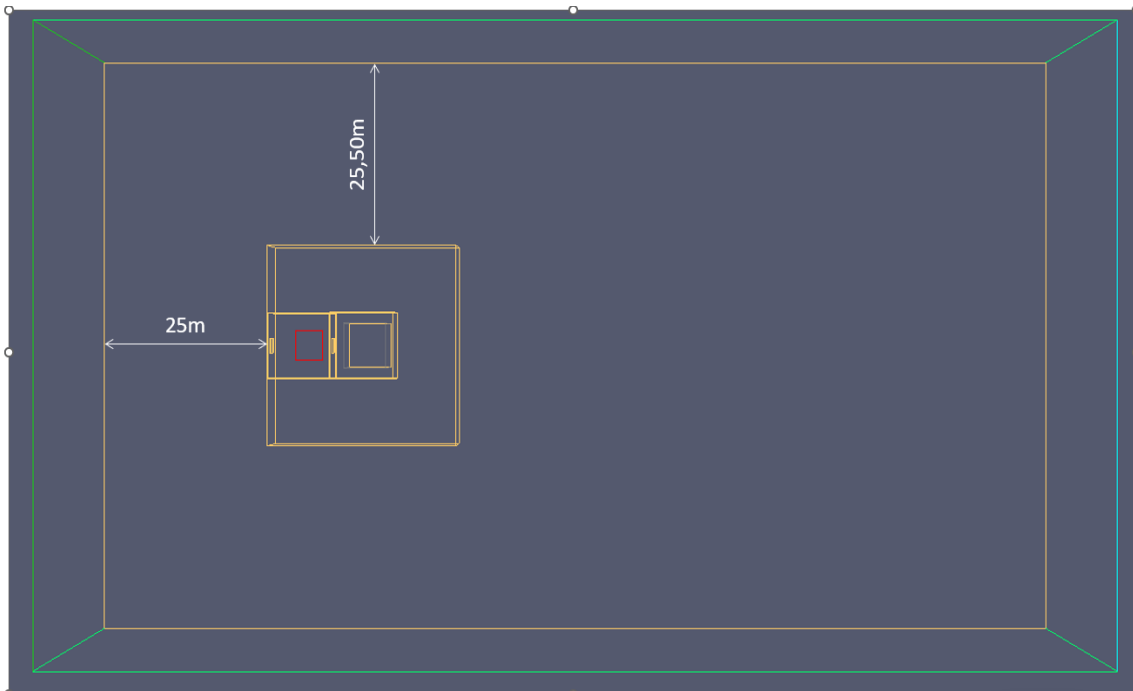
Πίνακας 1 Θέση αισθητήρων μέσα στον χώρο.

A/A	ΘΕΣΗ ΚΕΛΙΟΥ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΕΛΙΩΝ ΕΝΤΟΣ
1	<u>FrontFront</u> (Down)	32000
2	<u>FrontMid</u> (Down)	32000
3	<u>FrontBack</u> (Down)	32000
4	<u>BuildingFront</u> (Down)	192000
5	<u>BuildingMid</u> (Down)	192000
6	<u>BuildingBack</u> (Down)	192000
7	<u>BackFront</u> (Down)	64000
8	<u>BackMid</u> (Down)	64000
9	<u>BackBack</u> (Down)	64000
10	<u>FrontFront</u> (Top)	32000
11	<u>FrontMid</u> (Top)	128000
12	<u>FrontBack</u> (Top)	32000
13	<u>BuildingFront</u> (Top)	48000
14	<u>BuildingMid</u> (Top)	96000
15	<u>BuildingBack</u> (Top)	48000
16	<u>BackFront</u> (Top)	64000
17	<u>BackMid</u> (Top)	64000
18	<u>BackBack</u> (Top)	64000
		Σύνολο : 1440000

Πίνακας 2 Αριθμητική κατανομή κελιών στο πεδίο ροής



Σχήμα 3-7 Απεικόνιση της υπολογιστικής προσομοίωσης αίθριου.



Σχήμα 3-8 Θέση γεωμετρίας μέσα στο πεδίο ροής

3.1.5 Οριακές συνθήκες

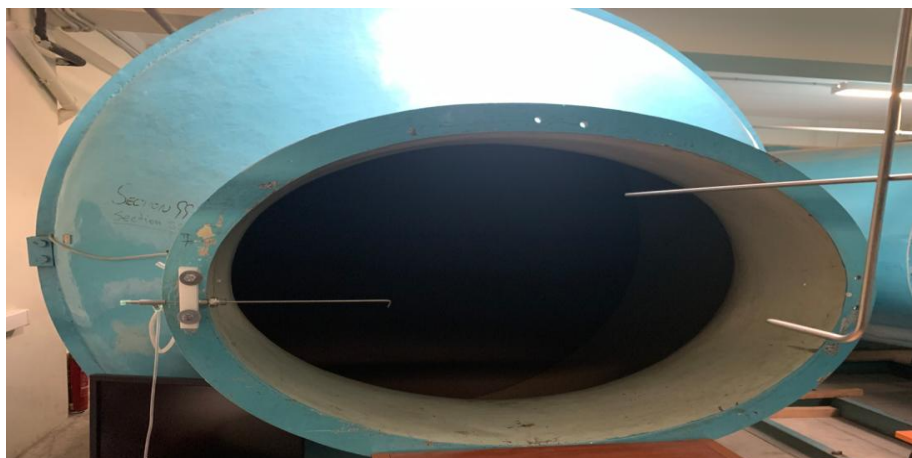
Μια εναλλακτική λύση στη χρήση της θεωρίας ομοιότητας Monin-Obuchon για τον προσδιορισμό του ανέμου είναι να προσδιοριστεί ένα προφίλ ανέμου με νόμο ισχύος σε ένα εξωτερικό όριο του υπολογιστικού πεδίου.

Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ουσιαστικά ένα "τοίχος ανέμου" και στις πρώτες εκδόσεις του FDS αυτή ήταν η συνιστώμενη μέθοδος για τον προσδιορισμό ενός ανέμου. Ωστόσο, οι τεχνικές που περιγράφονται παραπάνω είναι προτιμότερες, καθώς δεν αλλάζουν τα πλευρικά όρια του υπολογιστικού πεδίου με πιο φυσικό τρόπο. Για να οριστεί ένα "τοίχωμα ανέμου", ορίζεται ως **<PROFILE ='ATMOSPHERIC'>** στη γραμμή SURF, η οποία συνδέεται με ένα εξωτερικό πλευρικό όριο του υπολογιστικού πεδίου. Αυτό παράγει ένα ατμοσφαιρικό προφίλ ανέμου με νόμο ισχύος της μορφής $u = u_0(z/z_0)^p$, όπου z είναι το ύψος πάνω από το έδαφος. Εάν προβλέπεται ατμοσφαιρικό προφίλ, καθορίζεται επίσης ως Z_0 για το z_0 και PLE για το p . VEL καθορίζει την ταχύτητα αναφοράς u_0 . Επίσης το z_0 δεν είναι το έδαφος, αλλά το ύψος πάνω από το έδαφος στο οποίο μετράτε η ταχύτητα ανέμου, όπως σε έναν υπερυψωμένο μετεωρολογικό σταθμό. Θεωρείται ότι το έδαφος βρίσκεται στα 0 m. Για να μεταβληθεί αυτή την υπόθεση, ορίζεται ως $GROUND_LEVEL$ στη γραμμή WIND στο κατάλληλο υψόμετρο. Σε αυτήν την περίπτωση δεν θα πρέπει να εφαρμόζετε προφίλ ατμοσφαιρικής ταχύτητας (π. χ. αρνητικό z) κάτω από το $GROUND_LEVEL$, σε περίπτωση εμφάνισης μια τέτοιας συνθήκης το FDS θα διακόψει με σφάλμα. Εάν εφαρμοστεί η προσέγγιση του "τοίχου ανέμου", το πεδίο ανέμου απαιτεί ένα χρονικό διάστημα για να αναπτυχθεί. Για να επιταχυνθεί η ανάπτυξη αυτή, πρέπει να οριστεί η ροή σε όλη την περιοχή με την επιλεγμένη ταχύτητα ανέμου, όμως η διαμόρφωση του πεδίου θα πρέπει να μην παραμείνει στην αρχικού μορφή επ' αόριστόν. Σε τέτοιες περιπτώσεις, προστίθεται η γραμμή: **& WIND U0=... , V0=... , W0=...** /όπου U_0 , V_0 και W_0 είναι το επιθυμητό αρχικό πεδίο ανέμου. Εάν προσδιοριστούν οι συνιστώσες ταχύτητας απευθείας, η προσομοίωση θα αρχικοποιηθεί με ένα σταθερό πεδίο ροής, αλλά το πεδίο ροής θα φθίνει και η γραμμή SURF με το ατμοσφαιρικό προφίλ θα καθορίσει τη ροή του ανέμου.

3.1.6 Εργαστηριακές μετρήσεις

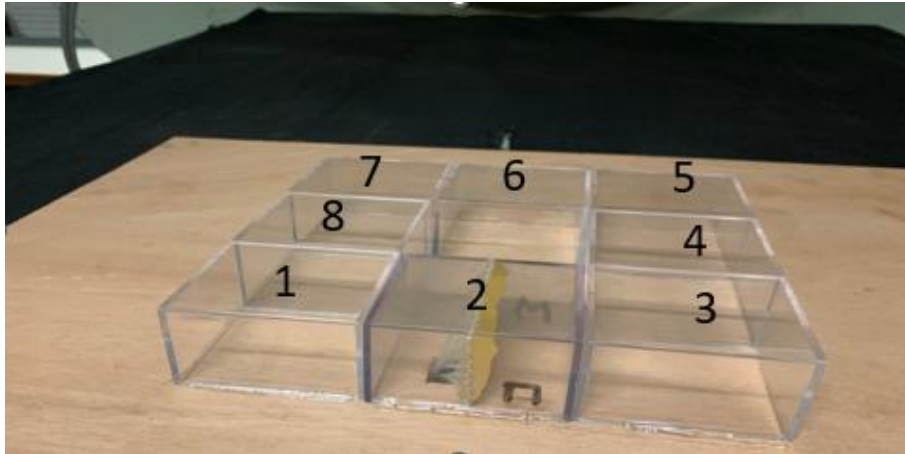
Με βάση την πειραματική διαδικασία πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για τον υπολογισμό της κατανομής της πίεσης στην προκειμένη γεωμετρία υπό κλίμακα. Η διεξαγωγή της πειραματικής διαδικασίας πραγματοποιήθηκε στην αεροσήραγγα του εργαστηρίου: «Εργαστήριο Ρευστοθερμικών Συστημάτων-ΕΡΘΣ» Laboratory of Thermo-Fluid Systems-LTFS) του τμήματος Μηχανολόγων της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Στο Σχήμα 3-9 παρουσιάζεται η προκειμένη αεροσύραγγα που θα χρησιμοποιηθεί για την εκτέλεση της πειραματικής διαδικασίας.

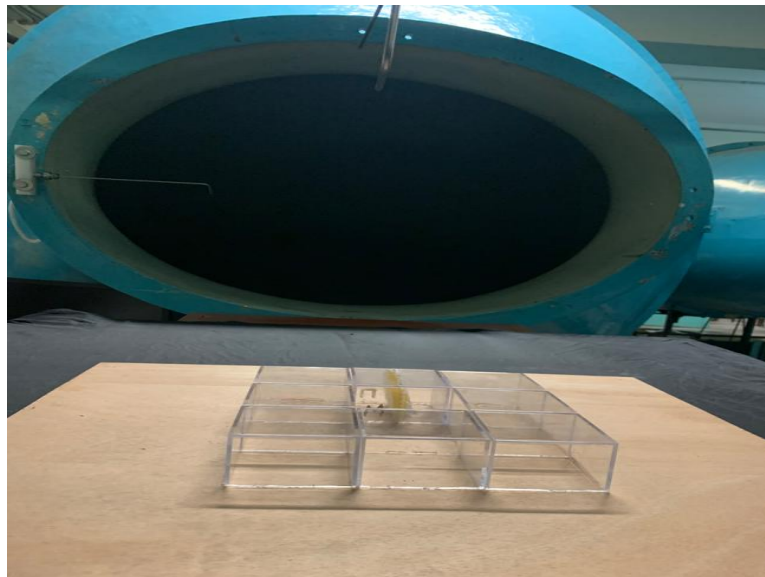


Σχήμα 3-9 Αεροσύραγγα του εργαστηρίου ΕΡΘΣ στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

Στο **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** απεικονίζεται η γεωμετρία υπό κλίμακα συναρμολογούμενος από 9 κύβους. Ο κύβος με το νούμερο 2 είναι αυτός ο οποίος θα συλλέξει τα δεδομένα της πίεσης για να αποδώσει την μεταβολή της πίεσης της ροής αέρα πάνω στην γεωμετρία. Ο συγκεκριμένος κύβος είναι διαμορφωμένος με 27 οπές στον X άξονα συμμετρίας.



Σχήμα 3-10 Γεωμετρία υπό κλίμακα



Σχήμα 3-11 Θέση γεωμετρίας μέσα στο πεδίο ροής της αεροσύραγγας

Το εργαστηριακό μικρομανόμετρο τύπου FCO560 χρησιμοποιήθηκε για την ακριβή και συνεχή μέτρηση της διαφοράς πίεσης στον κύβο 2 σε όλες τις οπές για την τελική απόδοση του δείκτη C_p .



Σχήμα 3-12 Εργαστηριακό μικρομανόμετρο τύπου FCO 560

3.1.7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Βήματα εκτέλεσης πειράματος

- Τοποθέτηση γεωμετρίας στο πεδίο ροής
- Προσδιορισμός ταχύτητα του αέρα με βάση την Εξίσωση 11.

$$U_{INF} = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}} U_{INF} = 12,25 \text{ m/sec.}$$

Εξίσωση 11 :Υπολογισμός ταχύτητας αέρα εισόδου.

- Ρύθμιση μικρομανομέτρου τύπου FCO560 για την συλλογή δεδομένων για κάθε χρονική στιγμή.
- Σταθεροποίηση συνθηκών εκτέλεσης πειράματος
- Εκκίνηση διαδικασίας.

Γεωμετρία κύβου για την συλλογή πειραματικών δεδομένων.

Μήκος :6.5cm

Πλάτος : 6.5cm

Ύψος : 3cm

Στο Σχήμα 3-13 απεικονίζεται η κατανομή της αδιάστατης ταχύτητας C_p γύρω από τον κύβο με βάση την Εξίσωση 12.

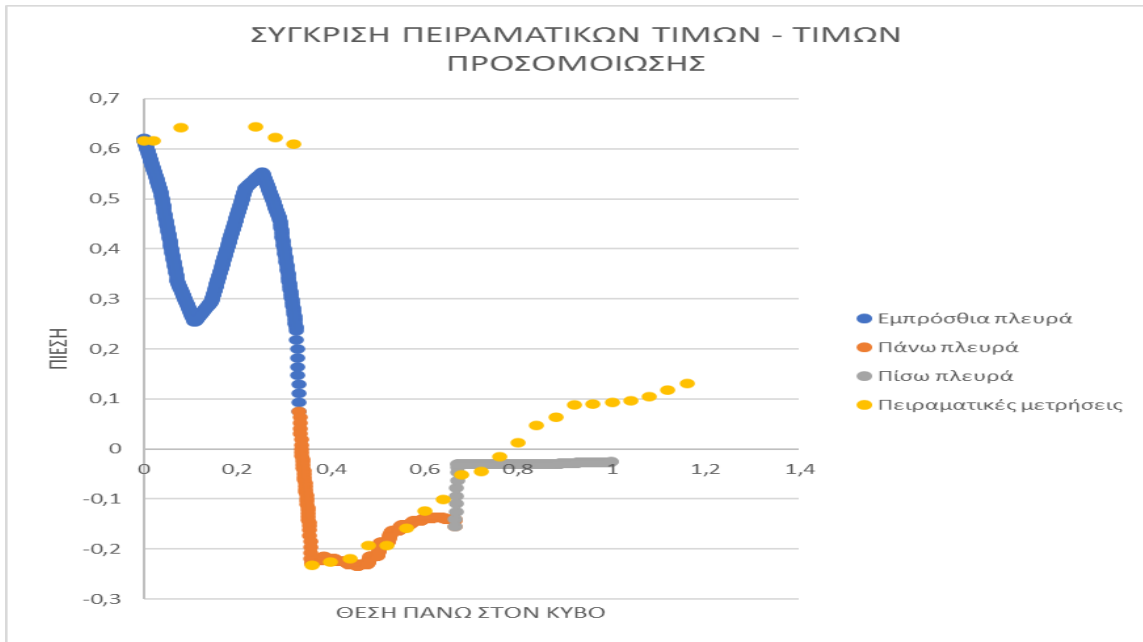
$$Cp_{mean} = \frac{\Delta P_{mean}}{\frac{1}{2} \rho u^2}$$

Εξίσωση 12 : Υπολογισμός Cp αέρα.

Η θέσεις των οπών είναι με σειρά πάνω στην γεωμετρία και ξεκινάει από το εμπρόσθιο μέρος που είναι κάθετο στην ροή αέρα και τελειώνουν στο πίσω μέρος του κύβου που είναι μέσα στην αυλή ολόκληρης της γεωμετρίας. Παρατηρούμε ότι η ροή που βρίσκεται κάθετα στις πρώτες οπές εμφανίζει θετικό αριθμό Cp και στην συνέχεια όσο πλησιάζουν οι μετρήσεις στο πίσω μέρος του του κύβου η πίεση μειώνεται αρχικά από την οπή 6 όπου πρακτικά αλλάζει και η θέση της ως προς την ροή αέρα και στην συνέχεια παραληρείτε μια σταδιακή αύξηση του αρνητικού Cp. Αυτό συμβαίνει διότι στην πίσω μεριά του κύβου επικρατεί υποπίεση λόγω αν κυκλοφορίας των δυνών λόγω της γεωμετρίας.



Σχήμα 3-13 Κατανομή Cp γύρω από τον κύβο

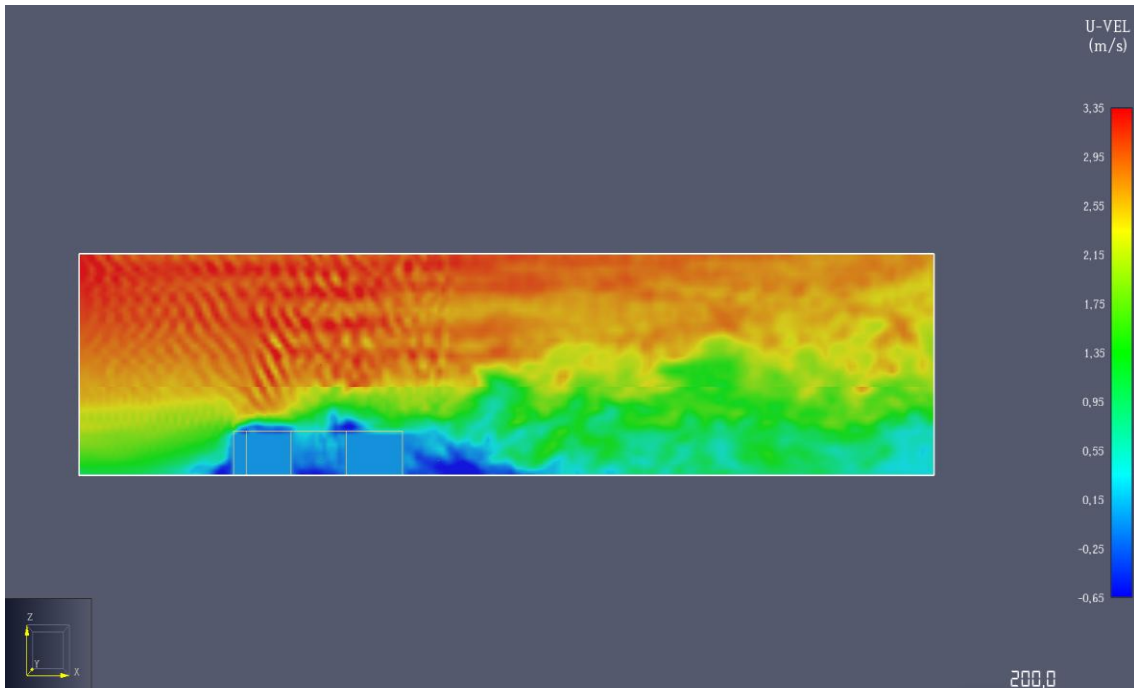


Σχήμα 3-14 Σύγκριση πειραματικών τιμών με τιμές προσομοίωσης

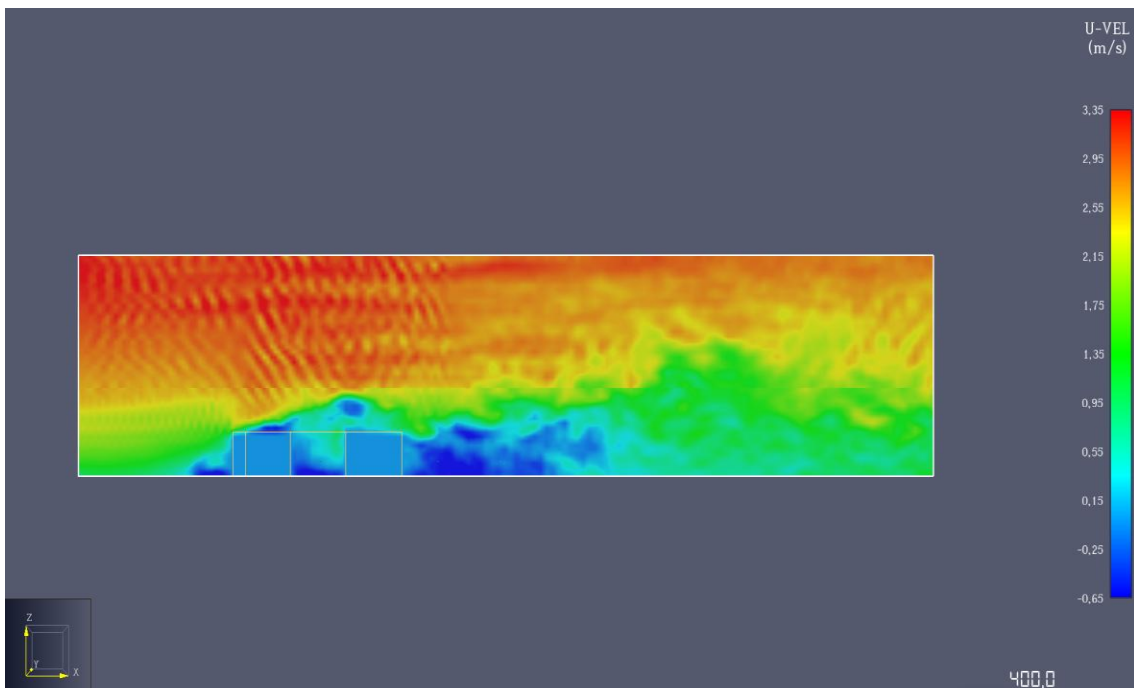
3.1.8 Αποτελέσματα απεικονίσεων πρώτης περίπτωσης.

Η πρώτη περίπτωση εξετάζει την βασική γεωμετρία του αίθριου χωρίς την πλευρική διαμπερή είσοδο μέσα στο πεδίο ροής αέρα. Σε αυτήν την περίπτωση εμφανίζονται οι απεικονίσεις των ρών του αέρα πάνω στην γεωμετρία.

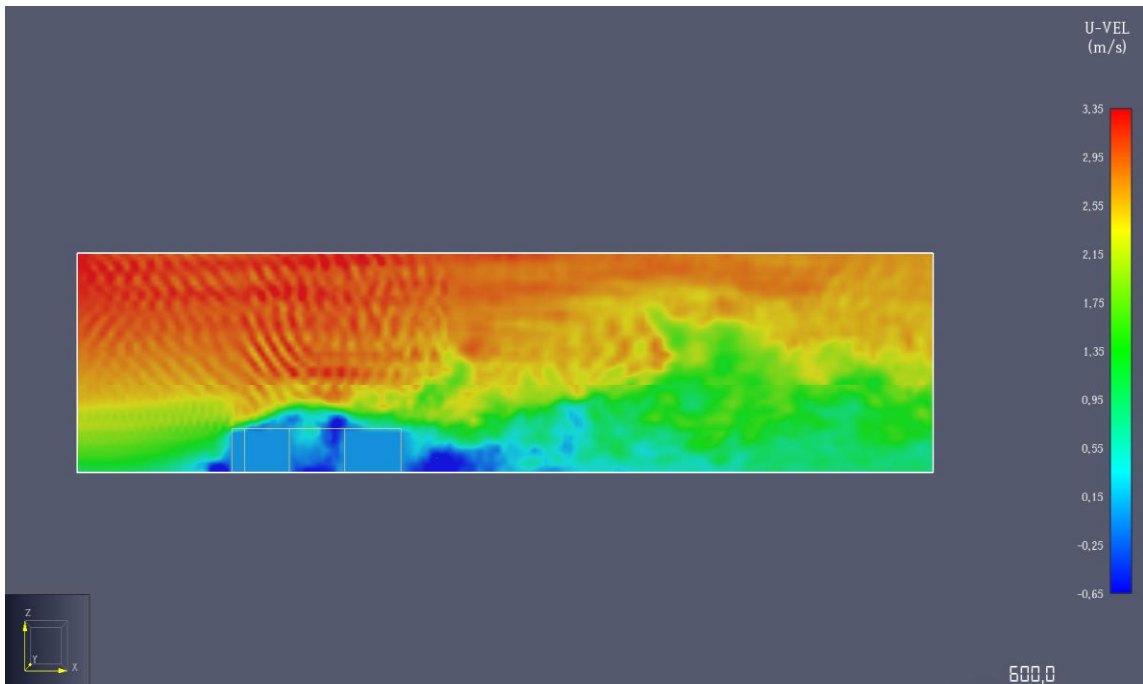
Στις περιπτώσεις των απεικονίσεων (Σχήμα 3-15, Σχήμα 3-16, Σχήμα 3-17) που παρουσιάζουν το ισοϋψή γράφημα ταχυτήτων παρατηρείται το προφίλ ταχύτητας εξελισσόμενο στις χρονικές στιγμές των 200sec, 400sec και 600sec όπου το αίθριο δεν περιέχει το πλευρικό άνοιγμα και δεν εξελίσσεται κάποια εστία φωτιάς μέσα στον χώρο. Για το στιγμιότυπο των 200sec παρατηρείται αρνητική τιμή ταχύτητας στην υπήμενη πλευρά του αίθριου. Αυτό συμβαίνει διότι λόγω της γεωμετρίας του αίθριου η ροή δεν μπορεί να εξελιχθεί ομοιόγραφα με αποτέλεσμα στην λυπημένη πλευρά να εμφανίζεται αναστροφή της ροής. Επίσης βλέπουμε πως πριν την προσαρμογή της ροής πάνω στην υποκείμενη γεωμετρία η ταχύτητα εμφανίζεται στα επίπεδα του 0.7-2.0 m/sec και μόλις φτάνει η ροή στο σημείο προσαρμογής στιγμιαία μειώνεται στα 0.15m/sec κάτι που συμβαίνει σε όλη την διάρκεια εξέλιξης. Στην περίπτωση των 400sec η αρνητική τιμή της υπήμενης πλευράς πλησιάζει τα όρια της γεωμετρίας του αίθριου, δηλαδή καταλαμβάνει υψηλότερη θέση σε σχέση με εκείνη των 200sec. Στην περίπτωση των 600sec παρατηρούμε ότι έναντι της γεωμετρίας, δημιουργείται μια αναστροφή της ροής με αρκετά υψηλότερη ταχύτητα και αυτό συμβαίνει διότι η ροή είναι πια αρκετά αναπτυγμένη και η ακμή της γεωμετρίας δημιουργεί ανισοροπίες και στην συνέχεια ανακυκλοφορία στην γραμμή ροής Σχήμα 3-18 Σχήμα 3-19 Σχήμα 3-20.



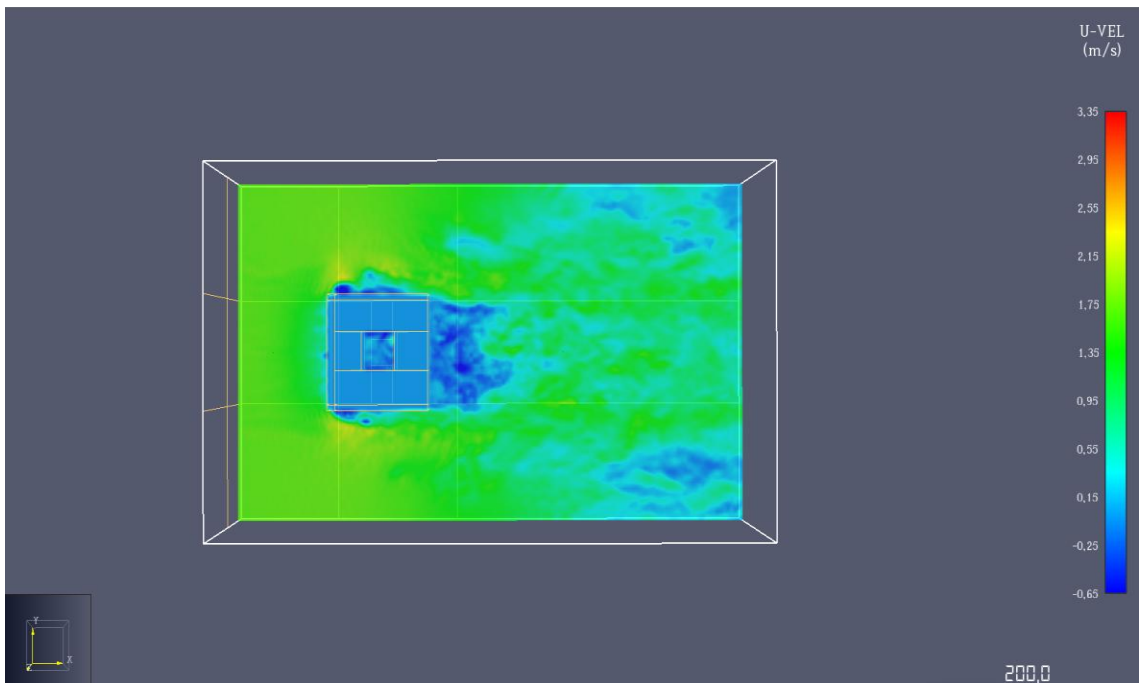
Σχήμα 3-15 Ισοϋψη γράφημα ταχυτήτων U_x (m/sec) για $t=200s$ και $Y=39m$ (χωρίς εστία φωτιάς).



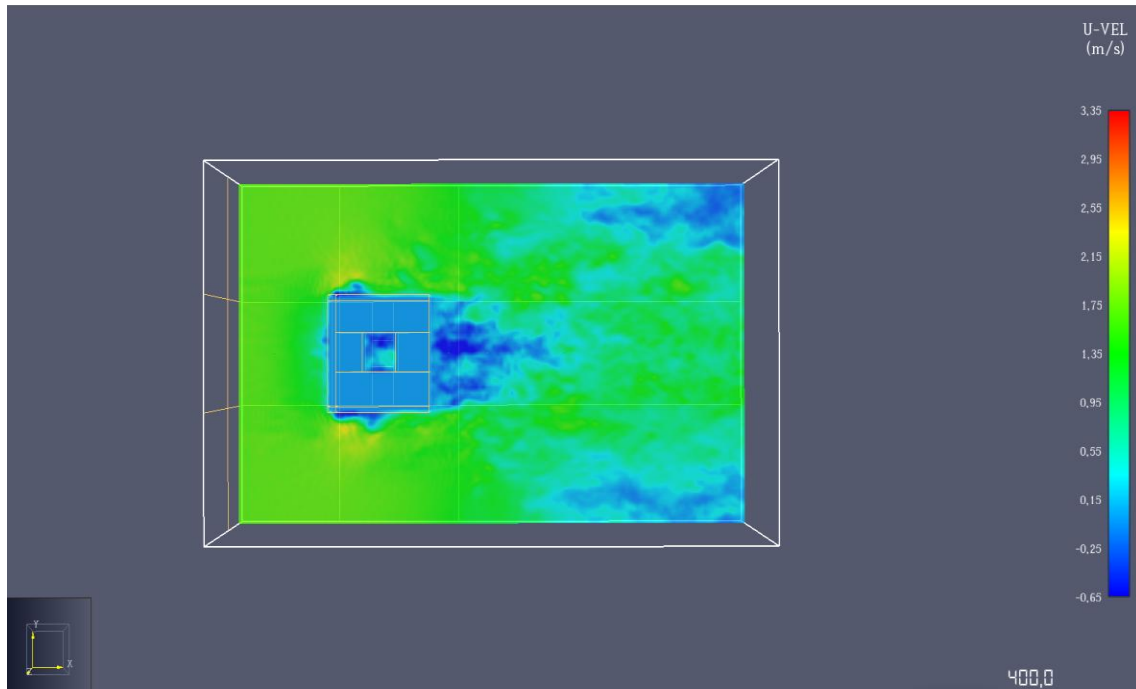
Σχήμα 3-16 Ισοϋψη γράφημα ταχυτήτων U_x (m/sec) για $t=400s$ και $Y=39m$ (χωρίς εστία φωτιάς).



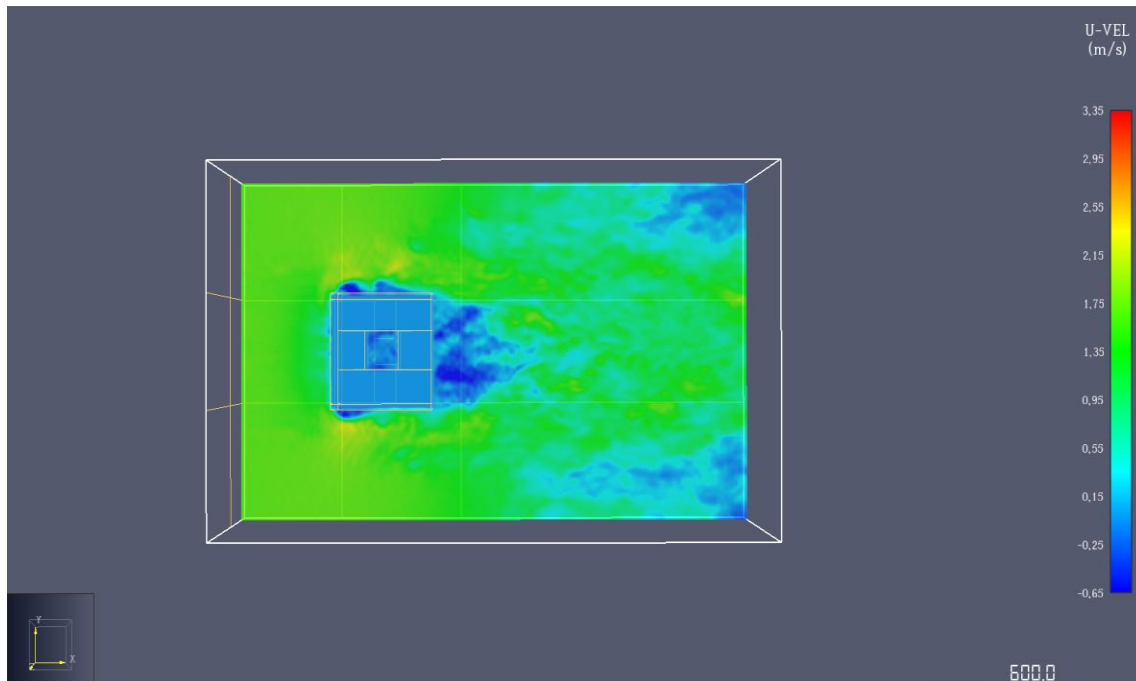
Σχήμα 3-17 Ισοϋψή γράφημα ταχυτήτων U_x (m/sec) για $t=600s$ και $Y=39m$ (χωρίς εστία φωτιάς).



Σχήμα 3-18 Ισοϋψή γράφημα ταχυτήτων U_x (m/sec) για $t=200s$ και $Y=39m$ υπό την μορφή κατόψεως (χωρίς εστία φωτιάς).



Σχήμα 3-19 Ισοϋψή γράφημα ταχυτήτων U_x (m/sec) για $t=400s$ και $Y=39m$ υπό την μορφή κατόψεως (χωρίς εστία φωτιάς).



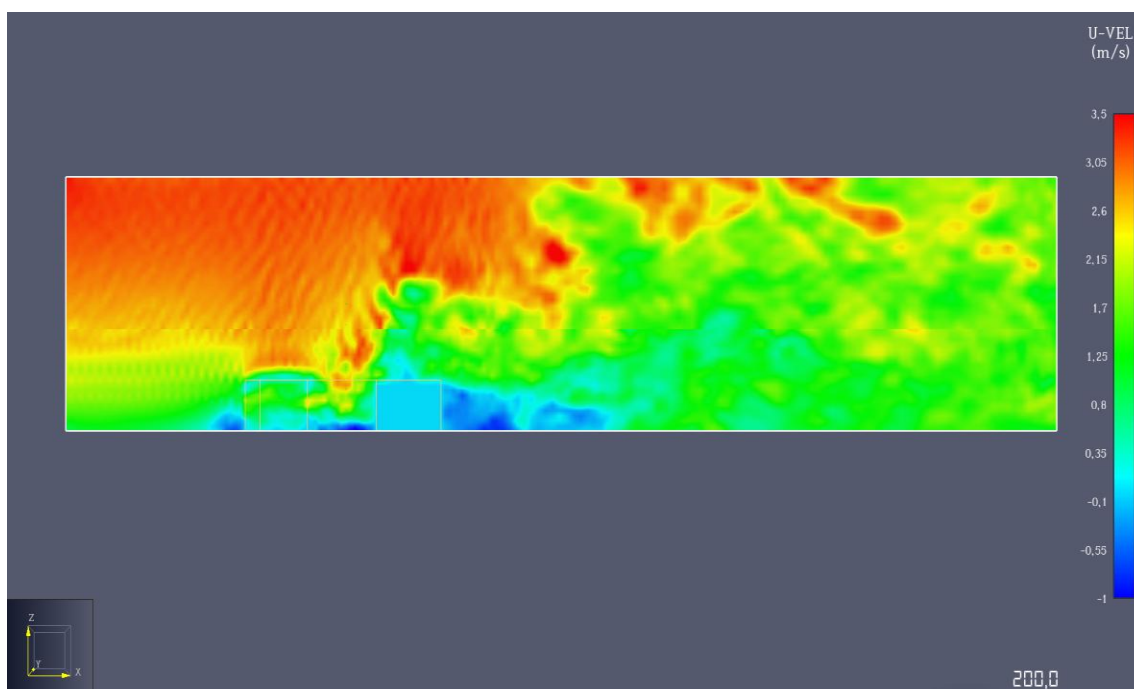
Σχήμα 3-20 Ισοϋψή γράφημα ταχυτήτων U_x (m/sec) για $t=600s$ και $Y=39m$ υπό την μορφή κατόψεως (χωρίς εστία φωτιάς).

3.1.9 Αποτελέσματα απεικονίσεων δεύτερης περίπτωσης.

Η περίπτωση αυτή εξετάζει το σενάριο ύπαρξης εστίας φωτιάς στη κεντρική αυλή του κτηρίου και ένταση της φωτιάς είναι 2000kw/m^2 καθώς καταλαμβάνει 1m^2

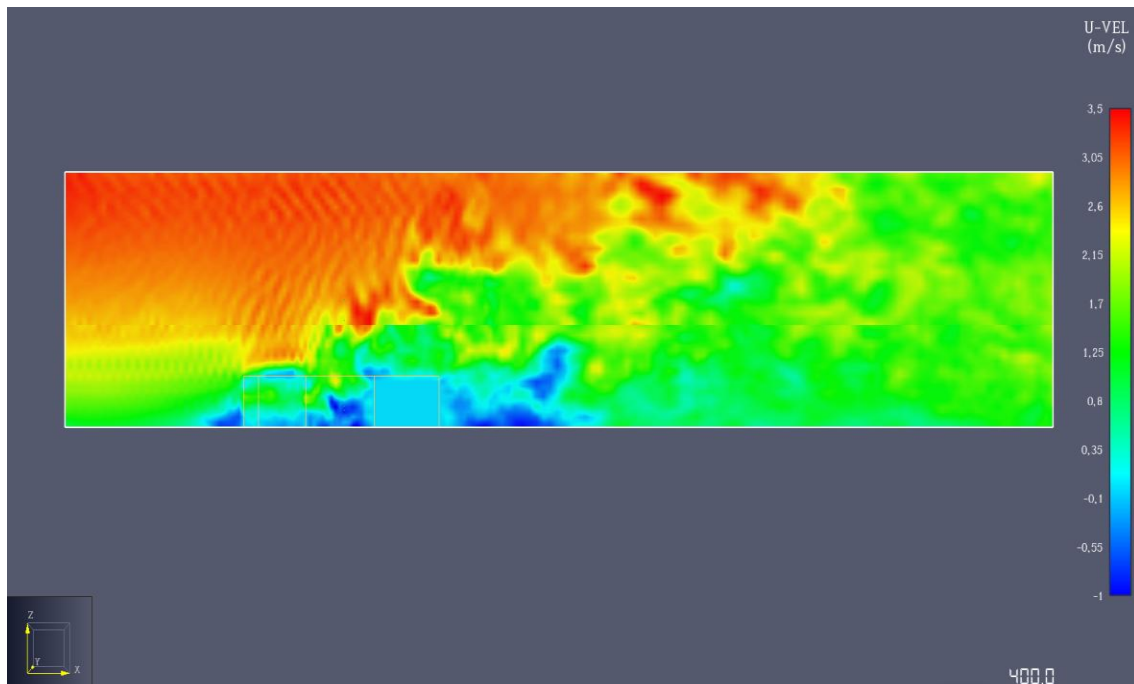
Στο Σχήμα 3-21 παρουσιάζεται το ισοϋψές γράφημα ταχυτήτων για την χρονική στιγμή $t=200s$. Παρατηρείται ότι εμφανίζονται αρνητικές τιμές ταχύτητας του αέρα στο μπροστινό μέρος της γεωμετρίας, στο εσωτερικό της αυλής και ιδιαίτερα στο πίσω μέρος. Το πίσω μέρος του κτηρίου είναι εκείνο που δημιουργεί και τον στροβιλισμό της ροής αέρα λόγω της γεωμετρίας. Επίσης παρατηρούμε ότι κατά την προσαρμογή της ροής πάνω στην προκειμένη γεωμετρία δημιουργείται ένα προφίλ με πολύ αυξημένες τιμές ταχύτητας που κυμαίνονται από 2.15m/s έως 3.05m/s . Όσον αφορά την συμπεριφορά της ροής που εισέρχεται μέσα από την ανοικτή δίοδο που έχει δημιουργηθεί κάθετα στην

ροή παρατηρούμε ότι γενικά κυμαίνεται από 0.8 m/s έως 1.5m/s εκτός από τις περιπτώσεις όπου η ροή αλλάζει κατεύθυνση δηλαδή κατά την είσοδο και κατά την έξοδο.



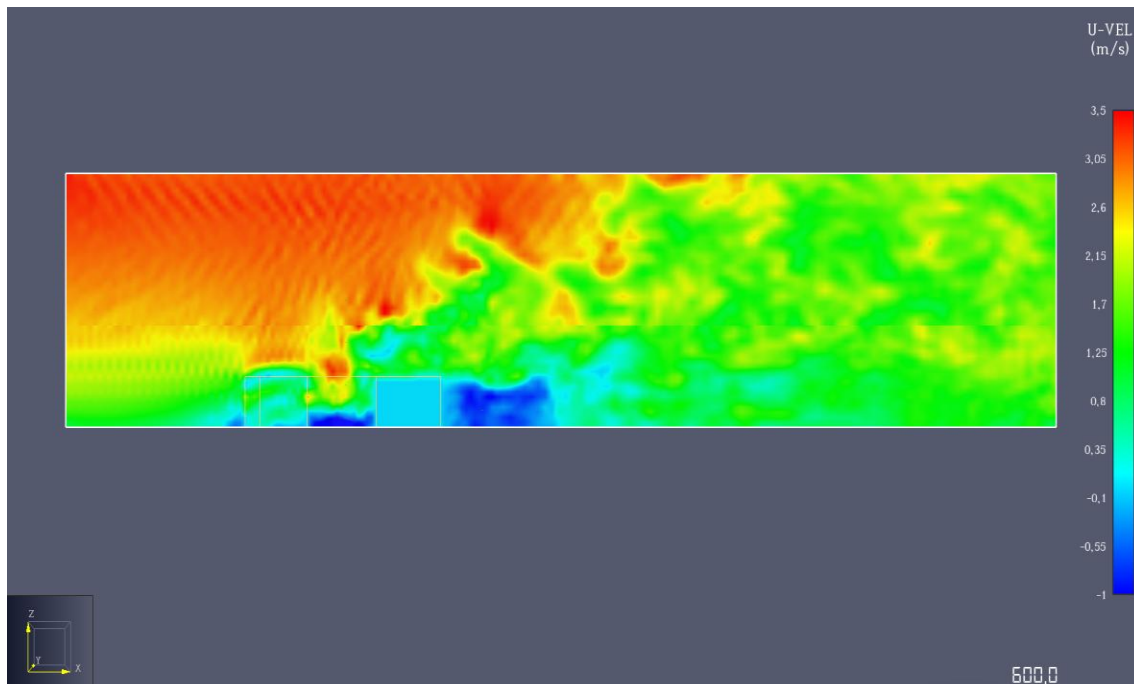
Σχήμα 3-21 Ισοϋψή γράφημα ταχυτήτων U_x (m/sec) για $t=200s$ και $Y=39m$ (παρουσία εστίας φωτιάς στην αυλή).

Στο Σχήμα 3-22 παρουσιάζεται το ισοϋψής γράφημα ταχυτήτων για την χρονική στιγμή $t=400s$. Παρατηρείται ότι εμφανίζονται αρνητικές τιμές ταχύτητας του αέρα στο μπροστινό σημείο της γεωμετρίας, όμως στο πίσω μέρος βλέπουμε ότι συγκριτικά με την χρονική στιγμή $t=200s$ υπάρχει μια ανομοιομορφία στην κατανομή της ταχύτητας. Η αυλή του κτηρίου επίσης έχει μεγαλύτερη κατανομή αρνητικής ταχύτητας και στην πλευρική είσοδο παρατηρείται αισθητή μείωση της ταχύτητας στα τοιχώματα άνω και κάτω του εσωτερικού χώρου το κτηρίου.



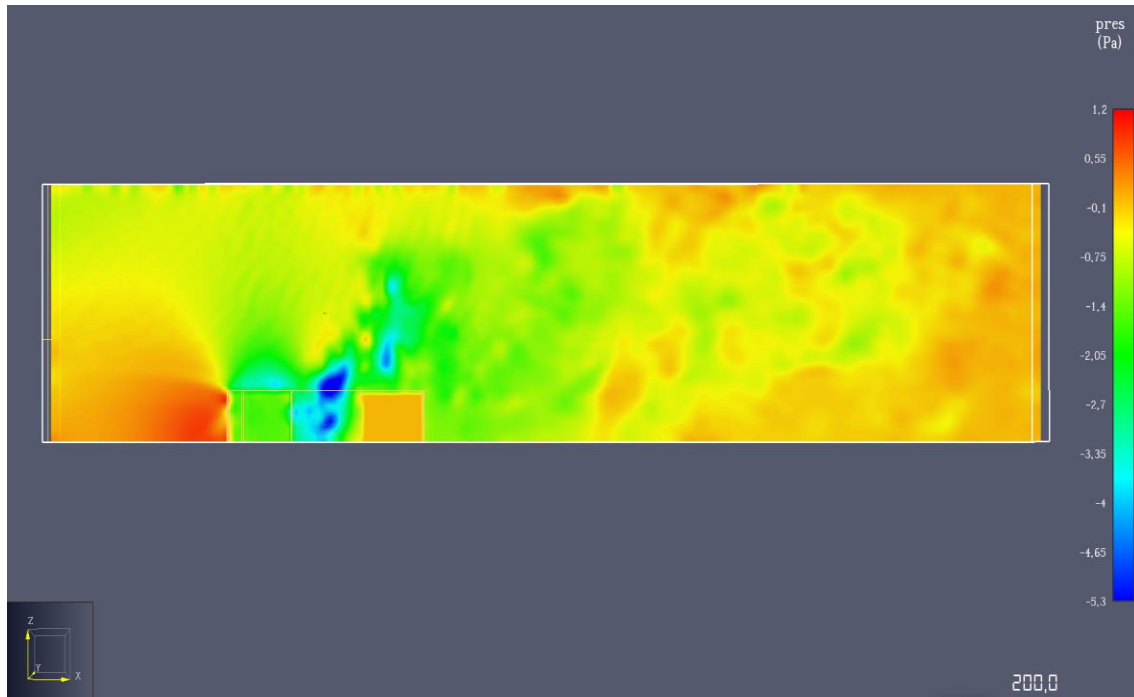
Σχήμα 3-22 Ισοϋψή γράφημα ταχυτήτων U_x (m/sec) για $t=400s$ και $Y=39m$ (παρουσία εστίας φωτιάς στην αυλή).

Στο Σχήμα 3-23 παρουσιάζεται το ισοϋψής γράφημα ταχυτήτων για την χρονική στιγμή $t=600s$. Παρατηρείται ότι η κατανομή των αρνητικών ταχυτήτων στο πίσω μέρος της γεωμετρίας έχει κατανομηθεί πιο ομοιόμορφα σε σχέση με τον χρόνο $t=400s$ και το ίδιο παρατηρείται και στην αυλή του αίθριου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ροή είναι αρκετά πιο αναπτυγμένη και καλύτερα προσαρμοσμένη πάνω στην γεωμετρία.



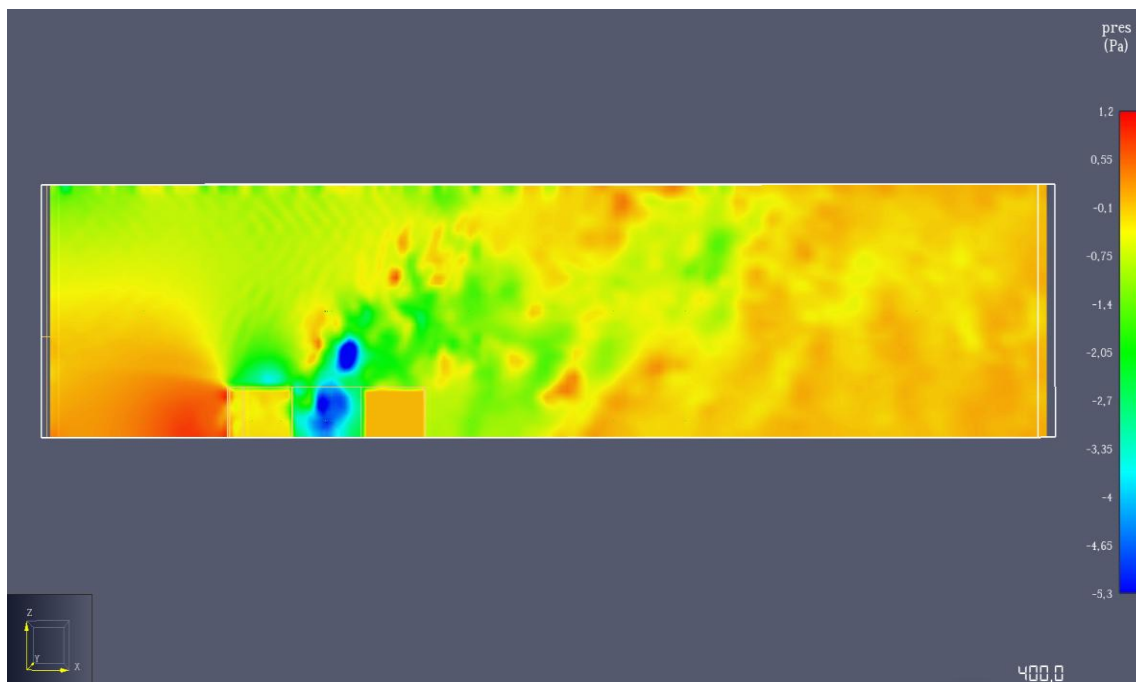
Σχήμα 3-23 Ισοϋψή γράφημα ταχυτήτων U_x (m/sec) για $t=600s$ και $Y=39m$ (παρουσία εστίας φωτιάς στον αύλιο χώρο του αίθριου)

Στο Σχήμα 3-24 παρουσιάζεται το ισοϋψές γράφημα πίεσεως για την χρονική στιγμή $t=200s$. Από το σημείο εκκίνησης της ροής μέσα στο πεδίο μέχρι την στιγμή που η ροή προσαρμόζεται πάνω στην γεωμετρία παρατηρείται μια σταδιακή αύξηση της πίεσης των τιμών $0,1Pa$ έως $1.1Pa$. Στην αυλή του κτηρίου παρατηρείται μια σημαντική μείωση της πίεσης σε σημείο που προσεγγίζουν την υπό πίεση που κυμαίνεται ανάμεσα σε $-5.3Pa$ έως $-4Pa$. Στον κλειστό χώρο όπου η ροή εισέρχεται από την πλευρική οδό υπάρχει υπό πίεση όχι όμως στο ίδιο επίπεδο με την περίπτωση της αυλής, με τις τιμές στον κλειστό χώρο να κυμαίνονται από $-1Pa$ έως $-3Pa$.



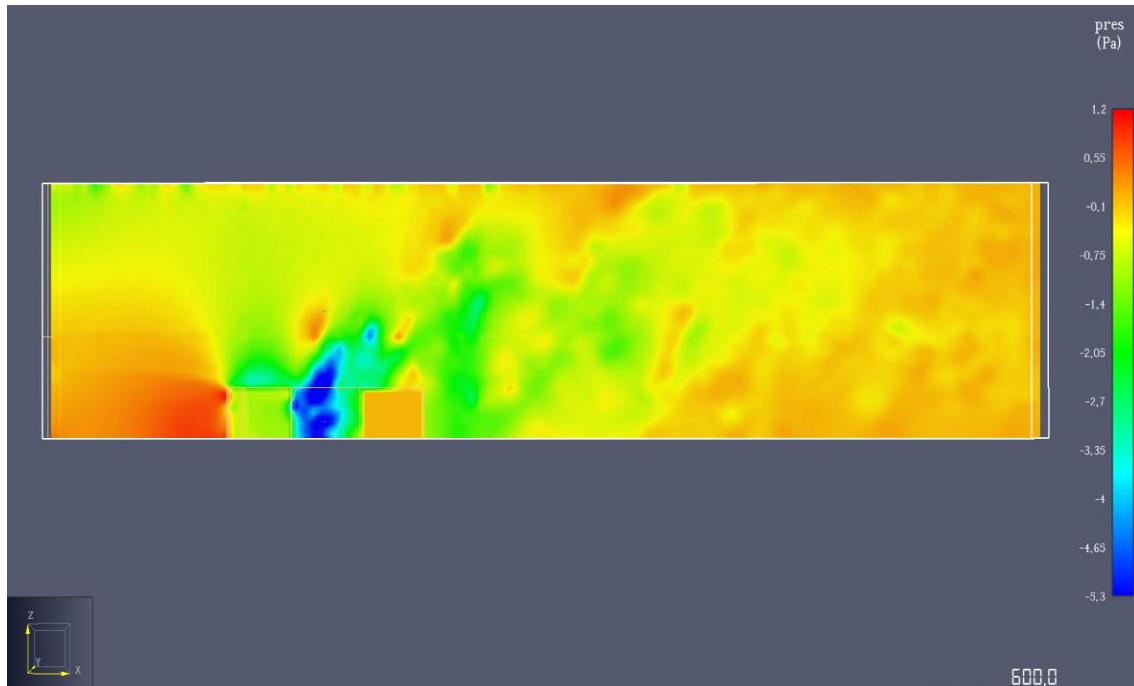
Σχήμα 3-24 Ισοϋψή γράφημα πίεσης(Pa) για $t=200s$ και $Y=39m$ (παρουσία εστίας φωτιάς στην αυλή).

Στο Σχήμα 3-25 παρουσιάζεται το ισοϋψής γράφημα πίεσεως για την χρονική στιγμή $t=400s$. Όσον αφορά την κατανομή της πίεση εντός της αυλής για τα χρονικά διαστήματα $t=200s$ και $t=400s$ δεν παρατηρείται κάποια σημαντική μεταβολή. Ο εσωτερικός χώρος που περιέχει τις δυο πλευρικές οδούς (είσοδο και έξοδο της ροής) εμφανίζει μια αύξηση της πίεσης συγκριτικά με τα δεδομένα που προέκυψαν από την απεικόνιση της χρονικής στιγμής $t=200s$. Η πίεση μέσα στον χώρο αυτό κυμαίνεται στα επίπεδα των $-0.70 Pa$ έως $0.3 Pa$.



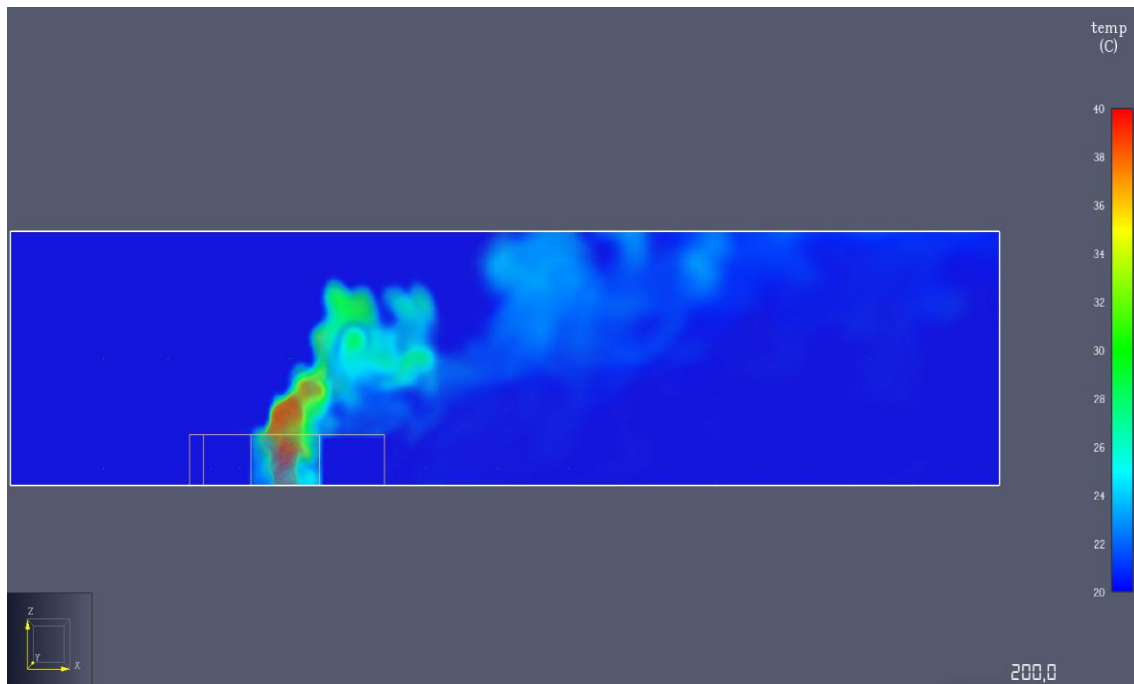
Σχήμα 3-25 Ισοϋψή γράφημα πίεσης(Pa) για $t=400s$ και $Y=39m$ (παρουσία εστίας φωτιάς στην αυλή)

Στο Σχήμα 3-26 παρουσιάζεται το ισοϋψής γράφημα πιέσεως για την χρονική στιγμή $t=600s$. Σε αυτήν τη χρονική στιγμή η ροή φαίνεται να είναι πιο ολοκληρωμένη και ο εσωτερικός χώρος που περιέχει τις δυο πλευρικές οδούς (είσοδο και έξοδο της ροής) εμφανίζει μια μείωση φτάνοντας τα επίπεδα $-1.0Pa$ έως $-0.6Pa$. Επιπλέον παρατηρείται ότι οι αρνητικές τιμές της πίεσης εντός της αυλής καταλαμβάνουν περισσότερο χώρο που σημαίνει ότι αναμεσα στα χρονικά διαστήματα $t=400s$ και $t=600s$ σημειακά η πίεση έχει μειωθεί.

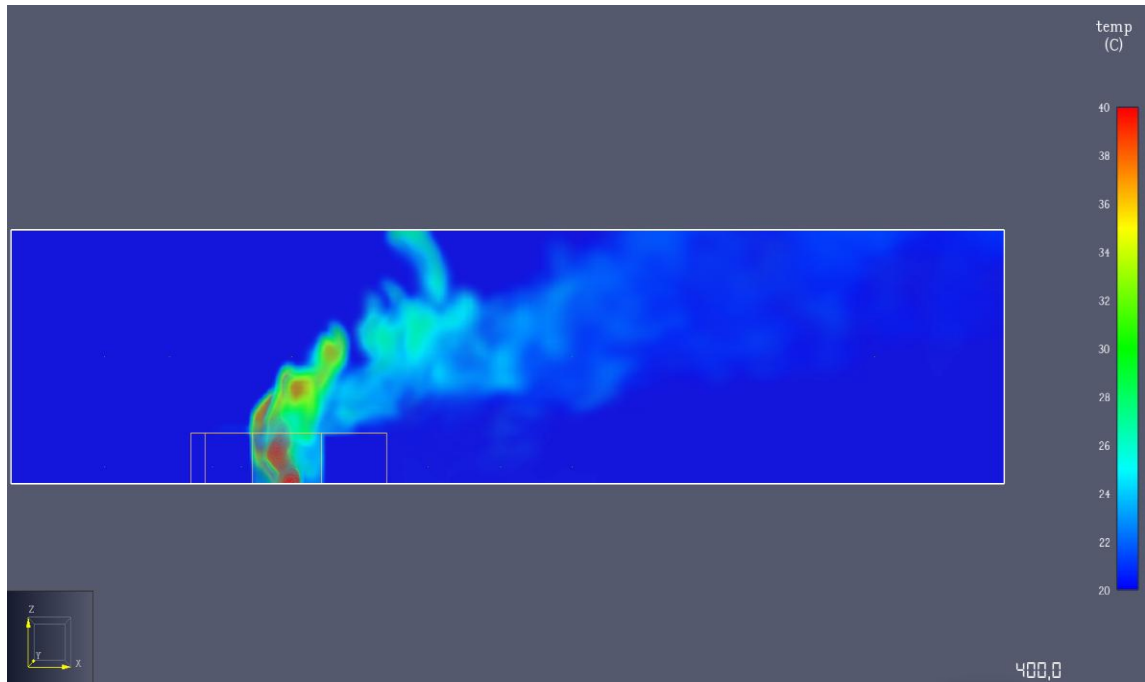


Σχήμα 3-26 Ισοϋψή γράφημα πίεσης(Pa) για $t=600s$ και $Y=39m$ (παρουσία εστίας φωτιάς στην αυλή)

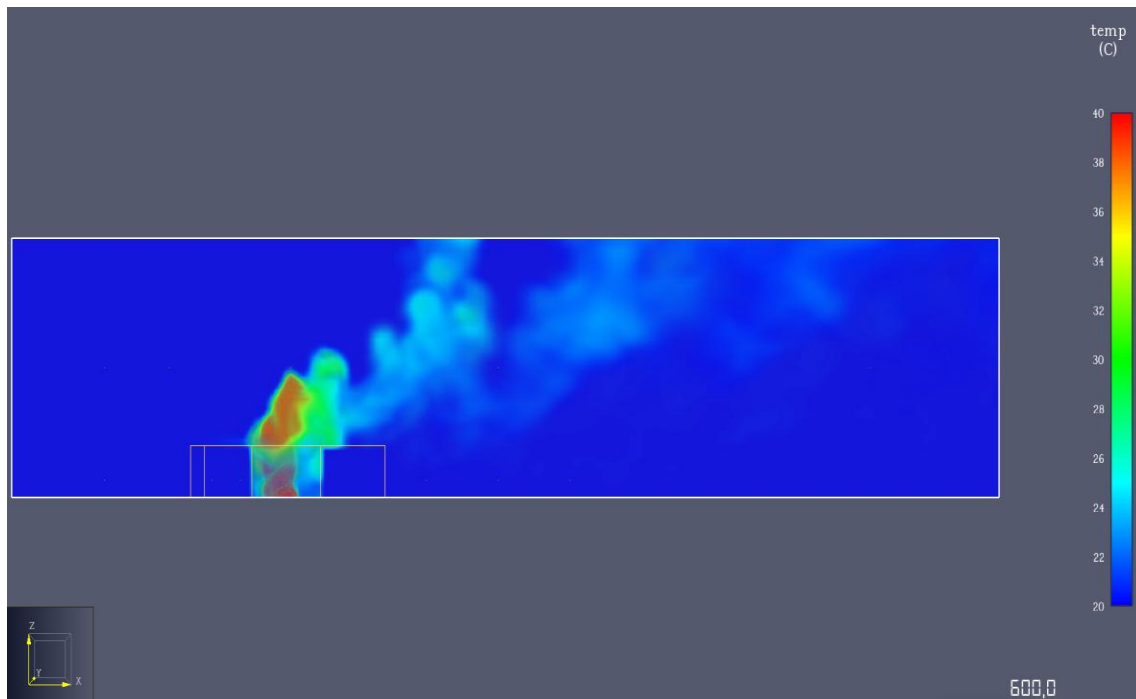
Στα σχήμα Σχήμα 3-27 παρατηρούμε ότι την χρονική στιγμή των $t=200sec$ η θερμοκρασία στην αυλή του αίθριου είναι υψηλή και η θερμότητα που εκλύεται από την φωτιά πάνω από τον χώρο της ανοικτής αυλής είναι αρκετά υψηλή και καταλαμβάνει αρκετά μεγάλο όγκο. Στο Σχήμα 3-28 όπου το πείραμα βρίσκεται στην χρονική στιγμή $t=400sec$ παρατηρούμε ότι μέσα στην αυλή η θερμοκρασία έχει μειωθεί σε αρκετά σημεία και στην ολοκλήρωση της εξέλιξης που εμφανίζεται στο Σχήμα 3-29 και αναφέρεται την χρονική $t=600sec$ παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία μέσα στον χώρο της αυλής έχει ασκηθεί ξανά και αυτή την φορά οι υψηλές θερμοκρασίες του αέρα καταλαμβάνου περισσότερο όγκο από όλες τις προηγούμενες χρονικές απεικονίσεις που αναφέρθηκαν πιο πριν.



Σχήμα 3-27 Ισοϋψές γράφημα θερμοκρασίας καπναερίων (°C) στο επίπεδο $Y=39\text{m}$ μετρά από χρόνο $t=200\text{s}$ έπειτα από την εκκίνηση της φωτιάς(παρουσία εστίας φωτιάς στην αυλή).



Σχήμα 3-28 Ισοϋψές γράφημα θερμοκρασίας καπναερίων (°C) στο επίπεδο $Y=39\text{m}$ μετρά από χρόνο $t=400\text{s}$ έπειτα από την εκκίνηση της φωτιάς(παρουσία εστίας φωτιάς στην αυλή)



Σχήμα 3-29 Ισοϋψές γράφημα θερμοκρασίας καπναερίων ($^{\circ}\text{C}$) στο επίπεδο $Y=39\text{m}$ μετρά από χρόνο $t=600\text{s}$ έπειτα από την εκκίνηση της φωτιάς(παρουσία εστίας φωτιάς στην αυλή).

Στο Σχήμα 3-30 Σχήμα 3-31 Σχήμα 3-32 παρατηρούμε ότι οι μεταβολές τόσο της πυκνότητας του καπνού όσο και της θέσης του είναι αμελητέες. Αυτό οφείλεται στο ότι η συγκεκριμένη περίπτωση της φωτιάς βρίσκεται στον εξωτερικό χώρο του κτηρίου και η ροή του καπνού είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ανοικτή ροή του αέρα.



Σχήμα 3-30 Εξέλιξη πλήρωσης καπνού για $t=200\text{sec}$ (παρουσία εστίας φωτιάς στην αυλή).



Σχήμα 3-31 Εξέλιξη πλήρωσης καπνού για $t=400\text{sec}$ (παρουσία εστίας φωτιάς στην αυλή).

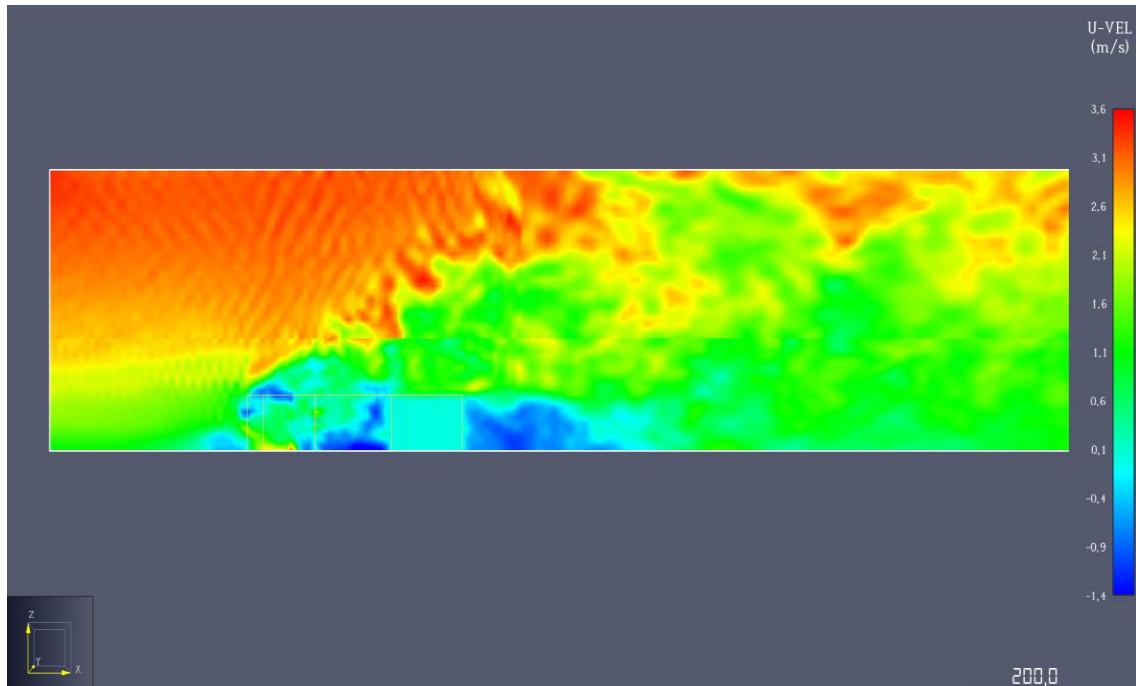


Σχήμα 3-32 Εξέλιξη πλήρωσης καπνού για $t=600\text{sec}$ (παρουσία εστίας φωτιάς στην αυλή)

3.1.10 Αποτελέσματα απεικονίσεων τρίτης περίπτωσης.

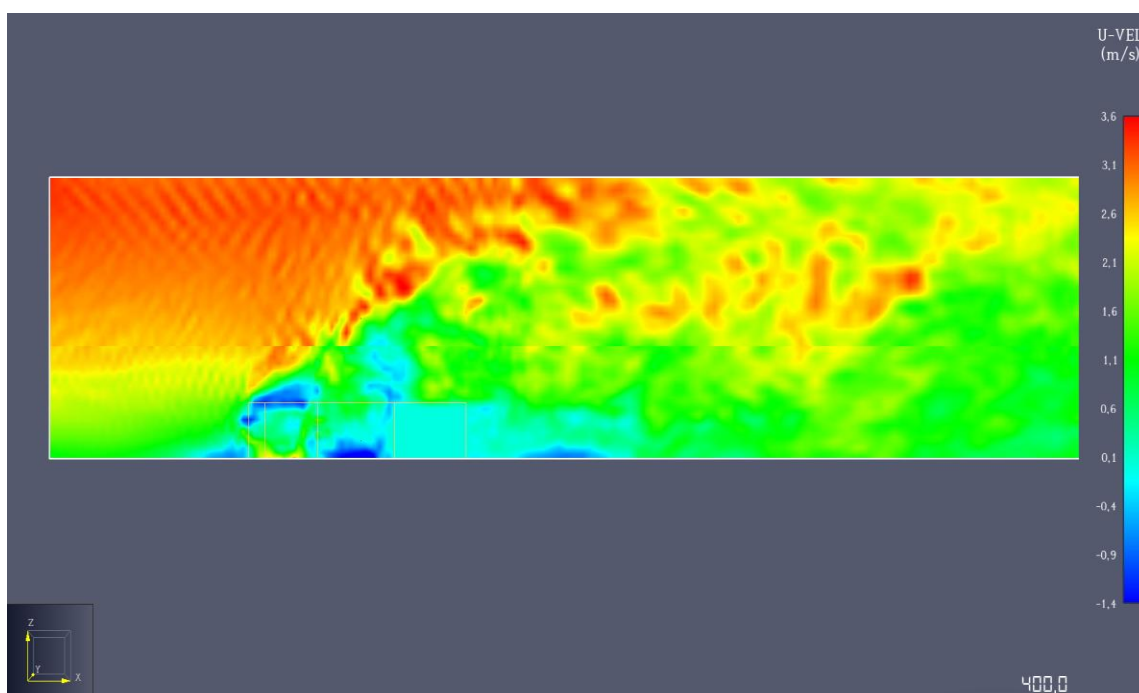
Η περίπτωση αυτή εξετάζει το σενάριο ύπαρξης εστίας φωτιάς στον εμπρόσθιο και κεντρικό χώρο του κτηρίου που είναι κάθετα στην εξωτερική ροή αέρα με την ένταση της φωτιάς να ανέρχεται στα ένταση 2000kw/m^2 καθώς καταλαμβάνει 1m^2 .

Στο Σχήμα 3-33 παρατηρείται αισθητή μείωση της ταχύτητας στην αυλή του κτηρίου καθώς και μετά την γεωμετρία του κτηρίου. Σημειακά στον κλειστό χώρο που περιέχει τις δυο πλευρικές οδούς (είσοδο και έξοδο της ροής) παρατηρείται αύξηση της ταχύτητας που κυμαίνεται από 2.1m/s έως 2.6m/s .



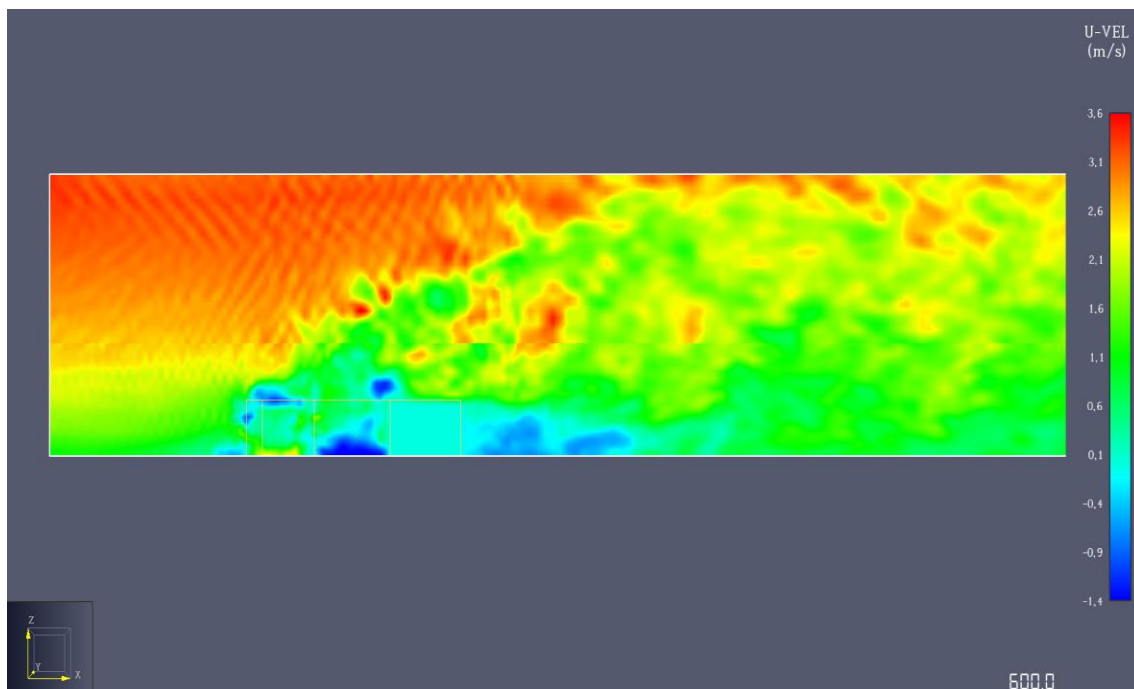
Σχήμα 3-33 Ισοϋψή γράφημα ταχυτήτων U_x (m/sec) για $t=200s$ και $Y=39m$ (παρουσία εστίας φωτιάς εντός του κλειστού χώρου).

Στο Σχήμα 3-34 παρατηρείται πως η περιοχή των χαμηλών ταχυτήτων έχει μειωθεί συγκριτικά με τον χρόνο $t=200s$. Το ίδιο παρατηρείται και για το πίσω μέρος της γεωμετρίας όπου και η έκταση των μειωμένων ταχυτήτων έχει μειωθεί. Η ίδια ταχύτητα παρουσιάζει υψηλότερες τιμές από την περίπτωση που προαναφέρθηκε.



Σχήμα 3-34 Ισοϋψή γράφημα ταχυτήτων U_x (m/sec) για $t=400s$ και $Y=39m$ (παρουσία εστίας φωτιάς εντός του κλειστού χώρου).

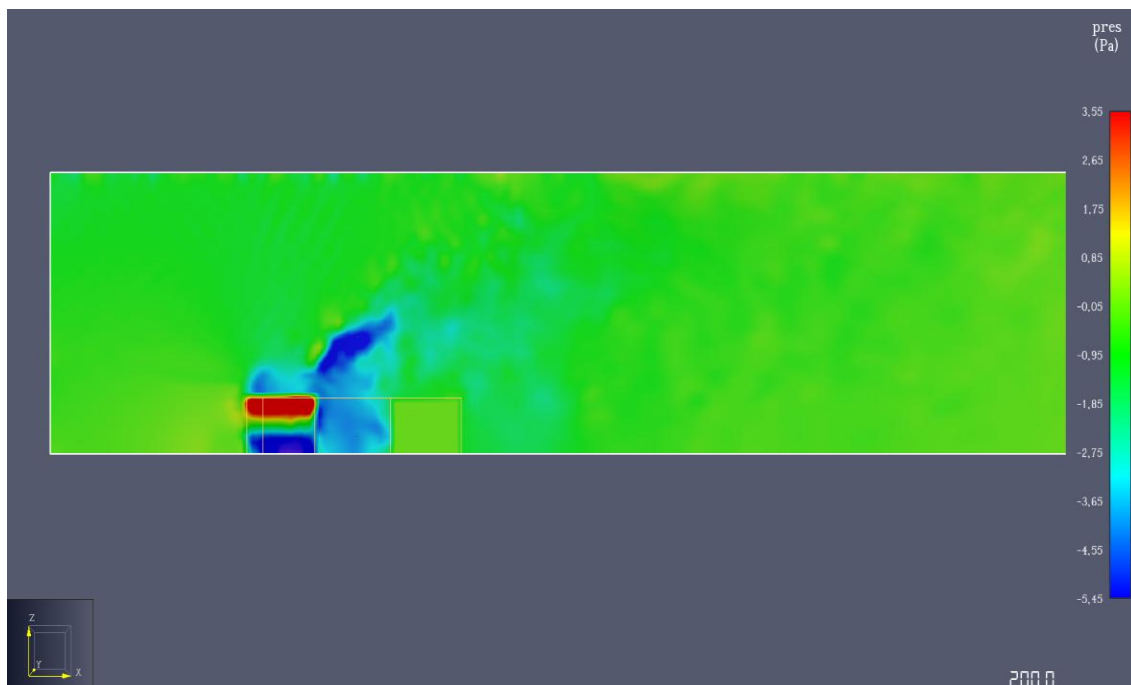
Στο Σχήμα 3-35 παρατηρείται ότι η ταχύτητα στο πίσω μέρος της γεωμετρίας καταλαμβάνει περισσότερες αρνητικές τιμές σε σχέση με το Σχήμα 3-34 και αυτό οφείλεται διότι η ροή είναι πλήρως αναπτυγμένη και η κατανομή της ταχύτητας είναι αρκετά καλά προσαρμοσμένη πάνω στην γεωμετρία.



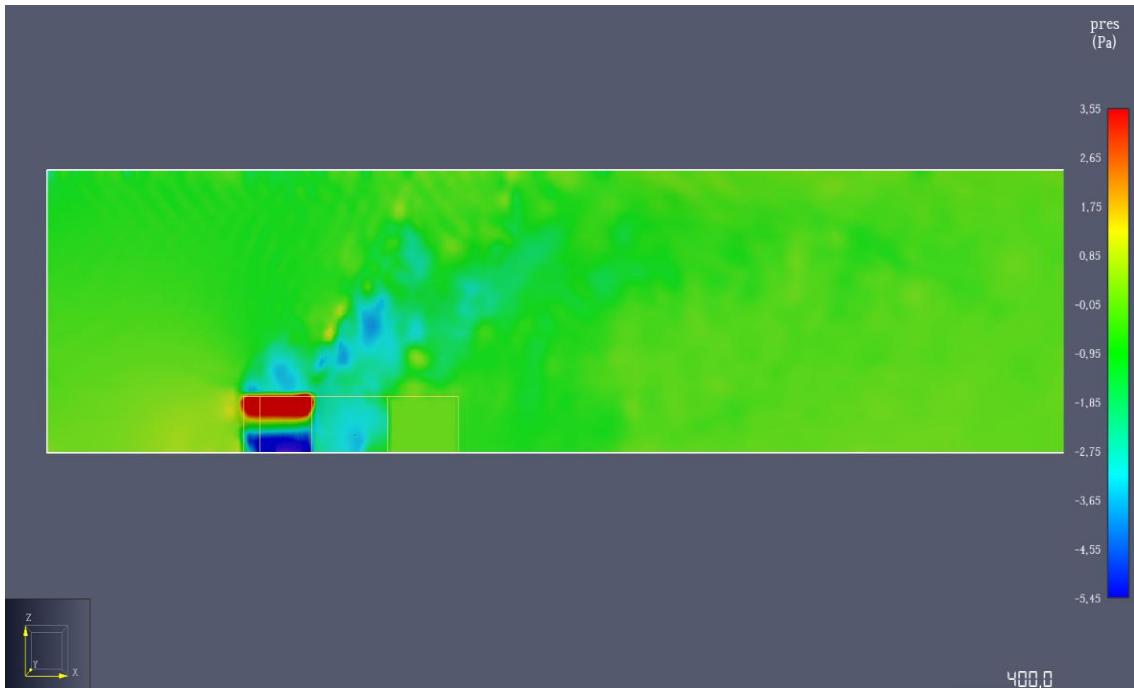
Σχήμα 3-35 Ισοϋψή γράφημα ταχυτήτων U_x (m/sec) για $t=600s$ και $Y=39m$ (παρουσία εστίας φωτιάς εντός του κλειστού χώρου).

Στον κλειστό χώρο που περιέχει τις δυο πλευρικές οδούς (είσοδο και έξοδο της ροής) παρατηρείται αύξηση της πίεσης στην οροφή του χώρου όπου η τιμή της πίεσης κυμαίνεται από 1.75Pa έως 3.55Pa. Στην συνέχεια ακολουθεί ένα στρώμα μέσης πίεσεως με αρνητικές τιμές που κυμαίνονται από -0.05Pa έως -1.85 Pa και στο κάτω μέρος επικρατεί ένα στρώμα με τις μέγιστες αρνητικές πιέσεις που προσεγγίζουν τα -3.36Pa έως 5.45Pa. Κατά την εξέλιξη του πειράματος δεν πραγματοποιούνται εμφανείς μεταβολές στην κατανομή της πίεσης μέσα στον χώρο και αυτό παρουσιάζεται και μέσα από τις χρονικές απεικονίσεις που συλλέχθηκαν για τους χρόνους $t=200s$, $t=400s$ και $t=600s$. Αυτό που προκύπτει μέσα από τις χρονικές μεταβλητές είναι η κατανομή της πίεσεως τόσο στην αυλή όπου η πίεση παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις για τις προαναφερθείσες χρονικές μεταβλητές όσο για να την πίεση στον περιβάλλοντα χώρο. Την χρονική στιγμή των $t=200s$ (Σχήμα 3-36) η πίεση παρουσιάζει αρνητικές τιμές σε μεγάλη έκταση μέσα στην αυλή αλλά και στον περιβάλλοντα χώρο. Την χρονική στιγμή των $t=400s$ (Σχήμα 3-37) η πίεση

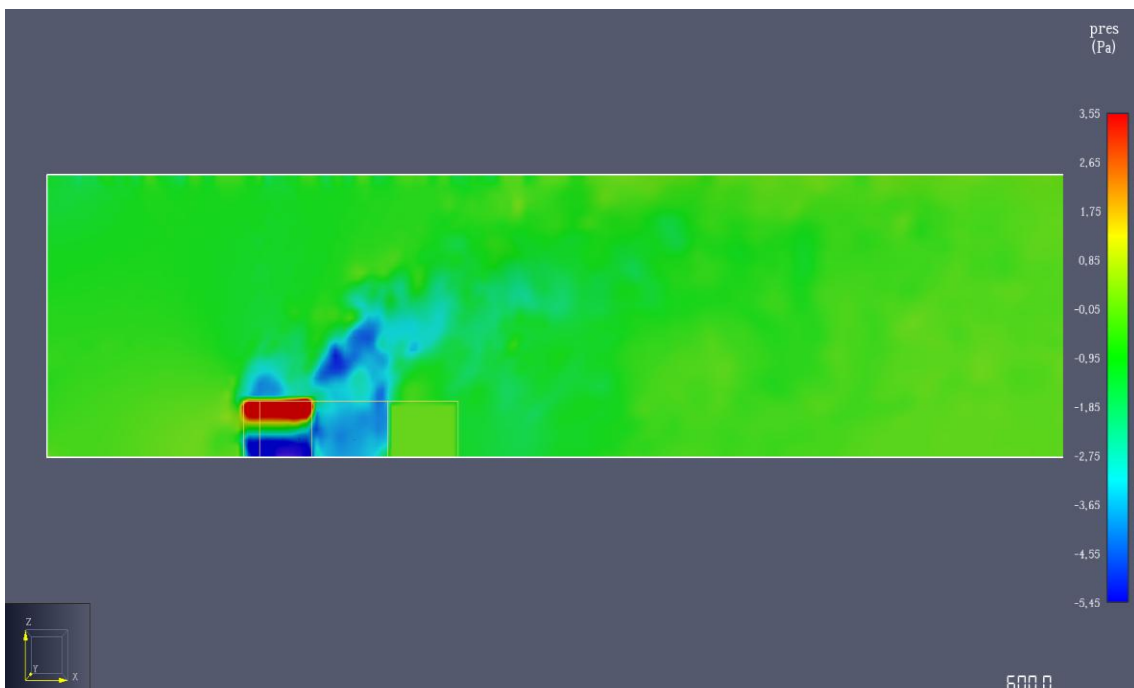
αυξάνεται σημαντικά και στην αυλή και στον περιβάλλοντα χώρο και την χρονική στιγμή $t=600s$ (Σχήμα 3-38) η πίεση ξανά μειώνεται αισθητά.



Σχήμα 3-36 Ισοϋψή γράφημα πίεσης(Pa) για $t=200s$ και $Y=39m$ (παρουσία εστίας φωτιάς εντός του κλειστού χώρου).

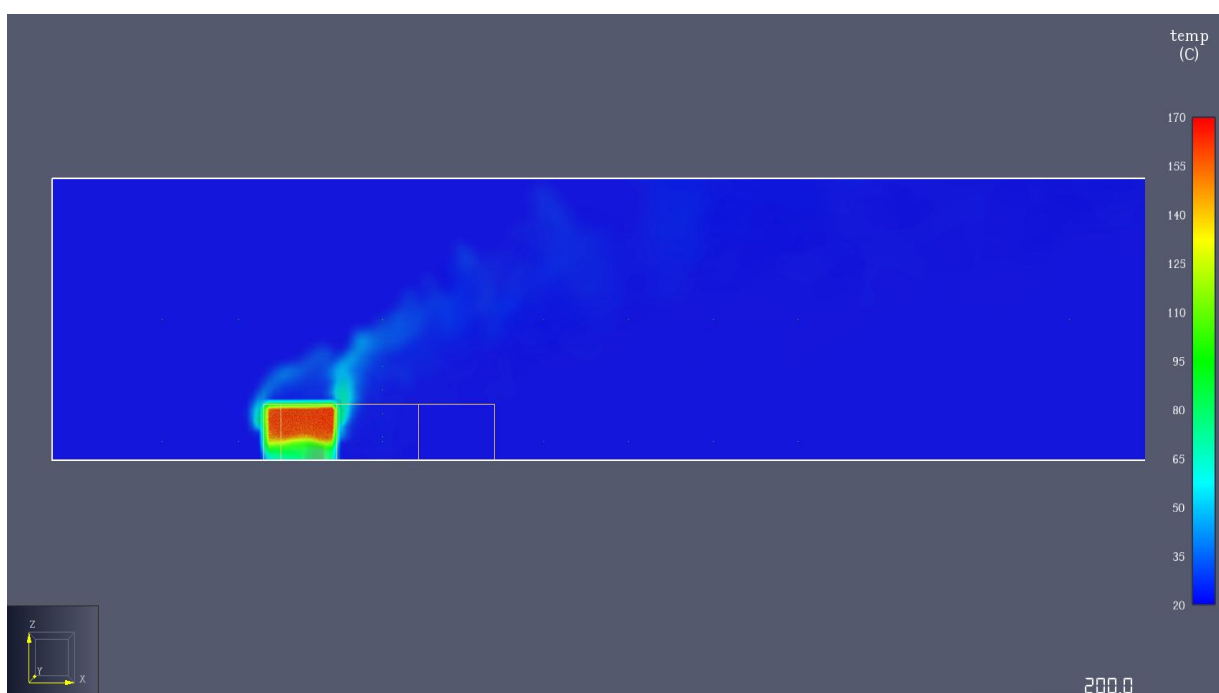


Σχήμα 3-37 Ισοϋψή γράφημα πίεσης(Pa) για $t=400\text{s}$ και $Y=39\text{m}$ (παρουσία εστίας φωτιάς εντός του κλειστού χώρου)

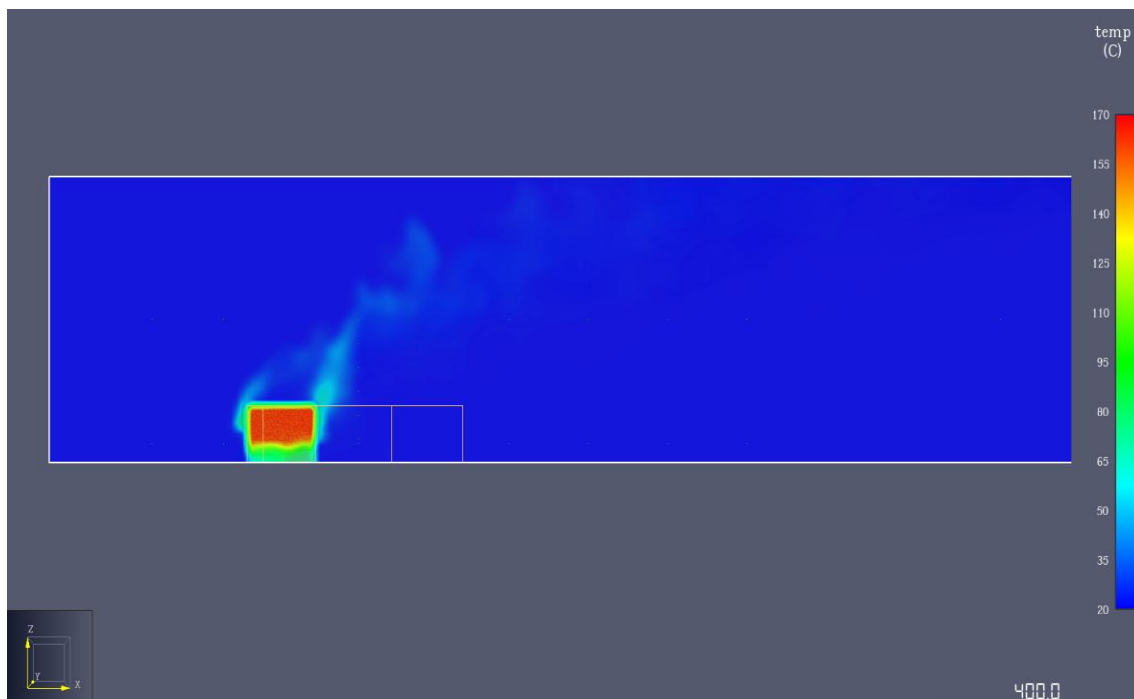


Σχήμα 3-38 Ισοϋψή γράφημα πίεσης(Pa) για $t=200\text{s}$ και $Y=39\text{m}$ (παρουσία εστίας φωτιάς εντός του κλειστού χώρου

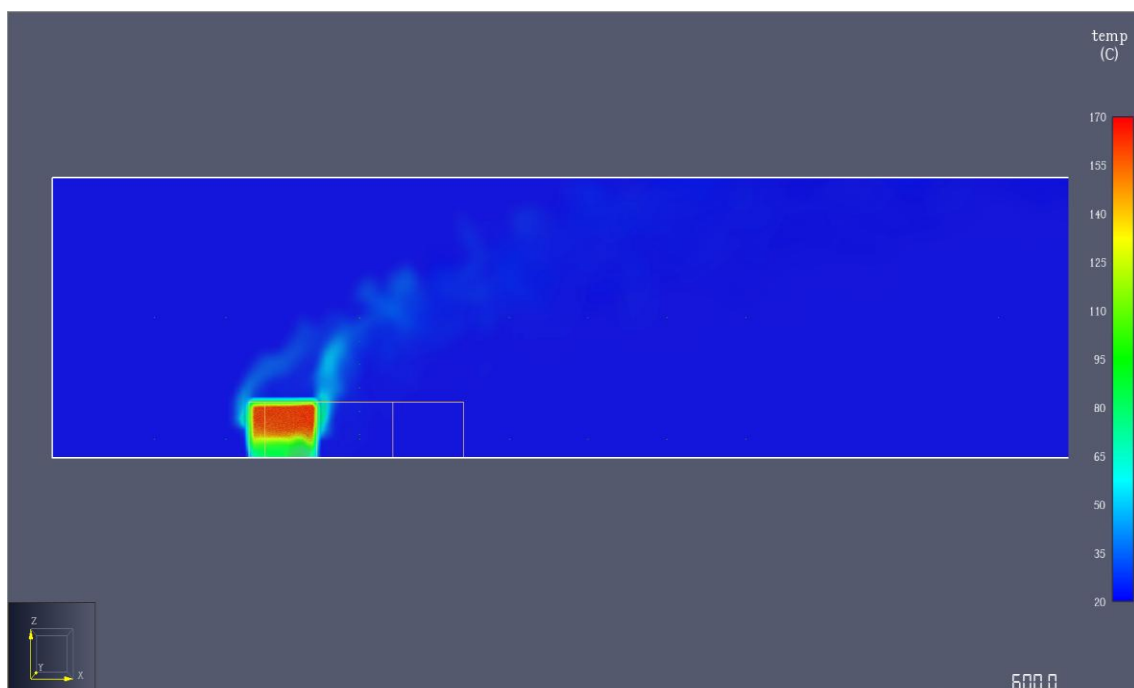
Στο Σχήμα 3-39, Σχήμα 3-40, Σχήμα 3-41 απεικονίζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας για τις χρονικές στιγμές των $t=200\text{se}$, $t=400\text{sec}$ και $t=600\text{sec}$ όπου παρατηρείται μέσα στο εσωτερικό του αίθριου και των τριών περιπτώσεων σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες που ξεκινάνε από το μέσον έως το δάπεδο. Στην συνέχεια παρατηρούμε αύξηση της θερμοκρασίας από το μέσον του κλειστού χώρου και πάνω με την μέγιστη θερμοκρασία να εμφανίζεται στην οροφή.



Σχήμα 3-39 Ισοϋψές γράφημα θερμοκρασίας καπναερίων ($^{\circ}\text{C}$) στο επίπεδο $Y=39\text{m}$ μετρά από χρόνο $t=200\text{s}$ έπειτα από την εκκίνηση της φωτιάς(παρουσία εστίας φωτιάς εντός του κλειστού χώρου).



Σχήμα 3-40 Ισοϋψές γράφημα θερμοκρασίας καπναερίων (°C) στο επίπεδο $Y=39\text{m}$ μετρά από χρόνο $t=400\text{s}$ (παρουσία εστίας φωτιάς εντός του κλειστού χώρου).



Σχήμα 3-41 Ισοϋψές γράφημα θερμοκρασίας καπναερίων (°C) στο επίπεδο $Y=39\text{m}$ μετρά από χρόνο $t=600\text{s}$ έπειτα από την εκκίνηση της φωτιάς(παρουσία εστίας φωτιάς εντός του κλειστού χώρου).

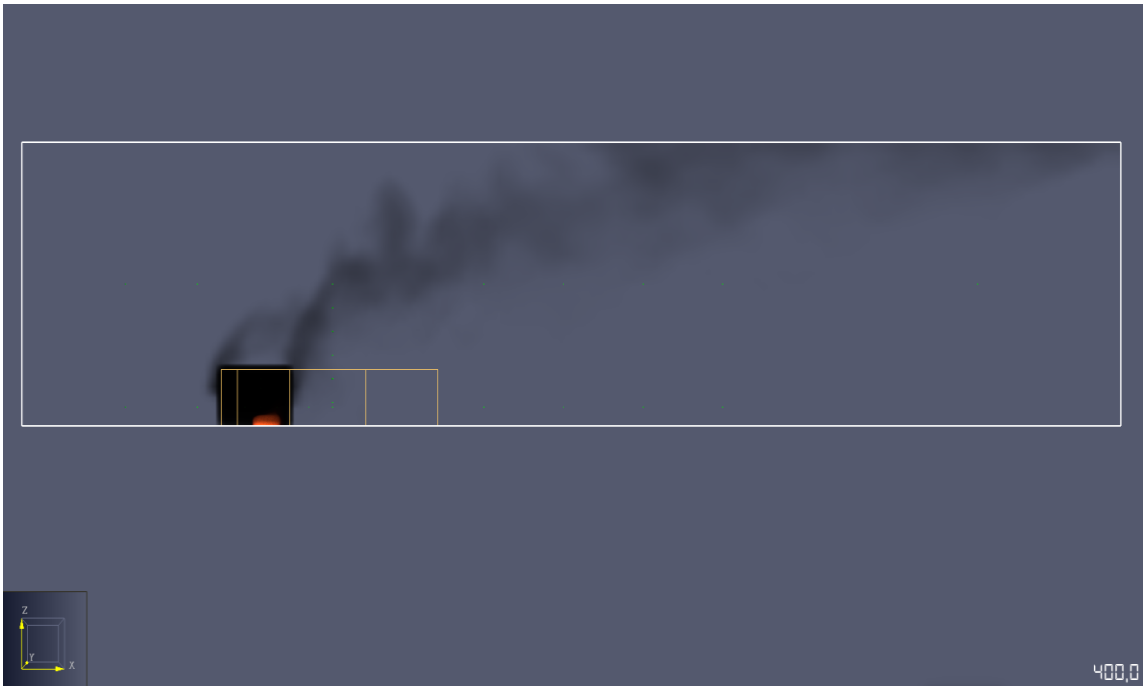
Στα στιγμιότυπα απεικόνισης της ροής καπνού παρατηρούμε ότι ο κλειστός χώρος που εξελίσσεται η φωτιά ολοκληρώνει την πλήρωση του την στιγμή των $t=20\text{sec}$ (Σχήμα 3-42). Από εκείνη την στιγμή και μετά, δηλαδή για τους χρόνους $t=200\text{sec}$ (Σχήμα 3-43), $t=400\text{sec}$ (Σχήμα 3-44), $t=600\text{sec}$ (Σχήμα 3-45) ο καπνός οδεύει από τις δυο πλευρικές εξόδους και στην συνέχεια ακολουθεί την εξωτερική ροή αέρα.



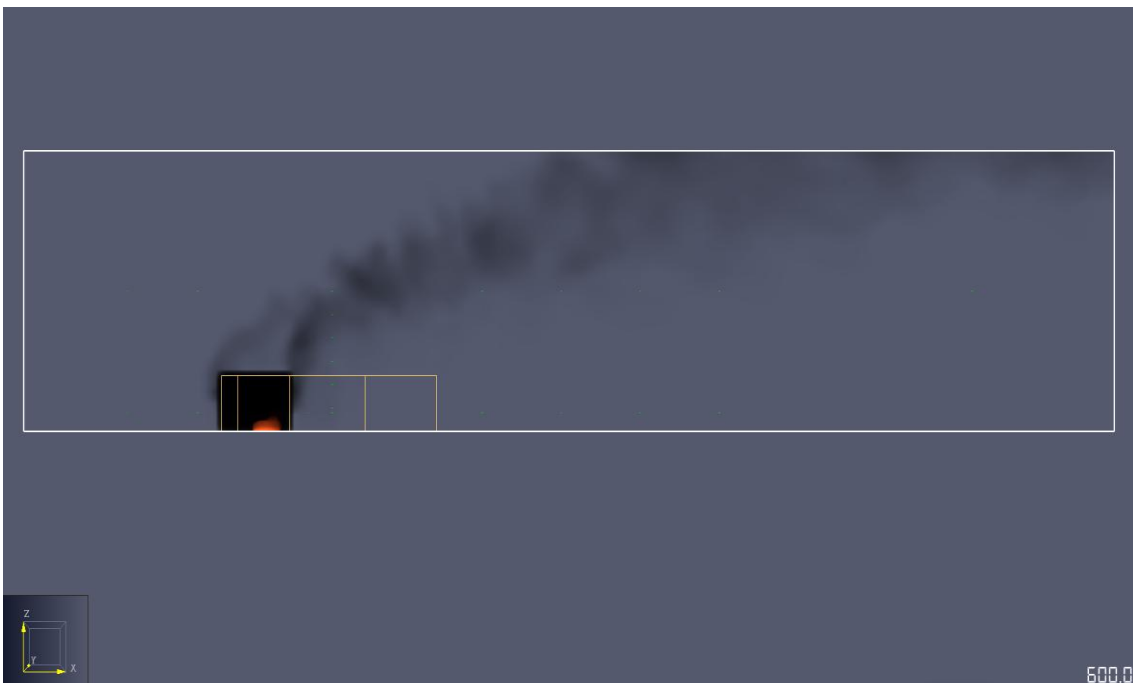
Σχήμα 3-42 Εξέλιξη πλήρωσης καπνού για $t=20\text{sec}$ (παρουσία εστίας φωτιάς εντός του κλειστού χώρου).



Σχήμα 3-43 Εξέλιξη πλήρωσης καπνού για $t=200\text{sec}$ (παρουσία εστίας φωτιάς εντός του κλειστού χώρου).



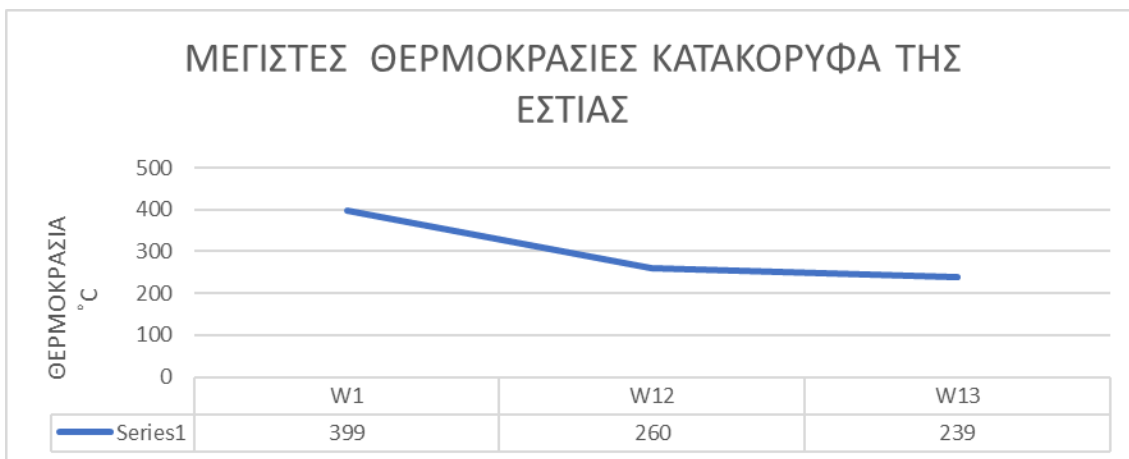
Σχήμα 3-44 Εξέλιξη πλήρωσης καπνού για $t=400\text{sec}$ (παρουσία εστίας φωτιάς εντός του κλειστού χώρου).



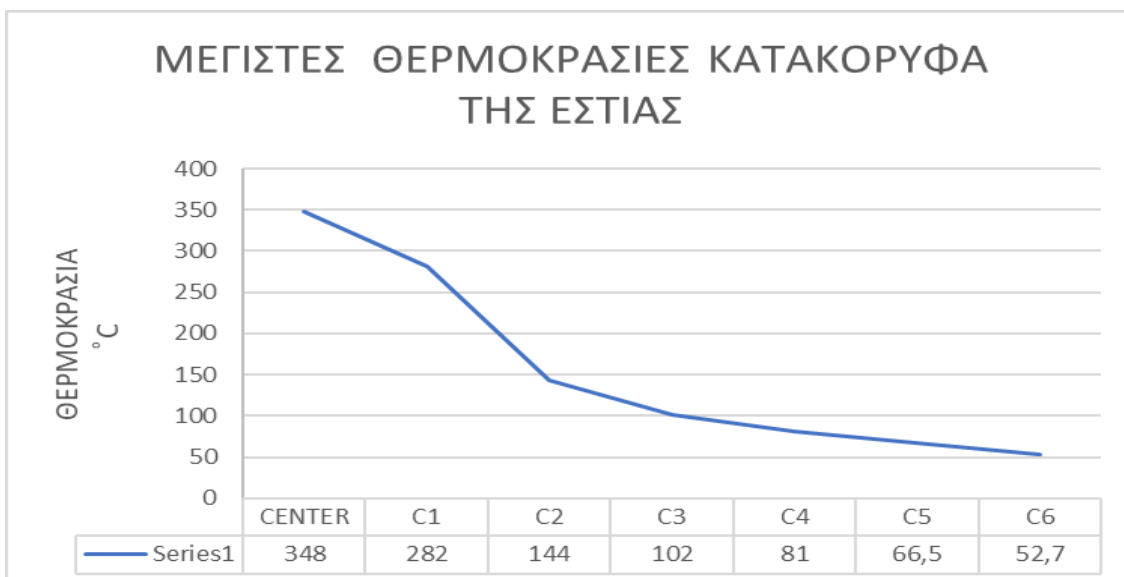
Σχήμα 3-45 Εξέλιξη πλήρωσης καπνού για $t=600\text{sec}$ (παρουσία εστίας φωτιάς εντός του κλειστού χώρου).

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο Σχήμα 4-1 παρουσιάζεται η μεταβολή των θερμοκρασιών κατακόρυφα από την εστία της φωτιάς. Στην περίπτωση έναυσης φωτιάς σε κλειστό χώρο βλέπουμε ότι η μέγιστη θερμοκρασία που αναπτύσσεται είναι οι 399 °C. Η θερμοκρασία αυτή προέρχεται από τον αισθητήρα W1 ο οποίος βρίσκεται 2.5m πάνω από την εστία της φωτιάς. Στην συνέχεια παρατηρούμε ότι η αμέσως επόμενη μέτρηση προκύπτει από τον κατακόρυφο αισθητήρα W12 ο οποίος βρίσκεται 5m από την εστία της φωτιάς και εμφανίζει θερμοκρασία 260 °C. Άρα για μια διαφορά 2.5m δημιουργείται μια θερμοκρασιακή μεταβολή 139 °C. Και στην συνέχεια ο αισθητήρας W13 όπου βρίσκεται σε κατακόρυφο ύψος 7.5m από την εστία της φωτιάς με θερμοκρασιακή διαφορά 26 °C. Άρα παρατηρείται σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας με βάση την μεταβολή του ύψους από την εστία της φωτιάς. Αυτό συμβαίνει και στην δεύτερη περίπτωση με την εστία φωτιάς στην αυλή. Η θερμοκρασία που προκύπτει από τον αισθητήρα Center είναι η πλησιέστερη μέτρηση κοντά στην φωτιά και εμφανίζει την τιμή των 348°C που είναι κοντά με την περίπτωση στο Σχήμα 4-1. Στην συνέχεια η θερμοκρασία μειώνεται στους 282 °C προκύπτοντας θερμοκρασιακή μεταβολή 66 °C. Η μείωση αυτή συνεχίζεται μέχρι και τον τελευταίο κατακόρυφο αισθητήρα που βρίσκεται έξω από την γεωμετρία και λαμβάνει την υψηλή ακόμα τιμή των 52.7 °C δηλαδή σε κατακόρυφο ύψος 15m έχει δημιουργηθεί μείωση θερμοκρασίας 295 °C.



Σχήμα 4-1 Κατανομή μέγιστων θερμοκρασιών εστίας φωτιάς για την περίπτωση έναυσης φωτιάς σε κλειστό χώρο.

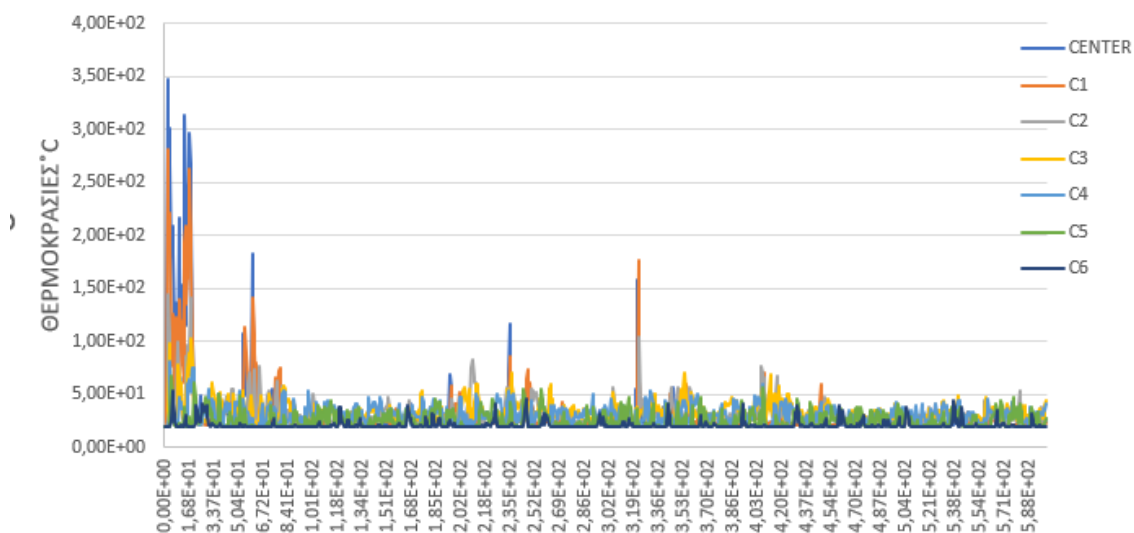


Σχήμα 4-2 Κατανομή μέγιστων θερμοκρασιών εστίας φωτιάς για την περίπτωση έναυσης φωτιάς στον χώρο της αυλής.

Στο Σχήμα 4-3 παρατηρούμε ότι όχι μόνο οι κορυφαίες τιμές των κατακόρυφων αισθητήρων αλλά και η κάθε μια τιμή ξεχωριστά μοιάζει να είναι αντιπροσωπευτική για τον κάθε αισθητήρα ξεχωριστά ο αισθητήρας CENTER παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές θερμοκρασιών σχεδόν σε όλες τις μετρήσεις και στη συνέχεια ο αισθητήρας C1 που εμφανίζει τις αμέσως υψηλότερες θερμοκρασίες. Οι χαμηλότερες κατακόρυφες θερμοκρασίες προκύπτουν από τον αισθητήρα C6 όπου είναι και αναμενόμενο διότι απέχει την μεγαλύτερη

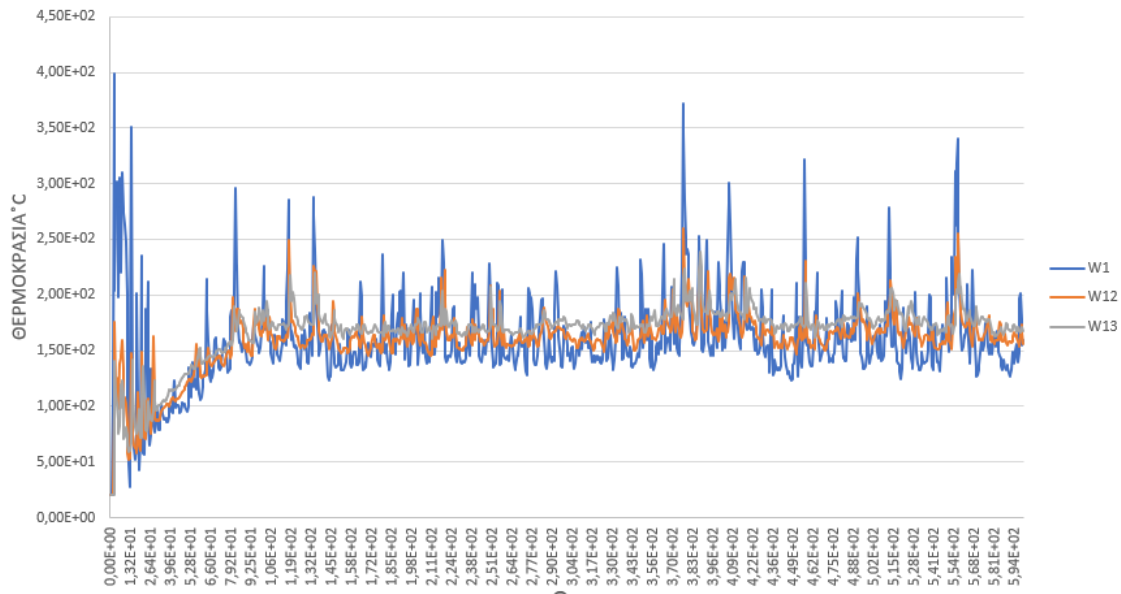
κατακόρυφη απόσταση από όλους τους άλλους (15m). Το ίδιο ισχύει και για το Σχήμα 4-4 όπου στην περίπτωση αυτή η διαφορά αναμεσα στις θέσεις των αισθητήρων θερμοκρασιακά είναι εμφανέστερη.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΕΠΤΑ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ



Σχήμα 4-3 Διάγραμμα θερμοκρασιών επτά κατακόρυφων θέσεων συναρτήση του χρόνου για την περίπτωση έναυσης φωτίας στον χώρο της αυλής.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΤΡΙΩΝ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΘΕΣΕΩΝ
ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ



Σχήμα 4-4 Διάγραμμα θερμοκρασιών επτά κατακόρυφων θέσεων συναρτήσει του χρόνου για την περίπτωση έναυσης φωτιάς στον κλειστό χώρο του αίθριου.

Στο Σχήμα 4-5 και Σχήμα 4-6 παρατηρούμε το θερμοκρασιακό προφίλ των δυο περιπτώσεων βλέποντας αρχικά στο Σχήμα 4-5 όπου απεικονίζεται η περίπτωση έναυσης φωτιάς στον κλειστό χώρο του αίθριου όταν η θερμοκρασία στο πεδίο ροής ξεκινάει από τον αισθητήρα 9 σε θερμοκρασία 20 °C και σταδιακά αυξάνεται στους 154 °C έως θερμοκρασίας των 399 °C από τον αισθητήρα W1. Στο Σχήμα 4-6 παρατηρείται μια σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας στον ανοικτό χώρο από τον αισθητήρα W3 στους 204 °C. Η μέγιστη θερμοκρασία προκύπτει στην τιμή των 348 °C από την μέτρηση του αισθητήρα CENTER.

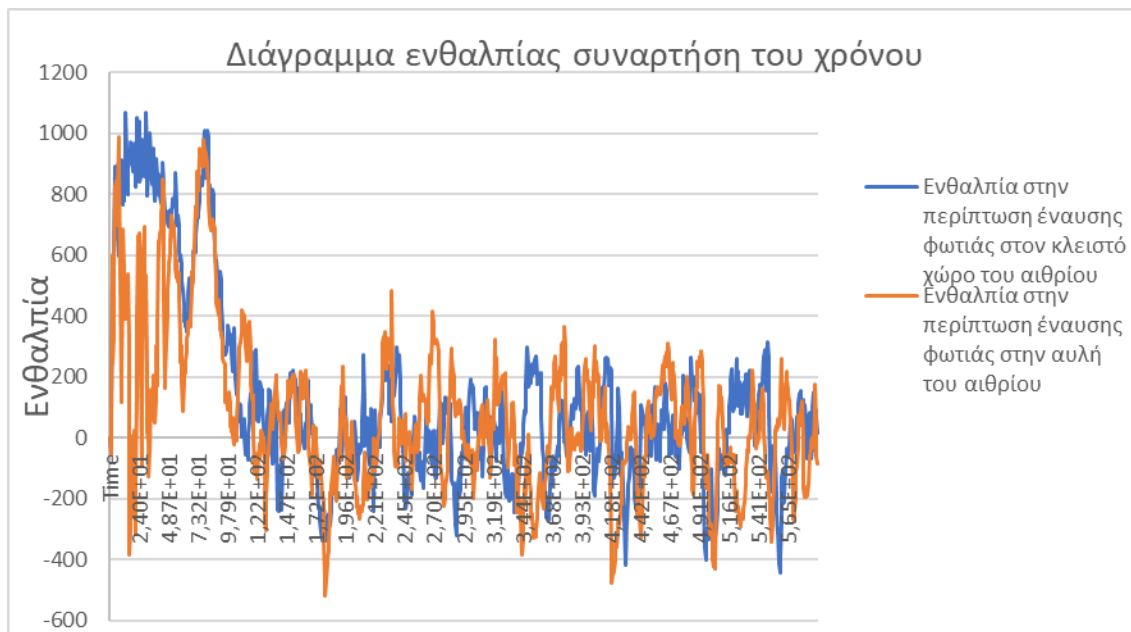


Σχήμα 4-5 Θερμοκρασιακό προφίλ για την περίπτωση έναυσης εστίας φωτιάς στον κλειστό χώρο του αίθριου.



Σχήμα 4-6 Θερμοκρασιακό προφίλ για την περίπτωση έναυσης εστίας φωτιάς στην αυλή του αίθριου.

Στο Σχήμα 4-7 παρουσιάζεται το διάγραμμα ενθαλπίας για τις δυο διαφορετικές θέσεις της εστίας φωτιάς παρατηρείται η ενθαλπία στην περίπτωση έναυσης φωτιάς στο κλειστό χώρο του αίθριου παρουσιάζει μέγιστες πιμές ενθαλπίας της τιμής των 1070 KW την χρονική στιγμή των 13,2sec και στην περίπτωση έναυσης φωτιάς στην αυλή του αίθριου η μέγιστη τιμή ενθαλπίας είναι 990KW την ίδια χρονική στιγμή.



Σχήμα 4-7 Διάγραμμα ενθαλπίας για τις δύο περιπτώσεις εστίας φωτιάς.

Στο Σχήμα 3-14 εμφανίζονται δυο περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση απεικονίζεται η μεταβολή της πίεσης γύρω από τον πειραματικό κύβο και στην δεύτερη περίπτωση εμφανίζεται η κατανομή της πίεσης γύρω από τον τον ίδιο κύβο, στην ίδια θέση αλλά μέσα από το πρόγραμμα προσομοίωσης. Τα πειραματικά αποτελέσματα είναι αρκετά κοντά με αυτά του προγράμματος προσομοίωσης. Η μεγαλύτερη μεταβολή της πίεσης βρίσκεται καθώς πλησιάζουν οι μετρήσεις στην πίσω μεριά του κύβου. Εκεί προκύπτουν και οι μέγιστες αρνητικές τιμές.

Γενικά συμπεράσματα

Ο βασικός σκοπός της διπλωματικής αυτής εργασίας ήταν η συμπεριφορά της ροής του αέρα γύρω από μια γεωμετρία αίθριου υπό την επίδραση ενός ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος. Μελετήθηκαν δύο διαφορετικά σενάρια έναυσης φωτιάς μέσα στην γεωμετρία αυτή με σκοπό να παρατηρηθούν οι μεταβολές που θα προκύψουν μέσα στο πεδίο ροής.

Με βάση τα αριθμητικά αποτελέσματα από τις πειραματικές μετρήσεις αλλά και από την περιπτώσεις προσομοίωσης συμπεραίνεται ότι υπάρχει ταύτιση όσον αφορά την κατανομή της ροής του αέρα γύρω από την γεωμετρία. Δηλαδή στα σημεία που εμφανίζει η προσημείωση αρνητική πίεση εμφανίζει για την ίδια θέση και το αποτέλεσμα της πειραματικής διαδικασίας.

Παρατηρήθηκε ότι η περιοχή της αυλής αλλά και η περιοχή πίσω από την γεωμετρία παρουσίασε μεταβολές και την πίεση και στην ταχύτητα του αέρα αλλά και στην θερμοκρασία για τις δύο περιπτώσεις έναυσης φωτιάς ξεχωριστά.

Οι περιπτώσεις έναυσης φωτιάς που μελετήθηκαν παρατηρείται αρκετά μεγάλη διαφορά στην μέγιστη θερμοκρασία ανεξάρτητα αν η εστία και η ένταση της ήταν ίδια και για τις δυο περιπτώσεις. Πιο συγκεκριμένα η μέγιστη θερμοκρασία προέκυψε στο σενάριο έναυσης φωτιάς μέσα στον κλειστό χώρο και αυτό δικαιολογείται επειδή η θερμοκρασία της ροής κατά την εξέλιξη του πειράματος δεν είχε άμεσα τρόπο εκτόνωσης με σκοπό να εγκλωβιστεί στο εσωτερικό και η μια θερμοκρασία σημειακά να επηρεάσει την άλλη.

Με την εκτέλεση του πειράματος και την συλλογή των δεδομένων καθώς και την σύγκριση με τα αποτελέσματα προσομοίωσης παρουσιάστηκαν πολλές ομοιότητες. Οι αριθμητικές αποκλίσεις των δυο αυτών σεναρίων ήταν σχετικά μικρές και ο συγχρονισμός των μεταβολών των δυο περιπτώσεων ήταν σχεδόν ταυτόχρονος. Υπήρχαν σημεία που εμφάνιζαν αποκλίσεις όμως οι πειραματικές συνθήκες δεν γίνεται να είναι απολυτά σταθερές.

BIBΛIOΓPAΦIA

Abu-Zidan, Y., et al. (2021). "Optimising the computational domain size in CFD simulations of tall buildings." Heliyon **7**(4): e06723.

Acred, A. and G. R. Hunt (2014). "Stack ventilation in multi-storey atrium buildings: A dimensionless design approach." Building and Environment **72**: 44-52.

Ahmed, M. H. and M. G. Hussein (2021). Numerical investigation on a smoke management system in an administration building's atrium.

Al-Waked, R., et al. (2021). "Natural ventilation of residential building Atrium under fire scenario." Case Studies in Thermal Engineering **26**: 101041.

Aldawoud, A. (2013). "The influence of the atrium geometry on the building energy performance." Energy and Buildings **57**: 1-5.

Aldawoud, A. and R. Clark (2008). "Comparative analysis of energy performance between courtyard and atrium in buildings." Energy and Buildings **40**(3): 209-214.

Ayala, P., et al. (2013). "Influence of atrium roof geometries on the numerical predictions of fire tests under natural ventilation conditions." Energy and Buildings **65**: 382-390.

Cheung, J. O. P. and C.-H. Liu (2011). "CFD simulations of natural ventilation behaviour in high-rise buildings in regular and staggered arrangements at various spacings." Energy and Buildings **43**(5): 1149-1158.

Chow, C. L. and S. S. Han (2010). "Simulation of Atrium Smoke Filling by Computational Fluid Dynamics." International Journal of Ventilation **8**(4): 371-384.

Chow, C. L. and J. Li (2010). "An analytical model on static smoke exhaust in Atria." Journal of Civil Engineering and Management **16**(3): 372-381.

Chow, W. K. (1995). "A comparison of the use of fire zone and field models for simulating atrium smoke-filling processes." Fire Safety Journal **25**(4): 337-353.

Chow, W. K., et al. (1997). "Plume equations for studying smoke-filling process in atria with a zone model." **21**: 235-244.

Council, I. C. (2006). International Building Code 2006, International Code Council.

Dai, B., et al. (2022). "Characteristics of thermal stratification and its effects on HVAC energy consumption for an atrium building in south China." Energy **249**: 123425.

- Danielski, I., et al. (2016). "Heated atrium in multi-storey apartment buildings, a design with potential to enhance energy efficiency and to facilitate social interactions." Building and Environment **106**: 352-364.
- Ferreira, T. (2018). Daylight optimization in an office building through atrium improvements.
- Harrison, R. (2004). Smoke Control in Atrium Buildings: A Study of the Thermal Spill Plume.
- Heskestad, G. (1984). "Engineering relations for fire plumes." Fire Safety Journal **7**(1): 25-32.
- Ibrahim, Y., et al. (2022). "Multi-objective optimisation of urban courtyard blocks in hot arid zones." Solar Energy **240**: 104-120.
- Khan, M. H., et al. (2018). "Flow around a cube for Reynolds numbers between 500 and 55,000." Experimental Thermal and Fluid Science **93**: 257-271.
- Klote, J. H. (2012). "Basics of atrium smoke control." ASHRAE Journal **54**: 36+.
- Lanlan, Z. and R. Feng (2015). Effects of outdoor temperature on the natural smoke extraction strategy in an atrium. Proceedings of the 2015 International Industrial Informatics and Computer Engineering Conference, Atlantis Press.
- Lei, W., et al. (2022). "Study on fire smoke control in evacuation passageways on the top floor of an atrium involving breathing zones combined with underfloor makeup air supplementation." Safety Science **153**: 105807.
- Lim, H. C., et al. (2009). "Flow around a cube in a turbulent boundary layer: LES and experiment." Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics **97**(2): 96-109.
- Littlefair, P. (2002). "Daylight prediction in atrium buildings." Solar Energy **73**(2): 105-109.
- M'Saouri El Bat, A., et al. (2022). "Optimizing urban courtyard form through the coupling of outdoor zonal approach and building energy modeling." Energy: 126176.
- Micallef, D., et al. (2016). "Cross-ventilation of a room in a courtyard building." Energy and Buildings **133**: 658-669.
- Mohsenin, M. and J. Hu (2015). "Assessing daylight performance in atrium buildings by using Climate Based Daylight Modeling." Solar Energy **119**: 553-560.
- Murgul, V. (2015). "Reconstruction of the Courtyard Spaces of the Historical Buildings of Saint-Petersburg with Creation of Atriums." Procedia Engineering **117**: 808-818.

- Nosek, Š., et al. (2022). "The effect of courtyard buildings on the ventilation of street canyons: A wind-tunnel study." Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics **220**: 104885.
- Pérez-Urrestarazu, L., et al. (2018). "Water management assessment in a historic garden: the case study of the Real Alcazar (Seville, Spain)." Urban Forestry & Urban Greening **29**: 192-199.
- Rafinazari, A. and G. J. F. T. Hadjisophocleous (2018). "A Study of the Effect of Make-Up Air Velocity on the Smoke Layer Height with Symmetric Openings in Atrium Fires." **54**: 229-253.
- Rastegari, M., et al. (2021). "Daylight optimization through architectural aspects in an office building atrium in Tehran." Journal of Building Engineering **33**: 101718.
- Ratajczak, K., et al. (2022). "Incorporating an atrium as a HVAC element for energy consumption reduction and thermal comfort improvement in a Polish climate." Energy and Buildings **277**: 112592.
- Rychtáriková, M., et al. (2016). "Acoustic Conditions in the Atrium of Slovak Philharmonic." Procedia Engineering **155**: 464-471.
- Shaeri, J., et al. (2022). "Effects of sea-breeze natural ventilation on thermal comfort in low-rise buildings with diverse atrium roof shapes in BWh regions." Case Studies in Thermal Engineering: 102638.
- Shafiei Fini, A. and A. Moosavi (2016). "Effects of "wall angularity of atrium" on "buildings natural ventilation and thermal performance" and CFD model." Energy and Buildings **121**: 265-283.
- Sharples, S. and R. Bensalem (2001). "Airflow in courtyard and atrium buildings in the urban environment: a wind tunnel study." Solar Energy **70**(3): 237-244.
- Tablada, A., et al. (2009). "On natural ventilation and thermal comfort in compact urban environments – the Old Havana case." Building and Environment **44**(9): 1943-1958.
- Tilley, N., et al. (2011). "Verification of the accuracy of CFD simulations in small-scale tunnel and atrium fire configurations." Fire Safety Journal **46**(4): 186-193.
- Torres-González, M., et al. (2022). "Long-term environmental monitoring for preventive conservation of external historical plasterworks." Journal of Building Engineering **47**: 103896.
- van Hooff, T., et al. (2017). "On the accuracy of CFD simulations of cross-ventilation flows for a generic isolated building: Comparison of RANS, LES and experiments." Building and Environment **114**: 148-165.
- Vujošević, M. and A. Krstić-Furundžić (2017). "The influence of atrium on energy performance of hotel building." Energy and Buildings **156**: 140-150.

Xu, F., et al. (2022). "Influence analysis of space configuration on cooling load of a large semi-closed atrium in hot and humid region." Building and Environment **225**: 109670.

Xu, J.-b., et al. (2013). "The Study on Influence Factors of the Mechanical Smoke Evacuation System in Atrium Buildings." Procedia Engineering **52**: 508-513.

Yakhot, A., et al. (2006). "Turbulent flow around a wall-mounted cube: A direct numerical simulation." International Journal of Heat and Fluid Flow **27**(6): 994-1009.

Yang, Y., et al. (2019). "Thermal and day-lighting performance of aerogel glazing system in large atrium building under cooling-dominant climates." Energy Procedia **158**: 6347-6357.

Yaşa, E. and V. Ok (2014). "Evaluation of the effects of courtyard building shapes on solar heat gains and energy efficiency according to different climatic regions." Energy and Buildings **73**: 192-199.

Yasa, E. J. I. L., UK (2017). "Building Typology Comparison Between Courtyard and Atrium Buildings: A Study of Thermal Comfort and Energy Performance Factors in Different Climate Zones." 61-91.

Zhong, H.-Y., et al. (2018). "Two-dimensional numerical simulation of wind driven ventilation across a building enclosure with two free apertures on the rear side: Vortex shedding and "pumping flow mechanism"." Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics **179**: 449-462.

Κολαΐτης, Δ. and Μ. Φούντη (2016). Εφαρμογές Υπολογιστικής Προσομοίωσης Ανεξέλεγκτης Καύσης. Αθήνα, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

