

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

Πάλλα Αικατερίνη

Μελέτη πυρκαγιάς σε επιβατηγό πλοίο:
αποτελεσματικότητα διαχωριστικών και
μεταβολή παραμέτρων βιωσιμότητας.

Διπλωματική εργασία

Επιβλέπων : Κ. Σπύρου , Καθηγητής

Αθήνα, Ιούλιος 2012

«Ποτέ δε θα ῥθει το καράβι από την Τροία πια.
Τα πλοία βούλιαξαν και πνίγηκε ο Οδυσσέας,
το ξύλινο άλογο τον πήρε στο βυθό»

Κώστας Παπαγεωργίου «Τα έρανα»

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στον καθηγητή κ. Κ. Σπύρου για τις συμβουλές, την καθοδήγηση και την - χωρίς φειδώ- βοήθεια του. Μου διέθεσε χρόνο και γνώσεις και με ενέπνευσε με ιδέες, όχι μόνο κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας αλλά και καθ' όλη την διάρκεια της φοίτησης μου στην σχολή. Περισσότερο από όλα, τον ευχαριστώ για το εξαιρετικό κλίμα συνεργασίας, την στήριξη και την εμπιστοσύνη του.

Ευχαριστώ επίσης τον Διδάκτορα κ. Ν. Θεμελή, για την καταλυτική βοήθεια που μου προσέφερε. Επίσης ευχαριστώ τον Υπ. Διδάκτορα κ. Σ. Νιώτη για την βοήθεια του στην εξοικείωση μου με τα προγράμματα που χρησιμοποίησα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την μητέρα μου, τον πατέρα μου και την αδερφή μου. Η παρουσία τους αποτελεί βασικό παράγοντα κατάσβεσης όλων των «πυρκαγιών» στην ζωή μου . . .

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 ^ο – Εισαγωγή	σελ.05
1.1 Εισαγωγή	σελ.05
1.2 Δομή εργασίας	σελ.06
1.3 Στόχοι	σελ.07
Κεφάλαιο 2 ^ο – Περιγραφή του φαινομένου της φωτιάς	σελ.09
2.1 Εισαγωγή.....	σελ.09
2.2 Η φύση και οι ιδιότητες της φωτιάς	σελ.09
2.2.1 Η έννοια της φωτιάς	σελ.09
2.2.2 Η κλασική έννοια του τριγώνου της φωτιάς	σελ.10
2.2.3 Η έννοια του τετραέδρου της φωτιάς	σελ.10
2.3 Τα στάδια ανάπτυξης μιας φωτιάς	σελ.11
2.4 Ρυθμός έκλυσης θερμότητας σε έναν κλειστό χώρο – Heat Release Rate.....	σελ.13
2.4.1 Περιπλοκότητα περιγραφής της εξέλιξης της φωτιάς	σελ.13
2.4.2 Μεταβλητές που επηρεάζουν το φαινόμενο της φωτιάς	σελ.15
2.4.3 Fire Load Density – Fuel Load Density.....	σελ.16
2.5 Πρότυπο τεστ φωτιάς	σελ.18
Κεφάλαιο 3 ^ο – Βασικοί κανόνες και κανονισμοί σχετικά με την ασφάλεια έναντι πυρκαγιάς	σελ.21
3.1 Εισαγωγικά στοιχεία για τους κανονισμούς σχετικά με την πυρασφάλεια.....	σελ.21
3.2 SOLAS	σελ.21
3.2.1 Γενικά σχετικά με τους κανονισμούς	σελ.21

3.2.2 Βασικοί στόχοι της SOLAS σχετικά με την πυρασφάλεια	σελ.22
3.2.3 Λειτουργικές απαιτήσεις της SOLAS σχετικά με την πυρασφάλεια	σελ.23
3.3 International Code for fire Safety System.....	σελ.23
3.4 Βασικοί Ορισμοί κατά τον κανονισμό 3 του κεφαλαίου II-2 της SOLAS.....	σελ.24

Κεφάλαιο 4^ο – Αριθμητικά μοντέλα για μοντελοποίηση και οπτικοποίηση πυρκαγιών

σελ.29

4.1 Εισαγωγή	σελ.29
4.2 Είδη μοντελοποίησης	σελ.29
4.3 Αβεβαιότητα προγραμμάτων	σελ.31
4.4 Περιγραφή προγραμμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία	σελ.31
4.4.1 Fire Dynamics Simulator – FDS	σελ.31
4.4.1.1 Εισαγωγικά	σελ.31
4.4.1.2 Ιστορική αναδρομή	σελ.31
4.4.1.3 Περιγραφή του προγράμματος	σελ.33
4.4.2 Smokeview	σελ.36
4.4.2.1 Εισαγωγικά	σελ.36
4.4.2.2 Ιστορική Αναδρομή	σελ.36
4.4.2.3 Περιγραφή του λογισμικού	σελ.38

Κεφάλαιο 5^ο – Μελέτη αποτελεσματικότητας διαχωριστικών B-15 κατά την διάρκεια πυρκαγιάς, σε καμπίνα επιβατηγού πλοίου

σελ.41

5.1 Εισαγωγή	σελ.41
5.2 Αναλυτική περιγραφή της προσομοίωσης	σελ.41
5.3 Μελέτη αποτελεσματικότητας διαχωριστικών B-15 για τρεις διαφορετικές πυκνότητες φορτίου καυσίμου	σελ.48
5.3.1 Περιγραφή των χαρακτηριστικών της προσομοίωσης	σελ.48

5.3.2 Αποτελέσματα	σελ.52
5.3.3 Συγκριτικά αποτελέσματα	σελ.57
5.3.4 Συμπεράσματα	σελ.63
5.4 Μελέτη αποτελεσματικότητας διαχωριστικών B-15 για διαφορετικά πάχη μόνωσης	σελ.66
5.4.1 Περιγραφή Προσομοίωσης	σελ.66
5.4.2 Αποτελέσματα	σελ.67
5.4.3 Συμπεράσματα	σελ.72
5.5 Μελέτη αποτελεσματικότητας διαχωριστικών B-15 με την πόρτα της διπλανής καμπίνας κλειστή	σελ.74
5.5.1 Περιγραφή Προσομοίωσης	σελ.74
5.5.2 Αποτελέσματα	σελ.76
5.5.3 Συμπεράσματα	σελ.81
Κεφάλαιο 6 ^ο - Μελέτη παραγόντων βιωσιμότητας κατά την διάρκεια πυρκαγιάς, σε ένα κατάστρωμα ενδιαίτησης ενός επιβατηγού πλοίου	σελ.83
6.1 Εισαγωγή	σελ.83
6.2 Περιγραφή των παραμέτρων προς εξέταση	σελ.84
6.2.1 Μονοξείδιο και Διοξείδιο του άνθρακα	σελ.84
6.2.2 Οξυγόνο	σελ.87
6.2.3 Θερμοκρασία	σελ.88
6.2.4 Ορατότητα	σελ.88
6.2.5 Θερμότητα ροής αερίων λόγω ακτινοβολίας	σελ.89
6.3 Μελέτη παραμέτρων βιωσιμότητας σε ένα κατάστρωμα ενδιαίτησης	σελ.89
6.3.1 Αναλυτική περιγραφή του προγράμματος	σελ.89
6.3.2 Συγκριτικά Αποτελέσματα	σελ.92

6.3.3 Συμπεράσματα	σελ.109
Κεφάλαιο 7 ^ο – Συμπεράσματα	σελ.111
7.1 Συμπεράσματα	σελ.111
7.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	σελ.113
Βιβλιογραφία	σελ.115
Παράρτημα Α	σελ.119
Παράρτημα Β.....	σελ.135
Ευρετήριο διαγραμμάτων	σελ.143
Ευρετήριο εικόνων	σελ.151
Ευρετήριο πινάκων.....	σελ.153

Κεφάλαιο 1^ο

Εισαγωγή και Στόχοι

1.1 Εισαγωγή

Πάνω από το είκοσι τοις εκατό (20%) των ατυχημάτων σε επιβατηγά πλοία οφείλονται σε φωτιά ή έκρηξη (πηγή: SAFEDOR). Στο δεκαέξι τοις εκατό (16%) των ατυχημάτων αυτών, η φωτιά ξεκίνησε στους χώρους ενδιαίτησης (πηγή: SAFEDOR). Γνωρίζοντας τα ποσοστά αυτά, καταλαβαίνουμε την αναγκαιότητα για μελέτη σεναρίων πυρκαγιάς σε επιβατηγά πλοία.

Στην παρούσα μελέτη έχουμε προχωρήσει περαιτέρω την πρόσφατη διπλωματική εργασία της Ψύλλα (2010). Συγκεκριμένα, στη διπλωματική εργασία αυτή είχαν μελετηθεί διάφορα πάχη μόνωσης ενός διαχωριστικού που χρησιμοποιείται σε καμπίνες επιβατηγών πλοίων, ως προς την αποτελεσματικότητά τους, για δύο σενάρια πυρκαϊάς. Τα χαρακτηριστικά της πρώτης φωτιάς ήταν γενικού τύπου και δεν αντιστοιχούσαν κατ' ανάγκη σε καύση συγκεκριμένου αντικειμένου, ενώ η δεύτερη αντιστοιχούσε στον τρόπο καύσης ενός καναπέ μέσα σε καμπίνα επιβατών. Στην παρούσα εργασία θελήσαμε να γενικεύσουμε τα σενάρια φωτιάς, και για αυτόν τον λόγο μελετήσαμε περιπτώσεις ανάφλεξης που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένη πυκνότητα καυσίμου μέσα σε μια καμπίνα- έτσι όπως ορίζονται στους κανονισμούς του IMO-, και στην συνέχεια εξετάσαμε την αποτελεσματικότητα του πάχους μόνωσης του διαχωριστικού.

Από τη βιβλιογραφία γνωρίζουμε ότι, δείκτες ποσοτικοποίησης των μεγεθών επικινδυνότητας του φαινομένου της φωτιάς, είναι το επίπεδο τοξικότητας στην ατμόσφαιρα, η ορατότητα και το επίπεδο θερμότητας των αερίων (McGrattam et al. 2010). Ως μία δεύτερη κατεύθυνση έρευνας, θελήσαμε να μελετήσουμε όλους αυτούς παράγοντες βιωσιμότητας που επηρεάζουν την υγεία των επιβατών, όταν λαμβάνει χώρα φωτιά σε κατάστρωμα ενδιαίτησης.

Το κύριο υπολογιστικό εργαλείο που χρησιμοποιήσαμε στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι ένα γνωστό μοντέλο υπολογιστικής ρευστομηχανικής (Computational fluid dynamics models-CFD), το οποίο ονομάζεται Fire Dynamics Simulator (FDS). Το FDS αναπτύχθηκε από το Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας της Αμερικής (National Technical Institute of Standards and Technology-NIST-) και είναι ένα μοντέλο που βρίσκεται σε διαρκή εξέλιξη και εποπτεία από πλήθος χρηστών, αφού μέσω του διαδικτύου υπάρχει μια ανοικτή ομάδα συζήτησης. Στόχος της ομάδας αυτής είναι, μέσω της συζήτησης μεταξύ των χρηστών του FDS να οδηγούμαστε σε συχνές αναθεωρήσεις και βελτιώσεις του μοντέλου.

Ένα άλλο λογισμικό που χρησιμοποιήσαμε, είναι το Smokeview. Το Smokeview είναι ένα λογισμικό εργαλείο σχεδιασμένο ώστε να απεικονίζει γραφικά τις αριθμητικές προβλέψεις που δημιουργούνται από προγράμματα που βασίζονται σε μοντέλα υπολογιστικής ρευστομηχανικής, όπως το FDS.

Παρακάτω συνοψίζεται η χρήση των εργαλείων αυτών για τις δύο κατευθύνσεις της έρευνάς μας που περιγράψαμε νωρίτερα:

Κατ' αρχάς, στόχος μας ήταν, χρησιμοποιώντας το μοντέλο FDS, να μπορέσουμε να εξετάσουμε την αποτελεσματικότητα των διαχωριστικών B-15- όπως ορίζεται από το κεφάλαιο II-2 της SOLAS- , που χρησιμοποιούνται σε καμπίνες επιβατηγών πλοίων. Έτσι, μελετήσαμε την συμπεριφορά της φωτιάς σε μια καμπίνα επιβατηγού πλοίου και το πώς επηρεάζει τον χώρο στον διάδρομο και στην διπλανή καμπίνα, για διάφορες ποσότητες καυσίμου που βρίσκονται στην καμπίνα. Κύριος άξονας μελέτης ήταν η γεωμετρία του χώρου. Γι' αυτό τον λόγο, εξετάστηκαν περιπτώσεις όπου η πόρτα της διπλανής καμπίνας είναι είτε ανοικτή είτε κλειστή, καθώς επίσης εξετάστηκαν και σενάρια με διαφορετικά πάχη μόνωσης του διαχωριστικού των δυο καμπινών.

Στο τελευταίο κύριο κομμάτι της εργασίας μας, μελετήσαμε όλους τους παράγοντες βιωσιμότητας που επηρεάζουν την υγεία των επιβατών όταν φωτιά λαμβάνει χώρα στο κατάστρωμα ενδιαίτησης. Τέτοιοι παράγοντες βιωσιμότητας είναι το μονοξείδιο και το διοξείδιο του άνθρακα, το οξυγόνο, η θερμοκρασία, η ορατότητα και η θερμότητα ροής των αερίων. Για να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση, κατασκευάσαμε στον FDS την γεωμετρία ενός μεγάλου καταστρώματος ενός επιβατηγού πλοίου. Η μελέτη αυτή έγινε για κατάστρωμα με σταθερό πλάτος και ύψος αλλά διαφορετικό μήκος.

1.2 Δομή εργασίας

Η εργασία είναι δομημένη σε επτά κεφάλαια:

Μετά την εισαγωγή (1^ο κεφάλαιο), ακολουθεί το 2^ο κεφάλαιο όπου γίνεται μια περιληπτική περιγραφή του φαινομένου της φωτιάς.

Στο 3^ο κεφάλαιο καταγράφονται μερικοί βασικοί οι κανονισμοί που αφορούν την πυρασφάλεια ενός επιβατηγού πλοίου.

Στο 4^ο κεφάλαιο μελετώνται και περιγράφονται τα προγράμματα μοντελοποίησης που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή.

Στην συνέχεια (5^ο κεφάλαιο) περιγράφεται η μελέτη προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκε για την μελέτη της αποτελεσματικότητας των διαχωριστικών B-15 και καταγράφονται τα αποτελέσματα της.

Στο 6^ο κεφάλαιο εξετάζονται οι παράγοντες βιωσιμότητας που επηρεάζουν την υγεία των επιβατών.

Στο τέλος (7^ο κεφάλαιο) της διπλωματικής εργασίας καταγράφονται τα συμπεράσματα της μελέτης μας, καθώς και προτάσεις για περαιτέρω μελέτη και έρευνα.

Η διπλωματική εργασία ολοκληρώνεται με δυο παραρτήματα στα οποία καταγράφονται όλες οι εφαρμογές που πραγματοποιήθηκαν ώστε να πετύχουμε την βέλτιστη αποτελεσματικότητα των μοντέλων που μελετήσαμε.

1.3 Στόχοι

Οι στόχοι της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι οι ακόλουθοι:

- ❖ Εξοικείωση με το μοντέλο Fire Dynamics Simulator (FDS), ένα μοντέλο υπολογιστικής ρευστομηχανικής (Computational fluid dynamics models-CFD).
- ❖ Εξοικείωση με το λογισμικό Smokeview, λογισμικό που οπτικοποιεί τα αριθμητικά αποτελέσματα προγραμμάτων υπολογιστικής ρευστομηχανικής.
- ❖ Αξιολόγηση των δυνατοτήτων πρόβλεψης του FDS για ρεαλιστικά σενάρια πυρκαγιάς.
- ❖ Μελέτη των συνεπειών φωτιάς για διαφορετικές πυκνότητες καύσιμου υλικού, σε συσχέτιση με τιμές που προδιαγράφονται από τον IMO.
- ❖ Μελέτη αποτελεσματικότητας των διαχωριστικών B-15, στην καμπίνα ενός επιβατηγού πλοίου.
- ❖ Μελέτη των παραγόντων βιωσιμότητας (δείκτες που αφορούν την τοξικότητα, την ορατότητα και την θερμότητα), σε ένα κατάστρωμα ενδιάμεσης, στο οποίο εξελίσσεται μια πυρκαγιά.

Κεφάλαιο 2^ο

Περιγραφή του φαινομένου της φωτιάς

2.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε στις γενικές έννοιες που περιγράφουν την φύση, τις ιδιότητες και τα στάδια εξέλιξης φωτιάς σε επιβατηγό πλοίο. Ειδικότερα, θα αναφέρουμε τον τρόπο περιγραφής μιας φωτιάς, αλλά και την ορολογία που την συνοδεύει σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία. Τέλος, θα καταγράψουμε τους κανόνες και τους κανονισμούς σχετικά με την ασφάλεια έναντι πυρκαγιάς, όπως αυτοί είναι καταχωρημένοι σε Διεθνείς Συμβάσεις και στους Διεθνείς Κώδικες Συστημάτων Πυρασφάλειας του IMO.

2.2 Η φύση και οι ιδιότητες της φωτιάς

2.2.1 Η έννοια της φωτιάς

Η φωτιά μπορεί εύκολα να οριστεί ως μια ανεξέλεγκτη ταχεία οξείδωση μιας ουσίας η οποία ενώνεται με το οξυγόνο με πολύ μεγάλη ταχύτητα (Hasofer, 2007). Στην διαδικασία του φαινομένου αυτού, η παραγόμενη ενέργεια εκλύεται απότομα με την μορφή θερμότητας και φωτός.

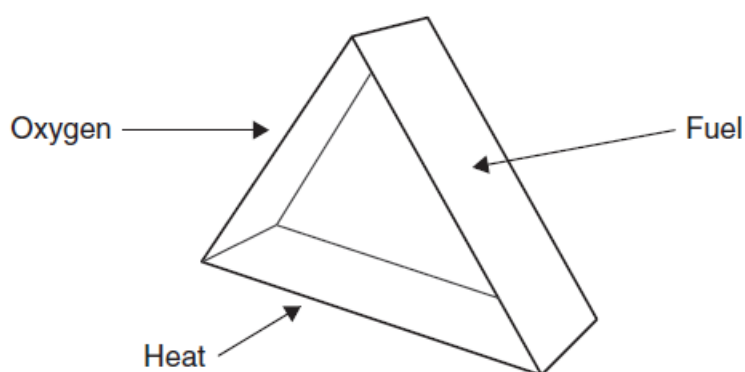
Η σκουριά στο σίδηρο αποτελεί φαινόμενο οξείδωσης αλλά δεν εμφανίζεται φωτιά διότι η οξείδωση αυτή δεν συνοδεύεται από φως. Θερμότητα παράγεται, αλλά είναι τόσο μικρή που δύσκολα μπορεί να μετρηθεί. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε ότι η φωτιά μπορεί να προκληθεί και από χημική αντίδραση μιας ουσίας με χλώριο ή άλλα αέρια. Για τον σκοπό αυτής της εργασίας όμως, θα εξετάσουμε την φωτιά ως αποτέλεσμα της καύσης μιας χημικής ένωσης με το οξυγόνο.

2.2.2 Η κλασική έννοια του τριγώνου της φωτιάς

Όπως καταγράψαμε και πιο πάνω, για να εμφανιστεί φωτιά πρέπει να συνυπάρχουν τρεις παράγοντες (Hasofer, 2007):

- Η καύσιμη ύλη, που σιγά-σιγά θα εξατμιστεί και θα καεί,
- Το οξυγόνο, που θα ενωθεί με τον ατμό της καύσιμης ύλης,
- Και η θερμότητα, που θα αυξήσει την θερμοκρασία του ατμού του καυσίμου στην θερμοκρασία αναφλέξεως του.

Το κλασικό τρίγωνο της φωτιάς είναι μια γραφική απεικόνιση των παραγόντων που συμμετέχουν στην διαδικασία της καύσης, όπως φαίνεται και στην εικόνα 1.



Εικόνα 1 -Τρίγωνο φωτιάς (πηγή:Hasofer.,2007).

Από την παραπάνω απεικόνιση, εύκολα εξάγουμε τα εξής συμπεράσματα:

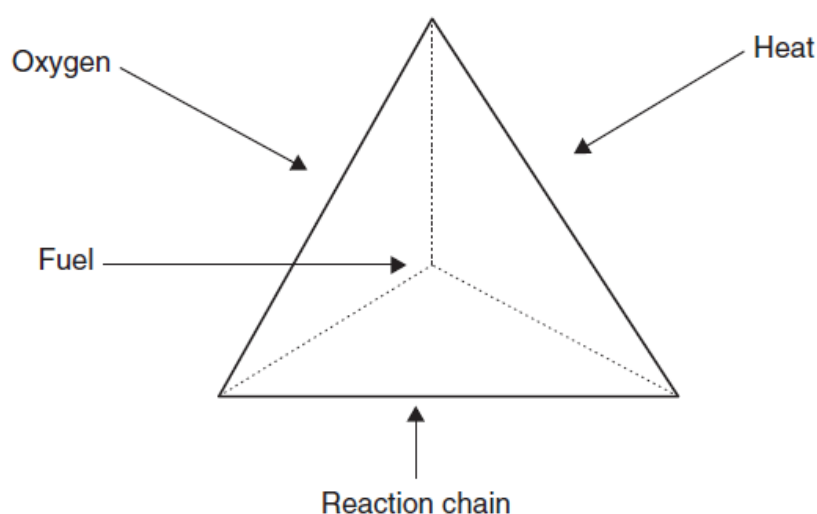
- Εάν δεν υπάρχει κάποια από τις τρεις πλευρές, τότε δεν θα υπάρξει και καύση.
- Εάν απομακρυνθεί οποιαδήποτε πλευρά του τριγώνου, τότε παύει να υπάρχει καύση.

2.2.3 Η έννοια του τετράεδρου της φωτιάς

Πρόσφατες έρευνες έχουν δείξει ότι η διαδικασία της καύσης δεν είναι τόσο απλή όσο περιγράφεται από το τρίγωνο της φωτιάς. Η ύπαρξη ενός τέταρτου παράγοντα, της χημικής αλυσιδωτής αντίδρασης, περιπλέκει την διαδικασία, καθώς την επιταχύνει με πολύ έντονο ρυθμό. Σύμφωνα με την θεωρία της αλυσιδωτής αντίδρασης, η χημική αντίδραση μεταξύ του καυσίμου και του οξυγόνου περιλαμβάνει πολλές ενδιάμεσες αντιδράσεις, κατά τις οποίες παράγονται ελεύθερες ρίζες (παραδείγματος χάριν, ελεύθερες ρίζες άνθρακα και υδρογόνου).

Αυτές οι ελεύθερες ρίζες ενώνονται μεταξύ τους αλλά και με το οξυγόνο με αποτέλεσμα την περαιτέρω έκλυση θερμότητας καθώς και την συνεχή ανατροφοδότηση της αντίδρασης με ελεύθερες ρίζες του καυσίμου.

Σύμφωνα με τον A.M.Hasofer, ο W.M. Haessler διατύπωσε την παραπάνω θεωρία σχετικά με τις χημικές αλυσιδωτές αντιδράσεις, σχηματίζοντας έτσι την έννοια του τετράεδρου της φωτιάς. Ο Haessler προτίμησε να συμβολίσει το μοντέλο αυτό με τετράεδρο και όχι με τετράγωνο, διότι στο τετράεδρο και οι τέσσερις έδρες του είναι παρακείμενες και η κάθε μια συνδέεται με τις άλλες τρεις. Η γραφική απεικόνιση του τετράεδρου της φωτιάς φαίνεται στην εικόνα 2.



Εικόνα 2- Τετράεδρο φωτιάς (πηγή:Hasofer.,2007).

2.3 Τα στάδια ανάπτυξης μιας φωτιάς

Τα στάδια της φωτιάς είναι τα εξής (Hartin 2008):

I. Αρχική ανάφλεξη (Ignition)

Η διάρκεια και ο τύπος της αρχικής ανάφλεξης, εξαρτώνται από την ένταση και το είδος της πηγής, και φυσικά από το είδος του καυσίμου.

Υπάρχουν δύο βασικά είδη αρχικής ανάφλεξης: η προκαθορισμένη (σχεδιασμένη) και η αυθόρμητη. Η αυθόρμητη ανάφλεξη είναι συνήθως αποτέλεσμα συσσωρευμένης θερμότητας σε μια επιφάνεια ή μικρής ενέργειας πηγής ανάφλεξης (π.χ αναμμένο τσιγάρο) (Themelis & Spyrou 2010). Σε αυτού του είδους την ανάφλεξη έχουμε αργή καύση ενώ ο χρόνος που χρειάζεται μέχρι να αναπτυχθεί η φωτιά είναι πολύ μεγάλος. Σε αντίθεση, στην προκαθορισμένη φωτιά που η καύση και η διάδοση της λαμβάνουν χώρα πολύ γρήγορα.

Σε αυτό το στάδιο, έχουμε παραγωγή τοξικών αερίων , όπως μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα, αιθανόλη, άζωτο, υδροκυάνιο κ.α., και εμφάνιση καπνού.

II. Ανάπτυξη φωτιάς (Growth)

Μετά την ανάφλεξη και με την απαιτούμενη ύπαρξη οξυγόνου, ακολουθεί το στάδιο της ανάπτυξης την φωτιάς. Ο ρυθμός ανάπτυξης εξαρτάται κυρίως από τον τύπο και την ποσότητα του διαθέσιμου καυσίμου, και από το είδος της καύσης. Σε αυτό το στάδιο παρουσιάζεται και το φαινόμενο της πλήρους ανάφλεξης, - Flashover-. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται όταν υπάρχει απότομη μετάβαση της φωτιάς σε ολόκληρη την επιφάνεια του εύφλεκτου υλικού. Η εμφάνιση του φαινομένου αυτού εξαρτάται από το φορτίο καυσίμου, την γεωμετρία του διαμερίσματος, τα ανοίγματα του εξαερισμού και τις θερμικές ιδιότητες των ορίων (Hartin 2008). Το φαινόμενο αυτό είναι αρκετά σημαντικό, διότι οδηγεί στο επόμενο στάδιο της πλήρους εκδήλωσης της φωτιάς.

III. Πλήρης εκδήλωση φωτιάς (Fully Developed Fire)

Στο στάδιο της πλήρους εκδήλωσης, η απελευθερούμενη θερμότητα φθάνει σε μια σταθερή τιμή, η οποία συνήθως προσδιορίζεται από την ποσότητα του οξυγόνου στο διαμέρισμα. Στο στάδιο αυτό, η φωτιά θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως πλήρως ελεγχόμενη από τον εξαερισμό. Ο ρυθμός που ο αέρας εισέρχεται στον χώρο από τα ανοίγματα επηρεάζει τον ρυθμό απώλειας της μάζας του καυσίμου. Σε έναν καλά εξαεριζόμενο χώρο, όπου έχουμε περίσσεια οξυγόνου, η μέγιστη τιμή της ενέργειας που απελευθερώνεται καθορίζεται μόνο από την ποσότητα του καυσίμου.

IV. Εξασθένηση Φωτιάς (Decay)

Αμέσως μόλις η συνολική ποσότητα του διαθέσιμου φορτίου καυσίμου καταναλωθεί, ξεκινάει το στάδιο της εξασθένησης (Hartin 2008).

2.4 Ρυθμός έκλυσης Θερμότητας σε έναν κλειστό χώρο - -Heat Release Rate

2.4.1 Περιπλοκότητα περιγραφής της εξέλιξης της φωτιάς

Η εξέλιξη της φωτιάς δεν εξαρτάται μόνο από τις παραμέτρους που χαρακτηρίζουν την ανάφλεξη και την διαδικασία ανάπτυξης της φωτιάς, αλλά και από την απόδοση των εγκατεστημένων συστημάτων και διατάξεων για την ανίχνευση, τον περιορισμό και την καταστολή της φωτιάς, όπως επίσης και από τις αντιδράσεις των επιβαινόντων, την εκπαίδευση του πληρώματος κ.α. Όλοι αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν σημαντικά την πορεία και τις συνέπειες που θα έχει ένα περιστατικό με φωτιά σε ένα πλοίο.

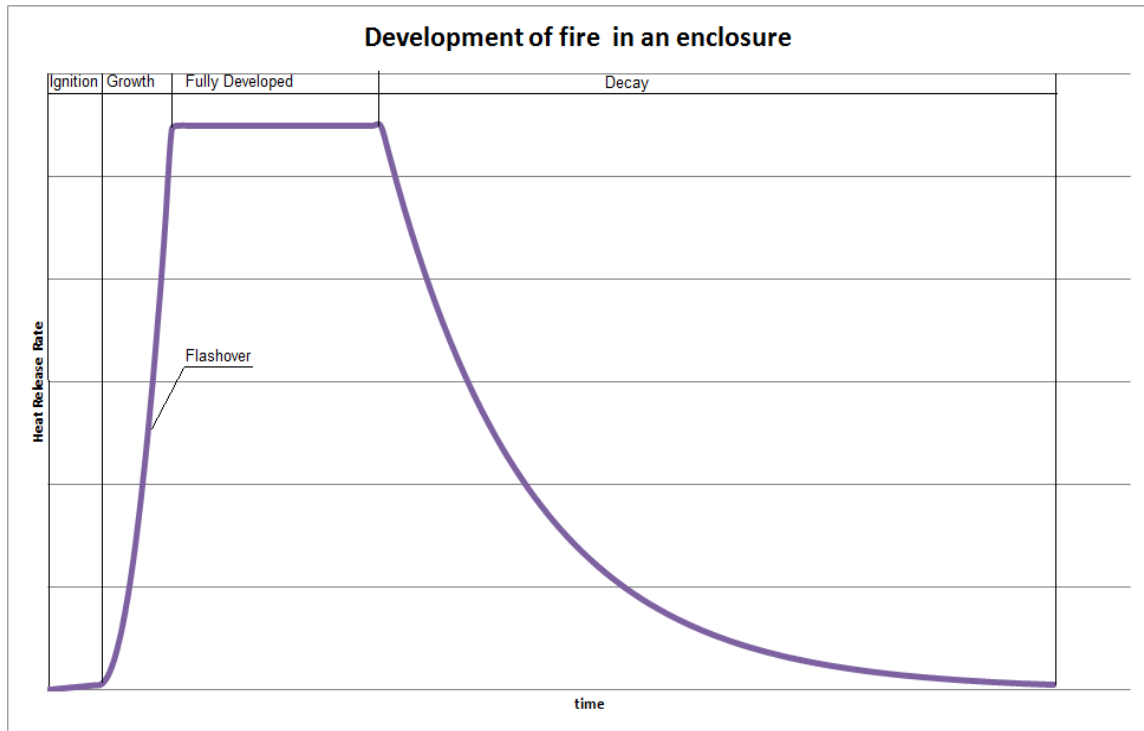
Γι' αυτό το λόγο, η ανάπτυξη ενός μοντέλου που θα περιγράφει ποιοτικά και με σαφήνεια τα στάδια της εξέλιξης της φωτιάς, είναι αναγκαία. Για το λόγο αυτό έχει προκύψει η ιδέα της καμπύλης του ρυθμού έκλυσης θερμότητας- Heat Release Rate curve (HRR)-.

Οι HRR καμπύλες παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην μελέτη της πυρασφάλειας. Περιγράφουν, με απλό τρόπο, όλα τα στάδια της φωτιάς και ενοποιούν ποσοτικές παραμέτρους, όπως, την ένταση της πηγής ανάφλεξης, το φορτίο καυσίμου και το είδος του καυσίμου καθώς και το μέγεθος και την διάρκεια της φωτιάς (Babrauskas & Peacock 1991). Η μορφή μιας τέτοιας καμπύλης καθορίζεται λαμβάνοντας υπόψη τα διάφορα στάδια της φωτιάς (ένταση και διάρκεια κάθε σταδίου), τους περιορισμούς ανάπτυξης λόγω ορίων εξαερισμού, τη μέγιστη τιμή της ενέργειας που απελευθερώνεται και την πιθανή ύπαρξη flashover.

Το σχήμα μιας καμπύλης HRR καθορίζεται από τις εξής παραμέτρους:

- Τον χρόνο που χρειάζεται μέχρι να ξεκινήσει η ανάπτυξη της φωτιάς.
- Τον μέγιστο ρυθμό έκλυσης θερμότητας που επιτυγχάνεται.
- Τον χρόνο που απαιτείται για να επιτευχθεί ο μέγιστος ρυθμός έκλυσης θερμότητας.
- Τους περιορισμούς από τις συνθήκες εξαερισμού, και
- Τον χρόνο στον οποίο ξεκινά η φάση της εξασθένησης της φωτιάς.

Ακολουθεί ένα τυπικό διάγραμμα καμπύλης ρυθμού έκλυσης θερμότητας.



Διάγραμμα 1 -Γενική μορφή διαγράμματος ανάπτυξης της φωτιάς

Η μαθηματική εξίσωση της καμπύλης του ρυθμού έκλυσης της φωτιάς (Themelis & Spyrou,2010) είναι η ακόλουθη:

$$\dot{Q}(t) = \begin{cases} \dot{Q}_{\text{ign}} \times \frac{t}{t_0}, & 0 \leq t \leq t_0 \quad (\text{ignition}) \\ a \times (t - t_0)^2 + \dot{Q}_{\text{ign}}, & t_0 \leq t \leq t_g \quad (\text{growth}) \\ \dot{Q}_{\text{max}}, & t_g \leq t \leq t_d \quad (\text{fully developed}) \\ \dot{Q}_{\text{max}} \times e^{-(t-t_d)/\tau}, & t > t_d \quad (\text{decay}) \end{cases}$$

Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι ο ρυθμός έκλυσης της θερμότητας:

- στο στάδιο της ανάφλεξης είναι πρωτοβάθμια εξίσωση του χρόνου,
- στο στάδιο της ανάπτυξης δευτεροβάθμια,
- στο στάδιο της πλήρους εκδήλωσης σταθερή,
- και τέλος στο στάδιο της εξασθένησης εκθετική.

2.4.2 Μεταβλητές που επηρεάζουν το φαινόμενο της φωτιάς

Οι μεταβλητές και οι παράμετροι που περιγράφουν το φαινόμενο της φωτιάς και μετέχουν στην παραπάνω εξίσωση της καμπύλης HRR, ορίζονται ως εξής (Themelis & Spyrou 2010):

- \dot{Q} (t): είναι ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας , με μονάδα μέτρησης το kW.
- α : είναι η σταθερά ανάπτυξης της φωτιάς (kW/s^2). Η σταθερά αυτή καθορίζει την ένταση του δεύτερου σταδίου της φωτιάς. Τυπικές τιμές της σταθεράς α φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Growth Rate	Design Fire Scenario	Value of α	Characteristic time, t_0 (s)
Slow	Floor coverings	0.00293	600
Medium	Shop counters, office furniture	0.0117	300
Fast	Bedding, displays and padded work-station partitioning	0.0466	150
Ultra-fast	Upholstered furniture and stacked furniture near combustible linings, lightweight furnishings, packing material in rubbish pile, non-fire-retarded plastic foam storage, cardboard of plastic boxes in vertical storage arrangement.	0.1874	75

Πίνακας 1 – Τυπικές τιμές της σταθεράς α , (πηγή: Themelis & Spyrou 2010)

- t_0 : ο χρόνος που χρειάζεται μέχρι να αναπτυχθεί η φωτιά (sec). Ο χρόνος , δηλαδή , που διαρκεί η πρώτη φάση της φωτιάς.
- τ : η σταθερά της εξασθένησης της φωτιάς.
- Q : η κατανομή της πυκνότητας φορτίου φωτιάς (MJ/m^2)
- \dot{Q}_{\max} : η μέγιστη τιμή του ρυθμού έκλυσης θερμότητας (εντοπίζεται στο τρίτο στάδιο της φωτιάς πλήρη εκδήλωση) που εξαρτάται από την ποσότητα και το είδος του καυσίμου.
- A_f : η επιφάνεια του καυσίμου (m^2).
- \dot{Q}_f : ο ρυθμός έκλυσης ενέργειας που απαιτείται για να επιτευχθεί ολική ανάφλεξη - Flashover-. Η τιμή αυτή του HRR εξαρτάται από την γεωμετρία του εξεταζόμενου χώρου, τις θερμικές ιδιότητες των υλικών στα όρια και από τα ανοίγματα εξαερισμού που βρίσκονται στον εξεταζόμενο χώρο.
- \dot{Q}_v : η μέγιστη τιμή του HRR που επιτυγχάνεται όταν η καύση ελέγχεται από τον εξαερισμό. Για να καθοριστεί αυτή η τιμή πρέπει

να έχουν πλήρως προσδιοριστεί όλες οι συνθήκες εξαερισμού στον εξεταζόμενο χώρο.

- t_d : ο χρόνος που ξεκινά το τελευταίο στάδιο,(η εξασθένηση της φωτιάς) (sec). Ο χρόνος αυτό υπολογίζεται θεωρώντας ότι ένα ποσοστό του αναφλέξιμου φορτίου έχει καταναλωθεί.

Με βάση τις παραπάνω παραμέτρους, τα πρώτα βήματα που πρέπει να πραγματοποιηθούν στην διαδικασία του καθορισμού μιας καμπύλης Heat Release Rate είναι:

1. Πλήρης γνώση της γεωμετρίας του εξεταζόμενου χώρου, δηλαδή των διαστάσεων του χώρου, των διαστάσεων των ανοιγμάτων, των επιφανειών του δαπέδου, των τοίχων, των ανοιγμάτων, κ.α.
2. Καθορισμός των ομάδων των εύφλεκτων υλικών μέσα στον χώρο και των ιδιοτήτων τους. Παραδείγματος χάριν, πλαστικά, ξύλο, υφάσματα, χαρτιά κ.α
3. Υπολογισμός του αναφλέξιμου φορτίου, fire load.

2.4.3 Fire Load Density-Fuel load density

Μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους της καμπύλης HRR είναι το αναφλέξιμο φορτίο– fire load, FL (MJ)-.

Το αναφλέξιμο φορτίο -fire load FL (MJ)-, ορίζεται ως το άθροισμα της συνολικής ενέργειας που μπορεί να ελευθερωθεί από όλα τα διαθέσιμα εύφλεκτα υλικά σε έναν χώρο όταν καίγονται (Zalok, 2009).

Η πυκνότητα του αναφλέξιμου φορτίου (fire load density) ορίζεται ως ο λόγος του συνολικού αναφλέξιμου φορτίου Q (MJ) προς το εμβαδόν του χώρου στον οποίον λαμβάνει χώρα η φωτιά. Το μέγεθος αυτό αποτελεί έναν τρόπο μέτρησης της ενέργειας που μπορεί να ελευθερωθεί από την καύση όλων των εύφλεκτων υλικών του χώρου. Οι μονάδες μέτρησης του είναι MJ/m².

Για να υπολογίσουμε την πυκνότητα αναφλέξιμου φορτίου (FLD - Q"), θα χρησιμοποιήσουμε τον παρακάτω τύπο:

$$Q''(MJ/m^2) = Fuel Load Density \times \sum \frac{m_i}{m_{total}} \times h_i$$

Όπου: m_i , είναι η στοιχειώδης εύφλεκτη μάζα (kg)

m_{total} , είναι η συνολική εύφλεκτη μάζα (kg)

h_i , είναι η θερμική αξία της στοιχειώδους μάζας (MJ/kg)

fuel load density, είναι η πυκνότητα του φορτίου καυσίμου (kg/m^2)

Παρατηρώντας τις παραπάνω μεταβλητές, βλέπουμε ότι για να υπολογίσουμε την πυκνότητα του αναφλέξιμου φορτίου πρέπει να υποθέσουμε ότι κάθε διαμέρισμα περιλαμβάνει ομάδες από εύφλεκτα υλικά (στοιχειώδη m_i). Η συνολική μάζα των εύφλεκτων αυτών υλικών (m_{total}) μέσα στον χώρο ονομάζεται φορτίο καυσίμου –fuel load (kg). Αντί όμως να χρησιμοποιήσουμε τον όρο φορτίο καυσίμου, χρησιμοποιούμε τον όρο πυκνότητα φορτίου καυσίμου- fuel load density (kg/m^2).

Σύμφωνα με το MSC/Circ. 1003 του IMO, fuel load density ορίζεται ως η συνολική μάζα των εύφλεκτων υλικών που βρίσκονται μέσα σε έναν χώρο ανα μονάδα επιφάνειας. Συγκεκριμένα:

$$TCMPA = M_{CMBST}/A$$

Όπου,

TCMPA: η πυκνότητα φορτίου καυσίμου, fuel load density, kg/m^2

M_{CMBST} : η συνολική μάζα των εύφλεκτων υλικών μέσα στον χώρο (kg)

A: η επιφάνεια δαπέδου στον χώρο (m^2)

Οι ομάδες υλικών που πρέπει να περιλαμβάνονται στον υπολογισμό του fuel load density, σύμφωνα με το MSC/Circ. 1003, είναι:

- δομικά υλικά, όπως, μόνωση καλωδίων, πλαστικοί σωλήνες, σανίδες και οποιοδήποτε άλλο καύσιμο υλικό που επιτρέπεται να χρησιμοποιηθεί από τους σχετικούς κανονισμούς της SOLAS Κεφάλαιο II-2.
- ο εξοπλισμός που πρέπει να εγκατασταθεί κατά την διάρκεια της κατασκευής.
- ο εξοπλισμός που παρέχεται για το πλήρωμα και τους επιβάτες, όπως έπιπλα, ηλεκτρικές συσκευές, κ.α.

Με βάση το MSC/Circ. 1003 του IMO, παρέχονται κάποιες ενδεικτικές μέγιστες τιμές του fuel load density για τους χώρους διαμονής και υπηρεσίας σε επιβατηγά πλοία. Αυτές οι τιμές καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα:

Type of space	Passenger ships carrying more than 36 passengers	Passenger ships carrying not more than 36 passengers	Cargo ships
Stairways, corridors	5 kg/m ²	5 kg/m ²	5 kg/m ²
Control stations	5 kg/m ²	5 kg/m ²	5 kg/m ²
Accommodation spaces	Minor fire risk 15 kg/m ²	35 kg/m ²	35 kg/m ²
	Moderate fire risk 35 kg/m ²		
	Greater fire risk 35 kg/m ²		
Service spaces surrounded by "A" class divisions	45 kg/m ²	45 kg/m ²	45 kg/m ²

Πίνακας 2 - Τιμές του fuel load density Με βάση το MSC/Circ. 1003 του IMO

Παρατηρώντας τις τιμές του fuel load density στον πίνακα παραπάνω, για επιβατηγά πλοία που μεταφέρουν περισσότερους από 36 επιβάτες, βλέπουμε ότι τα όρια για τους χώρους ενδιαίτησης είναι 15 με 35 kg/m².

2.5 Πρότυπη δοκιμή φωτιάς

Σύμφωνα με την SOLAS 2009 στο κεφάλαιο II-2, ορίζεται ως πρότυπη δοκιμή φωτιάς (standard fire test), μια δοκιμή, κατά την οποία, δείγματα που έχουν ληφθεί από τις φρακτές και τα καταστρώματα προς εξέταση τοποθετούνται σε ειδικό κλίβανο με θερμοκρασίες που εύκολα προσεγγίζονται από την πρότυπη καμπύλη χρόνου – θερμοκρασίας.

Η πρότυπη καμπύλη χρόνου φωτιάς, καθορίστηκε με βάση το Αυστραλιανό Πρότυπο AS1530.4 (American Society for Testing and Materials, 2005), ως εξής:

$$T = T_0 + 345 \times \log_{10}(8 \times t + 1)$$

Όπου:

T= η θερμοκρασία του κλιβάνου σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, σε βαθμούς Κελσίου,

T₀= η θερμοκρασία του κλιβάνου την χρονική στιγμή μηδέν, σε βαθμούς Κελσίου,

t= ο χρόνος μετρούμενος από την αρχική ανάφλεξη, σε λεπτά.



Διάγραμμα 2 -Καμπύλη πρότυπης δοκιμής φωτιάς

Στο πρότυπο τεστ φωτιάς πρέπει να υποβάλλονται τα διαχωριστικά μεταξύ των διαφόρων διαμερισμάτων (μεταξύ καμινών, μεταξύ κύριων οριζόντιων και κατακόρυφων ζωνών, μεταξύ των χώρων φορτίου κ.α.). Τα διαχωριστικά προς εξέταση πρέπει να έχουν εκτεθειμένη επιφάνεια τουλάχιστον $4,65 \text{ m}^2$ και ύψος ίσο με $2,40 \text{ m}$, και να είναι τάξης Α, Β και C.

Κεφάλαιο 3

Βασικοί κανόνες και κανονισμοί σχετικά με την ασφάλεια έναντι πυρκαγιάς

3.1 Εισαγωγικά στοιχεία για τους κανονισμούς σχετικά με την πυρασφάλεια

Υπάρχουν πολλές διεθνείς απαιτήσεις σχετικά με θέματα ασφάλειας στο θαλάσσιο χώρο. Είναι γενικώς αποδεκτό όμως, ότι η απόλυτη προστασία σε περίπτωση πυρκαγιάς δεν υπάρχει.

Οι κατευθυντήριοι άξονες που διέπουν τους κανονισμούς πυρασφάλειας είναι η απομόνωση- με την χρήση διαχωριστικών τμημάτων- των χώρων με μεγαλύτερη πιθανότητα εκδήλωσης φωτιάς (μεγαλύτερος κίνδυνος ανάφλεξης) και των χώρων ενδιαιτήσεων. Με την απομόνωση αυτών των χώρων η πυρκαγιά περιορίζεται σε μεγάλο βαθμό στον αρχικό χώρο εκδήλωσης της και αντιμετωπίζεται αποτελεσματικότερα. Παράλληλα δε, προστατεύονται οι επιβάτες και το πλήρωμα.

Από όλους τους κανονισμούς θα ασχοληθούμε με τους κανονισμούς της SOLAS και του International Code for Fire Safety System (FSS). Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε ότι οι εν λόγω κανονισμοί ασχολούνται επιπλέον με ζητήματα ευστάθειας και εκκένωσης του πλοίου που μπορούν να προκληθούν εξαιτίας ή κατά την αντιμετώπιση της φωτιάς.

3.2 SOLAS

3.2.1 Γενικά σχετικά με τους Κανονισμούς

Η σημαντικότερη σύμβαση είναι η SOLAS (Safety Of Life At Sea –Διεθνής Σύμβαση για την Ασφάλεια της Ανθρώπινης Ζωής στην Θάλασσα). Η πρώτη εκδοση της έγινε το 1914 και η αιτία ήταν η βύθιση του Τιτανικού στις 14/4/1912. Η δεύτερη έκδοση έγινε το 1929, ακολούθησε η τρίτη το 1948 ,η τέταρτη 1960 και η τελευταία αναθεώρηση του έγινε το 1974.

Η SOLAS περιλαμβάνει σειρά μέτρων που στόχο έχουν την ασφαλή λειτουργία των πλοίων, από την σκοπιά της προστασίας της ανθρώπινης ζωής (Σπύρου, 2010). Αποτελείται από 12 κεφάλαια , καθένα από τα οποία διαπραγματεύεται μια ομάδα ζητημάτων ναυτικής ασφάλειας.

Εμείς θα ασχοληθούμε με τους κανονισμούς που καταγράφονται στο κεφάλαιο II-2: Κατασκευή- Πυροπροστασία, Ανίχνευση και Κατάσβεση Πυρκαγιάς Τα επιμέρους μέρη του κεφαλαίου είναι:

- A. Γενικά-General.
- B. Πρόληψη φωτιάς και έκρηξης- Prevention of fire and explosion.
- C. Καταστολή φωτιάς-Suppression of fire.
- D. Διαφυγή-Escape.
- E. Λειτουργικές απαιτήσεις-Operational Requirements.
- F. Εναλλακτικός σχεδιασμός και διατάξεις-Alternative design and arrangements.
- G. Ειδικές απαιτήσεις- Special requirements.

3.2.2 Βασικοί στόχοι της SOLAS σχετικά με την πυρασφάλεια

Οι βασικοί στόχοι της πυρασφάλειας είναι:

- Η πρόληψη της εκδήλωσης της πυρκαγιάς και της έκρηξης.
- Η ελαχιστοποίηση του κινδύνου για την ανθρώπινη ζωή που μπορεί να προκληθεί από την φωτιά.
- Η ελαχιστοποίηση των ζημιών που μπορούν να προκληθούν από την εκδήλωση φωτιάς στο πλοίο, στο φορτίο και στο περιβάλλον.
- Ο περιορισμός, ο έλεγχος και η καταστολή της πυρκαγιάς στον χώρο εκδήλωσης της.
- Η παροχή επαρκών και εύκολων προσπελάσιμων μέσων διαφυγής για τους επιβάτες και το πλήρωμα.

3.2.3 Λειτουργικές απαιτήσεις της SOLAS σχετικά με την πυρασφάλεια

Με σκοπό να επιτευχθούν οι στόχοι που περιγράφηκαν παραπάνω, η SOLAS έχει ενσωματώσει στους κανονισμούς της και κάποιες απαιτήσεις- βασικές αρχές που πρέπει να ικανοποιούνται. Αυτές οι αρχές είναι οι εξής:

- Διαμερισματοποίηση του πλοίου σε κύριες κατακόρυφες ζώνες με θερμικά και κατασκευαστικά όρια.
- Διαχωρισμός των χώρων ενδιαίτησης από το υπόλοιπο πλοίο με θερμικά και κατασκευαστικά όρια.
- Περιορισμένη χρήση εύφλεκτων υλικών.
- Ανίχνευση οποιασδήποτε πυρκαγιάς στο χώρο εκδήλωσης της.
- Περιορισμός και εξάλειψη της πυρκαγιάς στο χώρο εκδήλωσης της.
- Προστασία των διόδων διαφυγής και εύκολη πρόσβαση στα μέσα πυρόσβεσης.
- Άμεση διαθεσιμότητα συστημάτων πυρόσβεσης.
- Ελαχιστοποίηση της πιθανότητας ανάφλεξης ατμών υγρού.

3.3 International Code for Fire Safety System (FSS)

Ο Διεθνής Κώδικας Συστημάτων Πυρασφάλειας (International Code for Fire Safety System - FSS) έχει σαν στόχο να παρέχει διεθνή πρότυπα για τα συστήματα πυρασφάλειας που απαιτεί η SOLAS στο κεφάλαιο II-2. Ο κώδικας περιλαμβάνει δεκαπέντε κεφάλαια:

- 1) Γενικά
- 2) Διεθνείς συνδέσεις ξηράς
- 3) Προστασία προσωπικού
- 4) Πυροσβεστήρες
- 5) Σταθερά πυροσβεστικά συστήματα αερίου
- 6) Σταθερά πυροσβεστικά συστήματα αφρού
- 7) Σταθερά συστήματα ψεκασμού νερού υπό πίεση και συστήματα ψεκασμού νέφους νερού
- 8) Αυτόματοι καταιονιστήρες, εντοπισμός φωτιάς και συναγερμός
- 9) Σταθερά συστήματα εντοπισμού φωτιάς και συναγερμού
- 10) Συστήματα εντοπισμού καπνού μέσω λήψης δείγματος
- 11) Φωτισμός χαμηλού επιπέδου
- 12) Σταθερές αντλίες φωτιάς έκτακτης ανάγκης
- 13) Διάταξη των μέσων διαφυγής
- 14) Σταθερά συστήματα αφρού στο κατάστρωμα
- 15) Συστήματα inert gas (αδρανοποίησης εκρηκτικής ατμόσφαιρας)

3.4 Βασικοί Ορισμοί κατά τον κανονισμό 3 του κεφαλαίου II-2 της SOLAS

Στο χωρίο αυτό καταγράφονται κάποιοι ορισμοί έτσι όπως αναφέρονται στον κανονισμό 3 του κεφαλαίου II-2 της SOLAS 2009.

- *Χώροι Ενδιαιτήσεως (Accommodation spaces)* είναι όλοι εκείνοι οι κοινόχρηστοι χώροι του πλοίου που χρησιμοποιούνται από τους επιβάτες, όπως: οι διάδρομοι, τουαλέτες, καμπίνες, γραφεία, νοσοκομεία, χώροι παιχνιδιού και άλλοι παρόμοιοι χώροι.
- *Άκαυστα υλικά (Non-combustible material)* είναι τα υλικά τα οποία ούτε καίγονται ούτε εκλύουν εύφλεκτους ατμούς σε επαρκή ποσότητα για αυτανάφλεξη όταν θερμαίνονται περίπου στους 750°C. Κάτι τέτοιο καθορίζεται σύμφωνα με τον Κώδικα Διαδικασιών Δοκιμών Φωτιάς.
- Δωμάτια που περιέχουν επίπλωση και εξοπλισμό περιορισμένου κινδύνου φωτιάς (*Rooms containing furniture and furnishings of restricted fire risk*) είναι τα δωμάτια εκείνα στα οποία:
 - Τα έπιπλα, όπως έδρανα, γραφεία, κομοδίνα, ντουλάπες είναι κατασκευασμένα από εγκεκριμένα άκαυστα υλικά.
 - Τα κινούμενα έπιπλα, όπως καρέκλες, καναπέδες, τραπέζια είναι κατασκευασμένα από πλαίσια άκαυστων υλικών.
 - Υφάσματα τοίχου, κουρτίνες και άλλα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα έχουν ιδιότητες αντοχής στην διάδοση της φλόγας που δεν είναι κατώτερες από αυτές του μαλλιού (0,8 kg/m). Αυτό καθορίζεται από τον Κώδικα Διαδικασιών Δοκιμών Φωτιάς (Fire Test Procedures Code).
 - Οι επενδύσεις δαπέδου έχουν χαρακτηριστικά χαμηλής εξάπλωσης φλόγας (βλέπε ορισμό χαμηλής εξάπλωσης φλόγας - low flame spread).
 - Οι εκτεθειμένες επιφάνειες των διαχωριστικών, των επενδύσεων και των οροφών έχουν χαρακτηριστικά χαμηλής εξάπλωσης φλόγας (βλέπε ορισμό χαμηλής εξάπλωσης φλόγας - low flame spread).
 - Οι επικαλύψεις των επίπλων έχουν ιδιότητες αντοχής στην ανάφλεξη και στη διάδοση της φλόγας τέτοιες όπως καθορίζονται από τον Κώδικα Διαδικασιών Δοκιμών Φωτιάς (Fire Test Procedures Code).
 - Τα συστατικά του στρώματος των κρεβατιών έχουν ιδιότητες αντοχής στην ανάφλεξη και στην διάδοση της φλόγας τέτοιες όπως καθορίζονται από τον Κώδικα Διαδικασιών Δοκιμών Φωτιάς (Fire Test Procedures Code).

- *Κεντρικός σταθμός ελέγχου (Central Control Station)* είναι ένας σταθμός ελέγχου όπου παρευρίσκονται τα εξής συστήματα λειτουργιών :
 - Μόνιμο σύστημα πυρανίχνευσης και συναγερμού πυρκαγιάς
 - Αυτόματο σύστημα ψεκαστήρων,
 - Πάνελ δεικτών και αυτόματο κλείσιμο θυρών φωτιάς,
 - Πάνελ δεικτών και αυτόματο κλείσιμο υδατοστεγών θυρών
 - Ανεμιστήρες εξαερισμού,
 - Συναγερμός πυρκαγιάς,
 - Συστήματα επικοινωνίας (συμπεριλαμβανομένου των τηλεφώνων) καθώς επίσης και συστήματα μικροφώνων για καθοδήγηση.

- *Κοινόχρηστοι χώροι (Public spaces)* είναι οι χώροι εκείνοι των ενδιατήσεων, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ως τραπεζαρίες, σαλόνια, αίθουσες ψυχαγωγίας και άλλα.

- *Κύριες Κατακόρυφες Ζώνες (Main Vertical Zones)* είναι εκείνα τα τμήματα στα οποία η γάστρα, οι υπερκατασκευές και τα υπερστεγάσματα χωρίζονται με διαχωριστικά “Α” τάξης. Το μέσο μήκος και πλάτος των ζωνών δεν μπορεί να ξεπερνά τα 40 μέτρα.

- *Κώδικας Συστημάτων Πυρασφάλειας (Fire Safety Systems Code)* είναι ο Διεθνής Κώδικας για τα συστήματα πυρασφάλειας, έτσι όπως εγκρίθηκε από την επιτροπή Θαλάσσιας Ασφάλειας του Οργανισμού (Maritime Safety Committee) με την απόφαση MSC.98(73), η οποία ενδέχεται να τροποποιηθεί από τον Οργανισμό υπό την προϋπόθεση ότι οι εν λόγω τροπολογίες θα εγκριθούν, θα τεθούν σε ισχύ και θα εφαρμοστούν σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου VIII της σύμβασης που αφορά τις διαδικασίες τροποποίησης.

- *Κώδικας Διαδικασιών Δοκιμών Φωτιάς (Fire Test Procedures Code)* είναι ο Διεθνής Κώδικας εφαρμογής των διαδικασιών δοκιμής φωτιάς, έτσι όπως εγκρίθηκε επιτροπή Θαλάσσιας Ασφάλειας του Οργανισμού (Maritime Safety Committee) με την απόφαση MSC.61 (67), η οποία ενδέχεται να τροποποιηθεί από τον Οργανισμό υπό την προϋπόθεση ότι οι εν λόγω τροπολογίες θα εγκριθούν, θα τεθούν σε ισχύ και θα εφαρμοστούν σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου VIII της σύμβασης που αφορά τις διαδικασίες τροποποίησης.

- *Πρότυπη Δοκιμή Φωτιάς (Standard Fire Test)*, είναι μια δοκιμή, κατά την οποία, δείγματα που έχουν ληφθεί από τις φρακτές και τα καταστρώματα

προς εξέταση τοποθετούνται σε ειδικό κλίβανο με θερμοκρασίες που εύκολα προσεγγίζονται από την πρότυπη καμπύλη χρόνου – θερμοκρασίας (η οποία καθορίζεται από τον Κώδικα Διαδικασιών Τεστ Φωτιάς -Fire Test Procedures Code-).

- Σημείο Ανάφλεξης (Flashpoint) είναι η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου (σε δοκιμή κλειστού δοχείου), στην οποία το σώμα εκπέμπει αρκετούς εύφλεκτους ατμούς ώστε να αναφλεγεί.
- Χαμηλή εξάπλωση φλόγας (Low flame-spread) σημαίνει ότι η επιφάνεια στην οποία βρίσκεται φωτιά, μπορεί να περιορίζει επαρκώς την εξάπλωση της φλόγας, κάτι τέτοιο καθορίζεται από τον Κώδικα διαδικασιών δοκιμών Φωτιάς.

Υπάρχουν τριών ειδών διαχωριστικά που χρησιμοποιούνται μεταξύ καμινών, μεταξύ κυρίων οριζόντιων και κάθετων ζωνών, μεταξύ του μηχανοστασίου και ενός χώρου φορτίου, μεταξύ χώρων φορτίου, οι τύποι της τάξεως “A”, “B”, “C”. Παραθέτονται παρακάτω οι τρεις ορισμοί των διαχωριστικών:

- Διαχωριστικά “A” τάξεως (“A” class divisions) : είναι τα διαχωριστικά που σχηματίζονται από φρακτές και καταστρώματα, και συμμορφώνονται με τα ακόλουθα κριτήρια:
 1. Είναι κατασκευασμένα από χάλυβα ή άλλο ισοδύναμο υλικό (ως προς τις ιδιότητες του).
 2. Είναι καταλλήλως ενισχυμένα.
 3. Είναι μονωμένα με εγκεκριμένα μη αναφλέξιμα υλικά έτσι ώστε η μέση θερμοκρασία της μη εκτεθειμένης επιφάνειας να μην ξεπεράσει τους 140°C πάνω από την αρχική θερμοκρασία , και η μέση θερμοκρασία σε οποιοδήποτε άλλο σημείο, συμπεριλαμβανομένων των συνδέσεων, να μην ξεπεράσει τους 180 °C πάνω από την αρχική θερμοκρασία, εντός των χρονικών πλαισίων που καταγράφονται παρακάτω:

Class “A-60” → 60 λεπτά

Class “A-30” → 30 λεπτά

Class “A-15” → 15 λεπτά

Class “A-0” → 0 λεπτά

4. Είναι κατασκευασμένα έτσι ώστε να εμποδίζουν τη διέλευση του καπνού και της φλόγας για μια ώρα από την έναρξη του προτύπου τεστ φωτιάς.
 5. Η σημαία απαιτεί ένα τέστ μιας προτύπου φρακτής ή ενός καταστρώματος, ώστε να βεβαιωθεί ότι ικανοποιεί τις απαιτήσεις ακεραιότητας και αύξησης της θερμοκρασίας.
- Διαχωριστικά “B” τάξεως (“B” class divisions) : είναι τα διαχωριστικά που σχηματίζονται από φρακτές, καταστρώματα, οροφές ή ενισχυτικά, και συμμορφώνονται με τα ακόλουθα κριτήρια:
1. Είναι κατασκευασμένα από εγκεκριμένα μη αναφλέξιμα υλικά , όπως είναι και όλα τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή και τοποθέτηση τμημάτων κλάσης “B” , με εξαίρεση το καύσιμο υλικό καπλαμά που επιτρέπεται να χρησιμοποιηθεί με την προϋπόθεση ότι ικανοποιούνται όλες οι άλλες απαιτήσεις.
 2. Έχουν μονωτική ικανότητα τέτοια ώστε η μέση θερμοκρασία της μη εκτεθειμένης επιφάνειας να μην ξεπεράσει τους 140 °C πάνω από την αρχική θερμοκρασία , και η μέση θερμοκρασία σε οποιοδήποτε άλλο σημείο, συμπεριλαμβανομένων των συνδέσεων, να μην ξεπεράσει τους 225 °C πάνω από την αρχική θερμοκρασία, εντός των χρονικών πλαισίων που καταγράφονται παρακάτω:
 Class “B-15” → 15 λεπτά
 Class “B-0” → 0 λεπτά
 3. Είναι κατασκευασμένα έτσι ώστε να εμποδίζουν τη διέλευση της φλόγας για μισή ώρα από την έναρξη του προτύπου τεστ φωτιάς.
 4. Η σημαία απαιτεί ένα τέστ ενός προτύπου διαχωριστικού, ώστε να βεβαιωθεί ότι ικανοποιεί τις απαιτήσεις ακεραιότητας και αύξησης της θερμοκρασίας.
- Διαχωριστικά “C” τάξεως (“C” class divisions) : είναι διαχωριστικά κατασκευασμένα από εγκεκριμένα μη αναφλέξιμα υλικά. Δεν χρειάζεται να ικανοποιούν τις απαιτήσεις σχετικά με την διέλευση καπνού ή φλόγας, και με την αύξηση της θερμοκρασίας. Το καύσιμο υλικό καπλαμά επιτρέπεται να χρησιμοποιηθεί με την προϋπόθεση ότι πληρούνται όλες οι άλλες απαιτήσεις.

Κεφάλαιο 4^ο

Αριθμητικά Μοντέλα για Μοντελοποίηση και Οπτικοποίηση Πυρκαγιών

4.1 Εισαγωγή

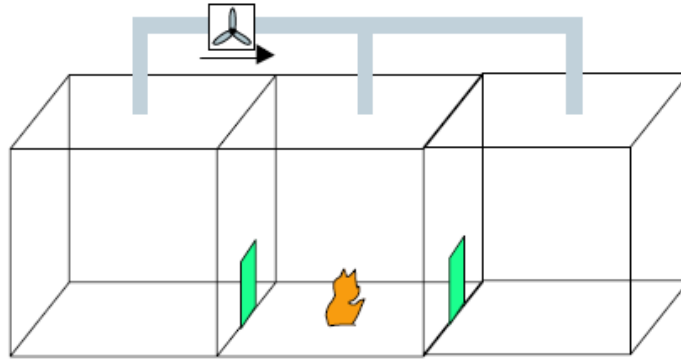
Όταν αναφερόμαστε σε μοντελοποίηση και προσομοίωση μιας πυρκαγιάς εννοούμε την μαθηματική-αριθμητική μοντελοποίηση όλων των σταδίων ανάπτυξης μιας φωτιάς, βασιζόμενη στους φυσικούς νόμους.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήσαμε το Fire Dynamics Simulator και το Smokeview. Στις επόμενες σελίδες του κεφαλαίου αυτού, θα ασχοληθούμε με την περιγραφή των παραπάνω λογισμικών, κάνοντας μια περιληπτική αναφορά τόσο στο μαθηματικό τους μέρος όσο και στην πορεία ανάπτυξης τους κατά την διάρκεια των χρόνων.

4.2 Είδη Μοντελοποίησης

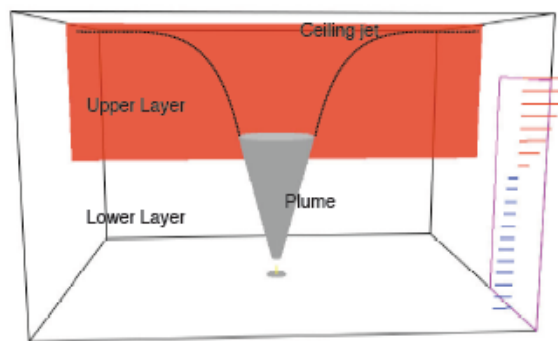
Υπάρχουν τρία είδη προσέγγισης στη μοντελοποίηση των πυρκαγιών, τα οποία περιγράφουν την πυρκαγιά σαν μια διαδικασία που εξελίσσεται στο χρόνο και στις τρεις διαστάσεις (McGrattam et al.2010). Τα τρία είδη μοντελοποίησης είναι:

1. Δικτυακά (Αναλυτικά) Μοντέλα (Network Models). Στα μοντέλα αυτά καθοριστική ρόλο παίζει η έννοια του κόμβου. Ως κόμβος θεωρείται κάθε εξεταζόμενος χώρος (πχ διαμέρισμα). Η ένωση των κόμβων δημιουργεί ένα δίκτυο μέσω του οποίου πραγματοποιείται η ανταλλαγή πληροφοριών που προσδιορίζει την εξέλιξη της φωτιάς (Floyd et al.2005).



Εικόνα 3 – Δικτυακό Μοντέλο (Network Model)

2. Διζωνικά Μοντέλα (Two-Zone Models). Στα διζωνικά μοντέλα κάθε διαμέρισμα χωρίζεται σε δύο ζώνες, την άνω και την κάτω ζώνη (Upper- Lower Zone), οι οποίες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους μέσω των εξισώσεων ροής.



Εικόνα 4 – Διζωνικό Μοντέλο (Two-Zone Model)

Τα μοντέλα αυτά είναι πιο πολύπλοκα από τα μοντέλα του προηγούμενου είδους, και τα αποτελέσματά τους είναι πιο ρεαλιστικά. Σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι δεν έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ (Jones, 2007).

3. Υπολογιστικά μοντέλα Ρευστομηχανικής (Computational fluid dynamics models-CFD). Τα μοντέλα αυτά λύνουν τρισδιάστατες διαφορικές εξισώσεις ροής με διάφορα επίπεδα πολυπλοκότητας. Χωρίζουν τον χώρο που εξετάζουμε σε εκατομμύρια όγκους ελέγχου, με αποτέλεσμα να έχουμε μια πολύ λεπτομερή πρόβλεψη για την ροή (Wendt, 2009). Μεγάλο μειονέκτημα αυτών των προγραμμάτων είναι ότι αδυνατούν να παρέχουν μια γρήγορη ανάλυση της

κατάστασης φωτιάς, διότι τα CFD μοντέλα προσεγγίζουν με μεγάλη λεπτομέρεια και ακρίβεια της εξεταζόμενη κατάσταση. Κώδικες του CFD μπορεί να χρειαστούν βδομάδες για να παρέχουν στον χρήστη τα ζητούμενα αποτελέσματα (McGrattam, 2010).

4.3 Αβεβαιότητα Προγραμμάτων

Η διαδικασία της αξιολόγησης και αξιοπιστίας των αριθμητικών μοντέλων είναι ζωτικής σημασίας, διότι καθορίζει τις αποδεκτές χρήσεις αλλά και τους περιορισμούς κάθε μοντέλου προσομοίωσης μιας πυρκαγιάς.

Για να ελεγχθεί η αβεβαιότητα του κάθε μοντέλου χρειάζεται να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της επικύρωσης (validation). Για να επικυρωθεί ένα μοντέλο υπάρχουν διάφοροι οδηγοί που έχουν σαν στόχο να παρέχουν μια μεθοδολογία για την αξιολόγηση των δυνατοτήτων πρόβλεψης του κάθε μοντέλου για μια συγκεκριμένη χρήση. Αυτό σημαίνει ότι αν ένα μοντέλο επικυρωθεί για μια εφαρμογή, δεν συνεπάγεται ότι το μοντέλο έχει γενική επικύρωση και για άλλα σενάρια.

Σύμφωνα με τον κανονισμό ASTM E1355 (American Society for Testing and Materials), επικύρωση ορίζεται ως η διαδικασία κατά την οποία καθορίζεται ο βαθμός στον οποίο μια μέθοδο υπολογισμού είναι ακριβής αντιπροσώπευση του πραγματικού κόσμου. Κάτι τέτοιο επιτυγχάνεται μέσω μιας συγκριτικής μελέτης μεταξύ των αποτελεσμάτων του μοντέλου υπολογισμού και των αντίστοιχων αποτελεσμάτων από πειράματα πραγματικής κλίμακας.

Η διαδικασία επικύρωσης με βάση τον κανονισμό ASTM E1355 για την αξιολόγηση των μοντέλων πρόβλεψης πυρκαγιάς είναι (Jones, 2009):

- Καθορισμός του μοντέλου και των σεναρίων για τα οποία πρέπει να πραγματοποιηθεί η αξιολόγηση.
- Αξιολόγηση της καταλληλότητας της θεωρητικής βάσης και των παραδοχών που χρησιμοποιήθηκαν από το πρόγραμμα.

- Αξιολόγηση της μαθηματικής και αριθμητικής δομής του προγράμματος.
- Ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας και της ακρίβειας των αποτελεσμάτων του μοντέλου στην πορεία της πρόβλεψης των γεγονότων και σε άλλες όμοιες περιπτώσεις.

4.4 Περιγραφή των προγραμμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία

4.4.1 Fire Dynamics Simulator -FDS

4.4.1.1 Εισαγωγικά

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την παρούσα διπλωματική εργασία ονομάζεται Fire Dynamics Simulator (FDS) και είναι ένα υπολογιστικό μοντέλο ρευστομηχανικής (Computational Fluid Dynamics-CFD). Αναπτύχθηκε από το Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας της Αμερικής (National Technical Institute of Standards and Technology-NIST-).

Πρόκειται για ένα μοντέλο το οποίο λύνει εξισώσεις Navier-Stokes για ροές με μικρή ταχύτητα, με έμφαση στον καπνό και τη μεταφορά θερμότητας από μια φωτιά.

4.4.1.2 Ιστορική Αναδρομή

Από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 και συνεχίζοντας στην δεκαετία του 1990, οι ερευνητές Howard Baum και Ron Rehm του Εθνικού Ινστιτούτου Προτύπων και Τεχνολογίας της Αμερικής (National Technical Institute of Standards and Technology-NIST-) ανέπτυξαν το βασικό μοντέλο ροής. Το πρώτο αυτό μοντέλο, είχε το όνομα LES, "Large Eddy Simulation" και στην πορεία των χρόνων εξελίχθηκε στο FDS "Fire Dynamics Simulator" .

Η πρώτη έκδοση του FDS δημοσιεύτηκε τον Φεβρουάριο του 2000. Μέχρι τον Ιούλιο του 2004 είχαν κυκλοφορήσει και άλλες τρεις εκδόσεις του μοντέλου.

Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκε η πέμπτη έκδοση του FDS, η οποία κυκλοφόρησε τον Οκτώβριο του 2007 (McGrattam, 2010).

Με την κυκλοφορία της πέμπτης έκδοσης εγκαινιάστηκε και η πρώτη ανοικτή ομάδα συζήτησης στο διαδίκτυο. Στόχος της ομάδας αυτής είναι, μέσω της συζήτησης μεταξύ των χρηστών του FDS να οδηγούμαστε σε συχνές αναθεωρήσεις του μοντέλου.

4.4.1.3 Περιγραφή του Προγράμματος

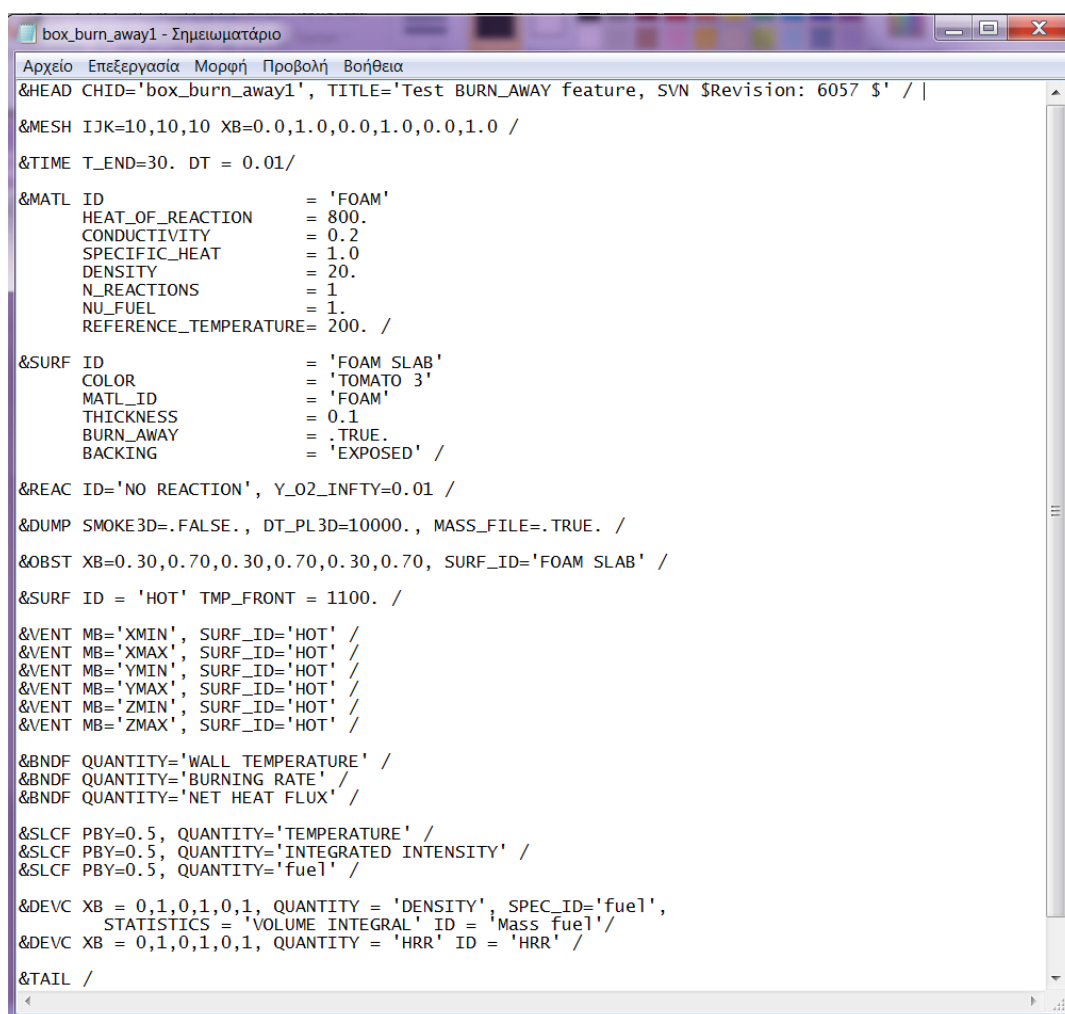
Το FDS είναι ένα πρόγραμμα γραμμένο στην γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN, το οποίο λύνει εξισώσεις που περιγράφουν την εξέλιξη της φωτιάς (McGrattam, 2010).

Στόχος του FDS, κατά την διάρκεια της ανάπτυξης του, ήταν να επιλύει πρακτικά προβλήματα πυρκαγιάς και ταυτόχρονα να αποτελέσει ένα βασικό εργαλείο μελέτης των θεμελιωδών αρχών της δυναμικής της πυρκαγιάς και της καύσης. Το FDS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μοντελοποιήσει τα εξής φαινόμενα:

- Χαμηλής ταχύτητας μεταφορά θερμότητας και προϊόντων της καύσης της φωτιάς.
- Μεταφορά θερμότητας μέσω ακτινοβολίας και συναγωγής, μεταξύ των αερίων και των στερεών επιφανειών.
- Πυρόλυση.
- Διάδοση φλόγας και ανάπτυξη φωτιάς.
- Ενεργοποίηση ψεκαστήρων (sprinklers), και ανιχνευτών θερμότητας και καπνού (heat and smoke detectors).
- Σπρέι ψεκασμού και καταστολής της φωτιάς από νερό.

Ο χρήστης εισάγει μέσω ενός αρχείου .txt τις παραμέτρους του κάθε σεναρίου πυρκαγιάς που επιθυμεί να εξετάσει, και το μοντέλο λύνει τις κατάλληλες εξισώσεις και εξάγει τα ζητούμενα αποτελέσματα από τον χρήστη. Τέτοια αποτελέσματα μπορεί να είναι:

- Θερμοκρασία αερίου
- Ταχύτητα αερίου
- Συγκεντρώσεις αερίων , όπως οξυγόνο, μονοξειδίο, διοξειδίο, άζωτο, υδρατμοί κ.α.
- Συγκέντρωση καπνού και εκτιμήσεις ορατότητας
- Πίεση
- Ρυθμό έκλυσης θερμότητας ανά μονάδα όγκου
- Μείγμα κλάσματος (αναλογία αέρα/καυσίμου)
- Πυκνότητα αερίου
- Μάζα σταγονιδίων νερού ανά μονάδα όγκου



```
box_burn_away1 - Σημειωματάριο
Αρχείο Επεξεργασία Μορφή Προβολή Βοήθεια
&HEAD CHID='box_burn_away1', TITLE='Test BURN_AWAY feature, SVN $Revision: 6057 $' / |
&MESH IJK=10,10,10 XB=0.0,1.0,0.0,1.0,0.0,1.0 /
&TIME T_END=30. DT = 0.01/
&MATL ID = 'FOAM'
HEAT_OF_REACTION = 800.
CONDUCTIVITY = 0.2
SPECIFIC_HEAT = 1.0
DENSITY = 20.
N_REACTIONS = 1
NU_FUEL = 1.
REFERENCE_TEMPERATURE= 200. /
&SURF ID = 'FOAM SLAB'
COLOR = 'TOMATO 3'
MATL_ID = 'FOAM'
THICKNESS = 0.1
BURN_AWAY = .TRUE.
BACKING = 'EXPOSED' /
&REAC ID='NO REACTION', Y_O2_INFNTY=0.01 /
&DUMP SMOKE3D=.FALSE., DT_PL3D=10000., MASS_FILE=.TRUE. /
&OBST XB=0.30,0.70,0.30,0.70,0.30,0.70, SURF_ID='FOAM SLAB' /
&SURF ID = 'HOT' TMP_FRONT = 1100. /
&VENT MB='XMIN', SURF_ID='HOT' /
&VENT MB='XMAX', SURF_ID='HOT' /
&VENT MB='YMIN', SURF_ID='HOT' /
&VENT MB='YMAX', SURF_ID='HOT' /
&VENT MB='ZMIN', SURF_ID='HOT' /
&VENT MB='ZMAX', SURF_ID='HOT' /
&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE' /
&BNDF QUANTITY='BURNING RATE' /
&BNDF QUANTITY='NET HEAT FLUX' /
&SLCF PBY=0.5, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&SLCF PBY=0.5, QUANTITY='INTEGRATED INTENSITY' /
&SLCF PBY=0.5, QUANTITY='fuel' /
&DEVC XB = 0,1,0,1,0,1, QUANTITY = 'DENSITY', SPEC_ID='fuel',
STATISTICS = 'VOLUME INTEGRAL' ID = 'Mass fuel'/
&DEVC XB = 0,1,0,1,0,1, QUANTITY = 'HRR' ID = 'HRR' /
&TAIL /
```

Εικόνα 5– Αρχείο .txt εισαγωγής παραμέτρων στον FDS

Στο FDS ο όγκος που θέλουμε να εξετάσουμε, παραδείγματος χάριν η καμπίνα ενός επιβατηγού πλοίου, χωρίζεται σε πολλά μικρά κελιά τα οποία παίζουν τον ρόλο όγκων ελέγχου. Η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ ενός κελιού με τα κελιά που το περιβάλλουν καθορίζεται από ένα πλήθος μερικών διαφορικών εξισώσεων. Αυτές οι εξισώσεις προκύπτουν από τους θεμελιώδεις νόμους της φυσικής, όπως την διατήρηση μάζας και ενέργειας, ορμής, και της μεταφοράς θερμότητας μέσω ακτινοβολίας και επαγωγής.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε ότι ο FDS δεν λαμβάνει υπ' όψη του μόνο τους παραπάνω θεμελιώδεις νόμους της φυσικής. Η λύση των εξισώσεων είναι πολύ πιο περίπλοκη από ότι φαίνεται. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι υπάρχουν και άλλα φαινόμενα που ο FDS οφείλει να υπολογίσει για την επίλυση των διαφορικών αυτών εξισώσεων. Τέτοια φαινόμενα είναι η στροβιλώδης ροή (ή τυρβώδης ροή), η οποία αναπαρίσταται στο μοντέλο με δυο πρόσθετες εξισώσεις. Στροβιλώδης ροή ορίζεται το είδος της ροής ενός ρευστού που χαρακτηρίζεται από χαώδεις και τυχαίες μεταβολές του πεδίου ροής του. Οι μεταβλητές, δηλαδή, του πεδίου ροής (τέτοιες μεταβλητές είναι η ταχύτητα, η πίεση κ.α.) μεταβάλλονται τυχαία σε κάθε σημείο του χώρου για όλη τη χρονική διάρκεια του φαινομένου.

4.4.2 Smokeview

4.4.2.1 Εισαγωγικά

Η ανάγκη για να μπορέσουμε να αποκτήσουμε μια καλύτερη εικόνα της δυναμικής μιας πυρκαγιάς οδήγησε στην ανάπτυξη λογισμικών οπτικοποίησης. Ένα τέτοιο εργαλείο απεικόνισης, που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, είναι το Smokeview.

Το Smokeview είναι ένα λογισμικό εργαλείο σχεδιασμένο ώστε να απεικονίζει γραφικά τις αριθμητικές προβλέψεις που δημιουργούνται από προγράμματα που βασίζονται σε μοντέλα υπολογιστικής ρευστομηχανικής, όπως το FDS.

4.4.2.2 Ιστορική Αναδρομή

– 1980-1990

Το πρώτο μοντέλο ροής, γνωστό τότε με το όνομα LES ("Large Eddy Simulation"), είχε την δυνατότητα να επεξεργάζεται πολύ πολύπλοκες δυναμικές πυρκαγιάς. Εκείνη την περίοδο πραγματοποιήθηκαν και οι πρώτες προσπάθειες για να οπτικοποιηθούν τα αριθμητικά αποτελέσματα. Το αποτέλεσμα αυτών των προσπαθειών δεν ήταν τίποτα άλλο παρά από ένα κουτί και μικρά σωματίδια τα οποία στοβιλιζόντουσαν στο εσωτερικό του (Forney,2010).

– 2000-2001

Οι πρώτες αυτές προσπάθειες ναι μεν είχαν ικανοποιητικά αποτελέσματα για τους ερευνητές, όμως το λογισμικό αυτό συνέχιζε να μην ήταν καθόλου οικείο για τους χρήστες. Με στόχο την λύση αυτού του προβλήματος, δημιουργήθηκε το Smokeview. Η πρώτη έκδοση του λογισμικού κυκλοφόρησε τον Φεβρουάριο του 2000.

Στην έκδοση αυτή, εκτός από την απεικόνιση της κίνησης των σωματιδίων, οπτικοποιήθηκαν τα δεδομένα της ροής της φωτιάς και του καπνού μέσω του χρωματισμού, καθιστώντας πολύ πιο εύκολη την ερμηνεία των αποτελεσμάτων του FDS. Το Smokeview άρχισε σιγά σιγά να αποτελεί ένα προηγμένο επιστημονικό εργαλείο, του οποίου οι αλγόριθμοι απεικόνισης βασιζόντουσαν πάνω σε φυσικούς νόμους (Forney,2008).

Αμέσως μετά την 11η Σεπτεμβρίου του 2001, η δεύτερη έκδοση του Smokeview κυκλοφόρησε (Δεκέμβριος του 2001), κάνοντας το λογισμικό ικανό να μοντελοποιήσει και να οπτικοποιήσει πολύ μεγαλύτερα προβλήματα πυρκαγιάς. Σενάρια πυρκαγιάς με εκατομμύρια κυψέλες πλέγματος μπορούσαν πλέον να μοντελοποιηθούν (Forney,2008).

– 2001-2012

Η τρίτη έκδοση του Smokeview κυκλοφόρησε τον Νοέμβριο του 2002, η τέταρτη τον Ιούλιο 2004. Η πέμπτη έκδοση του λογισμικού, που χρησιμοποιήθηκε και στην παρούσα διπλωματική κυκλοφόρησε το 2007.

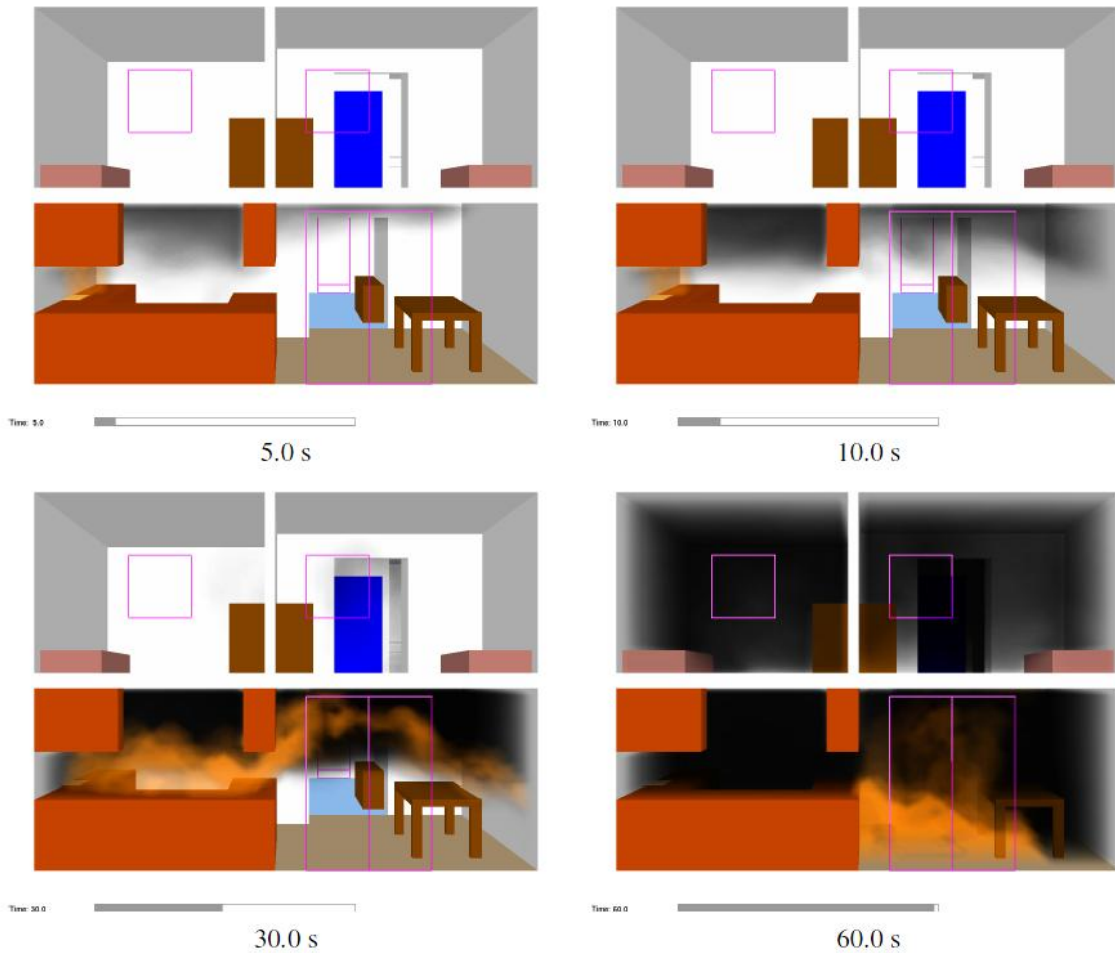
Στο πλαίσιο ανάπτυξης καινούργιο εκδοχών, οι ερευνητές δουλεύουν πάνω στην μοντελοποίηση του φαινομένου της σκέδασης, δηλαδή στην μοντελοποίηση της αλληλεπίδρασης των σωματιδίων φωτός όταν αυτά προσπίπτουν στα σωματίδια του καπνού (Forney,2010) .

4.4.2.3 Περιγραφή του λογισμικού

Όπως έχουμε καταγράψει και πιο πάνω, το FDS χρησιμοποιείται για την μοντελοποίηση και το Smokeview για την οπτικοποίηση χρονικά μεταβαλλόμενων φαινομένων φωτιάς. Το Smokeview έχει την δυνατότητα να οπτικοποιεί τα δεδομένα και δυναμικών αλλά και στατικών φαινομένων.

Το Smokeview είναι γραμμένο σε C και FORTRAN και αποτελείται από 90.000 γραμμές κώδικα. Το τμήμα που είναι γραμμένο στην C οπτικοποιεί τα δεδομένα, ενώ το τμήμα σε FORTRAN είναι γραμμένο για να μπορεί να διαβάζει και να επεξεργάζεται τα δεδομένα που δέχεται από το FDS – μοντέλο που είναι και αυτό γραμμένο σε FORTRAN-. Για την απεικόνιση των δεδομένων χρησιμοποιούνται βιβλιοθήκες τρισδιάστατων γραφικών, όπως Open GL και Graphics Library Utility Toolkit (GLUT) κ.α (Forney, 2010).

Η εμφάνιση των δυναμικών δεδομένων φωτιάς, γίνεται μέσω του λογισμικού του Smokeview το οποίο επιτρέπει την ποσοτική εκτίμηση του φαινομένου χρησιμοποιώντας τεχνικές απεικόνισης. Τέτοιες τεχνικές είναι κινούμενα σωματίδια που ακολουθούν την ροή, σκιασμένα δισδιάστατα και τρισδιάστατα περιγράμματα που απεικονίζουν ποσότητες ροής, και κινούμενα διανύσματα ροής που οπτικοποιούν την κατεύθυνση της ροής. Στιγμιότυπα προσομοίωσης φαίνονται στην εικόνα 6.



Εικόνα 6 – Στιγμιότυπα προσομοίωσης φωτιάς στο Smokeview

Η χρήση του λογισμικού Smokeview μπορεί να πραγματοποιηθεί σε τρεις χρονικές στιγμές: πριν, κατά την διάρκεια και μετά την διαδικασία υπολογισμού των αποτελεσμάτων από τον FDS. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται «πριν» το τρέξιμο του κώδικα για να ελεγχτούν και να ρυθμιστούν πιο γρήγορα τα αρχεία και τα δεδομένα εισόδου του FDS. Κατά την διάρκεια, χρησιμοποιείται για να παρακολουθήσουμε την πορεία της προσομοίωσης και φυσικά μετά τον υπολογισμό για να έχουμε την ολοκληρωμένη εικόνα της εφαρμογής που θέλουμε να εξετάσουμε.

Κεφάλαιο 5^ο

Μελέτη αποτελεσματικότητας διαχωριστικών B-15 κατά την διάρκεια πυρκαγιάς, σε καμπίνα επιβατηγού πλοίου

5.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής, μελετήσαμε την συμπεριφορά της φωτιάς σε μια καμπίνα επιβατηγού πλοίου και το πως επηρεάζει τον χώρο στον διάδρομο και στην διπλανή καμπίνα (της οποίας η πόρτα είναι ανοικτή), για τρεις διαφορετικές fuel load density και κατ' επέκταση fire load density. Σκοπός μας ήταν να εξετάσουμε την αποτελεσματικότητα των διαχωριστικών που χρησιμοποιούνται σε καμπίνες επιβατηγών πλοίων και να μελετήσουμε μια από τις κύριες μεταβλητές της φωτιάς, την θερμοκρασία.

Στην συνέχεια, μελετήσαμε την συμπεριφορά της φωτιάς για συγκεκριμένο fuel load density , με αύξηση του πάχους της μόνωσης του διαχωριστικού (10% και 30% αύξηση) και με κλειστή την πόρτα στην διπλανή καμπίνα.

Η προσομοίωση αυτή –όπως αναφέραμε στο τρίτο κεφάλαιο- έγινε με την βοήθεια του προγράμματος FDS (Fire Dynamics Simulator) του Εθνικού Ινστιτούτου Προτύπων και Τεχνολογίας της Αμερικής (National Technical Institute of Standards and Technology-NIST-).

5.2 Αναλυτική περιγραφή της προσομοίωσης

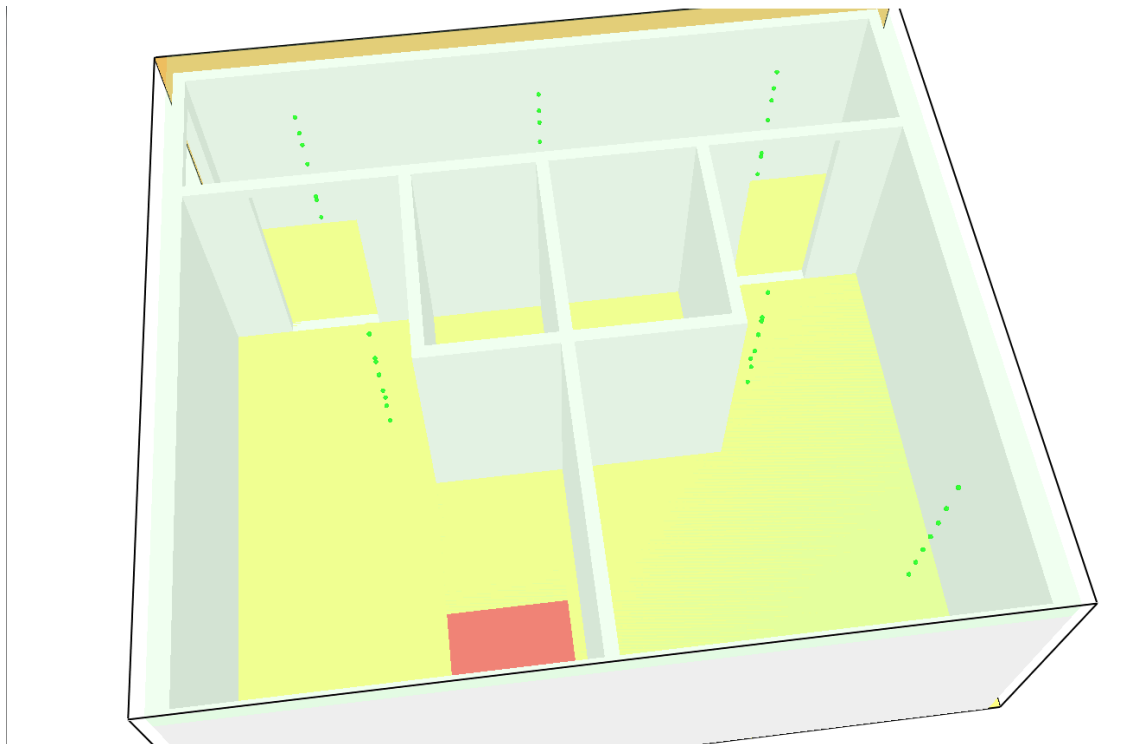
Για να προχωρήσουμε στην προσομοίωση, κατασκευάσαμε δύο διαμερίσματα τα οποία χωρίζονται με διαχωριστικό σταθερού πλάτους. Το κάθε διαμέρισμα έχει μήκος 4.20 m , πλάτος 3.00 m και ύψος 2.10 m. Ο διάδρομος που ενώνει τα δυο διαμερίσματα έχει μήκος 6.00 m, πλάτος 1.15 m και ύψος 2.10 m.

Η καμπίνα στην οποία λαμβάνει χώρα η φωτιά έχει την πόρτα της ανοικτή, προκειμένου να διαφεύγει ο καπνός και να εισέρχεται οξυγόνο ώστε να συντηρείται η καύση. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά της καμπίνας καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα 3:

Cabin Fire	
Length (m)	4.20
Breadth(m)	3.00
Height(m)	2.10
Breadth of door(m)	0.75
Height of door(m)	2.00
Floor area: A_f (m ²)	12.6000
Opening area: A_o (m ²)	1.5075
Enclosure area : A_t (m ²)	53.9325

Πίνακας 3- Γεωμετρικά και χαρακτηριστικά εξαερισμού

Η εξεταζόμενη γεωμετρία φαίνεται στις παρακάτω εικόνες 7, 8, 9 και 10.



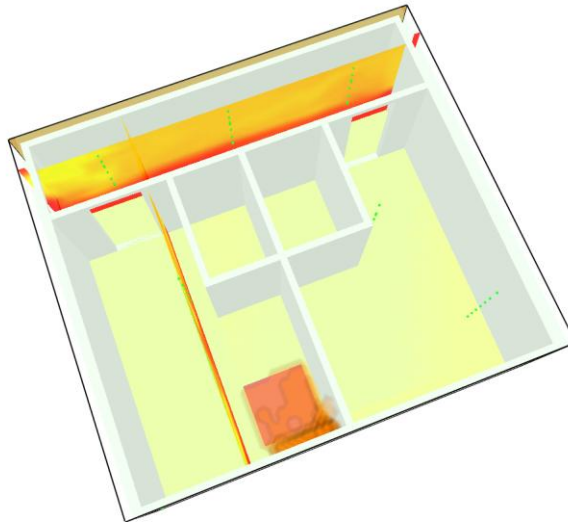
Εικόνα 7-Η εξεταζόμενη γεωμετρία



Frame: 504
Time: 1512.0

>200 (kW/m³)

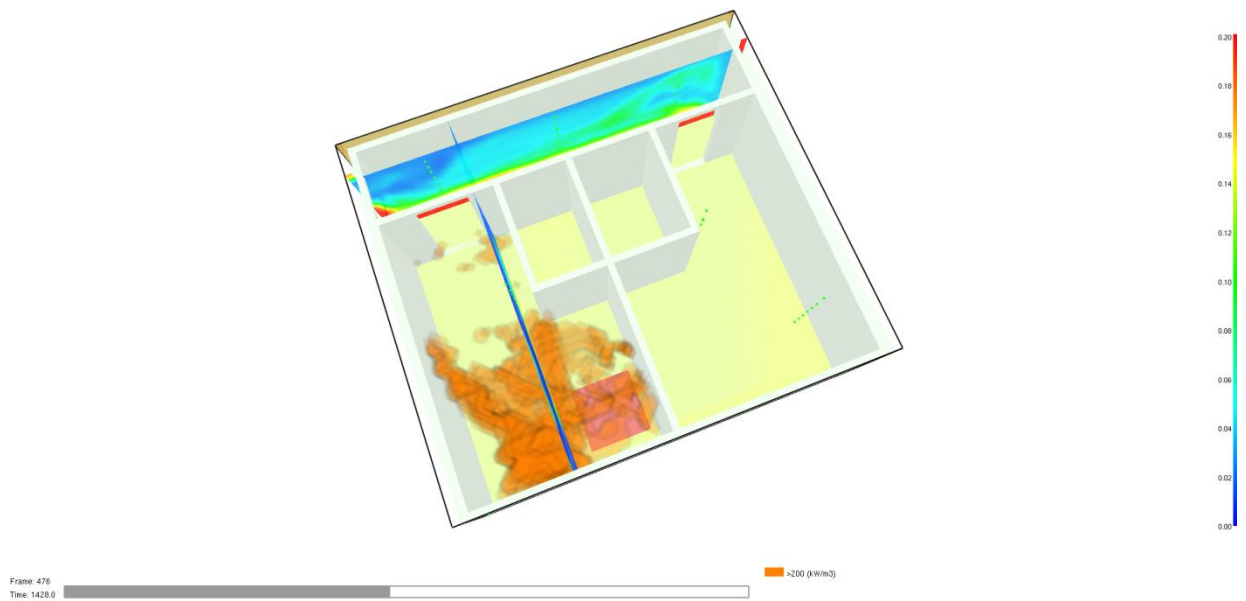
Εικόνα 8-Η εκδήλωση της φωτιάς



Frame: 753
Time: 2289.0

>200 (kW/m³)

Εικόνα 9- Συγκεντρώσεις Οξυγόνου κατά της διάρκεια της προσομοίωσης της φωτιάς



Εικόνα 10– Συγκεντρώσεις Οξυγόνου κατά της διάρκεια της προσομοίωσης της φωτιάς στο στάδιο της πλήρους εκδήλωσης της.

Οι ομάδες των εύφλεκτων υλικών που βρίσκονται μέσα στο διαμέρισμα είναι οι εξής (πίνακας 4):

	Ποσοστό συνολικής μάζας (%)	h_i (MJ/kg)
Κλωστοϋφαντουργικά Προϊόντα	26	18,27
Ξύλο	12	17,00
Πλαστικά	44	24,81
Αφρός	18	24,50

Πίνακας 4– Οι ομάδες εύφλεκτων υλικών μέσα στην καμπίνα

Σε αυτό το σημείο πρέπει να εξηγήσουμε κάποια σημαντικά στοιχεία του προγράμματος που χρησιμοποιήσαμε:

Επιλογή Πλέγματος:

Κάθε πλέγμα διαιρείται σε ορθογωνικά κελιά, το πλήθος των οποίων εξαρτάται από την ανάλυση του πεδίου της δυναμικής ροής. Εξαιτίας του γεγονότος ότι το πρόγραμμα επιλύει διαφορικές εξισώσεις Poisson, βασιζόμενο σε Fast Fourier Transformations (FFTs) στις κατεύθυνσεις y και z , θα πρέπει το πλήθος των κελιών του πλέγματος(διαστάσεις του πλέγματος) στις κατευθύνσεις αυτές να είναι της μορφής : $2^l \times 3^m \times 5^n$, όπου l, m, n ακέραιοι αριθμοί.

Ένα παράδειγμα για να γίνουν πιο κατανοητά τα παραπάνω, είναι το πλέγμα 64 x72 ή 64x108, διότι $64=2^6$, $72=2^3 \times 3^2$ και $108=2^2 \times 3^3$. Για το δικό μας πρόγραμμα επιλέξαμε πλέγμα 54x24.

Επιλογή διαχωριστικού και των ιδιοτήτων του:

Το διαχωριστικό που χρησιμοποιήσαμε στην εφαρμογή αυτή είναι τάξεως B-15 πάχους πέντε εκατοστών. Διαχωριστικό τάξεως B-15, όπως έχουμε αναφέρει και σε προηγούμενο κεφάλαιο, σημαίνει ότι στα πρώτα 15 λεπτά (900 δευτερόλεπτα) από την έναρξη της φωτιάς έχουμε μονωτική ικανότητα τέτοια ώστε η μέση θερμοκρασία της μη εκτεθειμένης επιφάνειας να μην ξεπερνά τους 160°C [$(140+20)^{\circ}\text{C}$], και η μέση θερμοκρασία σε οποιοδήποτε άλλο σημείο τους 245°C [$(225+20)^{\circ}\text{C}$].

Σε επιβατηγά πλοία, τα διαχωριστικά που χρησιμοποιούνται είναι τύπου sandwich, δηλαδή αποτελούνται από πολλά στρώματα υλικών. Στην συγκεκριμένη προσομοίωση, το διαχωριστικό που εξετάσαμε αποτελείτο από πέντε στρώματα:

1ο στρώμα: PVC

2ο στρώμα: φύλλα (γαλβανισμένου) χάλυβα (galvanized steel)

3ο στρώμα: μόνωση απο πετροβάμβακα (rockwool)

4ο στρώμα: φύλλα (γαλβανισμένου) χάλυβα (galvanized steel)

5ο στρώμα: PVC

Οι ιδιότητες κάθε στρώματος δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί. Για να γίνουν κατανοητά τα αριθμητικά δεδομένα και οι ιδιότητες του κάθε υλικού, θα πρέπει να καταγράψουμε πρώτα τους ορισμούς των μεγεθών που διαπραγματευόμαστε στην προσομοίωση αυτή (McGrattam, 2010).

- Density (Πυκνότητα): ορίζεται το ποσό της μάζας που περιέχεται σε ορισμένο όγκο. Πυκνότητα=μάζα/όγκος (kg/m^3)
- Specific Heat (Ειδική Θερμότητα): ορίζεται η θερμότητα που απαιτείται για να ανέλθει η θερμοκρασία ενός γραμμαρίου ενός υλικού κατά ένα βαθμό ($\text{kJ}/\text{kg K}$)
- Thermal Conductivity (Θερμική αγωγιμότητα): ορίζεται η ικανότητα ενός υλικού να μεταφέρει θερμότητα ($\text{W}/\text{m K}$)
- N_Reactions: είναι το πλήθος των αντιδράσεων που μπορούν να υποβληθούν σε ένα υλικό.

- Nu_{fuel} : ορίζεται το ποσοστό της μάζας ενός υλικού που μετατρέπεται σε καύσιμο αέριο.
- Mass Fraction (Κλάσμα μάζας): είναι η μάζα του κάθε υλικού προς την συνολική μάζα του μίγματος.
- Reference _Temperature (Θερμοκρασία αναφοράς): ορίζεται η θερμοκρασία στην οποία το κλάσμα μάζας (mass fraction) του κάθε υλικού μειώνεται κατά $0,1 \text{ το } \text{sec}^{-1}$. Η θερμοκρασία αναφοράς καθορίζει, δηλαδή, πόσο αναφλέξιμο είναι ένα υλικό. Γι αυτό τον λόγο στην συγκεκριμένη εφαρμογή, χρησιμοποιούμε την θερμοκρασία αναφοράς ως ιδιότητα του υλικού.
- Heat_of_Reaction: είναι το ποσό της ενέργειας που καταναλώνεται ανά μονάδα μάζας αντιδρώντος που μετατρέπεται σε κάτι άλλο.
- Heat_of_Combustion: ορίζεται η ενέργεια που απελευθερώνεται ανά μονάδα μάζας αέριου καυσίμου που αναμειγνύεται με οξυγόνο και αντιδρά.

Για τις θερμικές ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιήσαμε, συμβουλευτήκαμε την ηλεκτρονική πηγή www.engineeringtoolbox.com. Για κάποια από τα υπόλοιπα μεγέθη, λόγω έλλειψης πληροφοριών, επιλέξαμε τιμές που έχουν χρησιμοποιηθεί σε παλιότερες εφαρμογές -παρόμοιες με την δικιά μας- και που φυσικά ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Οι θερμικές αυτές ιδιότητες των υλικών φαίνονται στον πίνακα 5.

Υλικό	Πυκνότητα (Kg/m ³)	Θερμική αγωγιμότητα (W/m K)	Ειδική Θερμότητα (kJ/kg K)
Επικάλυψη από PVC	1300	0,19	1,29
Γαλβανισμένος Χάλυβας (galvanized steel)	7850	51,9	0,483
Πετροβάμβακας (rockwool)	229	0,041	0,75

Πίνακας 5– Οι θερμικές ιδιότητες των υλικών

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονίσουμε ότι ο γαλβανισμένος χάλυβας είναι χάλυβας εμβαπτισμένος σε ψευδάργυρο. Μέσω της διαδικασίας της εμβάπτισης ο ψευδάργυρος σχηματίζει δεσμούς στο εσωτερικό με τα μόρια του χάλυβα με αποτέλεσμα ο χάλυβας να αποκτά πολύ καλές αντιδιαβρωτικές ιδιότητες. Για αυτό τον λόγο οι τιμές που χρησιμοποιήσαμε στις ιδιότητες του, είναι ένας μέσος όρος αυτών του χάλυβα και του ψευδάργυρου.

Επιλογή Ιδιοτήτων φωτιάς:

Η εισαγωγή των δεδομένων την φωτιάς, στον κώδικα του FDS, έγινε μέσω του ρυθμού έκλυσης θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας (HRRPUA: Heat Release Rate Per Unit Area).

Πρέπει να σημειωθεί εδώ, ότι για να δημιουργήσουμε φωτιά χρησιμοποιήθηκε από τον FDS το μοντέλο καύσης κλάσματος μίγματος. Η βασική ιδέα στην οποία βασίζεται το μοντέλο αυτό είναι ότι η καύση είναι ελεγχόμενη από το βαθμό ανάμιξης και ότι η αντίδραση καυσίμου και οξυγόνου είναι απείρως γρήγορη. Τα κλάσματα μάζας από κυριότερα αντιδρώντα και προϊόντα μπορούν να συναχθούν από το συνολικό κλάσμα μίγματος. Το μοντέλο αυτό καύσης κλάσματος μίγματος, βασίζεται στην παραδοχή ότι τα φαινόμενα συναγωγής και ακτινοβολίας –τα οποία είναι μεγάλης κλίμακας- μπορούν να προσομοιωθούν αμέσως, αλλά οι φυσικές διεργασίες – οι οποίες συμβαίνουν σε μικρές κλίμακες- πρέπει να αναπαρασταθούν με έναν πιο προσεγγιστικό τρόπο.

Για να μπορέσουμε να εισάγουμε τα δεδομένα της φωτιάς στον κώδικα του FDS, χρησιμοποιήσαμε τις συναρτήσεις `gamma` με σκοπό να μπορέσουμε να περιγράψουμε την εξέλιξη της φωτιάς σε σχέση με την πάροδο του χρόνου.

5.3 Μελέτη αποτελεσματικότητας του διαχωριστικού για τρεις διαφορετικές πυκνότητες φορτίου καυσίμου.

5.3.1 Περιγραφή των χαρακτηριστικών της προσομοίωσης

Με βάση το MSC/Circ. 1003 του IMO, παρέχονται κάποιες αναφορικές μέγιστες τιμές της πυκνότητας φορτίου καυσίμου (fuel load density) για τους χώρους διαμονής και υπηρεσίας σε επιβατηγά πλοία. Αυτές οι τιμές καταγράφονται στον πίνακα 6:

Type of space	Passenger ships carrying more than 36 passengers	Passenger ships carrying not more than 36 passengers	Cargo ships
Stairways, corridors	5 kg/m ²	5 kg/m ²	5 kg/m ²
Control stations	5 kg/m ²	5 kg/m ²	5 kg/m ²
Accommodation spaces	Minor fire risk 15 kg/m ²	35 kg/m ²	35 kg/m ²
	Moderate fire risk 35 kg/m ²		
	Greater fire risk 35 kg/m ²		
Service spaces surrounded by "A" class divisions	45 kg/m ²	45 kg/m ²	45 kg/m ²

Πίνακας 6– Οι μέγιστες τιμές του fuel load density με βάση το MSC/Circ.1003

Παρατηρώντας τις τιμές του fuel load density στον πίνακα παραπάνω, για επιβατηγά πλοία που μεταφέρουν περισσότερους από 36 επιβάτες, βλέπουμε ότι τα όρια για τους χώρους ενδιαίτησης είναι 15 με 35 kg/m². Οπότε, οι προσομοιώσεις των σεναρίων πυρκαγιάς τις οποίες πραγματοποιήσαμε, βασίζονται σε τρεις διαφορετικές πυκνότητες φορτίου καυσίμου:

- 10 kg/m²
- 25 kg/m²
- 35 kg/m²

1^ο Σενάριο:

Με fuel load density 10 kg/m² και επιφάνεια δαπέδου 12.60 m², η συνολική εύφλεκτη μάζα είναι 126 kg. Για να υπολογίσουμε την πυκνότητα φορτίου φωτιάς (FLD), θα χρησιμοποιήσουμε τον παρακάτω τύπο:

$$Q''(MJ/m^2) = Fuel\ Load\ Density \times \sum \frac{m_i}{m_{total}} \times h_i$$

Όπου: m_i , η στοιχειώδης εύφλεκτη μάζα (kg)

m_{total} , η συνολική εύφλεκτη μάζα (kg)

h_i , η θερμική αξία της στοιχειώδης μάζας (MJ/kg)

Γνωρίζοντας τα εύφλεκτα υλικά που βρίσκονται μέσα στο διαμέρισμα (πίνακας 4), εύκολα υπολογίζουμε την πυκνότητα φορτίου φωτιάς (fire load density).

$$Q'' = 10 \times \left(\frac{0.26 \times 126 \times 18.27 + 0.12 \times 126 \times 17.00}{126} + \frac{0.44 \times 126 \times 24.81 + 0.18 \times 126 \times 24.50}{126} \right) MJ/m^2 \Rightarrow$$

$$Q'' = 221.166 MJ/m^2$$

Ο χρόνος προσομοίωσης για fuel load density 10 kg/m² είναι 3000 δευτερόλεπτα.

2^ο Σενάριο:

Με fuel load density 25 kg/m² και επιφάνεια δαπέδου 12.60 m², η συνολική εύφλεκτη μάζα είναι 315 kg. Ομοίως με το 1^ο σενάριο, υπολογίσαμε την πυκνότητα φορτίου φωτιάς (FLD) ως εξής:

$$Q'' = 10 \times \left(\frac{0.26 \times 315 \times 18.27 + 0.12 \times 315 \times 17.00}{315} + \frac{0.44 \times 315 \times 24.81 + 0.18 \times 315 \times 24.50}{315} \right) MJ/m^2 \Rightarrow$$

$$Q'' = 552.915 MJ/m^2$$

Ο χρόνος προσομοίωσης για fuel load density 25 kg/m² είναι 4500 δευτερόλεπτα.

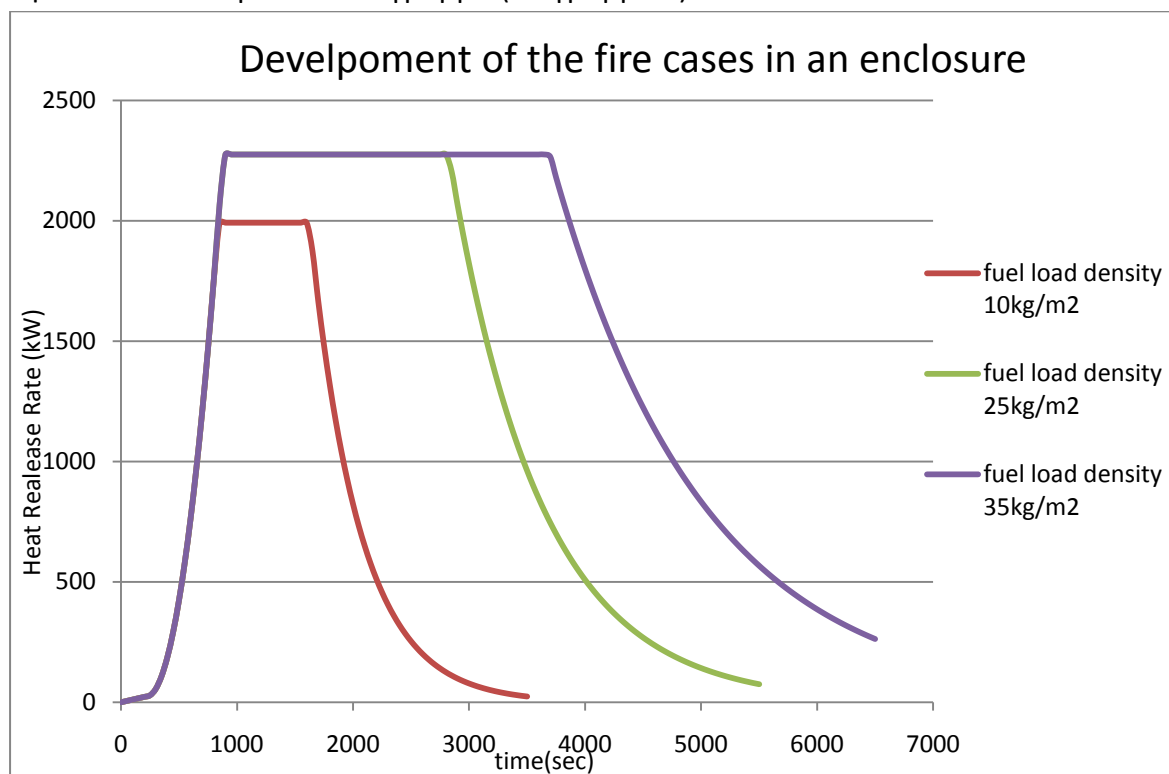
3^ο Σενάριο:

Με fuel load density 35 kg/m² και επιφάνεια δαπέδου 12.60 m², η συνολική εύφλεκτη μάζα είναι 441 kg. Ομοίως με το 1^ο σενάριο, υπολογίσαμε την πυκνότητα φορτίου φωτιάς (FLD) ως εξής:

$$Q'' = 10 \times \left(\frac{0.26 \times 441 \times 18.27 + 0.12 \times 441 \times 17.00}{441} + \frac{0.44 \times 441 \times 24.81 + 0.18 \times 441 \times 24.50}{441} \right) MJ/m^2 \Rightarrow$$
$$Q'' = 774.081 MJ/m^2$$

Ο χρόνος προσομοίωσης για fuel load density 35 kg/m² είναι 6000 δευτερόλεπτα.

Η γραφική αναπαράσταση των τριών σεναρίων ανάπτυξης της φωτιάς φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα (διάγραμμα 3).



Διάγραμμα 3-Η γραφική αναπαράσταση των τριών σεναρίων φωτιάς

Οι μέγιστες τιμές του ρυθμού έκλυσης θερμότητας των τριών σεναρίων φωτιάς (στο στάδιο της πλήρους εκδήλωσης της), φαίνονται στο πίνακα 7:

Fuel Load density (kg/m ²)	Max HRR (kW)
10	1991.9
25	2275.8
35	2275.8

Πίνακας 7– Οι μέγιστες τιμές του ρυθμού έκλυσης θερμότητας των τριών σεναρίων

Οι σημαντικότερες διαφορές που παρατηρούμε είναι τρεις:

1. Για Fuel Load density 10 kg/m², η μέγιστη τιμή του ρυθμού έκλυσης θερμότητας είναι μικρότερη (1991.9 kW) από αυτή των άλλων δύο σεναρίων που μελετάμε (2275.8 kW).
2. Και τα τρία σενάρια φωτιάς διαφέρουν πολύ στην διάρκεια του τρίτου σταδίου της φωτιάς, το στάδιο πλήρους εκδήλωσης της. Συγκεκριμένα:

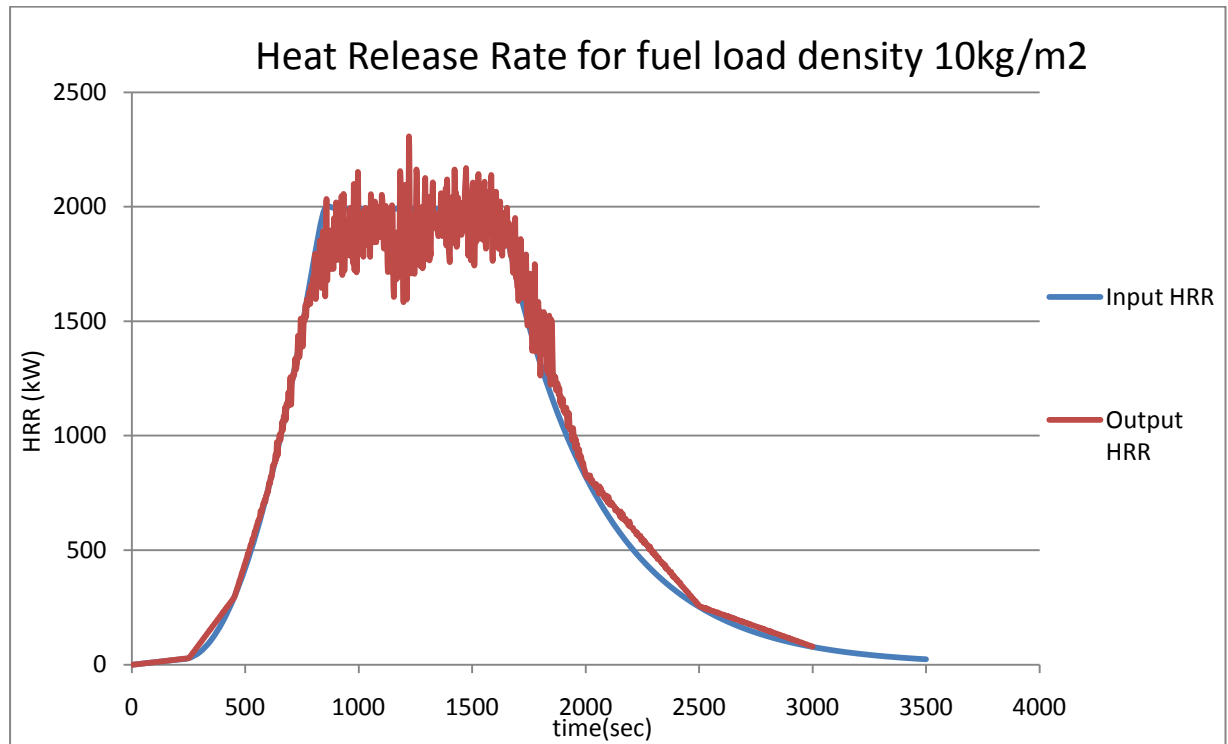
Fuel Load density (kg/m ²)	Duration of the stage of Fully Developed fire (sec)
10	750
25	1900
35	2750

Πίνακας 8– Διάρκεια του σταδίου πλήρους εκδήλωσης

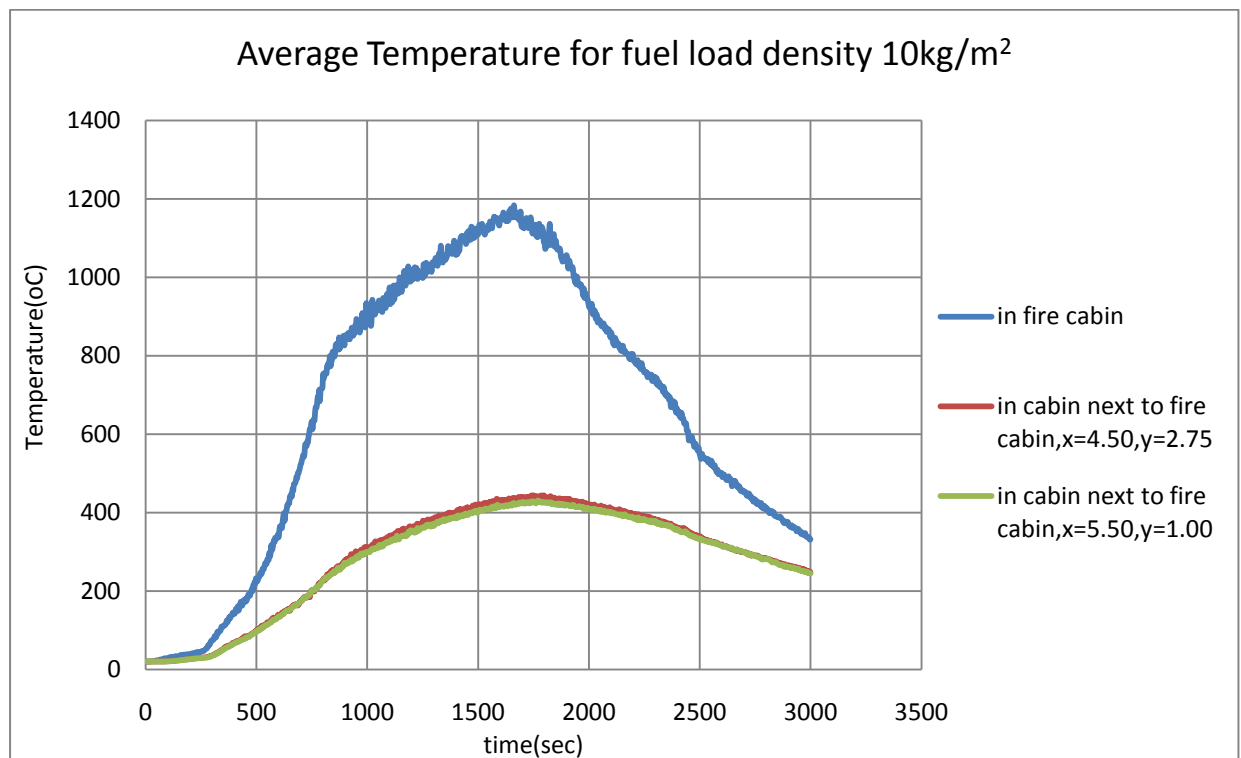
3. Τέλος και τα τρία σενάρια φωτιάς διαφέρουν πολύ στην διάρκεια του τελευταίου σταδίου της φωτιάς, το στάδιο εξασθένησης της. Για fuel load density 10 kg/m² η φωτιά εξασθενεί στα 3500 δευτερόλεπτα, ενώ για fuel load density 25 και 35 kg/m² περίπου στα 5700 και 7000 δευτερόλεπτα αντίστοιχα.

5.3.2 Αποτελέσματα

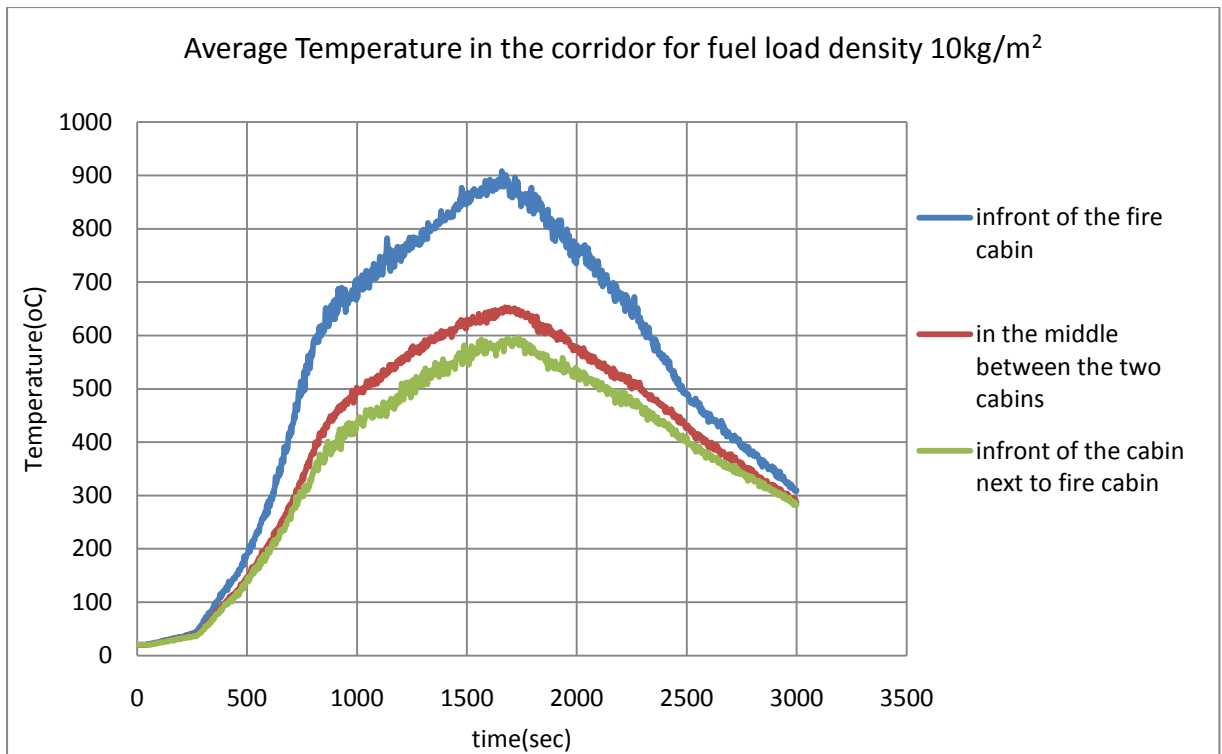
✓ Για fuel load density 10kg/m²



Διάγραμμα 4—Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας για fuel load density 10kg/m²

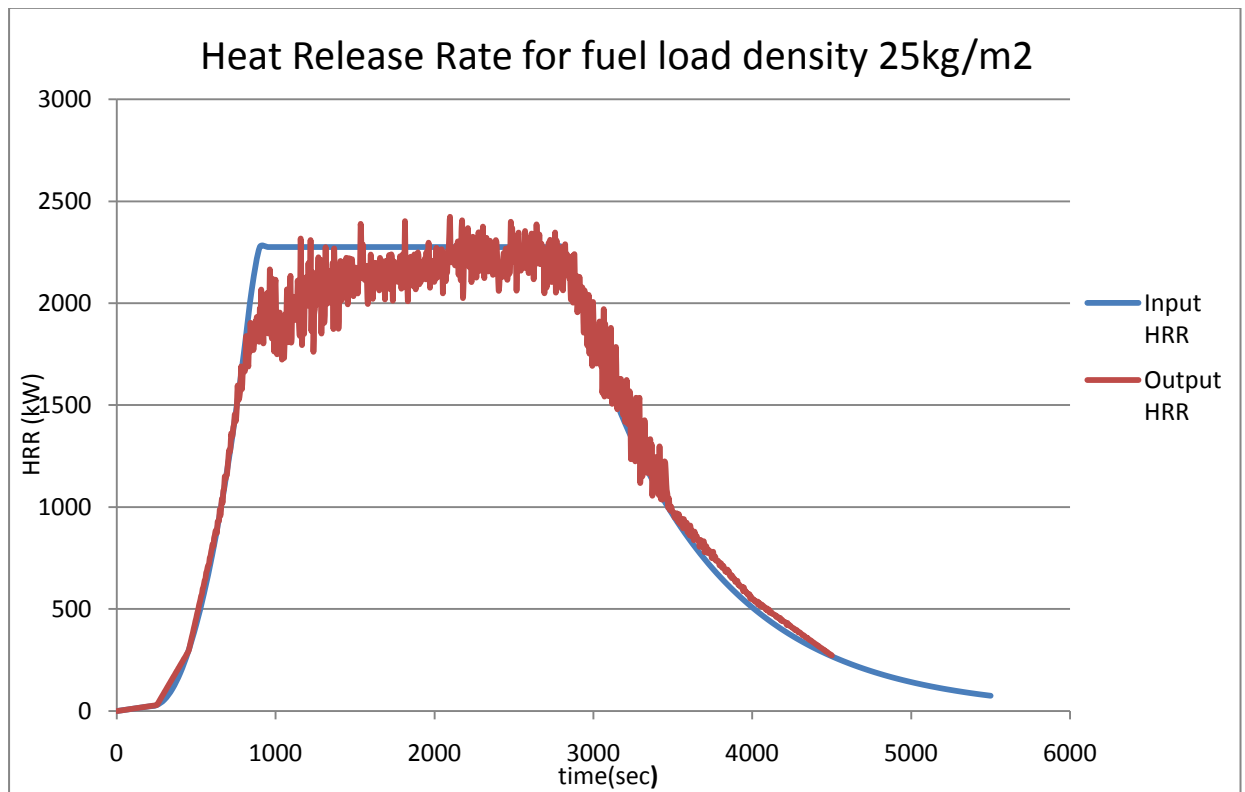


Διάγραμμα 5—Μέσες Θερμοκρασίες στις δύο καμπίνες για fuel load density 10kg/m²

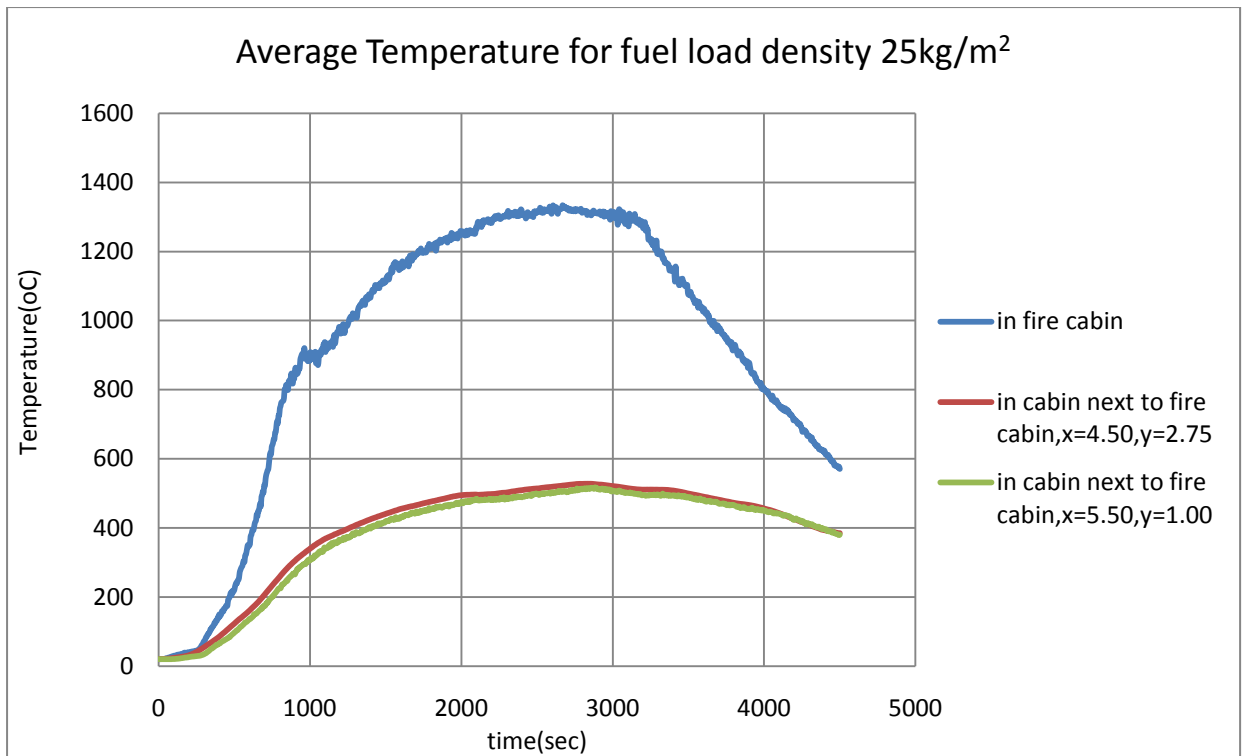


Διάγραμμα 6–Μέσες Θερμοκρασίες στο διάδρομο για fuel load density 10kg/m²

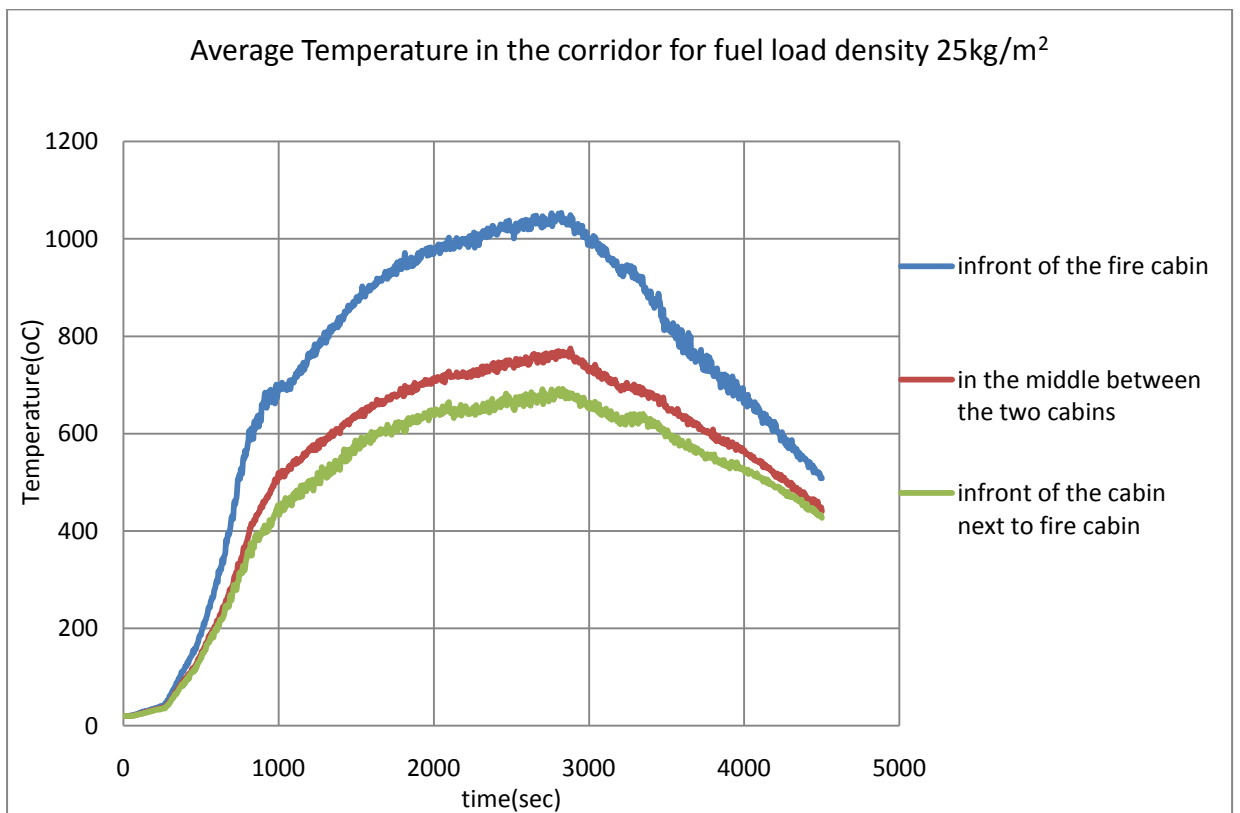
✓ Για fuel load density 25kg/m²



Διάγραμμα 7–Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας για fuel load density 25kg/m²

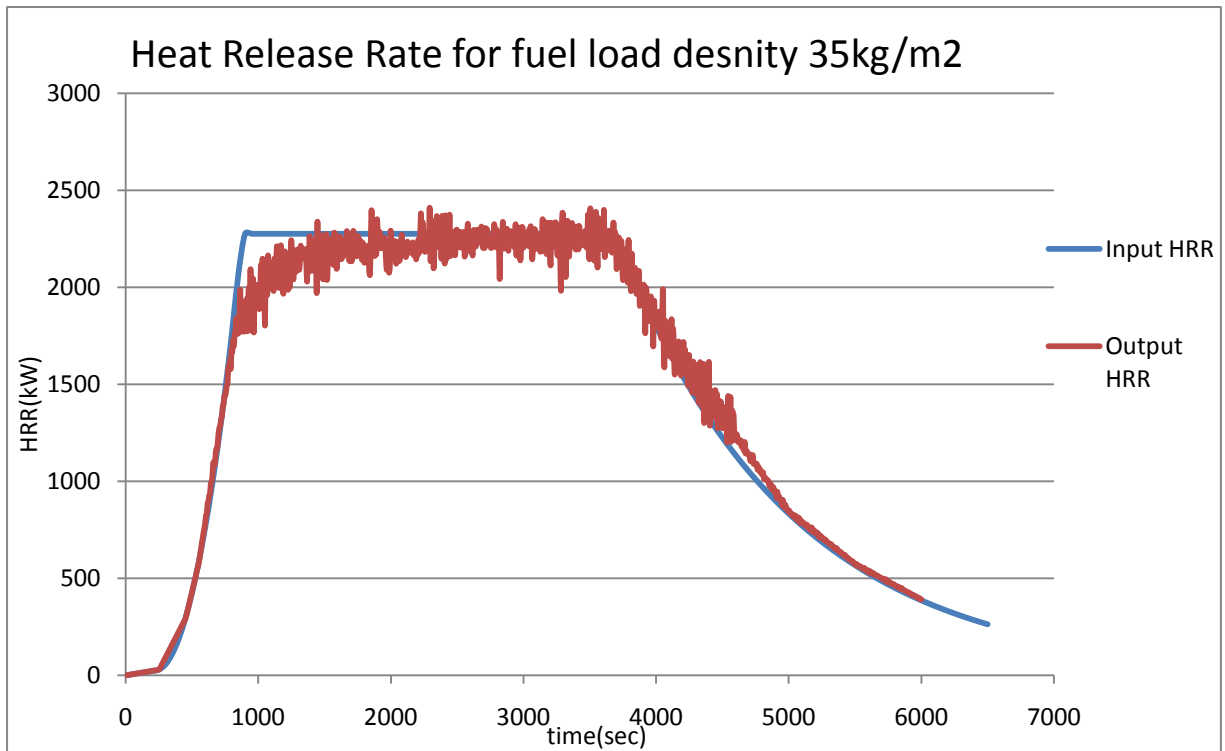


Διάγραμμα 8–Μέσες Θερμοκρασίες στις δύο καμπίνες για fuel load density 25kg/m²

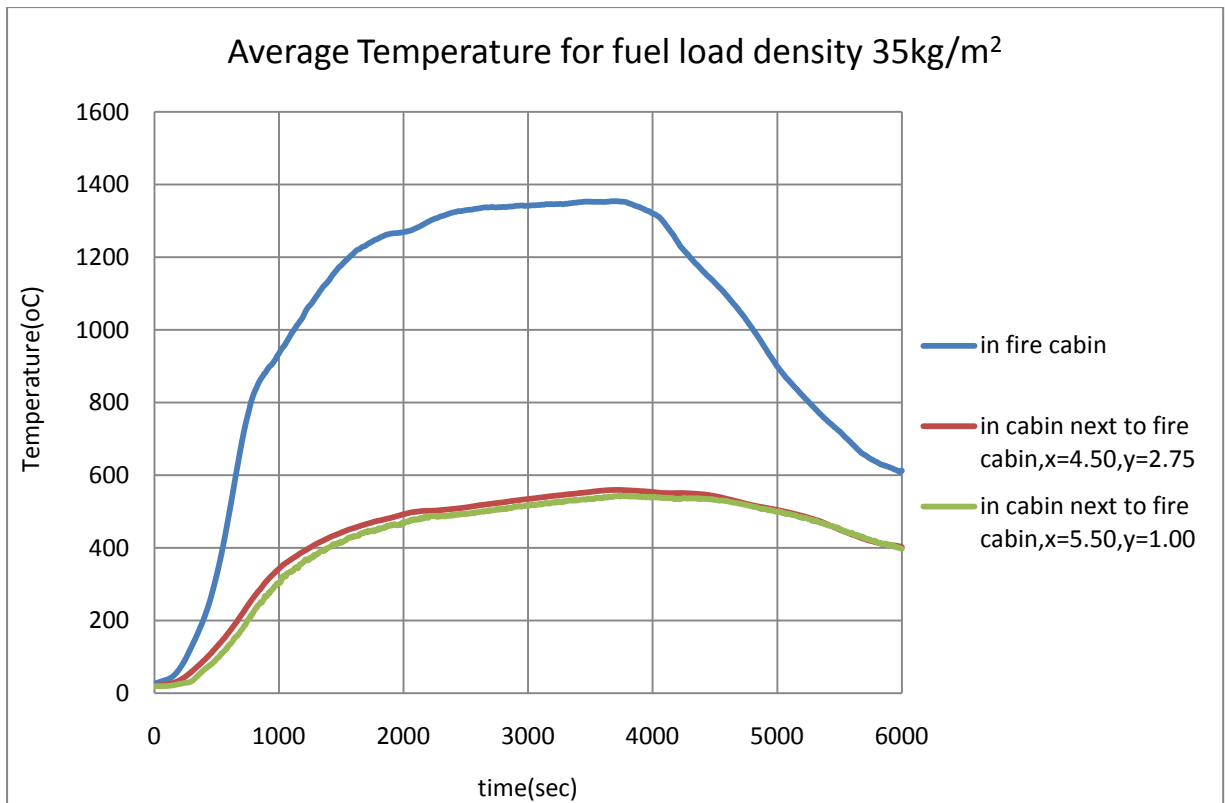


Διάγραμμα 9–Μέσες Θερμοκρασίες στο διάδρομο για fuel load density 25kg/m²

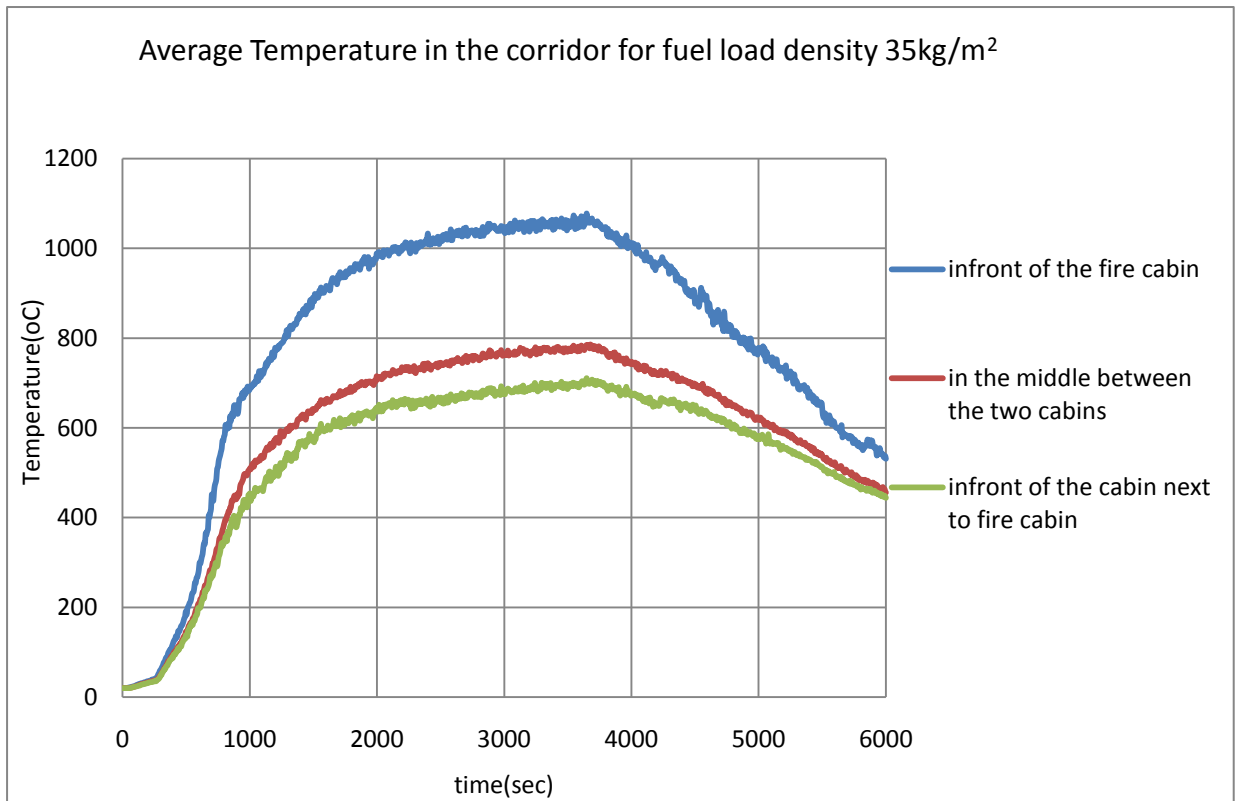
✓ Για fuel load density 35kg/m^2



Διάγραμμα 10—Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας για fuel load density 35kg/m^2



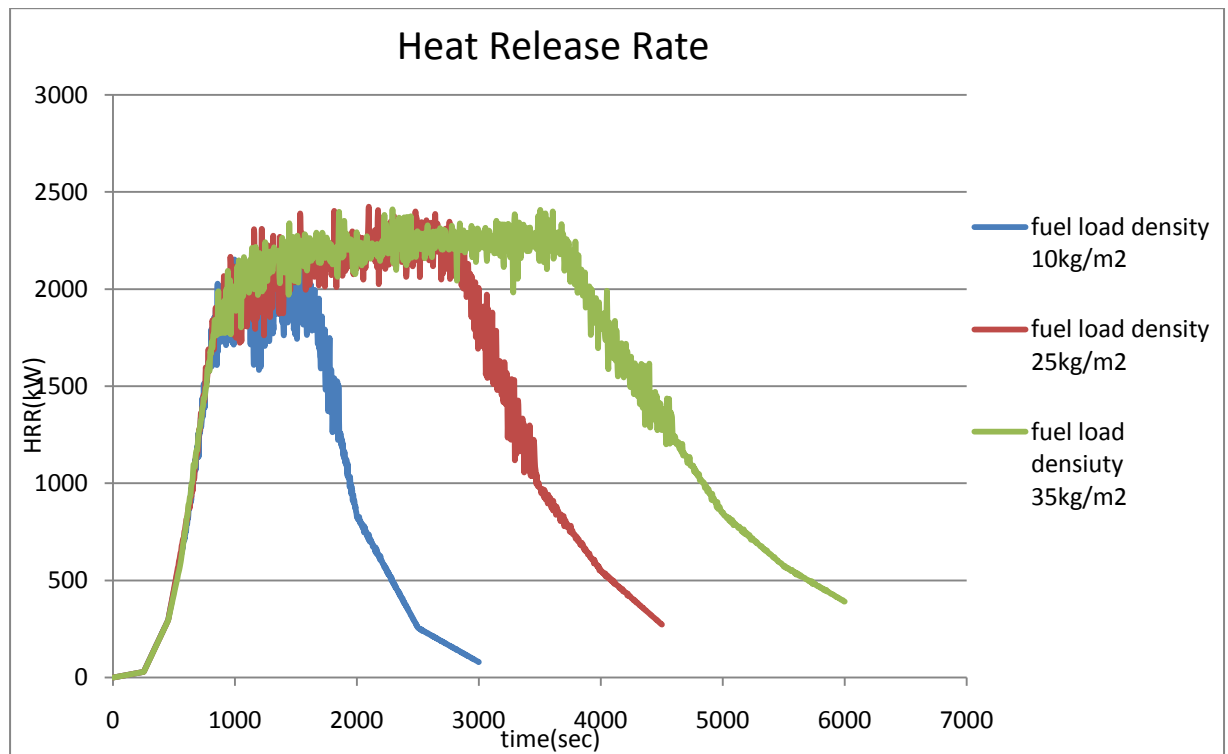
Διάγραμμα 11—Μέσες Θερμοκρασίες στις δύο καμπίνες για fuel load density 25kg/m^2



Διάγραμμα 12-Μέσες Θερμοκρασίες στο διάδρομο για fuel load density 25kg/m²

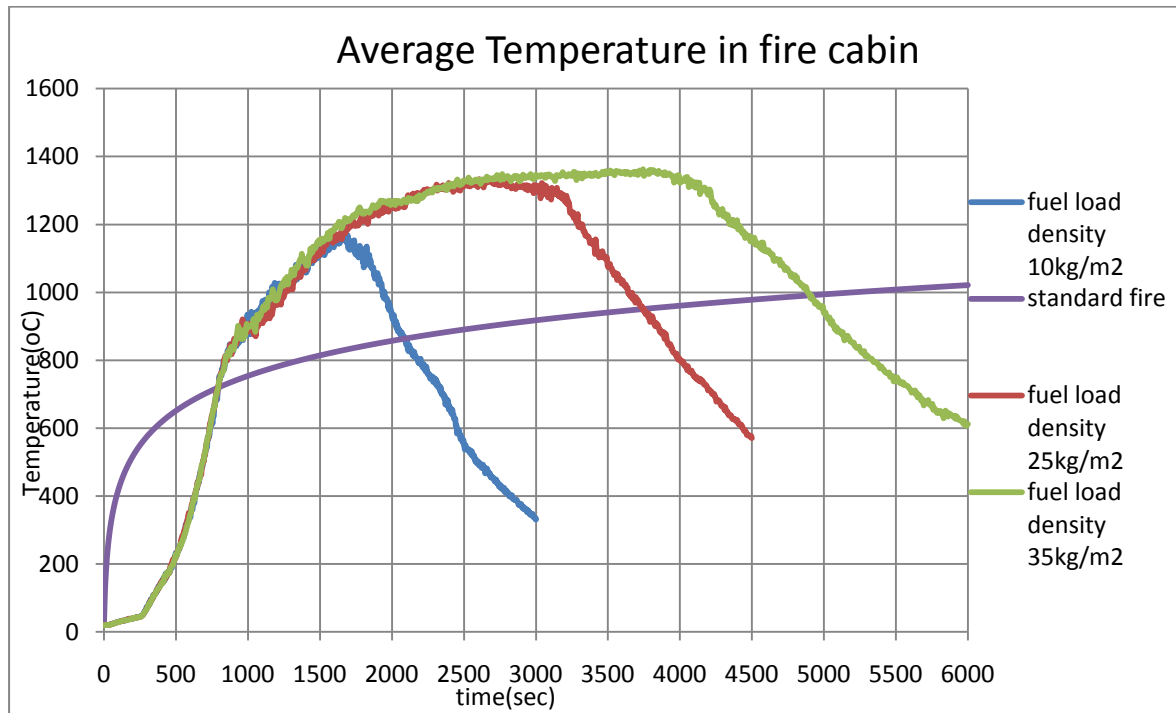
5.3.3 Συγκριτικά Αποτελέσματα

- ❖ Στην αρχή των συγκριτικών αποτελεσμάτων θα παραθέσουμε τον ρυθμό έκλυσης θερμότητας των τριών fuel load densities έτσι όπως μας το εξάγει το πρόγραμμα.

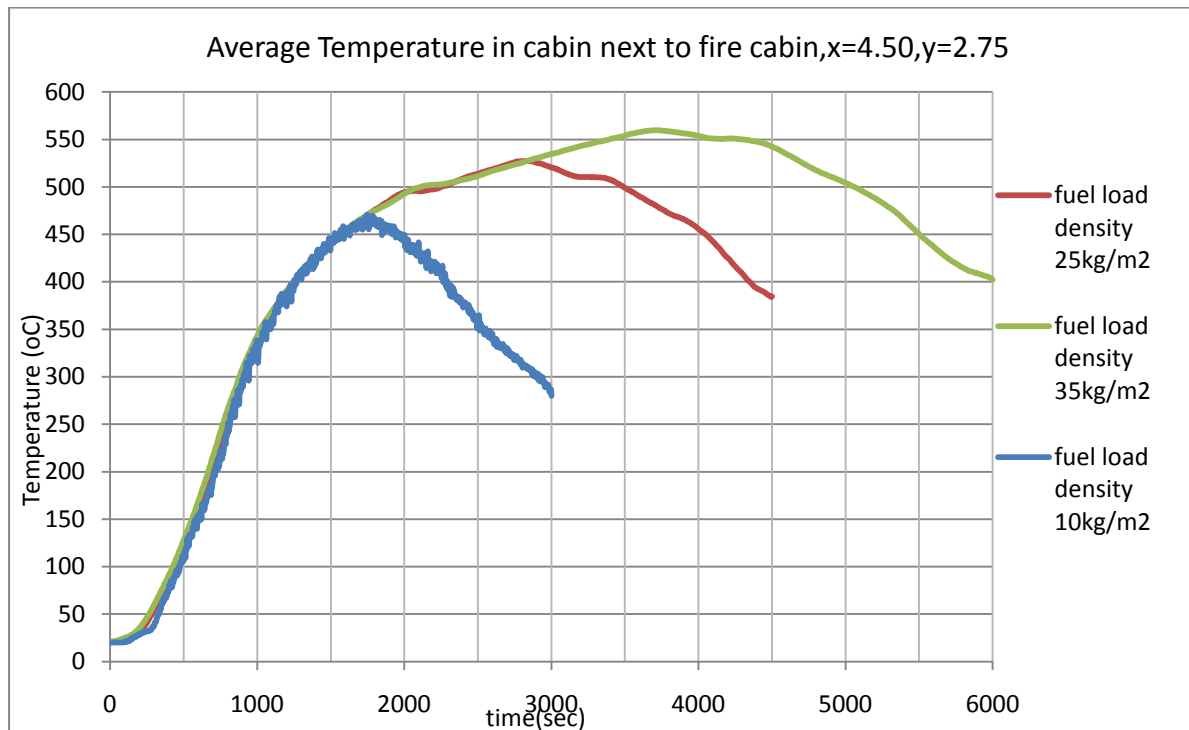


Διάγραμμα 13–Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας για fuel load densities 10,25,35kg/m²

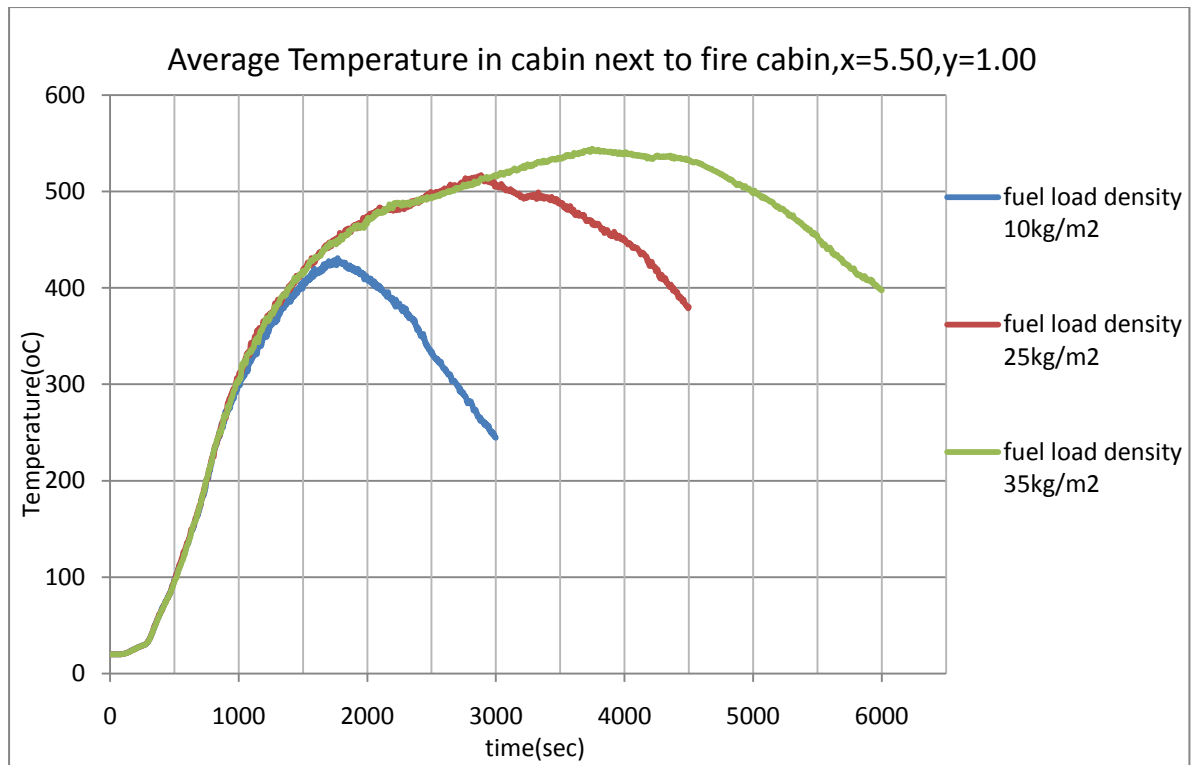
- ❖ Οι θερμοκρασίες, σε κάθε ένα από τα δυο διαμερίσματα και τον διάδρομο, διαμορφώνονται ως εξής:



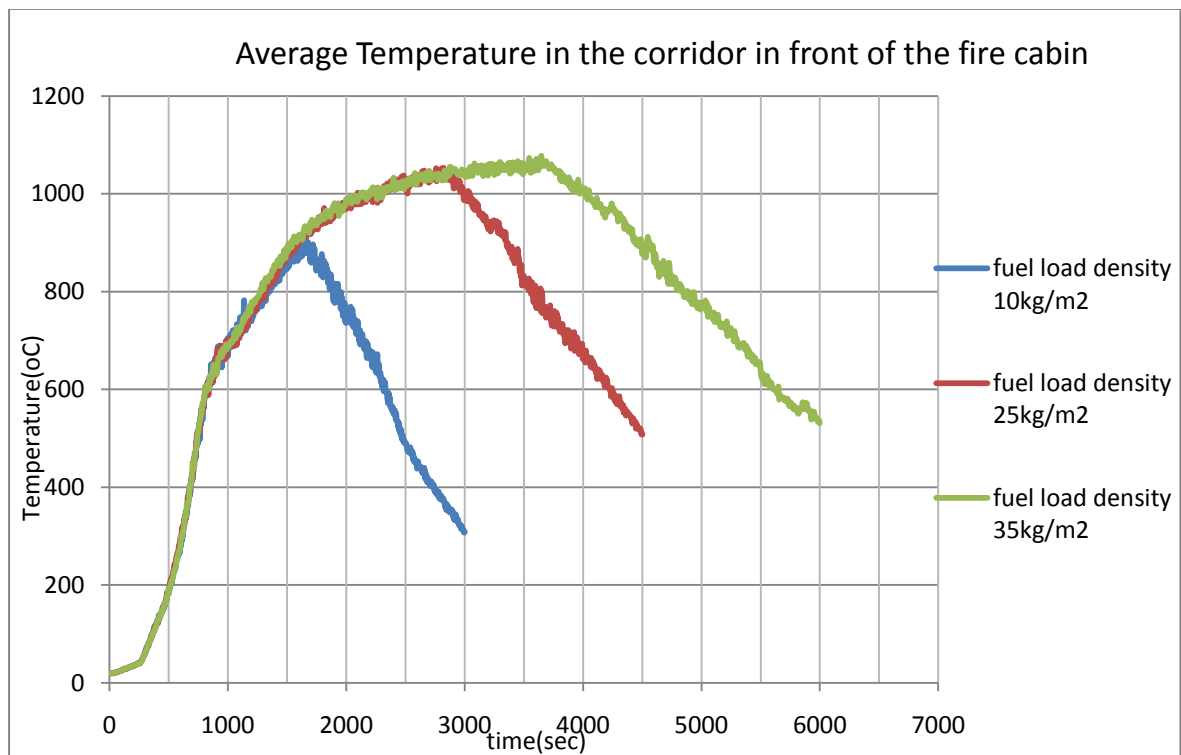
Διάγραμμα 14–Μέση θερμοκρασία στην καμπίνα με την φωτιά για fuel load densities 10,25,35kg/m²



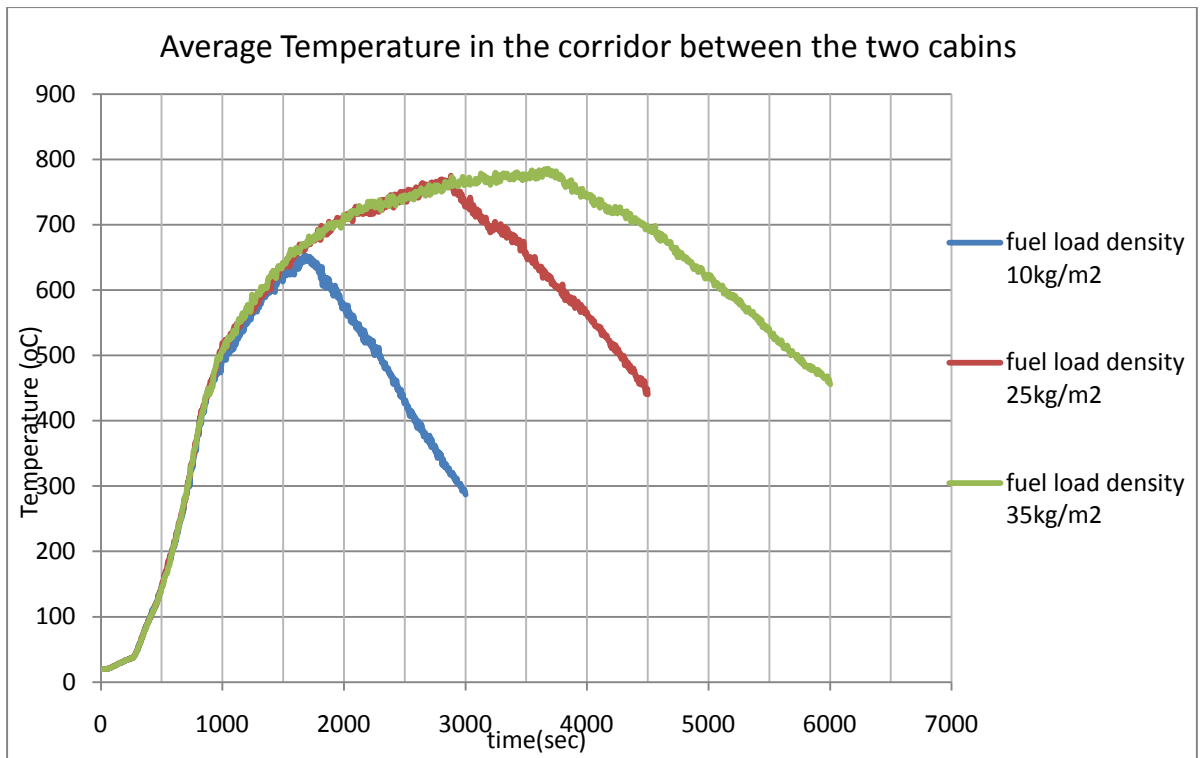
Διάγραμμα 15–Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα για x=4.50m, y=2.75m για fuel load densities 10,25,35kg/m²



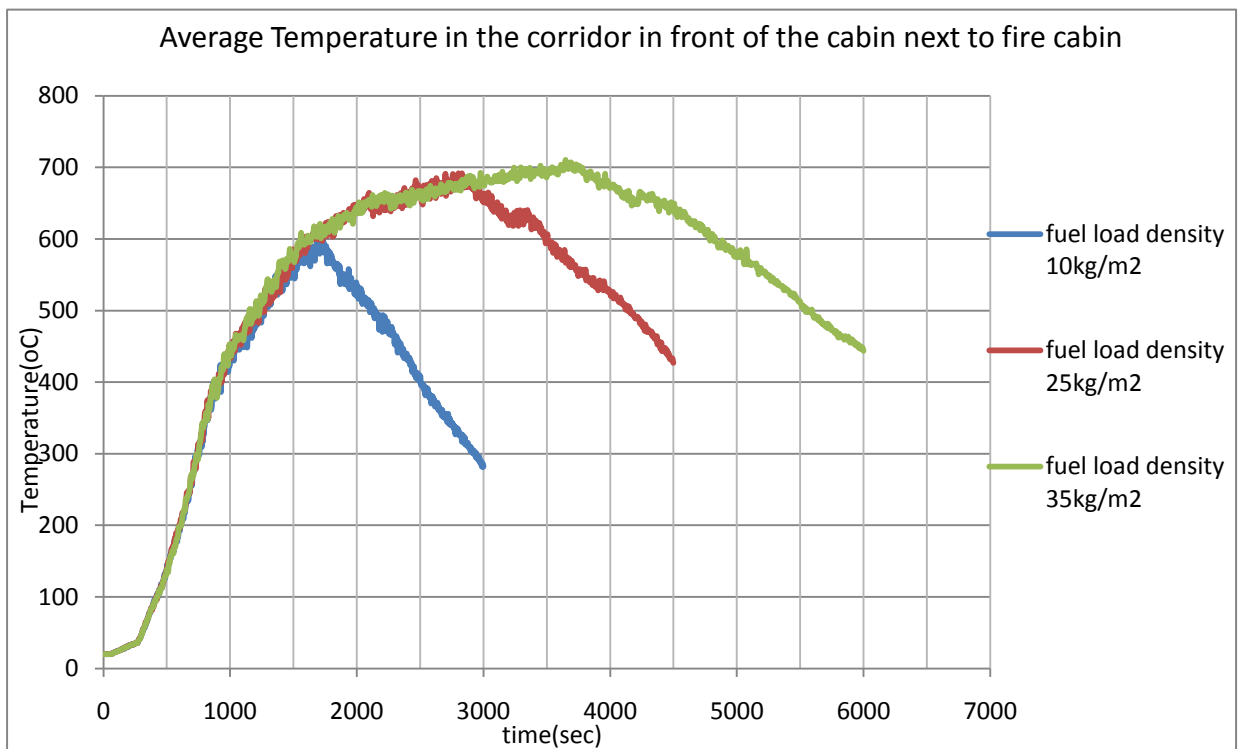
Διάγραμμα 16–Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα για $x=5.50m, y=1.00m$ για fuel load densities 10,25,35kg/m²



Διάγραμμα 17–Μέση θερμοκρασία στον διάδρομο μπροστά από την καμπίνα με την φωτιά για fuel load densities 10k,25,35kg/m²

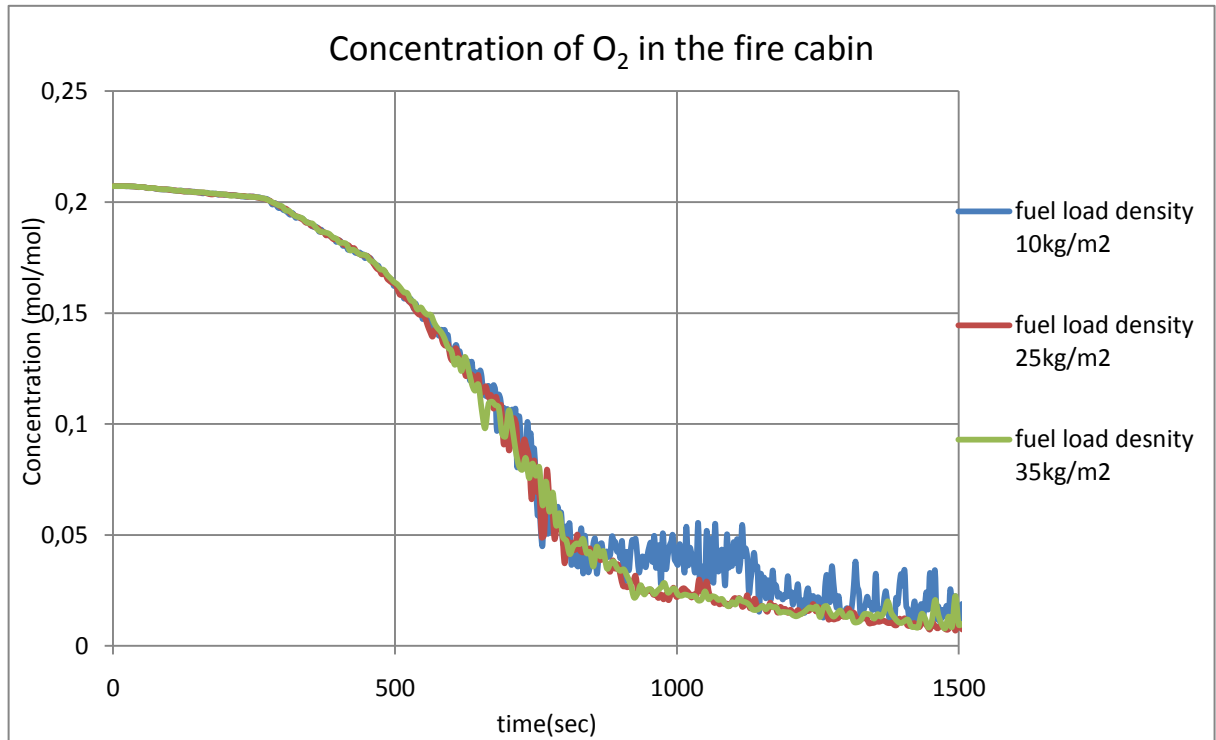


Διάγραμμα 18–Μέση θερμοκρασία στον διάδρομο στην μέση της απόστασης των δυο καμπινών για fuel load densities 10,25,35kg/m²

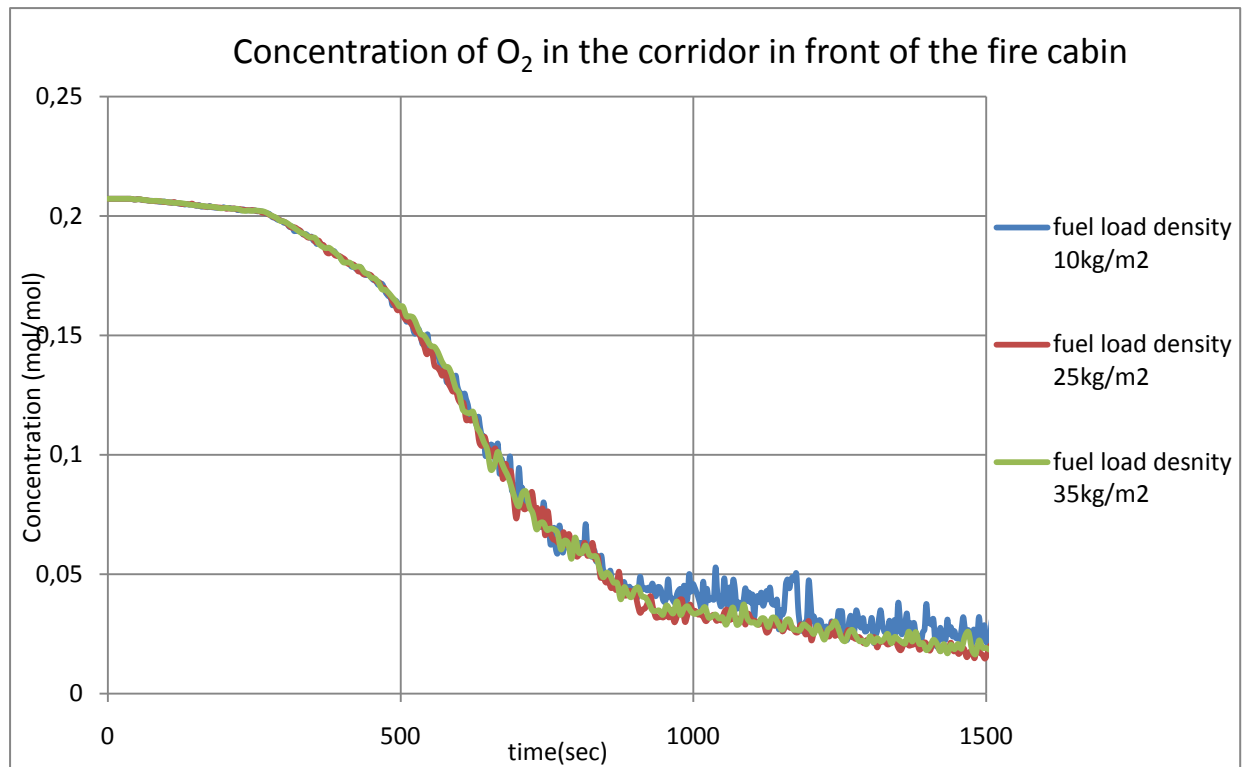


Διάγραμμα 19–Μέση θερμοκρασία στον διάδρομο μπροστά από την διπλανή καμπίνα για fuel load densities 10,25,35kg/m²

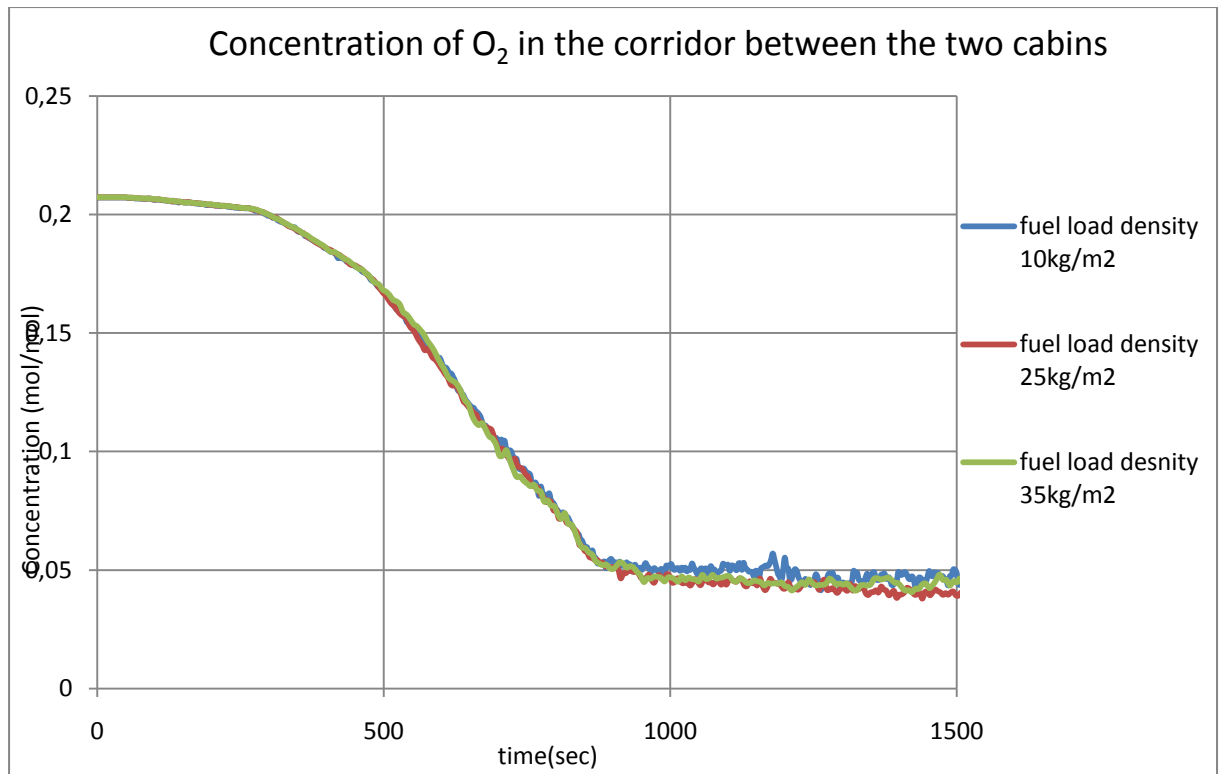
- ❖ Οι συγκεντρώσεις οξυγόνου, σε κάθε ένα από τα δυο διαμερίσματα και τον διάδρομο, διαμορφώνονται ως εξής:



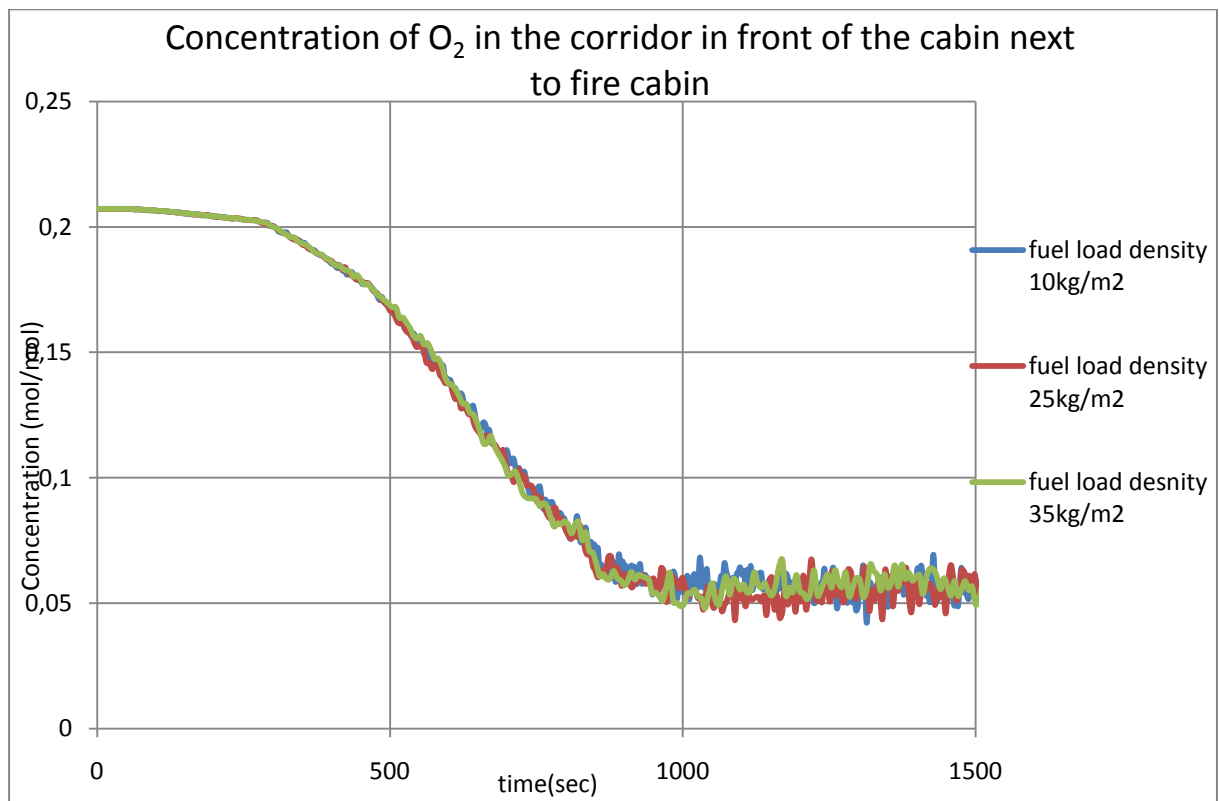
Διάγραμμα 20—Συγκέντρωση οξυγόνου στην καμπίνα με την φωτιά για fuel load densities 10,25,35kg/m²



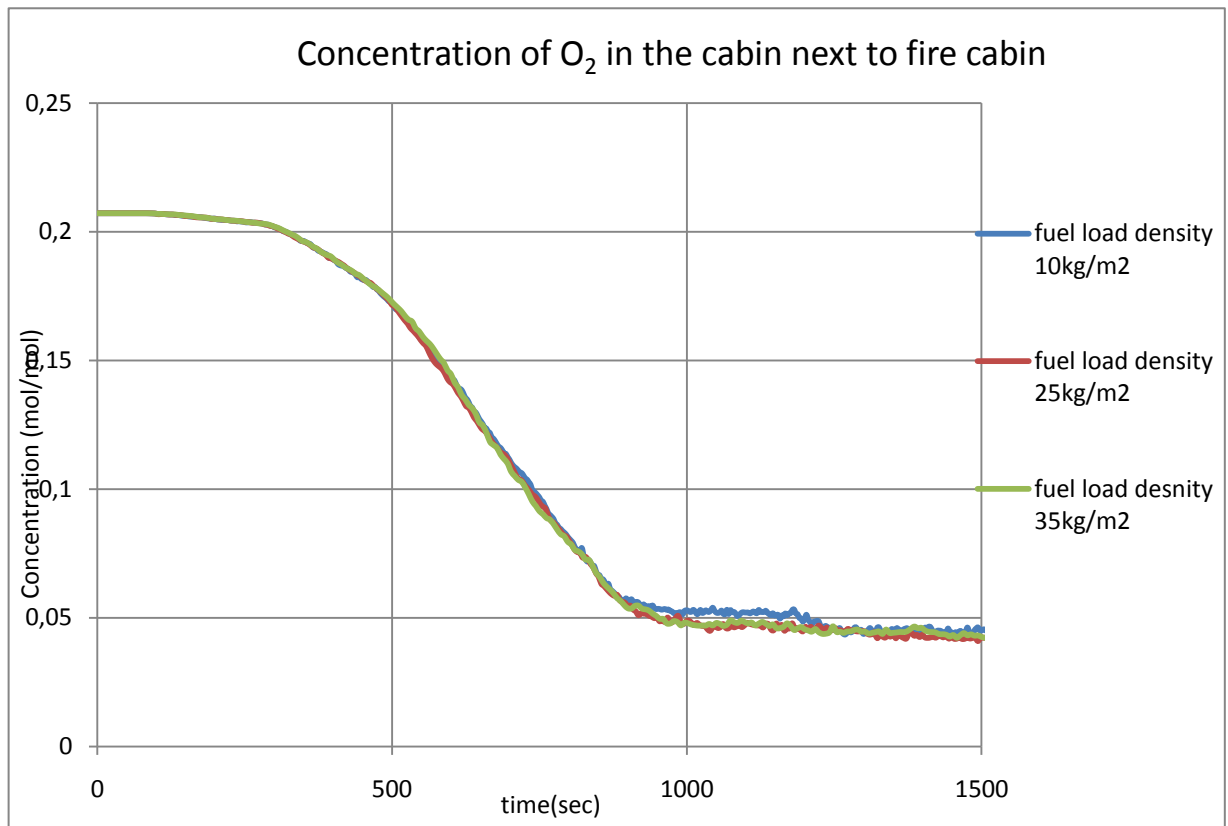
Διάγραμμα 21—Συγκέντρωση οξυγόνου στον διάδρομο μπροστά από την καμπίνα με την φωτιά για fuel load densities 10,25,35kg/m²



Διάγραμμα 22–Συγκέντρωση οξυγόνου στον διάδρομο στην μέση της απόστασης των δύο καμπινών για fuel load densities 10,25,35kg/m²



Διάγραμμα 23–Συγκέντρωση οξυγόνου στον διάδρομο μπροστά από την διπλανή καμπίνα για fuel load densities 10,25,35kg/m²



Διάγραμμα 24–Συγκέντρωση οξυγόνου στην διπλανή καμπίνα για fuel load densities 10,25,35kg/m²

5.3.4 Συμπεράσματα

- Ρυθμός έκλυσης ενέργειας: Παρατηρώντας τα διαγράμματα των αποτελεσμάτων για κάθε fuel load density ξεχωριστά, βλέπουμε ότι η καμπύλη του HRR που θεωρήσαμε σαν δεδομένη και η καμπύλη HRR που τελικά τρέχει το πρόγραμμα σχεδόν συμπίπτουν.
- Θερμοκρασία: Παρατηρώντας τα διαγράμματα θερμοκρασιών συναρτήσει του χρόνου, βλέπουμε ότι μέχρι περίπου τα πρώτα εικοσιπέντε λεπτά δεν διαφέρουν σχεδόν καθόλου μεταξύ τους, ανεξαρτήτως fuel load density. Συνεπώς, από θερμοκρασιακή άποψη, οι συνέπειες δεν διαφέρουν σχεδόν καθόλου στα πρώτα εικοσιπέντε λεπτά. Από την άλλη μεριά, για το επόμενο χρονικό διάστημα οι διαφορές είναι εμφανείς. Για fuel load densities 25 και 35 kg/m² οι θερμοκρασίες φθάνουν σε πολύ πιο υψηλές τιμές από ότι για fuel load density 10 kg/m².

Στην καμπίνα δίπλα από την καμπίνα που αναπτύσσεται η φωτιά, η θερμοκρασία φθάνει την τιμή των 245°C, για τα τρία fuel load densities, στους χρόνους που καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Fuel Load density (kg/m ²)	X=4.50m γ=2.75m
	time(sec)
10	839
25	779
35	762

Πίνακας 9 - Ο χρόνος που χρειάζεται για να ξεπεραστούν οι 245°C, στην καμπίνα δίπλα στην καμπίνα όπου λαμβάνει χώρα η φωτιά, χ=4,50m,γ=2,75m

Fuel Load density (kg/m ²)	X=5.50m γ=1.00 m
	time(sec)
10	843
25	846
35	846

Πίνακας 10 - Ο χρόνος που χρειάζεται για να ξεπεραστούν οι 245°C, στην καμπίνα δίπλα στην καμπίνα όπου λαμβάνει χώρα η φωτιά, χ=5,50m,γ=1.00m

Παρατηρούμε ότι ο χρόνος που χρειάζεται να ξεπεραστούν οι 245 °C στην καμπίνα δίπλα από την καμπίνα που αναπτύσσεται η φωτιά, είναι περίπου 13 λεπτά.

Συγκρίνοντας τις θερμοκρασίες στο δωμάτιο με την φωτιά και για τα τρία εξεταζόμενα σενάρια fuel load densities με το πρότυπο τεστ φωτιάς (όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 14), παρατηρούμε ότι μέχρι το δέκατο τρίτο λεπτό οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται και στα τρία εξεταζόμενα σενάρια είναι μικρότερες από την θερμοκρασία του πρότυπου τεστ φωτιάς, ενώ μετά το χρονικό αυτό σημείο το φαινόμενο αντιστρέφεται.

- Συγκέντρωση οξυγόνου: Είναι γενικώς αποδεκτό ότι το επίπεδο συγκέντρωσης οξυγόνου σε έναν χώρο, είναι ο σημαντικότερος παράγοντας που καθορίζει την βιωσιμότητα των ανθρώπων. Σύμφωνα με το Υπουργείο Εργασίας και Βιομηχανιών (Washington State Department of Labor and Industries), τομέας Επαγγελματικής Ασφάλειας και Υγείας (Division of Occupational Safety and Health), το χαμηλότερο βιώσιμο όριο συγκέντρωσης οξυγόνου στην ατμόσφαιρα σε έναν χώρο είναι 19,5% (πηγή: <http://www.lni.wa.gov/>).

Στην καμπίνα όπου λαμβάνει χώρα η φωτιά, ο χρόνος που χρειάζεται για να πέσει η συγκέντρωση του οξυγόνου κάτω από το χαμηλότερο όριο για τα διάφορα fuel load density καταγράφεται στον πίνακα 11:

Fuel Load density (kg/m ²)	time(sec)
10	327
25	324
35	324

Πίνακας 11- Ο χρόνος που χρειάζεται για να πέσει η συγκέντρωση του οξυγόνου κάτω από το χαμηλότερο όριο, στην καμπίνα όπου λαμβάνει χώρα η φωτιά

Στην καμπίνα δίπλα από την καμπίνα που λαμβάνει χώρα η φωτιά, οι χρόνοι αυτοί αναφέρονται στον πίνακα 12:

Fuel Load density (kg/m ²)	time(sec)
10	369
25	369
35	372

Πίνακας 12- Ο χρόνος που χρειάζεται για να πέσει η συγκέντρωση του οξυγόνου κάτω από το χαμηλότερο όριο, στην καμπίνα δίπλα από την καμπίνα όπου λαμβάνει χώρα η φωτιά

Ομοίως στον διάδρομο μπροστά στις δυο καμπίνες:

Fuel Load density (kg/m ²)	Μπροστά από την καμπίνα όπου λαμβάνει χώρα η φωτιά	Στην μέση της απόστασης μεταξύ των δυο καμπινών	Μπροστά στην καμπίνα που είναι δίπλα στην καμπίνα όπου λαμβάνει χώρα η φωτιά
	time(sec)		
10	330	342	348
25	324	342	347
35	324	342	348

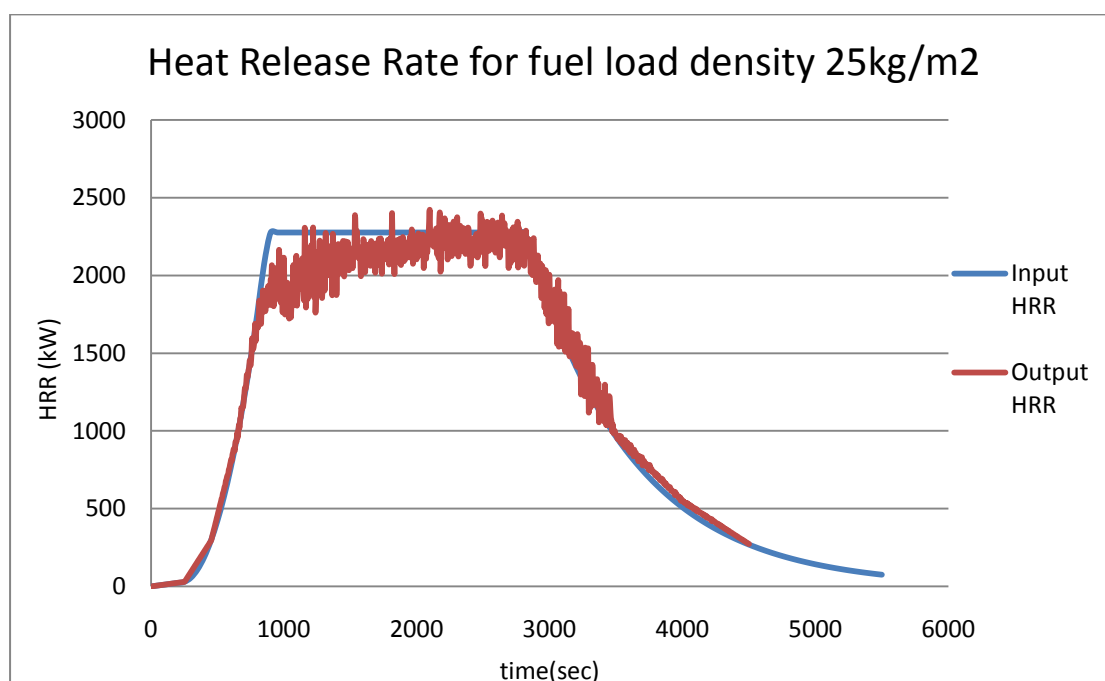
Πίνακας 13- Ο χρόνος που χρειάζεται για να πέσει η συγκέντρωση του οξυγόνου κάτω από το χαμηλότερο όριο, στην καμπίνα δίπλα από την καμπίνα όπου λαμβάνει χώρα η φωτιά

Παρατηρώντας τις τιμές των πινάκων, βλέπουμε ότι ανεξαρτήτως της τιμής του fuel load density η συγκέντρωση του οξυγόνου πέφτει κάτω από το χαμηλότερο όριο βιωσιμότητας των ανθρώπων μέσα σε λιγότερο από έξι λεπτά. Συγκεκριμένα πέφτει κάτω από το χαμηλότερο όριο βιωσιμότητας, στο δωμάτιο όπου αναπτύσσεται η φωτιά μέσα σε περίπου 5,5 λεπτά, στον διάδρομο σε 5.8 λεπτά και στο διπλανό δωμάτιο σε 6.1 λεπτά.

5.4 Μελέτη αποτελεσματικότητας του διαχωριστικού B-15 για διαφορετικά πάχη μόνωσης

5.4.1 Περιγραφή προσομοίωσης

Στην συνέχεια, εξετάσαμε την αποτελεσματικότητα του διαχωριστικού B-15 σε διαφορετικά πάχη μόνωσης σε δυο περιπτώσεις, και με ανοικτή και με κλειστή την πόρτα της διπλανής καμπίνας. Επιλέξαμε την φωτιά με 25kg/m^2 fuel load density και αλλάζαμε κάθε φορά το πάχος της μόνωσης του εξεταζόμενου διαχωριστικού. Ο ρυθμός έκλυσης της θερμότητας για 25kg/m^2 fuel load density φαίνεται στο διάγραμμα 25.



Διάγραμμα 25 –Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας για fuel load density 25kg/m^2

Οι τιμές των παχών της μόνωσης που μελετήσαμε, καταγράφονται στον πίνακα 14:

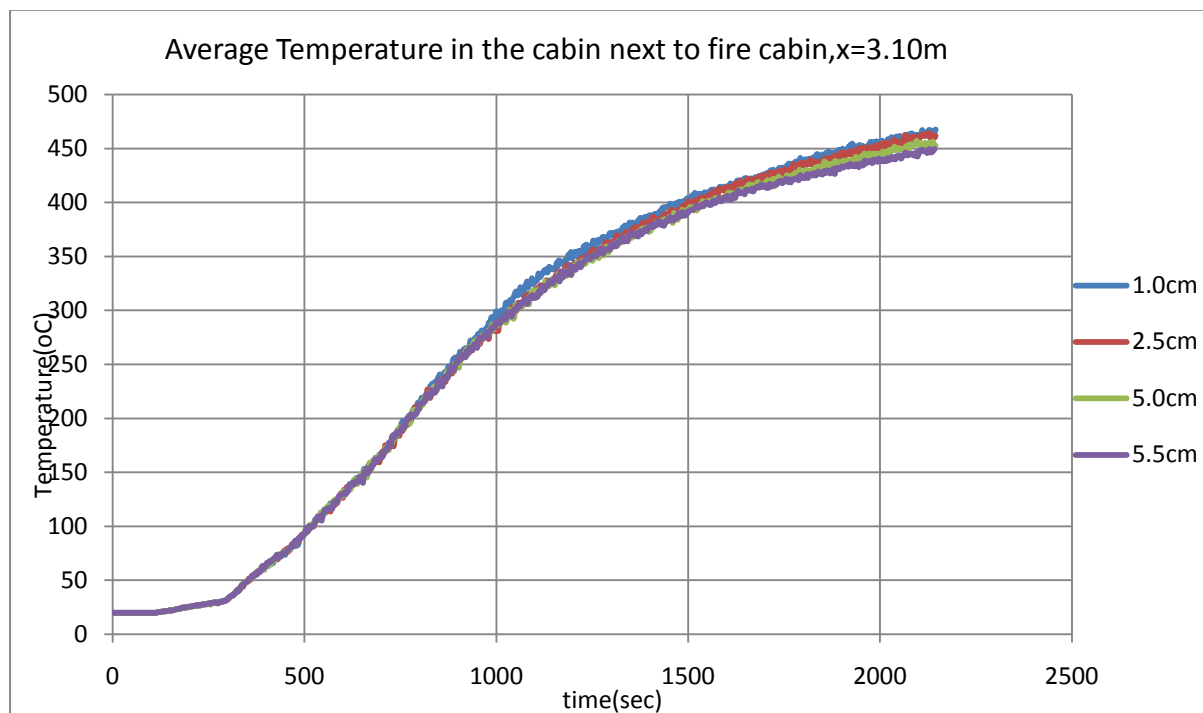
1,00cm
2,50cm
5,00cm
5,50 cm
6,50 cm

Πίνακας 14- Πάχη μόνωσης

5.4.2 Αποτελέσματα

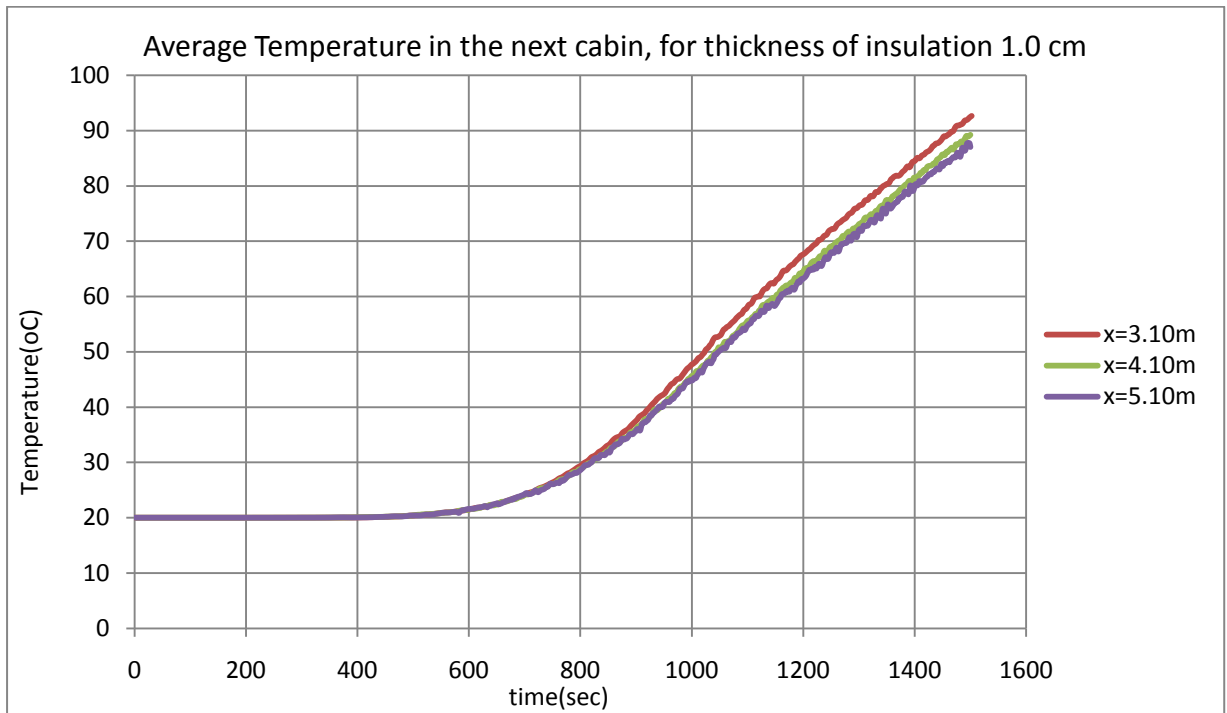
Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, αναπαρίστανται στα παρακάτω διαγράμματα:

❖ Με ανοικτή την πόρτα της διπλανής καμπίνας

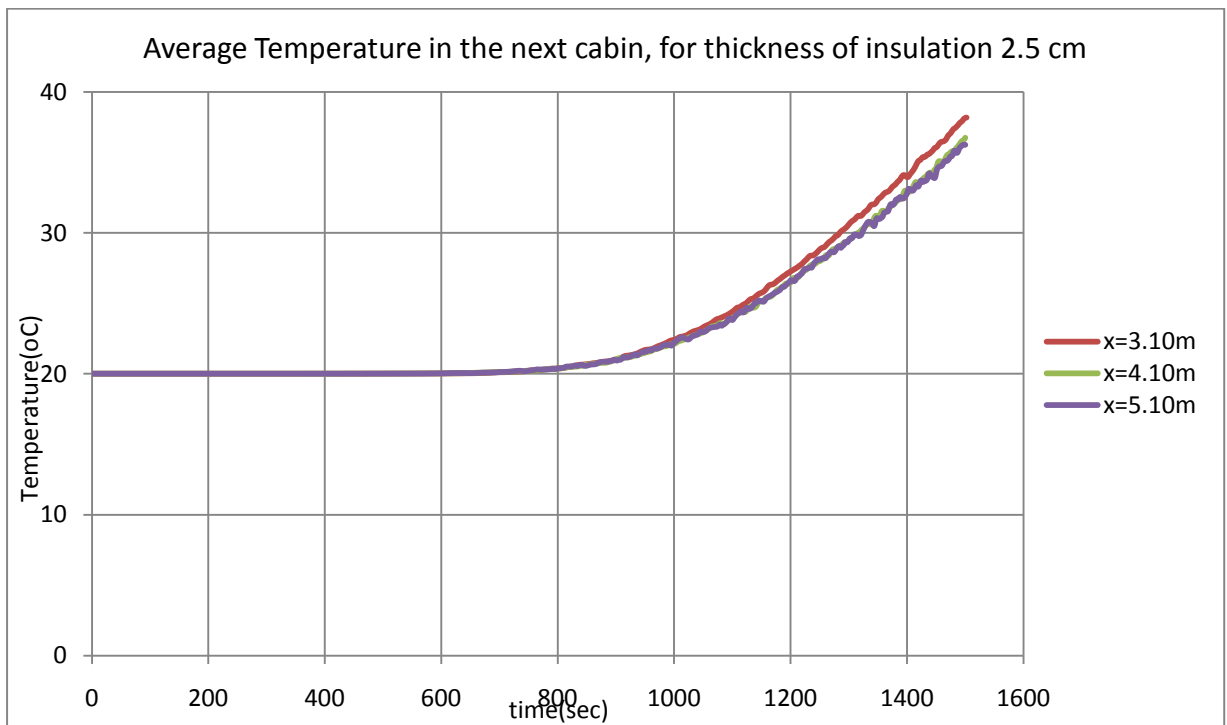


Διάγραμμα 26 –Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα με ανοικτή την πόρτα, για διάφορα πάχη μόνωσης.

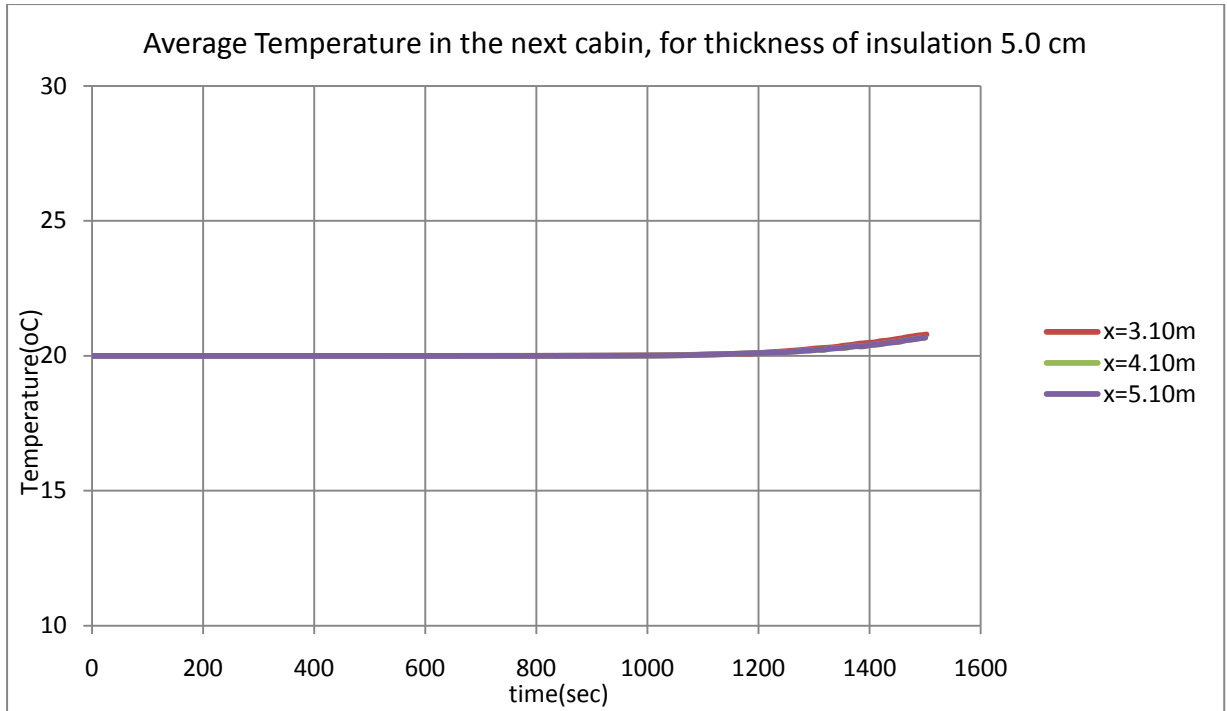
❖ **Με κλειστή την πόρτα της διπλανής καμπίνας**



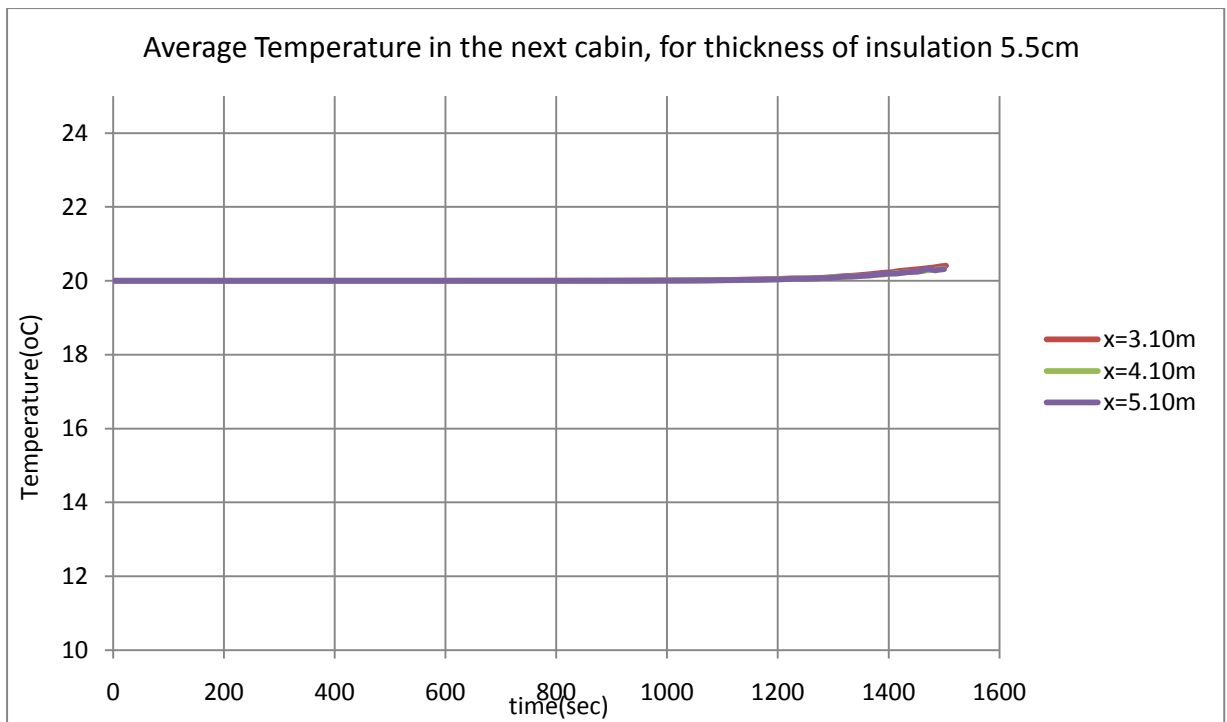
Διάγραμμα 27–Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα με κλειστή την πόρτα, για 1.0cm πάχος μόνωσης



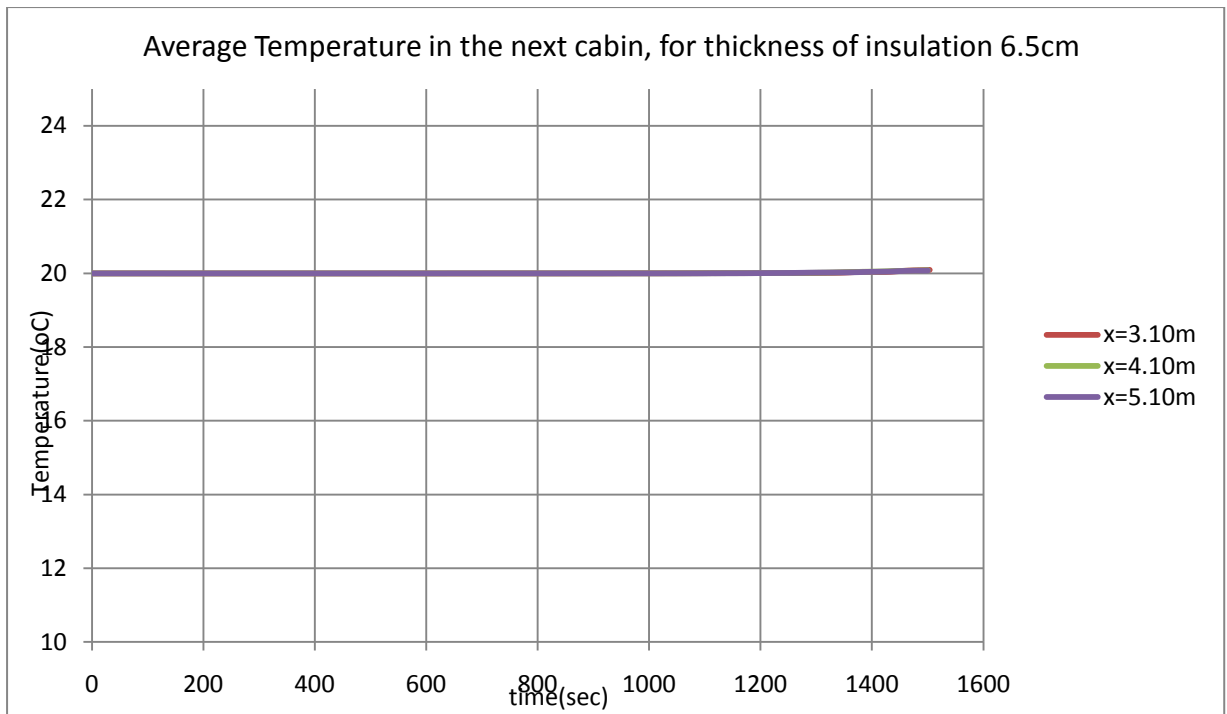
Διάγραμμα 28–Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα με κλειστή την πόρτα, για 2.5 cm πάχος μόνωσης



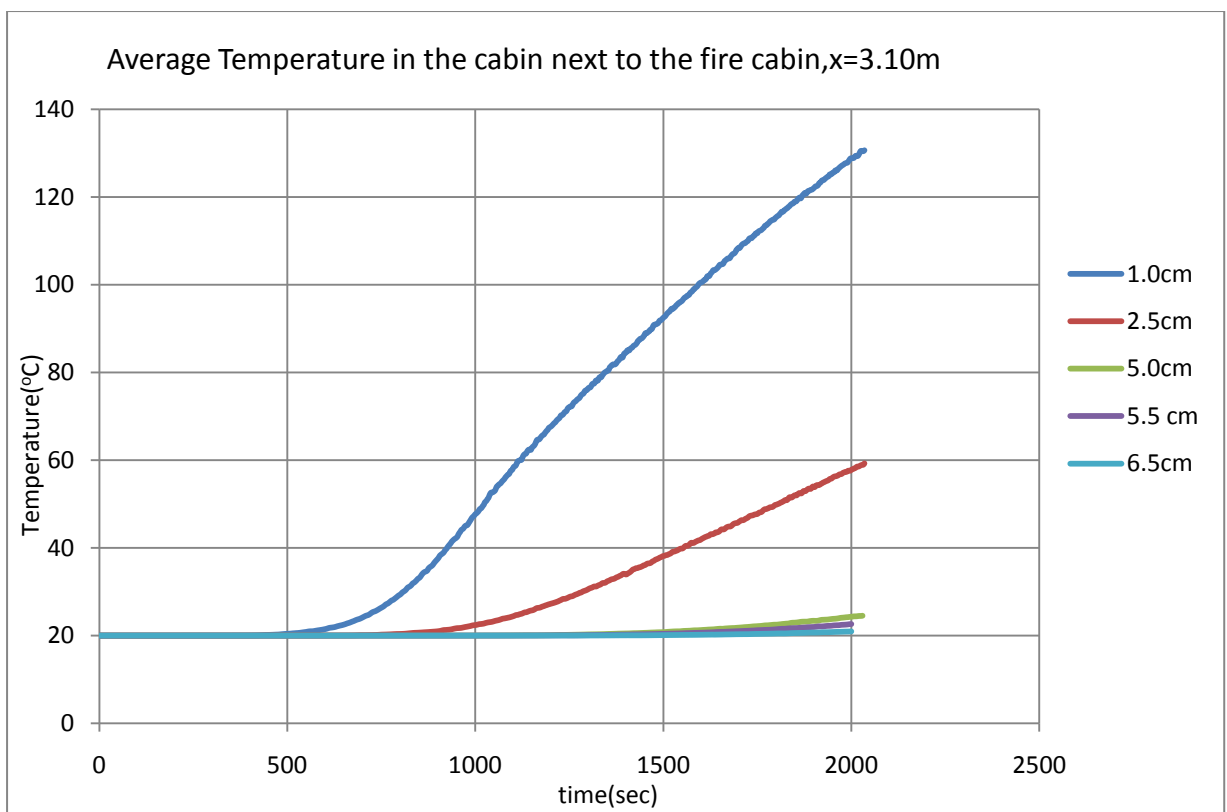
Διάγραμμα 29–Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα με κλειστή την πόρτα, για 5.0 cm πάχος μόνωσης



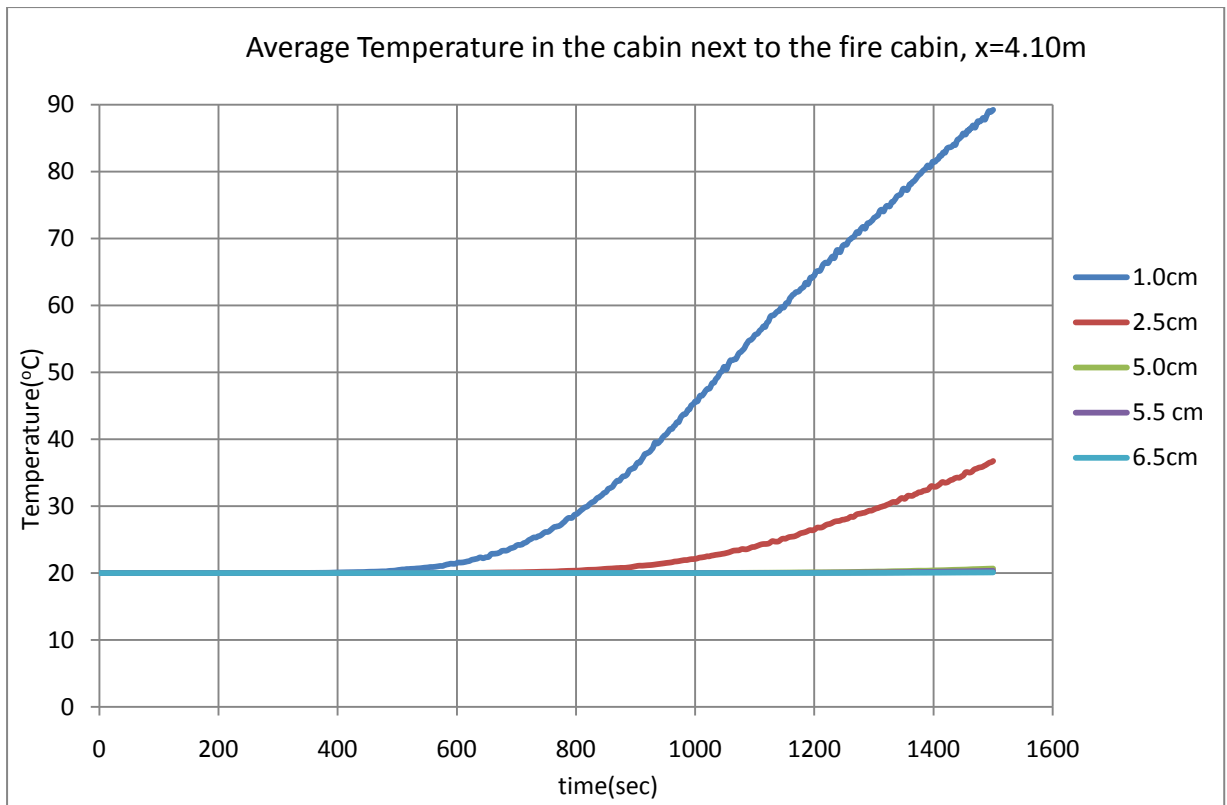
Διάγραμμα 30–Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα με κλειστή την πόρτα, για 5.5 cm πάχος μόνωσης



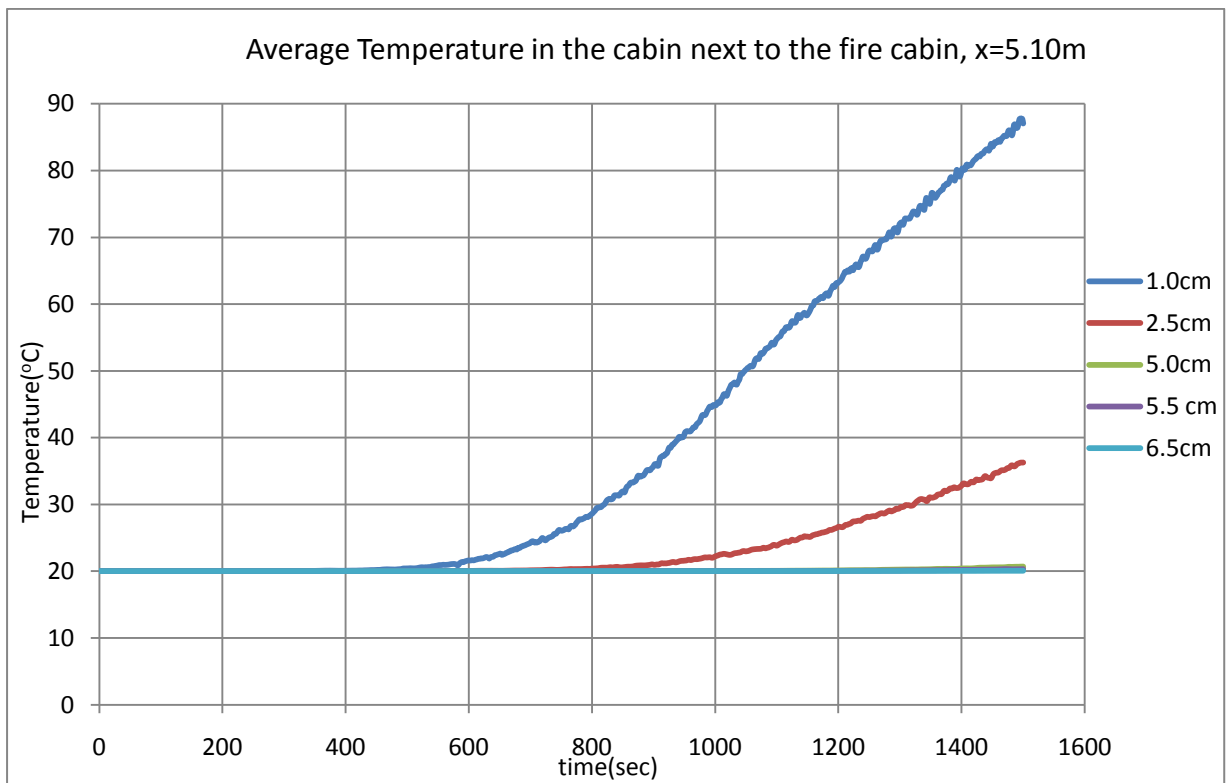
Διάγραμμα 31–Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα με κλειστή την πόρτα, για 6.5 cm πάχος μόνωσης



Διάγραμμα 32 –Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα με κλειστή την πόρτα για $x=3,10m$, για διάφορα πάχη μόνωσης.



Διάγραμμα 33 –Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα με κλειστή την πόρτα για $x=4,10\text{m}$, για διάφορα πάχη μόνωσης.



Διάγραμμα 34–Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα με κλειστή την πόρτα για $x=5.10\text{m}$, για διάφορα πάχη μόνωσης.

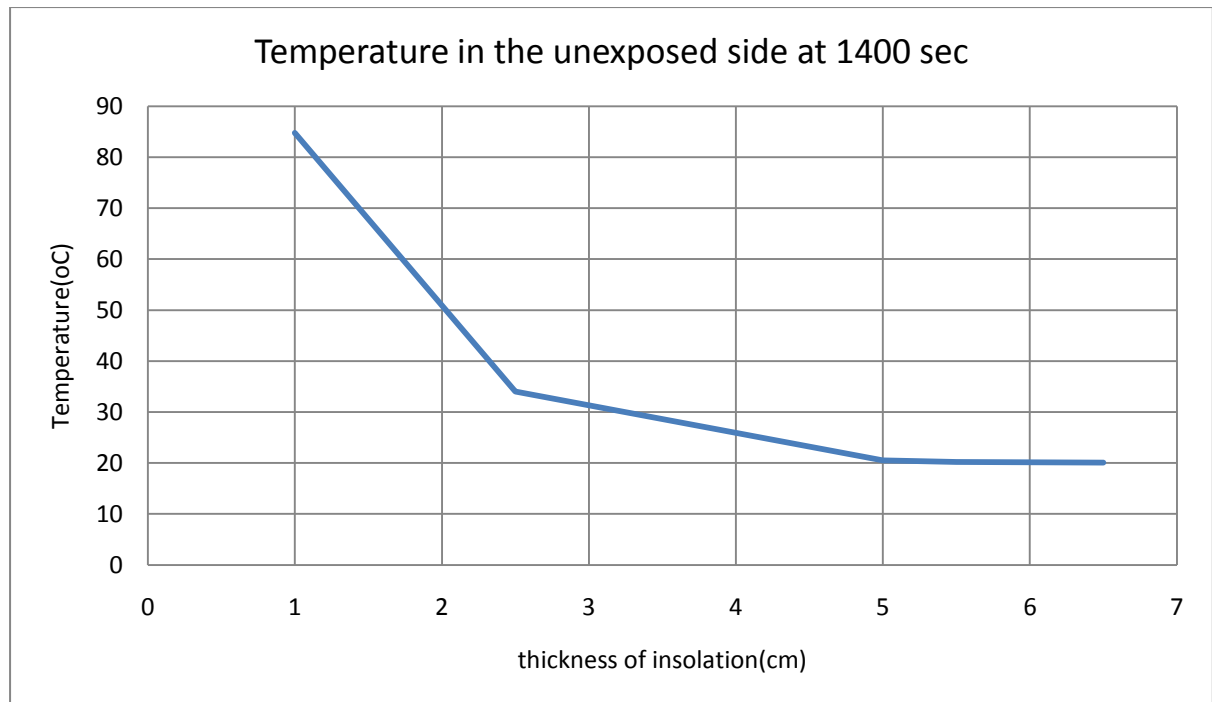
5.4.3 Συμπεράσματα

Αρχικά, παρατηρώντας το διάγραμμα των θερμοκρασιών στην διπλανή καμπύλη με ανοικτή την πόρτα, βλέπουμε ότι οι θερμοκρασίες δεν επηρεάζονται καθόλου ανεξαρτήτως του πάχους μόνωσης. Είτε το πάχος μόνωσης είναι 1 εκατοστό, είτε 5.5 εκατοστά, οι θερμοκρασίες στην μη εκτιθέμενη πλευρά του διαχωριστικού που αναπτύσσονται είναι ίδιες.

Από την άλλη μεριά, όταν η πόρτα της διπλανής καμπύλης είναι κλειστή βλέπουμε μεγάλες διαφορές στις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται καθώς αλλάζει το πάχος της μόνωσης. Συγκεκριμένα, κοντά στην μη εκτιθέμενη πλευρά του διαχωριστικού ($\chi=3.10\text{m}$), οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στα 1400 δευτερόλεπτα φαίνονται στον πίνακα 15 και διάγραμμα 35.

Πάχος μόνωσης (cm)	Θερμοκρασία στα 1400 δευτερόλεπτα (°C)
1.0	84.8
2.5	34.0
5.0	20.5
5.5	20.2
6.5	20.1

Πίνακας 15 –Θερμοκρασίες στα 1400 δευτερόλεπτα για διάφορα πάχη μόνωσης



Διάγραμμα 35–Μέση θερμοκρασία στα 1400 δευτερόλεπτα στην διπλανή καμπίνα με κλειστή την πόρτα για $\chi=310m$, για διάφορα πάχη μόνωσης.

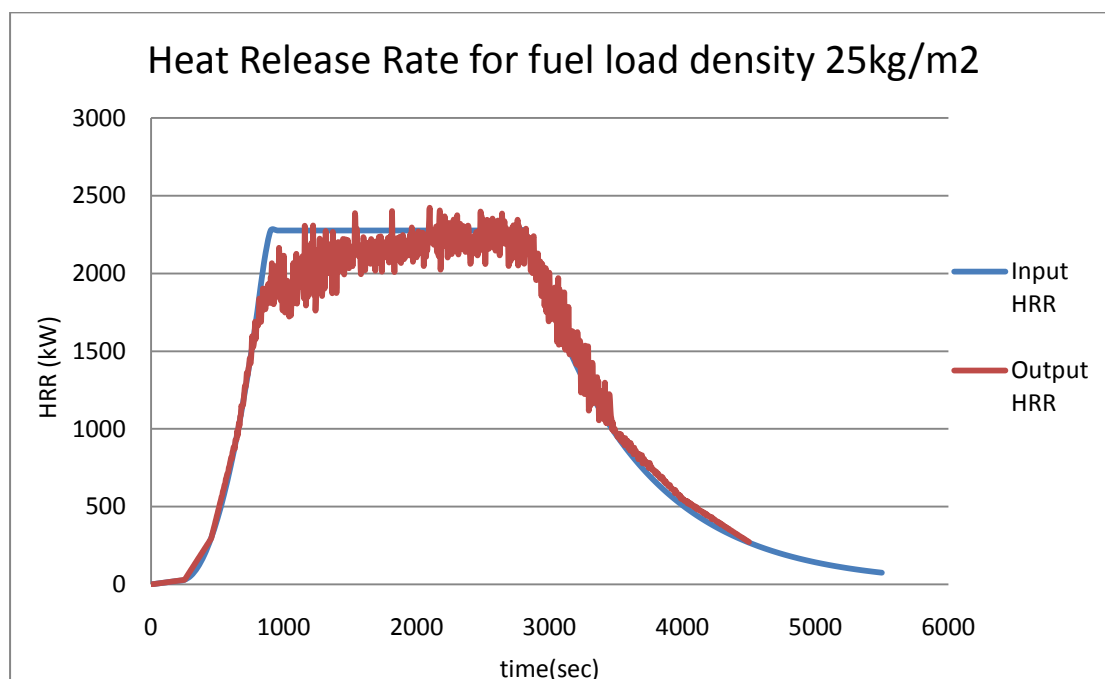
Για πάχη μόνωσης 5.0, 5.5 και 6.5 εκατοστά, παρατηρούμε ότι οι διαφορές των θερμοκρασιών είναι μηδαμινές. Ενώ για τα πάχη μόνωσης 1.0 και 2.5 εκατοστά, η διαφορά της θερμοκρασίας για $\chi=3.10$ μέτρα είναι 50.8 °C. Από τα παραπάνω βγάζουμε το συμπέρασμα ότι το βέλτιστο πάχος μόνωσης είναι τα πέντε εκατοστά.

Στο σημείο αυτό, πρέπει να αναφέρουμε ότι τα διαγράμματα 32,33 και 34, έχουν άμεση πρακτική εφαρμογή στην επιλογή διαχωριστικού βέλτιστου πάχους μόνωσης και αντίστοιχου βέλτιστου οικονομικού κόστους. Για παράδειγμα, μέχρι τον χρόνο των 750 δευτερολέπτων η θερμοκρασία παραμένει σταθερή και για τα τέσσερα πάχη. Οπότε, αν κάποιος ζητήσει ένα διαχωριστικό που να έχει την ικανότητα να μην ξεπερνά τους 20 °C, για το χρονικό διάστημα των 750 πρώτων δευτερολέπτων τότε το βέλτιστο πάχος μόνωσης θα είναι τα 2.5 εκατοστά. Άρα, σε μια έρευνα αγοράς διαχωριστικών μπορούμε με την βοήθεια των κατάλληλων προσομοιώσεων να βρούμε το βέλτιστο και οικονομικότερο πάχος μόνωσης τους.

5.5 Μελέτη αποτελεσματικότητας του διαχωριστικού B-15 με την πόρτα της διπλανής καμπίνας κλειστή.

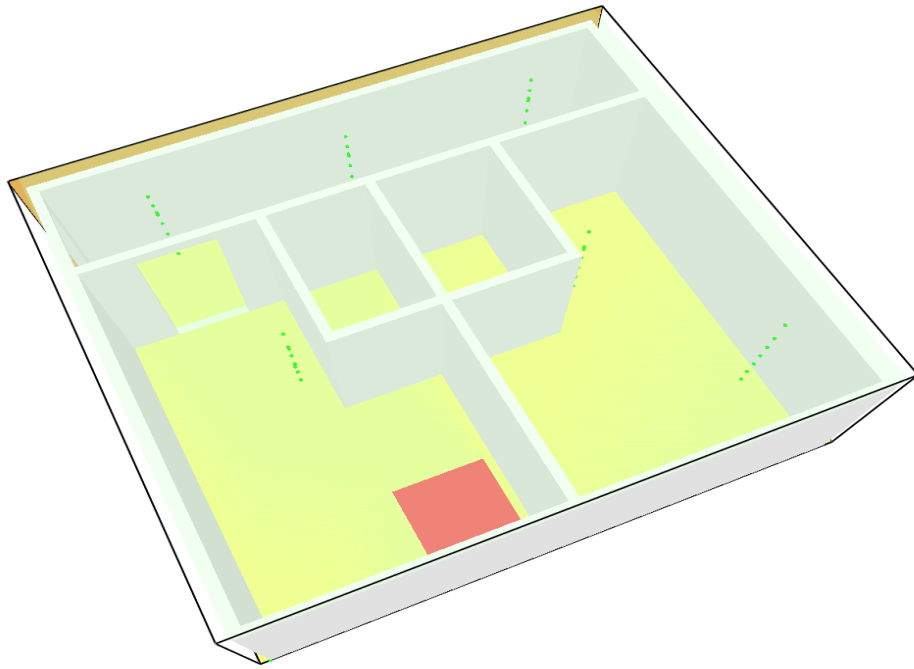
5.5.1 Περιγραφή προσομοίωσης

Τέλος, εξετάσαμε την αποτελεσματικότητα του διαχωριστικού B-15 όταν η πόρτα της διπλανής καμπίνας είναι κλειστή και το πάχος της μόνωσης είναι 5.0 εκατοστά, και πραγματοποιήθηκε σύγκριση των αποτελεσμάτων με το σενάριο μελέτης όταν η πόρτα ήταν ανοικτή. Επιλέξαμε την φωτιά με 25kg/m^2 fuel load density. Ο ρυθμός έκλυσης της θερμότητας για 25kg/m^2 fuel load density φαίνεται στο διάγραμμα 36.



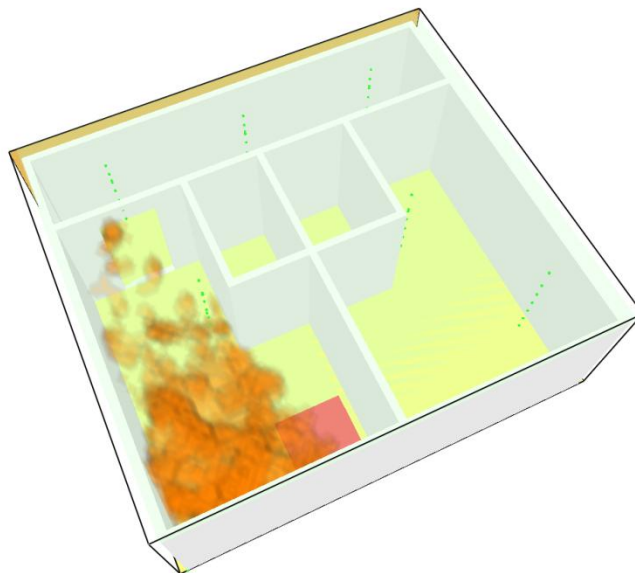
Διάγραμμα 36–Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας για fuel load density 25kg/m^2

Η εξεταζόμενη γεωμετρία φαίνεται στις εικόνες 11 και 12.



Εικόνα 11– Εξεταζόμενη γεωμετρία με κλειστή την πόρτα της διπλανής καμπίνας

Smokeview 5.3.10 - Jan 30 2009



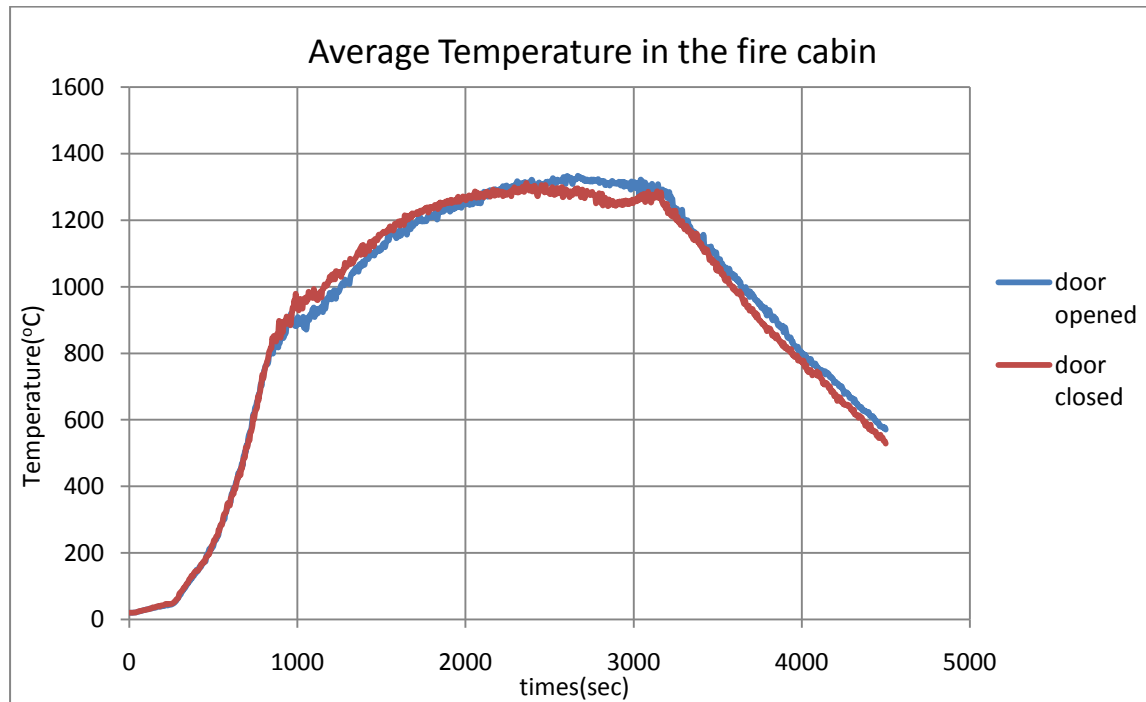
Frame: 400
Time: 1800.0

>200 (kW/m³)

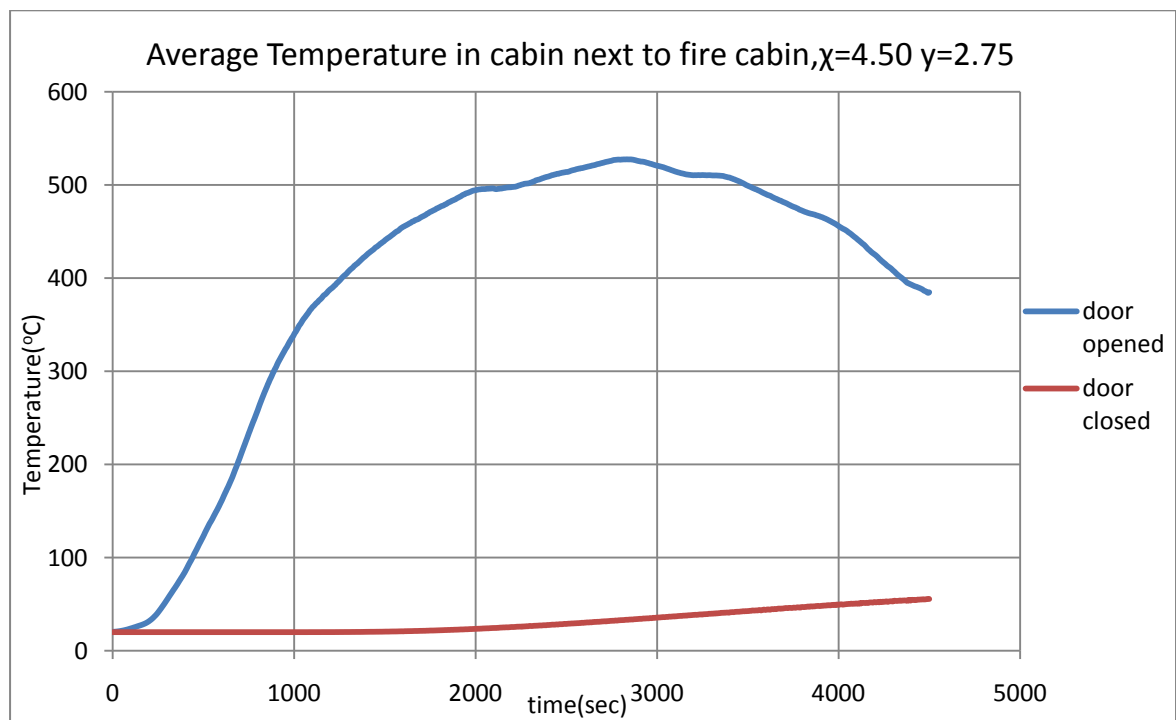
Εικόνα 12– Η εκδήλωση της φωτιάς με κλειστή την πόρτα της διπλανής καμπίνας

5.5.2 Αποτελέσματα

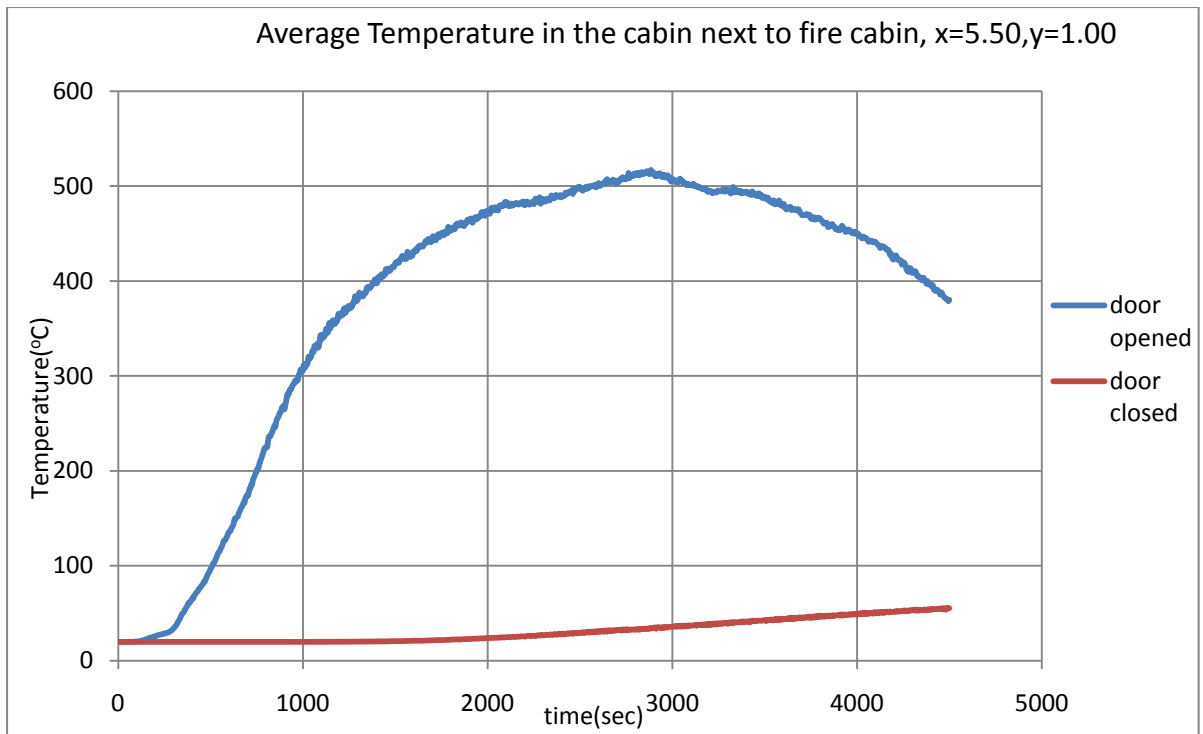
- ❖ Οι θερμοκρασίες, σε κάθε ένα από τα δυο διαμερίσματα και τον διάδρομο, διαμορφώνονται ως εξής:



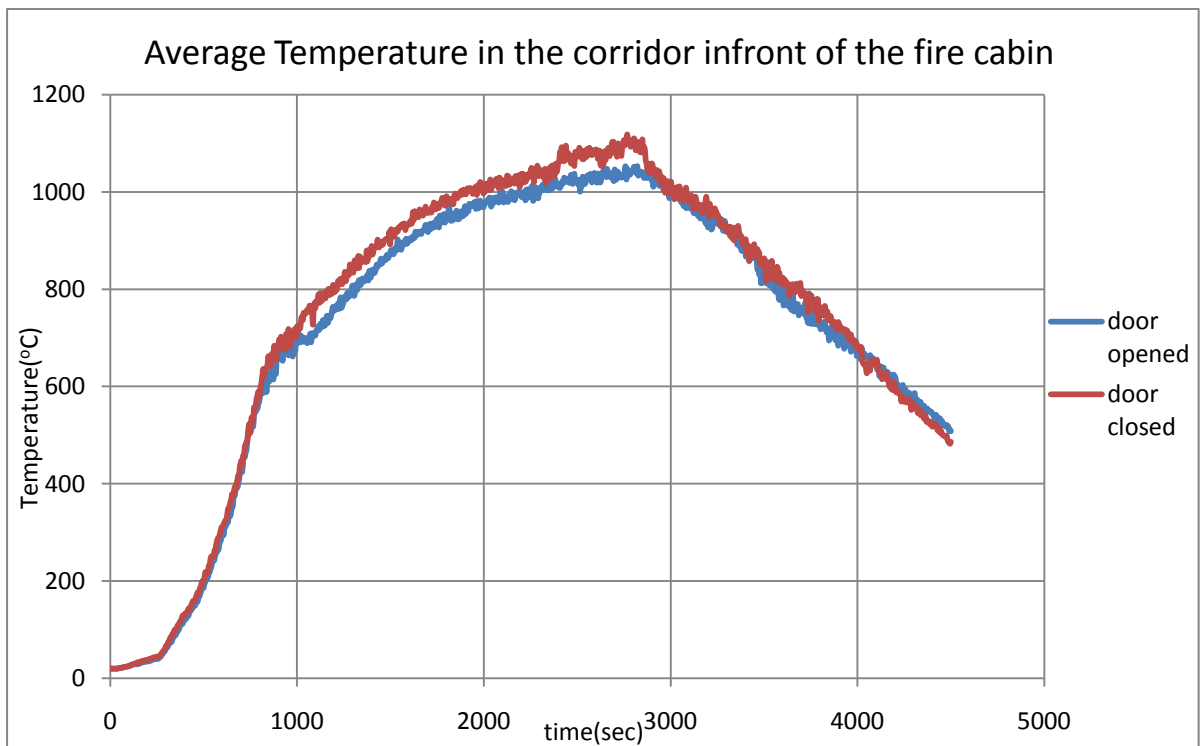
Διάγραμμα 37—Μέση θερμοκρασία στην καμπίνα με την φωτιά για κλειστή και ανοικτή την πόρτα της διπλανής καμπίνας



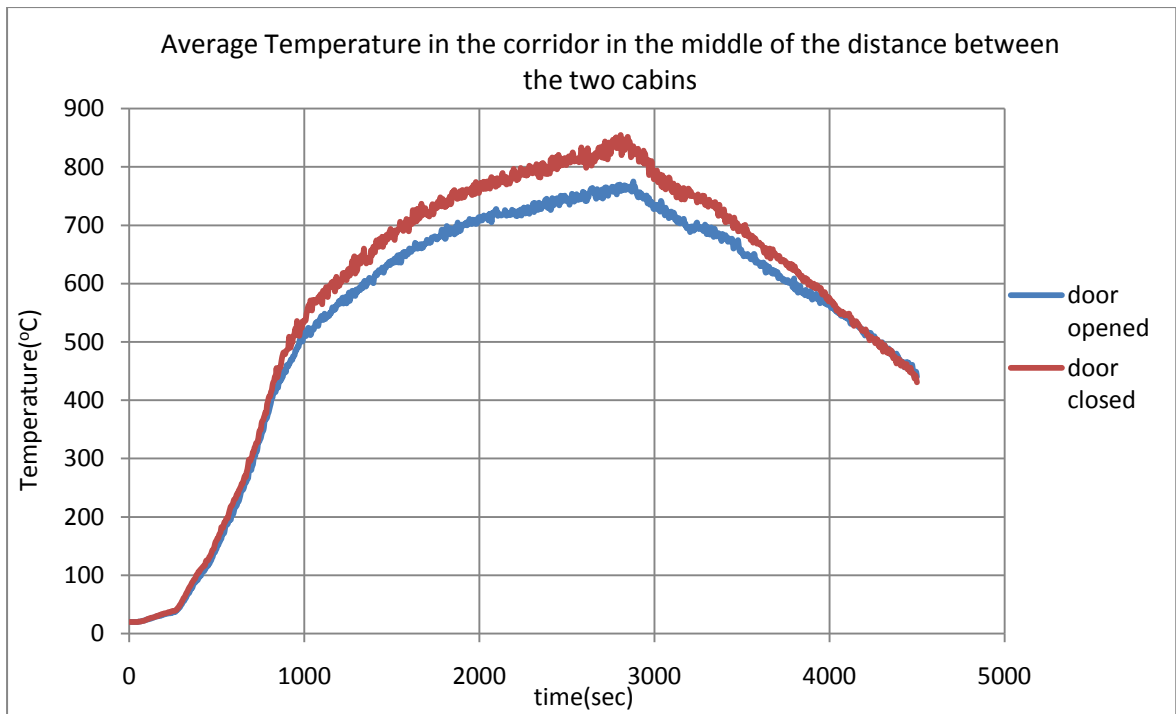
Διάγραμμα 38—Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα για $x=4.50$ m, $y=2.75$ m για κλειστή και ανοικτή την πόρτα της διπλανής καμπίνας



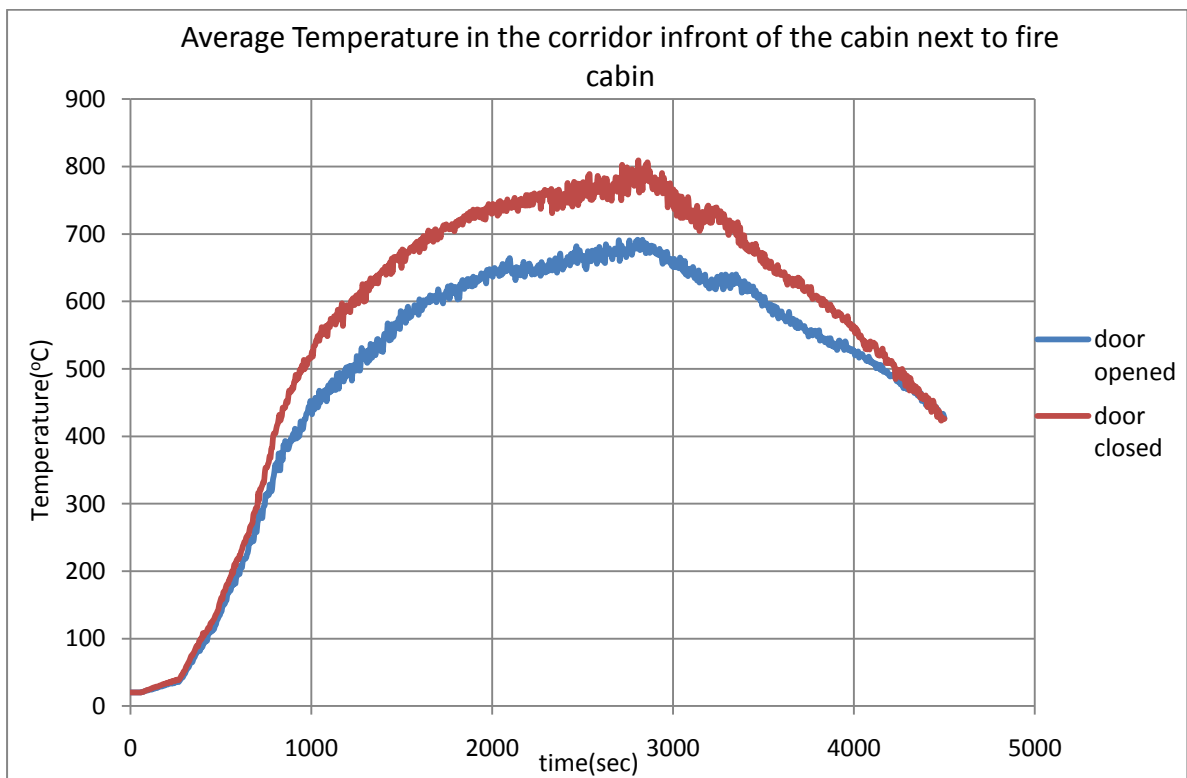
Διάγραμμα 39—Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα για $x=5.50m, y=1.00m$
για κλειστή και ανοικτή την πόρτα της διπλανής καμπίνας



Διάγραμμα 40—Μέση θερμοκρασία στον διάδρομο μπροστά στην καμπίνα με την φωτιά
για κλειστή και ανοικτή την πόρτα της διπλανής καμπίνας

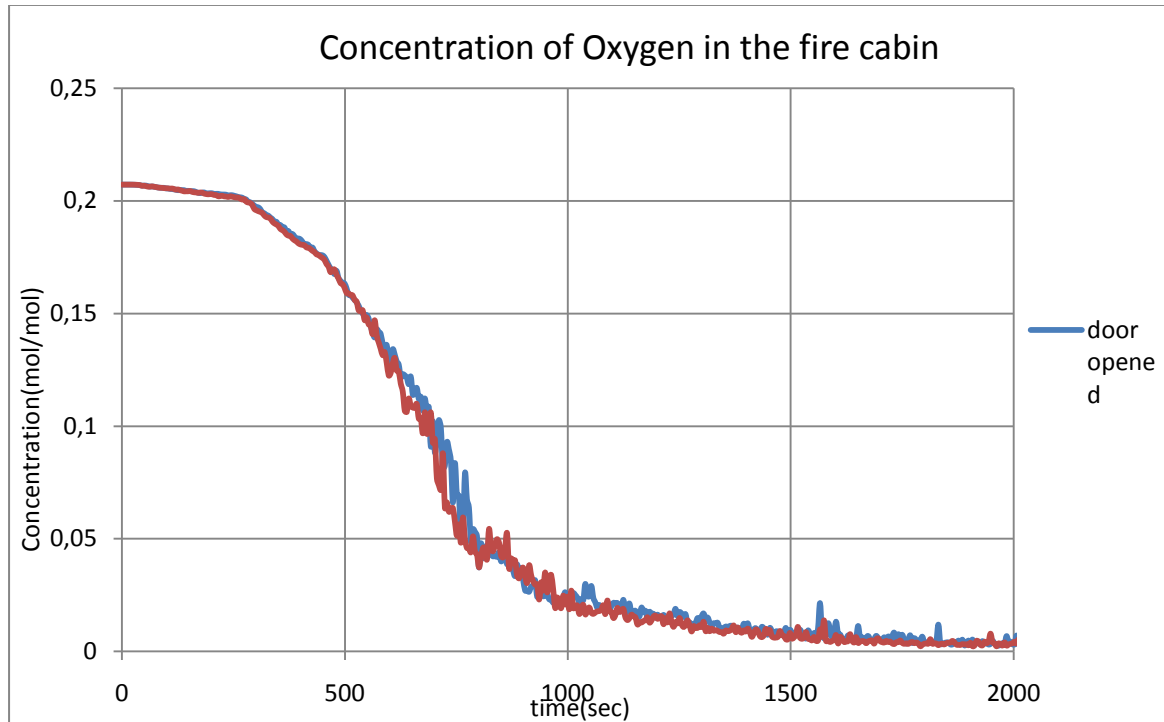


Διάγραμμα 41–Μέση θερμοκρασία στον διάδρομο στην μέση απόσταση των δυο καμπινών για κλειστή και ανοικτή την πόρτα της διπλανής καμπίνας

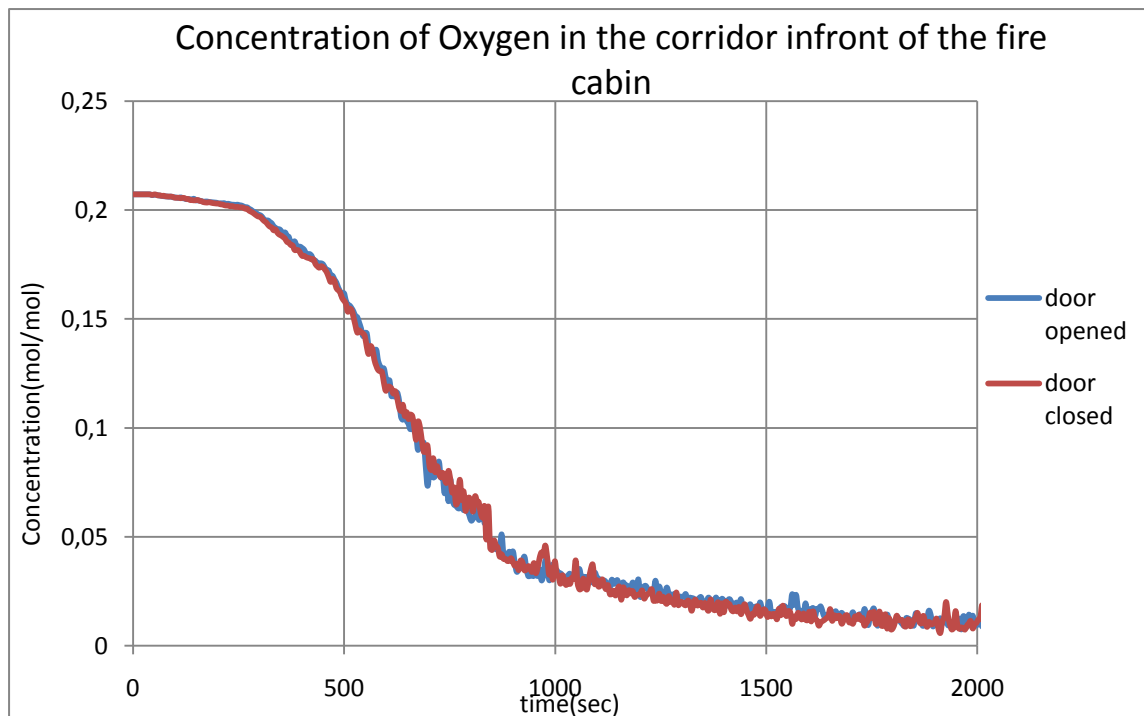


Διάγραμμα 42–Μέση θερμοκρασία στον διάδρομο μπροστά από την διπλανή καμπίνα για κλειστή και ανοικτή την πόρτα της διπλανής καμπίνας

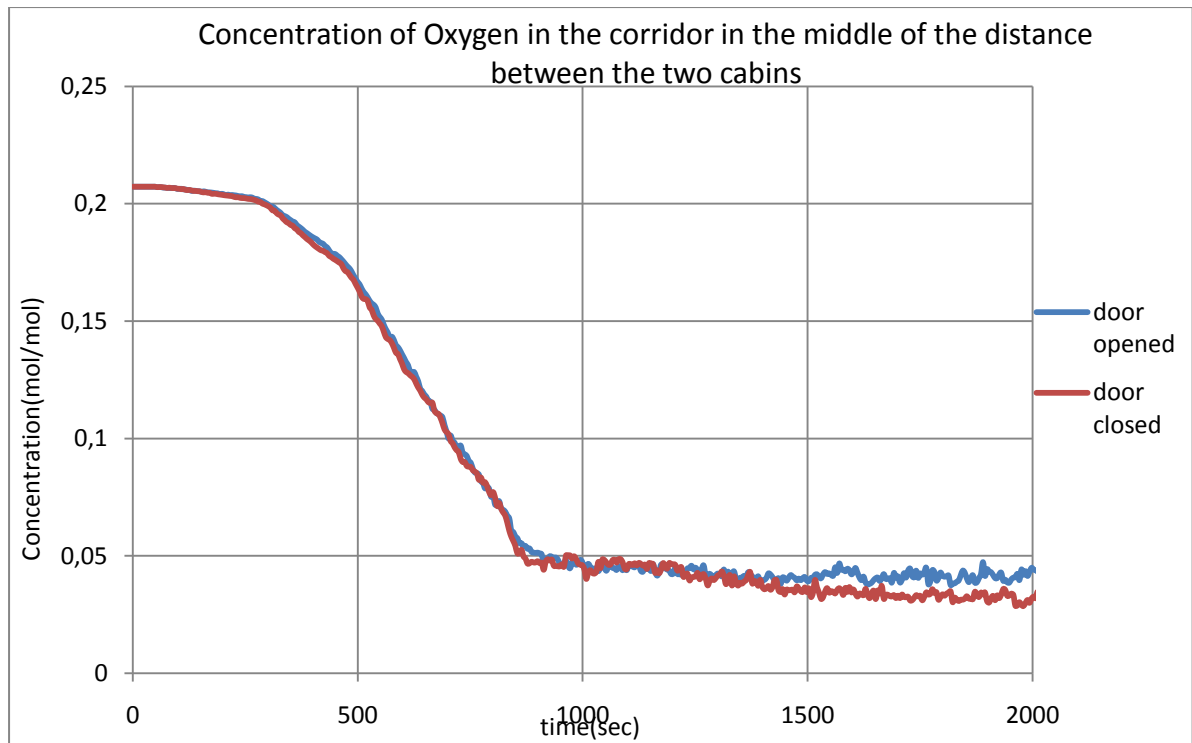
- ❖ Οι συγκεντρώσεις οξυγόνου, σε κάθε ένα από τα δυο διαμερίσματα και τον διάδρομο, διαμορφώνονται ως εξής:



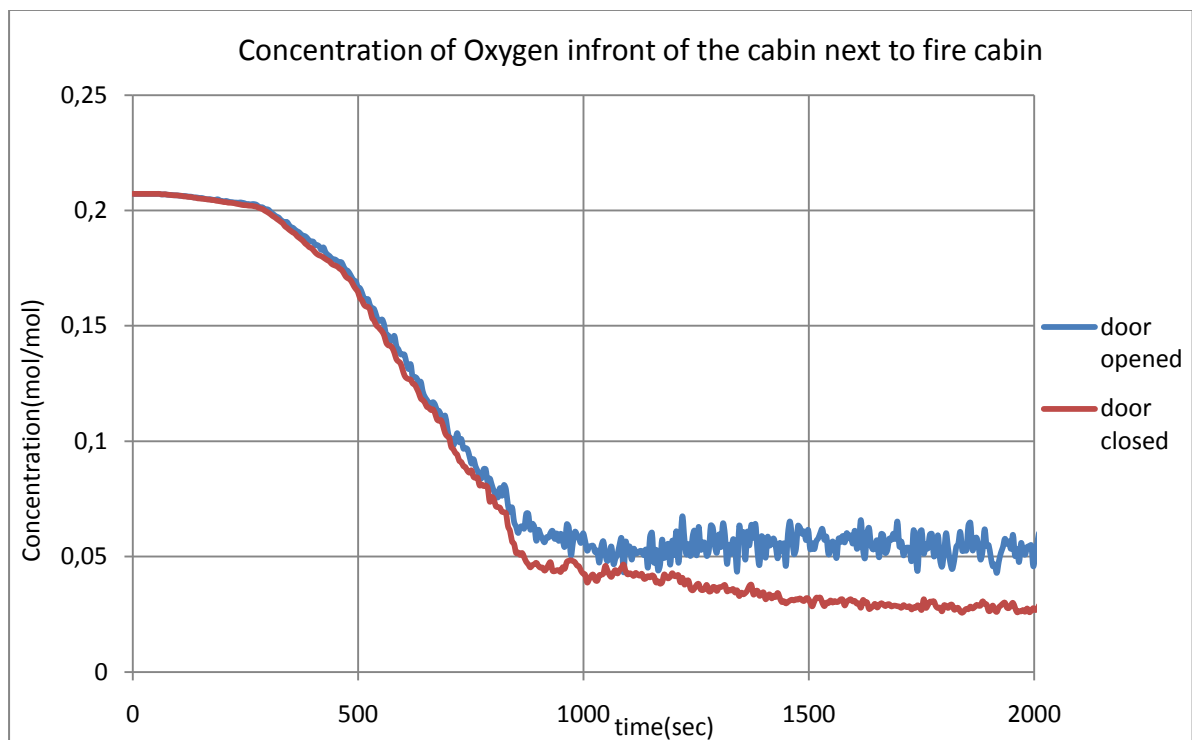
Διάγραμμα 43–Συγκέντρωση οξυγόνου στην καμπίνα με την φωτιά για κλειστή και ανοικτή την πόρτα



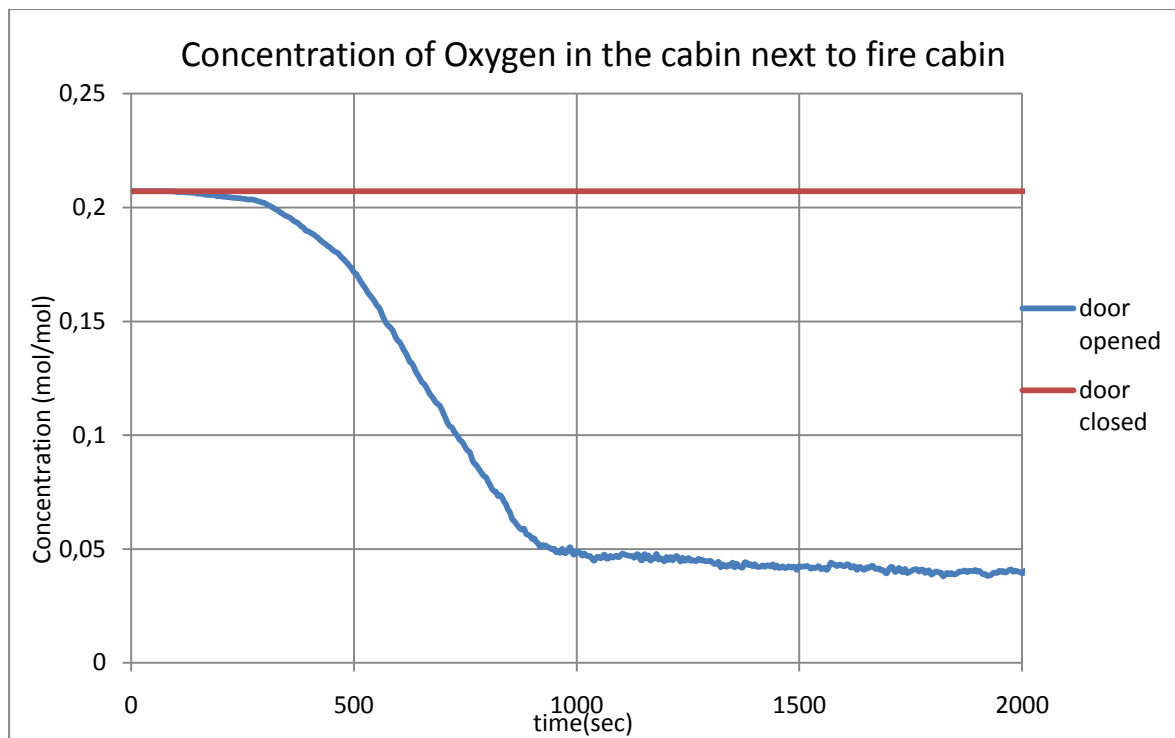
Διάγραμμα 44–Συγκέντρωση οξυγόνου στον διάδρομο μπροστά από την καμπίνα με την φωτιά για κλειστή και ανοικτή την πόρτα



Διάγραμμα 45–Συγκέντρωση οξυγόνου στον διάδρομο στην μέση απόσταση των δυο καμπινών για κλειστή και ανοικτή την πόρτα



Διάγραμμα 46–Συγκέντρωση οξυγόνου στον διάδρομο μπροστά από την διπλανή καμπίνα για κλειστή και ανοικτή την πόρτα



Διάγραμμα 47–Συγκέντρωση οξυγόνου στην διπλανή καμπίνα για κλειστή και ανοικτή την πόρτα

5.5.3 Συμπεράσματα

- **Θερμοκρασία:** Πρέπει να τονίσουμε ότι οι τιμές των θερμοκρασιών στην καμπίνα με κλειστή την πόρτα, δεν φθάνουν ούτε τους εκατό βαθμούς κελσίου. Η διαφοράς μεταξύ των δυο σεναρίων που μελετήσαμε είναι δραματικά μεγάλες.

Παρατηρώντας τα διαγράμματα θερμοκρασιών στον διάδρομο, βλέπουμε ότι από κάποιο χρονικό σημείο και ύστερα (δέκατο πέμπτο λεπτό και μετά) η θερμοκρασία στο σενάριο με την πόρτα κλειστή αυξάνεται πάρα πολύ, από ότι στην περίπτωση που η πόρτα της διπλανής καμπίνας είναι ανοικτή.

- **Συγκέντρωση οξυγόνου:** Στην καμπίνα δίπλα από την καμπίνα που λαμβάνει χώρα η φωτιά, παρατηρούμε ότι η συγκέντρωση του οξυγόνου δεν έχει πέσει σχεδόν καθόλου. Σε αντίθεση με την συγκέντρωση του οξυγόνου έξω από την καμπίνα, που συγκριτικά με την αρχική καμπύλη πέφτει σε πολύ χαμηλότερες τιμές, πολύ πιο γρήγορα. Αυτή η κατάσταση παρατηρείται και σε όλα τα άλλα σημεία στα οποία μετρήθηκε η συγκέντρωση του οξυγόνου.

Κεφάλαιο 6^ο

Μελέτη παραγόντων βιωσιμότητας κατά την διάρκεια πυρκαγιάς, σε κατάστρωμα ενδιαίτησης επιβατηγού πλοίου

6.1 Εισαγωγή

Όταν μια φωτιά εκδηλώνεται σε ένα χώρο, εμφανίζονται παράλληλα και τα προϊόντα της καύσης αυτής. Οι κατηγορίες των προϊόντων αυτών είναι (Τσαρακλής & Παπάζογλου,2001):

1. **Τα αέρια της καύσης.** Η ποσότητα και το είδος των αερίων της φωτιάς εξαρτώνται από την χημική σύσταση των υλικών που καίγονται , την ποσότητα του οξυγόνου στον χώρο και την τιμή της αρχικής θερμοκρασίας. Οι επιπτώσεις που θα έχουν τα τοξικά αυτά αέρια στον ανθρώπινο οργανισμό εξαρτώνται από την διάρκεια έκθεσης, την συγκέντρωση των αερίων αυτών στον αέρα και φυσικά την φυσική κατάσταση του ατόμου. Τα πιο συνήθη αέρια προϊόντα είναι: CO, CO₂, SO₂, NH₃, H₂S,HCN κ.α.
2. **Οι φλόγες.** Η επαφή με τις φλόγες της φωτιάς προκαλεί ολικά ή μερικά εγκαύματα του δέρματος και σοβαρές βλάβες στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου.
3. **Η θερμότητα.** Η έκθεση σε ζεστό αέρα (υψηλή θερμότητα) αυξάνει τον ρυθμό της καρδιάς και προκαλεί αφυδάτωση, θερμική εξάντληση, εγκαύματα και απόφραξη του αναπνευστικού συστήματος. Όταν η έκθεση αυτή διαρκέσει μεγάλο χρονικό διάστημα μπορεί να οδηγήσει σε υπερθερμία η οποία συνεπάγεται καταστροφή (μερική ή ολική) των νευρικών κέντρων του ανθρώπινου οργανισμού. Η ύπαρξη υγρασίας στον χώρο αυξάνει πολύ τους παραπάνω κινδύνους και μειώνει δραματικά τον χρόνο επιβίωσης, διότι μειώνεται κατά πολύ η αντίσταση του σώματος σε υπερβολικά υψηλές θερμοκρασίες.

4. **Ο καπνός.** Ο καπνός συνίσταται από πολύ μικρά στερεά σωματίδια από άνθρακα και άλλες άκαυστες ουσίες καθώς και από συμπυκνωμένο ατμό. Ο καπνός είναι ένα από τα πιο επικίνδυνα προϊόντα της καύσης, διότι μειώνει πολύ την ορατότητα, ερεθίζει τα μάτια, την μύτη, το λάρυγγα και τους πνεύμονες, ενώ ταυτόχρονα μεταφέρει υδρατμούς, οξέα και χημικές ενώσεις που είναι δηλητηριώδεις και ερεθιστικές κατά την εισπνοή. Έχει διαπιστωθεί ότι για το μεγαλύτερο ποσοστό των θανάτων από φωτιά ευθύνονται οι καπνοί και τα τοξικά ή μη αέρια, και σε λιγότερο ποσοστό τα εγκαύματα από υψηλές θερμοκρασίες.

Στο κεφάλαιο αυτό θα μελετήσουμε τους όλους αυτούς τους παράγοντες βιωσιμότητας, που περιγράψαμε παραπάνω, με την βοήθεια του μοντέλου προσομοίωσης FDS (Fire Dynamics Simulator). Η μελέτη θα γίνει σε ένα κατάστρωμα ενδιαίτησης μεγάλου ύψους, ενός επιβατηγού πλοίου.

6.2 Περιγραφή των παραμέτρων προς εξέταση.

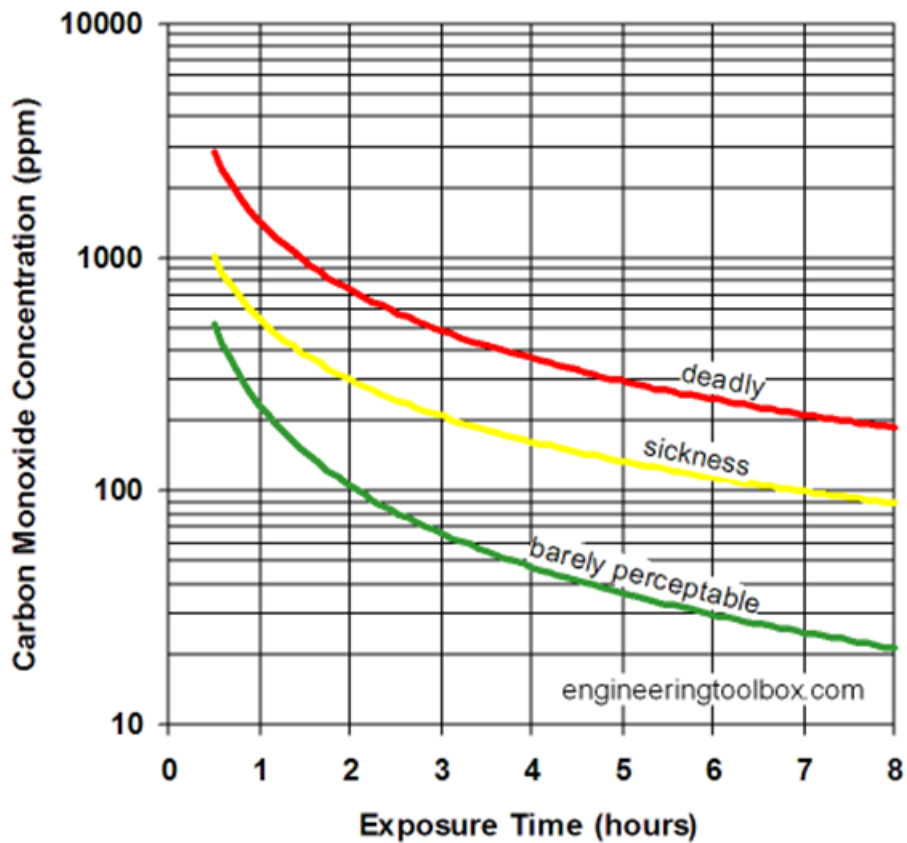
Όπως αναφέραμε και στην εισαγωγή, κατά την διάρκεια μιας πυρκαγιάς εμφανίζονται διάφορα προϊόντα που επηρεάζουν την υγεία των επιβατών. Σε αυτήν την παράγραφο, θα δοθούν στοιχεία σχετικά με τους παράγοντες βιωσιμότητας.

6.2.1 Μονοξείδιο και Διοξείδιο του Άνθρακα

Μια από τις κύριες αιτίες απώλειας ανθρώπινων ζωών από μια πυρκαγιά είναι η εισπνοή θερμών, τοξικών ή ασφυκτικών αερίων. Τα πλέον συνήθη επικίνδυνα αέρια είναι το μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα.

Το μονοξείδιο του άνθρακα (προϊόν ατελούς καύσης) είναι το πιο επικίνδυνο από αυτά τα δύο, διότι εισπνεόμενο μαζί με τον αέρα απορροφάται από το αίμα πριν αυτό απορροφήσει το αναγκαίο οξυγόνο, με αποτέλεσμα την έλλειψη οξυγόνου στο σώμα. Έκθεση σε συγκέντρωση 1.3% CO μπορεί να προκαλέσει λιποθυμία και μετά από λίγα λεπτά και θάνατο(σύμφωνα με τον ελληνικό ινστιτούτο υγιεινής και ασφάλειας της εργασίας).

Παρακάτω, παρατίθεται διάγραμμα (διάγραμμα 48) (πηγή:www.engineeringtoolbox.com) που παρουσιάζει τα συμπτώματα στον άνθρωπο από εισπνοή μονοξειδίου του άνθρακα. Επιπλέον, παρατίθεται πίνακας συμπληρωματικός του διαγράμματος (πίνακας 16), που καταγράφονται τα συμπτώματα με λεπτομέρεια.



Διάγραμμα 48 – Παρουσίαση Συμπτωμάτων από εισπνοή μονοξειδίου του άνθρακα.

(πηγή:www.engineeringtoolbox.com)

CO (ppm)	Διάρκεια Έκθεσης	Συμπτώματα
35	8 ώρες	Μέγιστη επιτρεπόμενη έκθεση σε εργασιακό χώρο (σύμφωνα με τον Occupational Safety and Health Administration-OSHA)
200	2-3 ώρες	Ήπιος πονοκέφαλος, κούραση, ναυτία και ζαλάδα
400	1-2 ώρες	Σοβαρός Πονοκέφαλο, απειλή της ζωής έπειτα από τρεις ώρες έκθεσης
800	45 λεπτά	Ζαλάδα, ναυτία, συσπάσεις. Αναισθησία σε διάστημα δυο ωρών και θάνατος εντός δυο με τριών ωρών έκθεσης
1600	20 λεπτά	Πονοκέφαλος, ναυτία, ζαλάδα. Θάνατος εντός μιας ώρας
3200	5-10 λεπτά	Πονοκέφαλος, ναυτία, ζαλάδα. Θάνατος εντός μιας ώρας
6400	1-2 λεπτά	Πονοκέφαλος, ναυτία, ζαλάδα. Θάνατος εντός εικοσιπέντε με τριάντα λεπτών
12800	1-3 λεπτά	Θάνατος

Πίνακας 16 – Παρουσίαση Συμπτωμάτων από εισπνοή μονοξειδίου του άνθρακα. (πηγή:www.engineeringtoolbox.com)

Από την άλλη πλευρά, το διοξείδιο του άνθρακα που είναι προϊόν τέλειης καύσης , είναι επίσης και προϊόν του αναπνευστικού κύκλου του ανθρώπου. Μεγάλες συγκεντρώσεις του CO₂ στον αέρα μειώνουν το ποσό του οξυγόνου που εισπνέεται από τον άνθρωπο. Σύμφωνα με την ιστοσελίδα www.engineeringtoolbox.com, οι επιπτώσεις στην υγεία ενός ενήλικου ανθρώπου εξαιτίας της αύξησης της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα είναι (πίνακας 17) :

CO ₂ (ppm)	Συμπτώματα
<600	Αποδεκτά επίπεδα
600-1000	Παράπονα δυσκαμψίας
1000-2500	Γενική Υπνηλία
2500-5000	Έναρξη δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία
30000	Ναυτία, αύξηση σφυγμών και ρυθμού αναπνοής
50000	Πονοκέφαλος και δυσκολία όρασης
100000	Αναισθησία και με περαιτέρω έκθεση θάνατος

Πίνακας 17– Παρουσίαση Συμπτωμάτων από εισπνοή διοξειδίου του άνθρακα. (πηγή:www.engineeringtoolbox.com)

6.2.2 Οξυγόνο

Είναι γενικώς αποδεκτό ότι το επίπεδο συγκέντρωσης οξυγόνου σε έναν χώρο, είναι ο σημαντικότερος παράγοντας που καθορίζει την βιωσιμότητα των ανθρώπων. Σύμφωνα με το Υπουργείο Εργασίας και Κοινωνικής Ασφάλισης της Ελληνικής Δημοκρατίας, το χαμηλότερο βιώσιμο όριο συγκέντρωσης οξυγόνου στην ατμόσφαιρα σε έναν χώρο είναι 19,5%.

Σύμφωνα με το Υπουργείο Εργασίας και Βιομηχανιών (Washington State Department of Labor and Industries), τομέας Επαγγελματικής Ασφάλειας και Υγείας (Division of Occupational Safety and Health), τα συμπτώματα λόγω έλλειψης οξυγόνου είναι τα εξής (πίνακας 18):

Συγκέντρωση Οξυγόνου	Συμπτώματα
21%	Κανονικό Ατμοσφαιρικό Επίπεδο
19,5%	Κατώτερο βιώσιμο όριο
19-15%	Μειωμένη αντοχή
15-12%	Αύξηση του ρυθμού αναπνοής, ταχυκαρδία και περιορισμένη αντίληψη και κρίση
12-10%	Περαιτέρω αύξηση του ρυθμού αναπνοής, τα χείλη μελανιάζουν
10-8%	Νοητική ανεπάρκεια, ναυτία, αδυναμία και αναισθησία
8-6%	Θανατηφόρα συγκέντρωση έπειτα από έξι με οχτώ λεπτά έκθεσης
6-4%	Πρόκληση αναισθησίας-κώμα εντός σαράντα δευτερολέπτων, συσπάσεις, η αναπνοή εξασθενεί, θάνατος

Πίνακας 18 – Παρουσίαση Συμπτωμάτων από έλλειψη οξυγόνου

6.2.3 Θερμοκρασία

Κατά την διάρκεια μιας πυρκαγιάς σε έναν χώρο, αναπτύσσονται πάρα πολύ μεγάλες θερμοκρασίες , που αγγίζουν τιμές πιο ψηλές και από 800°C. Γενικά, γνωρίζουμε ότι θερμοκρασίες πάνω από 50 °C είναι πολύ επικίνδυνες για τον ανθρώπινο οργανισμό, ακόμα και αν φοράει προστατευτικές στολές.

Σύμφωνα με το MSC 90/25/3 του IMO, Proposed amendments to the Guidelines on alternative design and arrangements for fire safety , η μέγιστη τιμή της ανεκτής για τον άνθρωπο θερμοκρασίας είναι 60 °C.

6.2.4 Ορατότητα

Η ορατότητα είναι μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους μέτρησης σε σενάρια πυρκαγιάς, ιδιαίτερα όταν μελετάμε την εκκένωση του πλοίου. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον Kevin McGrattan η ορατότητα S σε m προκύπτει από την σχέση :

$$S=C/K$$

Όπου:

- C: αδιάστατη σταθερά που σχετίζεται με τον τύπο του αντικειμένου, το οποίο κοιτάζουμε δια μέσου του καπνού. Ενδεικτικά δίνονται οι τιμές C=8 για ταμπέλα (πχ. έξοδος κινδύνου) που εκπέμπει φως, και C=3 για ταμπέλα που αντανακλά φως.
- K (1/m): ο συντελεστής εξάλειψης του φωτός (light extinction coefficient), ο οποίος δίνεται από τη σχέση: $K=K_m \rho Y_s$. K_m είναι ο συντελεστής εξάλειψης μάζας του καπνού (mass extinction coefficient- m^2/kg -), και η default τιμή του είναι 8700 m^2/kg .

Σύμφωνα με το MSC 90/25/3 του IMO, Proposed amendments to the Guidelines on alternative design and arrangements for fire safety , η ελάχιστη τιμή της ορατότητας είναι 10 m.

Στην προσομοίωση που θα πραγματοποιήσουμε, δεν θα υπολογίσουμε τον συντελεστή εξάλειψης του φωτός K (1/m), αλλά την πυκνότητα της ορατότητας (optical density). Η πυκνότητα ορατότητας έχει ως μονάδα μέτρησης 1/m, και υπολογίζεται από τον FDS σύμφωνα με την σχέση:

$$OD=K/2.3$$

6.2.5 Θερμότητα ροής αερίων λόγω ακτινοβολίας

Η θερμότητα λόγω ακτινοβολίας είναι η θερμότητα που νιώθει κάποιος όταν βρίσκεται κοντά σε μια πηγή φωτιάς και προφανώς όσο πλησιάζουμε την πηγή αυτή τότε η θερμότητα γίνεται εντονότερη.

Σύμφωνα με το MSC 90/25/3 του IMO, Proposed amendments to the Guidelines on alternative design and arrangements for fire safety , η μέγιστη τιμή της θερμότητας ροής των αερίων είναι $2,5 \text{ kW/m}^2$. Η μέγιστη αυτή τιμή είναι ένα αποδεκτό όριο σε περιοχές έκθεσης, όπου υπάρχουν επιβάτες και πλήρωμα.

6.3 Μελέτη παραμέτρων βιωσιμότητας σε ένα κατάστρωμα ενδιάιτησης

6.3.1 Αναλυτική περιγραφή του προγράμματος

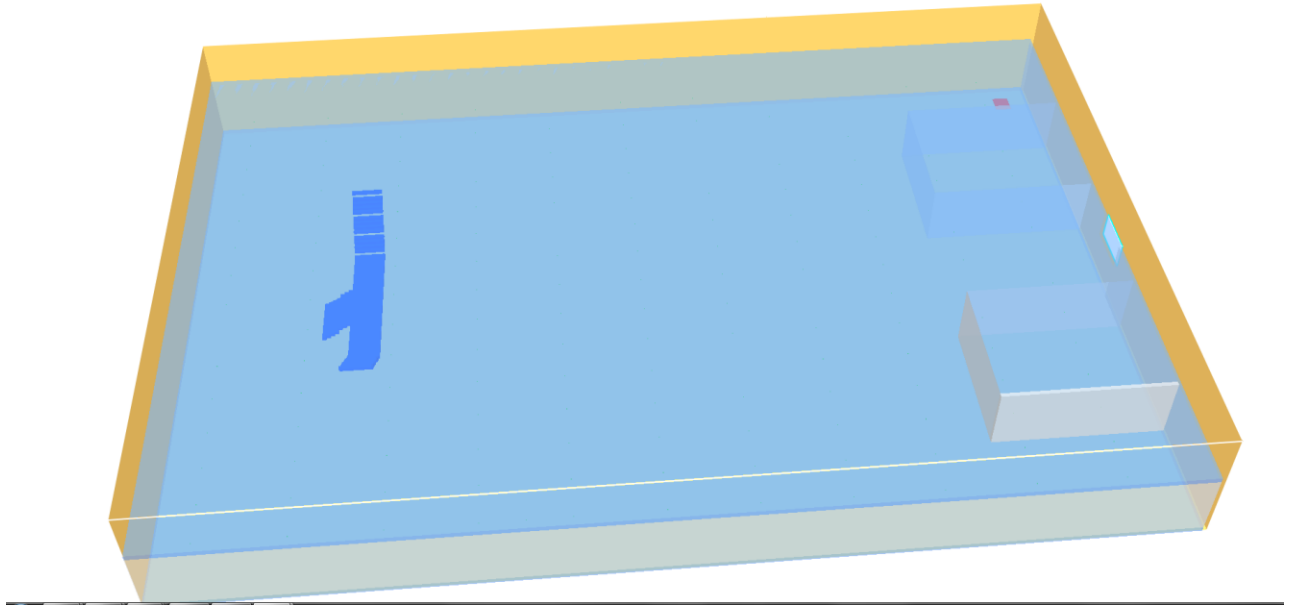
Για να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση, κατασκευάσαμε στον FDS την γεωμετρία ενός μεγάλου καταστρώματος ενός επιβατηγού πλοίου. Το κατάστρωμα έχει πλάτος 31 μέτρα και ύψος 3,2 μέτρα. Θα πραγματοποιηθούν τρεις προσομοιώσεις με διαφορετικό το μήκος του καταστρώματος, και κατ' επέκταση με διαφορετική την θέση της πηγής της πυρκαγιάς. Συγκεκριμένα:

Πλάτος καταστρώματος	31 m		
Ύψος καταστρώματος	3.2 m		
Μήκος καταστρώματος	43 m	45 m	47m
Συντεταγμένες του τετραγώνου φωτιάς	(41,29),(41,30) (42,30),(42,29)	(43,29)(44,30) (44,30)(44,29)	(45,29)(46,30) (46,30)(45,29)

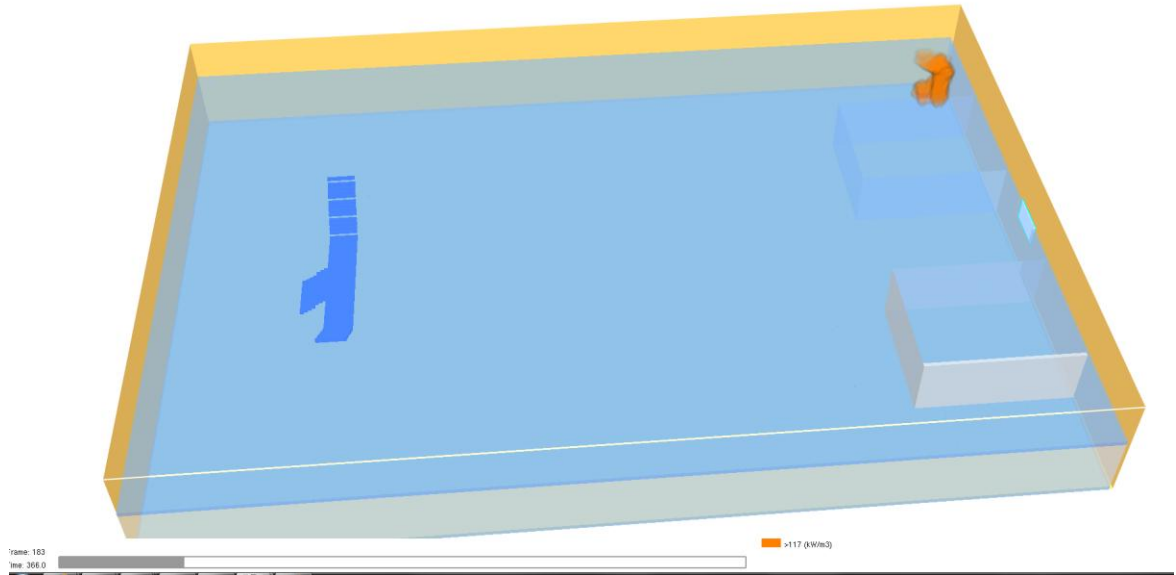
Πίνακας 19 – Περιγραφή γεωμετρίας καταστρώματος ενδιάιτησης

Στο εξεταζόμενο κατάστρωμα υπάρχει ένα ανοικτό παράθυρο, προκειμένου να διαφεύγει ο καπνός και να εισέρχεται οξυγόνο ώστε να συντηρείται η καύση.

Η εξεταζόμενη γεωμετρία φαίνεται στις παρακάτω εικόνες 13 και 14.



Εικόνα13 – Η γεωμετρία του καταστρώματος ενδιαίτησης



Εικόνα 14 – Η εκδήλωση της φωτιάς

Σε αυτό το σημείο θα καταγράψουμε κάποια σημαντικά χαρακτηριστικά στοιχεία του προγράμματος που χρησιμοποιήσαμε:

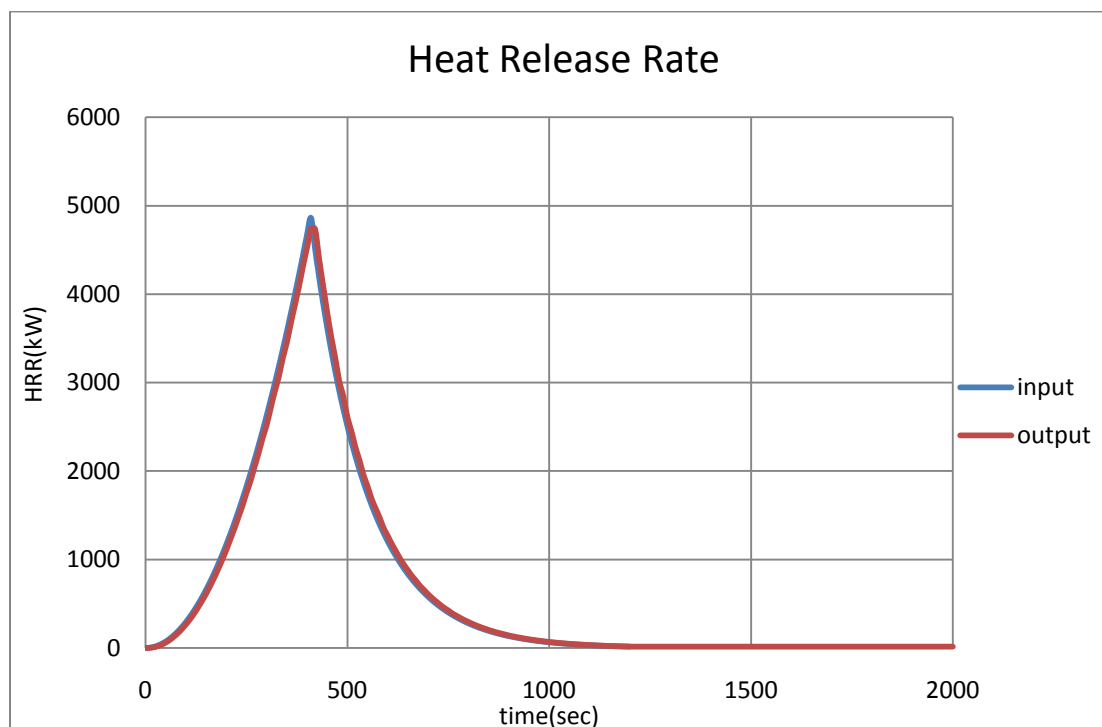
Επιλογή Πλέγματος:

Όπως έχουμε αναφέρει και στο τέταρτο κεφάλαιο, το πλέγμα διαιρείται από ορθογωνικά κελιά, το πλήθος των οποίων είναι της μορφής : $2^l \times 3^m \times 5^n$, όπου l, m, n ακέραιοι αριθμοί. Στην συγκεκριμένη προσομοίωση επιλέξαμε πλέγμα 160x50.

Επιλογή Ιδιοτήτων φωτιάς:

Η εισαγωγή των δεδομένων την φωτιάς, στον κώδικα του FDS, έγινε και σε αυτήν την προσομοίωση μέσω του ρυθμού έκλυσης θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας (HRRPUA: Heat Release Rate Per Unit Area). Για να μπορέσουμε να εισάγουμε τα δεδομένα της φωτιάς στον κώδικα του FDS, χρησιμοποιήσαμε τις συναρτήσεις `gapr` με σκοπό να μπορέσουμε να περιγράψουμε την εξέλιξη της φωτιάς σε σχέση με την πάροδο του χρόνου.

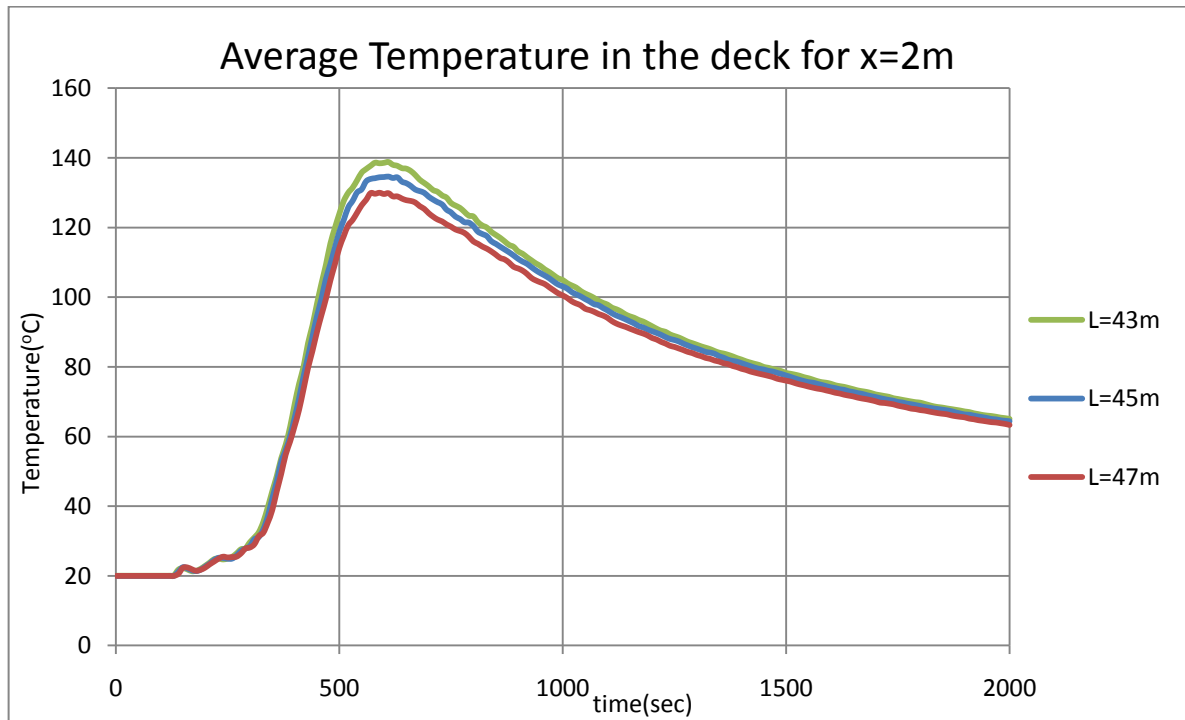
Στην συγκεκριμένη προσομοίωση, η μέγιστη τιμή του ρυθμού έκλυσης θερμότητας στην εξεταζόμενη φωτιάς είναι 4861,35 kW και η μορφή της σε σχέση με την πάροδο του χρόνου αυτή που φαίνεται στο διάγραμμα 49:



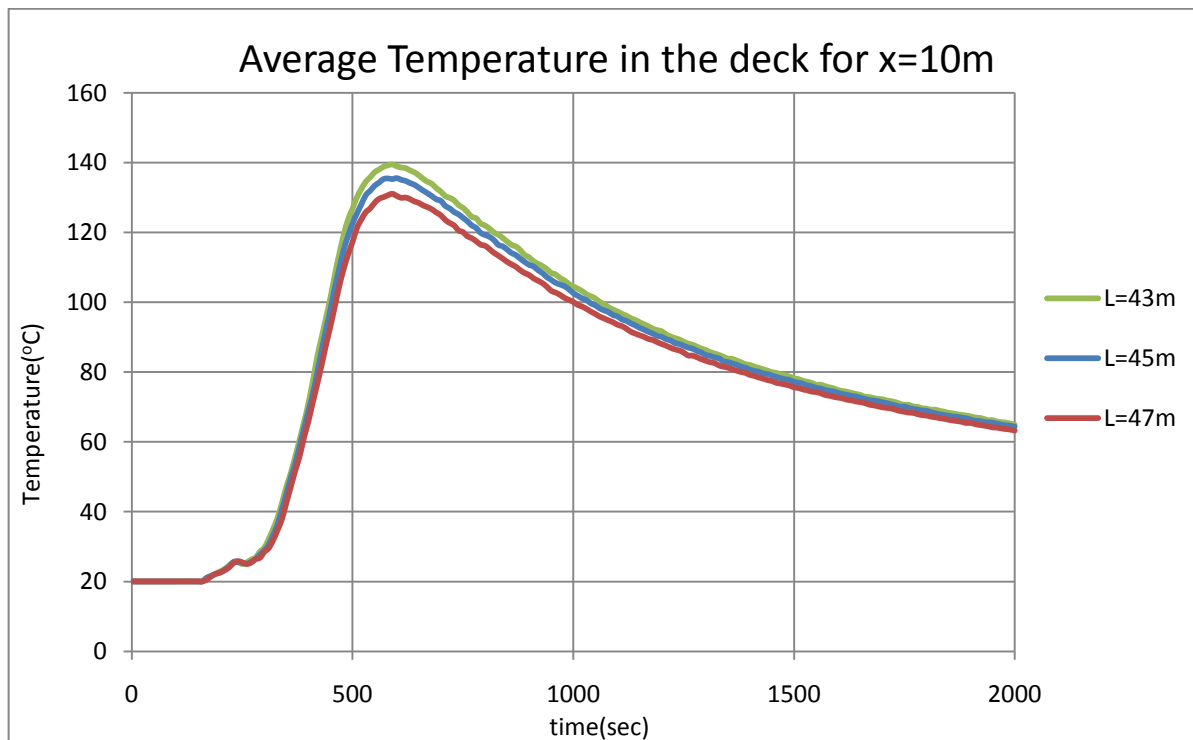
Διάγραμμα 49 - Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας στο κατ'άστωμα ενδιαίτησης

6.3.2 Συγκριτικά Αποτελέσματα

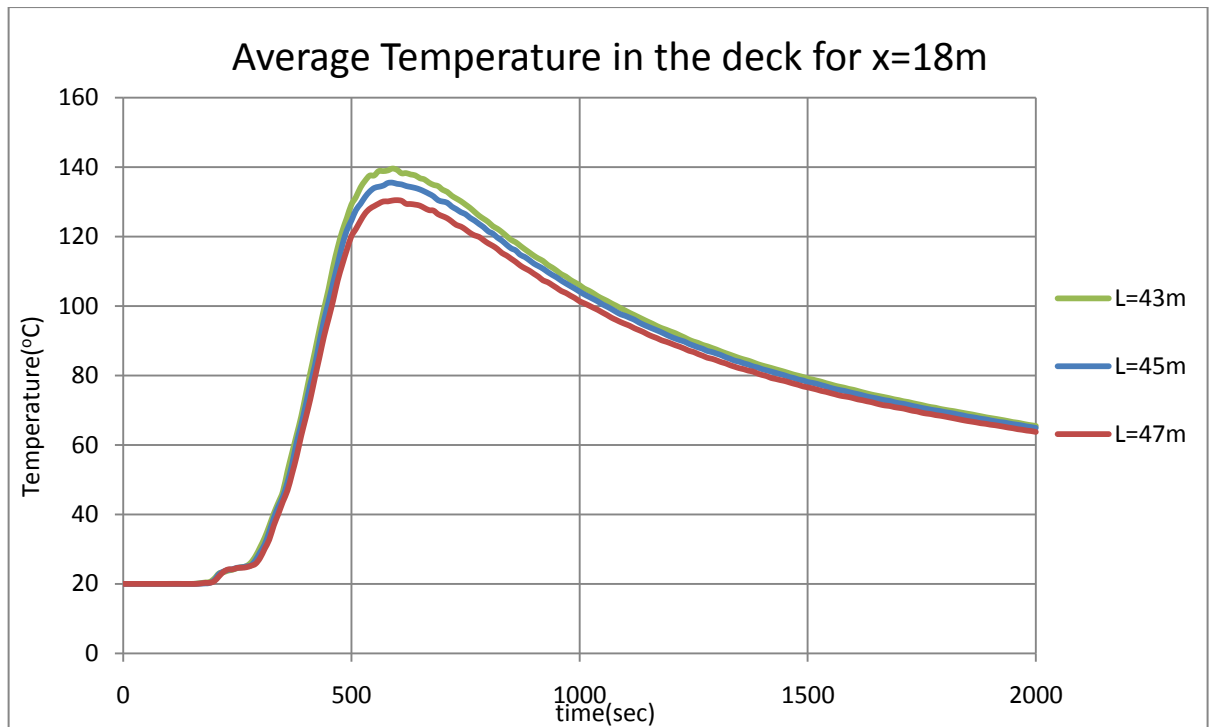
- ❖ Οι θερμοκρασίες στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, σε διάφορες αποστάσεις X από την αρχή του καταστρώματος



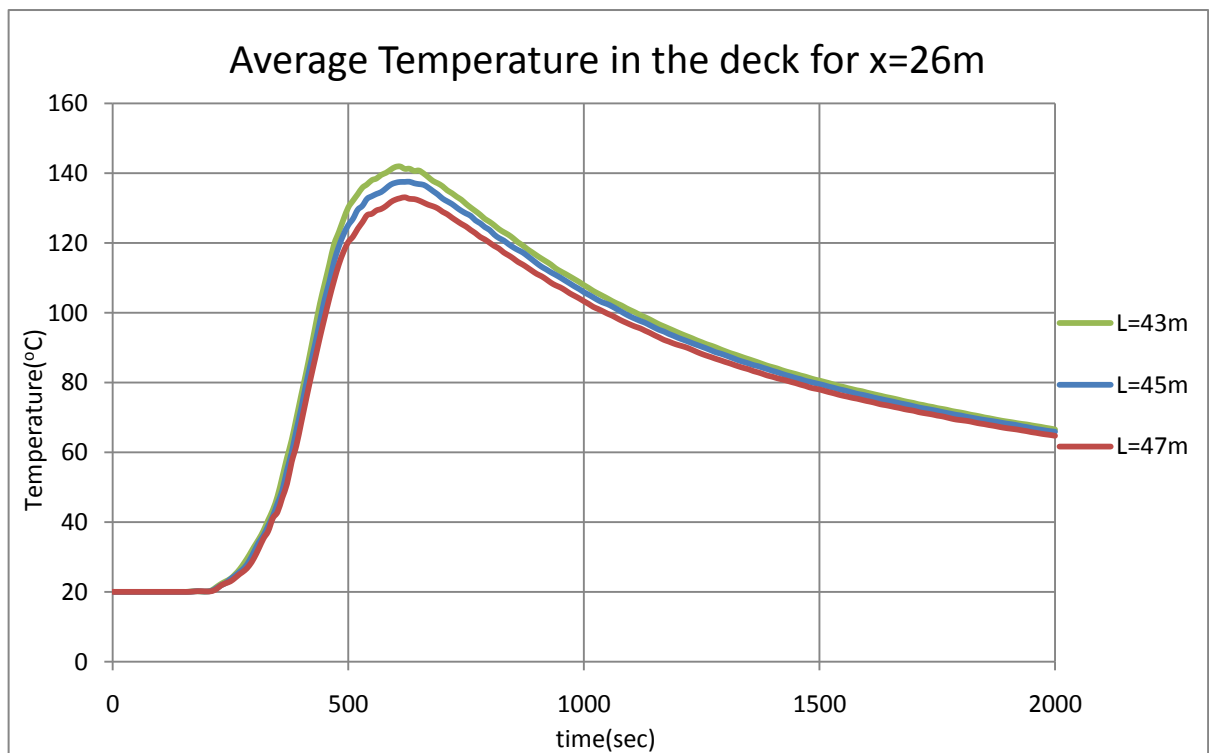
Διάγραμμα 50 – Μέση θερμοκρασία στο κατάστρωμα ενδιαίτησης,
για $x=2m$ από την αρχή του καταστρώματος



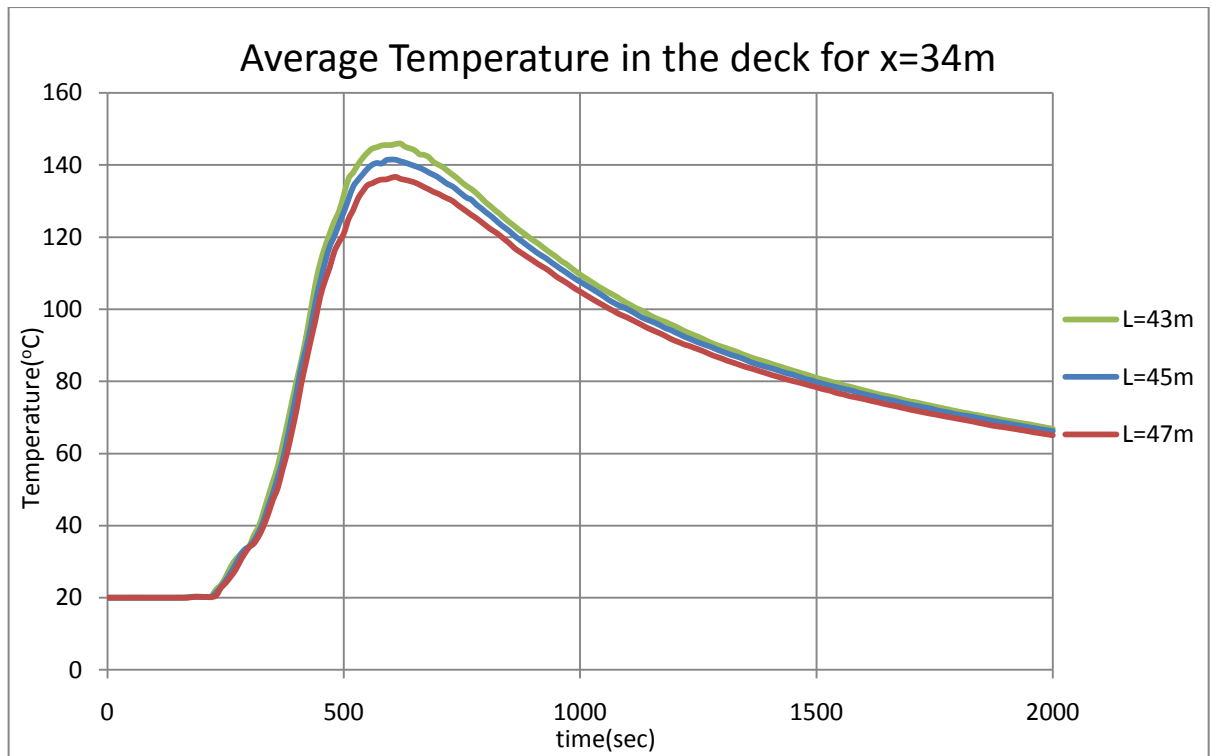
Διάγραμμα 51 – Μέση θερμοκρασία στο κατάστρωμα ενδιαίτησης,
για $x=10m$ από την αρχή του καταστρώματος



Διάγραμμα 52- Μέση θερμοκρασία στο κατάστρωμα ενδιαίτησης,
για $\chi=18m$ από την αρχή του καταστρώματος

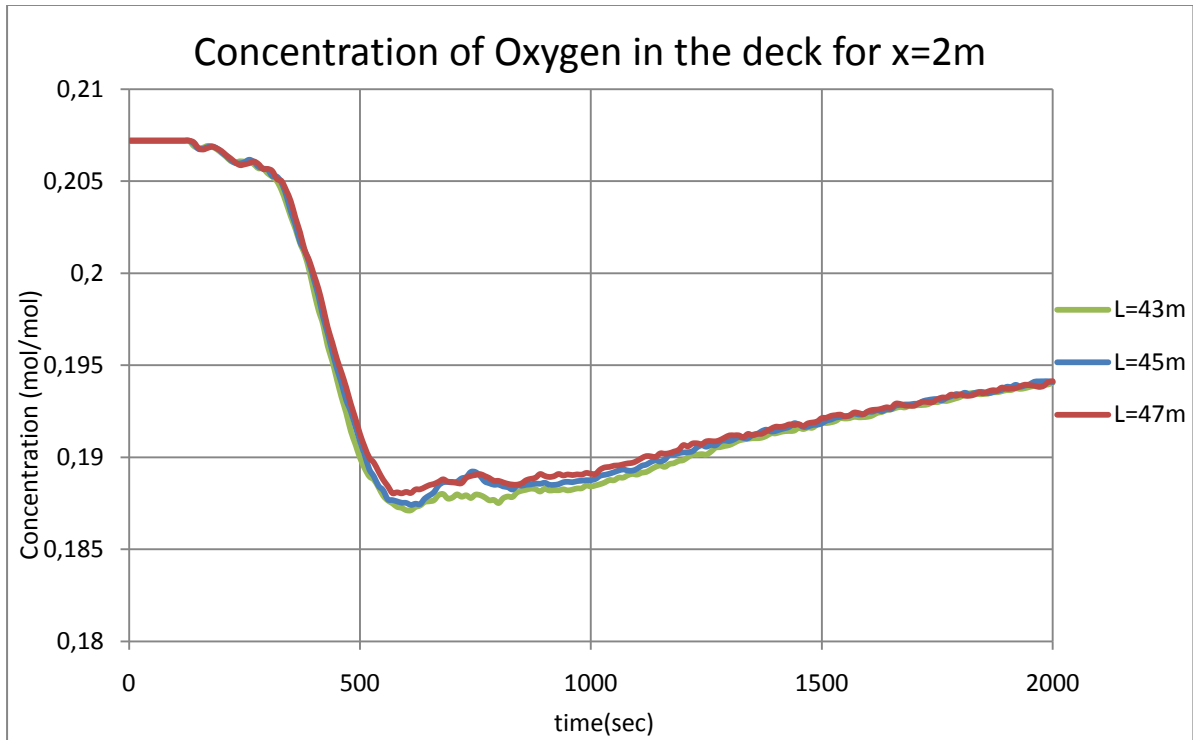


Διάγραμμα 53- Μέση θερμοκρασία στο κατάστρωμα ενδιαίτησης,
για $\chi=26m$ από την αρχή του καταστρώματος

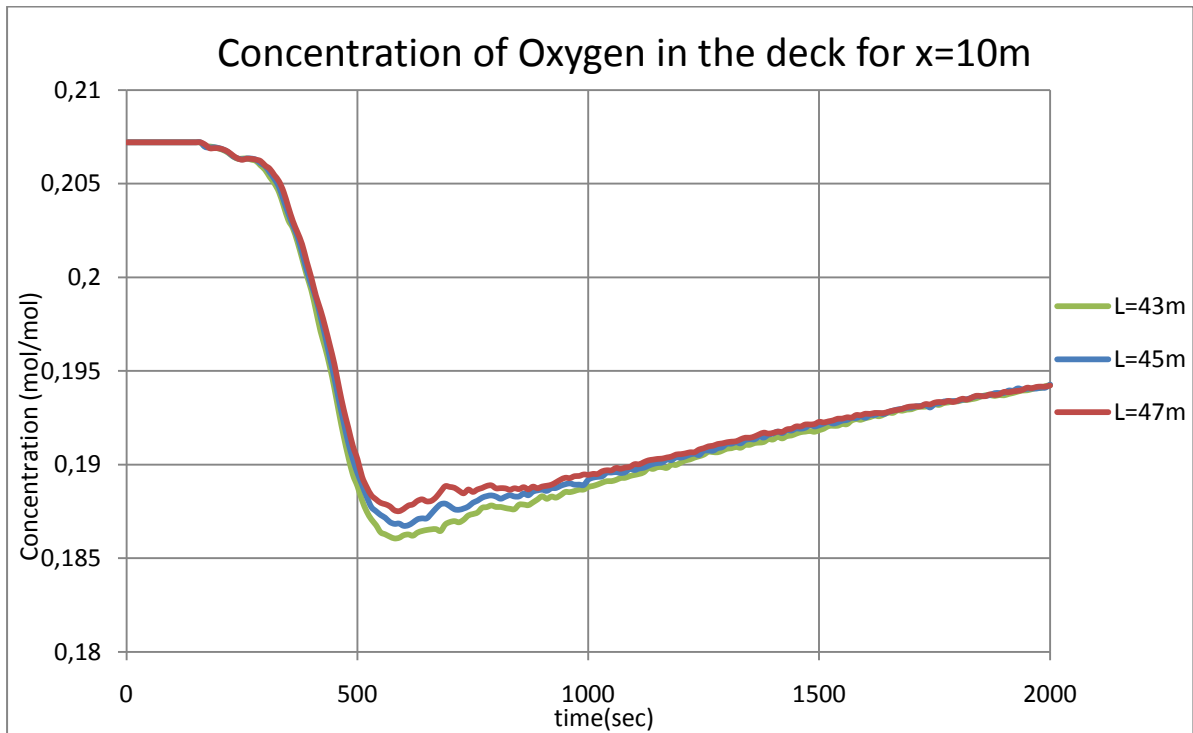


Διάγραμμα 54- Μέση θερμοκρασία στο κατάστρωμα ενδιαίτησης,
για $x=34m$ από την αρχή του καταστρώματος

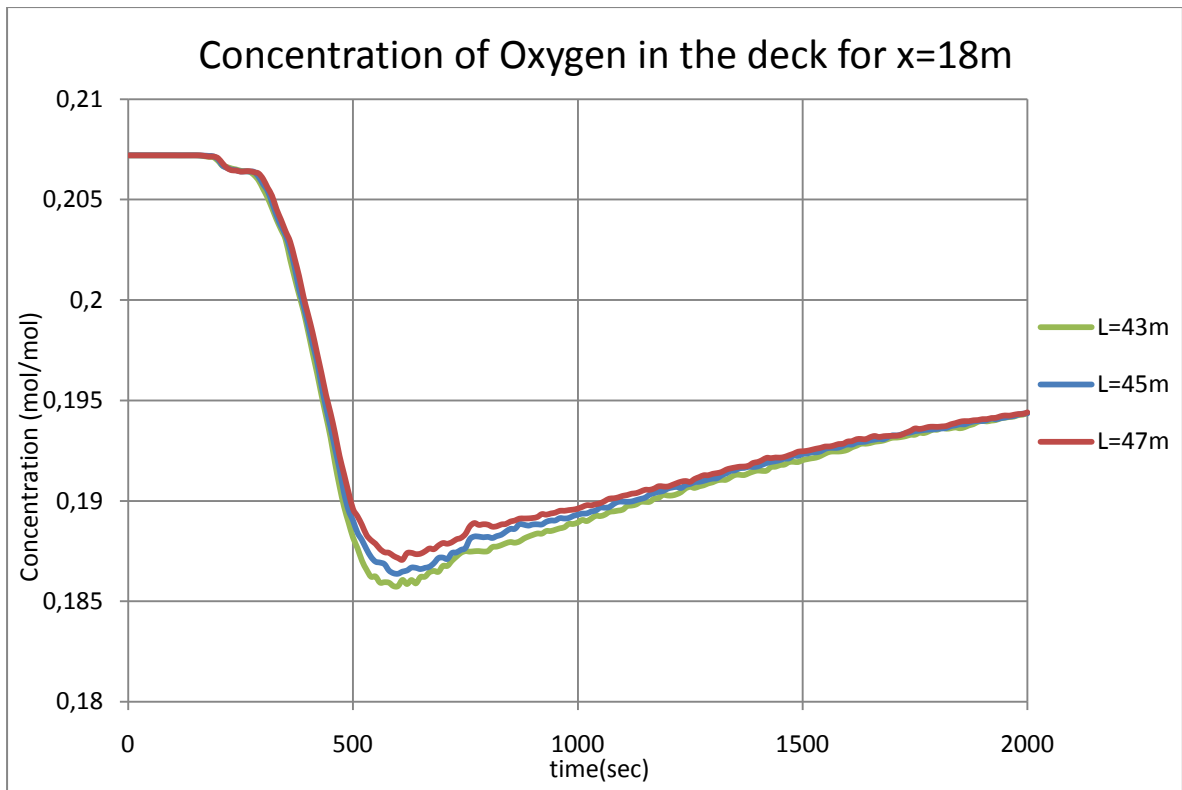
- ❖ Οι συγκεντρώσεις οξυγόνου στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, σε διάφορες αποστάσεις X από την αρχή του καταστρώματος



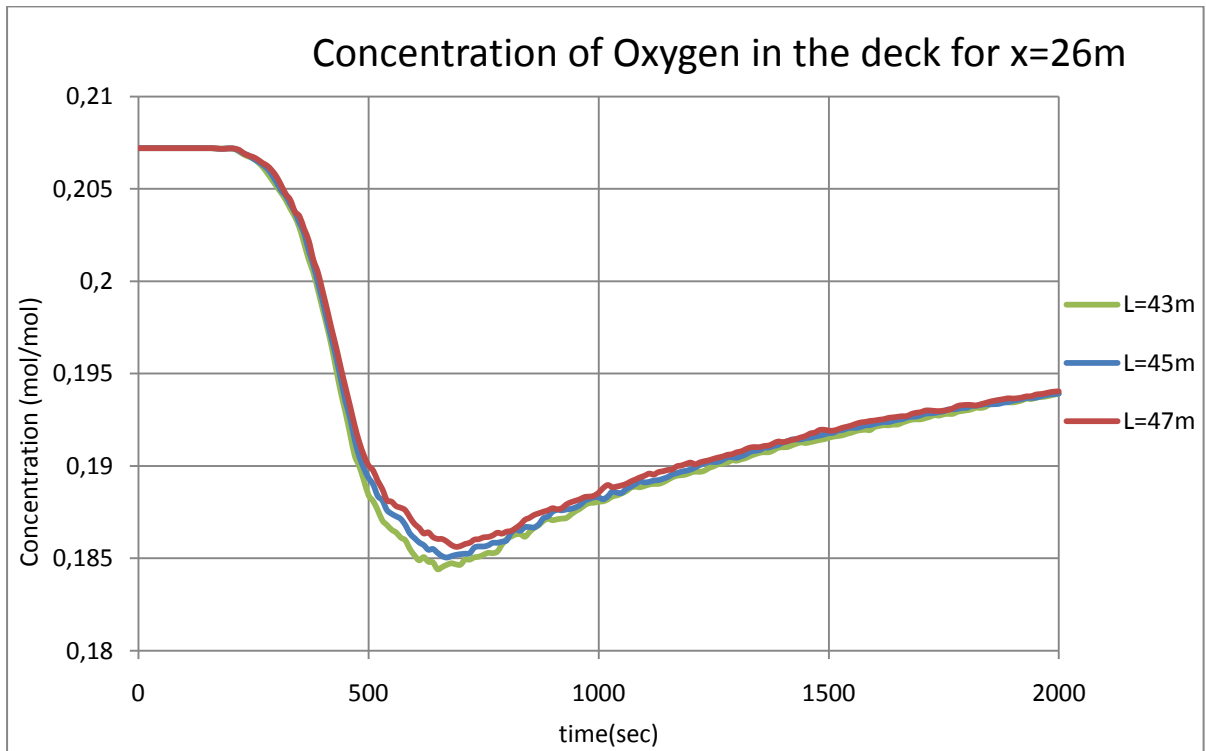
Διάγραμμα 55– Συγκέντρωση οξυγόνου στο κατάστρωμα ενδιαίτησης,
για $x=2m$ από την αρχή του καταστρώματος



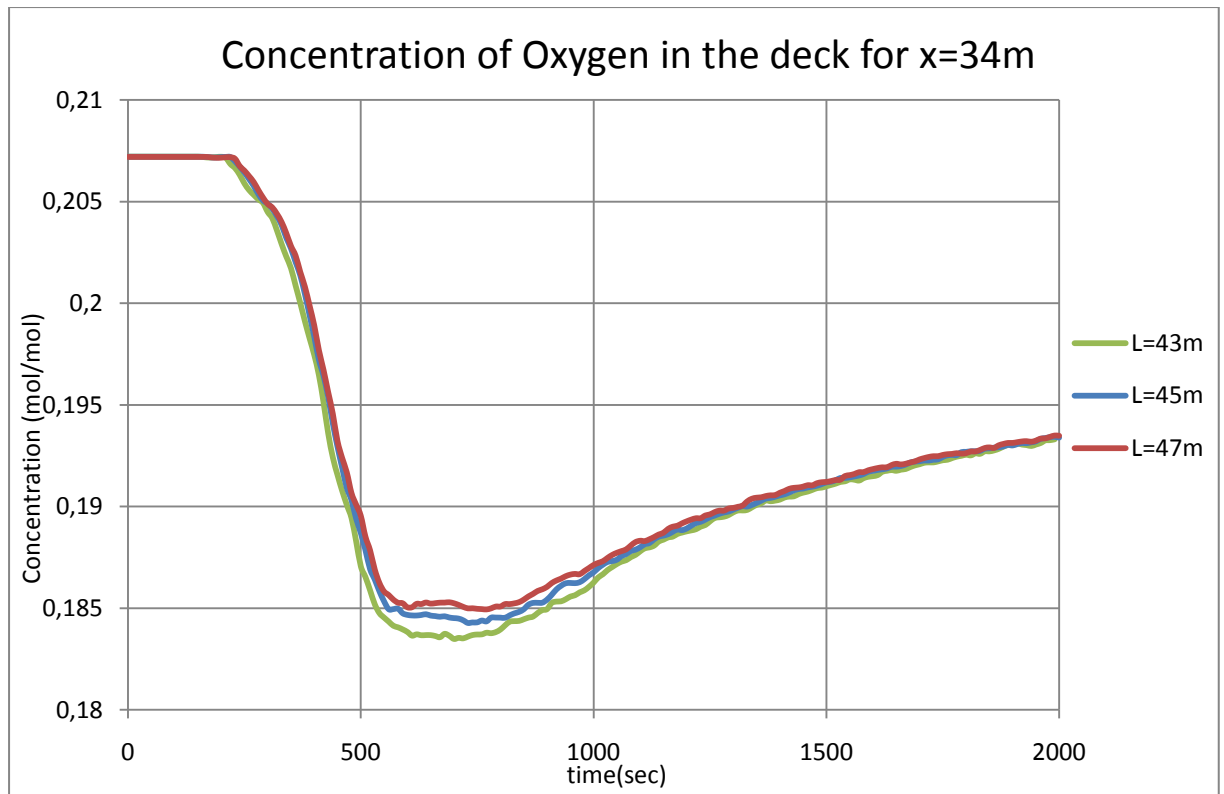
Διάγραμμα 56– Συγκέντρωση οξυγόνου στο κατάστρωμα ενδιαίτησης,
για $x=10m$ από την αρχή του καταστρώματος



Διάγραμμα 57- Συγκέντρωση οξυγόνου στο κατάστρωμα ενδιαίτησης,
για $x=18m$ από την αρχή του καταστρώματος

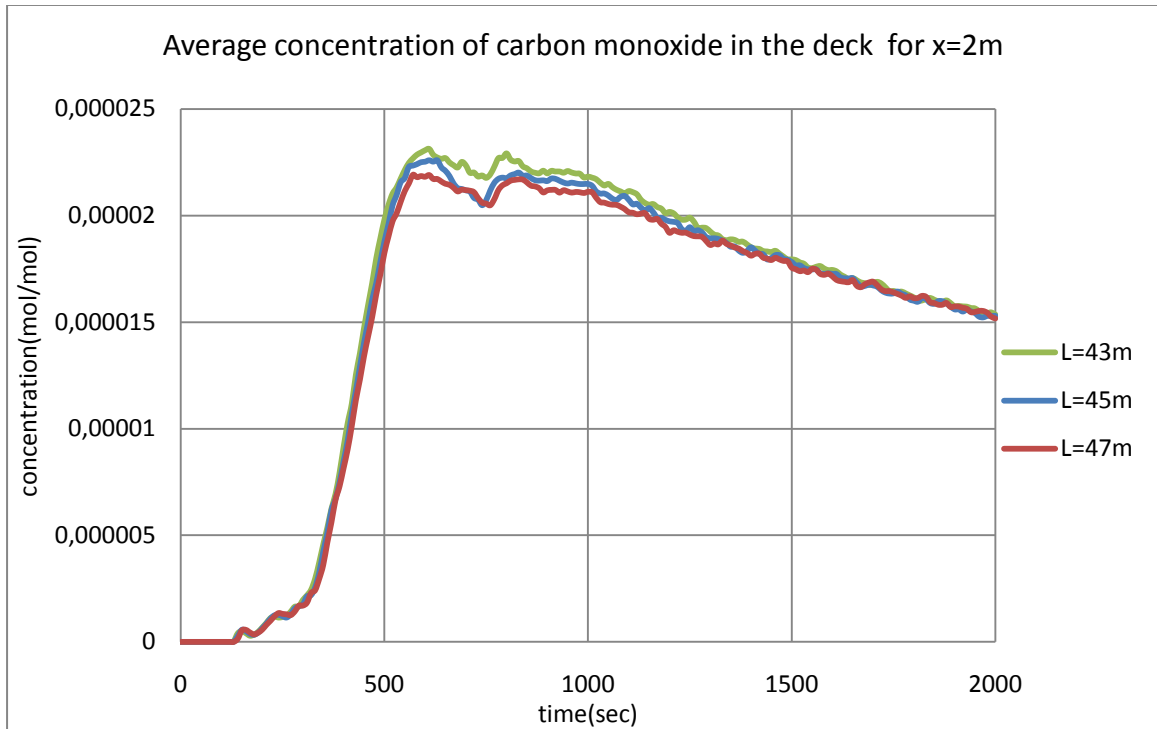


Διάγραμμα 58- Συγκέντρωση οξυγόνου στο κατάστρωμα ενδιαίτησης,
για $x=26m$ από την αρχή του καταστρώματος

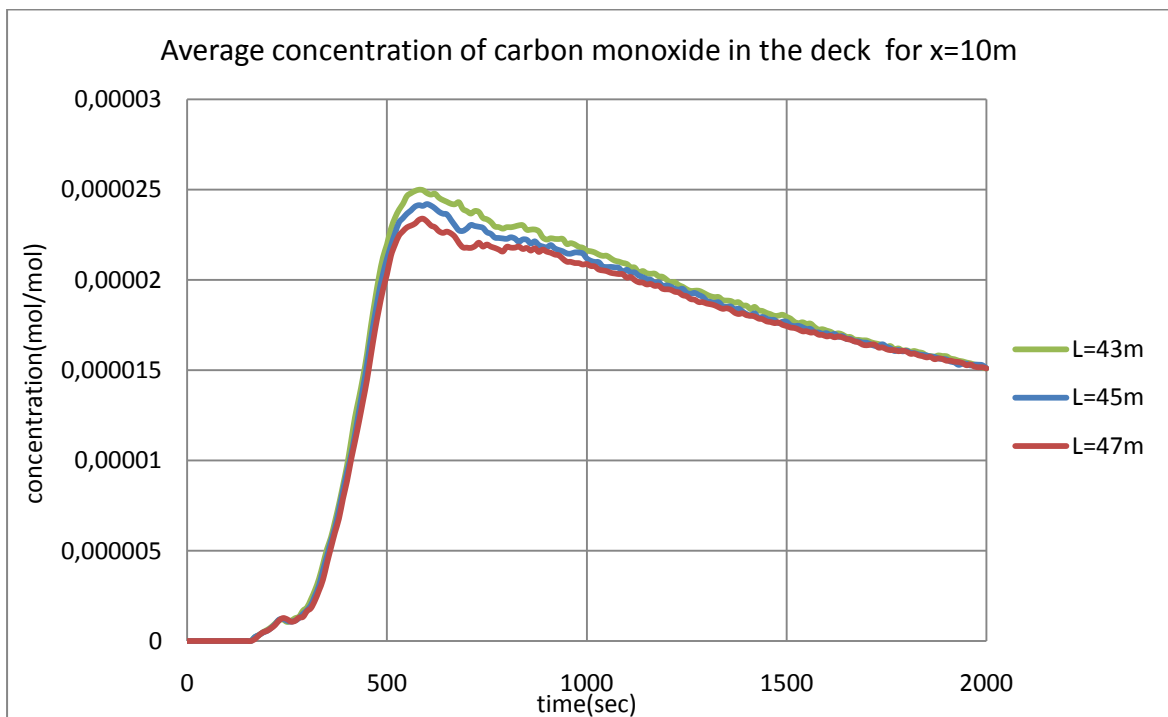


Διάγραμμα 59– Συγκέντρωση οξυγόνου στο κατάστρωμα ενδιαίτησης,
για $x=34m$ από την αρχή του καταστώματος

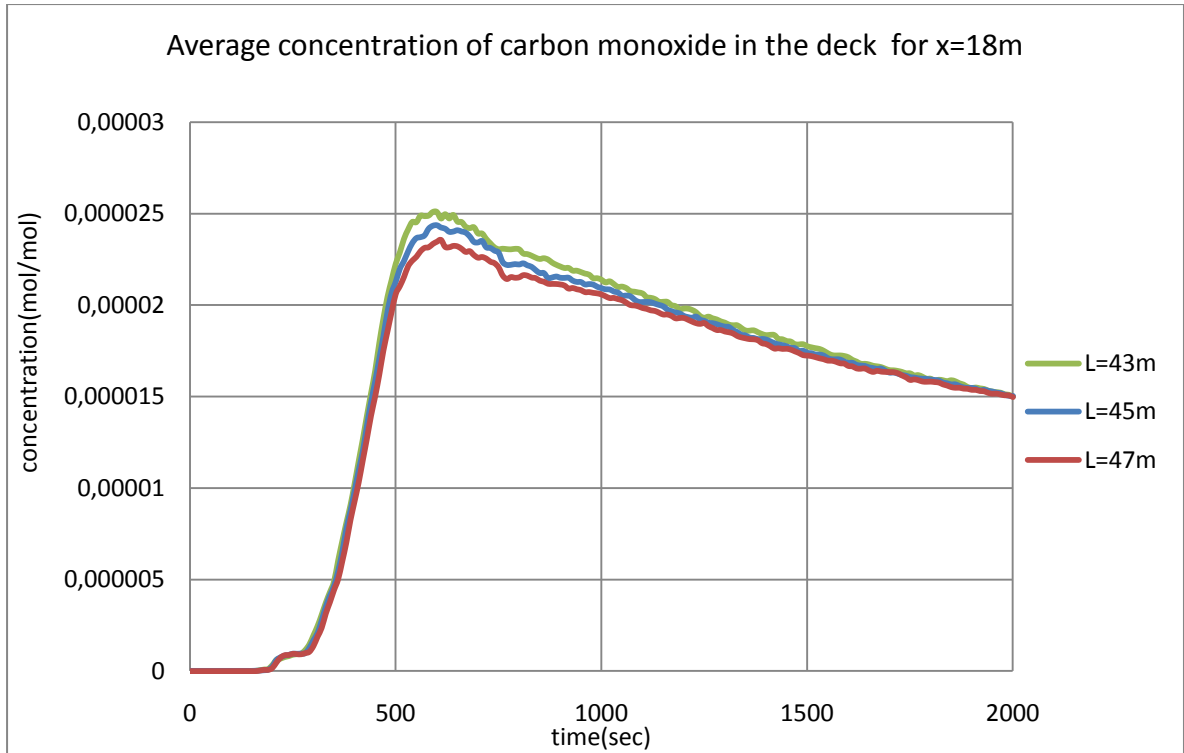
- ❖ Οι συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, σε διάφορες αποστάσεις X από την αρχή του καταστρώματος



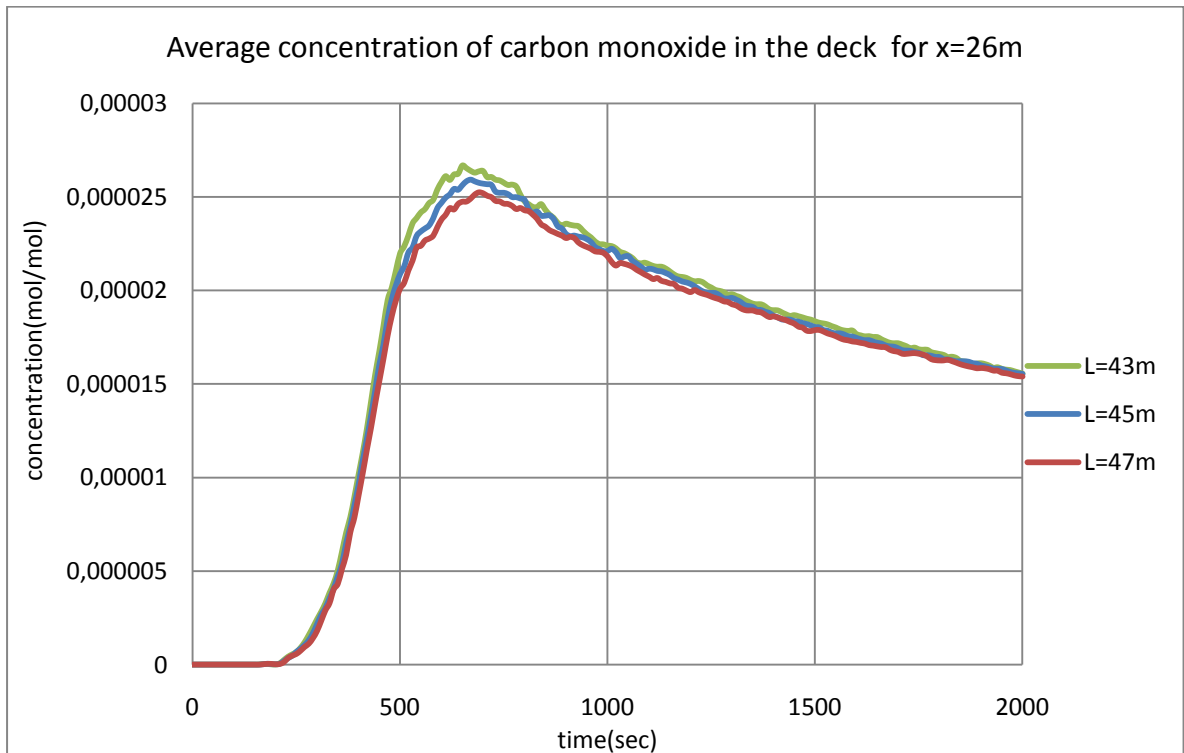
Διάγραμμα 60– Συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $x=2m$ από την αρχή του καταστρώματος



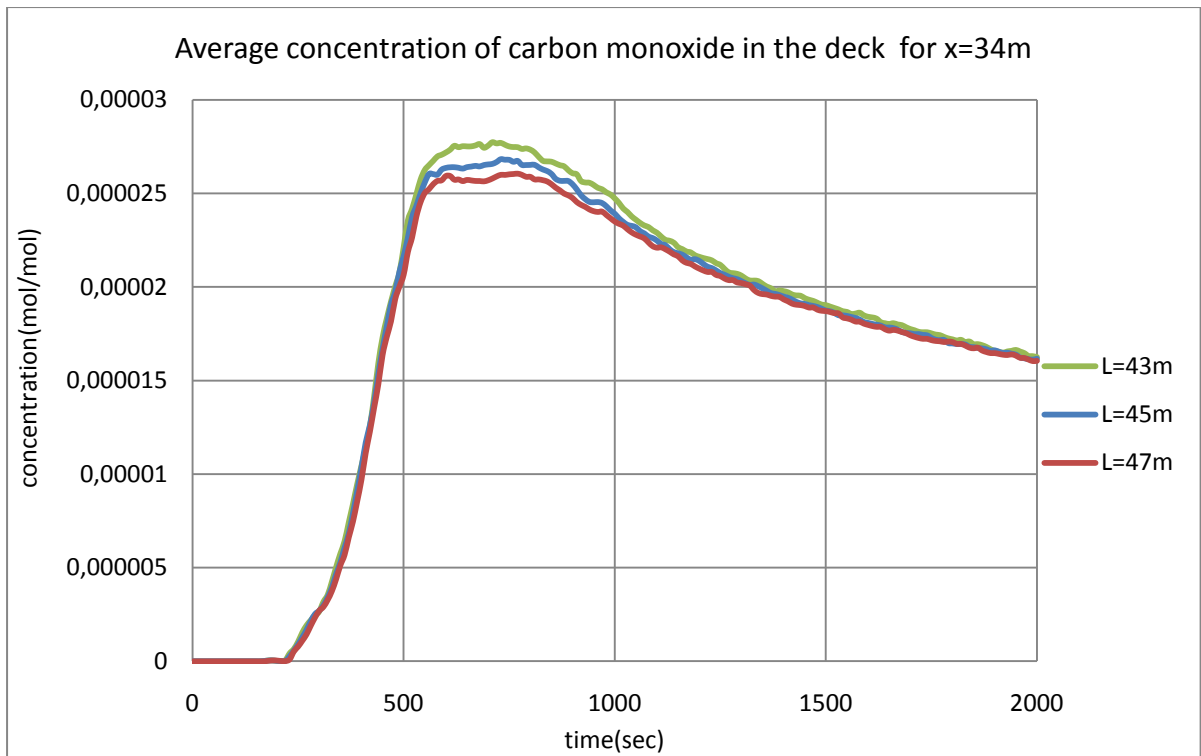
Διάγραμμα 61– Συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $x=10m$ από την αρχή του καταστρώματος



Διάγραμμα 62- Συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα στο κατάστρωμα ενδιάιτησης, για $\chi=18m$ από την αρχή του καταστρώματος

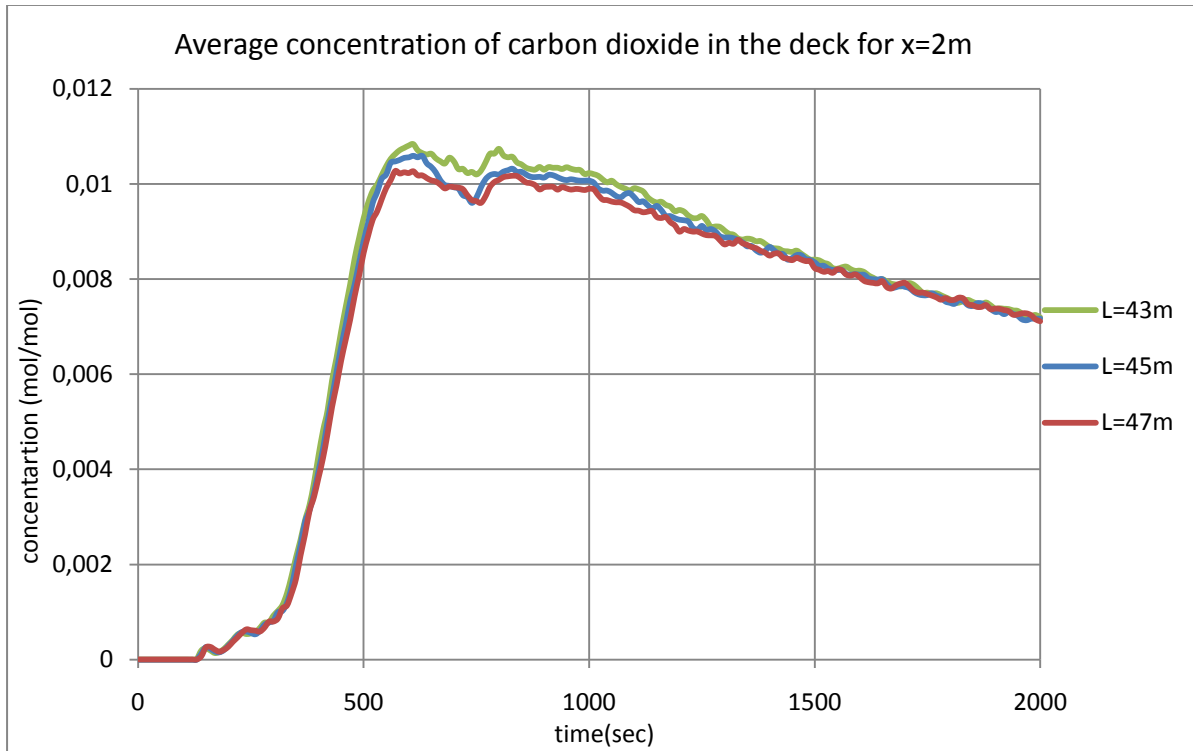


Διάγραμμα 63- Συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα στο κατάστρωμα ενδιάιτησης, για $\chi=26m$ από την αρχή του καταστρώματος

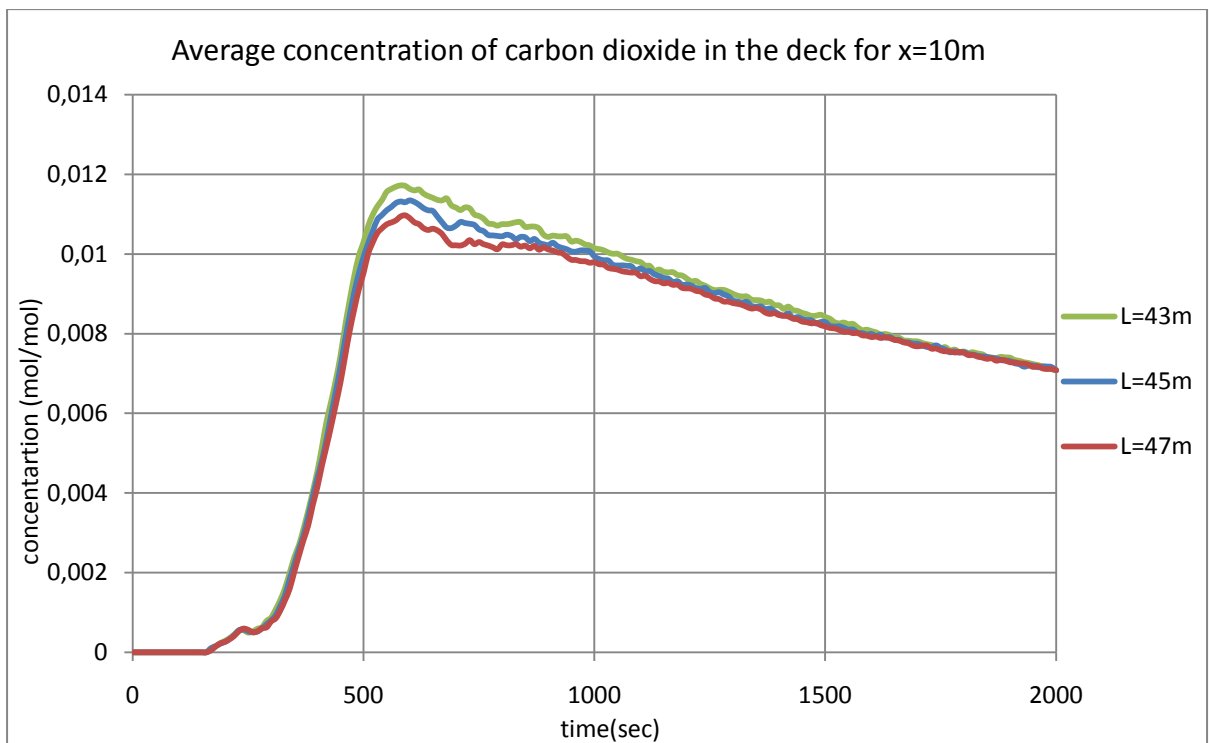


Διάγραμμα 64– Συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα στο κατάστρωμα ενδιάιτησης,
για $x=34m$ από την αρχή του καταστρώματος

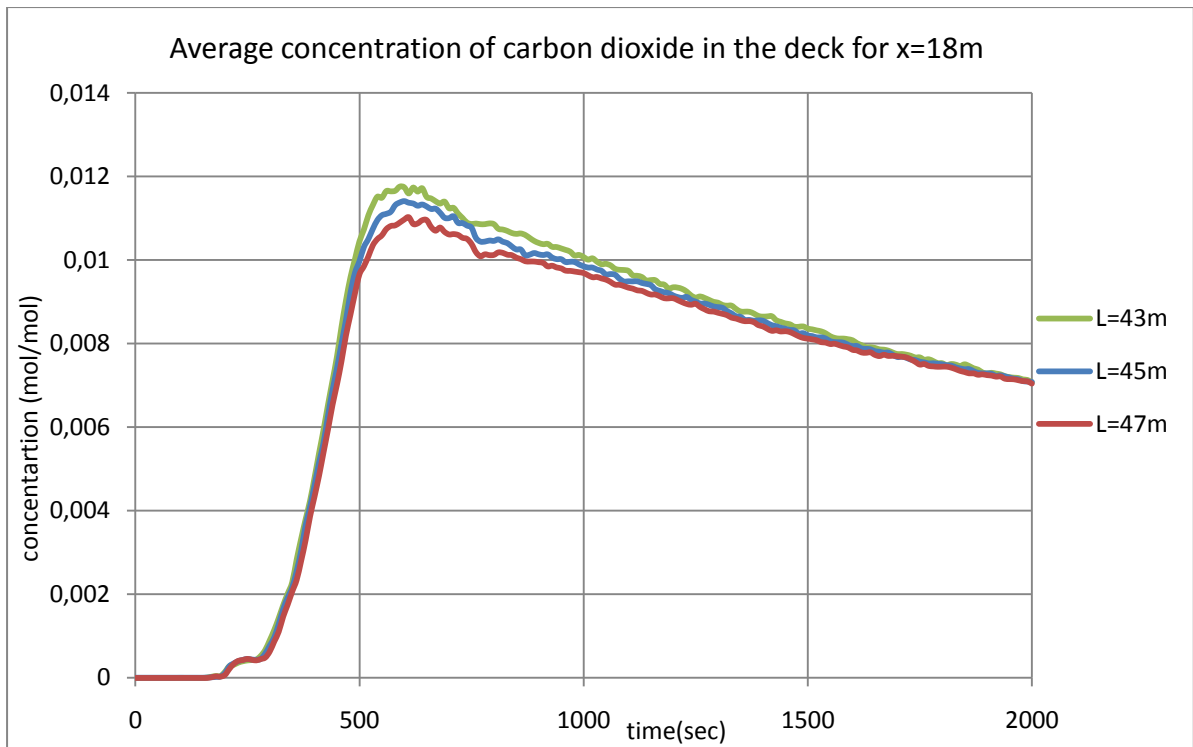
- ❖ Οι συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, σε διάφορες αποστάσεις X από την αρχή του καταστρώματος



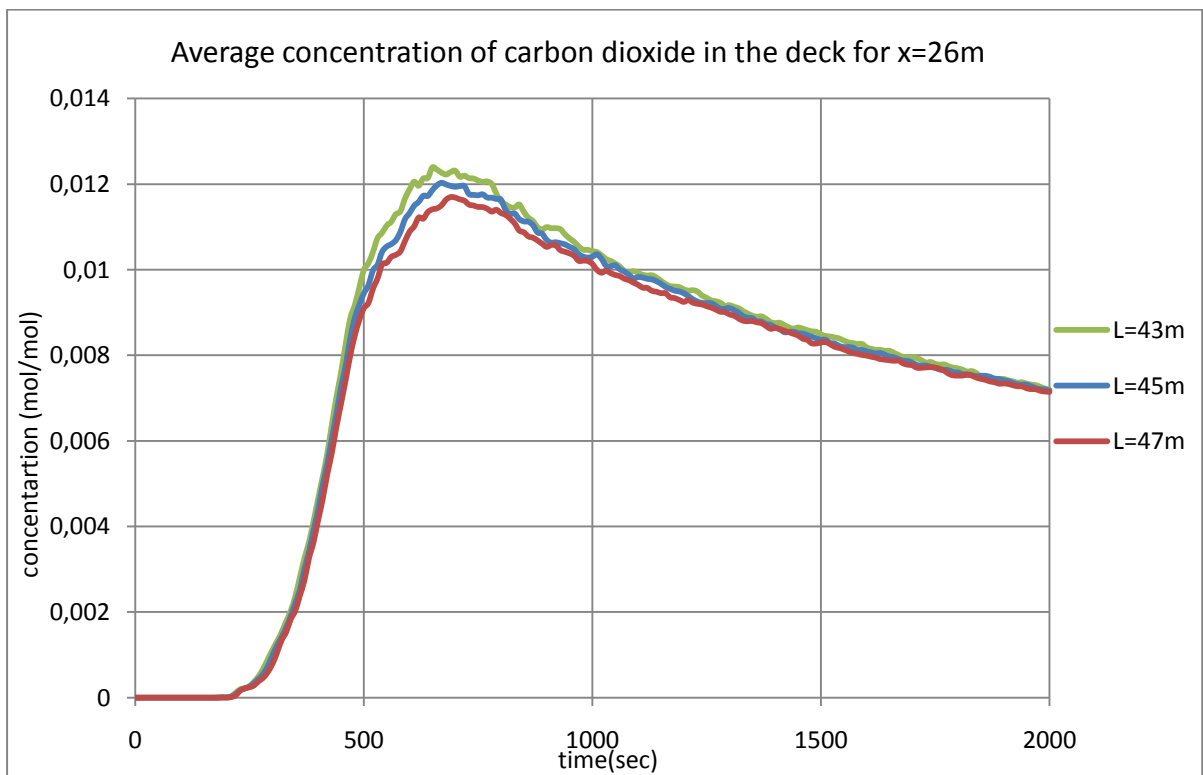
Διάγραμμα 65– Συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $x=2m$ από την αρχή του καταστρώματος



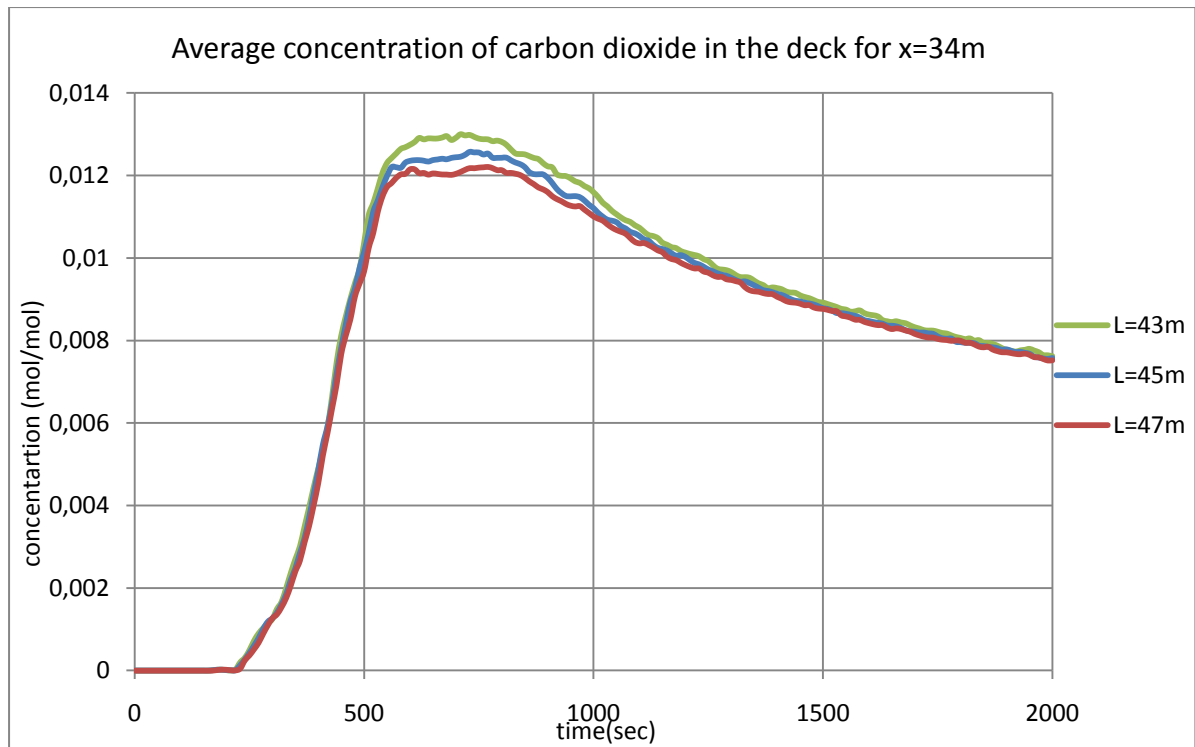
Διάγραμμα 66– Συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $x=10m$ από την αρχή του καταστρώματος



Διάγραμμα 67– Συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στο κατάστρωμα ενδίαίτησης, για $\chi=18m$ από την αρχή του καταστρώματος

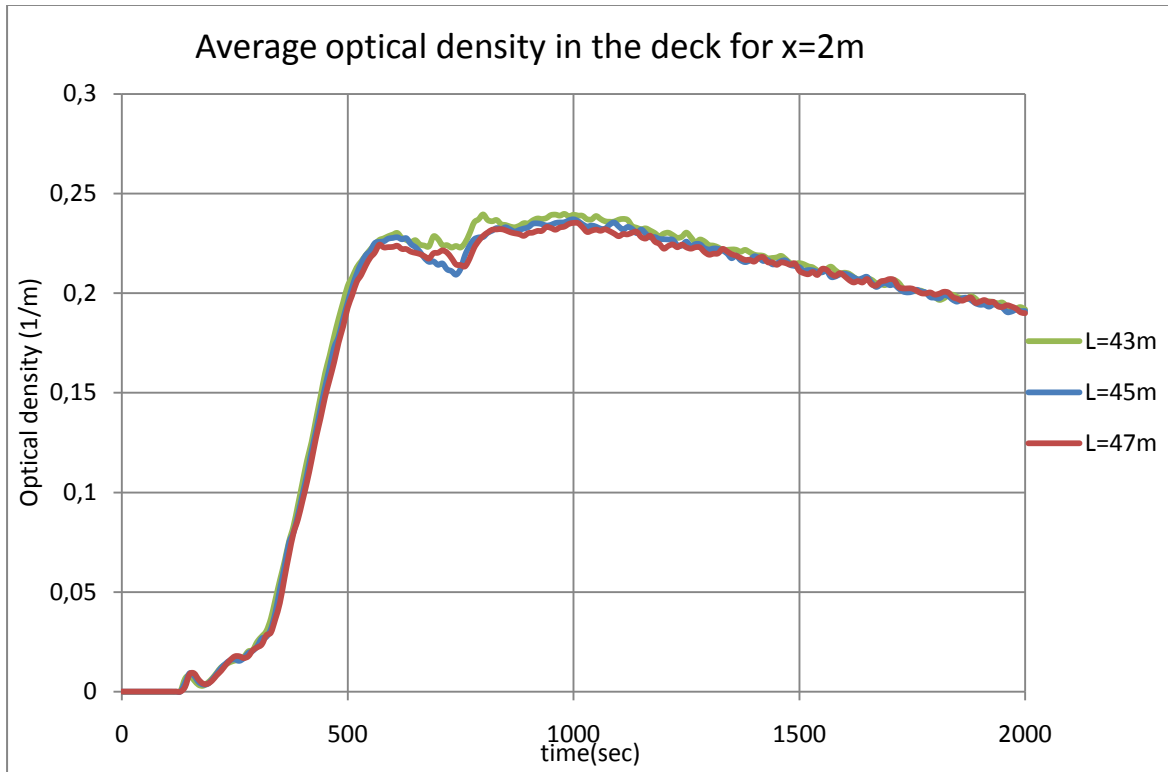


Διάγραμμα 68– Συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στο κατάστρωμα ενδίαίτησης, για $\chi=26m$ από την αρχή του καταστρώματος

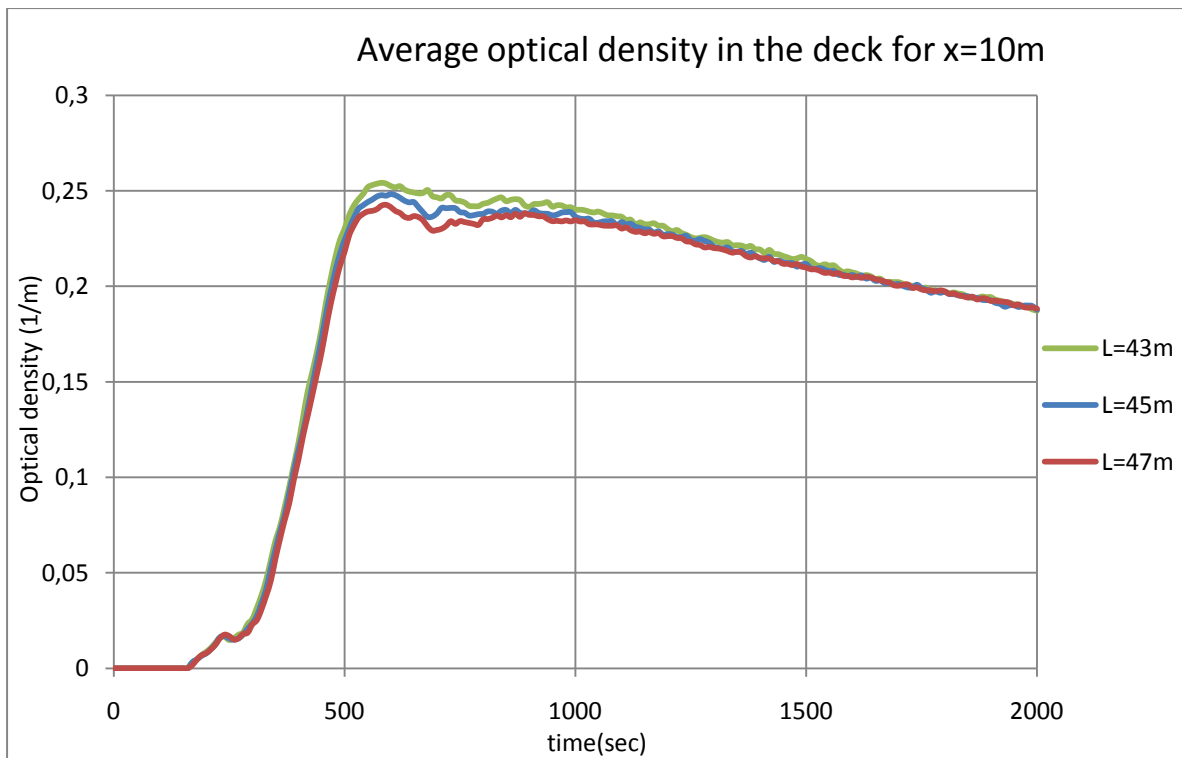


Διάγραμμα 69– Συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στο κατάστρωμα ενδιάιτησης,
για $x=34m$ από την αρχή του καταστρώματος

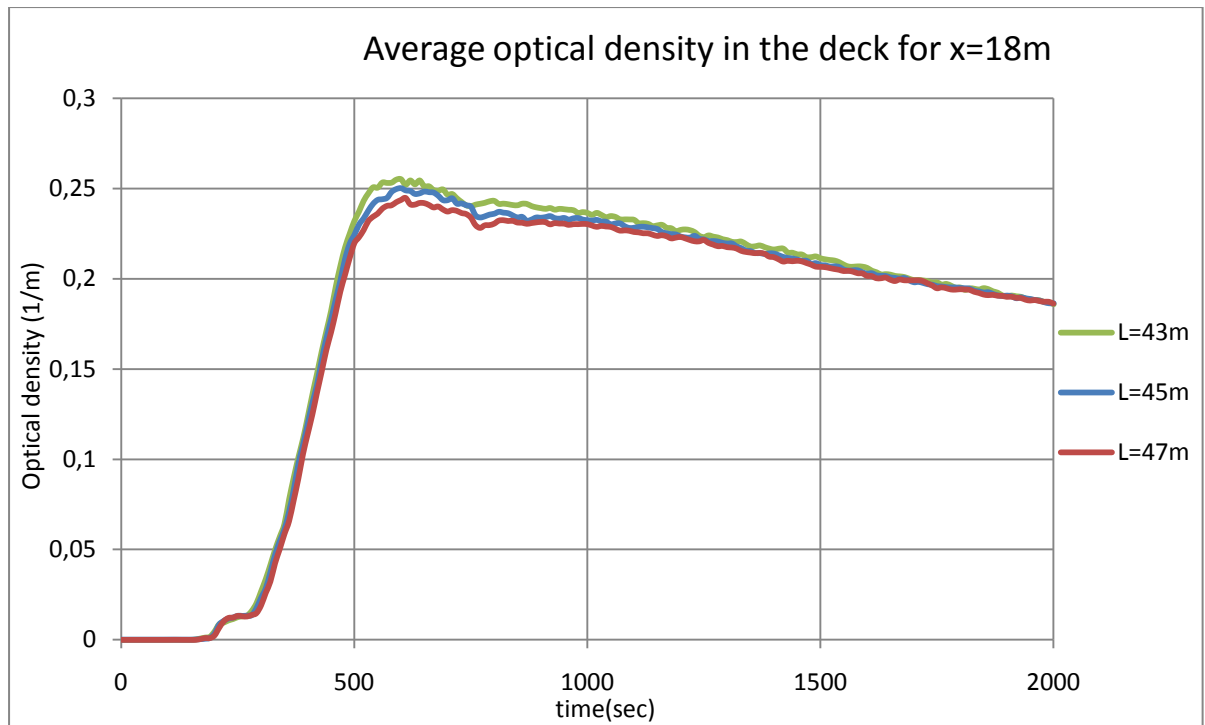
- ❖ Η πυκνότητα της ορατότητας στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, σε διάφορες αποστάσεις χ από την αρχή του καταστρώματος



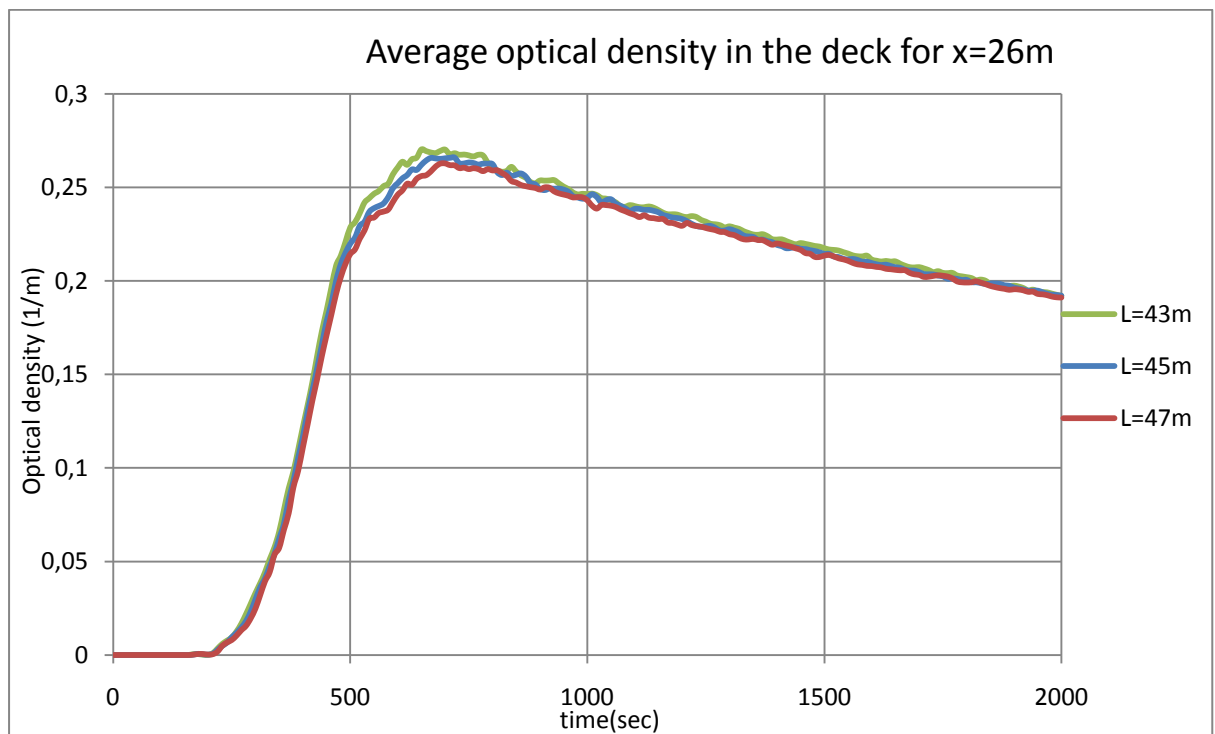
Διάγραμμα 70– Οπτική πυκνότητα στο κατάστρωμα ενδιαίτησης,
για $\chi=2m$ από την αρχή του καταστρώματος



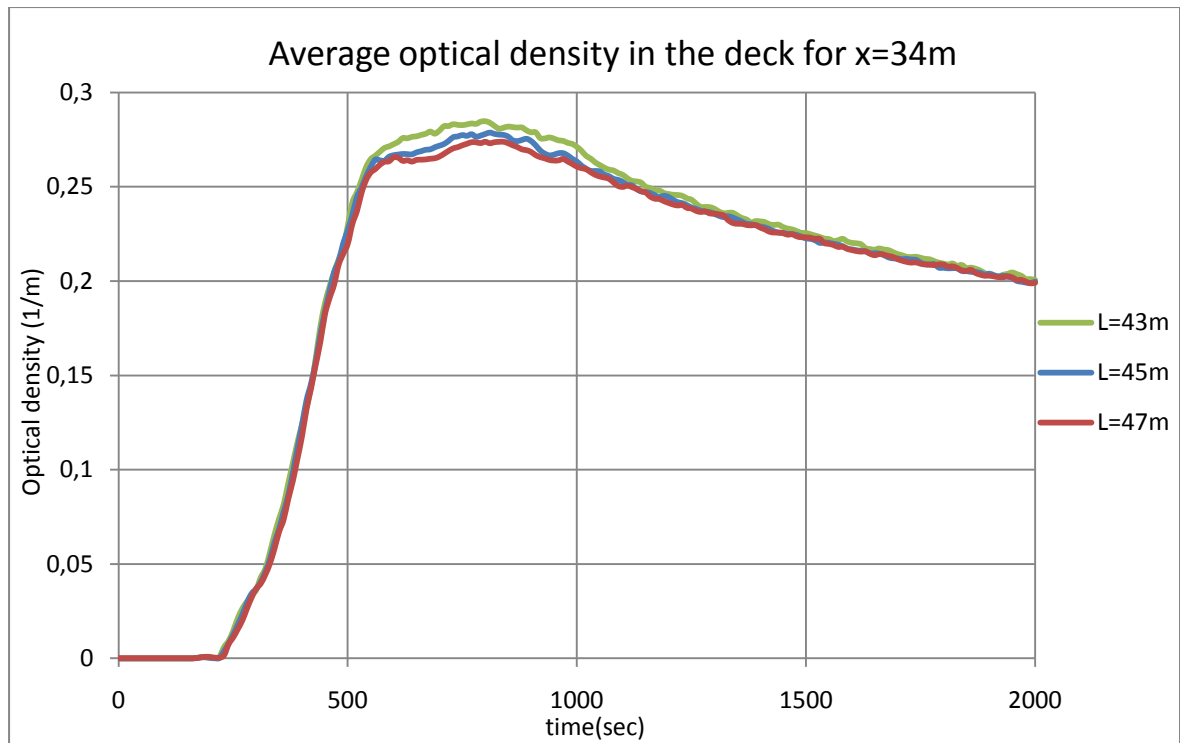
Διάγραμμα 71– Οπτική πυκνότητα στο κατάστρωμα ενδιαίτησης,
για $\chi=10m$ από την αρχή του καταστρώματος



Διάγραμμα 72– Οπτική πυκνότητα στο κατάστρωμα ενδιάμεσης,
για $\chi=18\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος

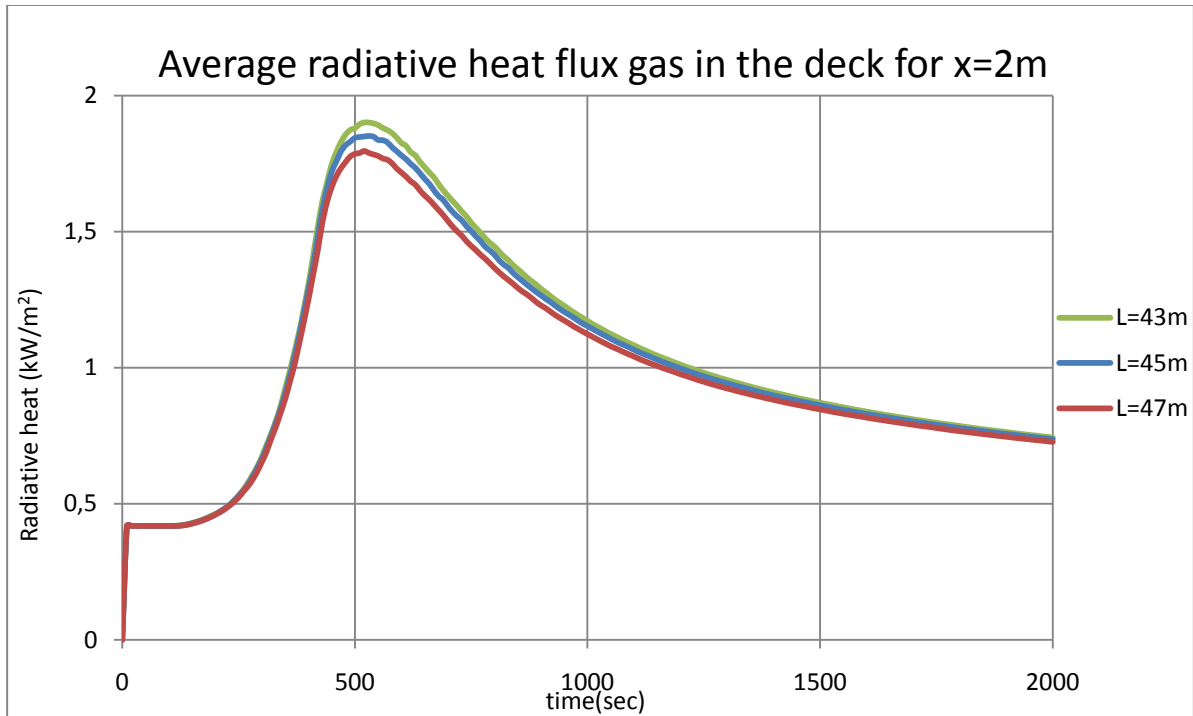


Διάγραμμα 73– Οπτική πυκνότητα στο κατάστρωμα ενδιάμεσης,
για $\chi=26\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος

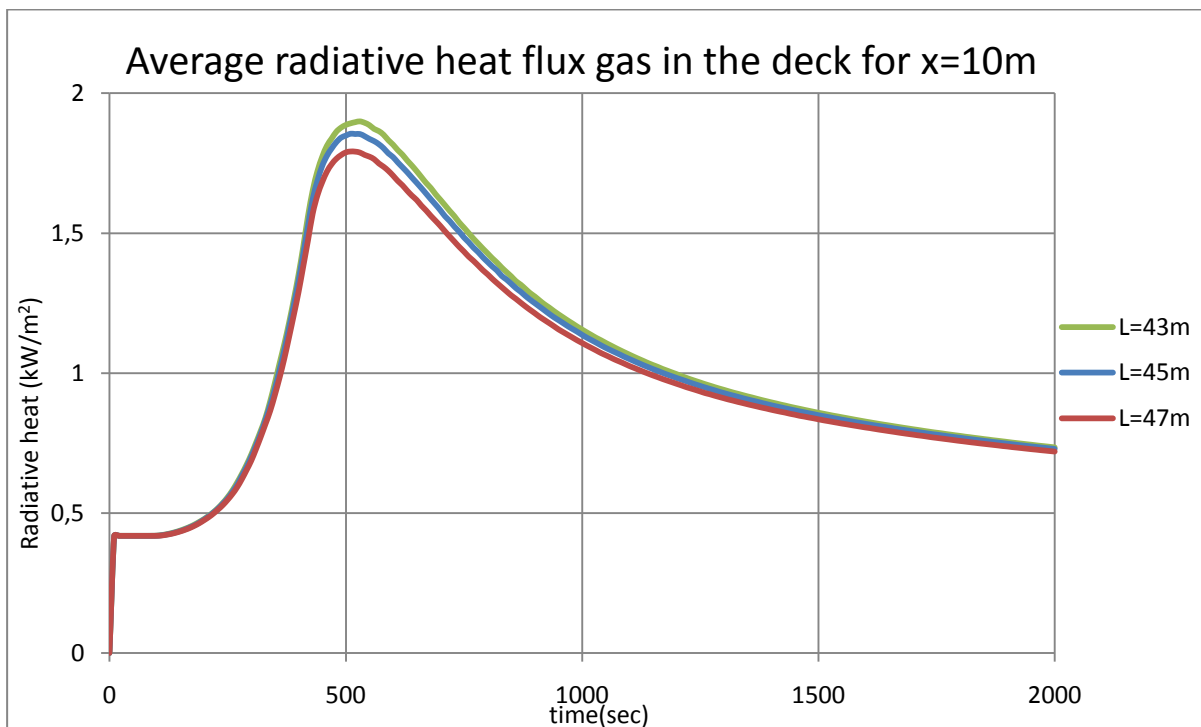


Διάγραμμα 74– Οπτική πυκνότητα στο κατάστρωμα ενδιαίτησης,
για $x=34m$ από την αρχή του καταστρώματος

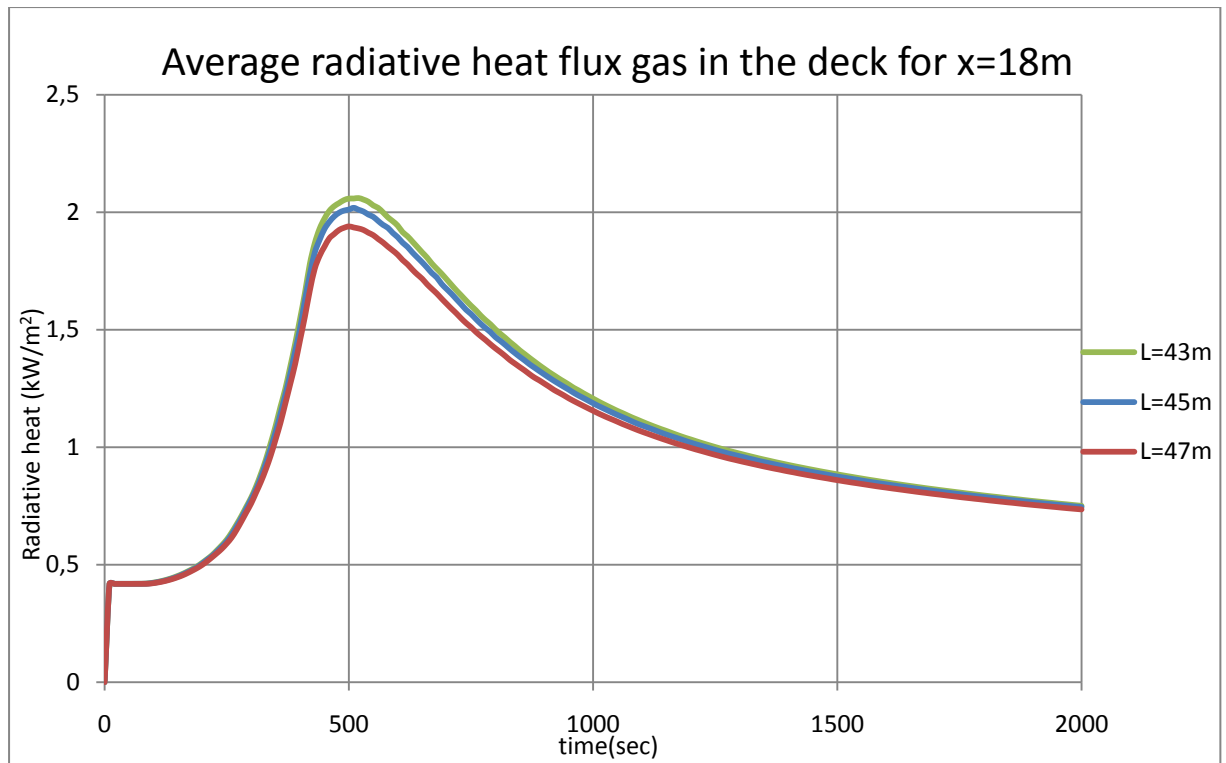
- ❖ Η Θερμότητα ροής αερίων λόγω ακτινοβολίας στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, σε διάφορες αποστάσεις X από την αρχή του καταστρώματος



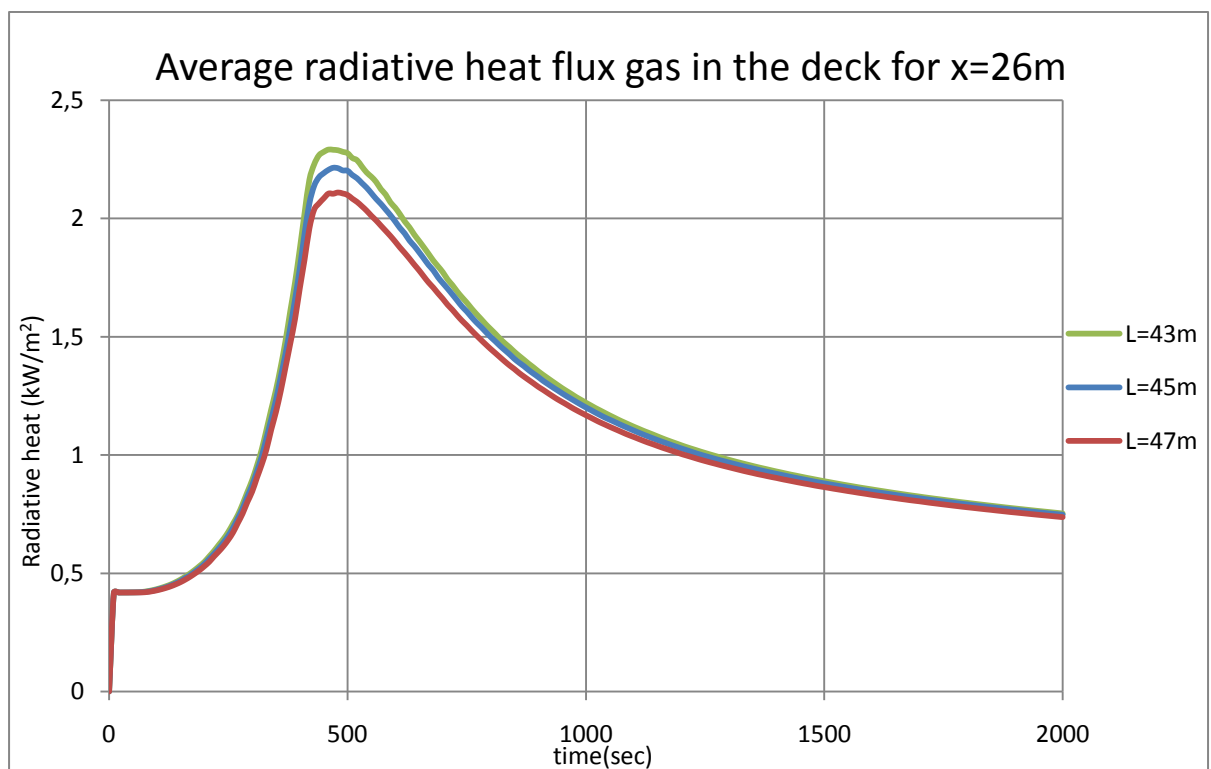
Διάγραμμα 75- Θερμότητα ροής αερίων λόγω ακτινοβολίας στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $x=2m$ από την αρχή του καταστρώματος



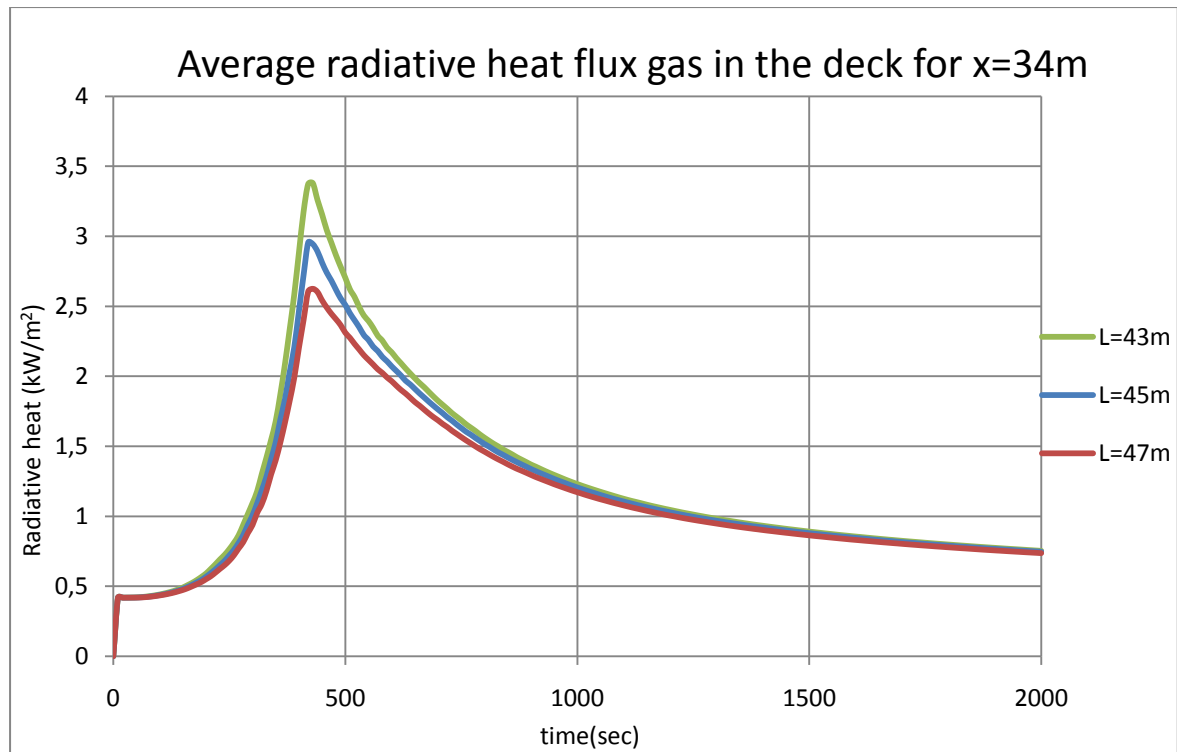
Διάγραμμα 76- Θερμότητα ροής αερίων λόγω ακτινοβολίας στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $x=10m$ από την αρχή του καταστρώματος



Διάγραμμα 77– Θερμότητα ροής αερίων λόγω ακτινοβολίας στο κατάστρωμα ενδιαίτησης,
για $\chi=18\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος



Διάγραμμα 78– Θερμότητα ροής αερίων λόγω ακτινοβολίας στο κατάστρωμα ενδιαίτησης,
για $\chi=26\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος



Διάγραμμα 79– Θερμότητα ροής αερίων λόγω ακτινοβολίας στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $x=34m$ από την αρχή του καταστρώματος

6.3.3 Συμπεράσματα

- Μονοξείδιο και Διοξείδιο του Άνθρακα: Παρατηρώντας τα διαγράμματα συγκέντρωσης μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα, και για τα τρία σενάρια μελέτης, βλέπουμε ότι οι καμπύλες συμπίπτουν μεταξύ τους εκτός από το χρονικό διάστημα των πεντακοσίων (500) έως χιλίων πεντακοσίων (1500) δευτερολέπτων. Σε αυτό το χρονικό διάστημα, η καμπύλη που αντιστοιχεί στο κατάστρωμα με μήκος σαράντα τρία μέτρα (43m) φθάνει σε υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης από ότι οι καμπύλες που αντιστοιχούν στα άλλα δύο σενάρια μελέτης.
- Οξυγόνο: Όπως και με τα διαγράμματα των συγκεντρώσεων του μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα, έτσι και στα διαγράμματα των συγκεντρώσεων του οξυγόνου, παρατηρούμε ότι οι καμπύλες συμπίπτουν μεταξύ τους εκτός από το χρονικό διάστημα των πεντακοσίων (500) έως χιλίων πεντακοσίων (1500) δευτερολέπτων.
- Θερμοκρασία: Παρατηρώντας τα διαγράμματα των θερμοκρασιών σε όλο το μήκος του καταστρώματος, βλέπουμε ότι οι μέγιστες θερμοκρασίες σε ένα συγκεκριμένο σημείο, επιτυγχάνονται κατά την ίδια χρονική στιγμή αλλά με

διαφορετικές τιμές για τα τρία διαφορετικά μήκη των καταστρωμάτων που εξετάζουμε.

Σε απόσταση 26 μέτρων από την αρχή των καταστρωμάτων	
Μήκος Καταστρώματος	Μέγιστη Θερμοκρασία
43m	141 ^o C
45m	137 ^o C
47m	131 ^o C

Πίνακας 20- Οι μέγιστες θερμοκρασίες για τα τρία διαφορετικά μήκη καταστρώματος

- Ορατότητα: Οι καμπύλες της πυκνότητας ορατότητας, και για τα τρία διαφορετικά μήκη των καταστρωμάτων που εξετάζουμε, συμπίπτουν μεταξύ τους μέχρι περίπου τα πρώτα οχτώ λεπτά (500 δευτερόλεπτα), για όλες τις αποστάσεις από την αρχή του καταστρώματος που μελετάμε.
- Θερμότητα ροής αερίων λόγω ακτινοβολίας : Σύμφωνα με το MSC 90/25/3 του IMO, η μέγιστη τιμή της θερμότητας ροής των αερίων είναι 2,5 kW/m². Παρατηρώντας λοιπόν τα διαγράμματα της θερμότητας ροής των αερίων σε όλο το μήκος του καταστρώματος, βλέπουμε ότι μέχρι το μήκος των 26 μέτρων (από την αρχή του καταστρώματος) δεν ξεπερνάει ποτέ την τιμή αυτή και για τα τρία διαφορετικά μήκη των καταστρωμάτων που εξετάζουμε.

Ανάμεσα στο διάστημα των 26 με 34 μέτρων (απόσταση 8 μέτρα) από την αρχή του καταστρώματος, η τιμή της εξεταζόμενης θερμότητας ροής ξεπερνά κατά πολύ το μέγιστο όριο που έχει οριστεί από τον IMO, ακόμα και στην περίπτωση που το κατάστρωμα έχει μήκος 47 μέτρα και η φωτιά βρίσκεται σε απόσταση από την αρχή του καταστρώματος 45 με 46 μέτρα.

Κεφάλαιο 7^ο

Συμπεράσματα

7.1 Συμπεράσματα

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η εξοικείωση με το μοντέλο υπολογιστικής ρευστομηχανικής, Fire Dynamics Simulator (FDS), η εξέταση της αποτελεσματικότητας των διαχωριστικών B-15 και η μελέτη των παραγόντων βιωσιμότητας σε ένα επιβατηγό πλοίο.

❖ Μελέτη του μοντέλου FDS

Μελετώντας και χρησιμοποιώντας το μοντέλο FDS, τόσο σε απλές εφαρμογές (μελέτη καμπίνας) όσο και σε πιο πολύπλοκες (μελέτη ολόκληρου καταστρώματος ενδιαίτησης), παρατηρήσαμε ότι το μοντέλο αυτό παρέχει ποιοτικά τουλάχιστον, μια πολύ ρεαλιστική περιγραφή των προσομοιώσεων. Ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα του FDS είναι ότι διαθέτει μεγάλο πλήθος εντολών, οι οποίες αν χρησιμοποιηθούν από έμπειρους χρήστες, δίνουν την δυνατότητα ακριβούς απεικόνισης του πραγματικού κόσμου. Κάτι τέτοιο γίνεται αντιληπτό αν παρατηρήσουμε τα διαγράμματα heat release rate. Η καμπύλη του ρυθμού έκλυσης της θερμότητας που δίνουμε εμείς, και η καμπύλη που εξάγει το μοντέλο FDS συμπίπτουν σε όλες τις προσομοιώσεις.

Από την άλλη μεριά, ένα βασικό μειονέκτημα του μοντέλου αυτού είναι ο χρόνος εκτέλεσης των προγραμμάτων. Όσο καλοί και να είναι οι επεξεργαστές ενός απλού ηλεκτρονικού υπολογιστή, κώδικες που περιγράφουν πολύπλοκες γεωμετρίες και αναπτυσσόμενες συνθήκες, μπορεί να χρειαστούν από μια ολόκληρη μέρα έως και βδομάδες για να τρέξουν.

❖ Μελέτη του διαχωριστικού B-15 σε καμπίνα επιβατηγού πλοίου

Για να μπορέσουμε να έχουμε μια πλήρη εικόνα της αποτελεσματικότητας των διαχωριστικών B-15, πραγματοποιήσαμε τρεις μελέτες σε μια καμπίνα επιβατηγού πλοίου. Στην πρώτη μελετήσαμε την αποτελεσματικότητα καθώς αλλάζαμε το fuel load density, και κατ' επέκταση τον ρυθμό έκλυσης της θερμότητας της φωτιάς. Παρατηρώντας τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στην εξεταζόμενη γεωμετρία,

βλέπουμε ότι μέχρι περίπου τα πρώτα εικοσιπέντε λεπτά δεν διαφέρουν σχεδόν καθόλου μεταξύ τους ανεξαρτήτως fuel load density.

Στην συνέχεια, εξετάσαμε και την περίπτωση όπου η πόρτα της διπλανής καμπίνας είναι κλειστή. Μελετώντας αυτό το σενάριο, παρατηρήσαμε ότι οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στην διπλανή καμπίνα όχι μόνο δεν φθάνουν την τιμή των 245°C αλλά ούτε των 100 °C.

Τέλος, μελετήσαμε το πάχος της μόνωσης του διαχωριστικού για δυο περιπτώσεις, με ανοικτή και με κλειστή την πόρτα της διπλανής καμπίνας. Αυτό που παρατηρήσαμε είναι ότι ενώ δεν επηρεάζονται καθόλου οι αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες στην περίπτωση με ανοικτή την πόρτα, οι θερμοκρασίες με κλειστή επηρεάζονται αρκετά. Με βάση τις σειρές των προσομοιώσεων που πραγματοποιήσαμε και τα αντίστοιχα διαγράμματα που κατασκευάσαμε για τα διάφορα πάχη μόνωσης, μπορούμε να βρούμε το βέλτιστο πάχος. Άρα, η εφαρμογή αυτή, εύκολα γενικεύεται σε μια πιο πρακτική χρήση στον τομέα της έρευνας αγοράς διαχωριστικών. Μπορούμε δηλαδή, με την βοήθεια των κατάλληλων προσομοιώσεων να βρίσκουμε το βέλτιστο και οικονομικότερο πάχος μόνωσης των διαχωριστικών σε συγκεκριμένες περιπτώσεις.

❖ Μελέτη παραγόντων βιωσιμότητας σε κατάστρωμα ενδιαίτησης

Εξετάζοντας τις προσομοιώσεις που έγιναν στο έκτο (6^ο) κεφάλαιο, σε ένα κατάστρωμα ενδιαίτησης για διαφορετικά μήκη, βλέπουμε ότι και στα τρία σενάρια μελέτης, όλες οι καμπύλες των παραγόντων βιωσιμότητας μέχρι το πεντακοσιοστό (500) δευτερόλεπτο συμπίπτουν μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, είτε η πηγή της φωτιάς απέχει από την αρχή του καταστρώματος 41-42 μέτρα (μήκος καταστρώματος 43 μέτρα), είτε 43-44 μέτρα (μήκος καταστρώματος 45 μέτρα), είτε 45-46 μέτρα (μήκος καταστρώματος 47 μέτρα), όλοι οι παράγοντες βιωσιμότητας (μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα, οξυγόνο, θερμοκρασία, ορατότητα και θερμότητα ροής των αερίων λόγω ακτινοβολίας), σε όλο το μήκος του καταστρώματος, έχουν ακριβώς τις ίδιες τιμές για τα πρώτα πεντακόσια (500) δευτερόλεπτα.

7.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Με βάση το γνωστικό υπόβαθρο που αποκτήθηκε από την συγκεκριμένη εργασία καθώς και από τις γενικότερες ανάγκες για πυρασφάλεια, προτείνονται οι ακόλουθοι άξονες για μελλοντική έρευνα:

- ✓ Μελέτη σεναρίων πυρκαγιάς όταν ενεργοποιούνται οι ψεκαστήρες (sprinklers), και οι ανιχνευτές θερμότητας και καπνού (heat and smoke detectors).
- ✓ Μελέτη ύπαρξης φωτιάς σε χώρους ύψους δυο ή τριών καταστρωμάτων, όπως χώρους ψυχαγωγίας, θέατρα κ.α.
- ✓ Συνδυασμός της μελέτης σεναρίων πυρκαγιάς με την εξέταση σεναρίων εκκένωσης των επιβατών. Υπάρχουν πάνω από σαράντα διαφορετικά μοντέλα εκκένωσης. Η σπουδαιότητα των μοντέλων αυτών, είναι ότι λαμβάνουν υπόψη τους τις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στους επιβάτες, δηλαδή τη συμφόρηση, τους χρόνους ανταπόκρισης, τους χρόνους λήψης αποφάσεων κ.α. Τέτοια μοντέλα είναι το Evi (Evacuability Index) και το MaritimeEXODUS.

Βιβλιογραφία

1. A.M. Hasofer, V.R Beck, I.D Bennetts, Risk Analysis in Building Fire Safety Engineering, 2007, first edition.
2. American Society for Testing and Materials, ASTM E 1355-05, Standard Guide for Evaluating the Predictive Capabilities of Deterministic Fire Models, (2005).
3. A.Henriques, C. Dias, E. Dias Lopes, Probabilistic Framework for Onboard Fire Safety,Societal Consequence Model (D2.3), January 2011.
4. Babrauskas, V. (1980) ,Estimating Room Flashover Potential, Fire Technology, 16, 2, pp. 94–104.
5. Babrauskas, V. and Krasny, J., (1985) Fire behaviour of upholstered furniture, NBS Monograph 173, National Engineering Laboratory, Center for Fire Research, National Bureau of Standards: Gaithersburg, MD 20899.
6. Babrauskas V. ,. Peacock R.D ,Heat Release Rate : the single most important variable of fire hazard, April 1991.
7. C.R. Barnett, G.C. Clifton, EXAMPLES OF FIRE ENGINEERING DESIGN FOR STEEL MEMBERS, USING A STANDARD CURVE VERSUS A NEW PARAMETRIC CURVE, March 2002.
8. D. Baroudi, Thermal Models for Fire Safety- Calculation of Flame Spread on Surfaces and Heating of Structures, Helsinki University of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, Laboratory of Structural Mechanics, 2007.
9. E. Zalok, G.V. Hadjisophocleous, J.R. Mehaffey, Fire loads in commercial premises, Fire and Materials, Volume 33- Issue 2, pages 63-78, March 2009.
10. E. Hartin, (2005) Fire development in a compartment part 1: Review of basic fire behavior. Retrieved January 19, 2008.

11. E. Hartin, (2005) Fire development in a compartment part 2: Review of basic fire behavior. Retrieved January 19, 2008
12. FDS and Smokeview Discussions : <http://groups.google.com/group/fds-smv>
13. G.P. Forney , Smokeview (Version 5)- A tool for visualizing fire dynamics simulation data, Volume I: User's Guide, NIST Special Publication 1017-1, October 2010
14. G.P. Forney , Smokeview (Version 5)- A tool for visualizing fire dynamics simulation data, Volume II: Technical Reference Guide, NIST Special Publication 1017-2, October 2010
15. G.P. Forney, Smokeview: A Visualization Tool for Understanding Fire Dynamics, Fire protection engineering, first quarter 2008
16. G. Williams-Leir, Analytic Equivalents of Standard Fire Temperature Curves, Fire Technology Volume 9 No2,p. 132-136, May 1973
17. IMO, SOLAS chapter II-2 , Construction- Fire Protection, Fire Detection and Fire Extinction,2009
18. IMO, FSS Code, International Code for Fire Safety Systems, 2007 edition
19. IMO, MSC/Circ.1003 ,GUIDELINES ON A SIMPLIFIED CALCULATION FOR THE TOTAL AMOUNT OF COMBUSTIBLE MATERIALS PER UNIT AREA IN ACCOMMODATION AND SERVICE SPACES, June 2001
20. IMO, MSC/Circ.1002, Proposed amendments to the Guidelines on alternative design and arrangements for fire safety, January 2012
21. J.Floyd, S.Hunt, F.Williams, P. Tatem, A Network Fire Model for the Simulation of Fire Growth and Smoke Spread in Multiple Compartments with Complex Ventilation, (2005)
22. J.F. Wendt, Computational Fluid Dynamics: An Introduction, third edition 2009
23. K.McGrattan, R. McDermott, S.Hostikka, J.Floyd , Fire Dynamics Simulator (Version 5.3) User's Guide NIST Special Publication 1019-5, National Institute of Standards and Technology, October 2010

24. K.McGrattan, S.Hostikka, J.Floyd , H.Baum, R. Rehm, W. Mell, R. McDermott, Fire Dynamics Simulator (Version 5.3) Technical Reference Guide, NIST Special Publication 1018-5, National Institute of Standards and Technology, October 2010
25. K.J. Spyrou, N.G. Nikolaou, Numerical fire modeling for passanger ships, IMAM- International Maritime Association of the Mediterranean, Istanbul 2009
26. N. Themelis, K.J. Spyrou, An efficient methodology for defining probabilistic design, 4th International Maritime Conference on Design For Safety, October 2010
27. N. Themelis, S. Niotis, K.J. Spyrou, Managing uncertainty in performance-based fire safety assessments of ships, School of naval Architecture and Marine Engineering
28. P. Lois, J.Wang, A.Wall, T.Ruxton, *Formal Safety Assessment of cruise ships*, Tourism Management (2004) 25; 93-109
29. Resources, Tools and Basic Information for Engineering and Design of Technical Applications : www.engineeringtoolbox.com
30. SAFEDOR: Ole Vilar Nilsen, Design Operation and Regulation for Safety,FSA for Cruise Ships, DNV (Det Norske Veritas), 2005
31. Y. Kurazumi, T. Tsuchicawa, J. Ishii, K. Fukagawa, Y. Yamato, N. Matsubara,Radiative and Convective heat transfer coefficients of the human body in naturalconvection, Building and Environment, (2008) 43; 2142-2153
32. Washington State Department of Labor and Industries, Division of Occupational Safety and Health : <http://www.lni.wa.gov/>
33. W.W. Jones, R.D. Peacock, G.P. Forney, P.A. Reneke, CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6) Technical Reference Guide, NIST Special Publication 1041, December 2008

34. W.W. Jones, R.D. Peacock, G.P. Forney, P.A. Reneke, CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6) User’s Guide, NIST Special Publication 1041, April 2009
35. Ε. Ψύλλα, Προσομοίωση πυρκαγιάς σε επιβατηγό πλοίο με χρήση των προγραμμάτων CFAST & FDS, Φεβρουάριος 2010.
36. Κ. Σπύρου, Σχεδίαση Πλοίων για Ασφάλεια και Περιβαλλοντική Προστασία, Οκτώβριος 2010
37. Ζ. Τσαρακλής, Β.Ι. Παπάζογλου , Υγιεινή και Ασφάλεια στις Ναυπηγοεπισκευαστικές Εργασίες, Αθήνα 2001

Παράρτημα Α

Εφαρμογές που πραγματοποιήθηκαν για την εξοικείωση με το πρόγραμμα

A.1 Εισαγωγή

Σκοπός των εφαρμογών που πραγματοποιήθηκαν αρχικά ήταν να δημιουργηθεί ένα πρόγραμμα FDS, τέτοιο ώστε να μας εξασφάλιζε ρεαλιστικά αποτελέσματα με βάση τα δεδομένα της φωτιάς που θα του εισάγαμε. Για τις εφαρμογές αυτές χρησιμοποιήθηκε η γεωμετρία που χρησιμοποιείται και στο κυρίως θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, όπως φαίνεται και στην εικόνα 15.



Εικόνα 15 -Η εξεταζόμενη γεωμετρία

Στην συνέχεια αναρωτηθήκαμε αν το μήκος του διαδρόμου θα επηρέαζε τα αποτελέσματα του προγράμματος και μέχρι πιο μήκος τα αποτελέσματα ανταποκρίνονται ρεαλιστικά στην διδόμενη φωτιά.

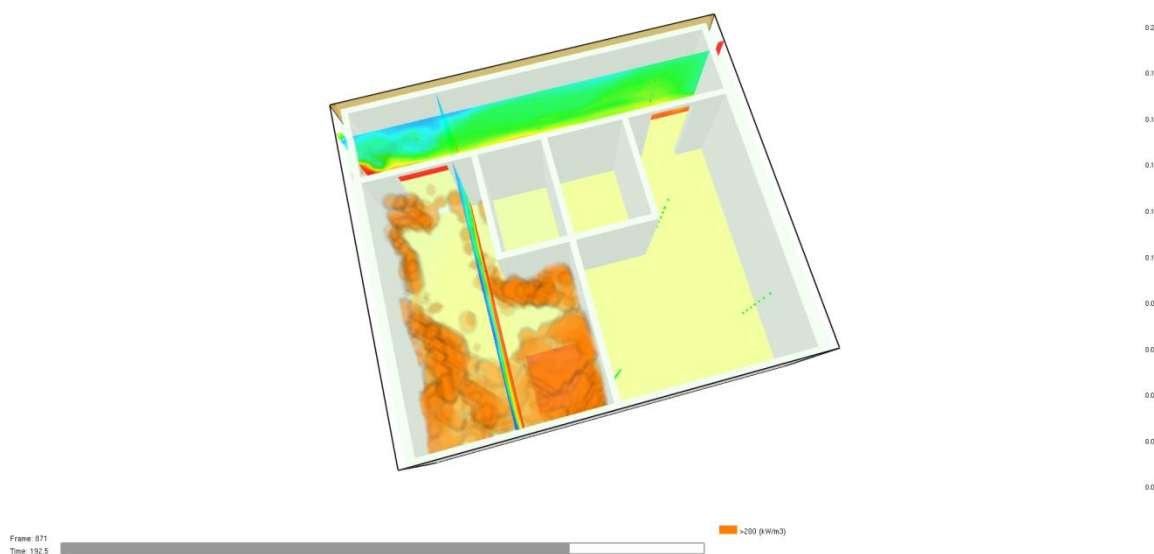
A.2.Αναλυτικά

A.2.α) Ventilation and Reference Temperature

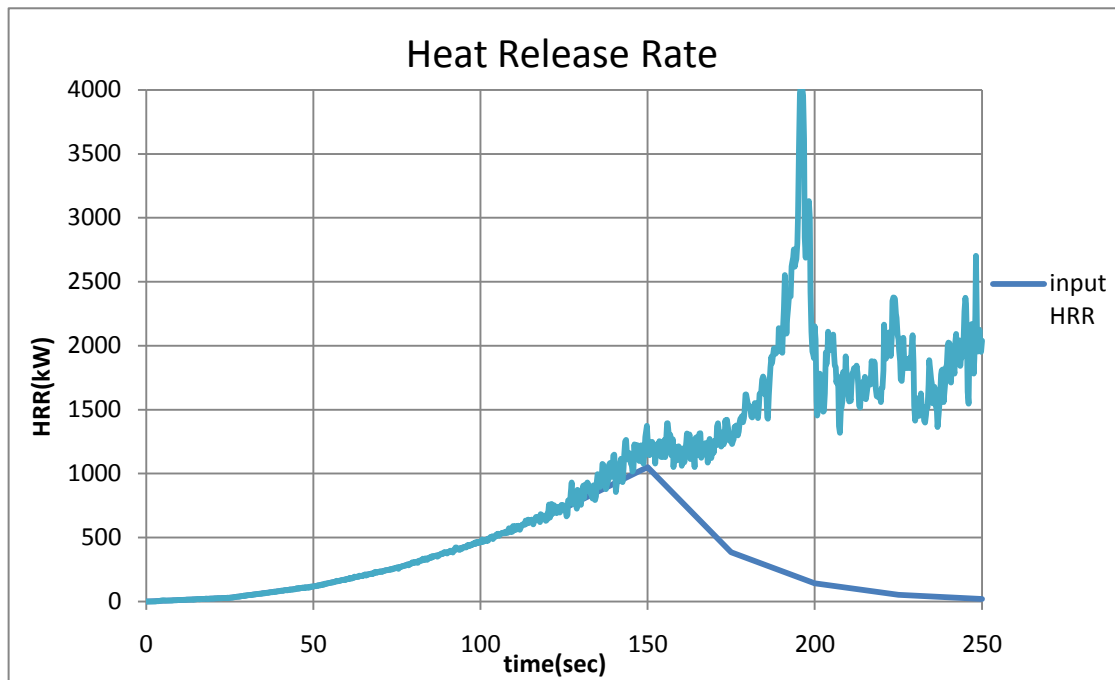
Κατασκευάζοντας και τρέχοντας αρχικά το πρόγραμμα για μια φωτιά με μέγιστη τιμή έκλυσης θερμότητας 1050kW, παρατηρήσαμε ότι η καμπύλη του Heat Release Rate που δόθηκε σαν δεδομένη και η εξερχόμενη καμπύλη HRR διέφεραν πάρα πολύ (διάγραμμα 80). Ο λόγος για τον οποίο συνέβη αυτό, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, είναι ότι μέσα στο δωμάτιο με την φωτιά πραγματοποιείται ανάφλεξη με αποτέλεσμα να καίγονται τα πάντα μέσα σε αυτό (τοιχοι, δάπεδο), και μάλιστα η φωτιά μεταφέρεται και στον διάδρομο. Έτσι η φωτιά όχι μόνο δεν εξασθενεί αλλά θα συνεχίζει να καίει τα πάντα μέχρι να τελειώσει είτε το οξυγόνο είτε η καύσιμη ύλη (εικόνα 16).

Smokeview 5.3.10 - Jan 30 2009

Size
0.00
m/s



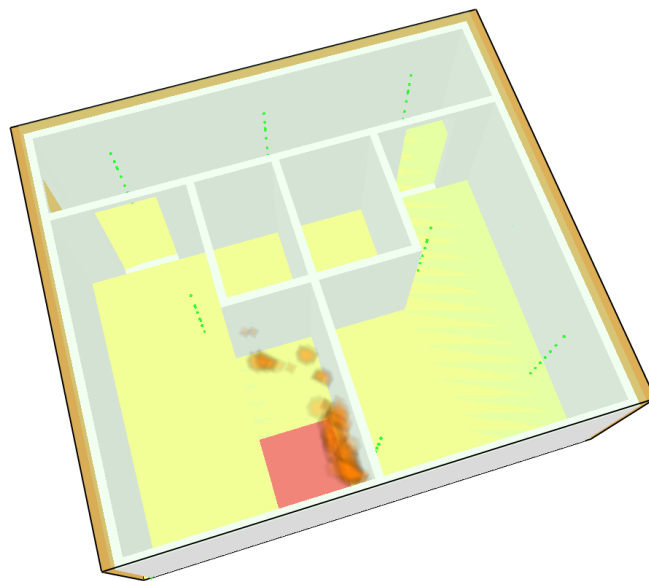
Εικόνα 16– Συγκεντρώσεις Οξυγόνου κατά της διάρκεια της προσομοίωσης της φωτιάς



Διάγραμμα 80–Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας με μέγιστη τιμή 1050 kW

Στο σημείο αυτό είχαμε δύο επιλογές να εξερευνήσουμε.

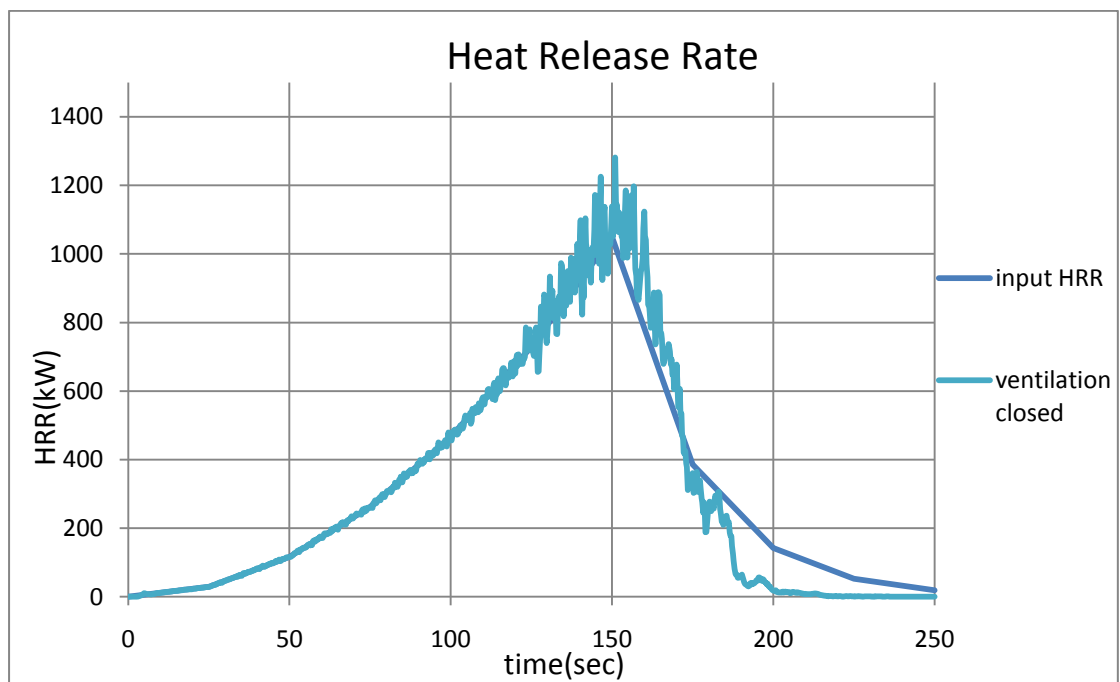
Πρώτη επιλογή, πως θα συμπεριφερόταν η φωτιά αν η ποσότητα του οξυγόνου ήταν μόνο αυτή που βρισκόταν μέσα στην εξεταζόμενη γεωμετρία. Τρέχοντας το αντίστοιχο πρόγραμμα, παρατηρήσαμε ότι η ποσότητα του οξυγόνου δεν επαρκούσε για όλες τις φάσεις της φωτιάς. Οπότε η φωτιά εξασθενεί νωρίτερα από ότι είχαμε υπολογίσει εξαιτίας της έλλειψης του οξυγόνου. Από το 185 δευτερόλεπτο εύκολα μπορούμε να παρατηρήσουμε οπτικά (με την βοήθεια του προγράμματος Smokeview) ότι η φωτιά σβήνει(εικόνα 17, διάγραμμα 81).



Frame: 746
Time: 186.5

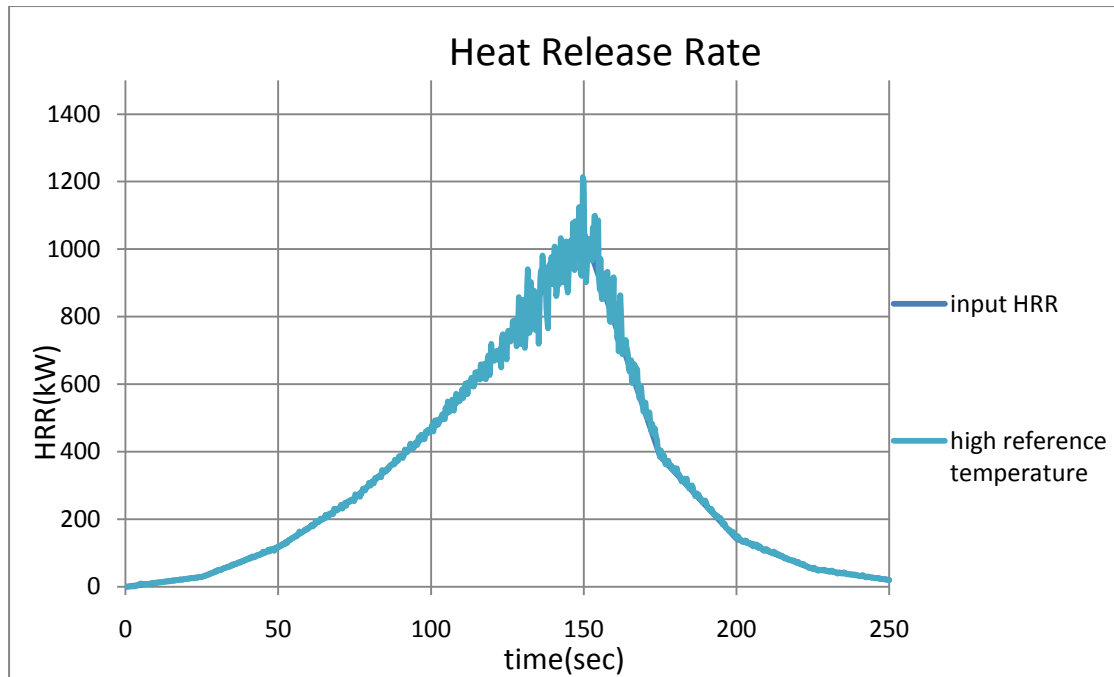
>200 (kW/m³)

Εικόνα 17 -Η εκδήλωση της φωτιάς



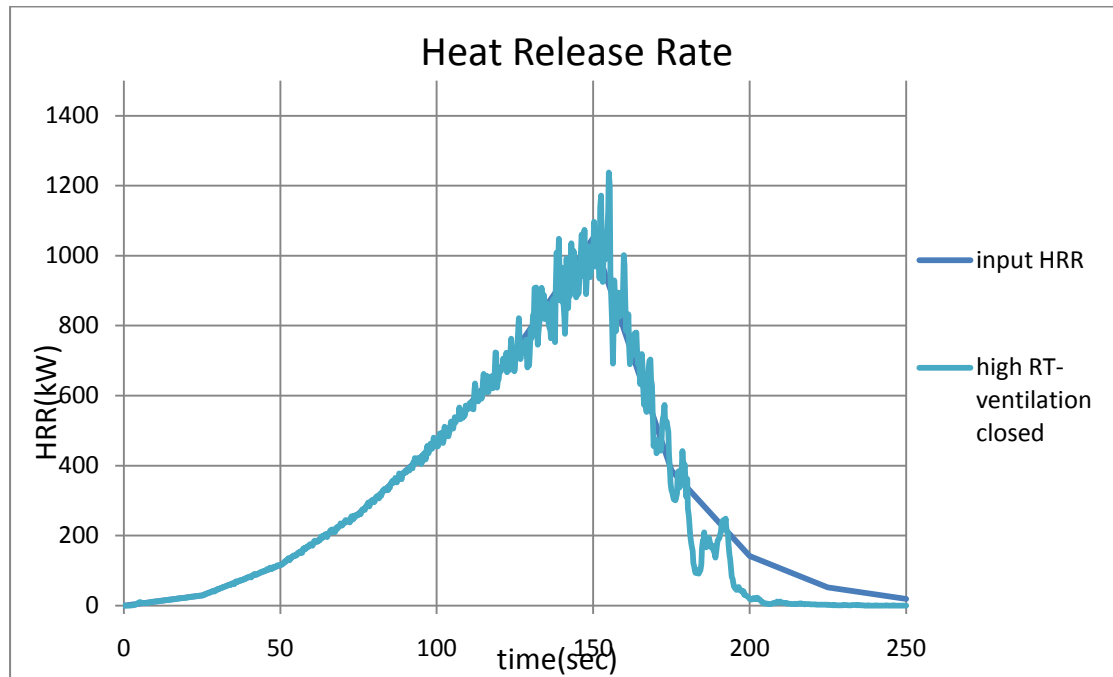
Διάγραμμα 81-Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας με μέγιστη τιμή 1050 kW, με τον εξαερισμό κλειστό

Η δεύτερη επιλογή ήταν να αυξήσουμε αρκετά την θερμοκρασία στην οποία αναφλέγεται το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένοι οι τοίχοι (Reference Temperature-RT). Με αυτόν τον τρόπο καταστήσαμε αδύνατη την εμφάνιση του φαινομένου Flashover (Ανάφλεξη). Τρέχοντας το πρόγραμμα παρατηρήσαμε ότι οι δύο καμπύλες HRR (η input και output καμπύλη) συμπίπτουν (διάγραμμα 82).



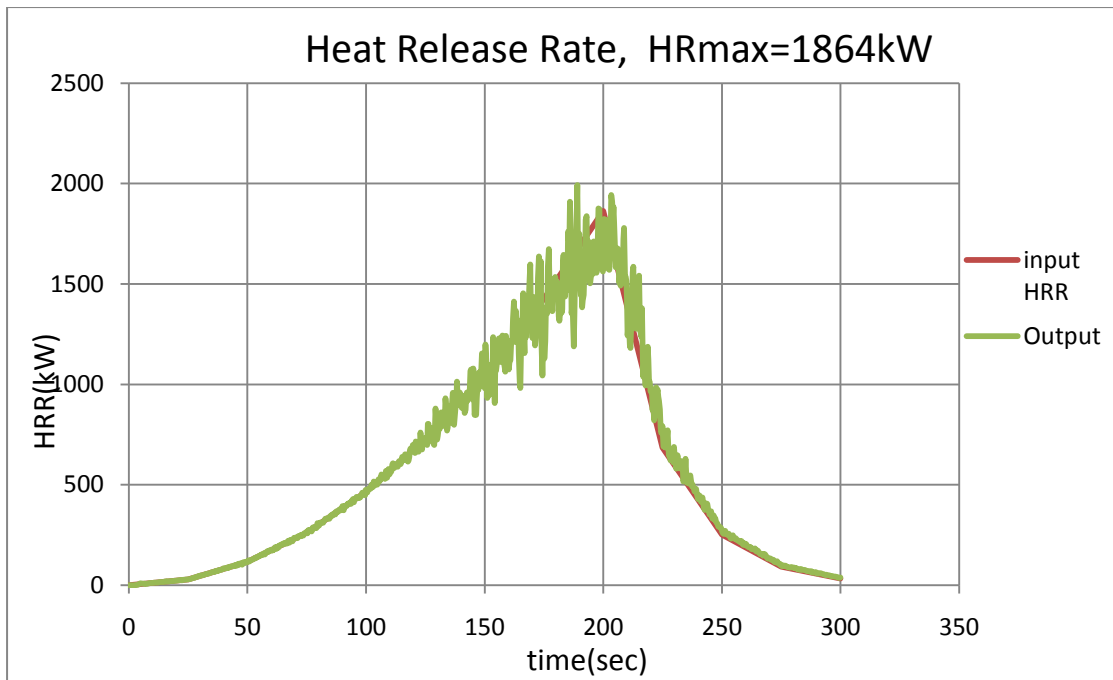
Διάγραμμα 82—Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας με μέγιστη τιμή 1050 kW, με υψηλή την τιμή της θερμοκρασίας ανάφλεξης

Τέλος, κατασκευάσαμε ένα πρόγραμμα (μόνο για παρατήρηση) όπου αυξήσαμε την θερμοκρασία ανάφλεξης του υλικού του τοίχου και κλείσαμε και τον εξαερισμό, έτσι ώστε να μην έχουμε άπλετο οξυγόνο. Το αποτέλεσμα φυσικά ήταν το αναμενόμενο, η φωτιά εξασθένησε πολύ πριν ολοκληρώσει όλα τα στάδια της (διάγραμμα 83).

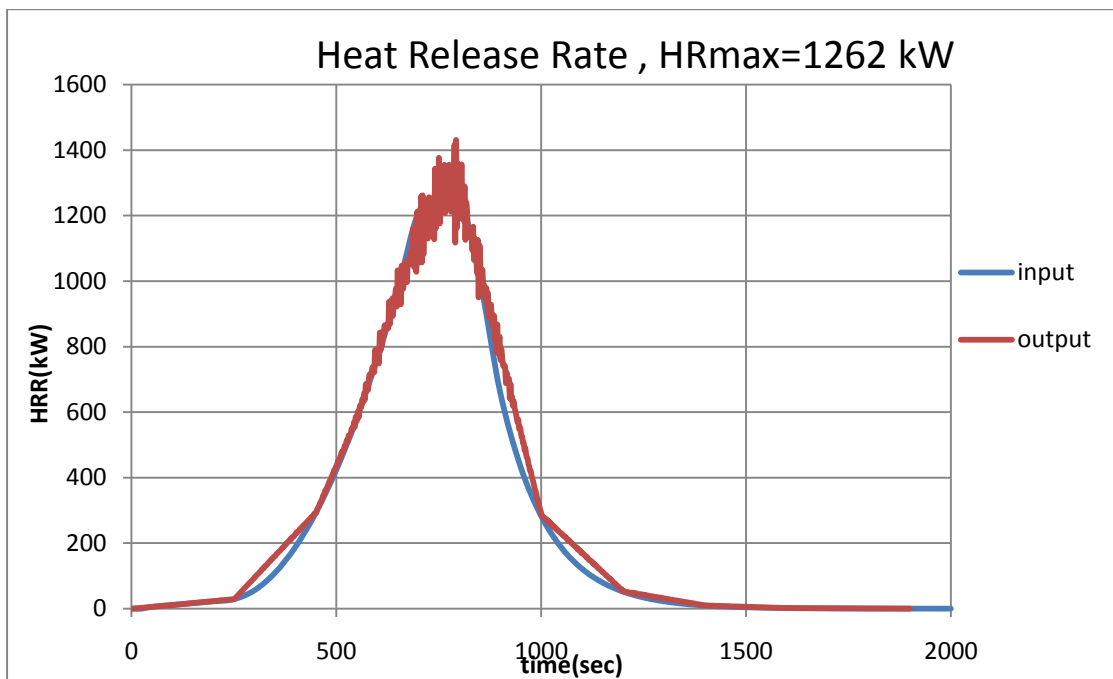


Διάγραμμα 83–Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας με μέγιστη τιμή 1050 kW, με υψηλή την τιμή της θερμοκρασίας ανάφλεξης και κλειστό τον εξαερισμό

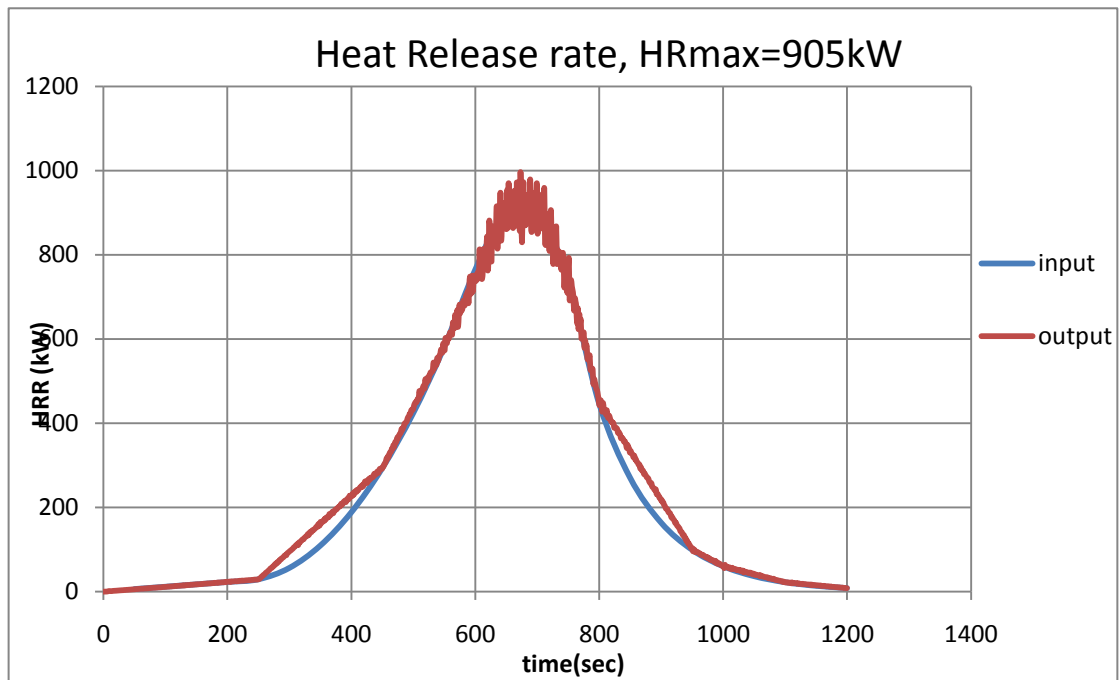
Η ίδια διαδικασία πραγματοποιήθηκε και για άλλες φωτιές με διαφορετικές μέγιστες τιμές έκλυσης θερμότητας, όπως 905 kW, 1262kW, 1864 kW, και τα αποτελέσματα ήταν ακριβώς ίδια. Παραθέτονται τα αντίστοιχα διαγράμματα 84, 85 και 86.



Διάγραμμα 84–Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας με μέγιστη τιμή 1864 kW



Διάγραμμα 85–Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας με μέγιστη τιμή 1262 kW

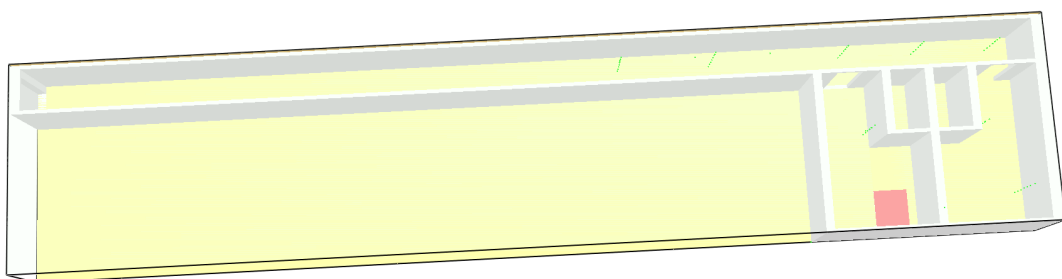


Διάγραμμα 86–Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας με μέγιστη τιμή 905 kW

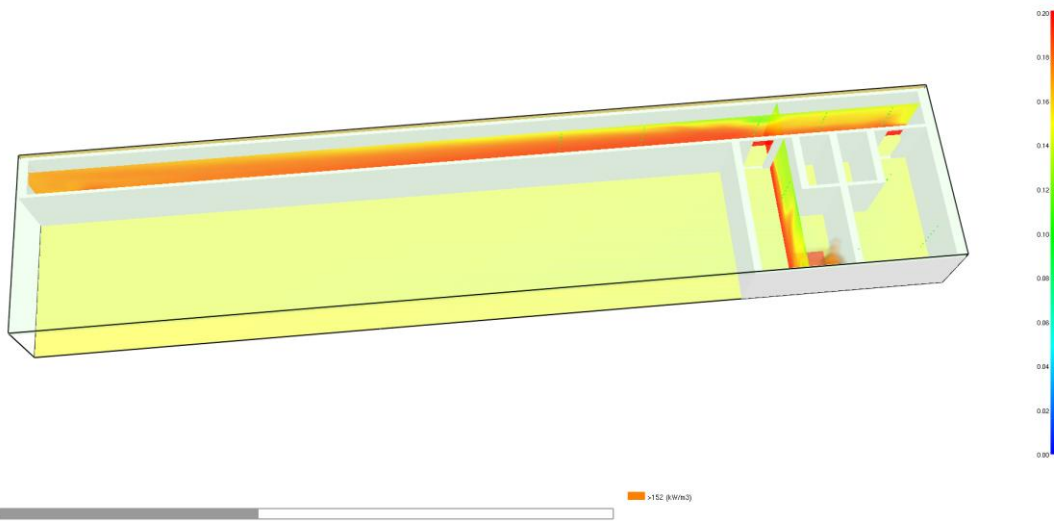
A.2.8) Length of Corridor

Στο σημείο αυτό θέλαμε να δούμε αν αλλάζοντας το μήκος του διαδρόμου θα επηρέαζε την συμπεριφορά της φωτιάς. Στόχος μας ήταν να βρούμε την πιο μικρή γεωμετρία τέτοια ώστε τα αποτελέσματα να μην επηρεάζονται και να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Για τον σκοπό αυτόν δοκιμάσαμε διάφορα μήκη διαδρόμου. Η συγκεκριμένη εφαρμογή πραγματοποιήθηκε για φωτιά με μέγιστη τιμή έκλυσης θερμότητας 1864 kW.

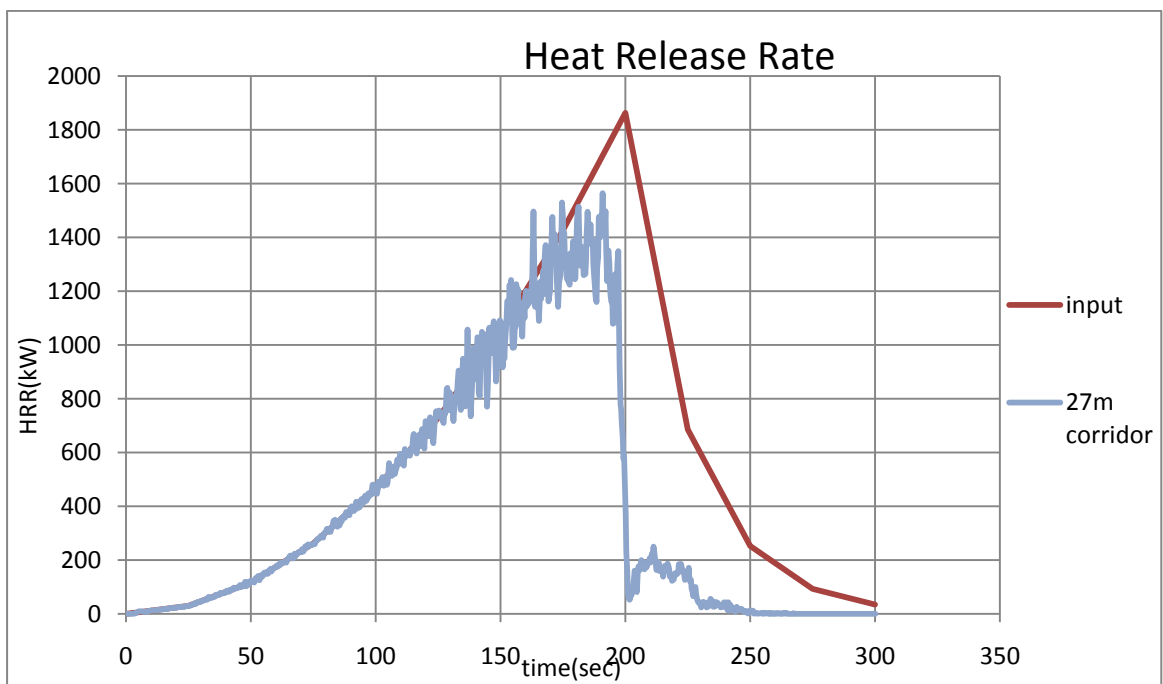
- Συνολικό μήκος διαδρόμου 27 μέτρα



Εικόνα 18-Η εξεταζόμενη γεωμετρία με διάδρομο 27 μέτρων



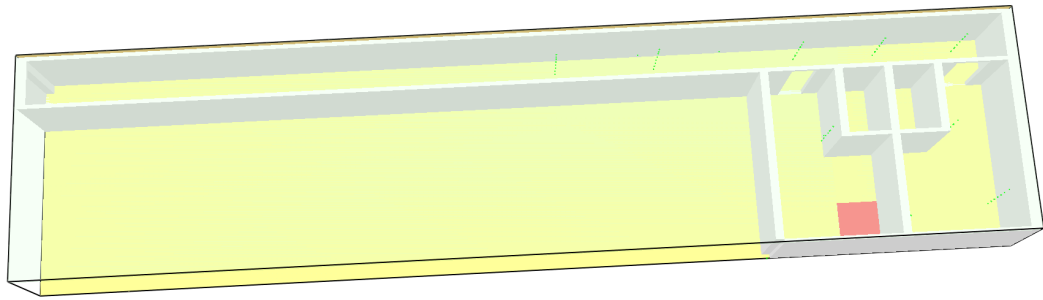
Εικόνα 19-Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στην εξαεζόμενη γεωμετρία με διάδρομο 27 μέτρων



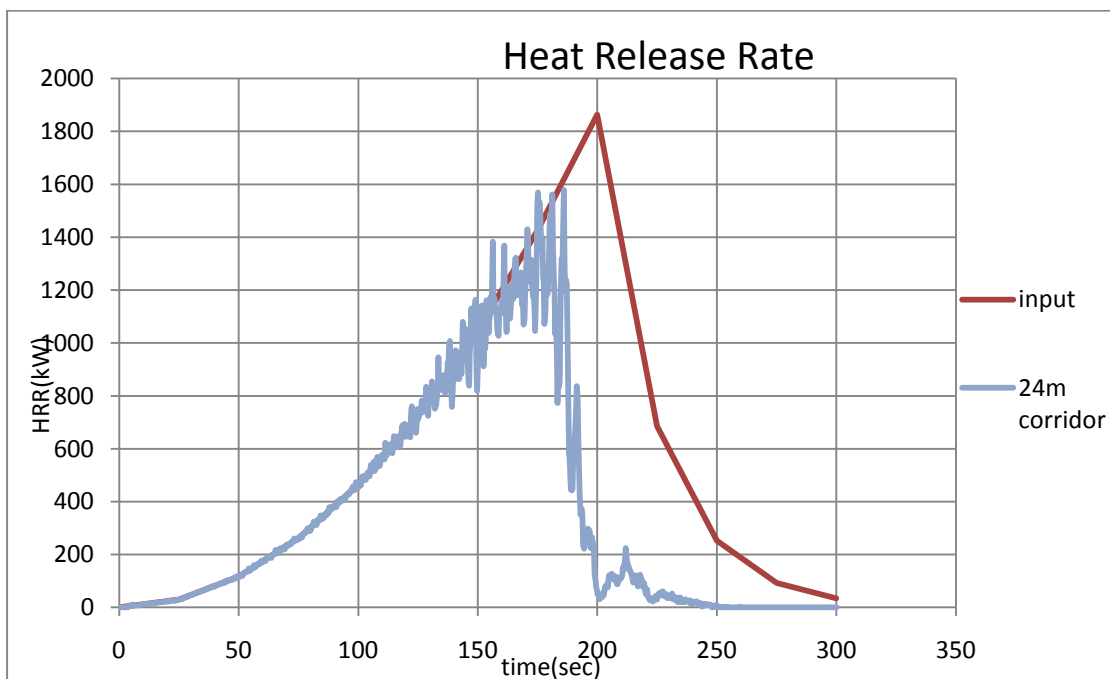
Διάγραμμα 87-Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας όταν το μήκος του διαδρόμου είναι 27μέτρα

Παρατηρώντας το διάγραμμα του Heat Release Rate (διάγραμμα 87), βλέπουμε ότι ο διάδρομος των 27m (εικόνα 19) είναι τόσο μακρύς που δεν επιτρέπει την άπλετη παροχή οξυγόνου στην καμπίνα με την φωτιά. Με αποτέλεσμα η ποσότητα του οξυγόνου να καταναλώνεται αρκετά γρήγορα και η φωτιά να εξασθενεί σχεδόν αμέσως. Κάτι τέτοιο δεν είναι αποδεκτό για την σωστή παρατήρηση των αποτελεσμάτων μας.

- Συνολικό μήκος διαδρόμου 24 μέτρα



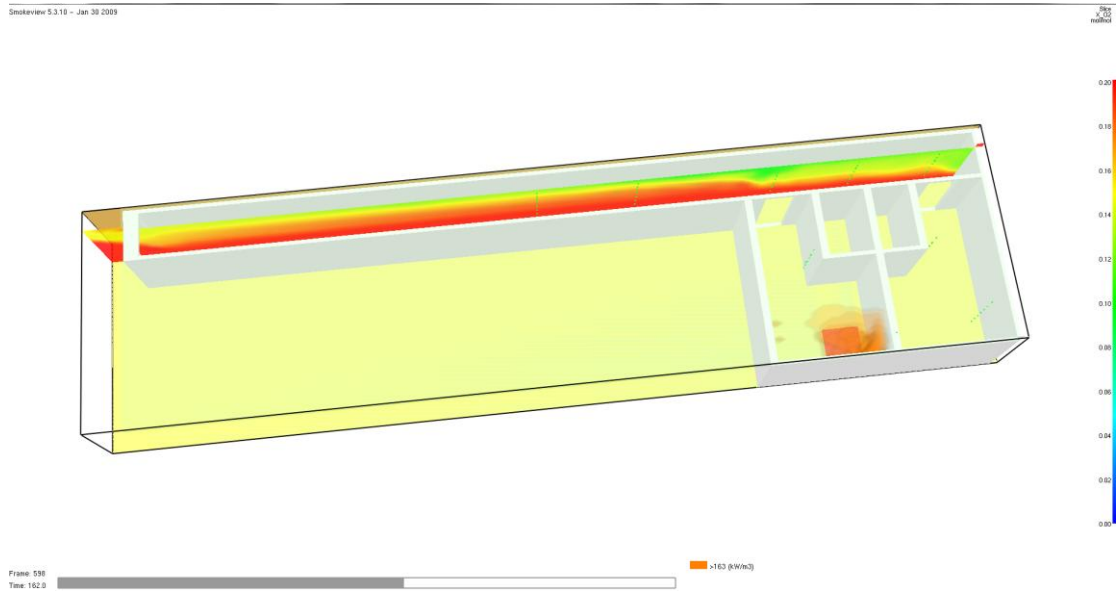
Εικόνα 20-Η εξεταζόμενη γεωμετρία με διάδρομο 24μέτρων



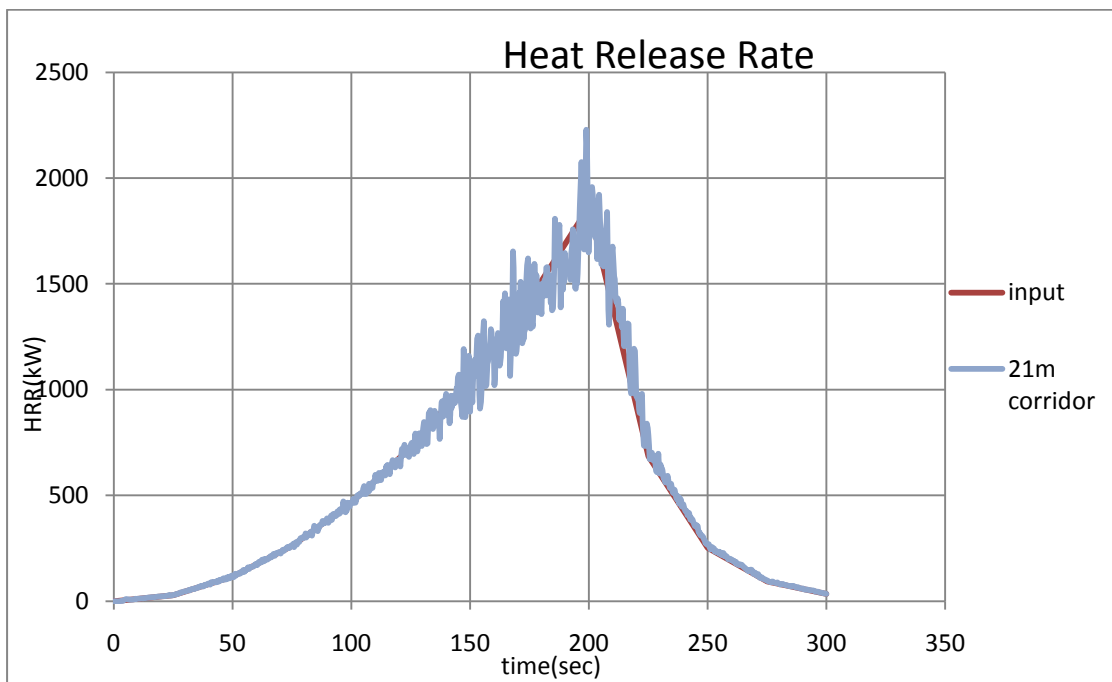
Διάγραμμα 88–Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας όταν το μήκος του διαδρόμου είναι 24μέτρα

Το ίδιο φαινόμενο, με διάδρομο 27m , παρατηρείται και σε συνολικό διάδρομο 24m (διάγραμμα 88). Το μήκος του διαδρόμου παραμένει τόσο μακρύς ώστε καθιστά αδύνατη την παροχή του οξυγόνου (εικόνα 20).

- Συνολικό μήκος διαδρόμου 21 μετρα



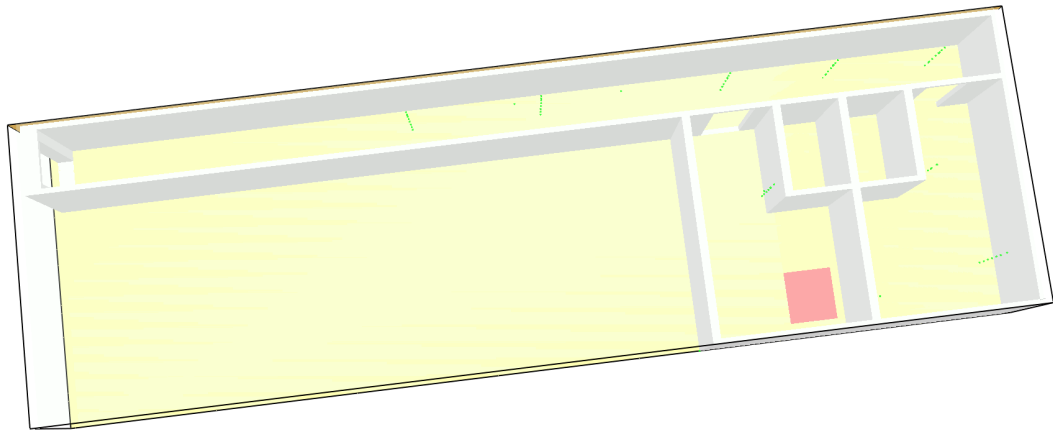
Εικόνα 21- Η εξεταζόμενη γεωμετρία με διάδρομο 21 μέτρων



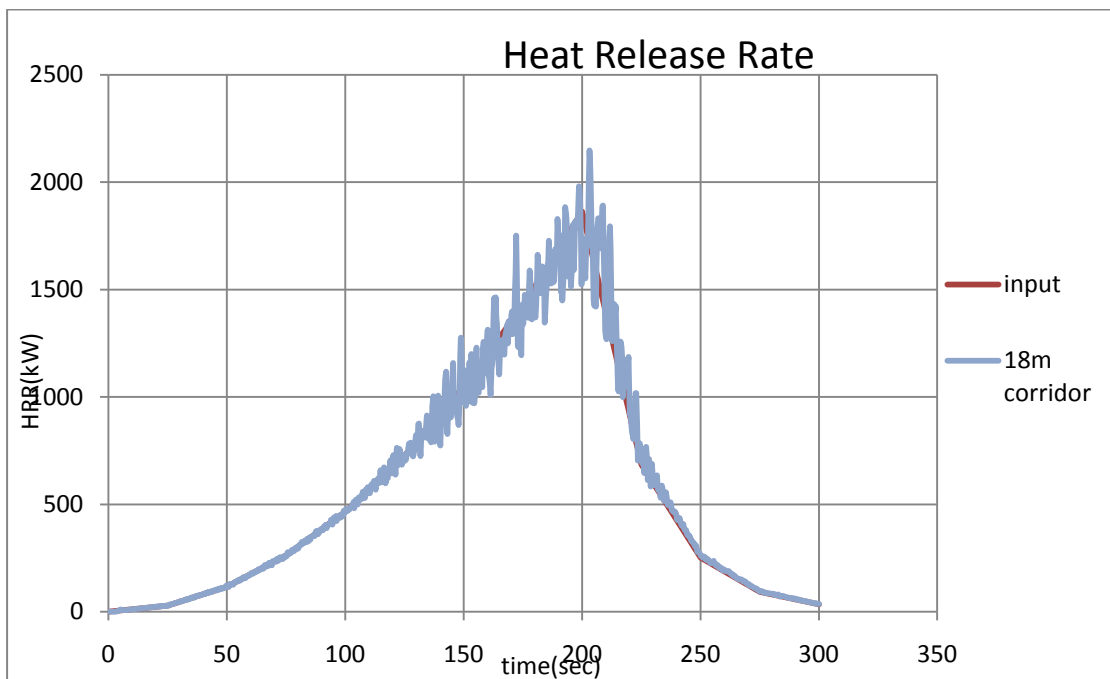
Διάγραμμα 89–Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας όταν το μήκος του διαδρόμου είναι 21μέτρα

Για διάδρομο 21 m (εικόνα 21), παρατηρούμε ότι η παροχή του οξυγόνου είναι άπλετη στο διαμέρισμα με την πυρκαγιά με αποτέλεσμα να ολοκληρώνονται όλες οι φάσεις της διδόμενης φωτιάς και μάλιστα οι δύο καμπύλες HRR (input και output) να συμπίπτουν (διάγραμμα 89).

- Συνολικό Μήκος διαδρόμου 18 μέτρα

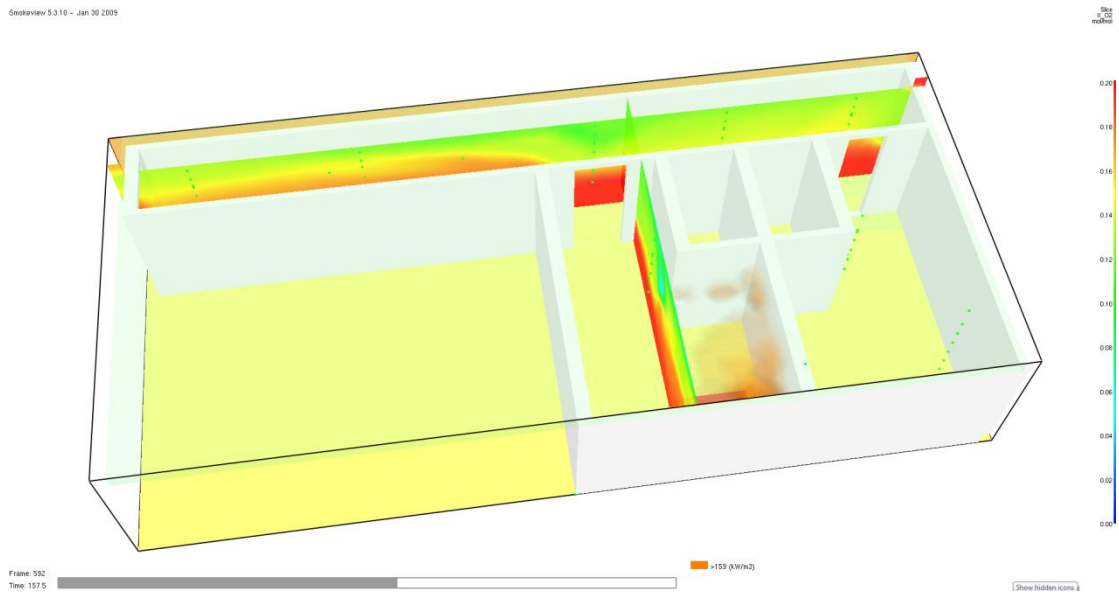


Εικόνα 22-Η εξεταζόμενη γεωμετρία με διάδρομο 18 μέτρων

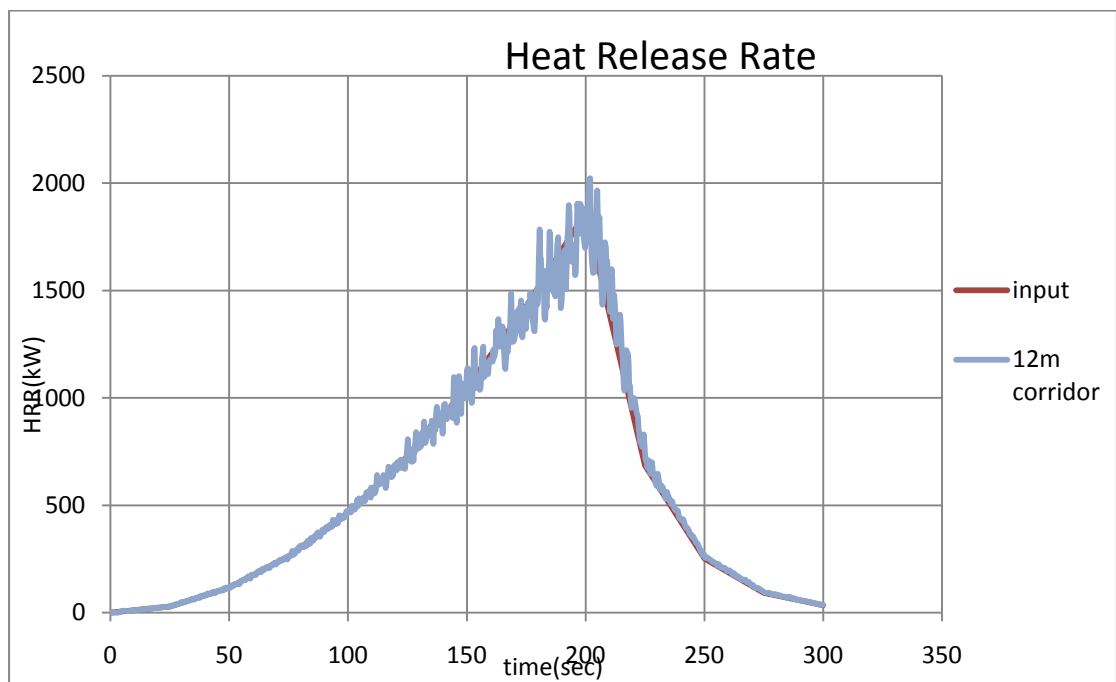


Διάγραμμα 90-Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας όταν το μήκος του διαδρόμου είναι 18μέτρα

- Συνολικό μήκος διαδρόμου 12 μέτρα



Εικόνα 23-Η εξεταζόμενη γεωμετρία με διάδρομο 12 μέτρων

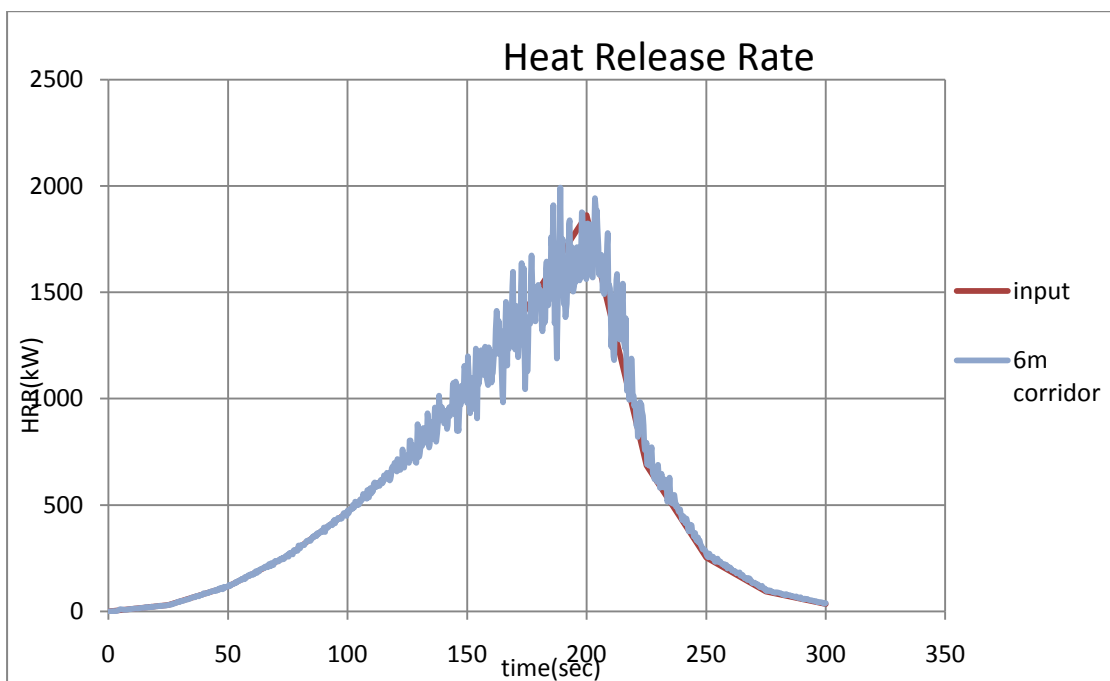


Διάγραμμα 91-Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας όταν το μήκος του διαδρόμου είναι 12μέτρα

- Συνολικό Μήκος διαδρόμου 6 μέτρα



Εικόνα 24-Η εξεταζόμενη γεωμετρία με διάδρομο 6 μέτρων



Διάγραμμα 92-Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας όταν το μήκος του διαδρόμου είναι 6 μέτρα

Τελικό Συμπέρασμα: Για συνολικό μήκος διαδρόμου έως 21m η συμπεριφορά της φωτιάς σε κάθε φάση της παραμένει ίδια με την δεδομένη φωτιά (οι δύο καμπύλες συμπίπτουν πλήρως). Ενώ όταν το μήκος του διαδρόμου γίνεται μεγαλύτερο από 21m (στα συγκεκριμένα παραδείγματα 24m και 27m) η παροχή οξυγόνου στην καμπίνα με την φωτιά γίνεται αδύνατη με αποτέλεσμα να μην ολοκληρώνεται όλη η πορεία ζωής της πυρκαγιάς.

A.3. Συμπεράσματα

Τελικά, τα συμπεράσματα που βγάλαμε από αυτή την σειρά εφαρμογών είναι ότι:

- Για να εξασφαλίσουμε από το πρόγραμμα ρεαλιστικά αποτελέσματα πρέπει να αλλάξουμε την θερμοκρασία αναφοράς των υλικών κατασκευής των τοίχων, με σκοπό να αποφύγουμε το φαινόμενο της ανάφλεξης, οπότε και την έκλυση παραπάνω θερμότητας.
- Η παροχή του οξυγόνου, για να πετύχουμε τον στόχο που περιγράψαμε παραπάνω, πρέπει να είναι άπλετη. Αυτό γιατί το οξυγόνο που βρίσκεται στην εξεταζόμενη γεωμετρία καταναλώνεται πολύ γρήγορα με αποτέλεσμα να εξασθενεί γρήγορα η φωτιά.
- Τέλος, όσο αναφορά τον διάδρομο θα χρησιμοποιήσουμε την πιο απλή γεωμετρία (διάδρομος 6 μέτρα), με σκοπό να μην επιβαρύνουμε το πρόγραμμα παραπάνω.

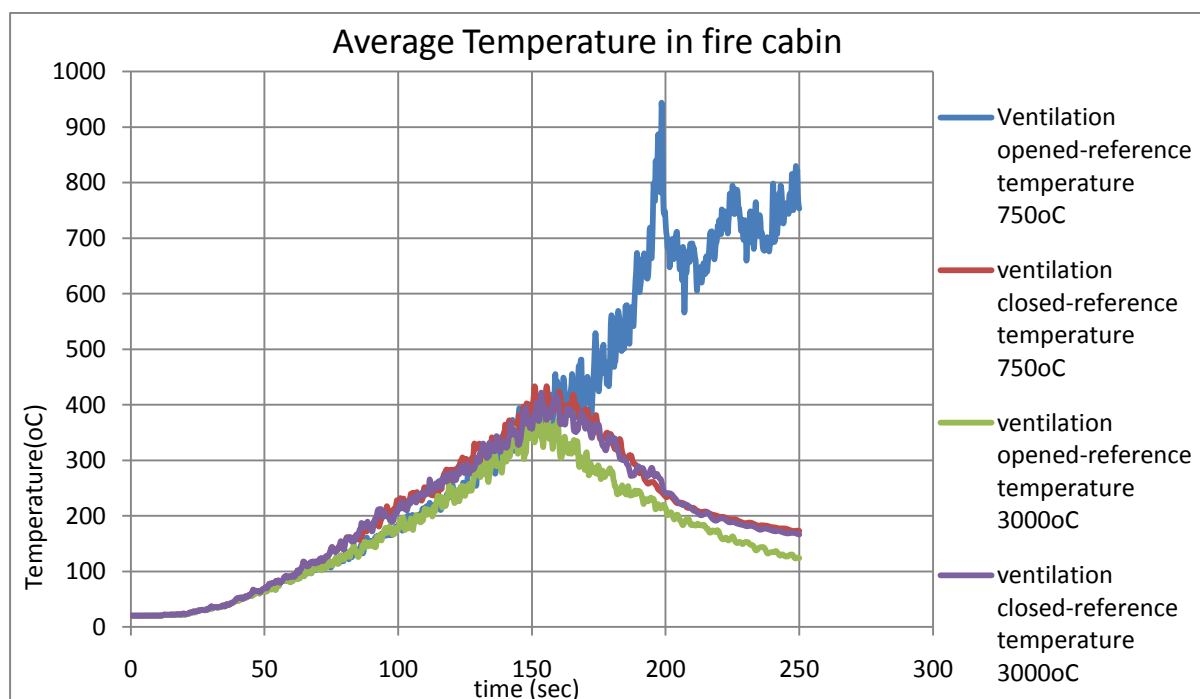
Παράρτημα Β

Διαγράμματα των αρχικών εφαρμογών που περιγράφηκαν στο παράρτημα Α

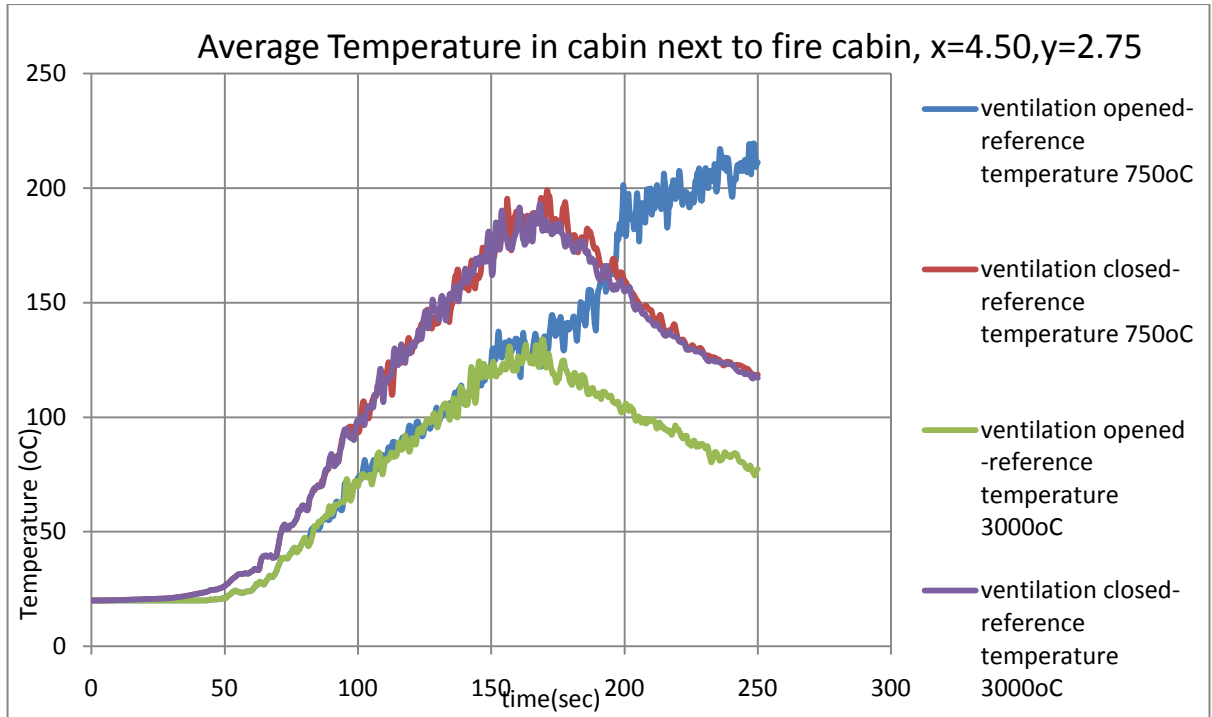
B.1 Εισαγωγή

Στο χωρίο αυτό θα παρατεθούν διαγράμματα θερμοκρασιών -χρόνου και συγκέντρωσης οξυγόνου-χρόνου για τις δυο βασικές εφαρμογές (μέγιστη τιμή έκλυσης ενέργειας 1050 kW και 1864 kW) που περιγράφηκαν στον Παράρτημα Α.1.

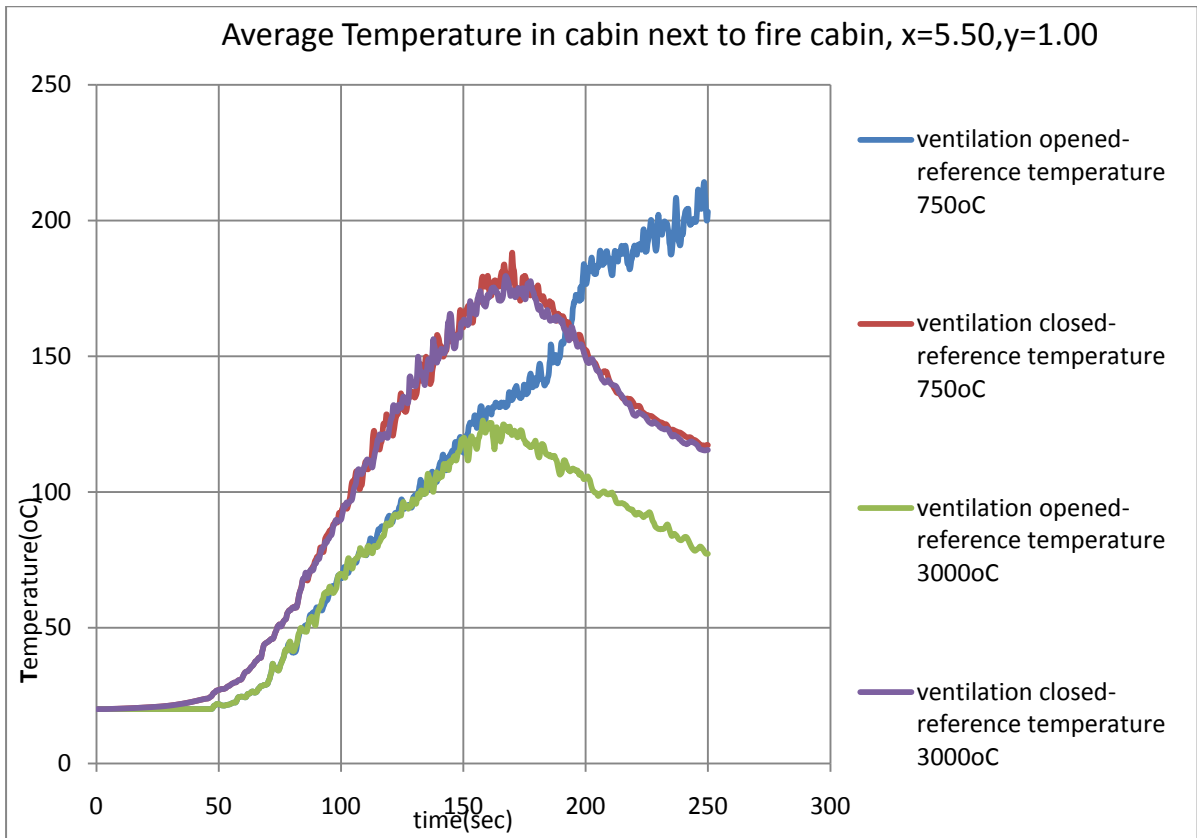
B.2 Maximum Heat Release Rate 1050 kW



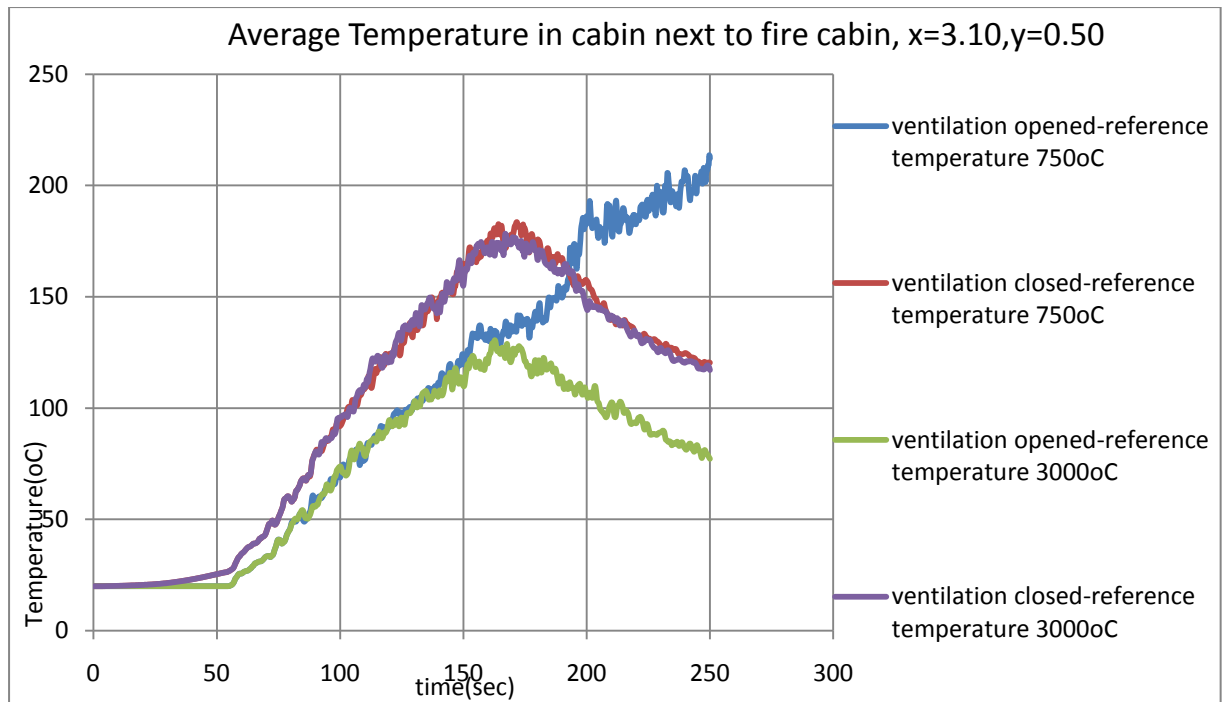
Διάγραμμα 93 –Μέση θερμοκρασία στην καμπίνα που λαμβάνει χώρα η φωτιά, με HRRmax=1050kW



Διάγραμμα 94 –Μέση θερμοκρασία στην δυτική καμπίνα για $x=4.50, y=2.75$, με $HRR_{max}=1050kW$

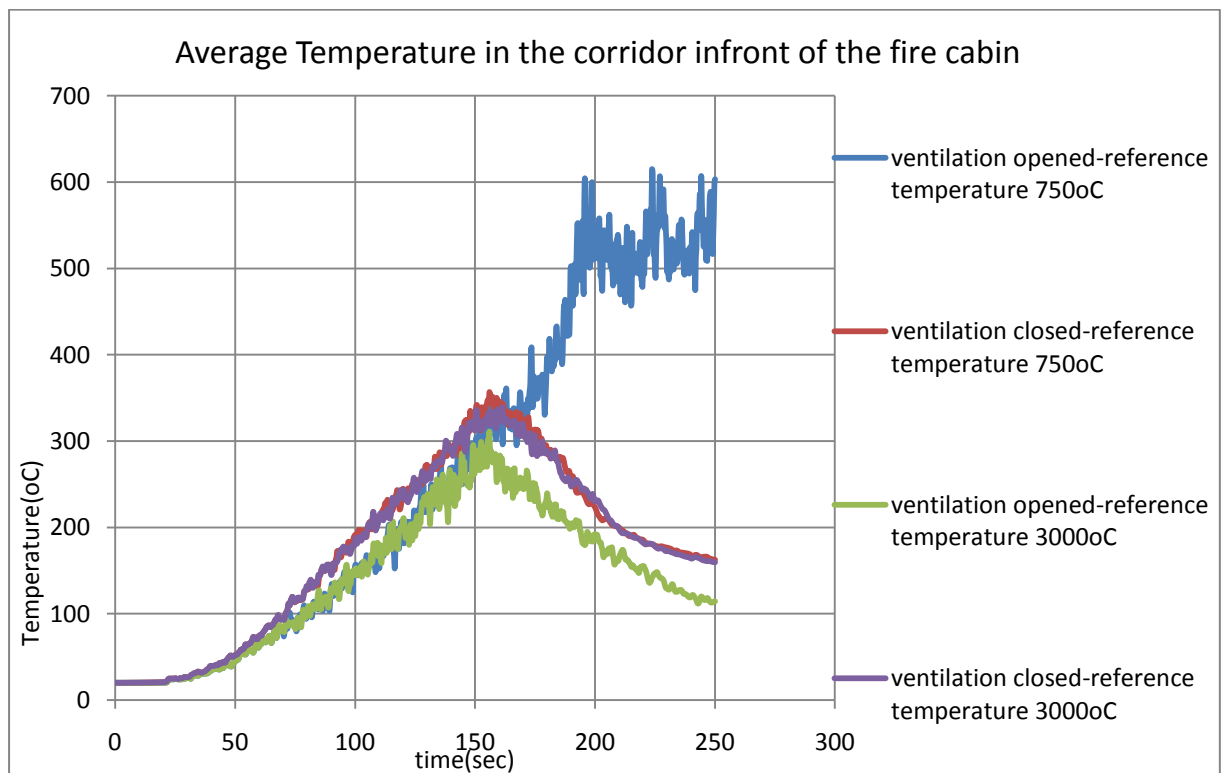


Διάγραμμα 95 –Μέση θερμοκρασία στην δυτική καμπίνα για $x=5.50, y=1.00$, με $HRR_{max}=1050kW$



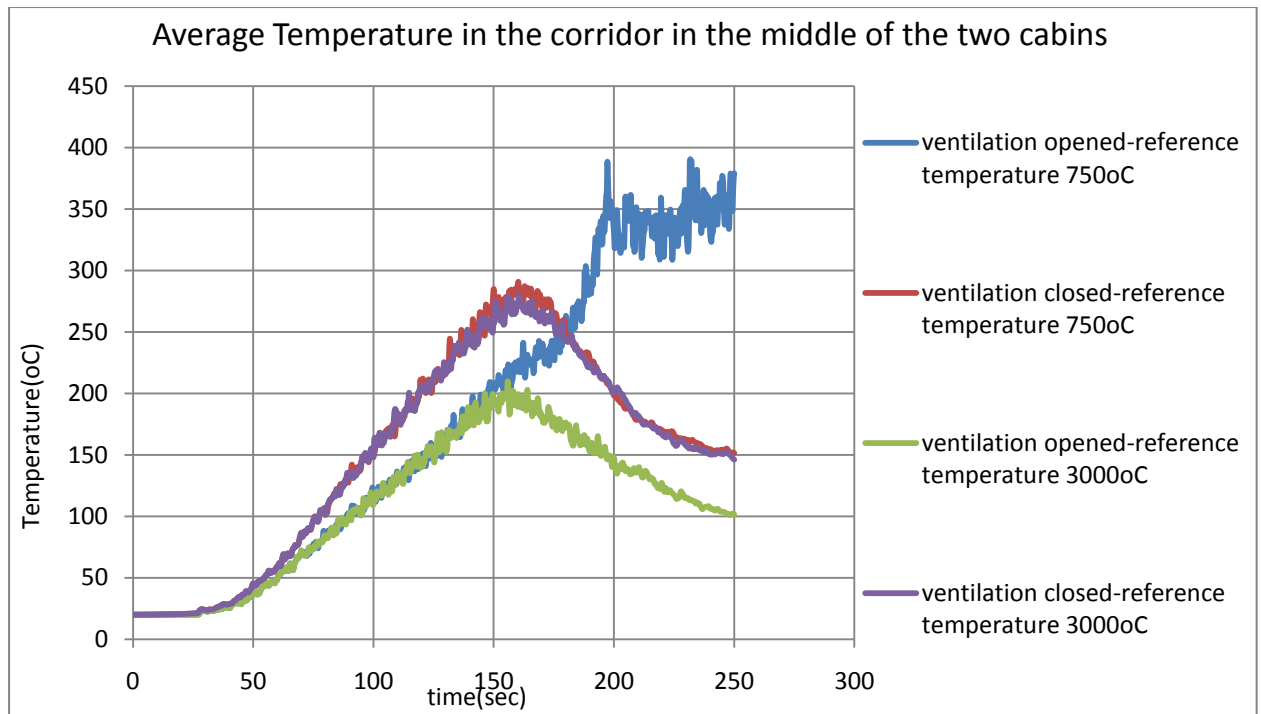
Διάγραμμα 96 – Μέση θερμοκρασία στον διάδρομο μπροστά από την καμπίνα που λαμβάνει χώρα η φωτιά, με

HRRmax=1050kW

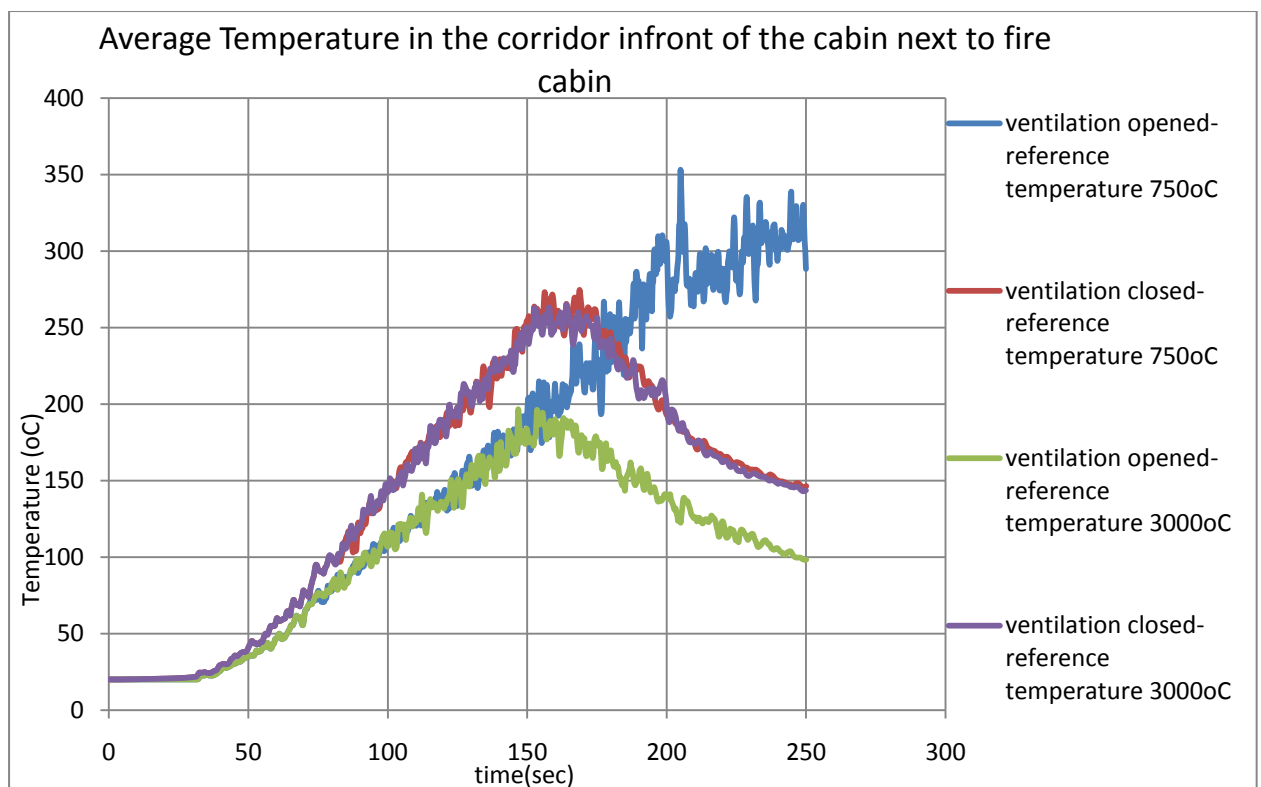


Διάγραμμα 97 – Μέση θερμοκρασία στον διάδρομο μπροστά από την καμπίνα που λαμβάνει χώρα η φωτιά, με

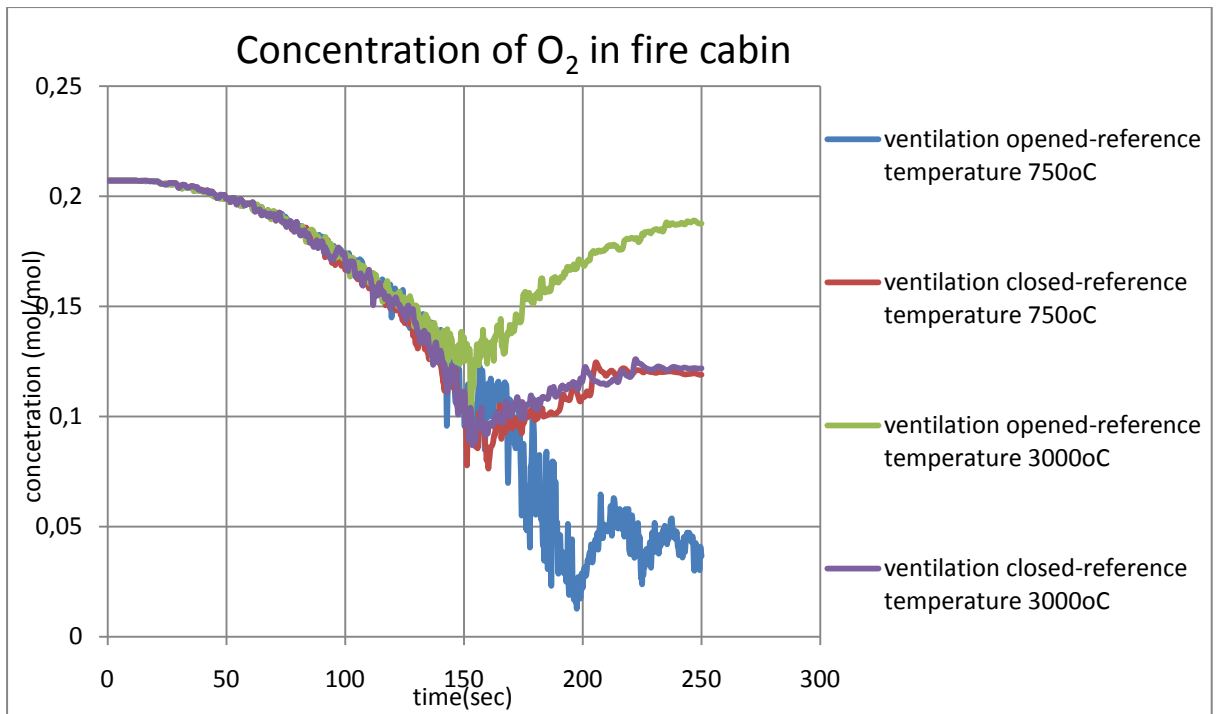
HRRmax=1050kW



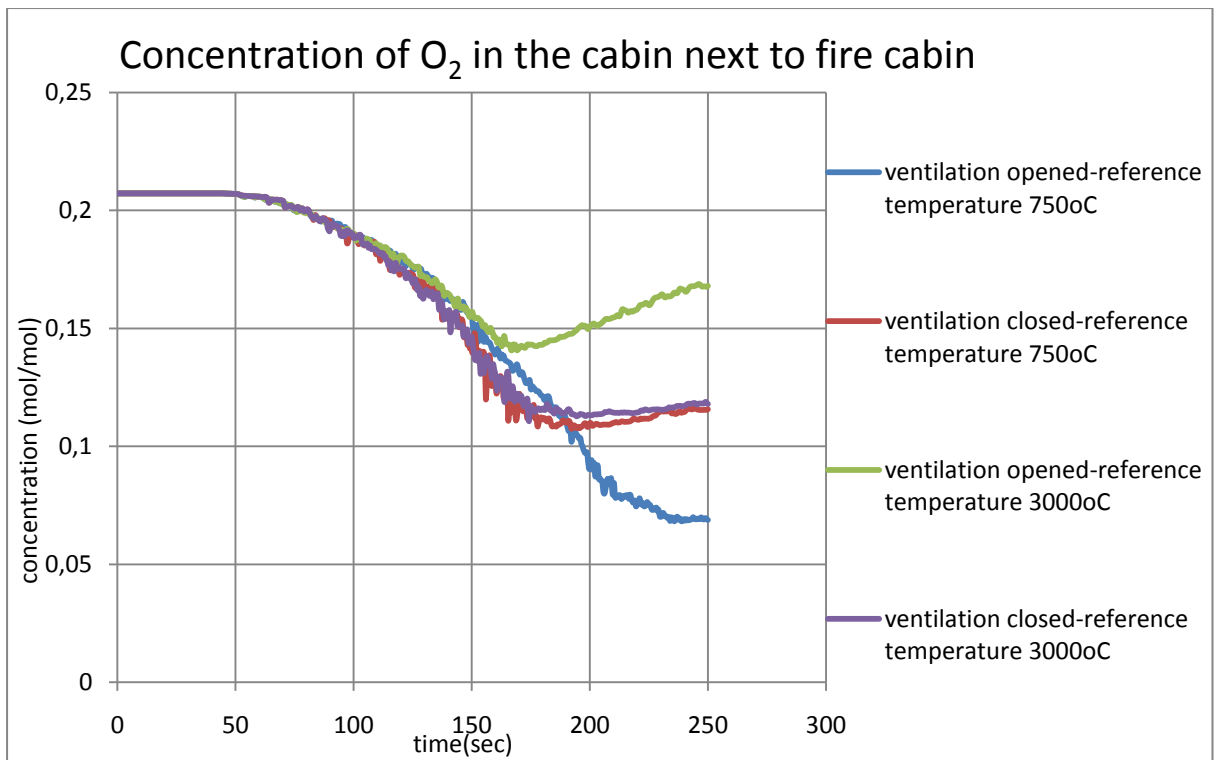
Διάγραμμα 98– Μέση θερμοκρασία στον διάδρομο στην μέση της απόστασης των δυο καμπινών, με HRRmax=1050kW



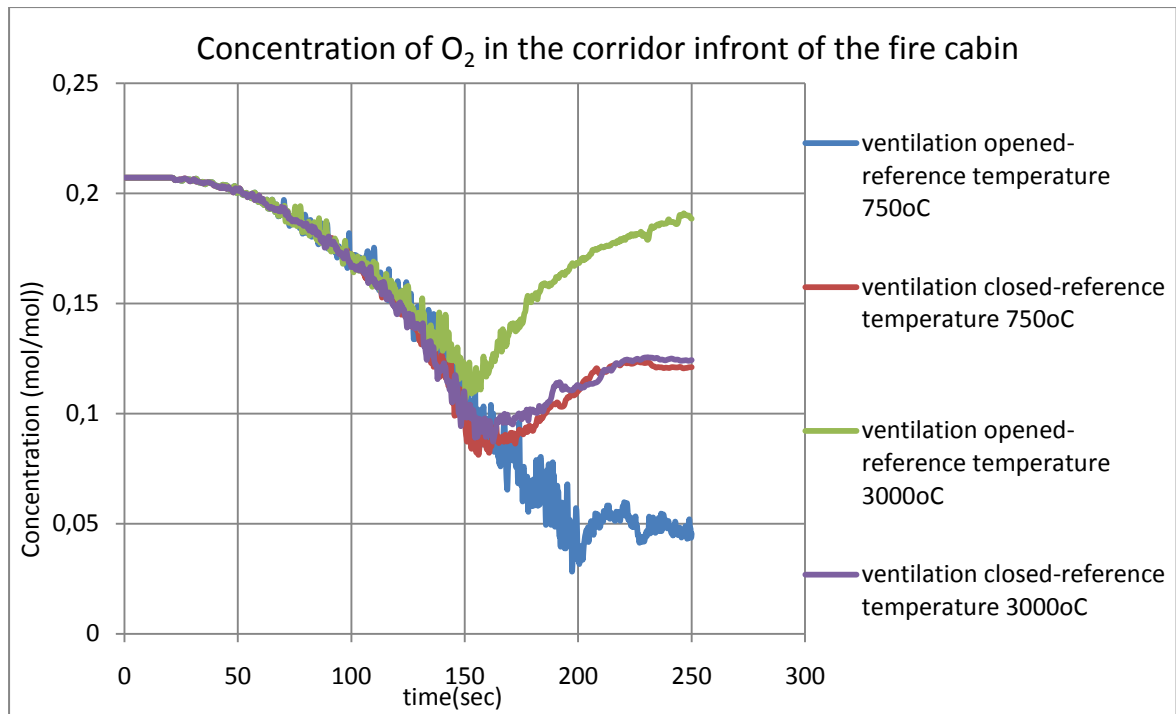
Διάγραμμα 99 – Μέση θερμοκρασία στον διάδρομο μπροστά από την διπλανή καμπίνα, με HRRmax=1050kW



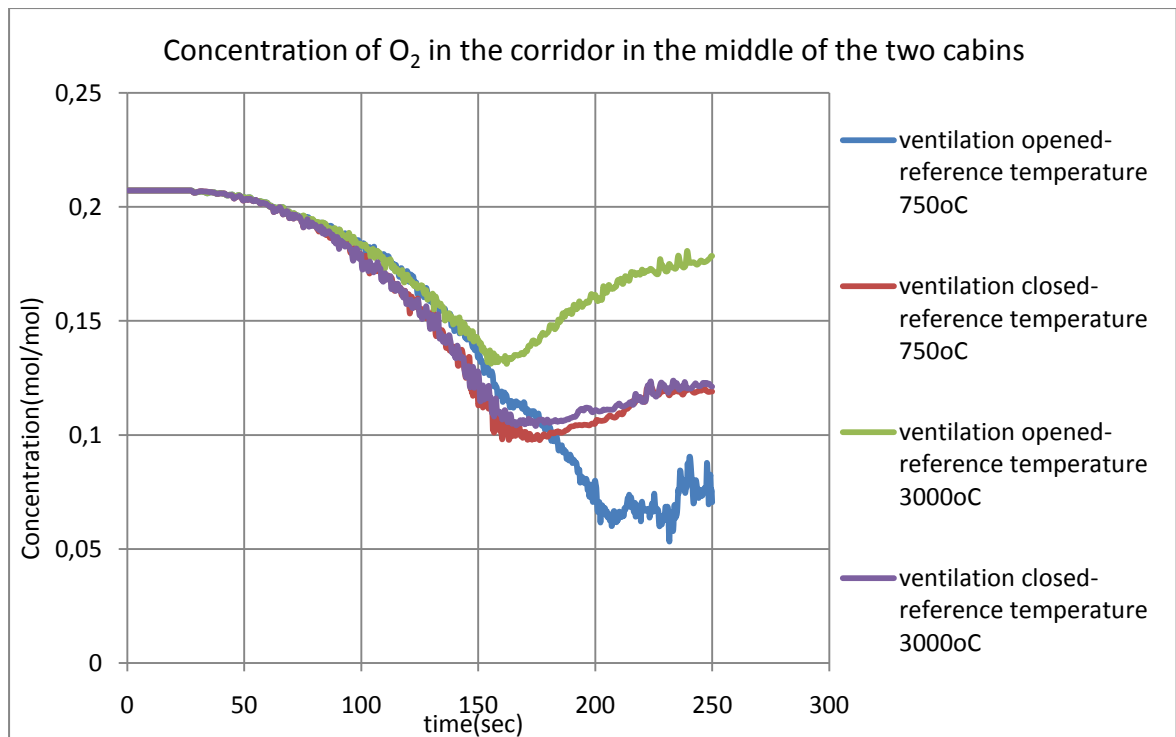
Διάγραμμα 100– Συγκέντρωση οξυγόνου στην καμπίνα με την φωτιά , με HRRmax=1050kW



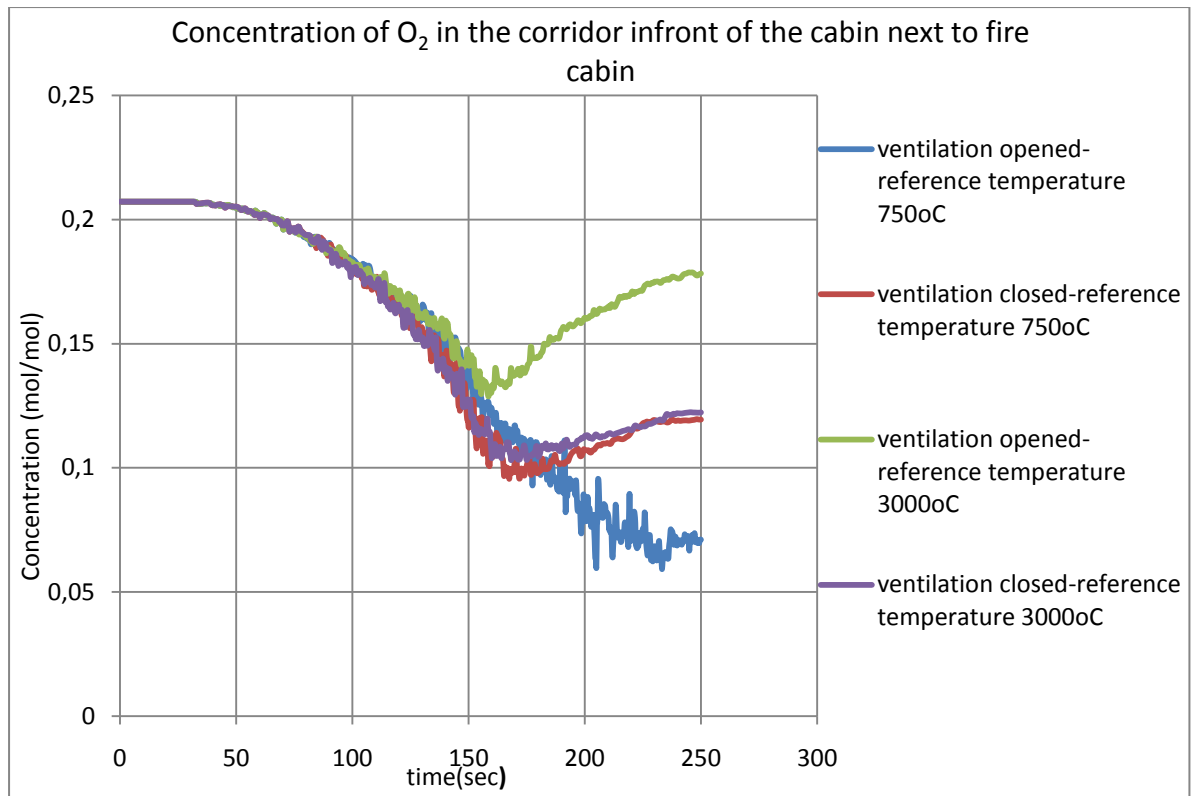
Διάγραμμα 101– Συγκέντρωση οξυγόνου στην διπλανή καμπίνα, με HRRmax=1050kW



Διάγραμμα 102– Συγκέντρωση οξυγόνου στον διάδρομο μπροστά από την καμπίνα με την φωτιά, με HRRmax=1050kW

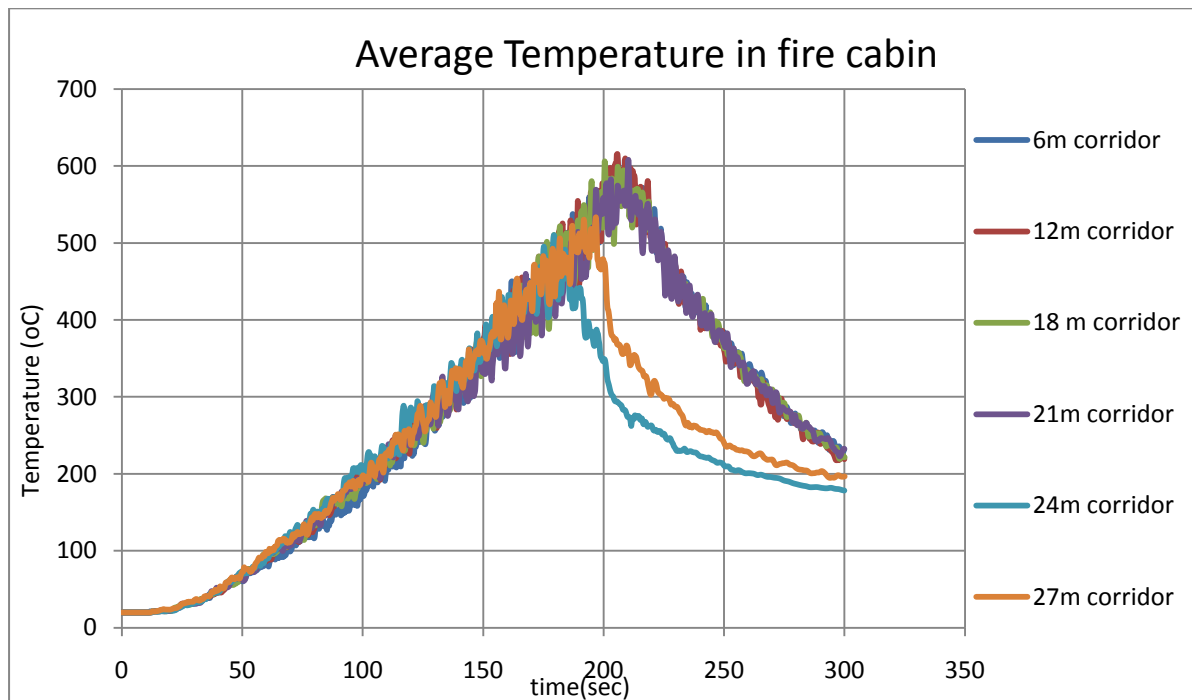


Διάγραμμα 103– Συγκέντρωση οξυγόνου στον διάδρομο στην μέση της απόστασης των δύο καμπινών, με HRRmax=1050kW

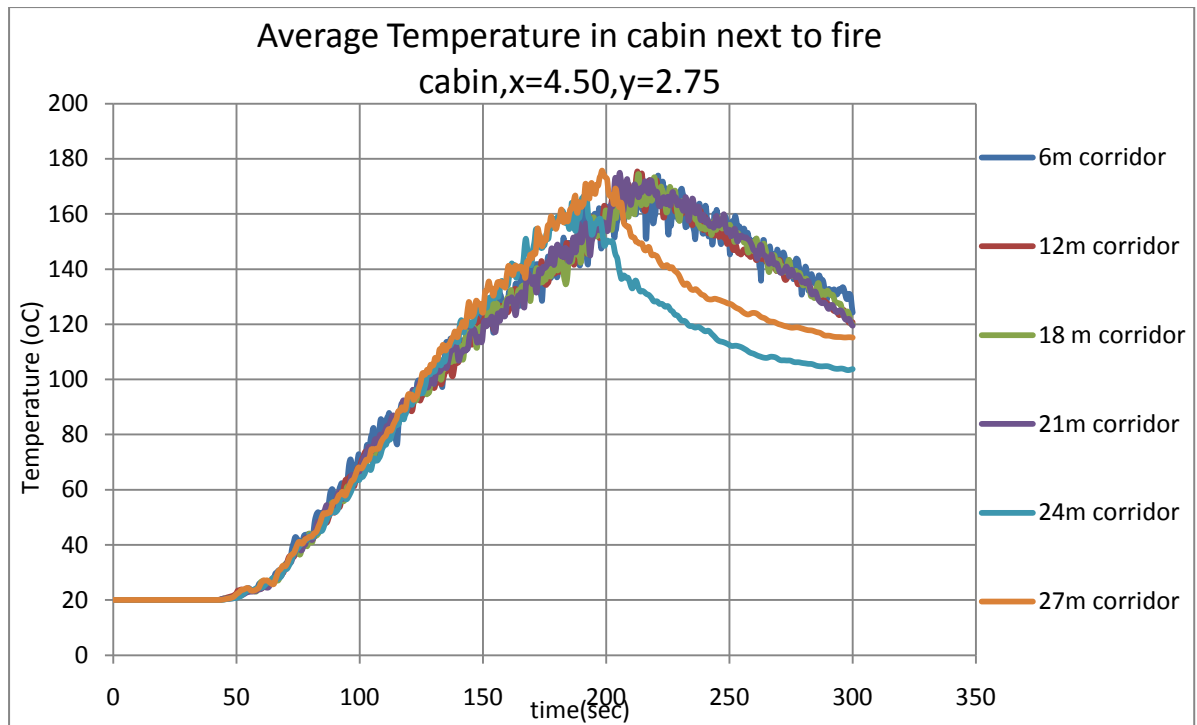


Διάγραμμα 104– Συγκέντρωση οξυγόνου στον διάδρομο μπροστά από την διπλανή καμπίνα, με HRR_{max}=1050kW

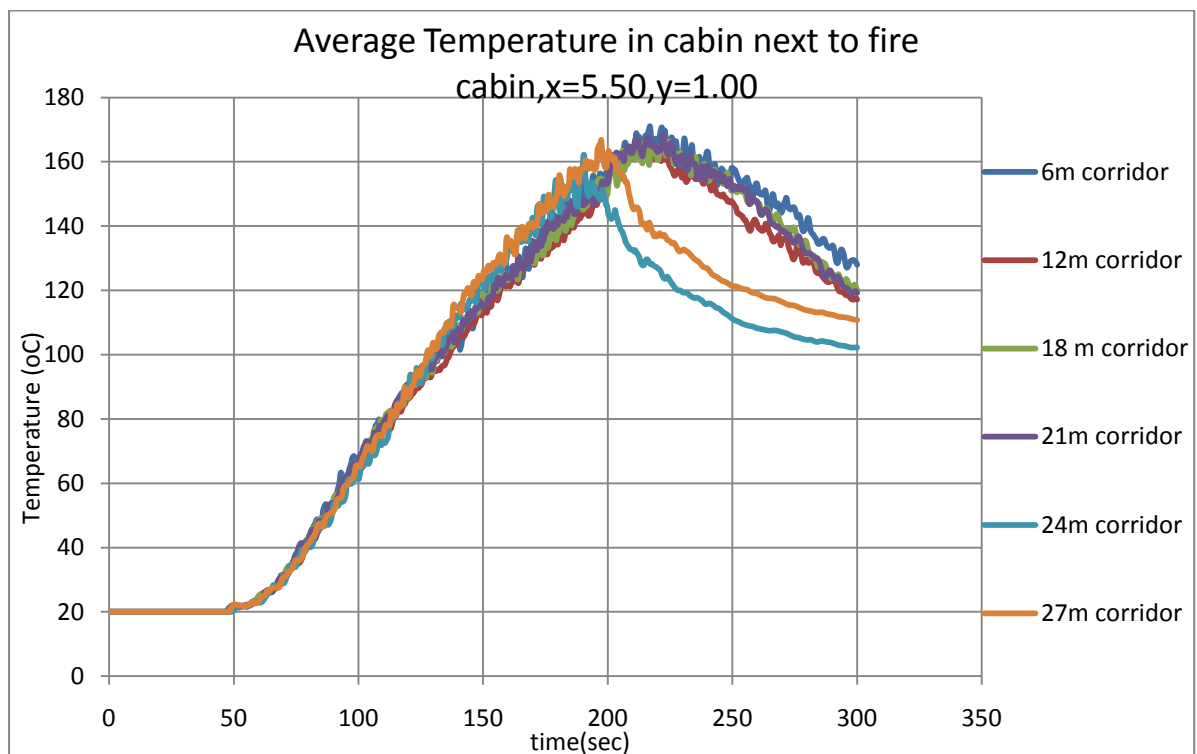
B.3 Maximum Heat Release Rate 1864 kW



Διάγραμμα 105 –Μέση θερμοκρασία στην καμπίνα που λαμβάνει χώρα η φωτιά, με HRR_{max}=1864kW



Διάγραμμα 106 –Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα για x=4.50,y=2.75, με HRRmax=1050kW



Διάγραμμα 107 –Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα για x=5.50,y=1.00, με HRRmax=1050kW

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1 -Γενική μορφή διαγράμματος ανάπτυξης της φωτιάς	σελ.14
Διάγραμμα 2 -Καμπύλη πρότυπης δοκιμής φωτιάς	σελ.19
Διάγραμμα 3-Η γραφική αναπαράσταση των τριών σεναρίων φωτιάς	σελ.50
Διάγραμμα 4-Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας για fuel load density 10kg/m ²	σελ.52
Διάγραμμα 5-Μέσες Θερμοκρασίες στις δύο καμπίνες για fuel load density 10kg/m ²	σελ.52
Διάγραμμα 6-Μέσες Θερμοκρασίες στο διάδρομο για fuel load density 10kg/m ²	σελ.53
Διάγραμμα 7-Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας για fuel load density 25kg/m ²	σελ.53
Διάγραμμα 8-Μέσες Θερμοκρασίες στις δύο καμπίνες για fuel load density 25kg/m ²	σελ.54
Διάγραμμα 9-Μέσες Θερμοκρασίες στο διάδρομο για fuel load density 25kg/m ²	σελ.54
Διάγραμμα 10-Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας για fuel load density 35kg/m ²	σελ.55
Διάγραμμα 11-Μέσες Θερμοκρασίες στις δύο καμπίνες για fuel load density 25kg/m ²	σελ.55
Διάγραμμα 12-Μέσες Θερμοκρασίες στο διάδρομο για fuel load density 25kg/m ²	σελ.56
Διάγραμμα 13-Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας για fuel load densities 10,25,35kg/m ²	σελ.57
Διάγραμμα 14-Μέση θερμοκρασία στην καμπίνα με την φωτιά για fuel load densities 10,25,35kg/m ²	σελ.58
Διάγραμμα 15-Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα για x=4.50m,y=2.75m για fuel load densities 10,25,35kg/m ²	σελ.58
Διάγραμμα 16-Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα για x=5.50m,y=1.00m για fuel load densities 10,25,35kg/m ²	σελ.59

Διάγραμμα 17–Μέση θερμοκρασία στον διάδρομο μπροστά από την καμπίνα με την φωτιά για fuel load densities 10,25,35kg/m ²σελ.59	σελ.59
Διάγραμμα 18–Μέση θερμοκρασία στον διάδρομο στην μέση της απόστασης των δυο καμπινών για fuel load densities 10,25,35kg/m ²σελ.60	σελ.60
Διάγραμμα 19–Μέση θερμοκρασία στον διάδρομο μπροστά από την διπλανή καμπίνα για fuel load densities 10,25,35kg/m ²σελ.60	σελ.60
Διάγραμμα 20–Συγκέντρωση οξυγόνου στην καμπίνα με την φωτιά για fuel load densities 10,25,35kg/m ²σελ.61	σελ.61
Διάγραμμα 21–Συγκέντρωση οξυγόνου στον διάδρομο μπροστά από την καμπίνα με την φωτιά για fuel load densities 10,25,35kg/m ²σελ.61	σελ.61
Διάγραμμα 22–Συγκέντρωση οξυγόνου στον διάδρομο στην μέση της απόστασης των δύο καμπινών για fuel load densities 10,25,35kg/m ²σελ.62	σελ.62
Διάγραμμα 23–Συγκέντρωση οξυγόνου στον διάδρομο μπροστά από την διπλανή καμπίνα για fuel load densities 10,25,35kg/m ²σελ.62	σελ.62
Διάγραμμα 24–Συγκέντρωση οξυγόνου στην διπλανή καμπίνα για fuel load densities 10,25,35kg/m ²σελ.63	σελ.63
Διάγραμμα 25 –Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας για fuel load density 25kg/m ²σελ.66	σελ.66
Διάγραμμα 26 –Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα με ανοικτή την πόρτα, για διάφορα πάχη μόνωσης.σελ.67	σελ.67
Διάγραμμα 27–Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα με κλειστή την πόρτα, για 1.0cm πάχος μόνωσηςσελ.68	σελ.68
Διάγραμμα 28–Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα με κλειστή την πόρτα, για 2.5 cm πάχος μόνωσηςσελ.68	σελ.68
Διάγραμμα 29–Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα με κλειστή την πόρτα, για 5.0 cm πάχος μόνωσηςσελ.69	σελ.69
Διάγραμμα 30–Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα με κλειστή την πόρτα, για 5.5 cm πάχος μόνωσηςσελ.69	σελ.69
Διάγραμμα 31–Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα με κλειστή την πόρτα, για 6.5 cm πάχος μόνωσηςσελ.70	σελ.70
Διάγραμμα 32 –Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα με κλειστή την πόρτα για $\chi=3,10m$, για διάφορα πάχη μόνωσηςσελ.70	σελ.70

Διάγραμμα 33 –Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα με κλειστή την πόρτα για $x=4,10m$, για διάφορα πάχη μόνωσης	σελ.71
Διάγραμμα 34–Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα με κλειστή την πόρτα για $x=5.10m$, για διάφορα πάχη μόνωσης	σελ.71
Διάγραμμα 35–Μέση θερμοκρασία στα 1400 δευτερόλεπτα στην διπλανή καμπίνα με κλειστή την πόρτα για $x=310m$, για διάφορα πάχη μόνωσης	σελ.73
Διάγραμμα 36–Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας για fuel load density $25kg/m^2$	σελ.74
Διάγραμμα 37–Μέση θερμοκρασία στην καμπίνα με την φωτιά για κλειστή και ανοικτή την πόρτα της διπλανής καμπίνας	σελ.76
Διάγραμμα 38–Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα για $x=4.50m,y=2.75m$ για κλειστή και ανοικτή την πόρτα της διπλανής καμπίνας	σελ.76
Διάγραμμα 39–Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα για $x=5.50m,y=1.00m$ για κλειστή και ανοικτή την πόρτα της διπλανής καμπίνας	σελ.77
Διάγραμμα 40–Μέση θερμοκρασία στον διάδρομο μπροστά στην καμπίνα με την φωτιά για κλειστή και ανοικτή την πόρτα της διπλανής καμπίνας	σελ.77
Διάγραμμα 41–Μέση θερμοκρασία στον διάδρομο στην μέση απόσταση των δυο καμπινών για κλειστή και ανοικτή την πόρτα της διπλανής καμπίνας	σελ.78
Διάγραμμα 42–Μέση θερμοκρασία στον διάδρομο μπροστά από την διπλανή καμπίνα για κλειστή και ανοικτή την πόρτα της διπλανής καμπίνας	σελ.78
Διάγραμμα 43–Συγκέντρωση οξυγόνου στην καμπίνα με την φωτιά για κλειστή και ανοικτή την πόρτα	σελ.79
Διάγραμμα 44–Συγκέντρωση οξυγόνου στον διάδρομο μπροστά από την καμπίνα με την φωτιά για κλειστή και ανοικτή την πόρτα	σελ.79
Διάγραμμα 45–Συγκέντρωση οξυγόνου στον διάδρομο στην μέση απόσταση των δυο καμπινών για κλειστή και ανοικτή την πόρτα	σελ.80
Διάγραμμα 46–Συγκέντρωση οξυγόνου στον διάδρομο μπροστά από την διπλανή καμπίνα για κλειστή και ανοικτή την πόρτα	σελ.80
Διάγραμμα 47–Συγκέντρωση οξυγόνου στην διπλανή καμπίνα για κλειστή και ανοικτή την πόρτα	σελ.81
Διάγραμμα 48 – Παρουσίαση Συμπτωμάτων από εισπνοή μονοξειδίου του άνθρακα. (πηγή: www.engineeringtoolbox.com)	σελ.85
Διάγραμμα 49 - Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας στο κατάστρωμα ενδιαίτησης	σελ.91

Διάγραμμα 50 – Μέση θερμοκρασία στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $\chi=2\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος	σελ.92
Διάγραμμα 51 – Μέση θερμοκρασία στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $\chi=10\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος	σελ.92
Διάγραμμα 52– Μέση θερμοκρασία στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $\chi=18\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος	σελ.93
Διάγραμμα 53– Μέση θερμοκρασία στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $\chi=26\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος	σελ.93
Διάγραμμα 54– Μέση θερμοκρασία στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $\chi=34\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος	σελ.94
Διάγραμμα 55– Συγκέντρωση οξυγόνου στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $\chi=2\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος	σελ.95
Διάγραμμα 56– Συγκέντρωση οξυγόνου στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $\chi=10\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος	σελ.95
Διάγραμμα 57– Συγκέντρωση οξυγόνου στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $\chi=18\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος	σελ.96
Διάγραμμα 58– Συγκέντρωση οξυγόνου στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $\chi=26\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος	σελ.96
Διάγραμμα 59– Συγκέντρωση οξυγόνου στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $\chi=34\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος	σελ.97
Διάγραμμα 60– Συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $\chi=2\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος	σελ.98
Διάγραμμα 61– Συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $\chi=10\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος	σελ.98
Διάγραμμα 62– Συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $\chi=18\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος	σελ.99
Διάγραμμα 63- Συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $\chi=26\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος	σελ.99
Διάγραμμα 64– Συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $\chi=34\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος	σελ.100
Διάγραμμα 65– Συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $\chi=2\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος	σελ.101
Διάγραμμα 66– Συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $\chi=10\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος	σελ.101
Διάγραμμα 67– Συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στο κατάστρωμα ενδιαίτησης για $\chi=18\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος	σελ.102
Διάγραμμα 68– Συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $\chi=26\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος	σελ.102

Διάγραμμα 69– Συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $\chi=34\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος	σελ.103
Διάγραμμα 70– Οπτική πυκνότητα στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $\chi=2\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος	σελ.104
Διάγραμμα 71– Οπτική πυκνότητα στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $\chi=10\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος	σελ.104
Διάγραμμα 72– Οπτική πυκνότητα στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $\chi=18\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος	σελ.105
Διάγραμμα 73– Οπτική πυκνότητα στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $\chi=26\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος	σελ.105
Διάγραμμα 74– Οπτική πυκνότητα στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $\chi=34\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος	σελ.106
Διάγραμμα 75– Θερμότητα ροής αερίων λόγω ακτινοβολίας στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $\chi=2\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος	σελ.107
Διάγραμμα 76– Θερμότητα ροής αερίων λόγω ακτινοβολίας στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $\chi=10\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος	σελ.107
Διάγραμμα 77– Θερμότητα ροής αερίων λόγω ακτινοβολίας στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $\chi=18\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος	σελ.108
Διάγραμμα 78– Θερμότητα ροής αερίων λόγω ακτινοβολίας στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $\chi=26\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος	σελ.108
Διάγραμμα 79– Θερμότητα ροής αερίων λόγω ακτινοβολίας στο κατάστρωμα ενδιαίτησης, για $\chi=34\text{m}$ από την αρχή του καταστρώματος	σελ.109
Διάγραμμα 80–Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας με μέγιστη τιμή 1050 kW	σελ.121
Διάγραμμα 81–Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας με μέγιστη τιμή 1050 kW, με τον εξαερισμό κλειστό	σελ.122
Διάγραμμα 82–Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας με μέγιστη τιμή 1050 kW, με υψηλή την τιμή της θερμοκρασίας ανάφλεξης	σελ.123
Διάγραμμα 83–Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας με μέγιστη τιμή 1050 kW, με υψηλή την τιμή της θερμοκρασίας ανάφλεξης και κλειστό τον εξαερισμό	σελ.124
Διάγραμμα 84–Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας με μέγιστη τιμή 1864 kW	σελ.125
Διάγραμμα 85–Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας με μέγιστη τιμή 1262 kW	σελ.125
Διάγραμμα 86–Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας με μέγιστη τιμή 905 kW	σελ.126

Διάγραμμα 87–Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας όταν το μήκος του διαδρόμου είναι 27μέτρα	σελ.127
Διάγραμμα 88–Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας όταν το μήκος του διαδρόμου είναι 24μέτρα	σελ.128
Διάγραμμα 89–Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας όταν το μήκος του διαδρόμου είναι 21μέτρα	σελ.129
Διάγραμμα 90–Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας όταν το μήκος του διαδρόμου είναι 18μέτρα	σελ.130
Διάγραμμα 91–Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας όταν το μήκος του διαδρόμου είναι 12μέτρα	σελ.131
Διάγραμμα 92–Ρυθμός έκλυσης της θερμότητας όταν το μήκος του διαδρόμου είναι 6 μέτρα	σελ.132
Διάγραμμα 93 –Μέση θερμοκρασία στην καμπίνα που λαμβάνει χώρα η φωτιά, με $HRR_{max}=1050kW$	σελ.135
Διάγραμμα 94 –Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα για $x=4.50,y=2.75$, με $HRR_{max}=1050kW$	σελ.136
Διάγραμμα 95 –Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα για $x=5.50,y=1.00$, με $HRR_{max}=1050kW$	σελ.136
Διάγραμμα 96 –Μέση θερμοκρασία στον διάδρομο μπροστά από την καμπίνα που λαμβάνει χώρα η φωτιά, με $HRR_{max}=1050kW$	σελ.137
Διάγραμμα 97 –Μέση θερμοκρασία στον διάδρομο μπροστά από την καμπίνα που λαμβάνει χώρα η φωτιά, με $HRR_{max}=1050kW$	σελ.137
Διάγραμμα 98– Μέση θερμοκρασία στον διάδρομο στην μέση της απόστασης των δυο καμπινών, με $HRR_{max}=1050kW$	σελ.138
Διάγραμμα 99 – Μέση θερμοκρασία στον διάδρομο μπροστά από την διπλανή καμπίνα, με $HRR_{max}=1050kW$	σελ.138
Διάγραμμα 100– Συγκέντρωση οξυγόνου στην καμπίνα με την φωτιά , με $HRR_{max}=1050kW$	σελ.139
Διάγραμμα 101– Συγκέντρωση οξυγόνου στην διπλανή καμπίνα, με $HRR_{max}=1050kW$	σελ.139
Διάγραμμα 102– Συγκέντρωση οξυγόνου στον διάδρομο μπροστά από την καμπίνα με την φωτιά, με $HRR_{max}=1050kW$	σελ.140

Διάγραμμα 103– Συγκέντρωση οξυγόνου στον διάδρομο στην μέση της απόστασης των δύο καμινών, με $HRR_{max}=1050kW$σελ.140

Διάγραμμα 104– Συγκέντρωση οξυγόνου στον διάδρομο μπροστά από την διπλανή καμπίνα, με $HRR_{max}=1050kW$σελ.141

Διάγραμμα 105 –Μέση θερμοκρασία στην καμπίνα που λαμβάνει χώρα η φωτιά, με $HRR_{max}=1864kW$σελ.141

Διάγραμμα 106 –Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα για $x=4.50,y=2.75$, με $HRR_{max}=1050kW$ σελ.142

Διάγραμμα 107 –Μέση θερμοκρασία στην διπλανή καμπίνα για $x=5.50,y=1.00$, με $HRR_{max}=1050kW$ σελ.142

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1 -Τρίγωνο φωτιάς	σελ.10
Εικόνα 2- Τετράεδρο φωτιάς	σελ.11
Εικόνα 3 – Δικτυακό Μοντέλο (Network Model)	σελ.30
Εικόνα 4 – Διζωνικό Μοντέλο (Two-Zone Model)	σελ.30
Εικόνα 5– Αρχείο .txt εισαγωγής παραμέτρων στον FDS.....	σελ.35
Εικόνα 6 – Στιγμιότυπα προσομοίωσης φωτιάς στο Smokeview	σελ.39
Εικόνα 7-Η εξεταζόμενη γεωμετρία	σελ.42
Εικόνα 8-Η εκδήλωση της φωτιάς	σελ.43
Εικόνα 9– Συγκεντρώσεις Οξυγόνου κατά της διάρκεια της προσομοίωσης της φωτιάς	σελ.43
Εικόνα 10– Συγκεντρώσεις Οξυγόνου κατά της διάρκεια της προσομοίωσης της φωτιάς στο στάδιο της πλήρης εκδήλωσης της.	σελ.44
Εικόνα 11– Εξεταζόμενη γεωμετρία με κλειστή την πόρτα της διπλανής καμπίνας.....	σελ.75
Εικόνα 12– Η εκδήλωση της φωτιάς με κλειστή την πόρτα της διπλανής καμπίνας.....	σελ.75
Εικόνα13 – Η γεωμετρία του καταστρώματος ενδιαίτησης	σελ.90
Εικόνα 14 – Η εκδήλωση της φωτιάς	σελ.90
Εικόνα 15 -Η εξεταζόμενη γεωμετρία	σελ.119
Εικόνα 16– Συγκεντρώσεις Οξυγόνου κατά της διάρκεια της προσομοίωσης της φωτιάς	σελ.120
Εικόνα 17 -Η εκδήλωση της φωτιάς	σελ.122
Εικόνα 18-Η εξεταζόμενη γεωμετρία με διάδρομο 27 μέτρων	σελ.126
Εικόνα 19-Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στην εξεταζόμενη γεωμετρία με διάδρομο 27 μέτρων	σελ.127
Εικόνα 20-Η εξεταζόμενη γεωμετρία με διάδρομο 24μέτρων.....	σελ.128

Εικόνα 21- Η εξεταζόμενη γεωμετρία με διάδρομο 21 μέτρων	σελ.129
Εικόνα 22-Η εξεταζόμενη γεωμετρία με διάδρομο 18 μέτρων	σελ.130
Εικόνα 23-Η εξεταζόμενη γεωμετρία με διάδρομο 12 μέτρων	σελ.131
Εικόνα 24-Η εξεταζόμενη γεωμετρία με διάδρομο 6 μέτρων	σελ.132

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1 – Τυπικές τιμές της σταθεράς α , (πηγή:Nikos Themelis , Kostas J. Spyrou, 2010)	σελ.15
Πίνακας 2 - Τιμές του fuel load density Με βάση το MSC/Circ. 1003 του IMO).....	σελ.18
Πίνακας 3- Γεωμετρικά και χαρακτηριστικά εξαερισμού	σελ.42
Πίνακας 4– Οι ομάδες εύφλεκτων υλικών μέσα στην καμπίνα	σελ.44
Πίνακας 5– Οι θερμικές ιδιότητες των υλικών	σελ.46
Πίνακας 6– Οι μέγιστες τιμές του fuel load density με βάση το MSC/Circ.1003.....	σελ.48
Πίνακας 7– Οι μέγιστες τιμές του ρυθμού έκλυσης θερμότητας των τριών σεναρίων	σελ.51
Πίνακας 8– Διάρκεια του σταδίου πλήρους εκδήλωσης	σελ.51
Πίνακας 9 - ο χρόνος που χρειάζεται για να ξεπεραστούν οι 245οC, στην καμπίνα δίπλα στην καμπίνα όπου λαμβάνει χώρα η φωτιά, $\chi=4,50m, \gamma=2,75m$	σελ.64
Πίνακας 10 - ο χρόνος που χρειάζεται για να ξεπεραστούν οι 245οC, στην καμπίνα δίπλα στην καμπίνα όπου λαμβάνει χώρα η φωτιά, $\chi=5,50m, \gamma=1.00m$	σελ.64
Πίνακας 11- ο χρόνος που χρειάζεται για να πέσει η συγκέντρωση του οξυγόνου κάτω από το χαμηλότερο όριο, στην καμπίνα όπου λαμβάνει χώρα η φωτιά	σελ.65
Πίνακας 12- ο χρόνος που χρειάζεται για να πέσει η συγκέντρωση του οξυγόνου κάτω από το χαμηλότερο όριο, στην καμπίνα δίπλα από την καμπίνα όπου λαμβάνει χώρα η φωτιά	σελ.65
Πίνακας 13- ο χρόνος που χρειάζεται για να πέσει η συγκέντρωση του οξυγόνου κάτω από το χαμηλότερο όριο, στην καμπίνα δίπλα από την καμπίνα όπου λαμβάνει χώρα η φωτιά	σελ.65
Πίνακας 14- Πάχη μόνωσης	σελ.66
Πίνακας 15 –Θερμοκρασίες στα 1400 δευτερόλεπτα για διάφορα πάχη μόνωσης	σελ.72

Πίνακας 16 – Παρουσίαση Συμπτωμάτων από εισπνοή μονοξειδίου του άνθρακα. (πηγή:www.engineeringtoolbox.com)	σελ.86
Πίνακας 17 – Παρουσίαση Συμπτωμάτων από εισπνοή διοξειδίου του άνθρακα. (πηγή:www.engineeringtoolbox.com)	σελ.86
Πίνακας 18 – Παρουσίαση Συμπτωμάτων από έλλειψη οξυγόνου	σελ.87
Πίνακας 19 – Περιγραφή γεωμετρίας καταστρώματος ενδιαίτησης	σελ.89
Πίνακας 20– Οι μέγιστες θερμοκρασίες για τα τρία διαφορετικά μήκη καταστρώματος	σελ.110