

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
UNIVERSITY OF WEST ATTICA



ΑΛΕΞΙΟΥ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

Προσομοίωση και εκτίμηση κινδύνου πυρκαγιάς σε επιβατηγό πλοίο

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Ακαδημαϊκό Έτος: 2023 – 2024

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

Αιγάλεω, Μάρτιος 2024

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
UNIVERSITY OF WEST ATTICA



ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Ακαδημαϊκό Έτος: 2023-2024

ΑΛΕΞΙΟΥ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

Προσομοίωση και εκτίμηση κινδύνου πυρκαγιάς σε επιβατηγό πλοίο

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

Αιγάλεω, Μάρτιος 2024

© UNIVERSITY OF WEST ATTICA
2024. All rights reserved. No part of this publication may be
reproduced without the written permission of the copyright owner.



Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

α/α	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΟΓΡΑΦΗ
1	Δρ. Ιωάννης Σαρρής	Καθηγητής	
2	Δρ. Κωνσταντίνος Ιωάννης Βασιλόπουλος	Μεταδιδάκτορας Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών	
3	Δρ. Καρβέλας Ευάγγελος	Μεταδιδάκτορας Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Αλεξίου Αντώνιος του Παναγιώτη, με αριθμό μητρώου 47165 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

ΑΛΕΞΙΟΥ ΑΝΤΩΝΙΟΣ



Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στην ανάλυση της ευαισθησίας του χρόνου εκκένωσης σε επιβατηγό πλοίο με βάση συγκεκριμένες παραμέτρους, χρησιμοποιώντας αριθμητικές προσομοιώσεις με το λογισμικό Pathfinder και Pyrosim. Η ανάλυση επικεντρώνεται στον υπολογισμό της επίδρασης των παραμέτρων αυτών στον τελικό χρόνο εκκένωσης. Παρέχεται επίσης σύντομη ανάλυση των ναυτικών ατυχημάτων, περιγράφεται το κανονιστικό πλαίσιο για τις διαδικασίες εκκένωσης πλοίου, και παρουσιάζονται εκτενώς τα παραπάνω πρόγραμμα προσομοίωσης. Η ανάλυση βασίζεται στο μοντέλο ενός καταστρώματος με καμπίνες κατά την διάρκεια όπου επιβάτες βρίσκονται στο συγκεκριμένο χώρο, εξετάζοντας την ευαισθησία του χρόνου εκκένωσης σε διάφορα σενάρια και αποκαλύπτοντας σημαντικά αποτελέσματα και ευάλωτα σημεία εκκένωσης. Η εργασία καταλήγει σε συμπεράσματα που επισημαίνουν τη σημασία της μελέτης για τη βελτίωση του σχεδιασμού πλοίου και της ασφάλειας.

Abstract

The present thesis focuses on the analysis of evacuation time sensitivity in a passenger ship based on specific parameters, using numerical simulations with the Pathfinder and Pyrosim software. The analysis is centered on calculating the impact of these parameters on the final evacuation time. Additionally, a brief analysis of maritime accidents is provided, the regulatory framework for ship evacuation procedures is described, and the aforementioned simulation programs are extensively presented. The analysis is based on a model of a deck with cabins where passengers are located during an evacuation, examining the sensitivity of evacuation time in various scenarios and revealing significant results and vulnerable evacuation points. The thesis concludes with conclusions highlighting the importance of the study for improving ship design and safety.

Keywords: FDS, Passenger vessel, Smoke spread, evacuation, Pathfinder.

Ευχαριστίες

Θέλω να εκφράσω τις θερμότερες μου ευχαριστίες προς όλους εσάς που με στηρίζατε και με βοηθήσατε στην ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Πρώτα και κύρια, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Βασιλόπουλο Κωνσταντίνο-Ιωάννη, για την εμπιστοσύνη του σε μένα και την ανεκτίμητη του καθοδήγηση και υποστήριξη κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας. Επίσης, δεν θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη συνεχή τους στήριξη και ανέλπιστη αγάπη. Η υποστήριξή τους ήταν το βασικό κίνητρο μου και χωρίς αυτήν δεν θα μπορούσα να φτάσω μέχρι εδώ. Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω τους φίλους μου και την κοπέλα μου για τη στήριξή τους και την κατανόησή τους σε κάθε στάδιο αυτής της πορείας. Η παρουσία και η συμπαράστασή τους ήταν πραγματικά πολύτιμη. Σας ευχαριστώ όλους για την πίστη και την εμπιστοσύνη σας.

Περιεχόμενα

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	5
Περίληψη	6
Abstract	6
Ευχαριστίες	7
Κατάλογος Εικόνων	9
Κατάλογος Γραφημάτων	10
Κατάλογος Πινάκων	11
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	13
2.1 Ιστορική Αναδρομή	13
2.2 Κανονισμοί Ασφαλείας	17
2.2.1 Regulation 13 – Μέσα Διαφυγής	19
2.2.2 Regulation 7 - Ανίχνευση και συναγερμός	23
2.2.3 Regulation 10 – Πυρόσβεση	24
2.3 ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ	25
3 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ	28
3.1 Fire Dynamics Simulation	28
3.2 Pyrosim	29
3.2.1 Λειτουργίες	31
3.2.2 Βασικές εξισώσεις	36
3.2.3 Pathfinder	43
4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	49
4.1 Γενικά Στοιχεία	49
4.2 Γεωμετρία	49
4.3 Σενάρια Πυρκαγιάς	52
4.4 Εκκένωση	57
4.4.1 Μελέτη της εκκένωσης	61
4.4.2 Εκκένωση Χωρίς την παρουσία καπνού	61
4.4.3 Σενάριο 1: Πυρκαγιά στο πίσω μέρος με 100 άτομα	68
4.4.4 Σενάριο 2: Πυρκαγιά στο πίσω μέρος με 50 άτομα	70
4.4.5 Σενάριο 3: Πυρκαγιά στο μπροστά μέρος με 100 άτομα	73
4.4.6 Σενάριο 4: Πυρκαγιά στο μπροστά μέρος με 50 άτομα	75
4.4.7 Σύγκριση μεταξύ των σεναρίων	78
5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	80
6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	81

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2:1 ; SS Lexington (1840).....	13
Εικόνα 2:2 : SS Morro Castle (1934).....	14
Εικόνα 2:3 : MS Scandinavian Star (1990).....	15
Εικόνα 2:4 : Costa Concordia (2012).....	15
Εικόνα 2:5 : MS Norman Atlantic (2014)	16
Εικόνα 3:1: Ορισμός διαστάσεων πλέγματος.....	31
Εικόνα 3:2 : Reactions.....	32
Εικόνα 3:3 : Surfaces	33
Εικόνα 3:4 : Δεδομένα 3D plot.....	35
Εικόνα 3:5 : Όψη δωματιών	41
Εικόνα 3:6 : Εισαγωγή σχεδίου στο PyroSim	42
Εικόνα 3:7 : Προσομοίωση πυρκαγιάς	43
Εικόνα 3:8 : Δημιουργία μονοπατιού	45
Εικόνα 4:1 : Πλάγια όψη καμπινών	49
Εικόνα 4:2 : Κάτοψη καμπινών.....	50
Εικόνα 4:3 : Διαστάσεις σκαλοπατιών	50
Εικόνα 4:4 : Διαστάσεις εξόδου από τον χώρο των καμπινών	51
Εικόνα 4:5 : Διαστάσεις εξόδων κινδύνου	51
Εικόνα 4:6: Σημείο πυρκαγιάς	53
Εικόνα 4:7: Διοξειδίο του άνθρακα ((α) 20 sec / (β) 60 sec / (γ) 120 sec).....	53
Εικόνα 4:8: Κατανομή θερμοκρασίας ((α) 20 sec / (β) 60 sec / (γ) 120 sec).....	54
Εικόνα 4:9: Μεταβολή ορατότητας στο 1,25 μέτρα ((α) 20 sec / (β) 60 sec / (γ) 120 sec).....	54
Εικόνα 4:10: Δεύτερο σενάριο πυρκαγιάς	55
Εικόνα 4:11 : Μεταβολή διοξειδίου του άνθρακα ((α) 20 sec / (β) 60 sec / (γ) 120 sec).....	55
Εικόνα 4:12: Μεταβολή θερμοκρασίας ((α) 20 sec / (β) 60 sec / (γ) 120 sec) ..	56

Εικόνα 4:13 : Μεταβολή ορατότητας στα 1,25 μέτρα ((α) 20 sec / (β) 60 sec / (γ) 120 sec).....	56
Εικόνα 4:14 : 100 επιβάτες στους χώρους των καμπινών.....	62
Εικόνα 4:15 : Bottle neck στις σκάλες.....	63
Εικόνα 4:16 : Πυρκαγιά στο πίσω μέρος με 100 άτομα στον χώρο	68
Εικόνα 4:17 : Πυρκαγιά στο πίσω μέρος με 50 άτομα στον χώρο	70
Εικόνα 4:18: Πυρκαγιά στο μπροστά μέρος με 100 άτομα στον χώρο	73
Εικόνα 4:19: Πυρκαγιά στον μπροστά μέρος με 50 άτομα στον χώρο	75

Κατάλογος Γραφημάτων

Γράφημα 4-3 : Χρόνος εκκένωσης χωρίς την παρουσία φωτιάς	65
Γράφημα 4-4 : Σύγκριση ελάχιστου, μέγιστου και μέσου όρου χρόνου εκκένωσης	66
Γράφημα 4-5 : Σύγκριση χρόνου εκκένωσης 50 και 100 ατόμων	67
Γράφημα 4-6 : Χρόνος εκκένωσης 100 άτομα	69
Γράφημα 4-7 : : Σύγκριση ελάχιστου, μέγιστου και μέσου όρου χρόνου εκκένωσης	69
Γράφημα 4-8 : Χρόνος εκκένωσης 50 ατόμων	70
Γράφημα 4-9 : Σύγκριση ελάχιστου, μέγιστου και μέσου όρου χρόνου εκκένωσης	71
Γράφημα 4-10: Σύγκριση χρόνου εκκένωσης μεταξύ 50 και 100 ατόμων με ύπαρξη πυρκαγιάς στο πίσω μέρος	72
Γράφημα 4-11: Χρόνος εκκένωσης του χώρου για 100 άτομα	74
Γράφημα 4-12 : Σύγκριση ελάχιστου, μέγιστου και μέσου χρόνου εκκένωσης .	74
Γράφημα 4-13: Χρόνος εκκένωσης του χώρου για 50 άτομα	75
Γράφημα 4-14 : Σύγκριση ελάχιστου, μέγιστου και μέσου χρόνου εκκένωσης .	76
Γράφημα 4-15: Σύγκριση χρόνου εκκένωσης μεταξύ 50 και 100 ατόμων	77
Γράφημα 4-16: Σύγκριση εκκένωσης του χώρου με 100 άτομα για κάθε περίπτωση.....	78
Γράφημα 4-17: Σύγκριση χρόνου εκκένωσης του χώρου για 50 άτομα για κάθε περίπτωση.....	79

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 4-1: Τιμές της ειδικής ροής και ταχύτητας βάση της πυκνότητας	58
Πίνακας 4-2 : Value of maximum specific flow	58
Πίνακας 4-3 : Τιμές ειδικής ροής και ταχύτητας	59
Πίνακας 4-4 : Τύποι υπολογισμού ταχύτητας βάση ηλικιακών ομάδων.....	59
Πίνακας 4-5 : Ταχύτητα επιβατών βάση ηλικιακής ομάδας	59
Πίνακας 4-6 : Ταχύτητα επιβατών στις σκάλες (Κάθοδος).....	60
Πίνακας 4-7 : Ταχύτητα επιβατών στις σκάλες (Άνοδος).....	60
Πίνακας 4-8 : Ηλικιακή και φυλετική κατανομή επιβατών	61
Πίνακας 4-9 : Αριθμός επιβατών ανά κατηγορία.....	65

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διπλωματική εργασία με τίτλο "Προσομοίωση και Αξιολόγηση Κινδύνου Πυρκαγιάς σε Επιβατηγό Πλοίο" προτίθεται να χρησιμοποιήσει εργαλεία προσομοίωσης για τον προσδιορισμό των επιπτώσεων των πυρκαγιών σε πλοία με επιβάτες. Η μελέτη θα εκμεταλλευτεί λογισμικό υπολογιστικής ρευστοδυναμικής για τον προσδιορισμό παραμέτρων της πυρκαγιάς, ενώ θα χρησιμοποιηθεί επίσης πρόγραμμα προσομοίωσης για την εκτίμηση του κινδύνου.

Κρίσιμος παράγοντας για τον προσδιορισμό του χρόνου εκκένωσης αποτελούν οι μεταβλητές που επηρεάζουν την ψυχολογία και την κινητικότητα των ανθρώπων σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Για την διασφάλιση της φυσικής ακεραιότητας των επιβατών και του πληρώματος, οι κανονισμοί έχουν θεσπίσει οδηγίες που αφορούν τον κατάλληλο σχεδιασμό των πλοίων, συμπεριλαμβάνοντας συστήματα ανίχνευσης καπνού και φωτιάς προκειμένου να αποφεύγονται επικίνδυνες καταστάσεις.

Μέσω της χρήσης των εργαλείων προσομοίωσης και της συμμόρφωσης προς τους κανονισμούς, η παρούσα έρευνα επιδιώκει να εμβαθύνει στην κατανόηση των κινδύνων πυρκαγιάς σε επιβατηγά πλοία, προσφέροντας σημαντικές προοπτικές για την ανάπτυξη αποτελεσματικών μέτρων ασφαλείας και πρωτοκόλλων για τον ναυτικό χώρο.

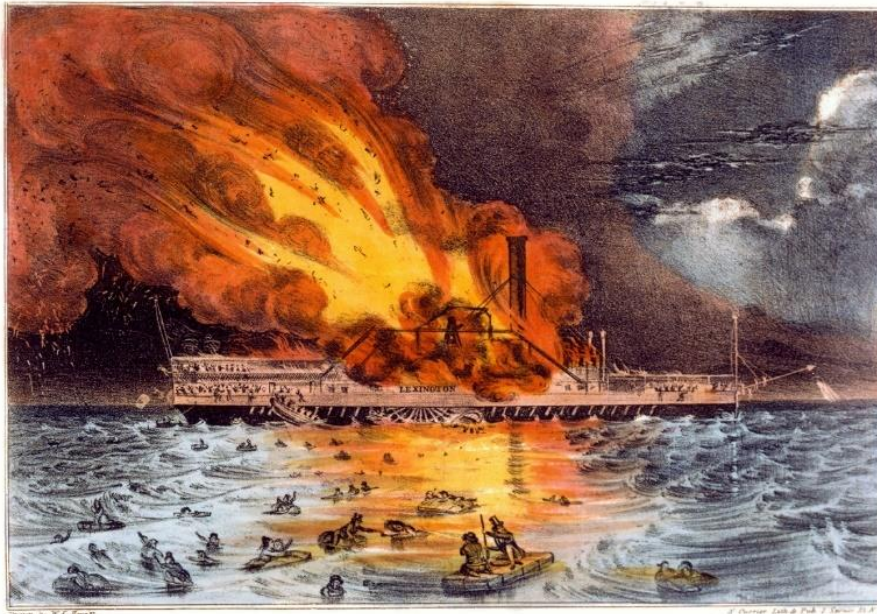
2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Ιστορική Αναδρομή

Η ιστορία των πυρκαγιών σε επιβατικά πλοία είναι πλούσια και αντικατοπτρίζει την ανάγκη για συνεχή εξέλιξη στα πρότυπα ασφαλείας της ναυτιλίας. Ορισμένα από τα σημαντικότερα γεγονότα περιλαμβάνουν:

SS Lexington (1840):

Η SS Lexington ήταν ένα από τα πρώτα ατμοκίνητα πλοία που εκτελούσαν προγραμματισμένες επαναλαμβανόμενες πορείες μεταξύ των πόλεων. Το 1840, παραδόθηκε στις φλόγες κοντά στη Νέα Υόρκη, με αποτέλεσμα τον θάνατο πολλών επιβατών.



Εικόνα 2:1 ; SS Lexington (1840)[1]

SS Morro Castle (1934):

Η πυρκαγιά στο SS Morro Castle ήταν μια από τις πιο διαβόητες πυρκαγιές σε πλοίο. Στις 8 Σεπτεμβρίου 1934, το αμερικανικό κρουαζιερόπλοιο πυρπόλησε, προκαλώντας το θάνατο περίπου 137 ανθρώπων. Η έλλειψη πρότυπων ασφαλείας και η δυσκολία εκκένωσης συνέβαλαν στην τραγωδία.



Εικόνα 2:2 : SS Morro Castle (1934) [2]

[3]Το MS Scandinavian Star είναι ένα άλλο παράδειγμα σοβαρής πυρκαγιάς. Το 1990, η πυρκαγιά εξαπλώθηκε σε αυτό το φέρι, προκαλώντας το θάνατο 159 ανθρώπων. Ερευνητικές αναφορές αναδείκνυαν προβλήματα στα συστήματα πυρόσβεσης και τα πρότυπα ασφαλείας.



Εικόνα 2:3 : MS Scandinavian Star (1990) [3]

Costa Concordia (2012):

Το Costa Concordia έπεσε θύμα πυρκαγιάς το 2012 καθώς έσφιξε την ακτή της Ιταλίας. Η πυρκαγιά προκλήθηκε από έκρηξη γεννητριών, με αποτέλεσμα τον θάνατο 32 ανθρώπων. Το ατύχημα αυτό έθεσε τα φώτα στις πρακτικές ασφαλείας και την ανάγκη για εκπαίδευση του πληρώματος.



Εικόνα 2:4 : Costa Concordia (2012) [4]

MS Norman Atlantic (2014):

Η πυρκαγιά στο MS Norman Atlantic, ένα πλοίο μεταφοράς επιβατών και οχημάτων, στο Αδριατικό το 2014, προκλήθηκε από έκρηξη σε φορτηγό. Πολλοί άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους, και η περιπέτεια αυτή αναδείχθηκε την ανάγκη για αποτελεσματικότερα μέτρα αντιμετώπισης πυρκαγιών σε πλοία.



Εικόνα 2:5 : MS Norman Atlantic (2014) [5]

2.2 Κανονισμοί Ασφαλείας

Καθώς επιβατηγά πλοία μεταφέρουν πολίτες, πολλοί από αυτούς επιβαίνουν χωρίς ή με ελάχιστη κατάρτιση για περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Για να εξασφαλιστεί η ασφάλειά τους, εκτίθενται σημαντικές εξελίξεις στα πρότυπα ασφαλείας της ναυτιλίας.

Τα συστήματα πυρόσβεσης εξελίσσονται συνεχώς για να μειωθεί ο χρόνος κατά τον οποίο μια πυρκαγιά παραμένει ενεργή, ενώ παράλληλα να είναι δυνατή η άμεση αντιμετώπισή της. Ακόμη και ο μικρός εξοπλισμός κατά την κατασκευή του πλοίου αναδεικνύεται ως ένας από τους κυριότερους παράγοντες σε περίπτωση ατυχήματος.

Τα πληρώματα πρέπει να υποβάλλονται σε κατάλληλη εκπαίδευση για να αντιμετωπίζουν καταστάσεις έκτακτης ανάγκης και να παρέχουν βοήθεια σε άτομα που δεν είναι σε θέση να αντιδράσουν αποτελεσματικά.

Τα πρότυπα ασφαλείας γίνονται όλο και πιο αυστηρά, καθώς παρατηρούνται γκρίζες ζώνες με την πάροδο του χρόνου. Με την εξέλιξη της ναυτιλίας και της τεχνολογίας, τα πλοία μεταφέρουν αντικείμενα πρωτοφανή για την κοινωνία, όπως τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Σε αυτόν τον τομέα δεν υπάρχουν ακόμη συγκεκριμένοι κανονισμοί για την ασφαλή μεταφορά τους.

Η αρμόδια αρχή για την δημιουργία των κανονισμών είναι η IMO (international Marine Organization) όπου στην περίπτωση πυρασφάλειας αναφέρονται στην άμεση ανίχνευση και κατάσβεσης αυτής καθώς και την προστασία από αυτή. Αυτοί οι κανονισμοί υπάρχουν στις παρακάτω κώδικες:

- SOLAS (Safety Of Life At Sea) [6]
- FSS (Fire Safety System)
- FTP (Fire Test Procedure)

Οι παραπάνω κώδικες αναφέρονται στις εξής ενότητες:

A) Στην πρόληψη της φωτιάς

Β) Στην ανίχνευση και στην κατάσβεση

Γ) Στην διαφυγή και στην εκκένωση.

Σύμφωνα με την IMO όσον αφορά των κώδικα SOLAS το κεφάλαιο που αναφέρεται στην πυροπροστασία είναι το κεφάλαιο II-2: Κατασκευή – Πυροπροστασία, Ανίχνευση και κατάσβεση πυρκαγιάς. Οι ενότητες αυτού το κεφαλαίου είναι οι εξής:

A. Γενικά - General.

- Regulation 1: Εφαρμογή
- Regulation 2: Πυρασφάλεια και λειτουργικές απαιτήσεις
- Regulation 3: Ορισμοί

B. Πρόληψη φωτιάς και έκρηξης - Prevention of fire and explosion.

- Regulation 4: Πιθανότητα ανάφλεξης
- Regulation 5: Ανάπτυξη πυρκαγιάς
- Regulation 6: Πιθανότητα ανάπτυξης καπνού και τοξικών αερίων

C. Καταστολή φωτιάς - Suppression of fire.

- Regulation 7: Ανίχνευση και συναγερμός
- Regulation 8: Διαχείριση διάχυση καπνού
- Regulation 9: Περιορισμός φωτιάς
- Regulation 10: Πυρόσβεση
- Regulation 11: Δομική ακεραιότητα

D. Διαφυγή - Escape

- Regulation 12: Ενημέρωση πληρώματος και επιβατών
- Regulation 13: Μέσα Διαφυγής

E. Λειτουργικές απαιτήσεις - Operational Requirements

- Regulation 14: Εργασίες ετοιμότητας και συντήρησης
 - Regulation 15: Οδηγίες, ενσωματωμένη εκπαίδευση και ασκήσεις
 - Regulation 16: Λειτουργίες
- F. Εναλλακτικός σχεδιασμός και διατάξεις - Alternative design and arrangements.
- Regulation 17: Εναλλακτικός σχεδιασμός και διατάξεις - Ειδικές απαιτήσεις- Special Requirements
 - Regulation 18: Εγκαταστάσεις ελικοπτέρων
 - Regulation 19: Μεταφορά επικίνδυνων εμπορευμάτων
 - Regulation 20: Προστασία χώρων οχημάτων, ειδικής κατηγορίας και ro-ro
 - Regulation 21: Κατώφλι ατυχήματος, ασφαλής επιστροφή στο λιμάνι και ασφαλείς περιοχές
 - Regulation 22: Κριτήρια σχεδιασμού για τα συστήματα να παραμείνουν λειτουργικά μετά από ατύχημα πυρκαγιάς
 - Regulation 23: Κέντρο ασφαλείας σε επιβατηγά πλοία

2.2.1 Regulation 13 – Μέσα Διαφυγής

Ο σκοπός αυτού του κανονισμού είναι η ασφαλής μεταβίβαση των επιβατών και του προσωπικού στο κατάστρωμα επιβίβασης σωστικών λέμβων καθώς και στις σωστικές λέμβους. Για αυτό παρέχονται σχέδια ασφαλών διαδρομών εκκένωσης, όπου πρέπει να διατηρούνται σε άριστη κατάσταση και χωρίς την ύπαρξη εμποδίων, και πρέπει να παρέχονται πρόσθετα βοηθήματα διαφυγής, όπως απαιτείται, για να διασφαλίζεται η προσβασιμότητα, η σαφής σήμανση και ο κατάλληλος σχεδιασμός για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.

2.2.1.1 Τρόποι Διαφυγής από σημεία ελέγχου, χώρους διανυκτέρευσης και εξυπηρέτησης σε επιβατηγά πλοία.

Σύμφωνα με τον κανονισμό όλοι οι χώροι ή ομάδες χώρων του πλοίου πρέπει να έχουν τουλάχιστον δυο διαφορετικά και διαχωρισμένα μέσα διαφυγής, εκτός αν ορίζεται διαφορετικά από κάποιον άλλο κανονισμό, ενώ οι ανεγκυστήρες για λόγους ασφαλείας δεν αποτελούν μέσω διαφυγή. Ο χώρος του κλιμακοστάσιου και οι σκάλες πρέπει να είναι κατασκευασμένα από χαλύβδινο υλικό ή από υλικό αντίστοιχης αντοχής, έτσι ώστε να παρέχουν ασφάλεια σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης καθώς και να παρέχουν γρήγορη πρόσβαση στο χώρο του καταστρώματος επιβίβασης σωστικών λέμβων. Όλοι οι διάδρομοι που έχουν πρόσβαση οι φιλοξενούμενη επιβάτες θα πρέπει να έχουν τουλάχιστον δυο διαφορετικές εξόδους, αδιέξοδοι διάδρομοι επιτρέπονται μόνο στα σημεία του πλήρωμα έχει πρόσβαση για την λειτουργικότητα του πλοίου. Στο ραδιοτηλεγραφικό σταθμό, σε περίπτωση που δεν μπορεί να είναι εφικτή η παροχή δύο διαφορετικών εξόδων, πρέπει τουλάχιστον να υπάρχει παράθυρο σε μέγεθος ανάλογο στον χώρο που χρειάζεται ο άνθρωπος για να περάσει. Όσον αφορά της πόρτες στις οδούς διαφυγής πρέπει να ανοίγουν με κατεύθυνση προς την διαδρομή της διαφυγής, εκτός από της πόρτες των καμπινών για να αποτραπούν τυχόν ατυχήματα καθώς και από της πόρτες κάθετες στην διάδρομοί διαφυγής για την ίδιο σκοπό

2.2.1.2 Εκκένωση από χώρους κάτω από το κατάστρωμα

Οι διάδρομοι που βρίσκονται κάτω από το κατάστρωμα θα πρέπει να έχουν τουλάχιστον δύο πόρτες διαφυγής όπου έστω η μια να μην είναι στεγανή. Η αρχή έχει το δικαίωμα να απορρίψει την μια διέξοδο αν δεν είναι στεγανή και το πλήρωμα διέρχεται περιστασιακά για λειτουργικούς σκοπούς. Σε αυτή την περίπτωση η άλλη διέξοδος θα πρέπει να παρέχει ασφαλή έξοδο και ένα οδηγεί σε σκάλες το πλάτος τους να είναι μεγαλύτερο από 800 χιλιοστά με κιγκλιδώματα και στις δύο πλευρές.

2.2.1.3 Εκκένωση από χώρους πάνω από το κατάστρωμα

Στους χώρους πάνω από το κατάστρωμα θα πρέπει να υπάρχουν οι δύο μέσα διαφυγής από κάθε διαδρόμο και από κάθε χώρο ή ομάδα χώρων, με κατεύθυνση προς το κλιμακοστάσιο που σχηματίζει κατακόρυφη διαφυγή. Οι διαστάσεις, ο αριθμός και η πορείας των διαδρόμων έκτακτης εκκένωσης είναι βάση των κανονισμού που έχει θεσπιστεί στο Fire Safety System.

2.2.1.4 Άμεση πρόσβαση σε κλιμακοστάσιο

Τα κλιμακοστάσια σε πλοία πρέπει να διαθέτουν άμεση πρόσβαση από όλους τους διαδρόμους και από κάθε επίπεδο του πλοίου, με επαρκώς μεγάλες επιφάνειες για αποφυγή συμφόρησης. Κοντά στους χώρους του κλιμακοστασίου μπορεί να τοποθετηθούν μόνο οι τουαλέτες για όλους τους επιβάτες, ντουλάπια αποθήκευσης ασφαλούς εξοπλισμού κατασκευασμένα κατάλληλα με μη εύφλεκτά υλικά και σημεία αναζήτησης πληροφοριών.

Οι επιβάτες μπορούν να έχουν άμεση πρόσβαση στο κλιμακοστάσιο μόνο μέσω διαδρομών, ανελκυστήρων, εξόδων κοινόχρηστων τουαλετών, από χώρους ειδικής κατηγορίας και από τους ανοιχτούς χώρους του επιβατηγού πλοίου. Δημόσιοι χώροι επίσης μπορούν να συνδέονται με τα κλιμακοστάσια, εκτός από τα παρασκήνια ενός θεάτρου.

2.2.1.5 Μέσα διαφυγής

Από τα μέσα διαφυγής θα πρέπει, υποχρεωτικά, τουλάχιστον ένα από αυτά να έχει άμεση πρόσβαση στο κλιμακοστάσιο με τις εσωτερικές σκάλες. Η οποία θα παρέχει ασφαλή καταφύγιο κατά την διάρκεια όπου οι επιβάτες θα μεταφέρονται από το επίπεδο προέλευση στο κατάλληλο κατάστρωμα επιβίβασης σωσίβιας λέμβου ή στο ανώτατο κατάστρωμα καιρού εάν το κατάστρωμα επιβίβασης δεν εκτείνεται στη κατακόρυφη ζώνη που εξετάζονται. Στην τελευταία περίπτωση, πρέπει να παρέχεται άμεση πρόσβαση στο κατάστρωμα επιβίβασης μέσω εξωτερικών ανοιχτών κλιμακοστασίων και διαδρόμων και να διαθέτει φωτισμό έκτακτης ανάγκης σύμφωνα με τον κανονισμό III/11.5 και επιφάνειες που δεν

ολισθαίνουν κάτω από τα πόδια Τα όρια που βλέπουν εξωτερικά ανοιχτά κλιμακοστάσια και οι διάδρομοι που αποτελούν μέρος μιας οδού διαφυγής και τα όρια σε τέτοια θέση που η αστοχία τους κατά τη διάρκεια πυρκαγιάς θα παρεμπόδιζε τη διαφυγή στο κατάστρωμα επιβίβασης πρέπει να έχουν ακεραιότητα πυρκαγιάς, συμπεριλαμβανομένων των τιμών μόνωσης σύμφωνα με τους παρακάτω πίνακες.

2.2.1.6 Σήμανση οδών διαφυγής.

Εκτός από τον φωτισμό έκτακτης ανάγκης που αναφέρεται στους κανονισμούς II-1/42 και III/11.5, είναι υποχρεωτικό να χρησιμοποιούνται φωτεινές λωρίδες ή φωτοφωταύγεια για την επισήμανση των μέσων διαφυγής, συμπεριλαμβανομένων κλιμακοστασίων και εξόδων. Οι εν λόγω φωτεινές επισημάνσεις πρέπει να τοποθετούνται όχι περισσότερο από 300 mm πάνω από το κατάστρωμα σε όλα τα σημεία της διαδρομής διαφυγής, συμπεριλαμβανομένων γωνιών και διασταυρώσεων. Ο σκοπός της σήμανσης είναι να διευκολύνει τους επιβάτες στο να εντοπίζουν τις διαδρομές διαφυγής και τις εξόδους με ευκολία. Στην περίπτωση χρήσης ηλεκτρικού φωτισμού, πρέπει να τροφοδοτείται από πηγή έκτακτης ανάγκης και να διασφαλίζεται η αποτελεσματική λειτουργία του, ακόμη και σε περίπτωση αποτυχίας ή διακοπής σε μια λωρίδα φωτισμού. Επιπλέον, οι πινακίδες οδού διαφυγής και οι σημάνσεις θέσης πυροσβεστικού εξοπλισμού πρέπει να είναι κατασκευασμένες από υλικό φωτοφωταύγειας ή να διαθέτουν φωτισμό. Η Αρχή διασφαλίζει ότι ο εξοπλισμός αυτός έχει υποβληθεί σε αξιολόγηση, δοκιμές και συμμόρφωση με τους κανόνες FSS. Σε περίπτωση πλοίου που μεταφέρει άνω των 36 επιβατών, οι προαναφερόμενες απαιτήσεις ισχύουν και για τους χώρους φιλοξενίας του πληρώματος.

2.2.1.7 Οδοί διαφυγής μέσω πορτών.

Οι πόρτες των καμπινών σε επιβατηγά πλοία πρέπει να σχεδιάζονται με προσοχή, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η άμεση διαφυγή των επιβατών κατά περίπτωση πυρκαγιάς. Οι κανονισμοί προϋποθέτουν ότι όλες οι πόρτες αυτής

της κατηγορίας δεν πρέπει να έχουν κλειδαριές οι οποίες απαιτούν κλειδί για το ξεκλείδωμα τους κατά την έξοδο από τον χώρο διαμονής. Επιπλέον, καμία πόρτα που ανήκει στην ορισμένη διαδρομή διαφυγής δεν πρέπει να απαιτεί κλειδαριά προς την κατεύθυνση της διαδρομής αυτής.

Γενικότερα όλες οι πόρτες διαφυγής από δημόσιους χώρους που είναι συχνά κλειδωμένες θα πρέπει να είναι κατασκευασμένες με μέσα που επιτρέπουν την άμεση απελευθέρωση της. Αυτά τα μέσα περιλαμβάνουν μηχανισμούς μανδάλωσης που περιλαμβάνουν μια διάταξη που επιτρέπει το άμεσο ξεκλείδωμα του μάνδαλου με την εφαρμογή δύναμης προς την κατεύθυνση της ροής διαφυγής.

Αυτοί οι μηχανισμοί ταχείας απελευθέρωσης πρέπει να σχεδιάζονται με ιδιαίτερη προσοχή, συμμορφούμενοι πλήρως με τις οδηγίες που έχει θεσπίσει η Αρχή. Είναι υποχρεωτικό να είναι εξοπλισμένα με ράβδους ή πάνελ τα οποία εκτείνονται τουλάχιστον κατά το μισό πλάτος της κάθε πόρτας, τα οποία κατά την ενεργοποίησή τους ασφαλίζουν την θύρα διαφυγής. Το σημείο τοποθέτησης των παραπάνω πρέπει να βρίσκεται σε σημείο εύκολα προσβάσιμο από τον επιβάτη ανάμεσα στα 0,76 m και στα 1,12 m ύψος πάνω από το κατάστρωμα. Επιπλέον, πρέπει να εξασφαλίζουν την απελευθέρωση του μάνδαλου όταν ασκείται δύναμη που δεν υπερβαίνει τα 67 N και να μην διαθέτουν καμία διάταξη που εμποδίζει την απελευθέρωση του μάνδαλου κατά την άσκηση πίεσης στη συσκευή απελευθέρωσης.

2.2.2 Regulation 7 - Ανίχνευση και συναγερμός

Ο παρών κανονισμός αποσκοπεί στον ακριβή εντοπισμό των πυρκαγιών στον χώρο προέλευσης, καθώς και στην άμεση ενεργοποίηση συναγερμού για την ασφαλή διαφυγή και την άμεση εκτόνωση πυροσβεστικών δραστηριοτήτων. Είναι υποχρεωτικό να πληρούνται οι παρακάτω προϋποθέσεις:

1. Οι εγκαταστάσεις σταθερών συστημάτων πυρανίχνευσης και συναγερμού πυρκαγιάς πρέπει να είναι προσαρμοσμένες στη φύση του χώρου,

λαμβάνοντας υπόψη το δυναμικό εξέλιξης της πυρκαγιάς και τη δυνητική παραγωγή καπνού και αερίων.

2. Τα χειροκίνητα σημεία κλήσης πρέπει να τοποθετούνται αποτελεσματικά για να διασφαλίζεται η εύκολη πρόσβαση, λειτουργώντας ως αποτελεσματικό μέσο ειδοποίησης.
3. Οι περιπολίες πυρκαγιάς πρέπει να διαθέτουν αποτελεσματικά μέσα για τον εντοπισμό και την ταχεία αντίδραση σε πυρκαγιές, καθώς και για την άμεση ειδοποίηση της γέφυρας ναυσιπλοΐας και των πυροσβεστικών ομάδων.

2.2.3 Regulation 10 – Πυρόσβεση

Σκοπός του παρόντος κανονισμού είναι η καταστολή και η ταχεία κατάσβεση πυρκαγιάς στον χώρο προέλευσης. Για το σκοπό αυτό, πρέπει να πληρούνται οι ακόλουθες λειτουργικές απαιτήσεις:

1. Εγκαθίστανται σταθερά συστήματα πυρόσβεσης λαμβάνοντας δεόντως υπόψη το δυναμικό ανάπτυξης πυρκαγιάς των προστατευόμενων χώρων.
2. Οι πυροσβεστικές συσκευές πρέπει να είναι άμεσα διαθέσιμες.

Τα επιβατηγά πλοία που μεταφέρουν περισσότερους από 36 επιβάτες πρέπει να είναι εξοπλισμένα με σύστημα πυρανίχνευσης και συναγερμού πυρκαγιάς εγκεκριμένου τύπου που συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις του Κώδικα Συστημάτων Πυρασφάλειας σε όλους τους σταθμούς ελέγχου, τους χώρους διαμονής και εξυπηρέτησης, συμπεριλαμβανομένων των διαδρόμων και σκάλες. Σε περίπτωση που οι σταθμοί ελέγχου έχουν εξοπλισμό όπου η επαφή του με το νερό μπορεί να είναι καταστροφικό, μπορούν να είναι εξοπλισμένα με εγκεκριμένο σύστημα πυρόσβεσης διαφορετικού τύπου. Οι μόνοι χώροι που δεν χρειάζεται να είναι εξοπλισμένοι με σύστημα πυρόσβεσης είναι εκείνοι με μικρό ως καθόλου κίνδυνο πυρκαγιάς, όπως για παράδειγμα οι δημόσιες τουαλέτες

2.3 ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

Η ασφάλεια των ανθρώπων αντιπροσωπεύει έναν από τους υψηλότερους στόχους και προτεραιότητες σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Οι έρευνες που επικεντρώνονται στη μελέτη της συμπεριφοράς των ανθρώπων σε αυτές τις καταστάσεις αναδεικνύουν τη σπουδαιότητα της κατανόησης των διαδικασιών και των αντιδράσεών τους.

Σε εργασίες που ασχολούνται με την προσομοίωση πυρκαγιών σε κλειστούς χώρους, έχουν διεξαχθεί πολλές μελέτες όπως, των [7], [8], [9], με στόχο την ανάλυση της πυρκαγιάς. Παράλληλα, εξετάζονται διάφοροι παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η μεταφορά θερμότητας, η ταχύτητα του αέρα και άλλοι, προκειμένου να κατανοήσουμε πλήρως τις συνθήκες των πυρκαγιών.

Στο πλαίσιο αυτό, η μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τον Γεώργιο Χριστοδουλάκη αποκάλυψε την κρίσιμη σημασία της έγκαιρης και αποτελεσματικής χρήσης συστήματος πυρόσβεσης σε ένα μικρό διαμέρισμα. Μέσω της αξιολόγησης και σύγκρισης αποτελεσμάτων μεταξύ περιπτώσεων πυρκαγιάς με και χωρίς σύστημα πυρόσβεσης, η έρευνα αποδεικνύει την αποτελεσματικότητα αυτού του τεχνολογικού μέσου στην προστασία της ζωής και της περιουσίας [10].

Στην διπλωματική εργασία του Γεώργιου Ζωγράφου μελετήθηκε η φωτιά στο εσωτερικό ενός βαγονιού καθώς και ο τρόπος εκκένωσής του σταθμού. Δημιουργώντας τρία διαφορετικά σενάρια διαφορετικών μεγεθών φωτιάς όπου σαν αποτέλεσμα είχαν την αναλογική μείωση της ορατότητά και την αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα στο εσωτερικό του χώρου. Για την μελέτη της εκκένωσης χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Pathfinder με την χρήση δυο διαφορετικών προσεγγίσεων, την SFPE για τις 6 αναλύσεις και την Steering mode για τις υπόλοιπες 7. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αποδείχθηκε ότι η μέθοδος steering mode προσομοιάζει πιο ρεαλιστικά τις συνθήκες που επικρατούν κατά την διάρκεια μιας εκκένωσης. Ο λόγος όπου η μέθοδος SFPE δεν ανταποκρίνεται τόσο στις πραγματικές συνθήκες είναι γιατί έχει απόλυτη γνώση της γεωμετρίας του σταθμού και καθώς σε περιπτώσεις όπου υπήρχε ουρά από το πλήθος τα

άτομα αλληλοκαλύπτονται. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα η ύπαρξη φωτιάς καθώς και καπνού λαμβάνει σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της εκκένωσης. Στο σενάριο όπου η φωτιά είναι μεγαλύτερη η μεγάλη περιεκτικότητα αερίων στον χώρο φέρνει ως αποτέλεσμα την πιθανότητα μερικοί επιβάτες να νιώσουν αδιαθεσία ή ζαλάδα [11].

Αυτή η εργασία επικεντρώνεται στα χαρακτηριστικά εκκένωσης επιβατηγού κρουαζιερόπλοιου χρησιμοποιώντας το AnyLogic ως λογισμικό προσομοίωσης. Δημιουργείται ένα μοντέλο εκκένωσης κρουαζιέρας και προσομοιώνονται πειράματα για τέσσερα σενάρια: μεμονωμένα ημέρας, ομαδικά ημέρας, μεμονωμένα νύχτας, ομαδικά νύχτας. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο χρόνος εκκένωσης σε σενάρια ημέρας είναι μικρότερος από αυτόν σε σενάρια νύχτας. Η διάρκεια της κορυφής της άφιξης επιβατών σε ομαδικά σενάρια είναι μεγαλύτερη από εκείνη σε μεμονωμένα σενάρια. Σε ομαδικά σενάρια, η εκκένωση είναι λιγότερο αποτελεσματική για τους επιβάτες με γρήγορο βήδισμα, και το αντίστροφο ισχύει για τους επιβάτες με αργό βήδισμα. Επίσης, αναλύονται τα αποτελέσματα εκκένωσης βάσει των αρχικών συνθηκών των επιβατών. Παρατηρείται ότι επιβάτες με γρήγορο βήδισμα μπορεί να φτάσουν στην περιοχή επιβίβασης στο τελικό στάδιο, εάν οι καμπίνες τους είναι μακριά από τα κατάστρωμα επιβίβασης ή βρίσκονται κοντά στη μπροστινή και πίσω άκρη. Αντίστροφα, οι επιβάτες με αργό βήδισμα μπορεί να φτάσουν στους σταθμούς επιβίβασης στα πρώτα στάδια της εκκένωσης, αρκεί οι καμπίνες τους να βρίσκονται κοντά στο κατάστρωμα επιβίβασης ή σε κάποιο σημείο στο μέσο. Επομένως, οι θέσεις των καμπινών επιβατών μπορούν να προσαρμοστούν και να βελτιστοποιηθούν ανάλογα με τα χαρακτηριστικά κίνησης των επιβατών, προς όφελος της εκκένωσης [12].

Ο σκοπός αυτής της διατριβής ήταν να μελετηθεί η αλληλεπίδραση ανθρώπου-περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια της εκκένωσης από την οπτική γωνία των επιβατών. Τα αποτελέσματα της μελέτης παρέχουν εισαγωγή στην επίδραση της ανθρώπινης συμπεριφοράς στη διαδικασία εκκένωσης, προσφέροντας δεδομένα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη αναλύσεων εκκένωσης που να ανταποκρίνονται περισσότερο στην πραγματικότητα. Αντί να παρέχει

λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με την ανθρώπινη συμπεριφορά σε όλες τις πτυχές της, η διατριβή επικεντρώνεται σε συγκεκριμένους παράγοντες της ανθρώπινης συμπεριφοράς που είναι κρίσιμοι για την επιβίωση από ατυχήματα, προτείνοντας περαιτέρω ερωτήματα έρευνας. Τα υφιστάμενα μοντέλα εκκένωσης δεν λαμβάνουν υπόψη αυτούς τους παράγοντες. Οι μελέτες σχετικά με την ανθρώπινη συμπεριφορά κατά την εκκένωση επικεντρώνονται κυρίως στη βελτίωση και επικύρωση των υπάρχοντων μοντέλων εκκένωσης όσον αφορά τις φυσικές ικανότητες του ανθρώπου, εξαιρώντας κυρίως τα ψυχολογικά θέματα. Για τη συλλογή πιο αξιόπιστων δεδομένων σχετικά με τη συμπεριφορά των επιβατών σε αυτό το πλαίσιο, προτείνεται η χρήση της εικονικής πραγματικότητας ως εργαλείο έρευνας σε πολυδιάστατη προοπτική. Αυτό θα ωφελήσει τους μηχανικούς στον σχεδιασμό, τον ταξινομικό οργανισμό και τους ιδιοκτήτες πλοίων [13].

3 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ

3.1 Fire Dynamics Simulation

Το FDS είναι ένα πρόγραμμα το οποίο βασίζεται στην υπολογιστική ρευστοδυναμική (CFD), το οποίο δίνει την δυνατότητα ανάλυσης ροής ρευστού γύρω από μια πυρκαγιά. Οι παράμετροι εισάγονται με την μορφή κώδικα και χρησιμοποιεί την εξίσωση του Navier-Stokes για ροές χαμηλής ταχύτητας ενώ για την ανάλυση της τύρβης χρησιμοποιείται το μαθηματικό μοντέλο Large Eddy simulation (LES). Επίσης δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να χρησιμοποιήσει Direct numerical Simulation (DNS) δηλαδή την επίλυση της εξίσωσης Navier-Stokes χωρίς λαμβάνει υπόψιν του την τύρβη.

Για το μοντέλο καύσης, στις περισσότερες εφαρμογές, χρησιμοποιείται ένα μοντέλο μονοδιάστατης χημικής αντίδρασης που ελέγχει την ανάμειξη τριών διαφορετικών ομάδων, τα αέρια, την καύσιμη ύλη και τα προϊόντα της καύσης. Υπάρχει δυνατότητα αφαίρεσης της αέριας ομάδας αλλά η χρήση των άλλων δυο είναι υποχρεωτική. Μια ακόμα επιλογή είναι να υπάρχουν πολλαπλές αντιδράσεις ή αντιδράσεις που δεν εξαρτώνται από το βασικό μοντέλο καύσης.

Για την μεταφορά θερμότητας της ακτινοβολίας χρησιμοποιείται μοντέλο της εξίσωσης της για ένα γκρίζο αέριο. Το μοντέλο επιλύεται με παρόμοιο τρόπο με αυτόν των πεπερασμένων όγκων για μεταφορά με συναγωγή, έτσι το όνομα που του δόθηκε είναι Finite Volume Method (FVM). Το RadCal υπολογίζει τον συντελεστή απορρόφησης του μίγματος αερίου αερίου-αιθάλης.

Το προς μελέτη μοντέλο πρέπει να βρίσκεται σε τουλάχιστον ένα ορθογώνιο πλέγμα, καθώς το σύστημα καθιστά δυνατόν την ύπαρξη παραπάνω από ένα πλέγμα κατά την διάρκεια των υπολογισμών με την μόνη προϋπόθεση ο υπολογιστής να είναι εξοπλισμένος με τους αντίστοιχους πυρήνες. Με την χρήση του Message Passing Interface (MPI) μπορούν οι υπολογισμοί να λάβουν χώρα σε παραπάνω από ένα υπολογιστή.

Σε όλες τις στερεές επιφάνειες εκχωρούνται θερμικές οριακές συνθήκες, καθώς και πληροφορίες σχετικά με τη συμπεριφορά καύσης του υλικού. Η μεταφορά

θερμότητας και μάζας προς και από στερεές επιφάνειες συνήθως αντιμετωπίζεται με εμπειρικούς συσχετισμούς, αν και είναι δυνατός ο απευθείας υπολογισμός της μεταφοράς θερμότητας και μάζας κατά την εκτέλεση μιας Άμεσης Αριθμητικής Προσομοίωσης (DNS). [14]

3.2 Pyrosim

Σύμφωνα με τον Lukas Valasek υπάρχουν πολλά συστήματα προσομοίωσης ικανά να προσομοιώσουν και να οπτικοποιήσουν μια φωτιά σε διάφορα και πολύπλοκα περιβάλλοντα υπό συνθήκες που καθορίζονται από τον χρήστη όπως FDS (Fire Dynamics Simulator). Smartfire κ.α. [15].

Η Thunderhead Engineering consultants προκειμένου να διευκολύνει την είσοδο παραμέτρων για την εφαρμογή της προσομοίωσής δημιούργησε το PyroSim. Οι κύριες λειτουργίες καλύπτουν μια δια δραστική επιφάνεια εργασίας όπου ο χρήστης μπορεί να εισάγει πολύπλοκα μοντέλα μέσω σχεδιαστικών μοντέλων Cad όπως για παράδειγμα κάτοψης μοντέλων και να προβάλλονται σε δισδιάστατη ή τρισδιάστατη μορφή.

Το PyroSim είναι ένα προηγμένο λογισμικό προσομοίωσης πυρκαγιάς που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη, τον έλεγχο και την ανάλυση πυροτεχνικών συστημάτων. Βασίζεται στην τεχνολογία του Fire Dynamics Simulator (FDS) και παρέχει ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον για την δημιουργία λεπτομερών προσομοιώσεων πυρκαγιάς.

Κύρια Χαρακτηριστικά

- **Ευέλικτη Περιβάλλον Ανάπτυξης:**

Διευκολύνει τους μηχανικούς πυρόσβεσης στη δημιουργία λεπτομερών μοντέλων πυρκαγιάς.

- **Οπτικοποίηση Αποτελεσμάτων:**

Παρέχει γραφικές αναπαραστάσεις για την καλύτερη κατανόηση των δεδομένων.

- **Συμβατότητα με FDS:**

Ενσωματώνει την ισχύ του Fire Dynamics Simulator για υψηλή ακρίβεια.

- **Δυνατότητα Ανάλυσης:**

Επιτρέπει την ανάλυση διαφορετικών σεναρίων και συνθηκών πυρκαγιάς.

Πρακτική Εφαρμογή

Οι εφαρμογές του PyroSim καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα τομέων, συμπεριλαμβανομένων:

- Κτιρίων και Βιομηχανικών Συγκροτημάτων
- Συστημάτων Εκκένωσης
- Σταθμών Ενέργειας
- Μεταφορικών Μέσων
- Πλεονεκτήματα του PyroSim

Παρακάτω αναφέρονται τα βασικά πλεονεκτήματα του.

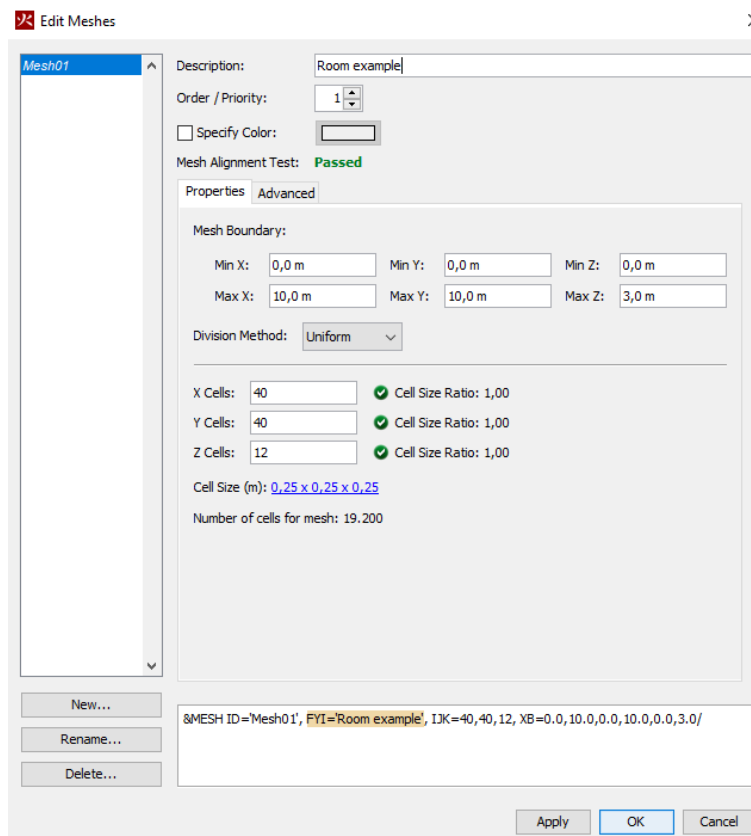
- **Εξοικονόμηση Χρόνου:** Ταχεία ανάπτυξη μοντέλων και προσομοιώσεων.
- **Ασφάλεια:** Αξιόπιστα αποτελέσματα για τον σχεδιασμό ασφαλών χώρων.
- **Εύκολη Χρήση:** Φιλικό προς τον χρήστη περιβάλλον.

Το PyroSim αποτελεί ισχυρό εργαλείο για τους μηχανικούς πυρόσβεσης, παρέχοντας τη δυνατότητα να δημιουργούν και να αξιολογούν προηγμένα μοντέλα πυρκαγιάς. Με την ευελιξία του και την ακρίβεια του FDS, αποτελεί ένα κορυφαίο εργαλείο για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού και της ασφάλειας σε ποικίλους τομείς.

3.2.1 Λειτουργίες

Πλέγμα-Mesh

Για την πραγματοποίηση υπολογισμών, ο χώρος μελέτης χωρίζεται σε τετράγωνα τρισδιάστατα κουτιά, των οποίων οι διαστάσεις προσαρμόζονται στις ανάγκες του χρήστη. Το σύνολο αυτών των κελιών αποτελεί ένα υπολογιστικό πλέγμα (computational meshes). Η επιλογή του μεγέθους του πλέγματος επηρεάζει την ακρίβεια της μελέτης, αυξάνοντας ωστόσο τον χρόνο προσομοίωσης. Οτιδήποτε δεν περιλαμβάνεται στα όρια του πλέγματος αποκόπτεται κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.



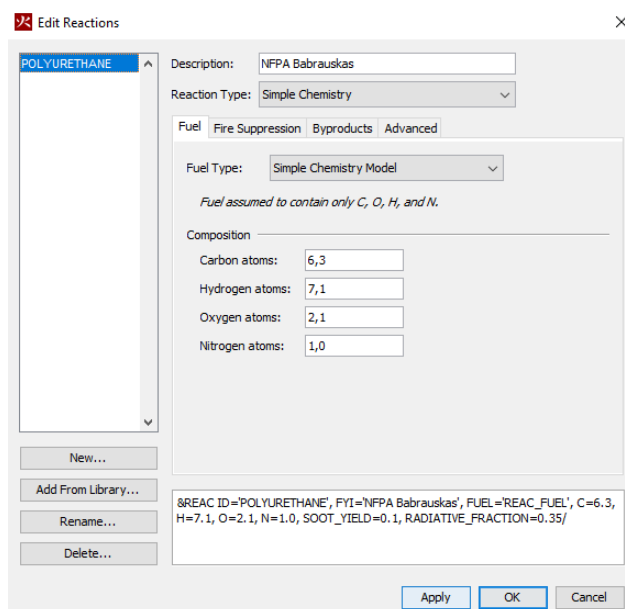
Εικόνα 3:1: Ορισμός διαστάσεων πλέγματος

Επιφάνειες-Surface

Το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει τις ιδιότητες που έχει κάθε αντικείμενο στον χώρο, είτε είναι στερεό είτε είναι αγωγός. Τα είδη που διαθέτει το πρόγραμμα είναι τα παρακάτω:

- Open
- Burner
- Inert
- Adiabatic
- Mirror
- HVAC
- Periodic

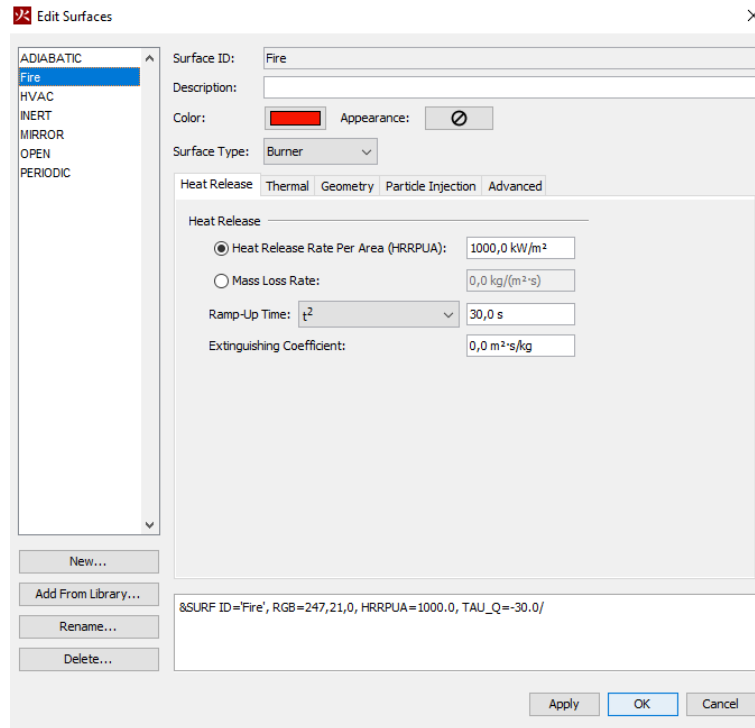
Στην παρούσα εργασία τα είδη που θα χρησιμοποιηθούν είναι το Open για τον καθορισμό ενός παθητικού ανοίγματος προ τα έξω για την χρήση ως ανοιχτού παράθυρου είτε πόρτας. Η χρήση του μπορεί να γίνει μόνο για αεραγωγούς για πάντα σε επαφή με το όριο του πλέγματος. Το Burner με το οποίο η επιφάνεια θεωρείται ως εστία φωτιάς και καθορίζεται είτε από το ρυθμό έλκυσης της θερμότητας είτε από την ρυθμό απώλειας του καυσίμου.



Εικόνα 3:2 : Reactions

Vents

Τα vents θεωρούνται δισδιάστατα σημεία πάνω στην επιφάνεια όπου στην παρούσα εργασία έχουν σαν ρόλο είτε την προσομοίωση της εστίας φωτιάς είτε για το άνοιγμα των πορτών.



Εικόνα 3:3 : Surfaces

Αντιδράσεις

Με αυτήν την λειτουργία ο χρήστης μπορεί να εισάγει τον τρόπο καύσης. Οι επιλογές που διαθέτει είναι είτε η καύση αέριας φάσης είτε η καύση στερεής φάσης.

Συσσκευές

Οι συσκευές χρησιμοποιούνται είτε για την καταμέτρηση διάφορων παραμέτρων κατά την διάρκεια της προσομοίωσης είτε για την μοντελοποίηση αισθητήρων όπως ανιχνευτές καπνού και ψεκαστήρες νερού. Το σύστημα διαθέτει μια γκάμα «συσκευών» όπου με την τοποθέτηση τους στον χώρο μπορούν να συλλέξουν δεδομένα για σημαντικά στοιχεία όπως την ορατότητα και το μονοξείδιο του άνθρακα.

Slices

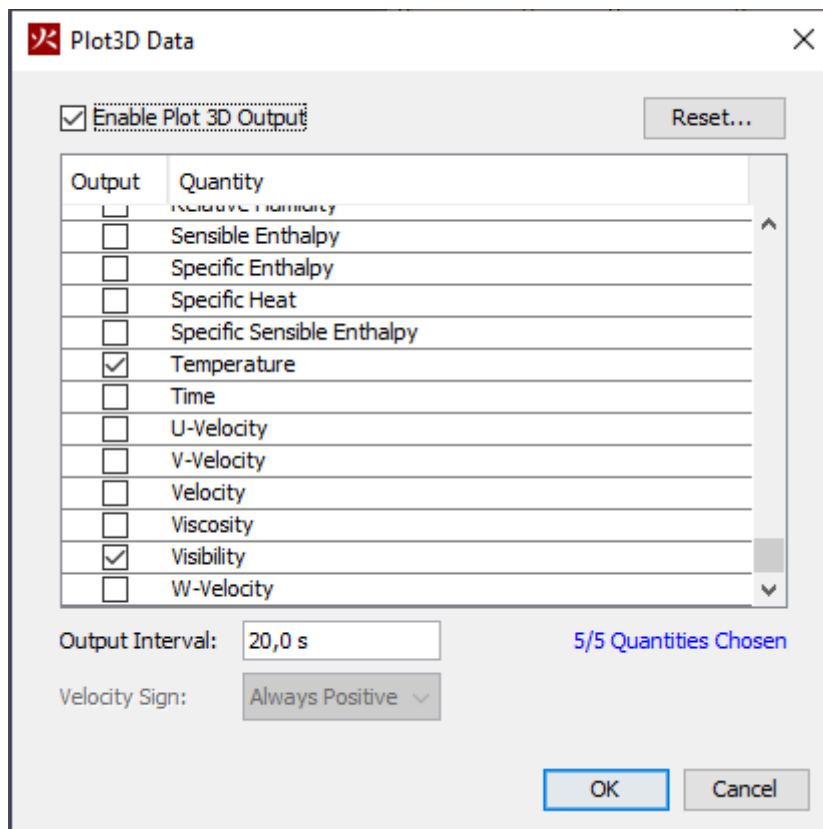
Στόχος των slices είναι η οπτικοποίηση δεδομένων στον χώρο όπως η πίεση, η ταχύτητα, η θερμοκρασία ενώ μπορούν να τοποθετηθούν παράλληλα προς έναν τους άξονες x,y,z μιας επιφάνειας.

Plot3D data

Τα αποτελέσματα του Plot 3D είναι σε μορφή αρχείου Q, το οποίο περιλαμβάνει τα αποτελέσματα για κάθε καθορισμένη τιμή, για το XYZ, τα οποία περιέχουν πληροφορίες σχετικά με τη δομή των meshes. Κάθε αρχείο Q αποτελείται από έως και πέντε μεγέθη. Τα δεδομένα του Plot3D χρησιμοποιούνται από το λογισμικό προσομοίωσης εκκένωσης Pathfinder για να ενσωματωθούν με τα αποτελέσματα που προήλθαν από το FDS.

Τα βήματα που ακολουθούνται για την εξαγωγή των δεδομένων Plot 3D από το Pyrosim είναι τα εξής:

- Στο μενού εξόδου, επιλέγετε η επιλογή Plot3D Data
- Ενεργοποιείτε η εξαγωγή Plot3D Data.
- Επιλέγετε τις ποσότητες που απαιτούνται για την εξαγωγή.
- Τέλος, επιλέγετε το βήμα για το οποίο θα πραγματοποιηθεί η εξαγωγή σύμφωνα με τις μετρήσεις.



Εικόνα 3:4 : Δεδομένα 3D plot

Για την χρήση του Pathfinder χρειάζεται να ενεργοποιηθούν οι παρακάτω επιλογές.

- Θερμοκρασία
- Ορατότητα
- Volume Fraction του Οξυγόνου
- Volume Fraction του Διοξειδίου του Άνθρακα
- Volume Fraction του Μονοξειδίου του Άνθρακα

Ο χρόνος που το σύστημα θα καταγράφει τις μετρήσεις έχει επιλεγεί να είναι 20 δευτερόλεπτα.

3.2.2 Βασικές εξισώσεις

Ο κώδικας Fire Dynamics Simulator (FDS) είναι ένα εξελιγμένο εργαλείο προσομοίωσης πυρκαγιών που βασίζεται στις εξισώσεις Navier-Stokes και χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση θερμικών ροών, την παραγωγή καπνού και τη μεταφορά μάζας και θερμότητας. Οι κύριες αρχές του αλγορίθμου που επιλύει τις εξισώσεις Navier-Stokes με χρήση της μεθόδου πεπερασμένων διαφορών είναι οι εξής:

Επίλυση Μεθόδου των Πεπερασμένων Διαφορών (ΜΠΔ): Ο FDS επιλύει τις εξισώσεις Navier-Stokes χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών δεύτερης τάξης για τις χωρικές και χρονικές παραγώγους. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μιας μεθόδου επίλυσης τύπου πρόβλεψης-διόρθωσης (predictor-corrector).

Επίλυση Τυρβώδους Ροής: Η τυρβώδης ροή λύνεται χρησιμοποιώντας το μοντέλο Large Eddy Simulation (LES), [16] το οποίο επιλύει τις μεγάλες δίνες και μοντελοποιεί τις μικρές δίνες μέσω του μοντέλου Smagorinsky.

Μέθοδος Πρόβλεψης-Διόρθωσης: Η μέθοδος πρόβλεψης-διόρθωσης χρησιμοποιείται για την επίλυση των εξισώσεων Navier-Stokes. Αρχικά, γίνεται μια υπόθεση για τα βαθμωτά μεγέθη του ροϊκού πεδίου, και στη συνέχεια, επιλύονται οι εξισώσεις Navier-Stokes. Οι προβλέψεις διορθώνονται στη συνέχεια χρησιμοποιώντας κατάλληλες σχέσεις μέχρι να επιτευχθεί η σύγκλιση των τιμών των ταχυτήτων.

Ο FDS είναι ένα ισχυρό εργαλείο για την προσομοίωση πυρκαγιών και την ανάλυσή τους, και η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών και η μέθοδος LES που χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τη μέθοδο πρόβλεψης-διόρθωσης εξασφαλίζουν ακρίβεια και αξιοπιστία στα αποτελέσματα των προσομοιώσεων.

Θεμελιώδης εξισώσεις

Ο κώδικας FDS λύνει τις θεμελιώδεις εξισώσεις διατήρησης της μάζας, της ορμής και της ενέργειας με χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων διαφορών δεύτερης τάξης. Αυτές οι εξισώσεις είναι οι εξής:

Οι θεμελιώδεις εξισώσεις του FDS κώδικα είναι:

α) Εξίσωση συνέχειας της μάζας:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u) = 0 \quad 3.1$$

β) Εξίσωση της Διατήρησης Ορμής

$$\frac{\partial (\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i + f_{a,i} + \dot{m}_b''' u_{b,i} \quad 3.2$$

Η παρατήρηση των Rehm και Baum [17] αναφέρει ότι για εφαρμογές χαμηλής ταχύτητας, όπως η πυρκαγιά, η πίεση p μπορεί να αναλυθεί σε μια πίεση υποβάθρου (background), $\bar{p}(z, t)$, καθώς και μια διαταραχή $\tilde{p}(x, y, z, t)$ όπου η πίεση υποβάθρου διατηρείται στην εξίσωση κατάστασης (ιδανικός νόμος για τα αέρια)

$$\bar{p} = \rho T R \sum_a \frac{Z_a}{W_a} = \frac{\rho R T}{\bar{W}} \quad 3.3$$

Ως z ορίζεται η χωρική συντεταγμένη προς την κατεύθυνση της βαρύτητας. έτσι, ώστε η διαστρωμάτωση της ατμόσφαιρας να συμπεριλαμβάνεται στην πίεση του υπόβαθρου. Η διαταραχή, της πίεσης \tilde{p} , οδηγεί στην κίνηση ρευστού.

γ) Εξίσωση διατήρησης της ενέργειας

Ο χαμηλός αριθμός Mach επιτρέπει την εσωτερική ενέργεια e και την ενθαλπία h να μπορούν να σχετίζονται με τους όρους θερμοδυναμικής του υπόβαθρου πίεσης $h = e + \bar{p}/\rho$.

Η εξίσωση διατήρησης της ενέργεια μπορεί να γραφτεί με όρους ενθαλπίας, h_s :

$$\frac{\partial(\rho h_s)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho h_s \mathbf{u}) = \frac{D\bar{p}}{Dt} + \dot{q}''' - \nabla \cdot \dot{q}'' \quad 3.4$$

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

Ο όρος \dot{q}'' είναι η ροή θερμότητας από ακτινοβολία και από συναγωγή και είναι ίση με

$$\vec{q}'' = -k\nabla T - \sum_a h_{s,a}\rho D_a \nabla Y_a + \dot{q}_r'' \quad 3.5$$

k : ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας

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

Η απόκλιση της ταχύτητας από την εξίσωση υπολογίζεται ως εξής:

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = \frac{1}{\rho h_s} \left[\frac{D}{Dt} (\bar{p} - \rho h_s) + \dot{q}''' + \dot{q}_r''' - \dot{q}_r'' - \nabla \cdot \dot{q}'' \right] \quad 3.6$$

Η επέκταση των παραγώγων υλικών στη δεξιά πλευρά της εξίσωσης παράγει ένα αρκετά περίπλοκο έκφραση για την απόκλιση που περιλαμβάνει τους όρους προέλευσης και διάχυσης από τη μάζα, το είδος και την ενέργεια εξισώσεις συντήρησης. Η σημασία του για τον συνολικό αλγόριθμο είναι ότι μπορεί να

υπολογιστεί χρησιμοποιώντας μόνο το θερμοδυναμικές μεταβλητές ρ , Z_α και ρ . Όπως θα φανεί παρακάτω, ο τρόπος προώθησης της ταχύτητας ροής στο ο χρόνος είναι η πρώτη εκτίμηση των θερμοδυναμικών μεταβλητών στο επόμενο βήμα, ο υπολογισμός της απόκλισης και, στη συνέχεια λύστε μια εξίσωση για την πίεση που θα εγγραφεί ότι η απόκλιση της τρέχουσας ταχύτητας είναι ίδια σε αυτό που υπολογίζεται μόνο από τις θερμοδυναμικές μεταβλητές

δ) Εξίσωση για κάθε αέριο συστατικό που μεταφέρεται στον αέρα:

$$\frac{\partial(\rho Z_\alpha)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho Z_\alpha u) = \nabla \cdot (\rho D_\alpha \nabla Z_\alpha) + \dot{m}_a''' \quad 3.7$$

3. Μοντέλο Τύρβης στον κώδικα FDS

Ο κώδικας FDS χρησιμοποιεί τις εξισώσεις ρευστομηχανικής Navier-Stokes όπου χρησιμοποιώντας την μέθοδο Προσομοίωση Μεγάλων Δινών (Large Eddy Simulation-LES) τις επιλύει. Στην παραπάνω μέθοδο οι μεγάλες κλίμακας δίνες υπολογίζονται άμεσα ενώ οι δίνες μικρότερης κλίμακας μοντελοποιούνται με χρήση υποπλεγμάτων μοντέλων. Τα τυρβώδη μοντέλα χρησιμοποιούν την μέθοδο LES για την προσομοίωση τους με το μοντέλο Smagorinsky. προσομοιάζονται με την μέθοδο.

Στην εξίσωση της Διατήρησης Ορμής

$$\frac{\partial(\overline{\rho u_i})}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\overline{\rho u_i u_j}) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} - \frac{\partial \bar{\tau}_{ij}}{\partial x_j} + \bar{\rho} g_i + \bar{f}_{d,i} + \overline{\dot{m}_b''' u_{b,i}} \quad 3.8$$

εφαρμόζετε το Favre filter, $\bar{\varphi} = \frac{\bar{\rho} \varphi}{\bar{\rho}}$, και η εξίσωση της ορμής αποκτά την μορφή:

$$\frac{\partial(\bar{\rho} \tilde{u}_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{\rho} \tilde{u}_i \tilde{u}_j) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} - \frac{\partial \bar{\tau}_{ij}}{\partial x_j} + \bar{\rho} g_i + \bar{f}_{d,i} + \overline{\dot{m}_b''' \tilde{u}_{b,i}} \quad 3.9$$

όπου ο όρος δύναμης $\bar{f}_{d,i}$ αντιπροσωπεύει τις εξωτερικές δυνάμεις όπως π.χ. η οπισθέλκουσα.

Ο όρος τ_{ij} αναφέρεται στον τανυστή τάσεων ο οποίος ισούται με:

$$\tau_{ij} = \mu \left(2\bar{S}_{ij} - \frac{2}{3}\delta_{ij}(\nabla \bar{u}) \right) \quad 3.10$$

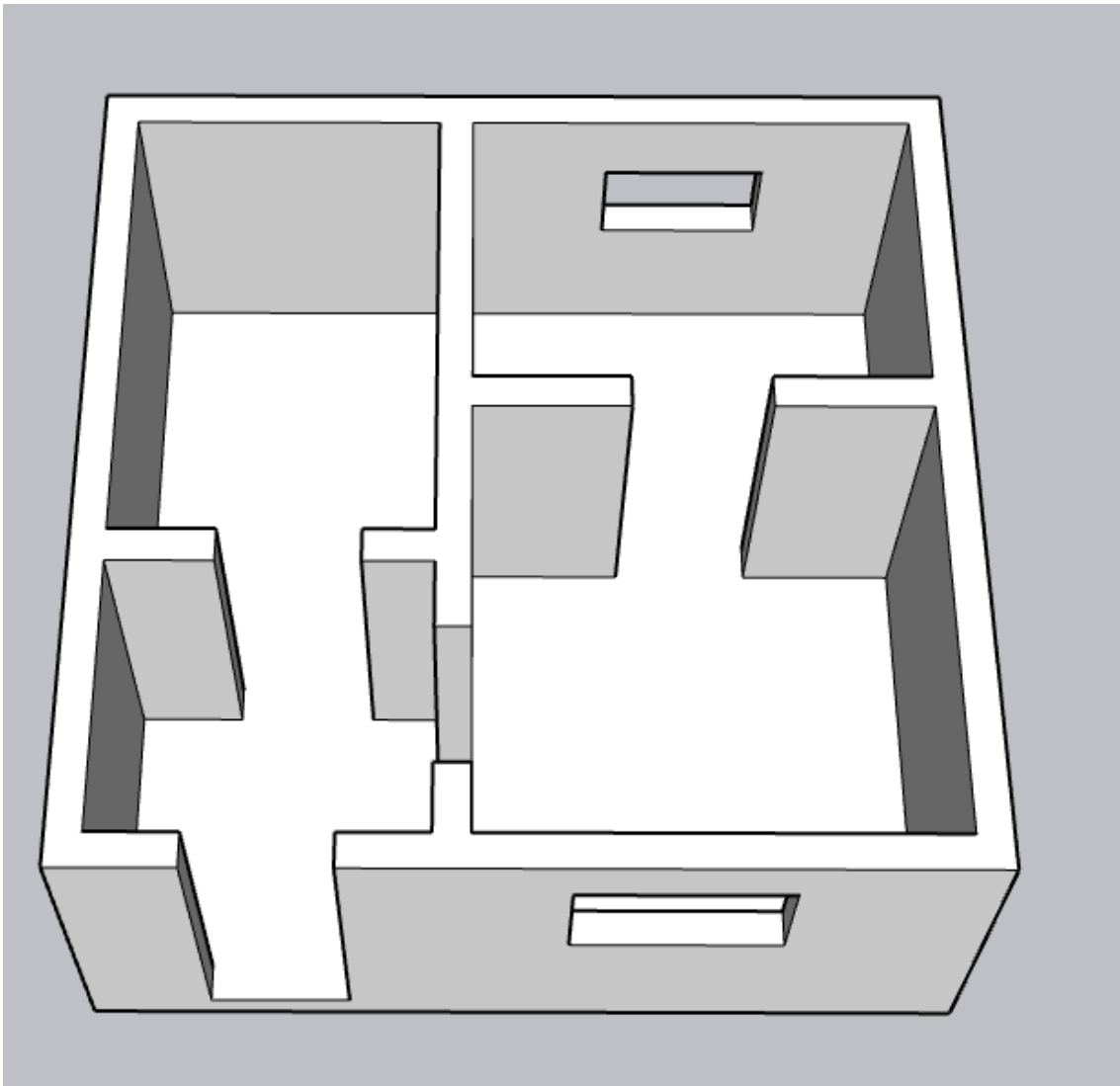
όπου δ_{ij} είναι η σταθερά Kroneker , $\delta_{ij} = \begin{cases} 1, i = j \\ 0, i \neq j \end{cases}$,

$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$ είναι ο τανυστής παραμόρφωσης και μ είναι το δυναμικό ιξώδες του ρευστού.

3.2.2.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ PYROSIM

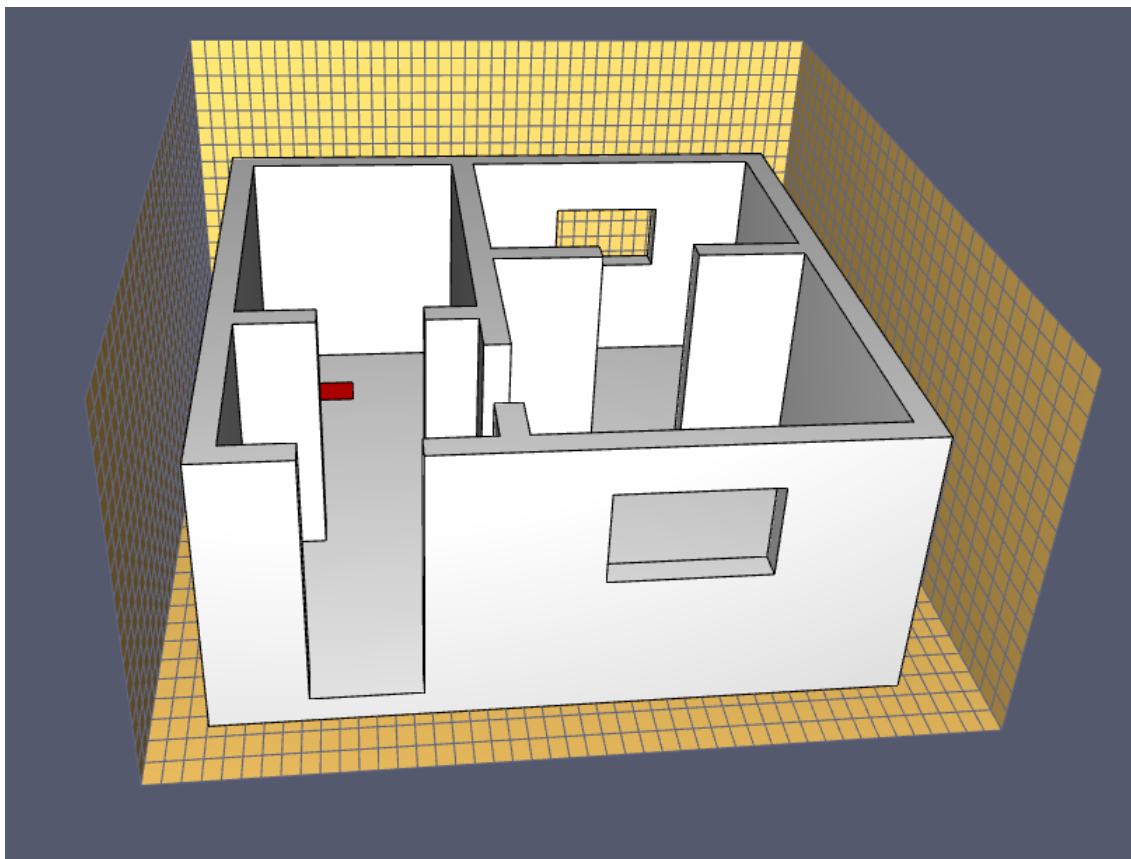
Οι δυνατότητες του προγράμματος ποικίλουν αφού ο χρήστης έχει την δυνατότητα να προσομοίωση από απλές γεωμετρίες όπως μια φωτιά σε ένα δωμάτιο ως και πολύ πιο περίπλοκες όπως η ύπαρξη αντικειμένων ή ροής αέρα. Η εξοικείωση του χρήστη με το πρόγραμμα είναι πολύ σημαντική.

Στην παρακάτω εικόνα έχει σχεδιαστεί ένα χώρος 25 τετραγωνικών μέτρων και ύψος 2 μέτρων.



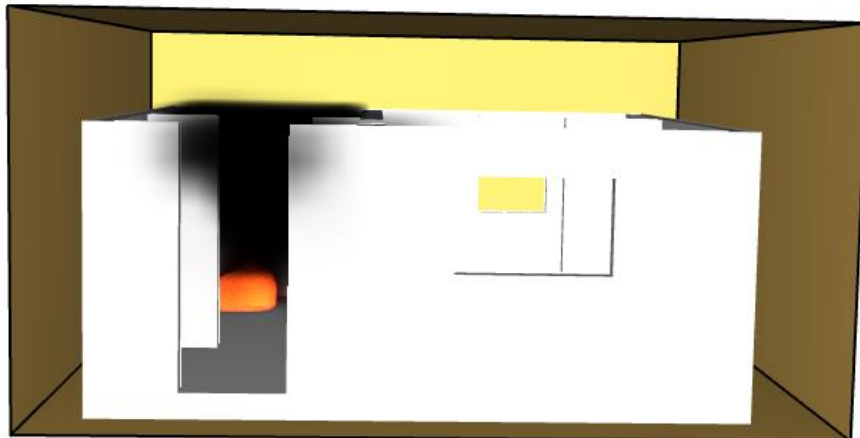
Εικόνα 3:5 : Όψη δωματιών

Το παραπάνω σχέδιο εισάχθηκε στο πρόγραμμα Pyrosim έτσι ώστε να προσομοιωθεί μια εστία φωτιά και να παρατηρηθεί η πορεία του καπνού.



Εικόνα 3:6 : Εισαγωγή σχεδίου στο PyroSim

Κατά την εισαγωγή του σχεδίου στο PyroSim δημιουργήθηκε ένα πλέγμα το οποίο στο εσωτερικό του εμπεριέχει τον προς μελέτη χώρο. Έπειτα προστέθηκε ένα χώρο, διαστάσεων 1 επί 1, ως σημείο έναρξης της φωτιάς.



Εικόνα 3:7 : Προσομοίωση πυρκαγιάς

Κατά την έναρξη της προσομοίωσης παρατηρείτε η έναρξη της πυρκαγιάς καθώς και ο καπνός που καταλαμβάνει το εσωτερικό του προς μελέτης χώρου. Το Pyrosim δίνει την δυνατότητα υπολογισμού του διοξειδίου του άνθρακα καθώς και άλλων στοιχείων που εκκλήθηκαν στον χώρο.

3.2.3 Pathfinder

Για την προσομοίωση της εκκένωσης και της ανθρώπινης κινητικότητας σε ένα χώρο θα χρησιμοποιηθεί το υπολογιστικό πρόγραμμα Pathfinder [18]. Το Pathfinder δημιουργήθηκε επίσης από την εταιρία Thunderhead Engineering consultants και ως στόχο μέσα από την προσομοίωση να προβλέπει της ανθρώπινες συμπεριφορές και να καταγράψει τον χρόνο αντίδρασης των ανθρώπων σε διάφορες συνθήκες.

Αποτελείται από 3 μέρη για την μοντελοποίηση του χώρου και την εύρεση αποτελεσμάτων. Πρώτον, υπάρχει το γραφικό περιβάλλον χρήσης (GUI) στο οποίο ο χρήστης δημιουργεί και ενεργοποιεί τις προσομοιώσεις. Δεύτερον,

υπάρχει το πρόγραμμα όπου δείχνει τρισδιάστατα αποτελέσματα καθώς και τις κινήσεις όπου τα άτομα έχουν κάνει κατά την διάρκεια του προς μελέτη χρόνου. Τρίτον, παράγει διαγράμματα ως προς τον χρόνο ανάλογα τις ανάγκες του χρήστη.

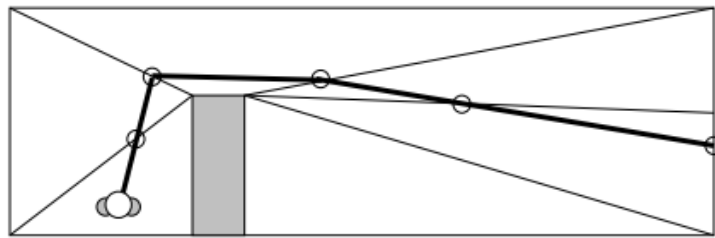
Κάθε ένα από τα παραπάνω εργαλεία έχει ως στόχο την ρεαλιστική αναπαράσταση ενός χώρου καθώς και τον ανθρώπων που την απαρτίζουν, οι περιορισμοί που υπάρχουν στην πραγματική ζωή αποτελούν μέρος και του προγράμματος όπως για παράδειγμα τα δωμάτια ανήκουν στον άξονα χ-ψ , οι πόρτες μπορούν να τα ενώσουν ενώ οι σκάλες ανήκουν στον άξονα ζ και ενώνουν δυο διαφορετικούς ορόφους.

Με την προσθήκη της κάτοψης στον σύστημα δίνεται η επιλογή στον χρήστη να προσδιορίσει τις διαδρομές που μπορούν να ακολουθήσουν τα στοιχεία, των αριθμό των στοιχείων και την ταχύτητα τους ,τον αριθμό των εξόδων καθώς και άλλων μεταβλητών. Μια λειτουργία όπου κάνει το σύστημα να είναι πιο ευχάριστο στην χρήση είναι η απεικόνιση των στοιχείων με ανθρώπινη μορφή κατά την διάρκεια της προσομοίωσης.

3.2.3.1 Λειτουργία του προγράμματος

Κάθε καθορισμένο στοιχείο επιλέγει μια διαδρομή που θα ακολουθήσει προκειμένου να φτάσει στην έξοδο. Η διαδρομή αυτή υπολογίζεται μέσω ενός αλγορίθμου του συστήματος, ο οποίος χρησιμοποιεί σημεία γύρω από τον κατάλληλο πλοηγό που, με τις ανάλογες αλλαγές κατεύθυνσης, θα οδηγήσουν το στοιχείο στο σημείο εξόδου.

Για την προσδιορισμό του τελικού μονοπατιού, το πρόγραμμα χρησιμοποιεί ένα είδος τεχνικής που ευθυγραμμίζει τα σημεία, λαμβάνοντας υπόψη το πάχος του ατόμου, προκειμένου να διασφαλίσει την ασφάλειά του από εμπόδια



Εικόνα 3:8 : Δημιουργία μονοπατιού

Μετά τη δημιουργία της διαδρομής, το στοιχείο πρέπει να καθορίσει τα βέλτιστα σημεία που θα ακολουθήσει. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- **Αναγνώριση Δύο Σημείων:** Αρχικά, το στοιχείο αναγνωρίζει δύο σημεία, πρώτα το πιο απομακρυσμένο σημείο και καθορίζει την καμπύλη που θα ακολουθήσει για να το προσεγγίσει, και στη συνέχεια το επόμενο σημείο που θα πρέπει να προσεγγίσει με καμπύλη.
- **Έλεγχος Κάλυψης:** Το στοιχείο ελέγχει εάν το επόμενο σημείο πρέπει να γίνει το τρέχον, αναγνωρίζοντας εάν έχει καλυφθεί η γραμμή μεταξύ του τρέχοντος σημείου και του επόμενου. Αν αυτό είναι αληθές, τότε επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία.
- **Εκτίμηση Ανάγκης Ανακατεύθυνσης:** Το στοιχείο εκτιμά την ανάγκη για ανακατεύθυνση σε περίπτωση που δεν υπάρχει ευθεία γραμμή προς το επόμενο σημείο ή αν η τρέχουσα επιλεγμένη διαδρομή δεν είναι βέλτιστη για την εκκένωση του χώρου.
- **Δημιουργία Καμπύλης Αναζήτησης:** Δημιουργείται μια καμπύλη αναζήτησης για να καθοριστεί η επιθυμητή κίνηση. Αυτή η καμπύλη μπορεί να είναι ένα ευθύγραμμο τμήμα γραμμής ή μια καμπύλη B-spline, ανάλογα με τη λειτουργία.
- **Κίνηση του Επιβάτη:** Ο επιβάτης προσπαθεί να κινηθεί κατά μήκος της εφαιπόμενης της τρέχουσας καμπύλης αναζήτησης. Αυτή η κίνηση επηρεάζεται από τη λειτουργία κίνησης και συζητείται στις επόμενες ενότητες.

Στην συγκεκριμένη μελέτη θα προσεγγισθεί το πρόβλημα με την χρήση της λειτουργίας οδήγησης (Steering mode) καθώς σύμφωνα με προηγούμενες μελέτες έχει παρατηρηθεί ότι είναι και η πιο ρεαλιστική.

3.2.3.2 Λειτουργία οδήγησης.

Το Pathfinder χρησιμοποιεί έναν συνδυασμό μεθόδων για την προσέγγιση της διαδρομής και την αντιμετώπιση συγκρούσεων προκειμένου να ελέγχει τον τρόπο με τον οποίο ο επιβάτης συνεχίζει να ακολουθεί την καμπύλη αναζήτησης του. Οι μηχανισμοί αυτοί στοχεύουν στο να επιτρέπουν στο στοιχείο να αποκλίνει ελαφρώς από την καθορισμένη διαδρομή, αναπροσανατολίζοντας τον προσανατολισμό του, ενώ παράλληλα διασφαλίζουν ότι διατηρεί τη γενική κατεύθυνσή του προς τον προορισμό του.

Οι μηχανισμοί αυτοί μπορεί να περιλαμβάνουν:

- **Αποφυγή Συγκρούσεων:** Ο Pathfinder ανιχνεύει πιθανές συγκρούσεις με άλλα στοιχεία στο περιβάλλον και προσπαθεί να τις αποφύγει, είτε με την αλλαγή της κατεύθυνσης είτε με τη μικρή απόκλιση από την αρχική διαδρομή.
- **Αντίσταση Πλήθους:** Εάν υπάρχει πυκνή συγκέντρωση ανθρώπων που κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση, ο Pathfinder μπορεί να εφαρμόσει μέτρα για τη μείωση του συνωστισμού και την αποφυγή της εμπλοκής.
- **Δυναμική Προσαρμογή Κατεύθυνσης:** Ανάλογα με τις συνθήκες του περιβάλλοντος και τις αλλαγές στο μονοπάτι, ο Pathfinder μπορεί να προσαρμόσει δυναμικά την κατεύθυνση του στοιχείου για να εξασφαλίσει μια ομαλή και ασφαλή πορεία.

Με αυτούς τους μηχανισμούς, το Pathfinder μπορεί να ελέγχει τον τρόπο κίνησης των επιβατών με βάση την καμπύλη αναζήτησης, εξασφαλίζοντας την ασφαλή εκκένωση του χώρου.

Μέγιστη ταχύτητα και επιτάχυνση

Η μέγιστη ταχύτητα κατά την διάρκεια όπου το στοιχείο διασχίζει την επιλεγμένη διαδρομή και εξαρτάται από το έδαφος στο οποίο κινείται καθώς και την διαθέσιμη μέγιστη ταχύτητα που έχει οριστεί.

Η μέγιστη επιτάχυνση καθορίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$a_{max} = \frac{V_{max}}{t_{max}} \quad 3.11$$

V_{max} : μέγιστη ταχύτητα

t_{max} : χρόνος επιτάχυνσης όπου έχει καθοριστεί από το προφίλ του στοιχείου.

Διεύθυνση

Η μέθοδος Inverted Steering που χρησιμοποιεί το Pathfinder είναι μια προσέγγιση αξιολόγησης διακριτών κατευθύνσεων κίνησης για κάθε στοιχείο, με στόχο την επιλογή της κατεύθυνσης που ελαχιστοποιεί τον απαιτούμενο χρόνο για την ολοκλήρωση της διαδρομής. Συγκεκριμένα, υπάρχουν τέσσερις διαφορετικές συμπεριφορές κατεύθυνσης που αξιολογούνται από 0 έως 1, και το σύνολο αυτών αποτελεί το συνολικό κόστος της μετακίνησης. Ας τις αναλύσουμε πιο αναλυτικά:

- **Αναζήτηση (Seeking):** Το στοιχείο ακολουθεί την τρέχουσα διαδρομή χωρίς απόκλιση. Αυτή η συμπεριφορά έχει κόστος 0, καθώς δεν υπάρχει αποκλίνουσα κίνηση.
- **Διαχωρισμός (Separation):** Το στοιχείο διατηρεί απόσταση από τα υπόλοιπα στοιχεία, διατηρώντας ένα είδος "ζώνης άνεσης" γύρω του.

Αυτή η συμπεριφορά έχει κόστος μεταξύ 0 και 1, ανάλογα με το πόσο κοντά παραμένει το στοιχείο στα υπόλοιπα.

- **Αποφυγή Άλλων Στοιχείων (Avoidance):** Το σύστημα τοποθετεί έναν κύκλο μπροστά από κάθε στοιχείο για να αποφύγει συγκρούσεις με άλλα στοιχεία. Το κόστος αυξάνεται κάθε φορά που ένα στοιχείο συναντάται με άλλο.
- **Αποφυγή Τοίχων (Wall Avoidance):** Το σύστημα δημιουργεί έναν κινούμενο κύκλο μπροστά από κάθε στοιχείο για να αποφύγει τυχόν συγκρούσεις με τοίχους. Αυτό το κόστος είναι παρόμοιο με την αποφυγή άλλων στοιχείων, με το σύστημα να προσαρμόζει δυναμικά την κατεύθυνση για να αποφευχθούν οι συγκρούσεις.

Διαχείριση σύγκρουσης

Στην περίπτωση σύγκρουσης, το Pathfinder εφαρμόζει ένα σύστημα προτεραιότητας, όπου το στοιχείο με τον χαμηλότερο συντελεστή προτεραιότητας απομακρύνεται από το στοιχείο με τον υψηλότερο, ακόμα και αν αυτό σημαίνει αλλαγή κατεύθυνσης. Εάν στοιχεία με ίδιο συντελεστή συναντηθούν, τότε ασκείται πίεση μεταξύ τους. Σε περίπτωση όπου τα στοιχεία βρεθούν σε ακίνητη κατάσταση επειδή δεν υπάρχει περιθώριο μετακίνησης τότε το κάθε ένα χωριστά λαμβάνει τις κατάλληλες κινήσεις.

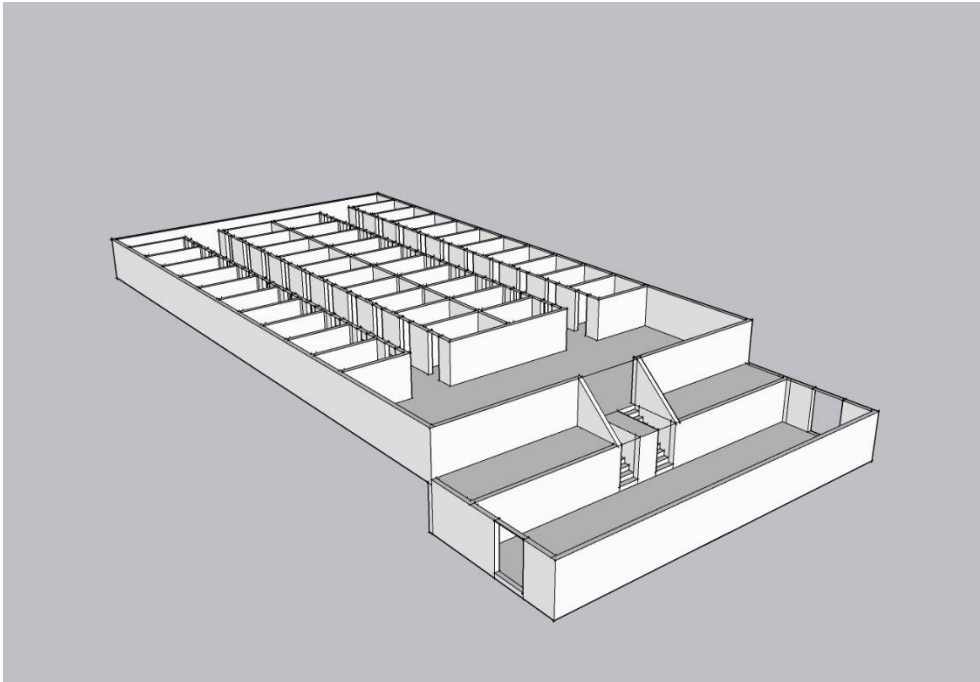
4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

4.1 Γενικά Στοιχεία

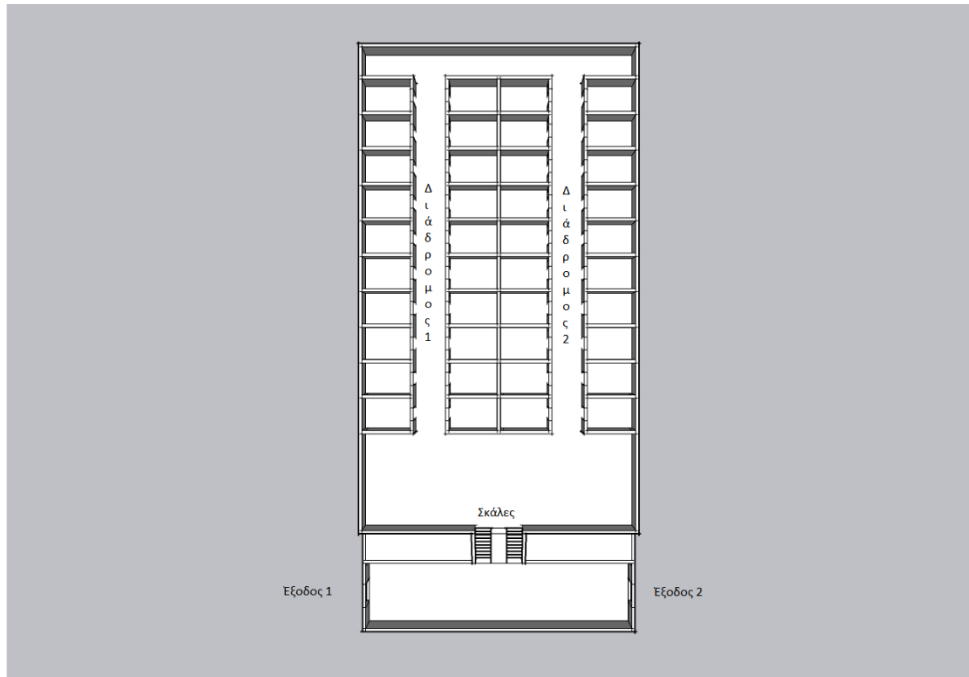
Για την πραγματοποίηση της παρακάτω μελέτης θα θεωρηθεί ότι ένα επιβατηγό πλοίο, σταθμευμένο και δεμένο σε προβλήτα λιμανιού, με 40 καμπίνες και με μέγιστη απόσταση μεταξύ καμπίνας και των σκαλών 50 μέτρα. Στο εσωτερικό μιας από τις καμπίνες ξεκινάει πυρκαγιά η οποία αναπτύσσεται πάνω στο στρώμα του κρεβατιού και έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση καπνού κάνοντας την εκκένωση του χώρου απαραίτητη. Υπάρχουν δυο έξοδοι κινδύνου όπου για την προσέγγιση τους πρέπει οι επιβάτες να χρησιμοποιήσουν τις σκάλες.

4.2 Γεωμετρία

Η υπό μελέτη διάταξη χωρίζεται σε 2 επίπεδα. Στο πρώτο επίπεδο υπάρχουν δύο έξοδοι κινδύνου από το εσωτερικό του πλοίου ενώ στο δεύτερο επίπεδο υπάρχουν 40 καμπίνες των 6 τετραγωνικών με δύο διαδρόμους όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.

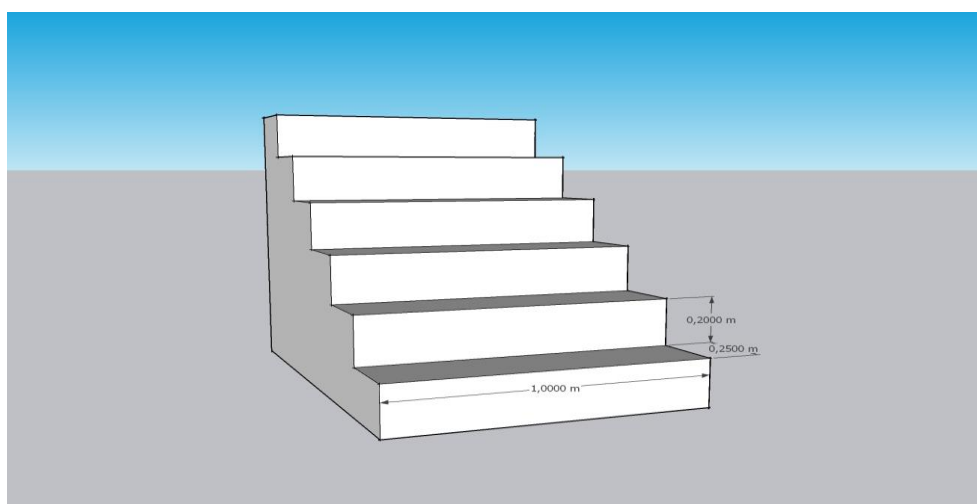


Εικόνα 4:1 : Πλάγια όψη καμπινών

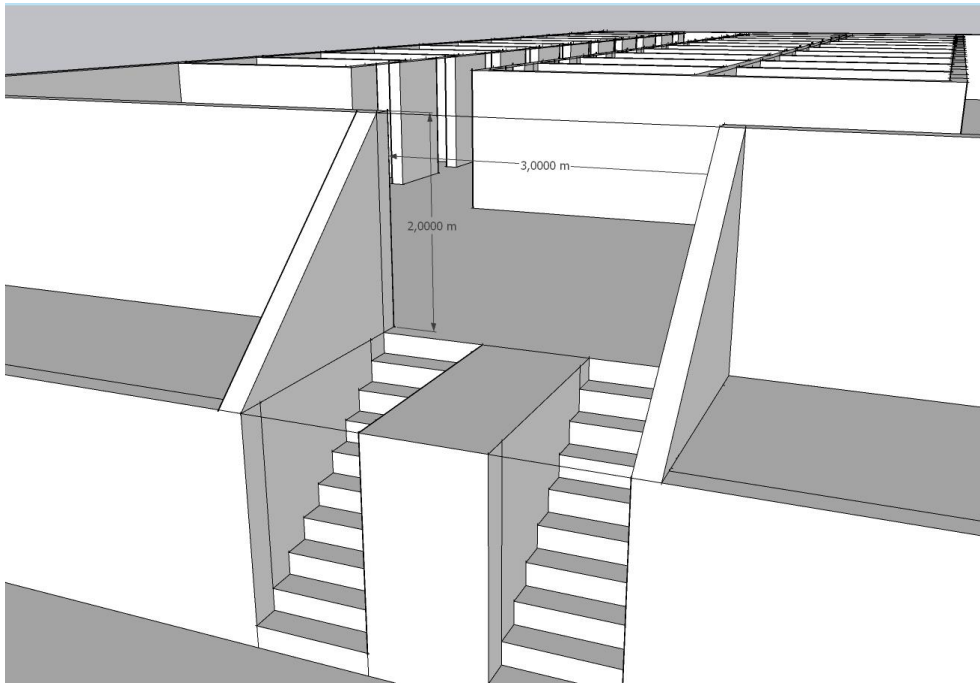


Εικόνα 4:2 : Κάτοψη καρπινών

Τα δυο επίπεδα ενώνονται με δύο σκάλες, κάθε σκαλοπάτι έχει μήκος 1 m πλάτος 0,25 m και ύψος 0,2 m. Η πόρτα για την είσοδο και την έξοδο από τις σκάλες έχουν ύψος 2 m και πλάτος 3 m.

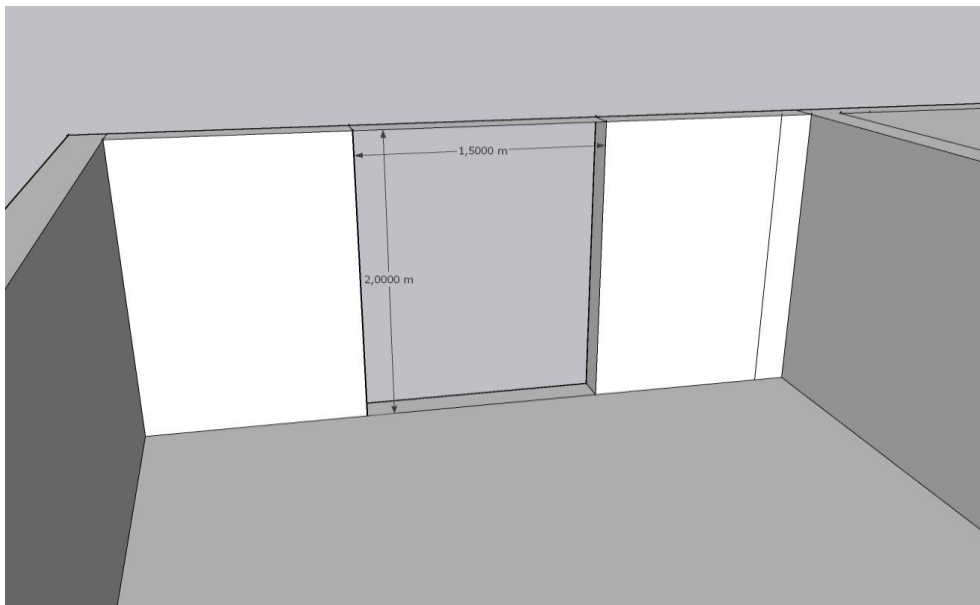


Εικόνα 4:3 : Διαστάσεις σκαλοπατιών



Εικόνα 4:4 : Διαστάσεις εξόδου από τον χώρο των καμπινών

Οι εξοδοί κινδύνου βρίσκονται και στις δύο αντίθετες κατευθύνσεις με πλάτος 1,5 μέτρο και ύψους 2 μέτρα.



Εικόνα 4:5 : Διαστάσεις εξόδων κινδύνου

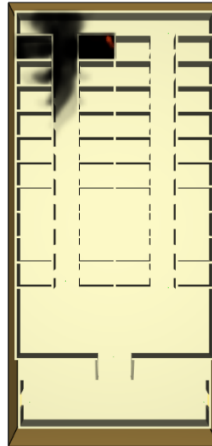
4.3 Σενάρια Πυρκαγιάς

Τα δύο σενάρια που περιγράφονται διαφέρουν στην τοποθεσία της πυρκαγιάς και στο αν επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα ενός διαδρόμου. Στο πρώτο σενάριο, η εστία της πυρκαγιάς βρίσκεται στο τελευταίο δωμάτιο δεξιά του διαδρόμου 1. Αυτό σημαίνει ότι και οι δύο διάδρομοι είναι διαθέσιμοι κατά τη διάρκεια της εκκένωσης. Στο δεύτερο σενάριο, η εστία της πυρκαγιάς βρίσκεται στο πρώτο δωμάτιο δεξιά του διαδρόμου 1. Ως αποτέλεσμα, ο ανωτέρω διάδρομος δεν είναι διαθέσιμος λόγω καπνού. Και στις δύο περιπτώσεις, οι πυρκαγιά εκδηλώνονται στο στρώμα ενός κρεβατιού με πλάτος 0,6 μέτρα και μήκος 1,8 μέτρα. Η θερμότητα που απελευθερώνει η φωτιά ανά τετραγωνικό είναι ίση με 600 kW/m^2

Ένα από τα κύρια κριτήρια για την ασφάλεια των επιβατών μετά από ένα πυρκαγιά είναι το ποσό των τοξικών προϊόντων καύσης που αναπνέει το άτομο κατά τη διάρκεια του συμβάντος και της διαδικασίας εκκένωσης. Αυτό υπολογίζεται χρησιμοποιώντας το δείκτη FED (Fractional Effective Doses). Ο δείκτης FED εισήχθη πρώτη φορά από τον Purser [19], και έκτοτε έχει υιοθετηθεί από διάφορους οργανισμούς, όπως η NFPA [20]. Η βασική ιδέα είναι ότι ένα άτομο που αναπνέει μια συγκεκριμένη δόση τοξικών προϊόντων για ένα χρονικό διάστημα θεωρείται ανίδευο ή νεκρό. Για να αξιολογηθεί πόσο απειλείται η ζωή ενός ατόμου, το FED είναι το κύριο κριτήριο που λαμβάνεται υπόψη [21], παράλληλα με τη θερμική έκθεση και τη χαμηλή ορατότητα λόγω του καπνού (και, συνεπώς, της δυσκολίας πρόσβασης στις έκτακτες εξόδους). [22]

- **1ο Σενάριο**

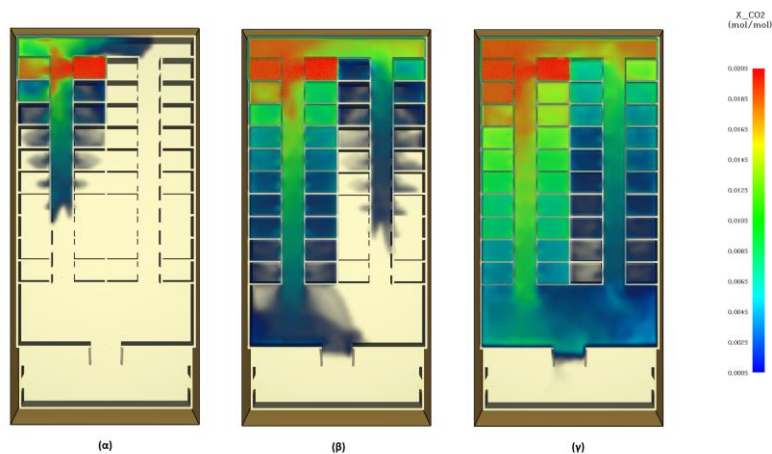
Όπως φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 4:6, η πυρκαγιά βρίσκεται στο πιο απομακρυσμένο δωμάτιο από το σημείο της σκάλας.



θ.3

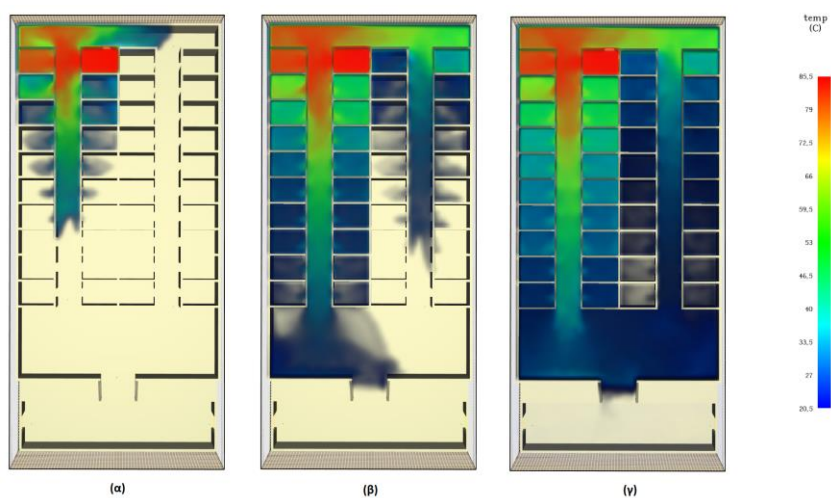
Εικόνα 4:6: Σημείο πυρκαγιάς

Σύμφωνα με την Εικόνα 4:7, στο σημείο όπου έχει τοποθετηθεί η φωτιά η περιεκτικότητα του διοξειδίου του άνθρακα είναι μεγαλύτερη και μειώνεται όσο απομακρύνεσαι από αυτή. Με το πέρασμα του χρόνου και καθώς ο καπνός απλώνεται στον χώρο η περιεκτικότητα CO₂ στον χώρο αυξάνεται.



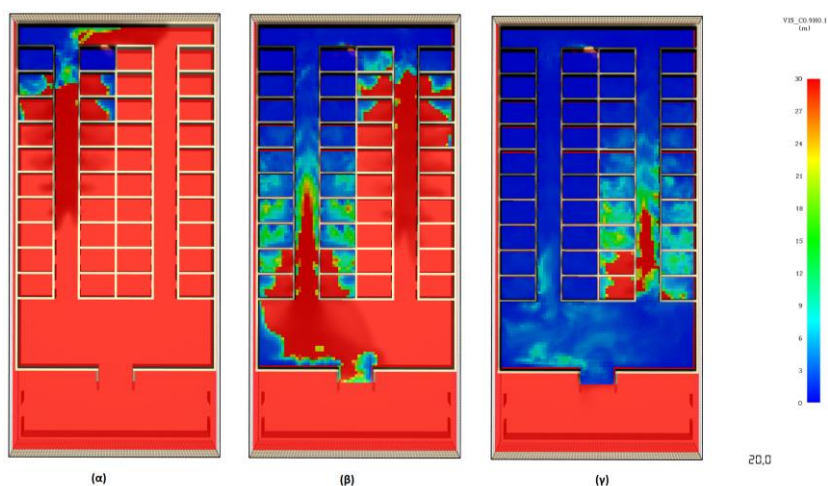
Εικόνα 4:7: Διοξείδιο του άνθρακα ((α) 20 sec / (β) 60 sec / (γ) 120 sec)

Η μέγιστη θερμοκρασία στον χώρο είναι στο σημείο που έχει οριστεί η πυρκαγιά καθώς και στους κοντινούς χώρους και είναι 85,5 °C.



Εικόνα 4:8: Κατανομή θερμοκρασίας ((α) 20 sec / (β) 60 sec / (γ) 120 sec)

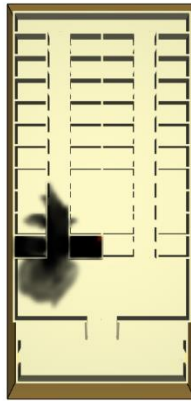
Στην παρακάτω εικόνα 4:9 , παρουσιάζεται η ορατότητα που υπάρχει στον χώρο σε ύψος 1,25 μετρών, δηλαδή στο ύψος του ανθρώπινου ματιού ενώ είναι σκυμμένος. Όπως παρατηρείται ο ορατότητα μηδενίζεται στις περιοχές που έχει εξαπλωθεί ο καπνός κάνοντας τον προσανατολισμό δυσκολότερο.



Εικόνα 4:9: Μεταβολή ορατότητας στο 1,25 μέτρα ((α) 20 sec / (β) 60 sec / (γ) 120 sec)

▪ **2^ο Σενάριο**

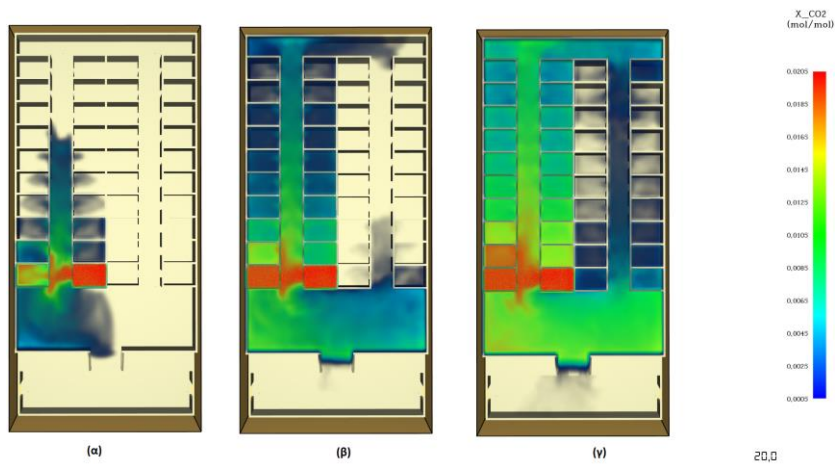
Στην εικόνα 4:10, παρουσιάζεται το σημείο έναρξης της πυρκαγιάς καθώς και η εξάπλωση του καπνού, κάνει την χρήση του πρώτου διαδρόμου δυσχερέστερη.



10,0

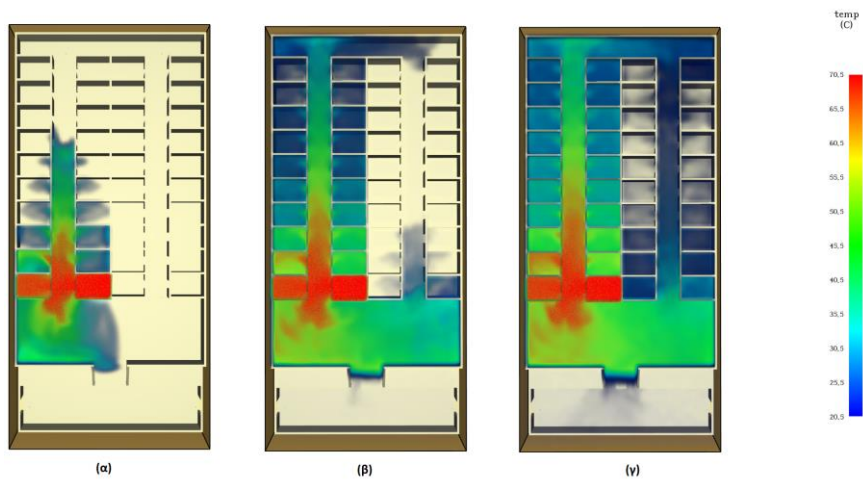
Εικόνα 4:10: Δεύτερο σενάριο πυρκαγιάς

Αντίστοιχα με το πρώτο σενάριο, μαζί με την εξάπλωση του καπνού αυξάνεται και περιεκτικότητά διοξειδίου του άνθρακα στον χώρο.



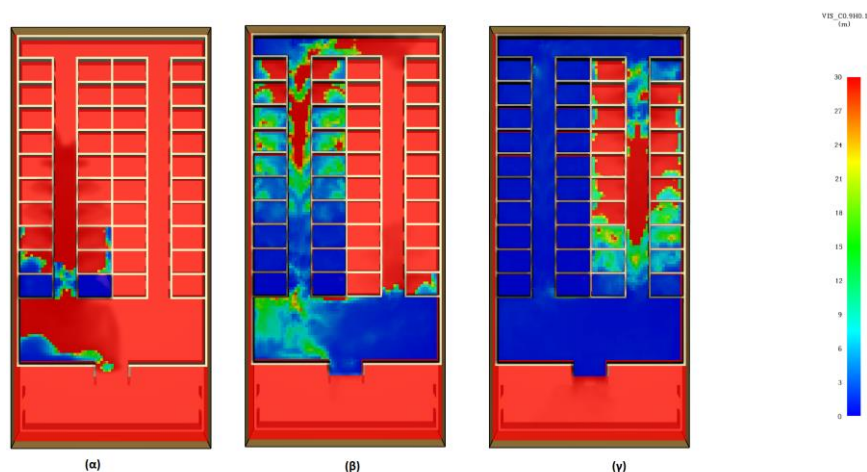
Εικόνα 4:11 : Μεταβολή διοξειδίου του άνθρακα ((α) 20 sec / (β) 60 sec / (γ) 120 sec)

Η θερμοκρασία μεταβάλετε καθώς αναπτύσσετε ο καπνός από το δωμάτιο της πυρκαγιάς.



Εικόνα 4:12: Μεταβολή θερμοκρασίας ((α) 20 sec / (β) 60 sec / (γ) 120 sec)

Σχετικά με την ορατότητα, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 4:13, με την ανάπτυξη του καπνού εκτός από τον διάδρομο 1, ο καπνός μειώνει την ορατότητα και στην πόρτα των σκαλιών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της δυσκολίας της εκκένωσης του χώρου.



Εικόνα 4:13 : Μεταβολή ορατότητας στα 1,25 μέτρα ((α) 20 sec / (β) 60 sec / (γ) 120 sec)

4.4 Εκκένωση

Ο Κώδικας FSS είναι ένας από τους πιο σημαντικούς κανονισμούς που αφορούν τα συστήματα ασφαλείας από πυρκαγιά που υπάρχουν στα πλοία. Οι κανονισμοί του, βασισμένοι στη Σύμβαση SOLAS του 1974, είναι υποχρεωτικοί για την πυρασφάλεια και απαιτούνται από το Κεφάλαιο 2 της Διεθνούς Σύμβασης. Αποτελείται από 15 κεφάλαια, εκ των οποίων μόνο το κεφάλαιο 13 αφορά άμεσα τη διαδικασία εκκένωσης.

Το Κεφάλαιο 13, με τίτλο 'Οργάνωση των μέσων απόδρασης', περιλαμβάνει έναν πολύ σημαντικό κανονισμό για ένα αποτελεσματικό σχέδιο εκκένωσης. Αυτός ο κανονισμός περιέχει λεπτομερείς οδηγίες για τη διάσταση των μέσων απόδρασης (σκάλες, διάδρομοι και πόρτες). Αυτά πρέπει να καθοριστούν ανάλογα με τον αριθμό των ατόμων που θα τα χρησιμοποιήσουν. Οι υπολογισμοί των ελάχιστων απαιτήσεων γίνονται σύμφωνα με δύο περιπτώσεις κατανομής ατόμων που συμμετέχουν στη διαδικασία εκκένωσης, όπως περιγράφονται λεπτομερώς στο MSC.1/Circ.1533.

Χρόνος Εκκένωσης

Ο χρόνος εκκένωσης χωρίζεται σε 4 παραμέτρους.

Χρόνος ανταπόκρισης (R) : ο χρόνος αντίδρασης σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης. Ο χρόνος ξεκινάει με την πρωταρχική αναγνώριση της έκτακτης ανάγκης και λήγει όταν ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται ότι πρέπει να λάβει δράση και ξεκινάει να κινείται προς της εξόδους κινδύνου.

Specific flow (p/m/s) αντιπροσωπεύει τον αριθμό των ατόμων που εκκενώνουν ένα σημείο στη διαδρομή εκκένωσης ανά μονάδα χρόνου και ανά μονάδα καθαρού πλάτους W_c της εμπλεκόμενης διαδρομής. Οι τιμές του FS παρέχονται στους πίνακες (αρχικό FS ως συνάρτηση της αρχικής πυκνότητας) και 1.2 (μέγιστη τιμή) παρακάτω. Η τιμή δεν μπορεί να ξεπερνάει το 1,33 p/m/s

	Πυκνότητα D (ρ/m ²)	Ειδική ροή Fs (ρ/m/s)	Ταχύτητα S (m/s)
Διάδρομος	0	0	1,2
	0,5	0,65	1,2
	1,9	1,3	0,67
	3,2	0,65	0,2
	3,5	0,32	0,1

Πίνακας 4-1: Τιμές της ειδικής ροής και ταχύτητας βάση της πυκνότητας

Είδος εγκατάστασης	Μέγιστη ειδική ροή Fs (ρ/m/s)
Κάθοδος στις σκάλες	1,1
Άνοδος στις σκάλες	0,88
Διάδρομος	1,3
Πόρτες	1,3

Πίνακας 4-2 : Value of maximum specific flow

Ο υπολογισμό της ροής των ανθρώπων (ρ/s) μπορεί να προβλέψει τον αριθμό των ανθρώπων που μπορούν να περάσουν μια συγκεκριμένη πορεία. Για τον υπολογισμό χρησιμοποιείται ο τύπος

$$Fc = Fs * Wc \quad 4.1$$

Fs: Ειδική ροή (ρ/m/s)

Wc: Καθαρό πλάτος (m)

	Ειδική ροή FS (p/m/s)	Ταχύτητα S (m/s)
Κάθοδος στις σκάλες	0	1
	0,54	1
	1,1	0,55
Άνοδος στις σκάλες	0	0,8
	0,43	0,8
	0,88	0,44
Διάδρομος	0	1,2
	0,65	1,2
	1,3	0,67

Πίνακας 4-3 : Τιμές ειδικής ροής και ταχύτητας

Παρακάτω παρουσιάζει ο πίνακας υπολογισμού της ταχύτητας ενός επιβάτη σε επίπεδη επιφάνεια βάση του φύλου και της ηλικίας του.

Φύλο	Ηλικία	Ταχύτητα (m/s)
Γυναίκες	2 -8,3	0,06 * ηλικία + 0,5
	8,3 - 13,3	0,04 * ηλικία + 0,67
	13,3 - 22,25	0,02 * ηλικία + 0,94
	22,25 - 37,5	0,018* ηλικία + 1,78
	37,5 - 70	0,01 * ηλικία + 1,45
Άνδρες	,2-5	0,16 * ηλικία + 0,3
	5 - 12,5	0,06 * ηλικία + 0,8
	12,5 - 18,8	0,008 * ηλικία + 1,45
	18,8 - 39,2	0,01 * ηλικία + 1,78
	39,2 - 70	0,009 * ηλικία + 1,75

Πίνακας 4-4 : Τύποι υπολογισμού ταχύτητας βάση ηλικιακών ομάδων

Για την στατιστική ομοιόμορφοι μοντελοποιούνται οι παραπάνω παράμετροι σε μια κοινή ανάλογα το φύλο και την ηλικιακή ομάδα.

Φύλο	Ηλικία	Ταχύτητα σε επίπεδη επιφάνεια	
		Ελάχιστη (m/s)	Μέγιστη (m/s)
Γυναίκες	0 - 30	0,93	1,55
	30 - 50	0,71	1,19
	50 - 70	0,56	0,94
Άνδρες	0 - 30	1,11	1,85
	30 - 50	0,97	1,62
	50 - 70	0,87	1,4

Πίνακας 4-5 : Ταχύτητα επιβατών βάση ηλικιακής ομάδας

Όταν οι επιβάτες συναντούν σκάλες η ταχύτητα τους προσαρμόζεται βάση των παρακάτω πινάκων.

Φύλο	Ηλικία	Ταχύτητα στις σκάλες (Κάθοδος)	
		Ελάχιστη (m/s)	Μέγιστη (m/s)
Γυναίκες	0 - 30	0,56	0,94
	30 - 50	0,49	0,81
	50 - 70	0,45	0,75
Άνδρες	0 - 30	0,76	1,26
	30 - 50	0,64	1,07
	50 - 70	0,5	0,84

Πίνακας 4-6 : Ταχύτητα επιβατών στις σκάλες (Κάθοδος)

Φύλο	Ηλικία	Ταχύτητα στις σκάλες (Άνοδος)	
		Ελάχιστη (m/s)	Μέγιστη (m/s)
Γυναίκες	0 - 30	0,47	0,79
	30 - 50	0,44	0,74
	50 - 70	0,37	0,61
Άνδρες	0 - 30	0,5	0,84
	30 - 50	0,47	0,79
	50 - 70	0,38	0,64

Πίνακας 4-7 : Ταχύτητα επιβατών στις σκάλες (Άνοδος)

4.4.1 Μελέτη της εκκένωσης

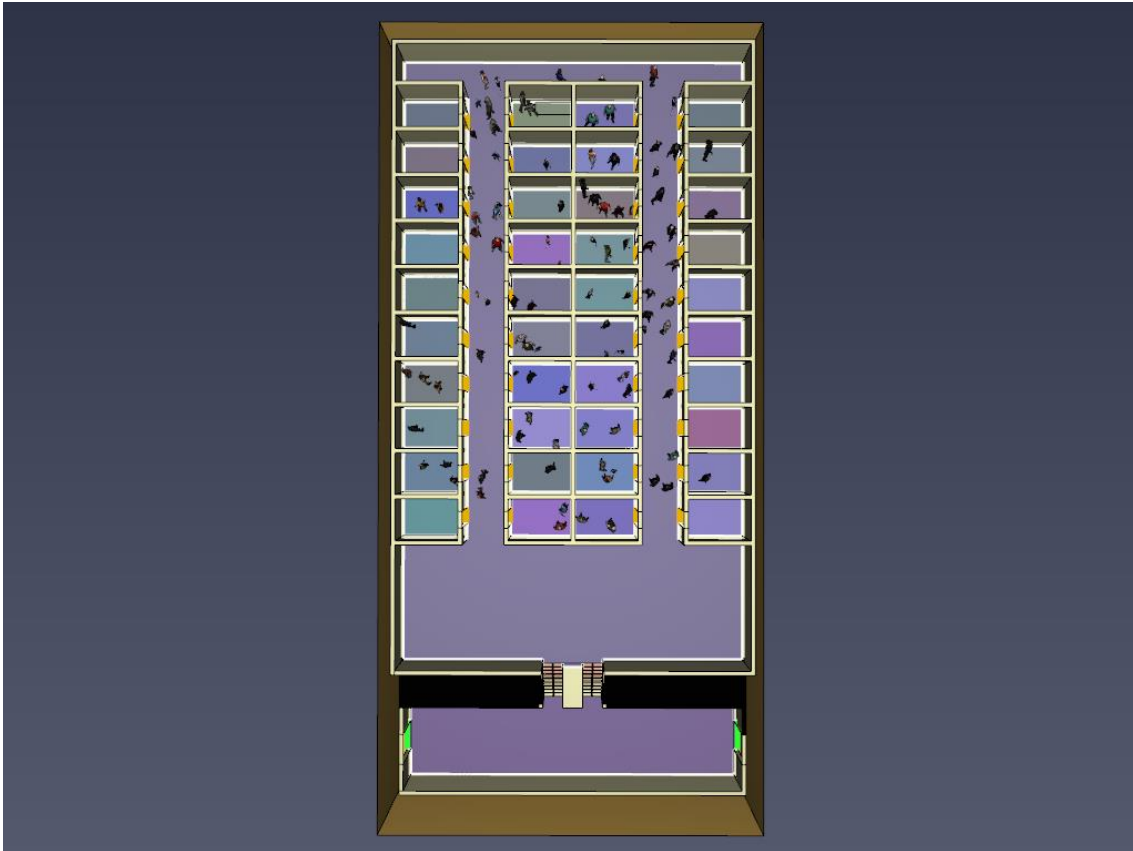
Για την πραγματοποίηση της μελέτης εκκένωσης του χώρου, πρέπει να εισαχθεί το παραπάνω σχέδιο Pygosim καθώς και τα αναγκαία δεδομένα που έχουν καταγραφεί. Έπειτα, πρέπει να οριστούν τα επίπεδα του πρώτου και του δεύτερου ορόφου, οι διαφυγόντες πόρτες όπου οι επιβάτες θεωρούνται ασφαλείς μετά το πέρας από αυτές, οι πόρτες κάθε δωματίου καμπίνας, ώστε να χρησιμοποιείται ο κανόνας προτεραιότητας όταν οι επιβάτες διέρχονται από αυτές, και οι σκάλες, λαμβάνοντας υπόψη την μεταβολή της ταχύτητάς τους καθώς και την ασφαλή απόσταση μεταξύ των ανθρώπων.

4.4.2 Εκκένωση Χωρίς την παρουσία καπνού

Στον παρακάτω χώρο έχουν τοποθετηθεί 100 άτομα διαφορετικών ηλικιών και φύλου βάση του παρακάτω πίνακα.

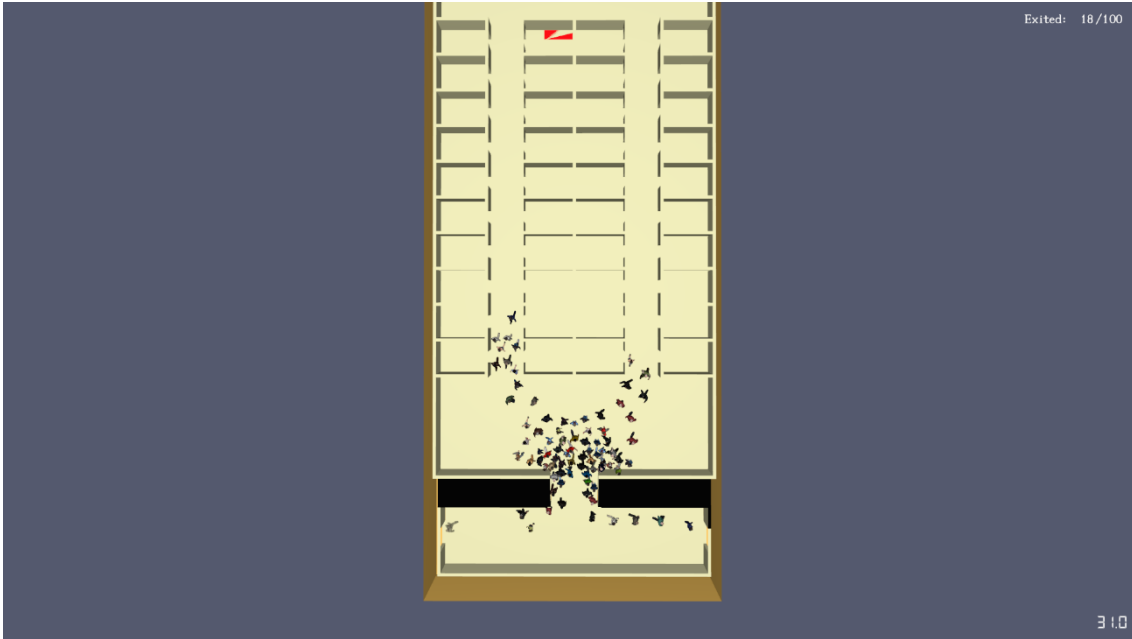
Φύλο	Ηλικία	Αριθμός
Γυναίκες	0 - 30	20
	30 - 50	10
	Άνω των 50	10
Άνδρες	0 - 30	20
	30 - 50	20
	Άνω των 50	20

Πίνακας 4-8 : Ηλικιακή και φυλετική κατανομή επιβατών



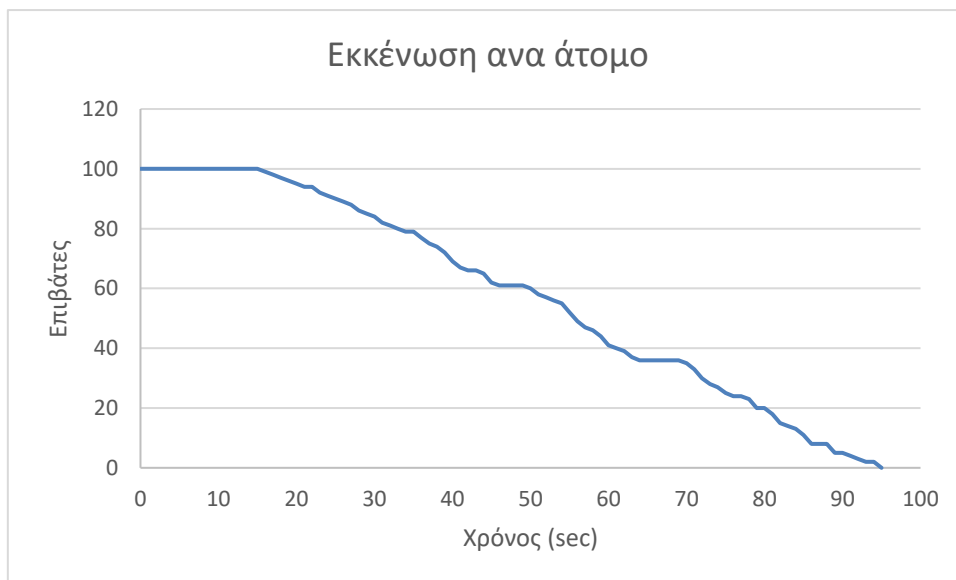
Εικόνα 4:14 : 100 επιβάτες στους χώρους των καμπινών

Κατά την έναρξη προς εκκένωση, οι επιβάτες καλούνται να κατευθυνθούν προς τα σκαλοπάτια με στόχο να απομακρυνθούν από τον εσωτερικό χώρο μέσω των δύο εξόδων κινδύνου. Ωστόσο, παρατηρείται συμφόρηση στα σκαλοπάτια λόγω του μεγάλου αριθμού επιβατών που προσπαθούν να τα κατεβούν, η οποία οδηγεί σε καθυστέρηση.



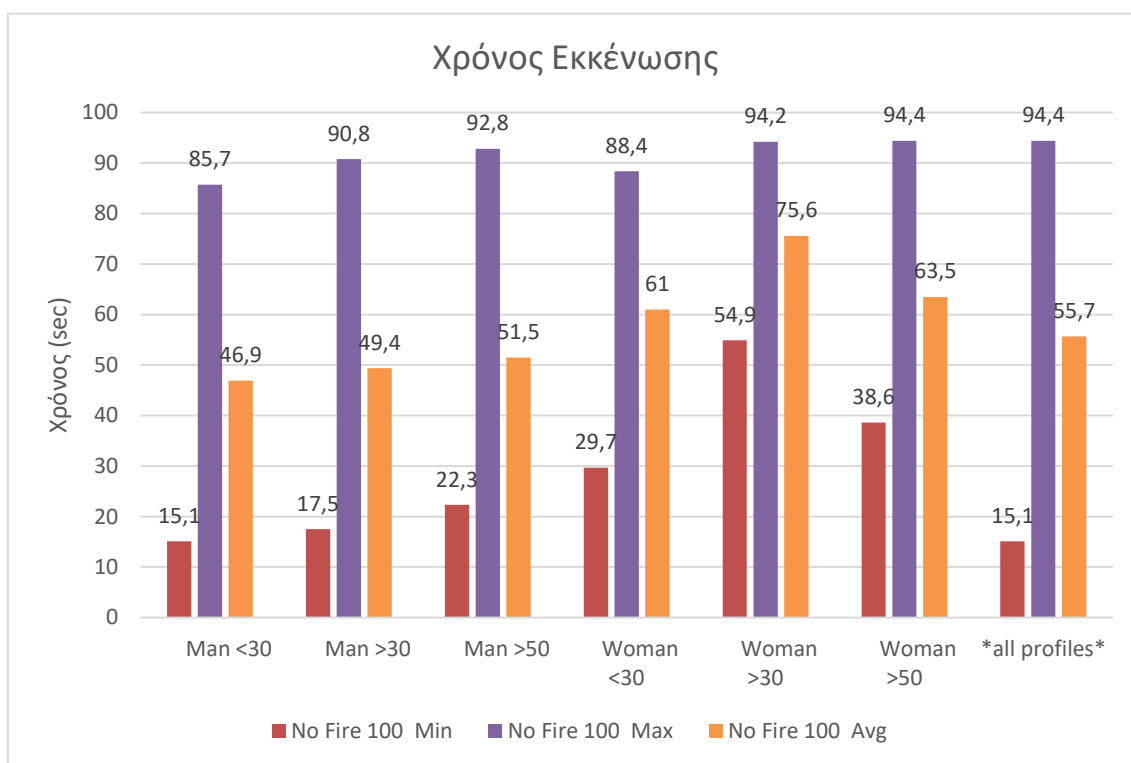
Εικόνα 4:15 : Bottle neck στις σκάλες

Το πρώτο άτομο που απομακρύνθηκε από τον χρόνο χρειάστηκε 15,1 sec ενώ ο συνολικός χρόνος που χρειάστηκε έτσι ώστε όλα τα άτομα να απομακρυνθούν από τον χώρο είναι 94,5 sec όπως φαίνεται στον παρακάτω Γράφημα 4-1.



Γράφημα 4-1 : Χρόνος εκκένωσης χωρίς παρουσία φωτιάς

Το παρατηρούμενο φαινόμενο όπου ο ελάχιστος χρόνος εκκένωσης επιτυγχάνεται από έναν άνδρα κάτω των 30 ετών, ενώ ο μέγιστος χρόνος ανήκει σε μία γυναίκα άνω των 50 ετών, αποδεικνύει ότι ο χρόνος αυξάνεται με την ηλικία. Παρόλα αυτά, η κατανομή των επιβατών στον χώρο παίζει επίσης σημαντικό ρόλο στην ταχύτητα εκκένωσης του χώρου. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην ευκολότερη κυκλοφορία των νεότερων επιβατών σε σχέση με τους πιο ηλικιωμένους, καθώς και σε άλλους παράγοντες όπως η φυσική κατάσταση και η ευαισθησία στην κίνηση.



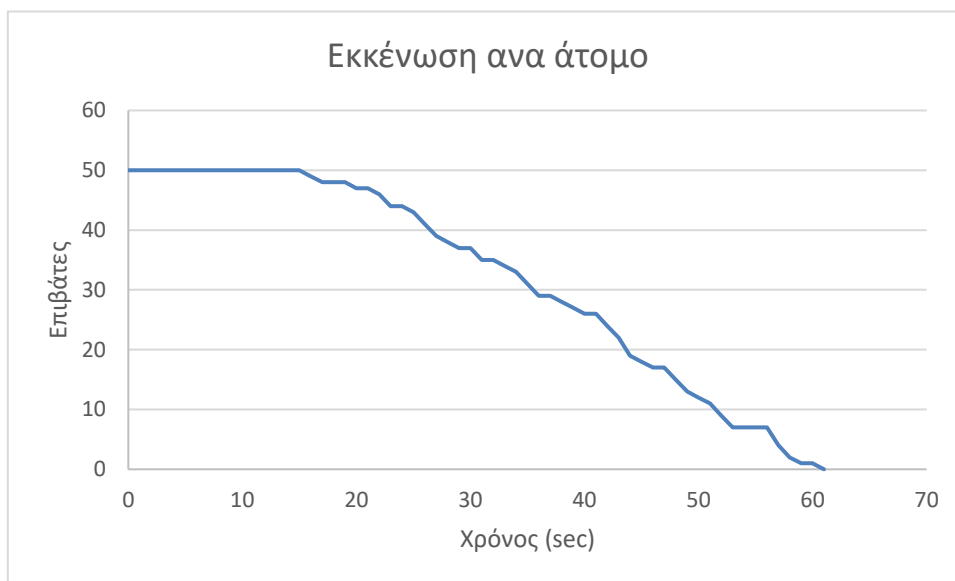
Γράφημα 4-2 : Σύγκριση ελάχιστου, μέγιστου και μέσου όρου χρόνου εκκένωσης

Η προσομοίωση επαναλαμβάνεται με τον αριθμό των επιβατών να είναι ο μισός, για κάθε περίπτωση κατηγοριών, σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

Φύλο	Ηλικία	Αριθμός
Γυναίκες	0 - 30	10
	30 - 50	5
	Άνω των 50	5
Άνδρες	0 - 30	10
	30 - 50	10
	Άνω των 50	10

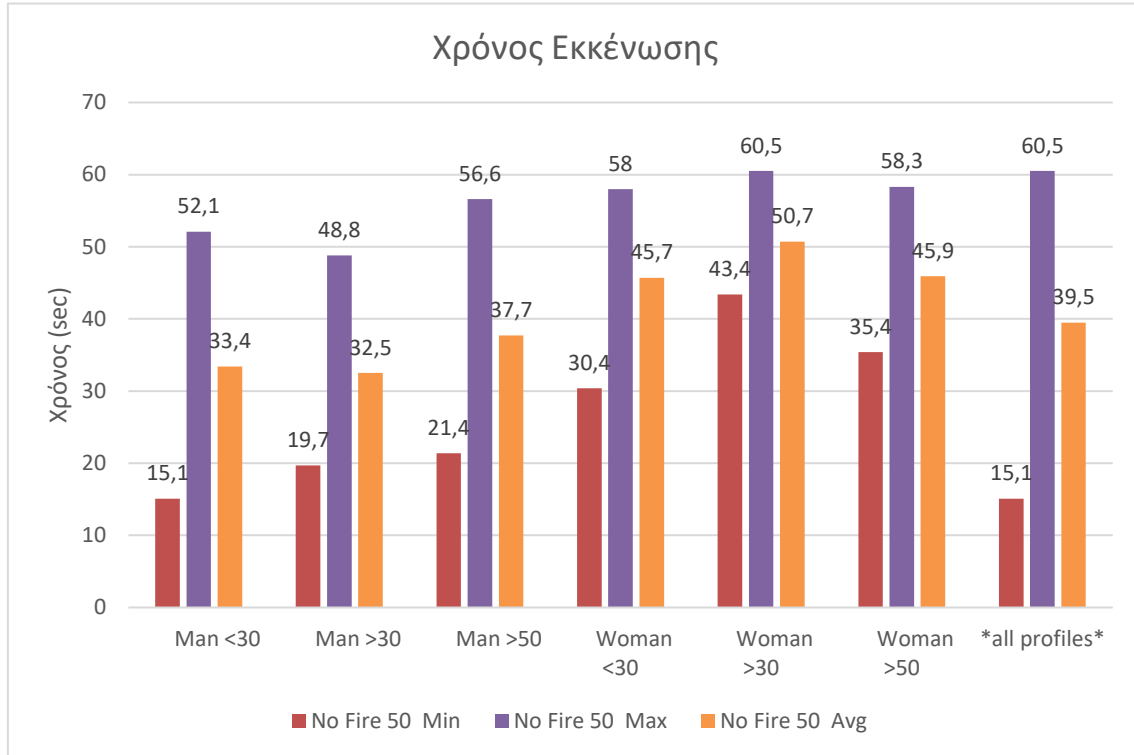
Πίνακας 4-9 : Αριθμός επιβατών ανά κατηγορία

Σε αυτή την περίπτωση ο πρώτος επιβάτης χρειάζεται 15 δευτερόλεπτα να απομακρυνθεί από τον χώρο ενώ όλοι οι επιβάτες χρειάζονται 61 δευτερόλεπτα, όπως φαίνεται στο παρακάτω Γράφημα 4-3.

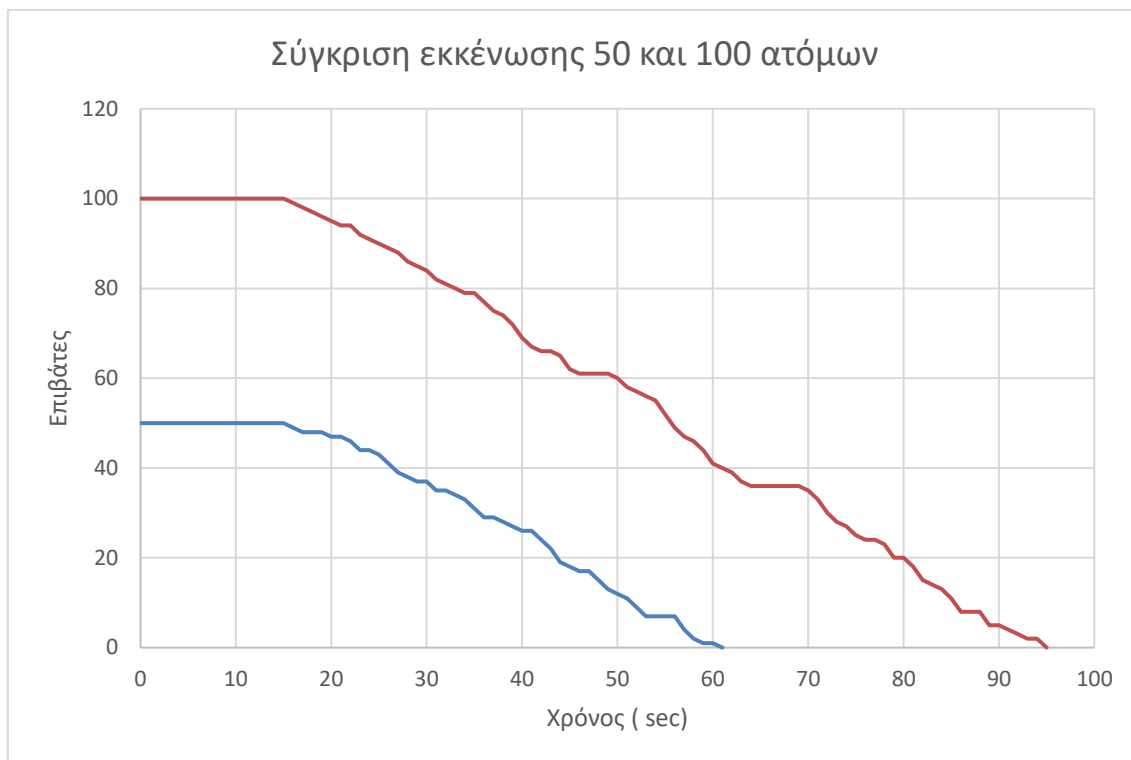


Γράφημα 4-1 : Χρόνος εκκένωσης χωρίς την παρουσία φωτιάς

Με την μείωση του πληθυσμού, ο ελάχιστος χρόνος εκκένωσης του χώρου πραγματοποιείται από την ίδια ανδρική ηλικιακή ομάδα ενώ ταυτόχρονα ο μέγιστος χρόνος από την ίδια γυναικεία ηλικιακή ομάδα.



Γράφημα 4-2 : Σύγκριση ελάχιστου, μέγιστου και μέσου όρου χρόνου εκκένωσης

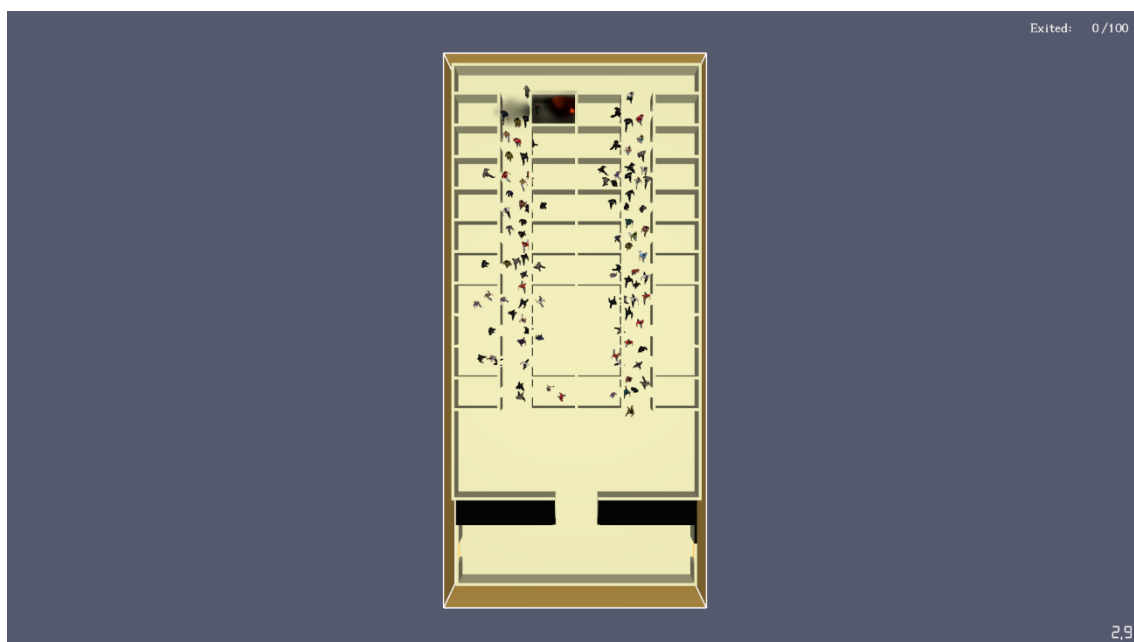


Γράφημα 4-3 : Σύγκριση χρόνου εκκένωσης 50 και 100 ατόμων

Στο διάγραμμα 4-5 παρουσιάζεται μια σύγκριση μεταξύ των χρόνων εκκένωσης του χώρου για τις δύο περιπτώσεις πληθυσμού. Παρατηρείται ότι ο χρόνος που απαιτείται από τους 50 επιβάτες για να εκκενώσουν τον χώρο είναι 35,4% λιγότερος από τον χρόνο που απαιτείται από τους 100 επιβάτες. Αυτό οφείλεται στην πιο εύκολη κυκλοφορία των επιβατών και στη μείωση του πλήθους στις σκάλες, πράγμα που διευκολύνει τη διαδικασία εκκένωσης.

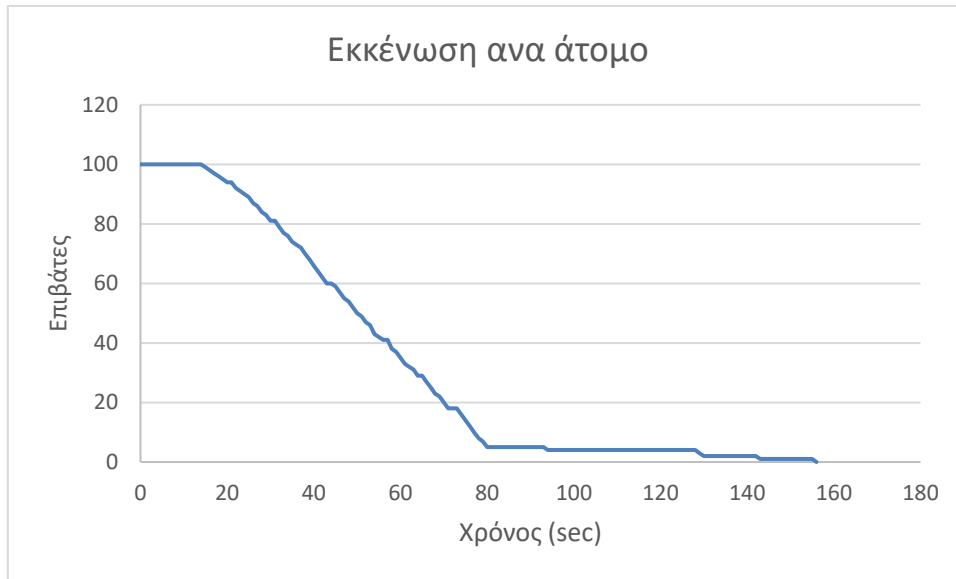
4.4.3 Σενάριο 1: Πυρκαγιά στο πίσω μέρος με 100 άτομα

Για το πρώτο σενάριο η φωτιά βρίσκεται σε ένα δωμάτιο στο πίσω μέρος του διαδρόμου 1, στο τελευταίο δωμάτιο δεξιά. Το πλήθος των επιβατών είναι βάση του πίνακα 4-8.



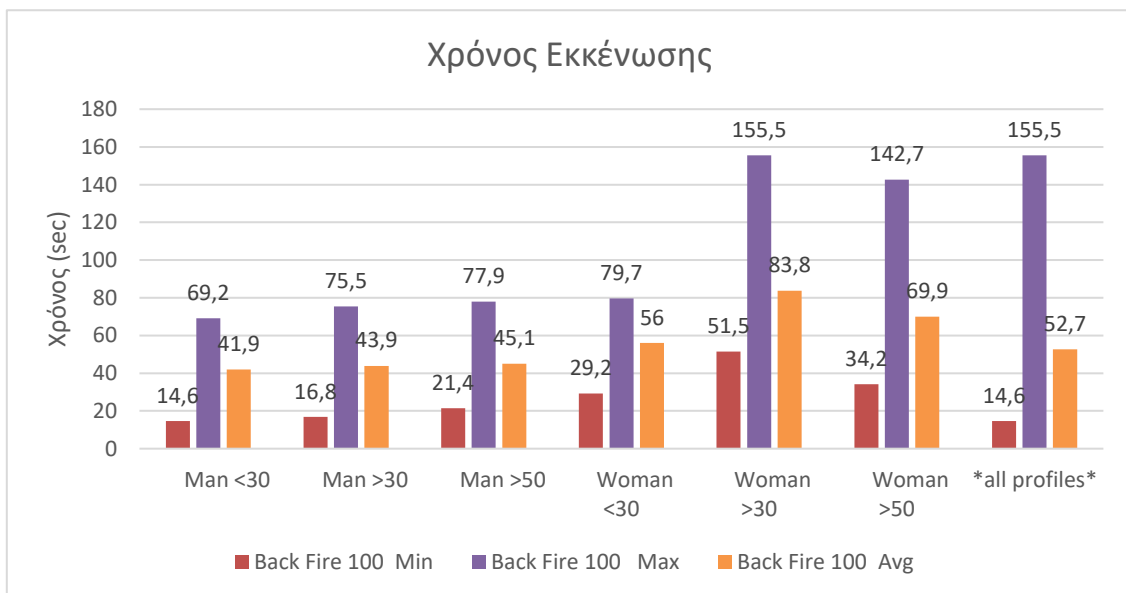
Εικόνα 4:16 : Πυρκαγιά στο πίσω μέρος με 100 άτομα στον χώρο

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται ο χρόνος που χρειάζεται το κάθε άτομο για να απομακρυνθεί από τον χώρο. Όπως φαίνεται στο γράφημα 4-6, ο ελάχιστος χρόνος που χρειάστηκε ένας επιβάτης για να απομακρυνθεί από τον χώρο είναι 14,6 sec ενώ ο μέγιστος είναι 155,5 sec.



Γράφημα 4-4 : Χρόνος εκκένωσης 100 άτομα

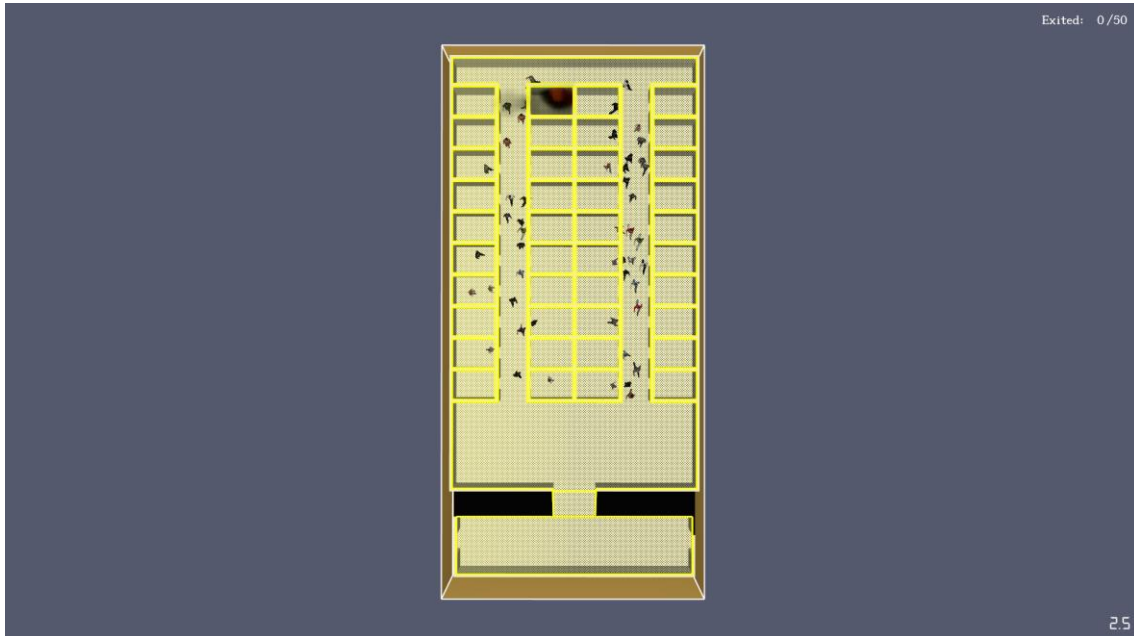
Σύμφωνα με το Διάγραμμα 4-7, ο μέσος χρόνος εκκένωσης του χώρου είναι 52,7 sec. Παρατηρείται ότι η ηλικιακή ομάδα των ανδρών κάτω των 30 ετών είναι αυτή που κατέχει τον ελάχιστο μέσο χρόνο εκκένωσης, ενώ παρατηρείται ότι οι ηλικιακές ομάδες των γυναικών άνω των 30 χρειάστηκαν διπλάσιο μέσο χρόνο για την εκκένωση του χώρου.



Γράφημα 4-5 : Σύγκριση ελάχιστου, μέγιστου και μέσου όρου χρόνου εκκένωσης

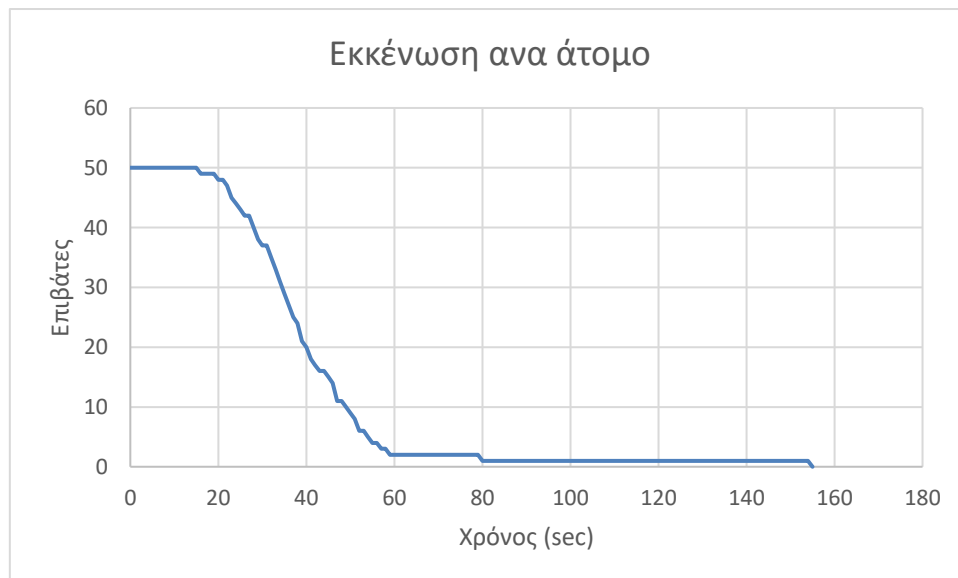
4.4.4 Σενάριο 2: Πυρκαγιά στο πίσω μέρος με 50 άτομα

Επαναλαμβάνεται η προσομοίωση με την πυρκαγιά στο ίδιο σημείο αλλά με το μισό πληθυσμό, όπως στον πίνακα 4-9.



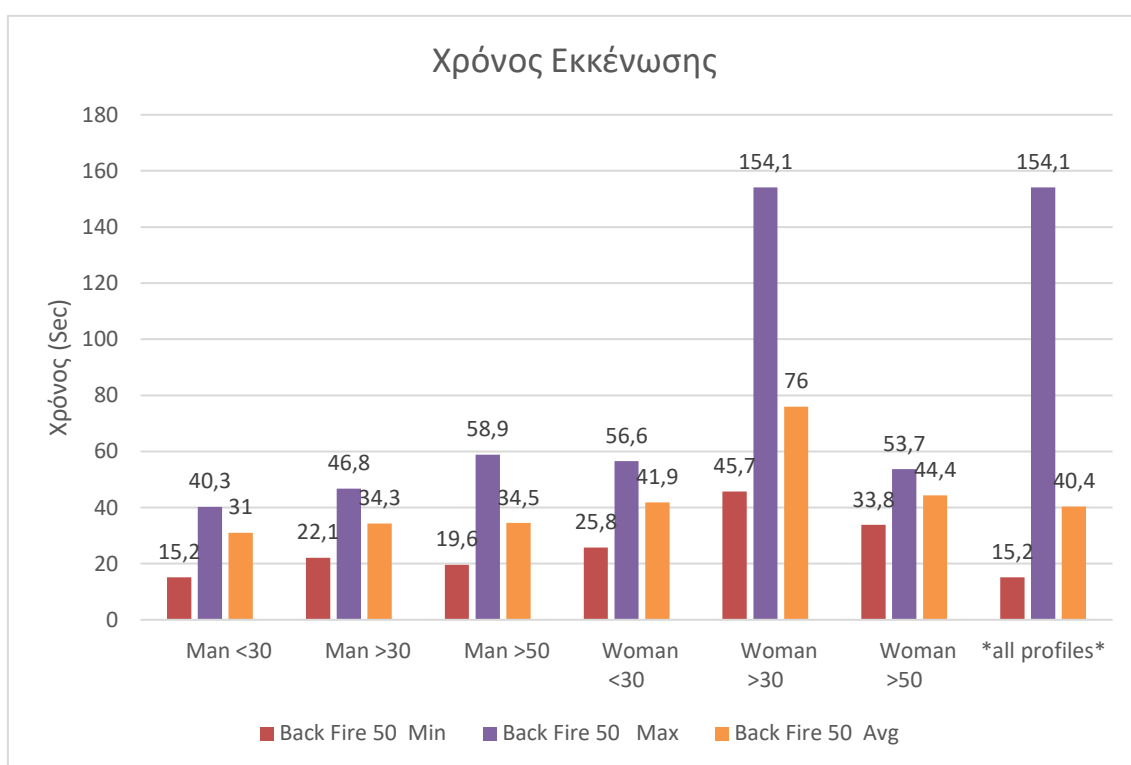
Εικόνα 4:17 : Πυρκαγιά στο πίσω μέρος με 50 άτομα στον χώρο

Σύμφωνα με το παρακάτω Γράφημα 4-8 ο πρώτος επιβάτης απομακρύνθηκε από τον χώρο σε 15,2 sec ενώ ο τελευταίος επιβάτης σε 154,1 sec.



Γράφημα 4-6 : Χρόνος εκκένωσης 50 ατόμων

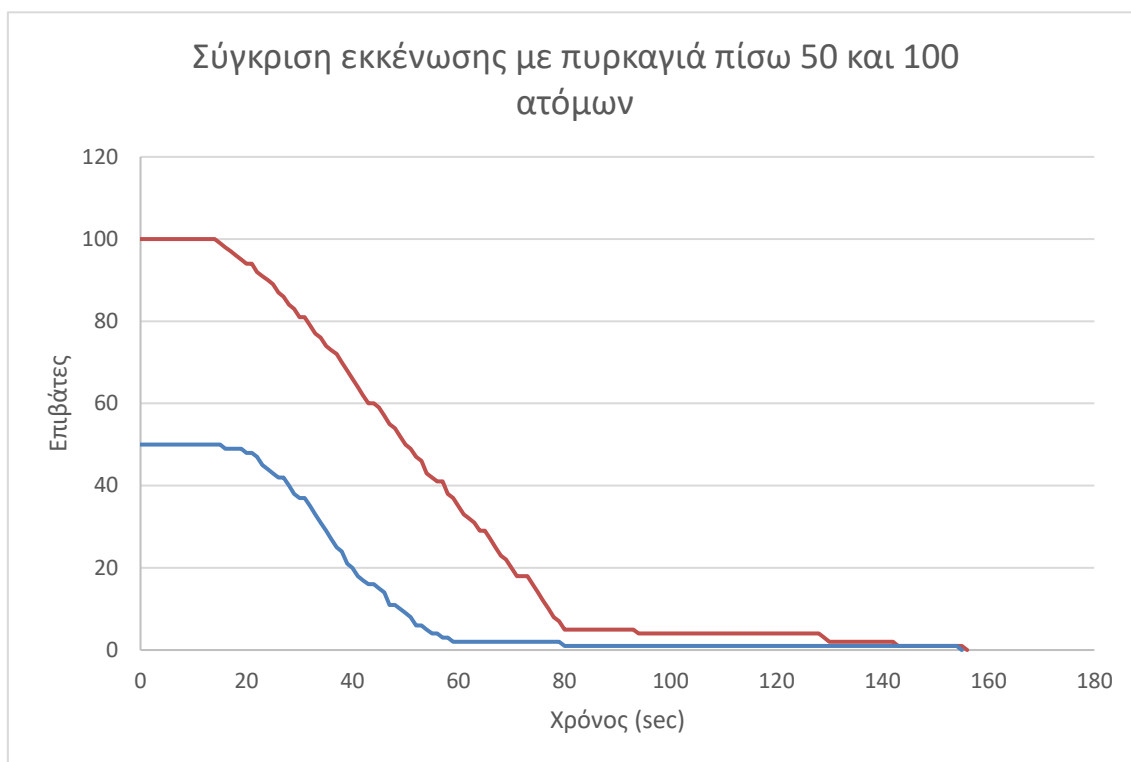
Όπως παρατηρείται στο Διάγραμμα 4-9, ο μέσος χρόνος εκκένωσης του χώρου είναι 40,4 sec. Ο μέσος ελάχιστος χρόνος εκκένωσης του χώρου ανήκει στην ανδρική ηλικιακή ομάδα κάτω των 30 ετών, ενώ ο μέγιστος χρόνος ανήκει στη γυναικεία ηλικιακή ομάδα άνω των 30 ετών. Επίσης, παρατηρείται ότι ο μέγιστος χρόνος εκκένωσης είναι πολύ μεγαλύτερος από τον μέσο όρο όλου του πληθυσμού. Αυτό πιθανώς οφείλεται στην απόσταση που έχει το συγκεκριμένο άτομο από το σημείο εξόδου, καθώς και στη μειωμένη ορατότητα στον χώρο.



Γράφημα 4-7 : Σύγκριση ελάχιστου, μέγιστου και μέσου όρου χρόνου εκκένωσης

Συγκριτικά, ο χρόνος που χρειάστηκαν τα άτομα να απομακρυνθούν από τον χώρο είναι σχεδόν ο ίδιος. Επιπλέον, παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού εκκενώνει τον χώρο σε λιγότερο χρόνο από ό,τι ο μέσος χρόνος που χρειάζεται το τελευταίο άτομο. Αυτή η έντονη διαφορά οφείλεται στη μειωμένη ορατότητα κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς, καθώς και στην απόσταση από το

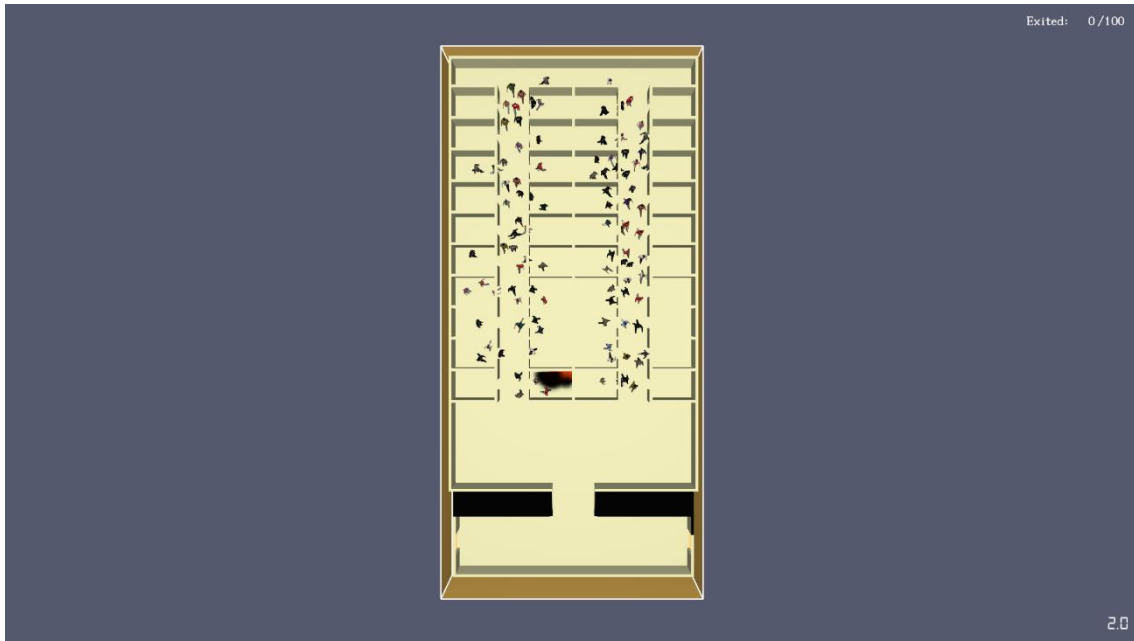
σημείο εξόδου. Οι επιβάτες που φεύγουν από τον χώρο τελευταίοι σε κάθε περίπτωση ανήκουν στην ίδια ηλιακή ομάδα.



Γράφημα 4-8: Σύγκριση χρόνου εκκένωσης μεταξύ 50 και 100 ατόμων με ύπαρξη πυρκαγιάς στο πίσω μέρος

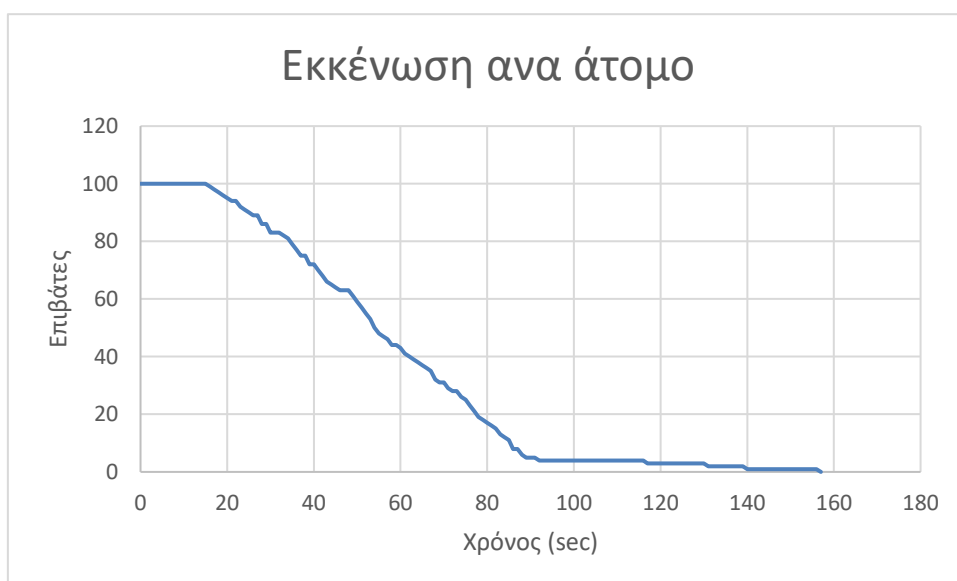
4.4.5 Σενάριο 3: Πυρκαγιά στο μπροστά μέρος με 100 άτομα

Σε αυτό το σενάριο η πυρκαγιά βρίσκεται στο πρώτο δωμάτιο δεξιά του διαδρόμου 1 και το πλήθος των επιβατών είναι 100, όπως αναφέρεται στον πίνακα 4-8.



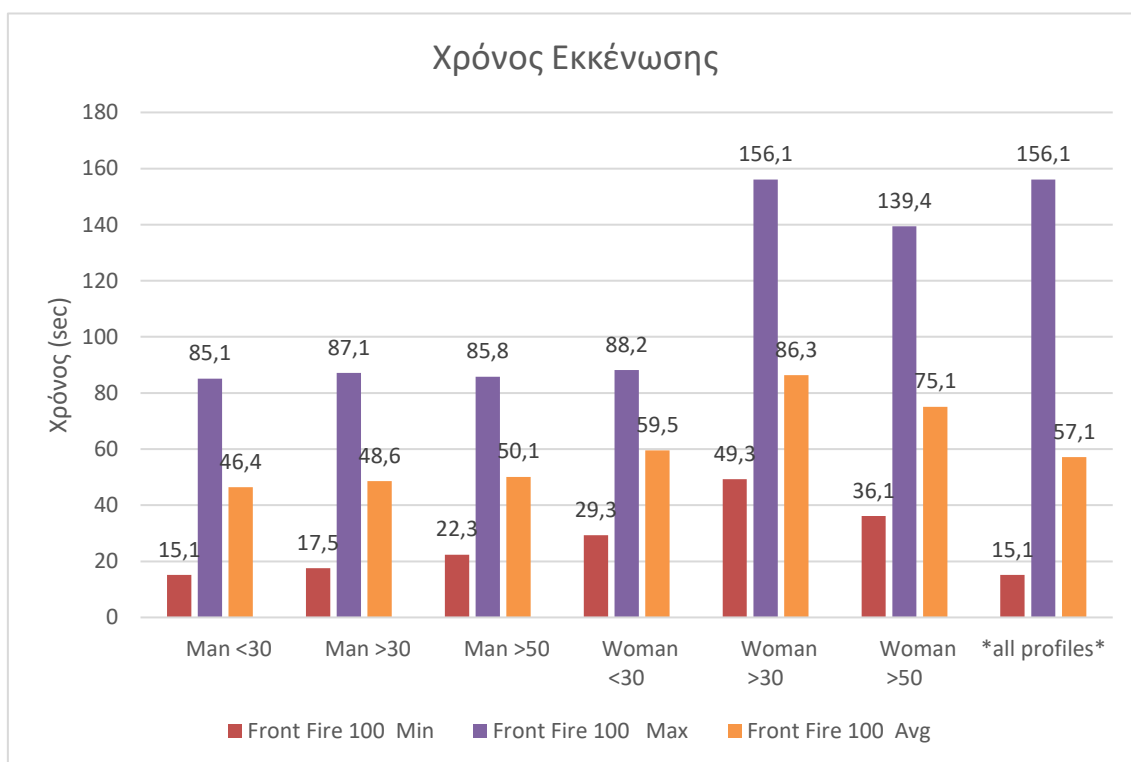
Εικόνα 4:18: Πυρκαγιά στο μπροστά μέρος με 100 άτομα στον χώρο

Σύμφωνα με τον παρακάτω διάγραμμα 4-11, ο ελάχιστος χρόνος που χρειάστηκε για να εκκένωση ένα άτομο τον χώρο είναι 15,1 sec ενώ ο μέγιστος 156,1 sec.



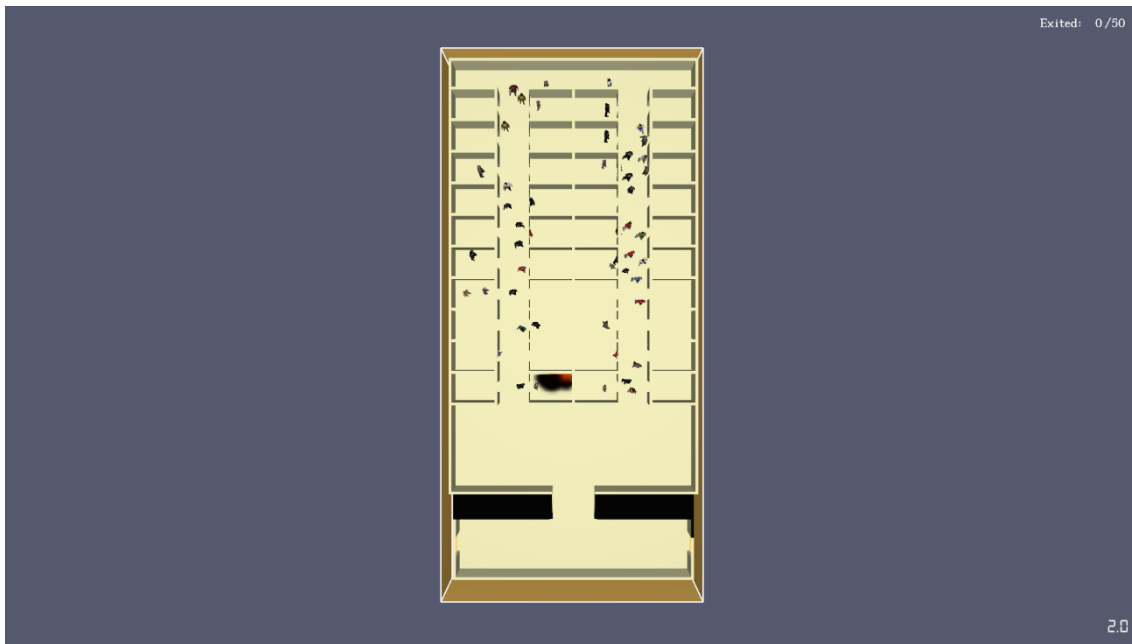
Γράφημα 4-9: Χρόνος εκκένωσης του χώρου για 100 άτομα

Στο παραπάνω σενάριο, ο μέσος χρόνος εκκένωσης του χώρου είναι 57,1 δευτερόλεπτα, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4-12. Η ηλικιακή ομάδα που κατά μέσο όρο αποχώρησε πρώτη από τον χώρο είναι η ανδρική κάτω των 30 ετών, ενώ και οι υπόλοιπες ηλικιακές ομάδες, εκτός από τις γυναίκες άνω των 30 και 50 ετών, δεν απέχουν πολύ σε μέσο χρόνο εκκένωσης. Ο μέσος χρόνος εκκένωσης του χώρου για τις δύο αυτές ηλικιακές ομάδες είναι εμφανώς διαφορετικός, με την πρώτη ομάδα να χρειάζεται περισσότερο χρόνο για να εκκενώσει τον χώρο.



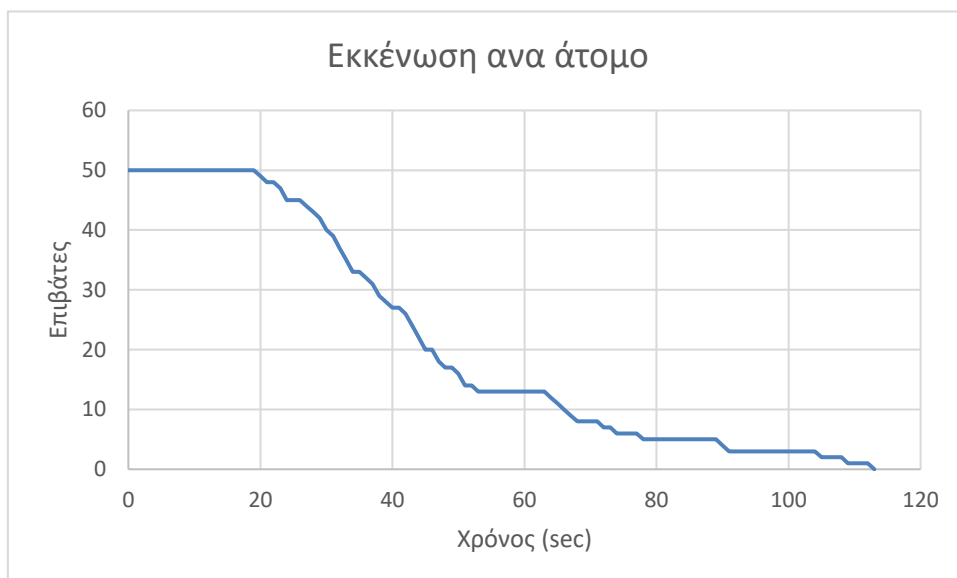
Γράφημα 4-10 : Σύγκριση ελάχιστου, μέγιστου και μέσου χρόνου εκκένωσης

4.4.6 Σενάριο 4: Πυρκαγιά στο μπροστά μέρος με 50 άτομα



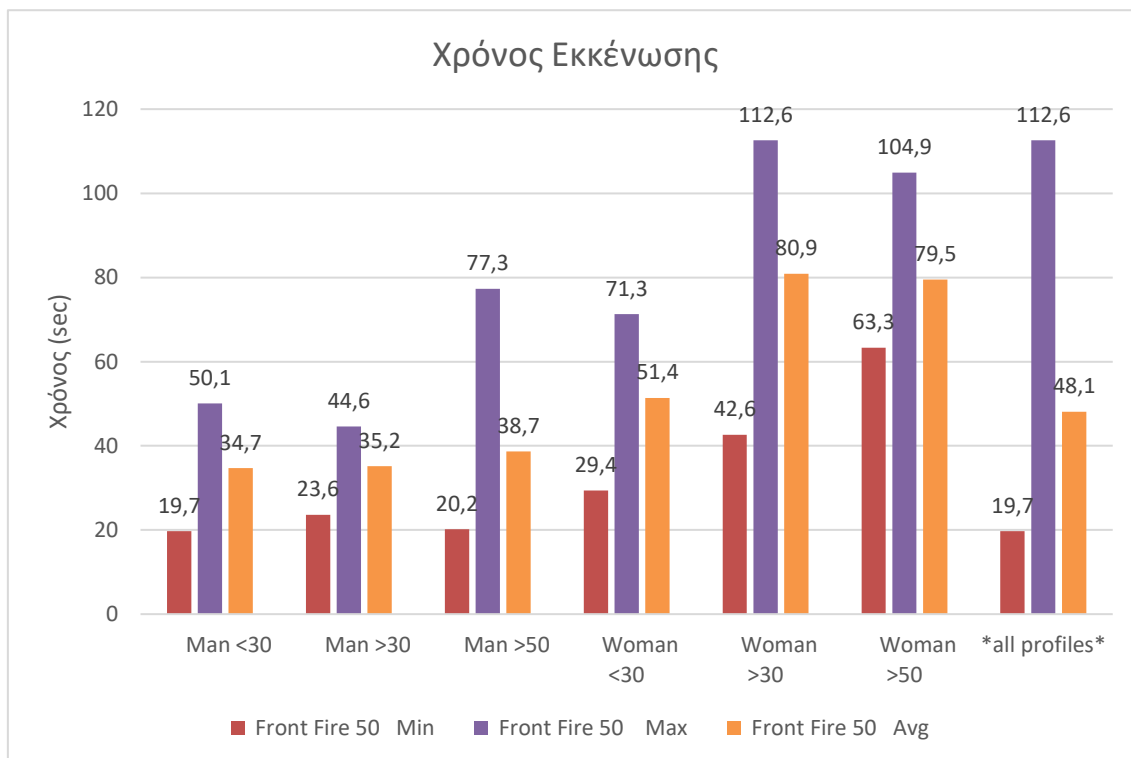
Εικόνα 4:19: Πυρκαγιά στον μπροστά μέρος με 50 άτομα στον χώρο

Σύμφωνα με το Γράφημα 4-13, ο ελάχιστος χρόνος εκκένωσης του χώρου είναι 19,7 sec ενώ ο περισσότερος είναι 112,6 sec.



Γράφημα 4-11: Χρόνος εκκένωσης του χώρου για 50 άτομα

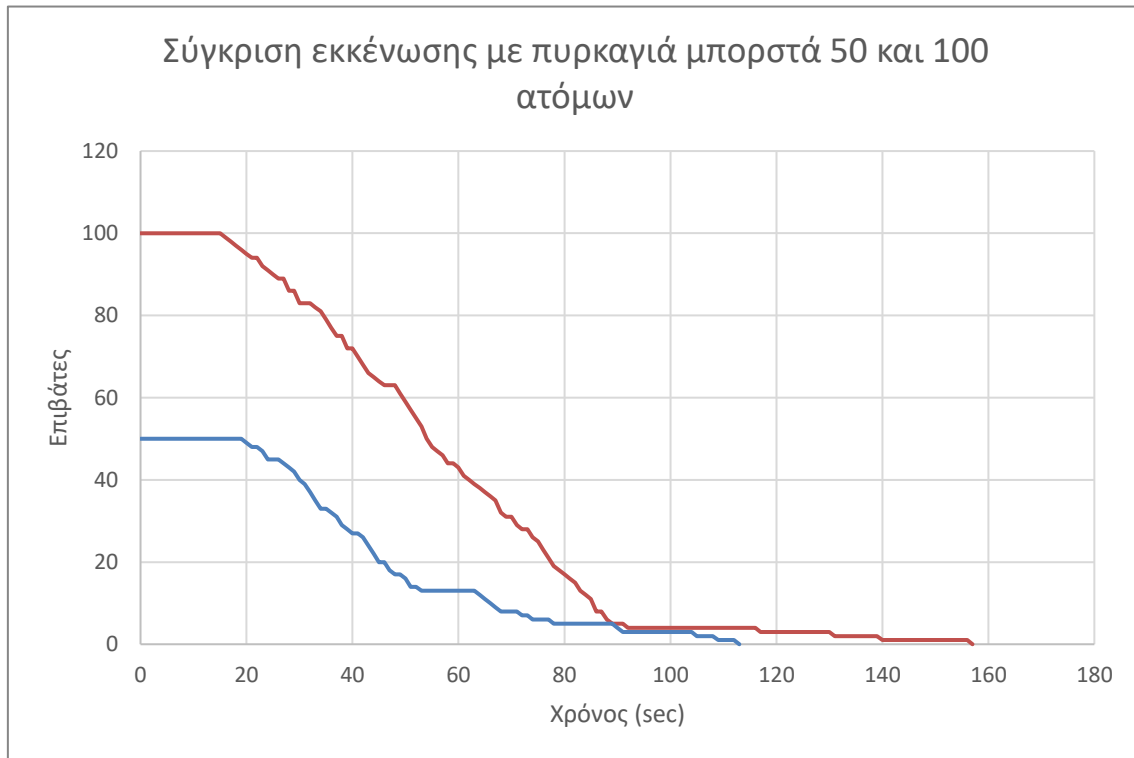
Για το σύνολο του πληθυσμού, ο μέσος χρόνος εκκένωσης του χώρου είναι 48,1 δευτερόλεπτα όπως παρουσιάζεται στο Γράφημα 4-14. Η ηλικιακή ομάδα που αποχώρησε πρώτη από τον είναι η ανδρική κάτω των 30 ετών, ενώ η μέγιστη είναι αυτή των γυναικών ηλικιών από 30 έως 50, με μικρή διαφορά από εκείνη των γυναικών άνω των 50 ετών.



Γράφημα 4-12 : Σύγκριση ελάχιστου, μέγιστου και μέσου χρόνου εκκένωσης

Σύμφωνα με το διάγραμμα 4-15, παρατηρείται ότι ο χρόνος απομάκρυνσης από τον εκκενωθέντα χώρο είναι μεγαλύτερος στην περίπτωση των 100 ατόμων. Και στις δύο περιπτώσεις, ο χρόνος που απαιτήθηκε από την πλειοψηφία των ατόμων για να εκκενώσει τον χώρο είναι πολύ μικρότερος από εκείνον του τελευταίου επιβάτη. Ο ελάχιστος χρόνος εκκένωσης στην περίπτωση των 10 ατόμων είναι μικρότερος από εκείνον των 50 ατόμων, πιθανώς λόγω της θέσης

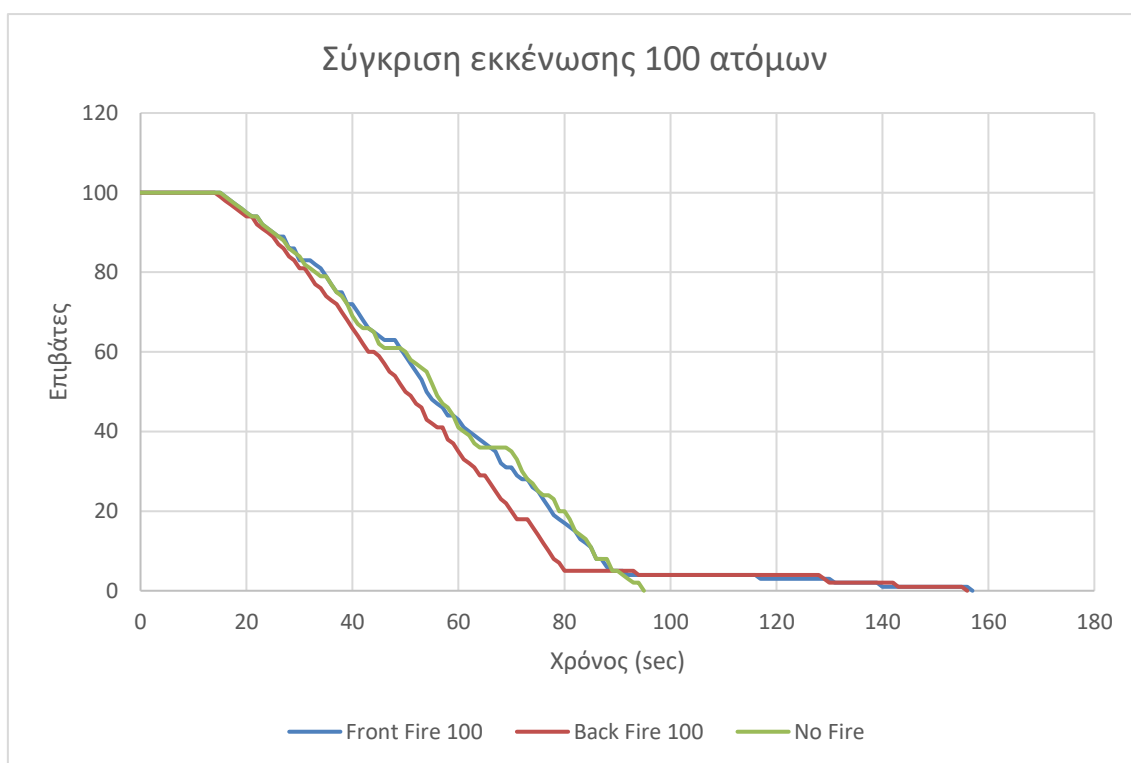
του επιβάτη στον χώρο. Για τους λιγότερους ανθρώπους που απαιτήθηκε περισσότερος χρόνος για την εκκένωση του χώρου, η κατανομή του καπνού στον χώρο και η μείωση της ορατότητας μπορεί να είναι οι κύριοι παράγοντες.



Γράφημα 4-13: Σύγκριση χρόνου εκκένωσης μεταξύ 50 και 100 ατόμων

4.4.7 Σύγκριση μεταξύ των σεναρίων

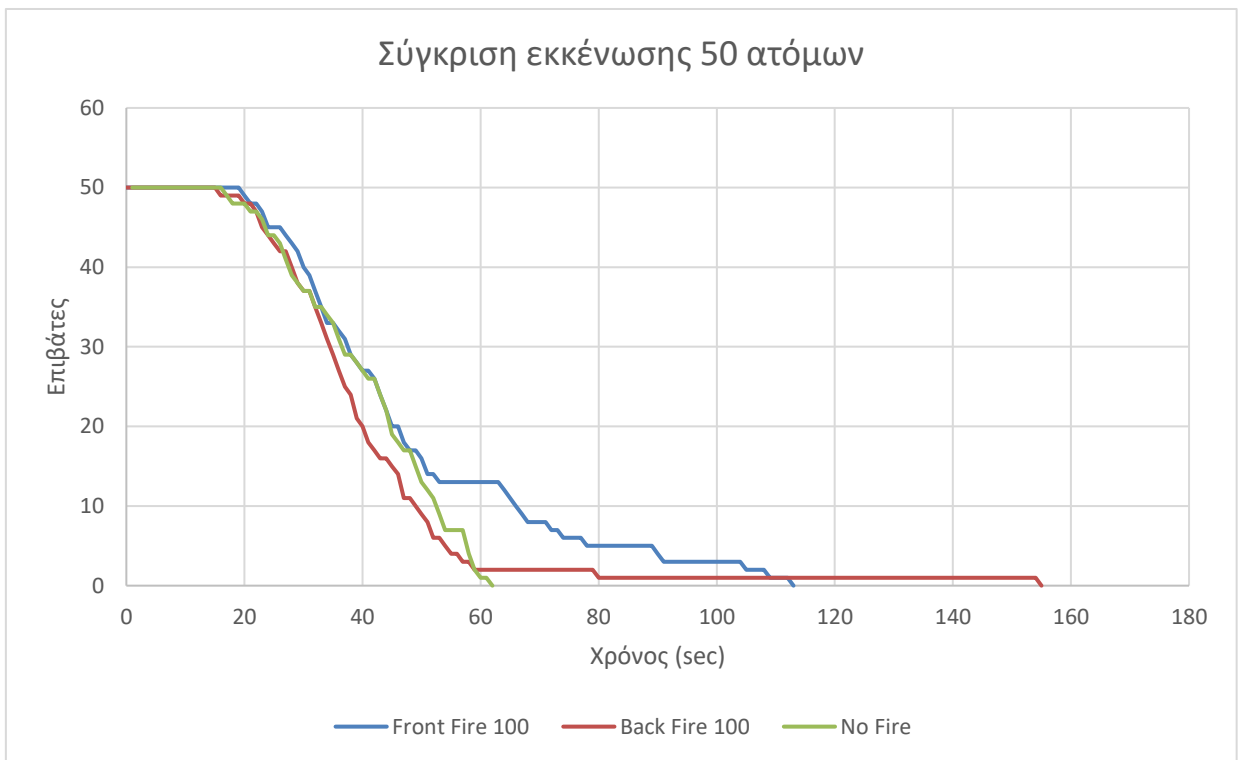
Στο διάγραμμα 4-16, συγκρίνεται ο χρόνος που χρειάστηκε κάθε άτομο για να εκκενώσει τον χώρο σε όλες τις τρεις περιπτώσεις με 100 άτομα. Παρατηρείται ότι σε όλες τις περιπτώσεις πυρκαγιάς, και επομένως με παρουσία καπνού, ο συνολικός χρόνος εκκένωσης του χώρου είναι παρόμοιος.



Γράφημα 4-14: Σύγκριση εκκένωσης του χώρου με 100 άτομα για κάθε περίπτωση

Στο διάγραμμα 4-17, συγκρίνεται ο χρόνος που απαιτήθηκε από κάθε άτομο για να εκκενώσει τον χώρο σε όλες τις τρεις περιπτώσεις με 50 άτομα. Παρατηρείται ότι ο χρόνος εκκένωσης του χώρου επηρεάζεται από τη θέση της φωτιάς, καθώς όταν η φωτιά βρίσκεται στο πίσω μέρος του χώρου, ο χρόνος που απαιτείται από το τελευταίο άτομο για να εκκενώσει τον χώρο είναι πολύ μεγαλύτερος από όταν

η φωτιά βρίσκεται μπροστά. Παρ' όλα αυτά, η πλειοψηφία των ατόμων που εκκένωσαν τον χώρο στο σενάριο όπου η φωτιά βρίσκεται στο πίσω μέρος του χώρου είναι μικρότερη από όταν βρίσκεται μπροστά. Μπορούμε λοιπόν να υποθέσουμε ότι ο λόγος της καθυστερημένης εκκένωσης του χώρου από μερικούς επιβάτες οφείλεται στον εγκλωβισμό στους καπνούς.



Γράφημα 4-15: Σύγκριση χρόνου εκκένωσης του χώρου για 50 άτομα για κάθε περίπτωση

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με την παραπάνω μελέτη, συμπεραίνεται ότι η πυκνότητα των επιβατών σε ένα χώρο που εκκενώνεται λόγω πυρκαγιάς παίζει σημαντικό ρόλο στον χρόνο εκκένωσης, καθώς μειώνει τον συνωστισμό και επιτρέπει την άνετη μετακίνηση των ατόμων. Οι διαφορετικές ηλικιακές ομάδες των επιβατών επηρεάζουν τον μέσο χρόνο εκκένωσης, καθώς η ταχύτητα κίνησης μειώνεται με την αύξηση της ηλικίας. Η απρόβλεπτη θέση της φωτιάς επηρεάζει τη διανομή του καπνού και, ως αποτέλεσμα, τον χρόνο απομάκρυνσης από τον χώρο. Παρ' όλα αυτά, υπάρχει πάντα πιθανότητα εγκλωβισμού κάποιου επιβάτη στους καπνούς, με αποτέλεσμα τη δυσκολότερη έξοδο από τον χώρο. Για την αποφυγή δυστυχημάτων, κρίνεται αναγκαία η παρουσία μονάδας πυρόσβεσης προκειμένου να αντιμετωπιστούν άμεσα οι καπνοί και να μειωθεί ο μέσος χρόνος εκκένωσης. Επιπλέον, προτείνεται η τοποθέτηση των επιβατών στις κατάλληλες καμπίνες ανάλογα με την ηλικιακή τους ομάδα, προκειμένου να μειωθεί η απόσταση που πρέπει να διανύσουν άτομα με χαμηλότερη μέση ταχύτητα. Επιπλέον, η μείωση του αριθμού των επιβατών ανά χώρο των καμπίνων θα βελτιώσει τον χρόνο εκκένωσης, καθώς θα μειωθεί ο συνωστισμός.

Μελλοντικές μελέτες μπορούν να εξετάσουν την επανατοποθέτηση των επιβατών σε κατάλληλες καμπίνες, με στόχο την επαλήθευση ή την απόρριψη της προηγούμενης πρότασης σχετικά με τον χρόνο εκκένωσης του χώρου. Επίσης, μπορεί να εξεταστεί η επίδραση των καυσαερίων στην ανθρώπινη υγεία κατά τη διάρκεια και μετά την εκκένωση του χώρου. Στην προηγούμενη μελέτη, η πυρκαγιά τοποθετήθηκε σε μια καμπίνα χωρίς να υπάρχει μετάδοση της φλόγας στους γύρω χώρους. Στο μέλλον, μπορεί να ελεγχθεί κατά πόσο η μετάδοση της φλόγας επηρεάζει τον χρόνο εκκένωσης. Τέλος, θα ήταν ενδιαφέρουσα η μελέτη της ανθρώπινης ψυχολογίας κατά τη διάρκεια εκτάκτων συνθηκών και η επίδρασή τους στην κριτική σκέψη των ατόμων.

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Bleyer, B., *Soundings*, in www.soundingsonline.com 2023.
2. *Shipyard*, in www.theshipyardblog.com 2020.
3. *Independent*, in www.independent.co.uk 2021.
4. *Safety4sea*, in www.safety4sea.com 2018.
5. Boonzaier, J., *TradeWinds*, in <https://www.tradewindsnews.com/notorious-disaster-ferry-norman-atlantic-reaches-end-of-the-road/2-1-638833> 2019.
6. International Maritime, O., *SOLAS, consolidated edition 2014 : consolidated text of the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, and its Protocol of 1988 : articles, annexes and certificates*. 2014, International Maritime Organization London: London.
7. ΙΩΑΝΝΟΥ, Σ., *Μελέτη Περιπτώσεων Διάδοσης Πυρκαγιάς σε Κοινόχρηστους Χώρους Κρουαζιερόπλοιου*, in *ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ*. 2019, ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ.
8. Πουαγκαρέ, Α., *Μελέτη διάδοσης πυρκαγιάς σε κατάστρωμα οχημάτων επιβατηγού/οχηματαγωγού πλοίου*, in *Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών*. 2020 Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
9. Bellas, R., et al., *Assessment of the Fire Dynamics Simulator for Modeling Fire Suppression in Engine Rooms of Ships with Low-Pressure Water Mist*. Fire Technology, 2019.
10. Χριστοδουλάκης, Γ., *Υπολογιστική προσομοίωση πυρκαγιάς σε μικρό διαμέρισμα*. 2020, Πανεπιστημίου Πατρών. p. 148.
11. ΓΕΩΡΓΙΟΣ, Ζ., *Ανάλυση Της Επίδρασης Πυρκαγιάς Στη Διαδικασία Εκκένωσης Υπόγειου Σταθμού Μετρό*, in *ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ*. 2018, ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ.
12. Hu, M. and W. Cai, *Research on the Evacuation Characteristics of Cruise Ship Passengers in Multi-Scenarios*. 2022. 12(9): p. 4213.
13. Dezhen, Z., S. Ning, and T. Ying. *An evacuation model considering human behavior*. in *2017 IEEE 14th International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC)*. 2017.
14. McGrattan, K., et al., *Fire Dynamics Simulator (Version 4) User's Guide*. 2010.
15. Valasek, L., *The use of PyroSim graphical user interface for FDS simulation of a cinema fire*. International Journal of Mathematics and Computers in Simulation, 2013. 7: p. 258-266.

16. McGrattan, K., *Fire Dynamics Simulator (Version 4)—Technical Reference Guide*. 2005.
17. McGrattan, K.B., H.R. Baum, and R.G. Rehm, *Large eddy simulations of smoke movement*. *Fire Safety Journal*, 1998. **30**(2): p. 161-178.
18. Sobieski, W. and S. Lipiński, *Pathfinder User's Guide*. 2016.
19. Purser, D., *Assessment of hazards to occupants from smoke, toxic gases and heat*. 2016. p. 96-193.
20. Zisis, T., K. Vasilopoulos, and I. Sarris, *Numerical Simulation of a Fire Accident in a Longitudinally Ventilated Railway Tunnel and Tenability Analysis*. *Applied Sciences*, 2022. **12**: p. 5667.
21. Ronchi, E., *Evacuation Modelling in Road Tunnel Fires*. 2012.
22. Zisis, T., K. Vasilopoulos, and I. Sarris, *Effect of Passenger Physical Characteristics in the Uptake of Combustion Products during a Railway Tunnel Evacuation Due to a Fire Accident*. *Computation*, 2023. **11**.